

การสังเคราะห์ไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัลจากน้ำตาลฟรุกโตสโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยน
ไอออนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ

SYNTHESIS OF 5-HYDROXYMETHYLFURFURAL (HMF) FROM
FRUCTOSE BY ION EXCHANGE RESIN CATALYZED IN PACKED-BED
REACTOR

เฉลิมเกียรติ สอนเสียม

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: chaloemkrit.s@ku.th

อมราภรณ์ แก้วชะญา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร อาหาร และสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

E-mail: amaraporn.k@sci.kmutnb.ac.th

อรรถศักดิ์ จารีย์

รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: fengasj@ku.ac.th

บทคัดย่อ

ไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัลเป็นสารซึ่งสามารถนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ พอลิเมอร์ รวมไปถึงสาร
ป้อนในอุตสาหกรรม โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ เพื่อทำการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ
และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่ส่งผลต่อการสังเคราะห์ไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัล โดยใช้เรซินแลกเปลี่ยน
ไอออนบวกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในระบบสองวัฏภาค (สารละลายน้ำตาลฟรุกโตสและเมทิลไอโซบิวทิลไคโตน)
พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิหรือเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาจะส่งผลทำให้การสังเคราะห์ไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัลเกิด
ได้ดีขึ้น แต่การเพิ่มเวลา (ณ อุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลวของน้ำตาลฟรุกโตส) จะส่งผลทำให้การสังเคราะห์ไฮ
ดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัลนั้นมีร้อยละการเลือกเกิดและร้อยละผลได้ของไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัลลดต่ำลง โดย
สภาวะที่เหมาะสมในการทดลองครั้งนี้คืออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 120 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการทำ
ปฏิกิริยา 30 นาที ซึ่งให้ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลฟรุกโตสเท่ากับ 73.261, ร้อยละการเลือกเกิดเป็น
สารไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัลเท่ากับ 59.054, ร้อยละผลได้ของไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัลเท่ากับ 43.264 และร้อย
ละสัดส่วนในการสกัดสารไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัลเท่ากับ 58.422

คำสำคัญ: น้ำตาลฟรุกโตส ไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัล เรซินแลกเปลี่ยนไอออน เมทิลไอโซบิวทิลไคโตน

ABSTRACT

Hydroxymethylfurfural (HMF) which can be used as biofuel, polymer, and industrial feedstock. In this research, a packed-bed reactor was used to study the effect of temperature and reaction time on the HMF synthesis. The cation exchange resin was used as catalyst for this reaction in a biphasic system (fructose aqueous solution and MIBK). Results showed that the synthesis of HMF were promoted by high temperature and prolonged reaction time. At high temperature (higher than the melting point of fructose), increasing reaction time led to low the HMF yield and selectivity because the formation of by-product such as formic acid, levulinic acid, etc. The optimal conditions for this synthesis were the reaction temperature of 120 °C and the reaction time of 30 minutes, providing 73.261% conversion, 59.054% selectivity, 43.264% yield and 58.422% Extraction Ratio.

KEYWORDS: Fructose, Hydroxymethylfurfural, Ion exchange resin, Methyl isobutyl ketone

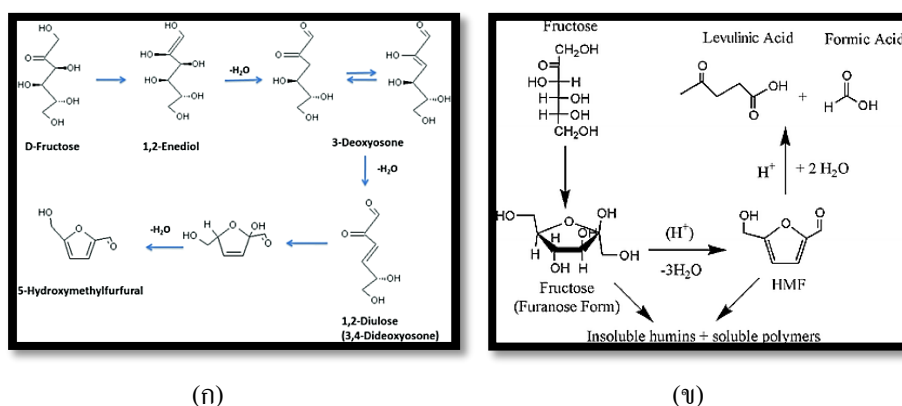
1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

พลังงานนับว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญในการพัฒนาประเทศในทุกๆด้าน ไม่ว่าจะเป็นการผลิตในงานอุตสาหกรรมต่างๆ การขนส่ง การผลิตไฟฟ้า และงานบริการอื่นๆอีกหลายประเภท ปัจจุบันแหล่งพลังงานในประเทศไทยนั้นมีไม่เพียงพอที่จะตอบสนองต่อความต้องการได้ทั้งหมด จึงจำเป็นต้องนำเข้าแหล่งพลังงานมาจากต่างประเทศ หากสามารถประหยัดพลังงานหรือใช้พลังงานจากแหล่งอื่นที่มีในประเทศก็จะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายและลดการนำเข้าได้ จากสถานการณ์ดังกล่าวผู้วิจัยได้เสนอแนวความคิดในการผลิตสารป้อนในกระบวนการอุตสาหกรรม รวมถึงพลังงานเชื้อเพลิงจากน้ำตาลฟรุกโตส โดยการนำน้ำตาลฟรุกโตสผ่านกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเคมีด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม เพื่อเปลี่ยนเป็นสารตัวกลาง ไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัล (Hydroxymethylfurfural; HMF) ซึ่งสามารถนำไปผลิตเป็นสารป้อนในอุตสาหกรรมรวมถึงน้ำมันเชื้อเพลิงได้หลากหลายโดยผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) และปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) (Tong *et al.*, 2010) โดย HMF สามารถเปลี่ยนเป็น furan-2,5-dicarboxylic acid (FDCA) ผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน FDCA นั้นสามารถนำไปใช้แทนกรด terephthalic ที่ใช้ในการผลิต polyethyleneterephthalate (PET) และ polybutyleneterephthalate (PBT) ส่วนการเกิดปฏิกิริยารีดักชันสามารถเปลี่ยน HMF เป็น 2,5- dihydroxymethylfuran (DHMF) และ 2,5-bis(hydroxymethyl)-tetrahydrofuran ซึ่งเป็นสารที่ใช้ในการผลิตพอลิเอสเตอร์ (Polyester)

HMF นั้นเป็นสารที่สามารถสังเคราะห์ได้จากน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เช่น น้ำตาลฟรุกโตส โดยผ่านปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน (Dehydration reaction) ซึ่งมีทั้งแบบที่ใช้และไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา การเกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานั้นจะเป็นปฏิกิริยาที่มีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนการเกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันแบบที่ไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยานั้นจะเรียกว่าปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชัน (Caramelization reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ได้รับความร้อนสูงเกินจุดหลอมเหลวและเกิดการสูญเสียอย่างต่อเนื่องและเกิดการแตกตัวเป็น HMF ดังแสดงในรูปที่ 1 (ก) HMF นั้นเป็นที่รู้จักกันมานานแล้ว เช่น ปลายศตวรรษที่ 19 ได้มีการสังเคราะห์ HMF ในระบบวัฏภาคเดียว (monophasic system) โดยมีน้ำเป็นตัวทำละลาย (Kuster, 1990) ปรากฏว่าให้ผลิตภัณฑ์ที่น้อยมาก เนื่องจากเกิดผลิตภัณฑ์ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ได้แก่ กรดฟอร์มิก (Formic acid)

และเลวูลินิก (Levulinic) ขึ้น นอกจากนี้ไฮดรอกซีเมทิลเฟอรฟูรัลยังสามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) เกิดเป็นฮิวมิน (Humin) ดังแสดงในรูปที่ 1 (ข) ต่อมาจึงมีการพัฒนาการสังเคราะห์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด (Roman-Leshkov *et al.*, 2006) เช่น กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) และกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ (Homogeneous catalyst) พบว่าให้ค่าร้อยละการเลือกเกิดของ HMF (% selectivity) ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ แต่วิธีนี้มีข้อเสียตรงที่ปัญหาการกัดกร่อนจากตัวเร่งปฏิกิริยา และต้องมีการแยกผลิตภัณฑ์ออกจากระบบ ต่อมาจึงพัฒนามาใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous catalyst) โดยในปี ค.ศ. 1981 Rigal และคณะได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์ HMF โดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก (Lewatit SC 102) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในระบบสองวัฏภาค (biphasic system) ระหว่างน้ำและ Methyl isobutyl ketone (MIBK) ให้ค่า %yield เท่ากับ 34 % จากนั้นปี ค.ศ. 2007 Juben N. และคณะได้ใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก (Diaion PK216) ในระบบสองวัฏภาคระหว่างวัฏภาคของน้ำผสม NMP กับวัฏภาค MIBK พบว่าให้ค่า %yield สูงถึง 83 %

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous catalyst) ซึ่งได้แก่ เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวก (Cation Exchange Resin) ซึ่งสามารถแยกออกจากระบบได้ง่าย นำกลับมาใช้ใหม่ได้ และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการสังเคราะห์ HMF ในระบบสองวัฏภาค โดยมีวัฏภาคอินทรีย์เป็น MIBK และวัฏภาคน้ำเป็นสารละลายน้ำตาลฟรุกโตส นอกจากนี้ยังนำเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ (Packed bed reactor) มาใช้แทนเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch reactor) ทำให้สารจะไหลผ่านช่องว่างขนาดเล็ก ทำให้เกิดการผสมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถถ่ายเทความร้อนหรือมวลได้ดี และมีความกะทัดรัด โดยงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการสังเคราะห์ HMF ได้แก่ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา



รูปที่ 1 (ก) ปฏิกิริยาการรวมไลเซชัน (Zhang *et al.*, 2015) (ข) ปฏิกิริยาดีไฮเดรชันที่มีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

(1) เพื่อศึกษาผลการสังเคราะห์ไฮดรอกซีเมทิลเฟอรฟูรัลโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในระบบ monophasic system และ biphasic system

(2) เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิและเวลาการทำปฏิกิริยาที่มีต่อการสังเคราะห์ไฮดรอกซีเมทิลเฟอรฟูรัลในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

1. น้ำตาลฟรุกโตส (D – fructose AR Grade) จาก Fisher Scientific
2. น้ำบริสุทธิ์ (Deionized water)
3. เมทิลไอโซบิวทิลคีโตน (MIBK AR Grade) จาก Merck
4. เรซินแลกเปลี่ยนไอออน (RCP 160M) จาก Mitsubishi Chemical
5. สารมาตรฐานไฮดรอกซีเมทิลฟูรัล (5-Hydroxymethylfurfural AR Grade 98%) จาก Sigma-Aldrich
6. ISCO series D pump controller and 260D syringe pump
7. ข้อต่อลดขนาด (Reducing Union), Back pressure regulator 100 psi, และ Union tee O.D. 1/16 นิ้ว

8. Quartz wool

9. เครื่องปฏิกรณ์แบบท่อขนาด 1/4 นิ้ว โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.4572 เซนติเมตรและมีความยาว 14.8 เซนติเมตร

3.2 ปัจจัยที่ทำการศึกษา

1. ประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาระหว่างระบบ monophasic system และ biphasic system
2. อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 และ 120 °C ในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ
3. เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 30 และ 60 นาที ในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. การทดสอบประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยา

การเร่งปฏิกิริยาดำเนินในขวดแก้วก้นกลมขนาด 50 มิลลิลิตรซึ่งต่อกับชุดรีฟลักซ์ (Reflux) จากนั้นเติมสารละลายฟรุกโตสความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในน้ำ (ความเข้มข้น 100 g/L) ปริมาณ 5 มิลลิลิตร จากนั้นเติมตัวเร่งปฏิกิริยาปริมาณ 5 กรัม ลงในระบบและปั่นกวนด้วยแท่งแม่เหล็ก พร้อมทั้งปรับเพิ่มอุณหภูมิจนถึงอุณหภูมิที่ใช้ทดสอบปฏิกิริยา (90 องศาเซลเซียส) จึงเริ่มจับเวลา เมื่อสิ้นสุดระยะเวลา 4 ชั่วโมง ของผสมในขวดแก้วก้นกลมจะถูกทำให้เย็นและแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากระบบด้วยกระดาษกรอง จากนั้นนำของเหลวที่ได้ไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาต่อไป โดยทำการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้ข้างต้นซึ่งเป็นระบบแบบ monophasic system กับสถานะที่มีทั้งตัวเร่งปฏิกิริยาและ MIBK ในระบบซึ่งเป็นระบบแบบ biphasic system

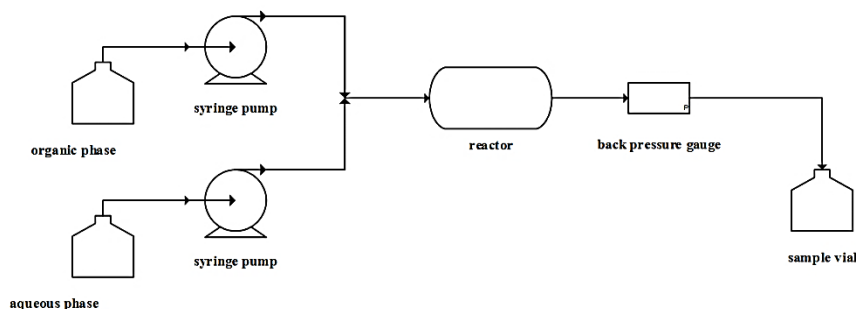
2. การบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ (Packing column)

นำตัวเร่งปฏิกิริยาไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นทำการต่อ reducing union เข้าที่ด้านล่างของท่อปฏิกรณ์ จากนั้นใช้ quartz wool บรรจุลงไปที่ด้านท้ายของปฏิกรณ์ตามด้วยการบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาลงไป 1.2 กรัม พร้อมทั้งเคาะเบาๆขณะที่ทำการบรรจุเพื่อให้ตัวเร่งปฏิกิริยากระจายตัวได้อย่างสม่ำเสมอ จากนั้นปิดด้านบนของท่อปฏิกรณ์ด้วย quartz wool และ reducing union ตามลำดับ นำท่อปฏิกรณ์ที่ได้

ทำการบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาเรียบร้อยแล้วไปให้น้ำ (DI water) ไหลผ่านด้วยอัตราการไหล 2.0 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นระยะเวลา 30 นาที เพื่อให้ชั้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่บรรจุลงไปบนคอลัมน์เกิดการอัดตัวกันแน่นเป็นระเบียบ

3. การทดสอบประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ

ทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ (Packed bed reactor) ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยจะทำการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัล ได้แก่ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิ 90 และ 120 องศาเซลเซียส ส่วนเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยานั้นเป็น 30 และ 60 นาที สำหรับสภาวะที่ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที จะทำการให้อัตราการไหลของ MIBK (organic phase) เป็น 0.050 มิลลิลิตรต่อนาที ส่วนอัตราการไหลของสารละลายน้ำตาลฟรุกโตส (aqueous phase) นั้นเป็น 0.040 มิลลิลิตรต่อนาที (organic/aqueous ratio หรือ O/A ratio เท่ากับ 1 โดยมวล) ส่วนสภาวะที่ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาทีนั้นจะกำหนดให้อัตราการไหลของ MIBK (Organic phase) เป็น 0.025 มิลลิลิตรต่อนาที ส่วนอัตราการไหลของสารละลายน้ำตาลฟรุกโตส (Aqueous phase) นั้นเป็น 0.020 มิลลิลิตรต่อนาที เมื่ออุณหภูมิของระบบเพิ่มถึงระดับที่ต้องการแล้วจึงทำการป้อนสารตั้งต้นเข้าไปในระบบพร้อมทั้งเริ่มทำการจับเวลา เก็บผลการทดลองที่สภาวะคงตัวโดยนำสารตัวอย่างที่ได้ไปแช่น้ำแข็งและวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ต่อไป ส่วนการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ซ้ำทำได้โดยการล้างย้อนกลับ (wash back) ด้วยน้ำ



รูปที่ 2 การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง

4. การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High performance liquid chromatography ; HPLC) ปริมาณของน้ำตาลในวัฏภาคน้ำจะถูกวัดโดยใช้ตัวตรวจชนิด RI Detector โดยใช้คอลัมน์ APS – 2 hypersil (4.6 mm x 250 mm) ที่อุณหภูมิ 40 °C สารตัวพา (mobile phase) คือของผสมระหว่างอะซิโตนไทรล์ (acetonitrile) และน้ำในอัตราส่วน 75 : 25 ตามลำดับ ซึ่งไหลด้วยอัตรา 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที ส่วนปริมาณของไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัลในทั้งสองวัฏภาคจะถูกวัดโดยใช้ตัวตรวจชนิดออกตราไวโอเลต ที่ความยาวคลื่น 320 นาโนเมตร โดยใช้คอลัมน์ ACE Excel 5 super C18 ชนิดกลับเฟส (4.6 mm x 250 mm) ที่อุณหภูมิ 30 °C สารตัวพาของผสมระหว่างอะซิโตนไทรล์และน้ำในอัตราส่วน 10 : 90 ตามลำดับ ซึ่งไหลด้วยอัตรา 0.7 มิลลิลิตรต่อนาที

4. ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การทดสอบปฏิกิริยาการสังเคราะห์ HMF โดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออน RCP 160M ในระบบ monophasic system และ biphasic system

สารตัวอย่างที่เก็บได้จากการทดลองจะถูกนำไปวิเคราะห์หาค่า %Conversion, %Selectivity, %Yield และ %Extraction ratio ตามสมการข้างล่างต่อไป (Teng *et al.*, 2016)

Conversion of fructose

$$\text{Conv. (mol\%)} = (1 - (\text{moles of fructose unreacted} / \text{moles of starting fructose units})) \times 100\%$$

Yield of HMF

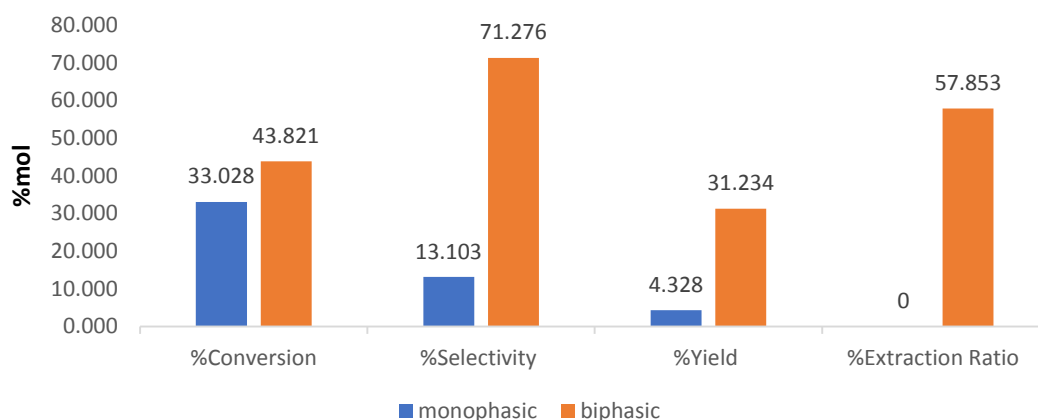
$$Y_{\text{HMF}} (\text{mol\%}) = (\text{moles of HMF produced} / \text{moles of starting fructose units}) \times 100\%$$

Selectivity of HMF

$$S_{\text{HMF}} (\text{mol\%}) = (Y_{\text{HMF}} / \text{Conv.}) \times 100\%$$

Extraction Ratio of HMF

$$\text{ER}_{\text{HMF}} (\text{mol\%}) = (\text{moles of HMF existed in organic phase} / \text{moles of HMF produced}) \times 100\%$$



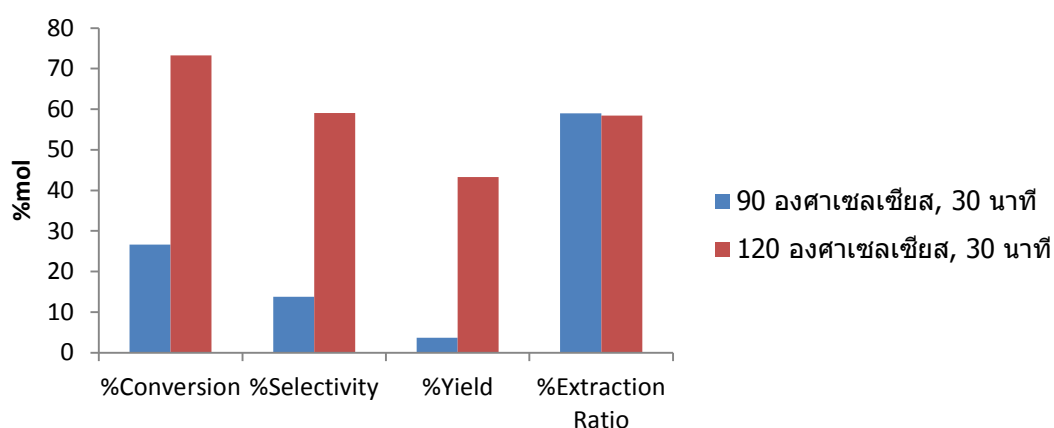
รูปที่ 3 เปรียบเทียบผลการสังเคราะห์ HMF ระหว่าง monophasic system และ biphasic system

จากผลการทดลอง พบว่าการเติมตัวทำละลาย MIBK ลงไปในระบบ จะช่วยให้ HMF เกิดได้ดีขึ้น สังเกตได้จากค่า %conversion, %selectivity, และ %yield ที่เพิ่มมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3 โดยผลการทดลอง สอดคล้องกับการทดลองของ J. N. Chheda *et al.* (2007) และ Teng *et al.* (2016) อันเป็นผลเนื่องมาจากการใช้ ระบบสองวัฏภาคระหว่างน้ำและ MIBK โดย HMF ที่เกิดขึ้นในวัฏภาคน้ำจะถูกสกัดขึ้นไปยังชั้นวัฏภาคอินทรีย์ อย่างต่อเนื่อง ซึ่งทำให้สมดุลเคมีในวัฏภาคน้ำมีทิศทางไปในด้านของการเกิด HMF มากขึ้นนั่นเอง

4.2 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

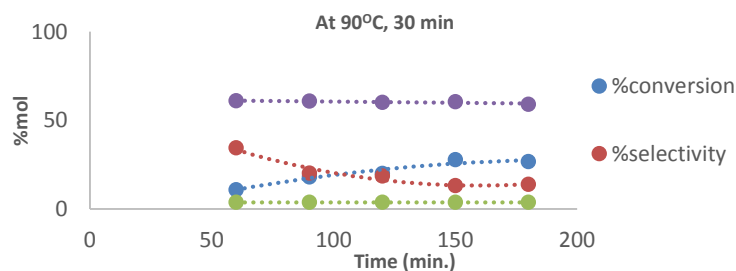
ตารางที่ 1 แสดงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อการสังเคราะห์ HMF

Temperature (°C)	Reaction Time (min.)	O/A ratio	%Conversion (%mol)	%Selectivity (%mol)	%Yield (%mol)	%Extraction Ratio (%mol)
90	30	1	26.646	13.782	3.672	59.015
120	30	1	73.261	59.054	43.264	58.422



รูปที่ 4 เปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่มีต่อการสังเคราะห์ HMF

เมื่อเก็บตัวอย่างที่สภาวะคงที่ดังแสดงในรูปที่ 5 (6 เท่าของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา) และทำการเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ HMF พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลทำให้ค่า %conversion, %selectivity และ %yield มีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วยดังแสดงในรูปที่ 4 โดยผลการทดลองสอดคล้องกับ Kuster (1990) และ Zhang *et al.* (2015) เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจนเกินจุดหลอมเหลวของน้ำตาลฟรุกโตส น้ำตาลฟรุกโตสสามารถเปลี่ยนไปเป็น HMF โดยผ่าน 2 ปฏิกิริยา ได้แก่ ปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและปฏิกิริยาการรวมตัวของโมเลกุลไฮเดรชัน ทำให้ค่า %conversion เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ อุณหภูมิที่สูงขึ้นยังส่งผลทำให้โมเลกุลผลิตภัณฑ์ HMF ที่เกิดขึ้นในชั้นน้ำถูกสกัดไปยังชั้นน้ำอินทรีย์ได้ดีขึ้น (การถ่ายโอนมวลเป็นไปอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง) ส่งผลทำให้สมดุลเคมีของปฏิกิริยาการสังเคราะห์ HMF ปรับตัวไปข้างหน้า ค่า %selectivity และ %yield จึงมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ส่วนค่า %ER นั้นไม่เปลี่ยนแปลงมากนักตามการเพิ่มอุณหภูมิ

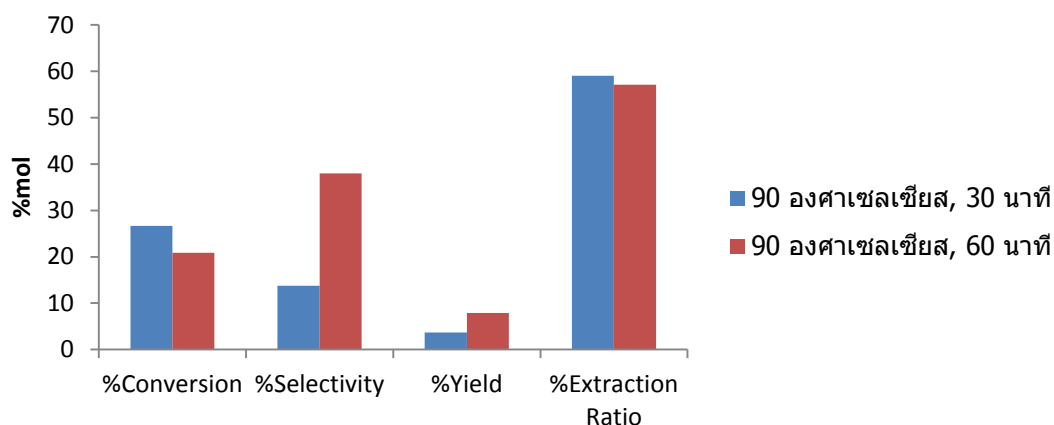


รูปที่ 5 ผลของระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างที่เวลาต่างๆกัน

4.3 ผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

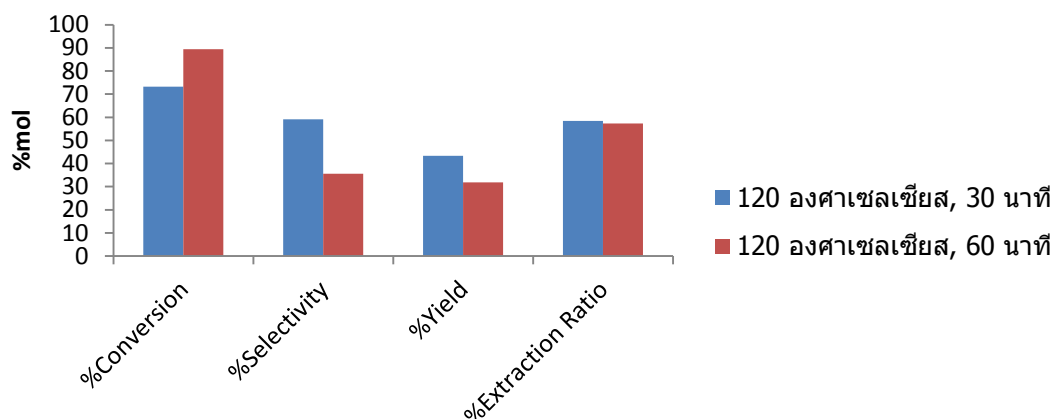
ตารางที่ 2 แสดงผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่มีผลต่อการสังเคราะห์ HMF

Temperature (°C)	Reaction Time (min.)	O/A ratio	%Conversion (%mol)	%Selectivity (%mol)	%Yield (%mol)	%Extraction Ratio (%mol)
90	30	1	26.646	13.782	3.672	59.015
90	60	1	20.838	37.978	7.914	57.102
120	30	1	73.261	59.054	43.264	58.422
120	60	1	89.389	35.627	31.847	57.267



รูปที่ 6 เปรียบเทียบผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อการสังเคราะห์ HMF
(ณ อุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของน้ำตาลฟรุกโตส)

เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสังเคราะห์ HMF ระหว่างเวลาที่ใช้ในการทดลอง 30 และ 60 นาที ณ อุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของน้ำตาลฟรุกโตส (น้ำตาลฟรุกโตสมีจุดหลอมเหลวที่ 103 °C) จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลทำให้ค่า %conversion มีค่าที่ลดลง แต่ค่า %selectivity และค่า %yield จะมีค่าที่เพิ่มสูงขึ้นดังแสดงในรูปที่ 6 โดยผลการทดลองสอดคล้องกับการทดลองของ J. N. Chheda *et al.* (2007) อันเป็นผลเนื่องมาจากการที่ให้เวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มสูงขึ้นก็เปรียบเสมือนการใช้อัตราการใช้ที่ช้าลง ซึ่งจะส่งผลทำให้สารเกิดการผสมกันได้ไม่ดี และเกิดการแยกชั้นกันขึ้นมาได้อีกทั้งหากเกิดการแยกชั้นขึ้นมาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่จะสัมผัสกับสารละลายน้ำตาลฟรุกโตสก็จะน้อยลง เป็นผลทำให้ค่า %conversion นั้นมีค่าที่ลดลง แต่ในขณะเดียวกันเวลาในการสัมผัสระหว่างสารละลายน้ำตาลฟรุกโตสกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่จะเพิ่มขึ้นด้วย จึงส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นเป็น HMF มากขึ้น จึงทำให้ค่า %selectivity และค่า %yield มีค่าเพิ่มสูงขึ้นส่วนค่า %ER นั้นการเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาจะไม่ส่งผลต่อค่าดังกล่าว



รูปที่ 7 เปรียบเทียบผลของเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อการสังเคราะห์ HMF
(ณ อุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลวของน้ำตาลฟรุกโตส)

เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาจะส่งผลทำให้ค่า %conversion เพิ่มขึ้น แต่ค่า %selectivity และค่า %yield มีค่าที่ลดลงดังแสดงในรูปที่ 7 โดยผลการทดลองสอดคล้องกับ Kuster (1990) เนื่องมาจากการเกิดทั้งปฏิกิริยาไฮเดรชันที่มีกรดเป็นตัวเร่งและปฏิกิริยาการเมลเลเซชัน การเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้สารตั้งต้นที่เป็นสารละลายน้ำตาล ฟรุกโตสมีโอกาสกลายเป็นผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น จึงทำให้ค่า %conversion เพิ่มขึ้น แต่ในขณะเดียวกันการที่ผลิตภัณฑ์ HMF ที่เกิดขึ้นอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์เป็นเวลานานขึ้นและที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นเช่นนี้จะเกิดผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้จากปฏิกิริยาข้างเคียงได้ง่าย ดังนั้นจึงส่งผลทำให้ค่า %selectivity และค่า %yield มีค่าลดลง ส่วนค่า %ER นั้นไม่ค่อยได้รับผลกระทบจากการเพิ่มระยะเวลาของการทำปฏิกิริยาดังกล่าว

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของปัจจัยที่มีต่อประสิทธิภาพของการสังเคราะห์ไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัล ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุในระบบสองวัฏภาค การเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยา ณ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาดำกว่าจุดหลอมเหลวของน้ำตาลฟรุกโตส จะส่งผลทำให้ค่า %conversion ลดลง แต่ค่า %selectivity และ %yield นั้นเพิ่มสูงขึ้น ส่วนค่า %ER นั้นการเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยานั้นไม่ส่งผลต่อค่าดังกล่าว นอกจากนี้ในกรณีที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยานั้นสูงกว่าจุดหลอมเหลวของน้ำตาลฟรุกโตส การเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาจะทำให้ค่า %conversion เพิ่มขึ้น ในขณะที่ %selectivity และ %yield ลดลง ส่วนการเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาสูงขึ้นส่งผลให้ค่า %conversion, %selectivity และ %yield เพิ่มขึ้น แต่ไม่ทำให้ค่า %ER เปลี่ยนแปลงมากนัก สภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ HMF คืออุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยา 30 นาที ซึ่งให้ค่า %conversion = 73.261%, %selectivity = 59.054%, %yield = 43.264% และ %ER = 58.422%

6. ข้อเสนอแนะ

การนำผลวิจัยไปใช้ต่อไปในเชิงอุตสาหกรรมนั้น ควรมีการศึกษาการเพิ่มกำลังการผลิตในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ ไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มจำนวนของเครื่องปฏิกรณ์แบบบรรจุหรือการเพิ่มกำลังการผลิตของป้อน เพื่อศึกษาพฤติกรรมของสารในเครื่องปฏิกรณ์แบบบรรจุในเชิงอุตสาหกรรมต่อไป

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท มิตรูบิซิ เคมิคอล (ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้มอบเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาเรซินแลกเปลี่ยนไอออน RCP 160M ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

8. เอกสารอ้างอิง

- J. N. Chheda and J. A. Dumesic. 2007. An overview of dehydration, aldol-condensation and hydrogenation processes for production of liquid alkanes from biomass-derived carbohydrates. **Catalysis Today**. 123: 59-70.
- Junjiang Teng, Hao Ma, Forong Wang, Lefu Wang, and Xuehui Li. 2016. 5-HMF synthesis from glucose. **BioResources**. 11 (1): 2152-2165.
- Kuster, B. M. F. 1990. 5-Hydroxymethylfurfural (HMF). A Review Focussing on its Manufacture. **Starch** 42: 314-321.
- L. Rigal, A. Gaset and J. P. Gorrichon. 1981. Selective conversion of D-fructose to 5-hydroxymethyl-2-furancarboxaldehyde using a water-solvent-ion-exchange resin triphasic system. **Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev.** 20: 719-721.
- Roman-Leshkov, Y., Chheda, J.N., & Dumesic, J.A. 2006. Phase modifiers promote efficient production of hydroxymethylfurfural from fructose. **Science**. 312: 1933-1937.
- Tong, X., Ma, Y., & Li, Y. 2010. Biomass into chemicals: Conversion of sugars to furan derivatives by catalytic processes. **Applied Catalysis A**. 385: 1-13.
- Zhang X, Tao N, Wang X, Chen F, Wang M. 2015. The colorants, antioxidants, and toxicants from nonenzymatic browning reactions and the impacts of dietary polyphenols on their thermal formation. **Food Funct.** 6:345–55.

การพัฒนาตำรับสบู่ก้อนจากสารสกัดสมอไทย

THE FORMULATION OF HARD SOAP FROM *TERMINALIA CHEBULA* RETZ. EXTRACT

ชลดา จัดประกอบ

สาขาการแพทย์แผนไทย วิทยาลัยการแพทย์บูรณาการ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

E-mail: chonlada.jud@dpu.ac.th

สาวิตรี วทัญญูไพศาล

รองศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร อาหาร และสิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

E-mail: savitri.v@sci.kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

สมอไทย มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ *Terminalia chebula* Retz. เป็นสมุนไพรอีกชนิดหนึ่งที่พบว่ามีสารสำคัญจำพวกสารประกอบฟีนอลิกในปริมาณสูง เช่น gallic acid, chebulic acid, ellagic acid และ tannic acid และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดี การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์จากสารสกัดสมอไทย ในรูปแบบสบู่ก้อน และทำการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ควบคุมคุณภาพตามมาตรฐานของการผลิตสบู่ ได้แก่ pH, ปริมาตรฟอง และทดสอบความปลอดภัยทางจุลินทรีย์ ทดสอบความชอบโดยรวมของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์และวิเคราะห์การตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค ผลการศึกษาพบว่า สบู่ก้อนจากสารสกัดสมอไทยทั้ง 4 ตำรับ มีลักษณะทางกายภาพเป็นสบู่ก้อน เนื้อสบู่คงรูปร่างดีไม่เยิ้มเหลว ตำรับที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดีที่สุดคือ ตำรับที่ 4 และพบว่าทั้ง 4 ตำรับมีค่า pH, ปริมาตรฟอง และทดสอบความปลอดภัยทางจุลินทรีย์ ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ทดสอบความชอบโดยรวมของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์และวิเคราะห์การตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค พบว่า ผู้บริโภคมีความชอบโดยรวมและตัดสินใจซื้อตำรับ 2 มากที่สุด ซึ่งเป็นที่น่าสนใจในการผลิตผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ต่อไป

คำสำคัญ: สมอไทย, สบู่ก้อน, ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

ABSTRACT

Terminalia chebula Retz. is herb found to high phenolic compounds and strong antioxidant activity such as gallic acid, chebulic acid, ellagic acid and tannic acid. The objective the present paper was to formulation hard soap from *Terminalia chebula* Retz. extract was to evaluate antioxidant, pH, foam stability total aerobic count and sensory test. The formulate were to find out concentration of the addition the *Terminalia*

chebula Retz. extract for formulate hard soap. The concentration of addition of *Terminalia chebula* extract Retz. that is based on the research pre-0.5-2%. The highest antioxidant activity was observed in the formula 4, 3, 2 and 1, respective. The quality control such as pH, foam stability and total aerobic count are in benchmark, may be developed as a commercial product.

KEYWORDS: Hard soap, *Terminalia chebula* Retz., Antioxidant

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวกับการดูแลผิวหน้ามีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่องทั้งในต่างประเทศและในประเทศไทย โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ธรรมชาติที่มีส่วนผสมของสมุนไพรสกัด จากการสำรวจตลาดโดยนักการตลาดพบว่า จะมีการเติบโตถึง 25% ต่อปี ในปัจจุบันและอย่างน้อยอีก 5 ปีต่อไปข้างหน้า[1] อีกทั้งประชาชนยังมีความตระหนักถึงการดูแลสุขภาพด้วยผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ และแนวโน้มในการดูแลสุขภาพและความงามที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้อุปสงค์ของผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติและผลิตภัณฑ์สมุนไพรเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ[2] ซึ่งในปัจจุบันการพัฒนาผลิตภัณฑ์ธรรมชาติที่ทำให้ผิวขาวจากสารธรรมชาติได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจะส่งผลให้การสร้างเมลานินลดลงและทำให้ผิวพรรณกระจ่างใส[3] สารต้านอนุมูลอิสระในธรรมชาติส่วนมากมักจะพบในพืชสมุนไพรที่มีความหลากหลายมากมายในประเทศไทย สมุนไพรที่มีปริมาณสารสำคัญจำพวกสารประกอบ ฟีนอลิกสูงมักจะมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงด้วย[4] สมุนไพรที่มีปริมาณของสารฟีนอลิกสูง เช่น สมอไทย (*Terminalia chebula* Retz.), สมอพิเภก (*Terminalia bellirica* (Gaertn.) Roxb.), มะขามป้อม (*Phyllanthus emblica* L.), ชาเขียว (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze.) และ ฟางเสน (*Biancaea sappan* (L.) Tod.) [5]-[8] เป็นต้น

สมอไทย มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ *Terminalia chebula* Retz. อยู่ในวงศ์ Combretaceae ในทางการแพทย์แผนไทยพบว่ามีสรรพคุณ[9] ซึ่งเป็นสมุนไพรอีกชนิดหนึ่งที่พบว่ามีสารสำคัญจำพวกสารประกอบฟีนอลิกในปริมาณสูง เช่น gallic acid, chebulic acid, ellagic acid และ tannic acid และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดี[10]-[12] อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาที่นำสารสกัดของสมอไทยมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ

การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์จากสารสกัดสมอไทย ในรูปแบบสบู่ก้อน และทำการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ควบคุมคุณภาพตามมาตรฐานของการผลิตสบู่ ทดสอบความชอบและวิเคราะห์การตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์และเพิ่มมูลค่าให้กับสมุนไพรไทย

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การพัฒนาตัวรับสบู่ก้อนจากสารสกัดสมอไทย

ตั้งตัวรับสบู่ก้อนจากสารสกัดสมอไทยที่มีความเข้มข้นของสารสกัดต่างกัน ทั้งหมด 4 ตัวรับ ตามรายละเอียดในตาราง 1

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบในแต่ละตำรับ

ส่วนประกอบในตำรับ	ปริมาณในตำรับ (กรัม)			
	1	2	3	4
Coconut oil	45	45	45	45
Palm oil	45	45	45	45
Olive oil	10	10	10	10
Sodium hydroxide (NaOH)	16.65	16.65	16.65	16.65
Water	38	38	38	38
<i>Terminalia chebula</i> Retz. Extract	0.77 (0.5%)	1.55 (1%)	2.32 (1.5%)	3.09 (2%)

2.2 การสกัดสาร[10]

สกัดโดยการหมัก โดยนำผงสมอไทยที่ผ่านการบดแล้ว 500 กรัม สกัดด้วย 95% ethanol ปริมาตร 1 ลิตร หมักทิ้งไว้ 7 วัน จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 0 แล้วนำไประเหยเอาตัวทำละลายออกด้วยเครื่อง rotary evaporator

2.3 วิธีการทำสบู่ก้อน[13]

- 1) ชั่ง coconut oil, Palm oil และ Olive oil ทั้งหมดใส่ในบีกเกอร์
- 2) เตรียมสารละลายต่าง โดยชั่งน้ำ 38 กรัม แล้วค่อยๆเท NaOH ลงในน้ำพร้อมกับคนไปด้วยจนละลายหมด และตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
- 3) เทสารละลายต่างลงในน้ำมัน ใช้ไม้พายกวนสม่ำเสมอ
- 4) กวนจนสารผสมที่ได้จะค่อนข้างหนืด มีสีขาวขุ่นและเนื้อเนียนดี แล้วจึงเติมสารสกัดและน้ำมันหอมระเหยลงไป กวนต่ออีก 15 นาที
- 5) เทลงในพิมพ์ ใช้พลาสติกปิดพิมพ์ ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วจึงแกะออกจากพิมพ์

2.4 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH radical scavenging assay[14]

การทดสอบฤทธิ์ของตำรับสบู่ก้อนจากสารสกัดสมอไทยทั้ง 4 ตำรับ

- 1) เตรียมสารสกัดสบู่ก้อนจากสารสกัดสมอไทย ให้มีความเข้มข้น 11 ระดับ คือ 0.48, 0.97, 1.95, 3.90, 7.81, 15.62, 31.25, 62.5, 125, 250, 500 ppm ด้วย methanol ในหลอดทดลอง เพื่อจะหาความเข้มข้นที่น้อยที่สุดที่สามารถออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้
- 2) เตรียม DPPH ความเข้มข้น 60 ppm ด้วย Methanol
- 3) นำสารสกัดในข้อ 1 จำนวน 100 ไมโครลิตร และ DPPH จำนวน 100 ไมโครลิตร มาผสมให้เข้ากันใน 96 well plate
- 4) ทิ้งไว้ที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่อง UV Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร แล้วคำนวณหาค่า % radical scavenging จากสูตร

$$\% \text{ radical scavenging} = \frac{A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}}{A_{\text{ctr}}} \times 100$$

เมื่อ A_{control} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของ control (มีเฉพาะ DPPH)

A_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัด

5) ทำการทดสอบซ้ำทั้งหมด 5 ครั้ง

6) นำค่าที่ได้มาพล็อตกราฟ ระหว่าง ความเข้มข้นของสารสกัด กับ % radical scavenging แล้วคำนวณหา EC_{50} นำค่าที่ได้เปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ ascorbic acid เป็นสารมาตรฐาน

2.5 การทดสอบค่า pH มีวิธีการ ดังนี้[15]

1) แบ่งสบู่มาทดสอบมา 0.4 กรัม และเติมน้ำกลั่น 9.6 มิลลิลิตร

2) เทใส่บีกเกอร์ และคนผสมให้เข้ากัน

3) นำไปวัด pH ด้วย pH meter

4) บันทึกผล

2.6 การทดสอบปริมาตรฟอง มีวิธีการ ดังนี้[16]

1) ตัดสบูเป็นก้อนสี่เหลี่ยมลูกเต๋า โดยให้มีความหนา 10 กรัม

2) นำสบูใส่ในน้ำกลั่นปริมาตร 25 มิลลิลิตร จากนั้นเขย่าด้วยความเร็ว 150 รอบต่อนาที จนอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที

3) ตวงน้ำสบูปริมาตร 15 มิลลิลิตร โดยใช้กระบอกขนาด 50 มิลลิลิตร เขย่าว่าขึ้นลง 5 รอบ แล้วอ่านปริมาณฟองทันที (ปริมาณฟองที่ได้เรียกว่า flash foam)

4) ทิ้งไว้ 2 นาที อ่านความสูงของฟองที่เหลือ (ปริมาณฟองที่ได้เรียกว่า foam drainage)

2.7 การทดสอบความปลอดภัยทางจุลินทรีย์ (Total aerobic plate count)

การทดสอบความปลอดภัยทางจุลินทรีย์ของเครื่องสำอางจะใช้ตัวอย่างระดับการเจือจาง 10^{-1} โดยการชั่งตัวอย่าง 1 กรัม เจือจางในน้ำยาเจือจาง ใช้ปิเปตดูดตัวอย่างปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ทำการตรวจวิเคราะห์ด้วยวิธี spread plate ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ดัดแปลงจาก BAM online (Bacteriological Analytical Manual) จำนวน 2 ซ้ำ แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน

2.8 การทดสอบความชอบโดยรวมของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ ด้วย Hedonic 9 scale และวิเคราะห์การตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค

ทดสอบความชอบโดยรวมของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ ด้วย Hedonic 9 scale และวิเคราะห์การตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค โดยใช้แบบสอบถาม ในกลุ่มตัวอย่าง 30 คน

แบบสอบถามมี 5 ข้อ โดยทดสอบความชอบโดยรวมของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ 4 ข้อ ในด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ และ 1 ข้อ สำหรับการวิเคราะห์การตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ แบ่งระดับการให้คะแนน 9 ระดับ (Hedonic 9 scale)

9 = ชอบมากที่สุด

8 = ชอบมาก

7 = ชอบปานกลาง

6 = ชอบเล็กน้อย

5 = เฉยๆ

4 = ไม่ชอบเล็กน้อย

3 = ไม่ชอบปานกลาง

2 = ไม่ชอบมาก

1 = ไม่ชอบมากที่สุด

2.9 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูล ทั้งหมดโดยทำการทดสอบตัวอย่างละ 3 ครั้ง รายงานผลในรูปค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนด้วย One-way ANOVA และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($p < 0.05$) โดยใช้ โปรแกรม SPSS 16.0 for Windows

3. สรุปผลการวิจัย

3.1 การพัฒนาตำรับสมุนไพรจากสารสกัดสมอไทย

การศึกษาครั้งนี้ได้นำผงสมอไทยที่ผ่านการบดแล้วมาสกัดด้วย 95 % ethanol พบว่าสารสกัดที่ได้มีสีน้ำตาล เขียว ขึ้นหิดและมี %yield เท่ากับ 13.16 จากนั้นนำสารสกัดที่ได้มาเตรียมสมุนไพรตามสูตรตำรับทั้ง 4 สูตร ผลการทดสอบพบว่าสมุนไพรจากสารสกัดสมอไทยตำรับ 1 และ 2 มีลักษณะทางกายภาพเป็นสมุนไพรแห้งสีเหลืองอ่อน เนื้อสมุนไพรปราศจากกลิ่นเหม็น ส่วนสมุนไพรจากสารสกัดสมอไทยตำรับ 3 และ 4 มีลักษณะทางกายภาพเป็นสมุนไพรสีน้ำตาล เนื้อสมุนไพรปราศจากกลิ่นเหม็น

3.2 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH radical scavenging assay

ผลการศึกษา พบว่า ตำรับสมุนไพรจากสารสกัดสมอไทยที่ให้ค่าอนุมูลอิสระสูงที่สุด (ค่า EC_{50} ต่ำที่สุด) คือ ตำรับ 4 รองลงมาคือ ตำรับ 3, 2 และ 1 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน (Ascorbic acid) รายละเอียดแสดงในตาราง 2

ตาราง 2 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH ของตำรับสมุนไพรจากสารสกัดสมอไทย (n=5)

ตัวอย่าง	ค่า EC_{50} (ไมโครกรัม/มิลลิตร)
1	28.34±2.71 ^d
2	23.97±1.14 ^c
3	21.45±1.72 ^b
4	19.91±1.49 ^b
Ascorbic acid (สารมาตรฐาน)	5.78±0.80 ^a

^a แสดงผลในรูปค่าเฉลี่ย± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($p < 0.05$) ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c,...) ในแนวตั้งเดียวกัน ถ้าต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P < 0.05$)

3.3 การทดสอบค่า pH

นำสมุนไพรจากสารสกัดสมอไทยทั้ง 4 ตำรับ มาวัดค่า pH โดยใช้เครื่อง pH meter ผลการทดสอบพบว่าทุกตำรับมี pH เฉลี่ย ประมาณ 7 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน รายละเอียดแสดงในตาราง 3

ตาราง 3 การทดสอบค่า pH (n=3)

ตัวอย่าง	ค่า pH
1	7.81±0.04
2	7.42±0.03
3	7.36±0.05
4	7.48±0.03

3.4 การทดสอบปริมาตรฟอง

จากการทดสอบปริมาตรฟองของสบู่ก้อนขุนจากสารสกัดสมอไทย พบว่า ทุกตัวรับมีปริมาตรฟองลดลง และตัวรับที่ 2 มีปริมาตรฟองลดลงมากที่สุด รายละเอียดแสดงในตาราง 4

ตาราง 4 การทดสอบปริมาตรฟอง (n=3)

ตัวอย่าง	flash foam(มิลลิลิตร)	foam drainage (มิลลิลิตร)
1	15.33±0.58	10.67±1.15
2	15.00±1.00	10.33±0.58
3	15.67±1.53	11.00±1.00
4	14.67±1.15	10.67±0.58

3.5 การทดสอบความปลอดภัยทางจุลินทรีย์ (Total aerobic plate count)

จากการทดสอบความปลอดภัยทางจุลินทรีย์ของตัวรับสบู่ก้อนขุนจากสารสกัดสมอไทยทั้ง 4 ตัวรับ พบว่า ไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ในทุกตัวอย่าง ตามเกณฑ์มาตรฐาน[17]

3.6 การทดสอบความชอบโดยรวมของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ ด้วย Hedonic 9 scale และการวิเคราะห์การตัดสินใจของผู้บริโภค

จากการทดสอบความชอบโดยรวมของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ พบว่า ตัวรับที่ 2 มีความชอบด้านสีมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.70±0.98 (ชอบเล็กน้อย) และตัวรับที่ 4 มีความชอบด้านสีน้อยที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.20±1.13 (ไม่ชอบปานกลาง) และเมื่อนำมาเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่าทั้ง 4 ตัวรับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ด้านกลิ่น พบว่า ตัวรับที่ 2 มีความชอบด้านกลิ่นมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.06±0.98 (ชอบเล็กน้อย) และตัวรับที่ 3 มีความชอบด้านกลิ่นน้อยที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.56±1.07 (เฉยๆ) และเมื่อนำมาเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่าทั้ง 4 ตัวรับ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ด้านลักษณะทางเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ พบว่า ตัวรับที่ 2 มีความชอบด้านลักษณะทางเนื้อสัมผัสมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.00±1.08 (ชอบปานกลาง) และตัวรับที่ 4 มีความชอบด้านลักษณะทางเนื้อสัมผัสน้อยที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67±1.35 (ไม่ชอบเล็กน้อย) และเมื่อนำมาเปรียบเทียบทางสถิติ พบว่าตัวรับที่ 1 และ 3

ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับตำรับที่ 2 และ 4 ($P<0.05$)

ด้านความชอบของผลิตภัณฑ์โดยรวมพบว่า ตำรับที่ 2 มีความชอบของผลิตภัณฑ์มากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.80 ± 0.96 (ชอบเล็กน้อย) และตำรับที่ 4 มีความชอบของผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.60 ± 0.93 (ไม่ชอบมาก) และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับทางสถิติ พบว่าทั้ง 4 ตำรับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) รายละเอียดแสดงในตาราง 5

ตาราง 5 การทดสอบความชอบโดยรวมของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ (n=30)

ตัวอย่าง	ด้านสี	ด้านกลิ่น	ลักษณะทางเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์	ความชอบของผลิตภัณฑ์โดยรวม
1	6.10 ± 1.18^c	5.73 ± 1.08^a	5.80 ± 1.19^b	5.70 ± 1.06^c
2	6.70 ± 0.98^d	6.06 ± 0.98^a	7.00 ± 1.08^c	6.80 ± 0.96^d
3	4.10 ± 1.12^b	5.56 ± 1.07^a	5.53 ± 1.14^b	4.33 ± 0.92^b
4	3.20 ± 1.13^a	5.70 ± 1.05^a	4.67 ± 1.35^a	2.60 ± 0.93^a

^a แสดงผลในรูปค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($p < 0.05$) ตัวเลขที่มีกลุ่มอักษร (a, b, c,...) ในแนวตั้งเดียวกัน ถ้าต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P<0.05$)

การวิเคราะห์การตัดสินใจซื้อ พบว่า จากจำนวนผู้รับการทดสอบ 30 คน แบ่งเป็นเพศชาย 6 คน คิดเป็นร้อยละ 20 และเพศหญิง 24 คน คิดเป็นร้อยละ 80 โดยมีผู้บริโภคที่ตัดสินใจซื้อล่วงหน้าก่อนจากสารสกัดสมอไทย ตำรับที่ 2 มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 50 และตำรับที่ผู้บริโภคตัดสินใจซื้อน้อยที่สุด คือตำรับที่ 4 รายละเอียดแสดงในตาราง 6

ตาราง 6 การวิเคราะห์การตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค (n=30)

กลุ่มตัวอย่าง	ตำรับ			
	1	2	3	4
ร้อยละในการตัดสินใจซื้อ (คน)	40.00 (12)	50.00 (15)	13.33 (4)	0 (0)
ร้อยละในการตัดสินใจไม่ซื้อ (คน)	60.00 (18)	50.00 (15)	86.67 (26)	100 (30)

*คิดเป็น เพศชาย ร้อยละ 20 (n=6) และ เพศหญิง ร้อยละ 80 (n=24)

4. อภิปรายผล

การพัฒนาตำรับสมุนไพรจากสารสกัดสมอไทยทั้ง 4 ตำรับ มีลักษณะทางกายภาพเป็นสมุนไพรเนื้อสมุนไพรแห้งไม่เยิ้มเหลว ในตำรับที่ 1 และ 2 มีสีเหลือง ตำรับ 3 และ 4 มีสีน้ำตาล

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH พบว่า คำรับสมุนไพรขึ้นจากสารสกัดสมอไทยที่ให้ค่าอนุมูลอิสระสูงที่สุด (ค่า EC_{50} ต่ำที่สุด) คือ คำรับ 4 รองลงมาคือ คำรับ 3, 2 และ 1 ตามลำดับ เห็นได้ว่าสารสกัดที่มีฟีนอลิกก็จะมียุทธธรมูลอิสระด้วย และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระมีความสัมพันธ์กับปริมาณฟีนอลิก[4]

การทดสอบค่า pH ของสมุนไพรขึ้นจากสารสกัดสมอไทยทั้ง 4 คำรับ อยู่ในช่วง 7.36 – 7.81 อย่างไรก็ตามค่า pH ของทุกคำรับมีค่าไม่เกิน 10 ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดตามลักษณะของสมุนไพรที่ดี[18]

การทดสอบปริมาตรฟองของสมุนไพรขึ้นจากสารสกัดสมอไทย พบว่า ทุกคำรับมี foam drainage ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับ flash foam โดยคำรับที่มีการลดลงของปริมาตรฟองมากที่สุดคือ คำรับ 2 ส่วนคำรับที่มีการลดลงของปริมาตรฟองน้อยที่สุดคือ คำรับ 4 ตามคุณสมบัติที่ดีของสมุนไพรว่า ฟองสมุนไพรที่เกิดขึ้นควรมีลักษณะละเอียด และต้องคงตัวอย่างน้อย 2-5 นาที[18] อย่างไรก็ตาม ไม่ได้มีการกำหนดลักษณะการเกิดฟองของสมุนไพรไว้เป็นมาตรฐาน[19]

การทดสอบความปลอดภัยทางจลนทฤษฎี พบว่า คำรับสมุนไพรขึ้นจากสารสกัดสมอไทยทั้ง 4 คำรับ ไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน[17]

การทดสอบความชอบโดยรวมของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ และการวิเคราะห์การตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค พบว่าผู้บริโภคชอบและตัดสินใจซื้อสมุนไพรขึ้นจากสารสกัดสมอไทยในคำรับที่ 2 มากที่สุด ซึ่งเป็นสมุนไพรขึ้นที่มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีและมีคุณภาพตามข้อกำหนดลักษณะของสมุนไพรที่ดี แต่ในคำรับที่ 2 มียุทธธรมูลอิสระน้อย จึงอาจต้องมีการศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์สมุนไพรขึ้นจากสารสกัดสมอไทยเพิ่มเติม เพื่อจะนำไปสู่การผลิตผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ต่อไป

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, “การศึกษาวิจัยเศรษฐกิจสมุนไพร”, สำนักงานวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2549
- [2] กรมพัฒนาการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก, “แผนแม่บทแห่งชาติว่าด้วยการพัฒนาสมุนไพร ฉบับที่ 1 พ.ศ. 2560-2564”, กรมพัฒนาการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก กระทรวงสาธารณสุข; 2559
- [3] นพมาศ สุนทรเจริญนนท์. (2014, Sep.). ครีมนัตริผลา จากงานวิจัยสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง ผลงานวิจัยเพื่อสังคม คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล [Online]. Available: <http://www.pharmacy.mahidol.ac.th/th/researchknowledge/article/22/html>
- [4] C.A. Rice-Evan, N.J. Miller and G. Paganga., “Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids,” **Free Radical Biology and Medicine.**, vol.20 Issue 7, 1996, pp933-956
- [5] A. Deb, S. Barua, B. Das., “Pharmacological activities of Baheda (*Terminalia bellerica*): A review,” **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry.**, vol.5(1), 2016, pp194-197
- [6] X.L. Mouming Zhao, J. Wang, B. Yang and Y. Jiang., “Antioxidant activity of methanolic extract of emblica fruit (*Phyllanthus emblica* L.) from six regions in China,” **Journal of Food Composition and Analysis.**, vol.21 Issue 3, 2008, pp219-228

- [7] T. Anggraini, S.D. Ismanto and Dahlia., “The making of Transparent Soap From Green Tea Extract,” **International Journal on Advance Science Engineering Information Technology**, vol.5 no.4, 2015, pp 349-356
- [8] J. Hu, X. Yan, W. Wang, H. Wu, L. Hua and L. Du., “Antioxidant Activity *In Vitro* of Three Constituents from *Caesalpinia sappan* L,” **Tsinghua Science & Tcehnology**, vol.14 Issue 13, 2008, pp 474-479
- [9] กองการประกอบโรคศิลปะ สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข. “ตำราแพทย์แผนโบราณทั่วไป สาขาเภสัชกรรม”. ไม่ระบุปีที่พิมพ์และสำนักพิมพ์
- [10] S. Saha and R.J. Verma. “Antioxidant activity of polyphenolic extract of *Terminalia chebula* Retzius fruits,” **Tsinghua Science & Tcehnology**, vol.10 Issue 6, 2016, pp 805-812
- [11] H.Y. Cheng, T.C. Lin, C.M. Yang and C.C. Lin. “Antioxidant and free radical scavenging activities of *Terminalia chebula*.” **Biological & Pharmaceutical bulletin**, 29(6), 2003, pp 1331-1335.
- [12] R. Singh, B. Singh, N. Kumarb and S. Arora. “Antioxidant activity of Triphala combination of *Terminalia Chebula*, *Terminalia Bellerica* and *Emblica Officinalis*.” **Journal of Food Biochemistry**. Vol.34 Issue 1, 2010, pp 222-223.
- [13] Natural Ingredient Resource Center, “Soap Making Made Easy. A Beginner’s Giude To Making Soap., 2009, pp 45-53
- [14] Y.H Chu, C.L Chang and H.F Hsu, “Flavonoid content of several vegetable and their antioxidant activity.” **Journal of the Science of Food and Agriculture**, vol.80(5), pp 561-566
- [15] ศิริพร พบความสุข, ศิวพร ศรีเทียมเงิน. โครงการวิจัยการพัฒนาศูนย์รักษาสิวจากสารสกัดขมิ้นชัน. วิจัยปริญญาเภสัชศาสตรบัณฑิต. มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2547.
- [16] ดารณี อนุสรณ์ธีรกุล, “การพัฒนาก่อนใส่ผสมน้ำมันหอมระเหยตะไคร้และประเมินความปลอดภัยในอาสาสมัครสุขภาพดี.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2551
- [17] ประกาศกระทรวงสาธารณสุข, “เรื่อง กำหนดลักษณะของเครื่องสำอางที่ห้ามผลิต นำเข้า หรือขาย, ราชกิจจานุเบกษา, 2559
- [18] พิมพ์ ศรีจักรากิมุข. **เครื่องสำอางเพื่อความสะอาด**. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2529
- [19] สุดารัตน์ ศรีเพชรกุล, กนกวรรณ พันธุ์ดี, แสงชัย เอกประทุมชัย. การใช้วัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์เป็นส่วนผสมในการผลิตสบู่. **วารสารวิจัยและพัฒนา มจร**. 2556; 36(4): 439-450

แบบจำลองการพยากรณ์น้ำหนักสดคอสตึกโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม
THE ORTIGIA COS' WEIGHT PREDICTION BY USING ARTIFICIAL
NEURAL NETWORK

จุฬาวลี มณีเลิศ

ภาควิชาคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

E-mail: chulawalee@gmail.com

สนธยา อินแปง

ภาควิชาคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

E-mail: ballmaidee@gmail.com

พรwana รัตนชูโชค

ภาควิชาคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

E-mail: pornwana.rat@gmail.com

สมรวี อร่ามกุล

ภาควิชาคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

E-mail: somrawee@cmru.ac.th

ประธาน คำจันะ

ภาควิชาคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

E-mail: prathan@g.cmru.ac.th

บทคัดย่อ

การสร้างแบบจำลองการพยากรณ์น้ำหนักสดคอสตึกโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์น้ำหนักสดคอสตึกโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม และเพื่อประเมินผลของโมเดลการพยากรณ์การปลูกสดคอสตึก มีการเก็บรวบรวมข้อมูลทางสถิติเกี่ยวกับปัจจัยการเจริญเติบโตของสัด จำนวน 2000 รายการ ซึ่งประกอบด้วย 5 ปัจจัยหลัก คือ อุณหภูมิ ค่าพีเอช ปุ๋ย จำนวนผักที่รอด น้ำหนักของสัดที่เก็บ นำมาวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมเวก้า เพื่อสร้างแบบจำลองการพยากรณ์น้ำหนักสดคอสตึก ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบไม่ย้อนกลับ และวัดประสิทธิภาพของโมเดลแบบ 5-fold cross-validation

ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลองการพยากรณ์น้ำหนักสดคอสตึกด้วยโครงข่ายประสาทเทียม มีผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลให้ค่าความถูกต้อง 85.00 % ซึ่งแสดงว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาท

เทียมสามารถใช้ในการพยากรณ์น้ำหนักสลัดคอสดิเกียได้แม่นยำ และนำไปประยุกต์ใช้กับผลผลิตทางการเกษตรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องได้ในอนาคต

คำสำคัญ : แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม การพยากรณ์ สลัดคอสดิเกีย ผักกาดคอสด

ABSTRACT

This research aims to develop and evaluate a model to predict the weight of ortigia Cos using feed-forward artificial neural network. The 2000 records of main factors for ortigia Cos growth (e.g. temperature, pH value, Electric Conductivity value of hydroponics fertilizer, total of growth and total crop weight) were collected as parameter values of the model. The research has created a model by employing WEKA software. The efficiency of the model was calculated using 5-fold cross-validation for evaluating the model.

The finding indicates that the average accuracy percentage of the model's efficiencies comparison is 85.00%. The result shows that the model can predict the ortigia cos' weight with high degree of accuracy. It also shows the model can be applied for other agriculture products in the future.

KEYWORDS: Artificial Neural Network Model, Forecasting, Ortigia Cos, Cos Lettuce

1. บทนำ

ผักกาดหวาน หรือผักกาดคอสด (Cos Lettuce) หรือสลัดคอสดิเกีย (Ortigia Cos) ซึ่งเป็นผักสลัดที่คนไทยนิยมรับประทานกันมาก ทั้งนี้เป็นผักที่มีคุณค่าทางอาหาร และให้รสชาติกรอบแต่มีรสขมปลายลิ้นเล็กน้อย เต็มไปด้วยวิตามินซี ไฟเบอร์สูง ช่วยป้องกันโรคโลหิตจาง และช่วยให้เส้นเลือดฝอยแข็งแรง ซึ่งสลัดคอสดิเกียเป็นพันธุ์พืชที่ต้องการสภาพอากาศเย็น และอยู่ในอุณหภูมิที่เหมาะสม ระหว่าง 10 – 24 °C แต่ถ้าในสภาพอุณหภูมิอากาศสูง การเจริญเติบโตทางใบจะลดลง และพืชจะสร้างสารกลัยนิน หรือยางมาก เส้นใยสูง เหนียว มีรสขม และได้ผักสลัดคอสดิเกียที่มีน้ำหนักไม่แน่นอน ทำให้เกิดปัญหาได้ผลผลิตของสลัดคอสดิเกียไม่เป็นที่ต้องการ

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network - ANNs) ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในทุกสาขาวิชา เช่น ด้านกายภาพภาพและเทคโนโลยีสื่อ ด้านอากาศและอุตุนิยมวิทยา ด้านเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ ด้านอุทกวิทยา ด้านการพยากรณ์ ด้านเศรษฐกิจและการเงิน ที่นิยมใช้ในการพยากรณ์ข้อมูล เนื่องจากโครงข่ายประสาทเทียมไม่สนใจเงื่อนไข ความสัมพันธ์ของตัวแปร การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม คือเมื่อมีข้อมูลนำเข้า เข้าไปโครงข่ายประสาทเทียมจะให้ค่าน้ำหนักในแต่ละข้อมูลนำเข้า จากนั้นโครงข่ายประสาทเทียมจะทำการรวมแล้วส่งผลออกมาในรูปผลลัพธ์ ที่จะทำงานได้เองโดยผ่านกระบวนการเรียนรู้ของระบบ ผู้ที่นำไปใช้เพียงแต่หารูปแบบโครงข่ายที่เหมาะสมที่สุดผ่านการทดลองกับชุดฝึกสอน (training data set) ทำให้ได้ประสิทธิภาพในการพยากรณ์ที่พึงพอใจ โดยมีงานวิจัยที่ให้ข้อสรุปที่เหมือนกันคือ โครงข่ายประสาทเทียมมีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ที่แม่นยำกว่าแบบจำลองทางสถิติ ARIMA และ GARCH (วชิราภรณ์ และสุรัชย์, 2556) และมีงานวิจัยของ ทวี (2557) ที่ศึกษาบทบาทของการใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับภูมิศาสตร์ในประเทศไทย

พบว่า ในปัจจุบันงานวิจัยที่มีการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับกลุ่มมนุษย์และเศรษฐกิจมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น โดยมีการนำมาใช้ในการพยากรณ์จำนวนผู้ป่วย ราคาสินค้าต่างๆ และพยากรณ์ปริมาณการส่งออกข้าวไทย และสรุปได้ว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (แบบจำลอง ANN) มีความแม่นยำกว่าแบบจำลองทางเศรษฐมิติ (แบบจำลอง AIDS และ LA-AIDS) โดยจุดเด่นของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมคือการเรียนรู้จากพฤติกรรมความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ไม่ใช้ความสัมพันธ์แบบ Linear relationship ได้เป็นอย่างดี ส่วน กาญจนนา (2551) ใช้พยากรณ์ผลผลิตลำไย โดยการใช้ข้อมูลกลุ่มชุดดินและข้อมูลสภาพอากาศ (อุณหภูมิ ปริมาณแสงแดด และปริมาณฝนเฉลี่ยจากการ Interpolate) ซึ่งแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม มีความแม่นยำร้อยละ 90.14 สุภัทธร หัสไชย และอาทิตย์ (2557) ศึกษาแบบจำลองการเจริญเติบโต และผลผลิตของถั่วเขียวโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมพบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีประสิทธิภาพมากในการทำนายความสูง การเลือกตัวแบบพยากรณ์ผลผลิตการเกษตรที่เหมาะสมของ นรวิวัฒน์ และนันทชัย (2559) ได้ศึกษาวิธีการพยากรณ์ผลผลิตการเกษตรของพืช 4 ชนิด ได้แก่ ข้าวนาปี ข้าวนาปรัง มันสำปะหลัง และสับปะรดพบว่าวิธีโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยต่ำที่สุดในพืชทุกชนิด และ สุกโชค (2559) กล่าวว่าในด้านการเกษตรมีการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้กันอย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็นการใช้เพื่อการทำนายค่าของผลลัพธ์ที่อาจเกิดขึ้น การควบคุมที่สิ่งแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ และการจัดจํารูปแบบที่มีความไม่แน่นอน ซึ่งส่วนแล้วแต่ให้ค่าความแม่นยำที่ดีไม่ด้อยไปกว่าวิธีอื่น

ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมมาพัฒนาระบบแบบจำลองการพยากรณ์น้ำหนักรสสดคอกสดไก่ โดยจะเก็บรวบรวมข้อมูลทางสถิติของปัจจัยการเจริญเติบโตของผักสลัด แล้วนำข้อมูลไปพยากรณ์น้ำหนักของสลัดให้มีความแม่นยำ ดังนั้นการพยากรณ์น้ำหนักสลัดคอกสดไก่จะเป็นประโยชน์ต่อการเตรียมทรัพยากรเพื่อกำหนดต้นทุนในการผลิต ให้เหมาะสมกับความต้องการของผู้บริโภค

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- (1) เพื่อพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์น้ำหนักสลัดคอกสดไก่โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม
- (2) เพื่อประเมินผลของโมเดลการพยากรณ์การปลูกสลัดคอกสดไก่

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษาปัญหา ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า การผลิตสลัดคอกสดไก่ด้วยวิธีปลูกผักไฮโดรโปนิคส์นั้นหากต้องการให้ได้ปริมาณที่เหมาะสมกับความต้องการมีปัจจัยหลายส่วน ดังนั้นหากสามารถคาดเดาปริมาณของผลผลิตจะทำให้สามารถจัดเตรียมต้นทุนของปัจจัยต่างๆ ได้อย่างเหมาะสม ซึ่งคณะผู้วิจัยได้ออกแบบกรอบแนวคิดการวิจัยของการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์น้ำหนักสลัดคอกสดไก่โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถแบ่งเป็น 3 กระบวนการดังนี้

3.1 การรวบรวมและเตรียมข้อมูล(Data collection and preparation)

ในการปลูกสลัดคอกสดไ้ผ่านวิธีการปลูกผักไฮโดรโปนิคส์นั้น จากการสอบถามผู้เชี่ยวชาญในการปลูกผักไฮโดรโปนิคส์จากดีโฮฟาร์ม ตั้งที่ ตำบลสันผีเสื้อ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ได้อธิบายว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณของผลผลิตขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ ค่าของปุ๋ย ค่าพีเอชของน้ำ และจำนวนของผักที่รอดใน 1

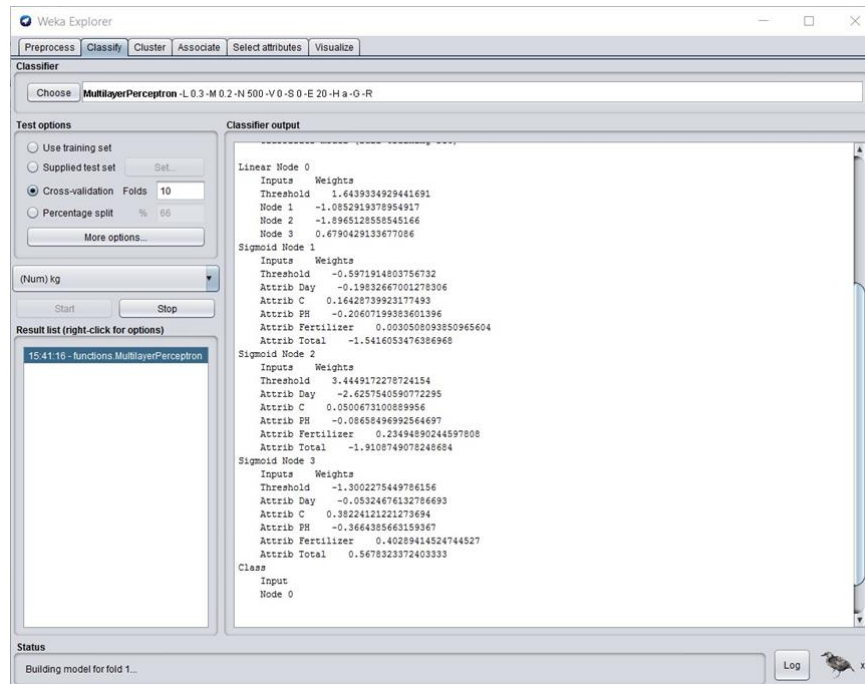
กระเพาะปลูกทำให้น้ำหนักของผลผลิตของผักไฮโดรโปนิคส์นั้นจึงไม่เท่ากันในแต่ละรอบการปลูก คณะผู้วิจัยจึงได้เก็บข้อมูลปัจจัยการเจริญเติบโตของสลัดคอสอดิเกียในแต่ละกระเพาะของการปลูกซึ่ง 1 กระเพาะจะประกอบไปด้วยผักจำนวน 122 ต้น ทำให้ได้ค่าของจำนวนวันที่ปลูกผัก อุณหภูมิ ค่า PH ของน้ำ ค่าของปุ๋ย จำนวนผักที่รอดในแต่ละวัน และค่าน้ำหนักของสลัด ดังตัวอย่างตารางที่ 1 ซึ่งข้อมูลที่ทำการบินเก็บเป็นจำนวน 2000 ข้อมูลตามวงรอบการเจริญเติบโตของผักสลัดคอสอดิเกียโดยในการเก็บบันทึกข้อมูลใช้เวลาทั้งสิ้น 8 เดือน จาก 3 โรงเรือนของดีโฮฟาร์ม ตั้งที่ตำบลสันผีเสื้อ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

ตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างข้อมูลปัจจัยเจริญเติบโตของสลัดคอสอดิเกีย

วันที่ปลูก	อุณหภูมิ	ค่า PH	ค่าปุ๋ย	จำนวนผักที่รอด	น้ำหนัก
1	33	7.6	0	122	2.8
2	30	7.2	0	122	2.8
3	30	7.2	1510	116	3.0
4	29	7.6	1415	116	3.0
5	26	6.8	1365	104	3.1

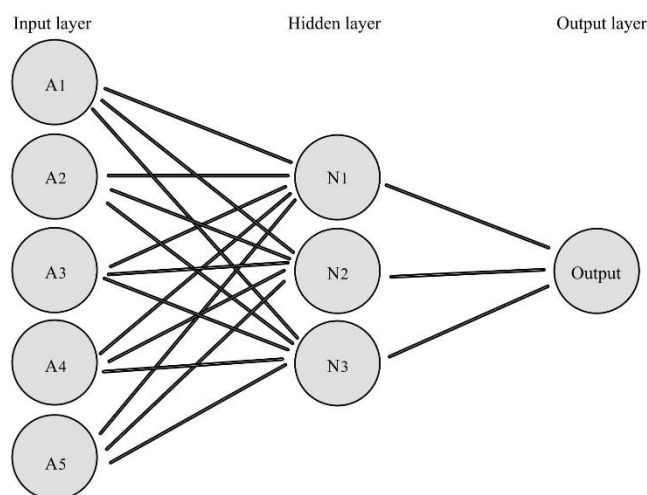
3.2 การพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์(Build forecasting model)

เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลปัจจัยเจริญเติบโตของสลัดคอสอดิเกีย ไปสู่การสร้างแบบจำลองการพยากรณ์น้ำหนักสลัดคอสอดิเกีย จะนำข้อมูลเข้าในโปรแกรมเวก้า เวอร์ชัน 3.8.1 สร้างโมเดลโดยการใช้รูปแบบโครงข่ายประสาทเทียม ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นค่าน้ำหนักของโหนดในแต่ละลำดับชั้น



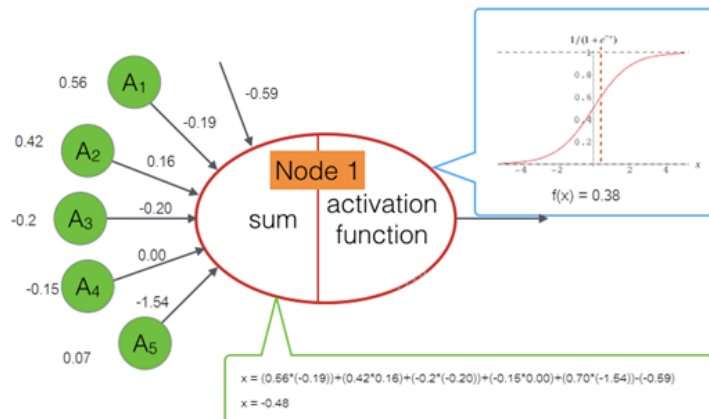
ภาพที่ 1 แสดงค่าน้ำหนักของโหนดในแต่ละลำดับชั้นเมื่อผ่านโปรแกรมเวก้า เวอร์ชัน 3.8.1

เมื่อเข้าสู่ขั้นตอนของการทำนายผลลัพธ์ ก็จะนำแอตทริบิวต์ที่เป็นข้อมูลนำเข้าผ่านกระบวนการดังภาพที่ 2 โดยในชั้นที่ 1(Input node) คือ ปัจจัยของการเจริญเติบโตของสัลดคอสติเกีย ลำดับถัดมาในชั้นที่ 2(Hidden node) คือชั้นที่ 3(Output layer) คือผลลัพธ์ที่ได้เป็นน้ำหนักของสัลดคอสติเกียที่พยากรณ์ได้



ภาพที่ 2 แสดงโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียม

หมายเหตุ. จาก การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคดาต้าไมน์นิงเบื้องต้น (น. 90), โดย เอกสิทธิ์ พัทธวงค์ศักดิ์, 2557, กรุงเทพฯ: เอเชียติคอลการพิมพ์จำกัด.



ภาพที่ 3 แสดงการคำนวณค่าในโหนดที่ 1 ใน Hidden layer ของโครงข่ายประสาทเทียม
หมายเหตุ. จาก การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคดาต้าไมนนิ่งเบื้องต้น (น. 94), โดย เอกสิทธิ์ พัทธวงษ์ศักดิ์, 2557, กรุงเทพฯ: เอเชียติคอลการพิมพ์จำกัด.

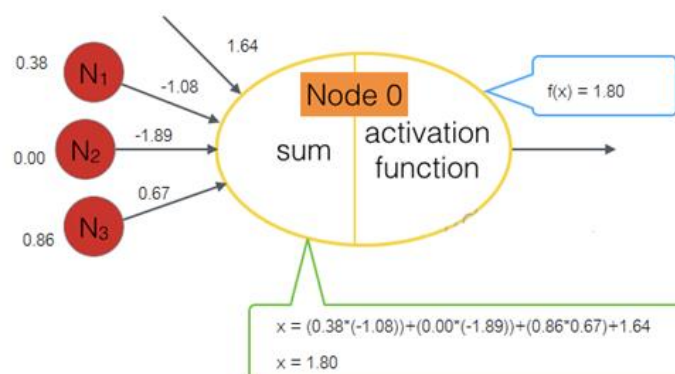
จากภาพที่ 3 เป็นขั้นตอนของการแปลงปัจจัยของการเจริญเติบโตของสัลคอสอดิเกีย(Input node) ประกอบไปด้วย วันที่ปลูกผัก(A1) อุณหภูมิ(A2) ค่า PH ของน้ำ(A3) ค่าของปุ๋ย(A4) จำนวนผักที่รอดในแต่ละวัน(A5) โดยใช้สมการ

$$\text{range} = (\text{max}-\text{min})/2$$

$$\text{base} = (\text{max}+\text{min})/2$$

$$\text{norm_attribute} = (\text{attribute}-\text{base})/\text{range}$$

โดยที่ค่า max คือค่าที่มากที่สุด และ min คือค่าที่น้อยสุดของแต่ละแอตทริบิวต์ จากนั้น นำค่าแอตทริบิวต์ที่แปลงแล้วมาใส่ในสมการเพื่อส่งไปยัง activate function โดยใช้ sigmoid function ค่าของ $f(x) = 1/(1+e^{-x})$ เมื่อผ่าน activate function ทำให้ได้ค่าน้ำหนักของ โหนดในชั้นที่ 2(Hidden node) ซึ่งประกอบไปด้วย N1, N2 และ N3 ในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงการคำนวณค่า ใน Output layer ของ โครงข่ายประสาทเทียม
หมายเหตุ. จาก การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคดาต้าไมนนิ่งเบื้องต้น (น. 95), โดย เอกสิทธิ์ พัทธวงษ์ศักดิ์, 2557, กรุงเทพฯ: เอเชียติคอลการพิมพ์จำกัด.

ส่วนของชั้นที่ 3(Output layer) เป็นการคำนวณจากผลรวมของค่าถ่วงน้ำหนักกับค่าที่ได้จากแอตทริบิวต์ที่ผ่านการคำนวณของชั้นที่ 2(Hidden layer) และเมื่อนำมาผ่าน activate function โดยใช้ sigmoid function เช่นเดียวกับชั้นที่ 2(Hidden layer) ผลลัพธ์ของโหนดสุดท้าย(Output layer) คือ ค่าน้ำหนักของสัดคอสอดิเกียที่พยากรณ์ได้จากแบบจำลอง

3.3 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองการพยากรณ์(Evaluation and forecasting model)

การวิจัยครั้งนี้ได้มีการวัดประสิทธิภาพด้วยวิธี Cross-validation โดยในงานวิจัยนี้ได้แบ่งข้อมูลออกเป็น 5 ชุด($k=5$) เนื่องจากปริมาณข้อมูลที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยมีจำนวน 2000 ข้อมูลทำให้แบ่งข้อมูลเป็น 5 ชุด ชุดละ 400 ข้อมูล โดยใช้ข้อมูลส่วนที่เหลือ($k-1$) จะนำไปสร้างแบบจำลองการพยากรณ์น้ำหนักสัดคอสอดิเกีย ส่วนข้อมูลที่เหลือ 1 ชุดข้อมูลจะนำมาใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของโมเดลตามลำดับดังภาพที่ 5

Traning set				
2	1	1	1	1
3	3	2	2	2
4	4	4	3	3
5	5	5	5	4
Test set				
1	2	3	4	5

ภาพที่ 5 แสดงการแบ่งข้อมูลเป็น 5-Fold Cross-Validation

หมายเหตุ. จาก การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคดาต้าไมนนิ่งเบื้องต้น (น. 58), โดย เอกสิทธิ์ พัทธวงษ์ศักดิ์, 2557, กรุงเทพฯ: เอเชียติคอลการพิมพ์จำกัด.

รอบที่ 1 ใช้ข้อมูลส่วนที่ 2,3,4 และ 5 สร้างแบบจำลอง และใช้ข้อมูลส่วนที่ 1 ในการทดสอบความถูกต้องของการพยากรณ์

รอบที่ 2 ใช้ข้อมูลส่วนที่ 1,3,4 และ 5 สร้างแบบจำลอง และใช้ข้อมูลส่วนที่ 2 ในการทดสอบความถูกต้องของการพยากรณ์

รอบที่ 3 ใช้ข้อมูลส่วนที่ 1,2,4 และ 5 สร้างแบบจำลอง และใช้ข้อมูลส่วนที่ 3 ในการทดสอบความถูกต้องของการพยากรณ์

รอบที่ 4 ใช้ข้อมูลส่วนที่ 1,2,3 และ 5 สร้างแบบจำลอง และใช้ข้อมูลส่วนที่ 4 ในการทดสอบความถูกต้องของการพยากรณ์

รอบที่ 5 ใช้ข้อมูลส่วนที่ 1,2,3 และ 4 สร้างแบบจำลอง และใช้ข้อมูลส่วนที่ 5 ในการทดสอบความถูกต้องของการพยากรณ์

เมื่อทำการทดสอบครบ 5 รอบแล้ว ก็ได้ผลลัพธ์ประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ได้ มาหาค่าเฉลี่ย ทำให้ได้ประสิทธิภาพของโมเดลแบบจำลองการพยากรณ์น้ำหนักสัดคอสอดิเกียโดยการใช้โครงข่ายประสาทเทียม

4. สรุปผลการวิจัย

สรุปผลการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์น้ำหนักสัลดคอสดิเกีย โดยใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบไม่ย้อนกลับ (Feedforward Network) การสร้างแบบจำลองการพยากรณ์น้ำหนักสัลดคอสดิเกียโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม โปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ เวก้า โดยมีตัวแปรที่เป็นปัจจัยการเจริญเติบโตของสัลดซึ่งได้จากการสอบถามผู้เชี่ยวชาญ ได้แก่ อุณหภูมิ ค่าพีเอช ปุ๋ย จำนวนผักที่รูด น้ำหนักของสัลดที่เก็บ การวิจัยครั้งนี้ได้มีการวัดประสิทธิภาพของโมเดลโดยใช้การวัดประสิทธิภาพแบบ 5-fold cross-validation ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลให้ค่าความถูกต้อง 85.00 %

ตารางที่ 2 ตารางแสดงผลการเปรียบเทียบของ โมเดล

ข้อมูลชุดที่	เปรียบเทียบกับข้อมูลชุดที่	ผลการเปรียบเทียบ
1	2,3,4,5	74.50 %
2	1,3,4,5	94.75 %
3	1,2,4,5	85.75 %
4	1,2,3,5	84.75%
5	1,2,3,4	85.50%
ค่าเฉลี่ย		85.00 %

5. อภิปรายผล

ระบบแบบจำลองการพยากรณ์น้ำหนักสัลดคอสดิเกียโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบไม่ย้อนกลับ ระบบแบบจำลองการพยากรณ์ที่พัฒนาสามารถเก็บรวบรวมข้อมูลทางสถิติ ของปัจจัยการเจริญเติบโตของผักสัลด สามารถนำไปใช้ประโยชน์กับงานทางด้านการเกษตร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุภโชค (2559) การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมกับงานด้านการเกษตร นิยมใช้ในการหาแบบจำลอง การทำนายค่าผลลัพธ์ที่อาจเกิดขึ้น การควบคุมที่สิ่งแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ซึ่งล้วนแล้วแต่ให้ค่าความแม่นยำที่ไม่ค่อยไปกว่าวิธีอื่น

ระบบแบบจำลองการพยากรณ์ที่พัฒนาอยู่ในรูปแบบของโปรแกรมประยุกต์ สามารถใช้งานได้ง่าย สามารถจัดการข้อมูลโหนดที่ใช้สำหรับการพยากรณ์ได้ และระบบยังสามารถเปรียบเทียบข้อมูลเพื่อหาความแม่นยำของโมเดลได้ จากการทดลองใช้ระบบโดยนำข้อมูลการปลูกผักสัลดคอสดิเกียไปพยากรณ์น้ำหนักก็มีความแม่นยำ มีผลการวัดประสิทธิภาพของโมเดลให้ค่าความถูกต้อง 85.00 % สอดคล้องกับงานวิจัยของ กาญจนา (2551) ใช้พยากรณ์ผลผลิตลำไย โดยการใช้ข้อมูลกลุ่มชุดดินและข้อมูลสภาพอากาศ ซึ่งแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม มีความแม่นยำ และงานวิจัยของ หุสดี และกรวัฒน์ (2560) ได้นำเสนอแบบจำลองการพยากรณ์ราคามันสำปะหลัง โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นมีประสิทธิภาพดีที่สุด และสามารถนำไปประยุกต์ใช้และต่อยอดในการพยากรณ์ราคามันสำปะหลังได้ดีกว่าวิธีอื่นๆ

งานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการพยากรณ์ผลผลิตการเกษตรของพืชชนิดอื่นๆ และองค์ความรู้ที่ได้มีประโยชน์ต่อภาครัฐ เกษตรกร และผู้ที่เกี่ยวข้อง ในการนำค่าพยากรณ์ที่มีความถูกต้องไปใช้ในการบริหารจัดการ วางแผนการเพาะปลูกที่เหมาะสมได้

6. เอกสารอ้างอิง

- กาญจนา ทองบุญนาค. (2551). การบูรณาการโครงข่ายใยประสาทเทียมและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อการพยากรณ์ผลผลิตทางการเกษตร: กรณีศึกษาผลผลิตลำไยในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ และลำพูน ประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์ดุสิตบัณฑิต (ภูมิสารสนเทศ). นครราชสีมา: สำนักวิชาการรับรู้ระยะไกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ทวี ชัยพิมลสิน. (2557). บทบาทของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับงานวิจัยทางด้านภูมิศาสตร์ในประเทศไทย. วารสารสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 17. 315-327.
- นรวัฒน์ เหลืองทอง และนันทชัย กานตานันทะ. (2559). การเลือกตัวแบบพยากรณ์ผลผลิตการเกษตรที่เหมาะสม. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 24(3). 370-381.
- สุสดี บุญรอด และกรวัฒน์ พลเยี่ยม. (2560). แบบจำลองการพยากรณ์ราคามันสำปะหลังโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 25(3). 533-543.
- วชิราภรณ์ แก้วมาตย์ และ สุรชัย จันทร์จรัส. (2556). การใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์ดัชนีราคาหลักทรัพย์. วารสารวิจัย มข. มส. (บศ.), 1(1). 108-118.
- ศุภโชค แสงสว่าง. (2559). การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมกับงานทางด้านการเกษตร. วารสารวิชาการ พระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 26(2). 319-331.
- ศุภัทธกร คำบ่อ หัสไชย บุญจง และอาทิตย์ ศรีแก้ว. (2557). แบบจำลองการเจริญเติบโต และผลผลิตของถั่วเขียว โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม. เกษตร, 42 (ฉบับพิเศษ 1). 63-68.
- เอกสิทธิ์ พัทธวงศ์ศักดิ์. (2557). การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคดาต้าไมน์นิ่งเบื้องต้น. กรุงเทพมหานคร: เอเชีย ดิจิตอลการพิมพ์จำกัด.

การประยุกต์ใช้เซนเซอร์บนสมาร์ทโฟนในการจัดการเรียนการสอนฟิสิกส์กลศาสตร์

SMARTPHONE SENSORS APPLICATION FOR TEACHING AND LEARNING IN PHYSICAL MECHANICS

ดร.ชาติ ทีณะ

หลักสูตรศึกษาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยสวนดุสิต

E-mail: chat.teeka@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเซนเซอร์บนสมาร์ทโฟนในการจัดการเรียนการสอนฟิสิกส์ เริ่มจากการอธิบายหลักการทำงานของเซนเซอร์วัดค่าความเร่ง วัดการเคลื่อนที่แบบหมุน และการประยุกต์ใช้เซนเซอร์บนสมาร์ทโฟนเป็นเครื่องมือวัดในการทดลองฟิสิกส์กลศาสตร์ เซนเซอร์บนสมาร์ทโฟนสามารถวัดค่าได้อย่างแม่นยำและมีความน่าเชื่อถือสูง นอกจากนี้ได้ยกตัวอย่างการประยุกต์ใช้เซนเซอร์วัดความเร่งและเซนเซอร์วัดการหมุนของการเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ

คำสำคัญ: เซนเซอร์บนสมาร์ทโฟน เซนเซอร์วัดความเร่ง เซนเซอร์วัดการหมุน ฟิสิกส์กลศาสตร์

ABSTRACT

The article presents the study of smartphones sensor technology for teaching and learning in physical mechanics. We start the described the operation function of the accelerometer, gyroscope sensors, and applications smartphone sensors as scientific tools are applied for the teaching and learning laboratory in physical mechanics. The smartphones' sensors are reliable and accurate enough to permit good measurements. Additional, as it is shown with some examples of accelerometer and gyroscope sensors for studies kind of motion.

KEYWORDS: Smartphone Sensor, Accelerometer, Gyroscope Sensor, Physical Mechanics

1. บทนำ

การใช้งานของอุปกรณ์พกพาในทุกระดับการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในทศวรรษที่ผ่านมา เซนเซอร์ที่พบในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ใหม่ ๆ โดยเฉพาะเซนเซอร์บนสมาร์ทโฟน (แอปพลิเคชัน) เหล่านี้สามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือวัดในการทดลองฟิสิกส์ ตัวอย่างเช่น เซนเซอร์วัดความเร่ง (Vogt and Kuhn, 2014; Vogt, Kuhn, and Müller, 2011; Vogt and Kuhn, 2012; González et al, 2015) สามารถนำไปใช้กับ

การทดลองฟิสิกส์เพื่ออธิบายเส้นทางการเคลื่อนที่ของวัตถุในแบบ 3 มิติ (Pereira et al, 2017) นอกจากนี้ยังใช้เป็นเครื่องมือวัดในการทดลองทางวิทยาศาสตร์ที่น่าสนใจและการสาธิตการทดลองทางวิทยาศาสตร์สาขาอื่นได้อย่างมากมาย (Cartwright, 2016)

เทคโนโลยีเซนเซอร์อัจฉริยะบนสมาร์ตโฟน (Smartphone) ในปัจจุบันมีการพัฒนาอย่างรวดเร็วและล้ำสมัย ทั้งเด็กและผู้ใหญ่เข้าถึงอุปกรณ์ต่างๆ เหล่านี้ได้ไม่ยาก เนื่องจากเด็กเป็นวัยแห่งการเรียนรู้ เด็กในยุคนี้ส่วนใหญ่จึงเข้าถึงอุปกรณ์สมาร์ตโฟนได้โดยสะดวก และสามารถใช้อุปกรณ์เหล่านี้ได้อย่างคล่องแคล่ว ปัจจุบันแอปพลิเคชันได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากต่อการดำเนินชีวิตของผู้คนด้านต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านการงาน การติดต่อสื่อสาร รวมทั้งการศึกษา เพราะแอปพลิเคชันดังกล่าวสามารถช่วยให้ผู้คนทำกิจกรรมด้านต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อเทียบกับอดีต อย่างไรก็ตาม แอปพลิเคชันดังกล่าวมีอยู่มากมาย หากไม่มีความรู้ที่เพียงพอคงไม่สามารถใช้แอปพลิเคชันได้อย่างเต็มความสามารถ และเกิดประโยชน์สูงสุด สมาร์ตโฟนเป็นเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความนิยมกันมากในสังคมยุคปัจจุบัน และยังถือเป็นสื่อและนวัตกรรมยุคดิจิทัลสอดคล้องกับยุคไทยแลนด์ 4.0 ที่เน้นการสร้างสื่อดิจิทัลและนวัตกรรมเพื่อให้เกิดการแข่งขันสูงและมีแนวโน้มที่จะถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทำให้ธุรกิจเกี่ยวกับการสร้างแอปพลิเคชัน (Application) สำหรับระบบปฏิบัติการของสมาร์ตโฟนกำลังถูกจับจ้องและกำลังเติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกลายเป็นคลื่นลูกใหม่ด้านเทคโนโลยีนวัตกรรม ด้วยประโยชน์ใช้สอยที่ครบครันบวกกับขนาดเล็กระยะที่รัดกุมของสมาร์ตโฟนจึงทำให้แอปพลิเคชันบนเครื่องสมาร์ตโฟนได้รับความนิยมเป็นอันมากในทุกๆ ระบบปฏิบัติการ โดยเฉพาะการประยุกต์ใช้แอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนทั้งในระบบปฏิบัติการไอโอเอสและแอนดรอยด์กับการออกแบบการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ (Huffling et al., 2014; Sans et al, 2015; Vieyra et al, 2015) และการทดลองในรายวิชาฟิสิกส์ (Kuhn and Vogt, 2014; Oprea and Miron, 2014; Monteiro, Cabeza, and Marti, 2015; Chevrier et al, 2013) นอกจากนี้ยังมีนักวิจัยที่ประยุกต์ใช้เซนเซอร์วัดความเร่งในการทดลองการตกอิสระ (Vogt, Kuhn, and Müller, 2011; Vogt and Kuhn, 2012) การหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของวัตถุที่เคลื่อนที่บนระนาบเอียง (Baldock and Johnson, 2016) การเคลื่อนที่แบบหมุน (Vogt and Kuhn, 2013; Monteiro, Cabeza, and Marti, 2014; Klein et al, 2017; Hochberg et al, 2014; Patrinoopoulos and Kefalis, 2015) การเคลื่อนที่แบบกลิ้ง (Puttharugsa et al, 2016) และการเคลื่อนที่แบบแกว่งกวัด (Castro-Palacio et al, 2013; Vogt and Kuhn, 2012)

ด้วยคุณสมบัติที่ดีของเซนเซอร์บนสมาร์ตโฟนซึ่งสามารถนำมาประยุกต์เป็นเครื่องมือวัดทางวิทยาศาสตร์โดยเฉพาะการทดลองทางฟิสิกส์ (González et al, 2015) เพราะค่าที่วัดได้มีความแม่นยำสูงและข้อมูลที่ได้นั้นมีความน่าเชื่อถือเป็นที่ยอมรับในระดับสากล ดังนั้นจึงมีแนวความคิดนำเอาเซนเซอร์บนสมาร์ตโฟน เช่น เซนเซอร์วัดความเร่ง เซนเซอร์วัดการหมุน เป็นต้น มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบและใช้เป็นเครื่องมือวัดในการทดลองฟิสิกส์กลศาสตร์ เพื่อยังประโยชน์ต่อความรู้ความเข้าใจของผู้เรียนวิชานี้

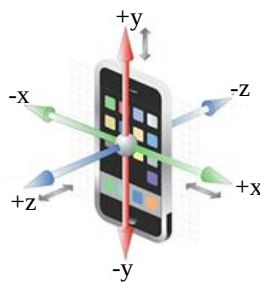
2. วัตถุประสงค์

- (1) เพื่อเข้าใจหลักการทำงานของเซนเซอร์วัดค่าความเร่งและการหมุนบนสมาร์ตโฟน
- (2) เพื่อศึกษาการประยุกต์เซนเซอร์วัดค่าความเร่งและการหมุนบนสมาร์ตโฟนในการจัดการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์

3. เซนเซอร์บนสมาร์ทโฟน

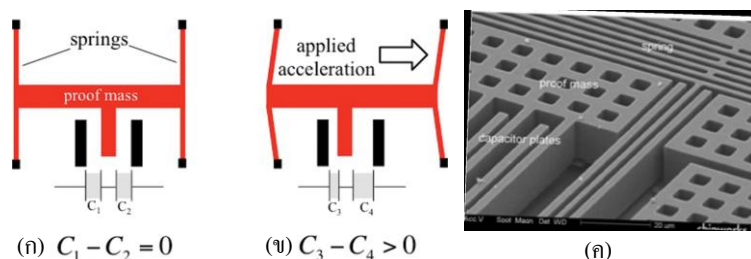
3.1 เซนเซอร์วัดค่าความเร่ง (Accelerometer Sensor)

เซนเซอร์วัดค่าความเร่ง คือ เซนเซอร์ที่มีไว้สำหรับตรวจจับลักษณะการเคลื่อนไหวของสมาร์ทโฟน โดยเป็นการตรวจจับแบบ 3 แกน (3-Axis) ดังแสดงในรูปที่ 1 ประโยชน์ในการใช้งานที่เห็นกันอยู่เป็นประจำ ก็คือการปรับทิศทางการแสดงผล หรือการใช้งานที่ต้องอาศัยการเอียงเครื่องไปในทิศทางต่างๆ เช่น ไม่ว่าเราเอียงเครื่องไปทางไหน หน้าจอก็จะปรับให้แสดงผลในทิศทางเดียวกันโดยอัตโนมัติ



รูปที่ 1 การกำหนดแกนทั้ง 3 ของเซนเซอร์บนสมาร์ทโฟน

เซนเซอร์วัดความเร่งบนสมาร์ทโฟนเป็นระบบจุลภาคของกระบวนการประมวลผลข้อมูลเชิงกลและเชิงไฟฟ้าที่เรียกว่าระบบไฟฟ้าเชิงกลระดับจุลภาค (micro-electro-mechanical systems: MEMS) ดังแสดงในรูปที่ 2 ในกรณีที่ยากที่สุด คือ เซนเซอร์วัดความเร่งประกอบด้วยมวลที่สามารถเคลื่อนไปมา (seismic mass) ติดตั้งบนเกลียวสปริงและสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระทิศทางใดทิศทางหนึ่ง ถ้าความเร่ง a กระทำต่อทิศทางใดแล้วจะส่งผลให้มวล m เคลื่อนที่ไปเป็นระยะทาง x การเปลี่ยนแปลงในตำแหน่งนี้สามารถวัดได้ด้วย piezo-resistive, piezoelectric หรือวิธีการเชิงความจุ (capacitive) ซึ่งเป็นการวัดความเร่งในรูปของค่าความจุทางไฟฟ้า (capacitively)



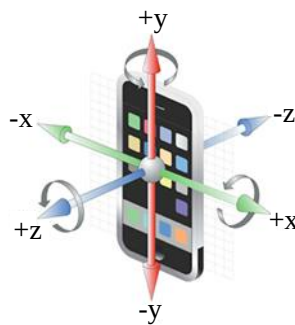
รูปที่ 2(ก) มวลพิสูจน์ (proof mass) หรือมวลที่สามารถเคลื่อนที่ไปมาได้ (seismic mass) อยู่บนเซนเซอร์วัดความเร่งที่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งทำให้เกิดค่าความจุยังผลของอุปกรณ์ (ข) มวลพิสูจน์เคลื่อนที่ไปด้านซ้ายทำให้ค่าความจุไฟฟ้าด้านซ้ายลดลงในขณะที่ด้านขวามีค่าความจุไฟฟ้าสูงขึ้น (ค) โครงสร้างระดับจุลภาคของซิลิกอนที่อยู่ภายในชิปวัดความเร่ง (Countryman, 2014)

รูปที่ 2 แสดงให้เห็นถึงการออกแบบที่เรียบง่ายของเซนเซอร์วัดความเร่ง ประกอบด้วยแผ่นซิลิกอน 3 แผ่นวางขนานกัน และเชื่อมต่อกับเกลียวสปริงกลายเป็นตัวเก็บประจุ 2 ตัวที่ต่อกันแบบอนุกรม แผ่นซิลิกอน 2

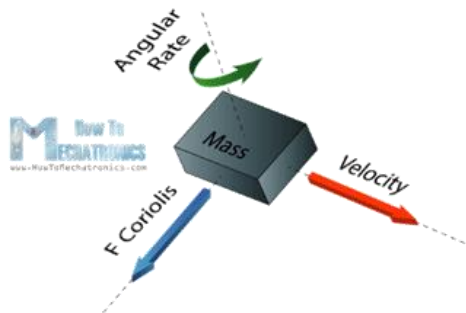
แผ่นด้านนอกจะยึดแน่นไม่ให้เคลื่อนย้ายได้ ส่วนแผ่นตรงกลางใช้เป็นส่วนของมวลที่สามารถเคลื่อนที่ไปมาได้ ความเร่งเกิดจากระยะทางระหว่างแผ่นที่เคลื่อนที่ไปมาแล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนค่าความจุไฟฟ้า แล้วแปลงกลับไปเป็นค่าความเร่ง อาจกล่าวได้ว่าเซนเซอร์นี้ไม่ใช่เซนเซอร์วัดความเร่งโดยตรงแต่เป็นเซนเซอร์วัดแรง (Vogt and Kuhn, 2012)

3.2 เซนเซอร์วัดการหมุน (Gyroscope Sensor)

เซนเซอร์วัดการหมุน คือเซนเซอร์ที่มีไว้สำหรับตรวจจับลักษณะการหมุนของสมาร์ทโฟน โดยเป็นการตรวจจับแบบ 3 แกน (3-Axis) เช่นเดียวกับ Accelerator Sensor ดังแสดงในรูปที่ 3 แต่จะมีความถูกต้องและแม่นยำมากกว่า เช่น การควบคุมการเล่นเกมส์ต่างๆ โดยเฉพาะเกมส์ที่ต้องอาศัยการเคลื่อนไหวในหลายๆ ทิศทางที่เห็นได้ชัดก็เช่นบรรดาเกมส์แข่งรถทั้งหลาย หากอาศัย Accelerator Sensor เพียงอย่างเดียว ในบางครั้งการควบคุมก็อาจจะไม่เป็นไปตามที่ใจต้องการ แต่การที่มี Gyro Sensor มาเสริมก็จะทำให้การควบคุมมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้นไม่ว่าจะจับถือเครื่องในอิริยาบถแบบใดก็ตาม



รูปที่ 3 ลักษณะการทำงานของเซนเซอร์วัดไจโรสโคป



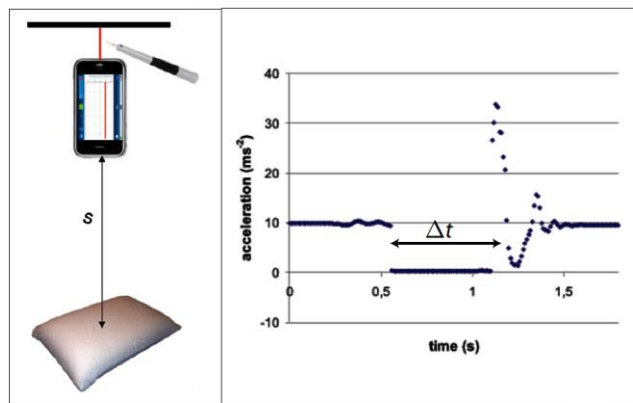
รูปที่ 4 หลักการทำงานของเซนเซอร์วัดการหมุน (สืบค้นเมื่อ 20 ต.ค. 2560 จาก, <http://howtomechatronics.com/>)

เซนเซอร์วัดการหมุน (Gyroscope) ที่เปลี่ยนตามค่ามุมต่าง ๆ โดยใช้ปรากฏการณ์โคริโอลิส (Coriolis Effect) เมื่อมวลเคลื่อนที่ไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งด้วยความเร็วเฉพาะและเมื่อเกิดการเปลี่ยนมุมภายนอกดังแสดงเป็นลูกศรสีเขียว (Angular rate) ในรูปที่ 4 แรงจะเกิดขึ้นตามที่แสดงด้วยลูกศรสีน้ำเงิน (F Coriolis) และ สีแดง (Velocity) ซึ่งจะทำให้เกิดการกระจัดของมวลในแนวตั้งฉาก จึงคล้ายกับหลักการทำงานของเซนเซอร์วัดความเร่ง การกระจัดนี้จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความจุที่วัดได้ การประมวลผลและผลที่ได้นี้จะสัมพันธ์กับอัตราการหมุนเชิงมุมโดยเฉพาะ

4. การประยุกต์ใช้เซนเซอร์บนสมาร์ทโฟนในการสอนฟิสิกส์กลศาสตร์

4.1 การเคลื่อนที่ใน 1 มิติ

Vogt และ Kuhn (Vogt and Kuhn, 2012) ได้ศึกษาการตกอิสระด้วยเซนเซอร์วัดความเร่งบนสมาร์ทโฟน โดยการติดตั้ง SPARKvue app บนสมาร์ทโฟนแล้วนำสมาร์ทโฟนไปปล่อยให้ตกอย่างอิสระที่ความสูง 1.575 เมตร ด้วยการห้อยสมาร์ทโฟนด้วยเชือกค้ำแสดงในรูปที่ 5 แล้วตัดเชือกให้สมาร์ทโฟนตกลงมา โดยวางวัตถุที่นุ่มด้านล่างรองรับการตกของสมาร์ทโฟน (เช่นเบาะลดแรงกระแทกเพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายของสมาร์ทโฟน) หลังจากที่เราทำการวัดความเร่งด้วยการวัดที่ความถี่ในการวัด 100 เฮิรตซ์ พบว่าได้ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (g) ได้ค่าเท่ากับ $10.0 \pm 0.2 \text{ m/s}^2$ ค่าที่ได้นี้มีระดับความเที่ยงตรงเพียงสำหรับการสอนในโรงเรียน



รูปที่ 5 การประยุกต์ใช้เซนเซอร์วัดความเร่งในการทดลองการตกอิสระ (Vogt and Kuhn, 2012)

4.2 การเคลื่อนที่บนระนาบเอียง

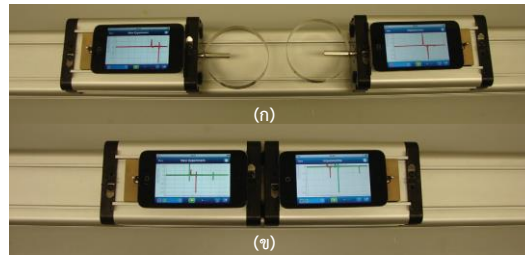
Baldock และ Johnson (Baldock and Johnson, 2016) ได้ศึกษาการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของวัตถุที่เคลื่อนที่บนระนาบเอียงดังแสดงในรูปที่ 6 โดยใช้สมาร์ทโฟนเป็นวัตถุให้เคลื่อนที่ลงบนระนาบเอียงและติดตั้ง SPARKvue app บนสมาร์ทโฟนเพื่อวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกในแนวแกน y และติดตั้ง Clinometer app สำหรับการวัดค่ามุมเอียงของระนาบเอียง เมื่อปล่อยสมาร์ทโฟนให้เคลื่อนที่ลงที่มุม $\theta = 5.75^\circ$ และกำหนดให้อัตราส่วนของ a/g เป็นศูนย์ ได้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างสมาร์ทโฟนกับพื้นผิวระนาบเอียงเป็น 0.100



รูปที่ 6 การประยุกต์ใช้เซนเซอร์วัดความเร่งในการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของวัตถุที่เคลื่อนที่บนระนาบเอียง (Baldock and Johnson, 2016)

4.3 โมเมนตัมและการชน

Vogt และ Kuhn (Vogt and Kuhn, 2014) ได้ศึกษาการเคลื่อนที่ชนกัน ทั้งการชนแบบยืดหยุ่นและการชนแบบไม่ยืดหยุ่นดังแสดงในรูปที่ 7 โดยใช้เซนเซอร์วัดความเร่งที่ติดตั้ง SPARKvue app บน iPhone หรือ iPod touch หรือระบบ Android ซึ่งการทดลองนี้สามารถวัดค่าความเร็วและความเร่งก่อนและหลังชนกันทั้งสองแบบได้อย่างถูกต้องแม่นยำและสอดคล้องกันตามทฤษฎี



รูปที่ 7 การประยุกต์ใช้เซนเซอร์วัดความเร่งในการทดลองการชน (ก) แบบยืดหยุ่นและ (ข) ไม่ยืดหยุ่นสมบูรณ์ (Vogt and Kuhn, 2014)

4.4 การเคลื่อนที่แบบหมุน

Patrinopoulos และ Kefalis (Patrinopoulos และ Kefalis, 2015) ได้ศึกษาการวัดความเร็วเชิงมุมและการคำนวณโมเมนต์ของความเฉื่อยของของวัตถุดังแสดงในรูปที่ 8 โดยใช้สมาร์ทโฟนเซนเซอร์วัดการหมุน (gyroscope sensor) ที่ติดตั้งแอปพลิเคชัน Physics Toolbox Gyroscope ในการทดลองนี้ใช้วัตถุที่มีลักษณะแข็งกลิ้งบนแผ่นเหล็กระนาบเอียง เนื่องจากมวลและขนาดของสมาร์ทโฟนมีขนาดเล็ก เมื่อเทียบกับแผ่นเหล็ก จึงไม่มีผลกระทบต่อโมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุ ผลการทดลองได้ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของสมาร์ทโฟนและวงล้อรวมกันเท่ากับ $2.6 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ ในขณะที่ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของสมาร์ทโฟนเพียงอย่างเดียวเท่ากับ $6.3 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

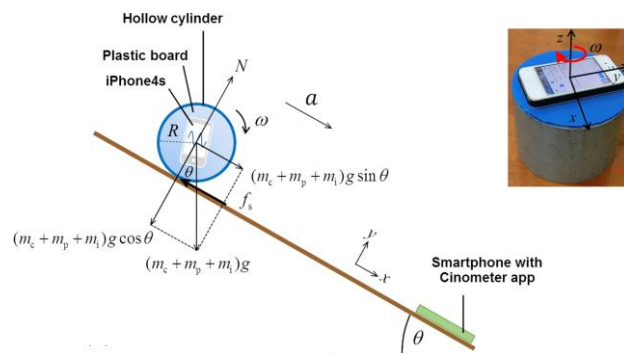


รูปที่ 8 การประยุกต์ใช้เซนเซอร์ไจโรสโคปในการวัดการเคลื่อนที่แบบหมุนของล้อจักรยาน (Patrinopoulos and Kefalis, 2015)

4.5 การเคลื่อนที่แบบกลิ้ง

Puttharugsa และ คณะ (Puttharugsa et al., 2016) ได้ศึกษาการเคลื่อนที่แบบกลิ้งบนระนาบเอียงของทรงกระบอกกลวงที่ทำจากท่อ PVC pipe มวล $0.256 \pm 0.001 \text{ kg}$ รัศมี $0.068 \pm 0.001 \text{ m}$ และความยาวท่อ $0.100 \pm$

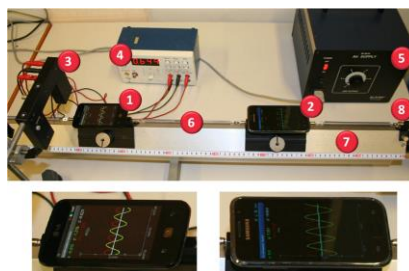
0.001 m และใช้แผ่นพลาสติกติดที่ปลายท่อด้านใดด้านหนึ่งเพื่อใช้ยึดกับสมาร์ทโฟน (iPhone 4s) ที่ติดตั้ง Sensorlog app เป็นเครื่องมือวัดค่าตัวแปรต่างๆ และติดตั้ง Clinometer app สำหรับการวัดค่ามุมเอียงของระนาบเอียงดังแสดงในรูปที่ 9 จากการทดลองได้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิตและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์เท่ากับ 0.205 ± 0.011 และ 0.178 ± 0.003 ตามลำดับ และ วัดค่าความเร่งเชิงมุมที่ระนาบเอียงทำมุม 6° และ 18° ได้เท่ากับ 9.38 ± 0.07 และ $26.7 \pm 0.2 \text{ rad/s}^2$ ตามลำดับ



รูปที่ 9 การประยุกต์ใช้เซนเซอร์ไจโรสโคปในการวัดการเคลื่อนที่แบบกลิ้งบนระนาบเอียงของทรงกระบอกกลวง (Puttharugsa et al., 2016)

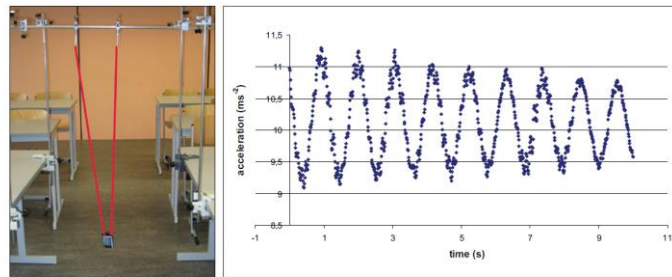
4.6 การเคลื่อนที่แบบแกว่งกวัด

Castro-Palacio และคณะ (Castro-Palacio et al., 2013; 2014) ได้ศึกษาการเคลื่อนที่แบบแกว่งกวัดแบบสม่ำเสมอและแบบไม่สม่ำเสมอโดยใช้เซนเซอร์วัดความเร่งของสมาร์ทโฟนที่ติดตั้ง Accelerometer Monitor app ของระบบแอนดรอยด์ดังแสดงในรูปที่ 10 โดยการนำสมาร์ทโฟนไปยึดติดกับไกด์เดอร์ของชุดการเคลื่อนที่บนรางไร้แรงเสียดทานของบริษัท Phywe ผลการทดลองที่ได้สามารถแสดงการสั่นฮาร์มอนิกส์แบบปกติและการสั่นฮาร์มอนิกส์แบบแอมป์ด้วยค่าความเร่งที่ขึ้นกับเวลาในการสั่นที่ติดกับสปริง



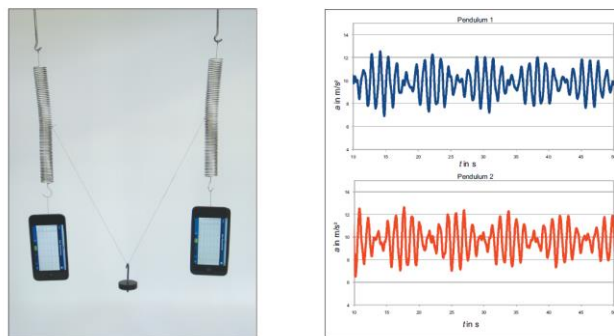
รูปที่ 10 การประยุกต์ใช้เซนเซอร์บนสมาร์ทโฟนในการวัดการออสซิลเลชัน (Castro-Palacio et al., 2013; 2014)

Vogt และ Kuhn (Vogt and Kuhn, 2012) ได้ศึกษาการเคลื่อนที่แบบคาบของเพนดูลัมอย่างง่ายดังแสดงในรูปที่ 11 โดยใช้เซนเซอร์วัดความเร่งที่ติดตั้ง SPARKvue app บน iPhone หรือ iPod touch หรือระบบ Android ใช้เชือกยาว 1.15 เมตรผูกติดกับสมาร์ทโฟนแล้วปล่อยให้แกว่งอย่างอิสระ พบว่าได้คาบการเคลื่อนที่เท่ากับ 2.153 วินาที เปรียบเทียบกับการคำนวณทางทฤษฎีมีความคลาดเคลื่อน 0.14 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 11 การประยุกต์ใช้เซนเซอร์บนสมาร์ทโฟนในการทดลองการเคลื่อนที่แบบคาบของเพนดูลัมอย่างง่าย (Vogt and Kuhn, 2012)

Kuhn และ Vogt (Kuhn and Vogt, 2012) ได้ศึกษาการเคลื่อนที่แบบคาบของสปริงเพนดูลัมดังแสดงในรูปที่ 12 โดยใช้เซนเซอร์วัดความเร่งที่ติดตั้ง SPARKvue app บน iPhone หรือ iPod touch หรือระบบ Android โดยใช้สปริงที่มีค่านิจสปริงเท่ากับ 3.02 นิวตันต่อเมตร ดึงสปริงแล้วปล่อยให้สั่นขึ้น-ลง อย่างอิสระ 13 รอบ ได้คาบการสั่นเท่ากับ 18.22 วินาที



รูปที่ 12 การประยุกต์ใช้เซนเซอร์บนสมาร์ทโฟนในการทดลองการเคลื่อนที่แบบคาบของสปริงเพนดูลัม (Kuhn and Vogt, 2012)

5. สรุป

เซนเซอร์บนสมาร์ทโฟนสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือวัดทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างหลากหลายในสาขาทั้งการวิจัยทางวิทยาศาสตร์และการแพทย์ โดยเฉพาะการนำมาประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือวัดในการทดลองฟิสิกส์กลศาสตร์ที่ผู้วิจัยให้ความสนใจเป็นพิเศษเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการจัดการเรียนการสอนในสาขาวิชาฟิสิกส์ เนื่องจากเซนเซอร์ในสมาร์ทโฟนสามารถวัดค่าต่างๆ ได้อย่างแม่นยำและมีความน่าเชื่อถือสูง ดังนั้นการประยุกต์ใช้เซนเซอร์บนสมาร์ทโฟนเป็นเครื่องมือวัดในการทดลองฟิสิกส์กลศาสตร์สมควรได้รับการศึกษาเพื่อพัฒนาและส่งเสริมให้นำมาประยุกต์ใช้ในวงการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์ทุกระดับชั้น

6. ข้อเสนอแนะ

การนำเซนเซอร์บนสมาร์ทโฟนไปใช้เป็นเครื่องมือวัดในการทดลองทางฟิสิกส์กลศาสตร์นั้นจำเป็นต้องศึกษาเรียนรู้เกี่ยวกับเซนเซอร์ต่าง ๆ บนสมาร์ทโฟนของแต่ละระบบปฏิบัติการ ก่อนติดตั้งและเลือกใช้อุปกรณ์เสริมต่าง ๆ เพื่อประสิทธิภาพการประยุกต์ใช้เซนเซอร์ให้ตรงตามวัตถุประสงค์การใช้งานอย่างแท้จริง

7. เอกสารอ้างอิง

- หลักการทํางานของเซนเซอร์วัดการหมุน. สืบค้นเมื่อ 20 ตุลาคม 2560 จาก, <http://howtomechatronics.com/>
- Baldock, C. and Johnson, R. 2016. Investigation of kinetic friction using an iPhone. **Physics Education**. 51: 065005.
- Cartwright, J. 2016. Smartphone science. **Nature**. 531: 669–671.
- Castro–Palacio, J.C., Velázquez–Abad, L., Giménez, F., and Monsoriu, J.A. 2013. A quantitative analysis of coupled oscillations using mobile accelerometer sensors. **European Journal of Physics**. 34: 737–744.
- Castro–Palacio, J.C., Velázquez–Abad, L., Giménez, M.H., and Monsoriu, J.A. 2013. Using a mobile phone acceleration sensor in physics experiments on free and damped harmonic oscillations. **American Journal of Physics**. 81(6): 472–475.
- Chevrier, J., Madani, L., Ledenmat, S., and Bsiesy, A. 2013. Teaching classical mechanics using smartphones. **The Physics Teacher**. 51: 153–154.
- Countryman, C.L. 2014. Familiarizing students with the basics of a smartphone's internal sensors. **The Physics Teacher**. 52: 557–559.
- González, M.Á., González, M.Á., Martín, M.E., Llamas, C., Martínez, Ó., Vegas, J., Herguedas, M., and C. Hernández, 2015. Teaching and learning physics with smartphones. **Journal of Cases on Information Technology**. 17(1): 31–50.
- Huffling, L., Tomasek, T., Matthews, C., Benavides, A., Carlone, H., and Hegedus, T. 2014. Using mobile devices in field science: A herpetology research experience to build students' 21st-century skills. **The Science Teacher**. 81(6): 35–40.
- Klein, P., Müller, A., Gröber, S., Molz, A., and Kuhn, J. 2017. Rotational and frictional dynamics of the slamming of a door. **American Journal of Physics**. 85(1): 30–37.
- Kuhn, J. and Vogt, P. 2012. Analyzing spring pendulum phenomena with a smartphone acceleration sensor. **The Physics Teacher**. 50: 504–505.
- Monteiro, M., Cabeza, C., and Martí, A.C. 2014. Exploring phase space using smartphone acceleration and rotation sensors simultaneously. **European Journal of Physics**. 35: 045013.
- Monteiro, M., Cabeza, C., and Martí, A.C. 2015. Acceleration measurements using smartphone sensors: Dealing with the equivalence principle. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. 37(1): 1303.
- Oprea, M. and Miron, C. 2014. Mobile phones in the modern teaching of physics. **Romanian Reports in Physics**. 66(4): 1236–1252.
- Patrinopoulos, M. and Kefalis, C. 2015. Angular velocity direct measurement and moment of inertia calculation of a rigid body using a smartphone. **The Physics Teacher**. 53: 564–565.
- Pereira, V., Martin-Ramos, P., Silva, da P.P., and Silva, M.R. 2017. Studying 3D collisions with smartphones. **The Physics Teacher**. 55: 312–313.

- Puttharugsa, C., Khemmani, S., Utayarat, P., and Luangtip, W. 2016. Investigation of the rolling motion of a hollow cylinder using a smartphone. **European Journal of Physics**. 37: 055004.
- Vieyra, R., Vieyra, C., Jeanjacquot, P., Marti, A., and Monteiro, M. 2015. Turn your smartphone into a science laboratory. **The Science Teacher**. 33–40.
- Vogt, P. and Kuhn, J. 2012. Analyzing free fall with a smartphone acceleration sensor. **The Physics Teacher**. 50: 182–183.
- Vogt, P. and Kuhn, J. 2012. Analyzing simple pendulum phenomena with a smartphone acceleration sensor. **The Physics Teacher**. 50: 439–440.
- Vogt, P. and Kuhn, J. 2013. Analyzing radial acceleration with a smartphone acceleration sensor. **The Physics Teacher**. 51: 182–183.
- Vogt, P. and Kuhn, J. 2014. Acceleration sensors of smartphones: Possibilities and examples of experiments for application in physics lessons. **Frontiers in Sensors**. 2: 1–9.
- Vogt, P. and Kuhn, J. 2014. Analyzing collision processes with the smartphone acceleration sensor. **The Physics Teacher**. 52: 118–119.
- Vogt, P., Kuhn, J., and Müller, S. 2011. Experiments using cell phones in physics classroom education: The computer-aided g determination. **The Physics Teacher**. 49: 383–384.

**พฤติกรรมการณ์อนุรักษ์ทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งพื้นที่ชายฝั่งทะเลตะวันออก
ของประเทศไทย**

**MARINE AND COASTAL RESOURCES CONSERVATION BEHAVIOR IN
THE EASTERN SEABOARD, THAILAND**

ณัชชารีย์ ชัยศิริจิรสิน

สหสาขาวิชาบริหารกิจการทางทะเล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

E-mail: Natchareechai@gmail.com

กัลยา วัฒนยากร

รองศาสตราจารย์ ดร. สหสาขาวิชาบริหารกิจการทางทะเล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

E-mail: gullaya.w@chula.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการณ์อนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเลของนักศึกษาระดับปริญญาตรีที่กำลังศึกษาอยู่ในเขตพื้นที่ชายฝั่งทะเลตะวันออกของประเทศไทย โดยการศึกษาปัจจัยการอนุรักษ์ที่มีผลต่อพฤติกรรมการณ์อนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเลซึ่งศึกษาโดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลสอบถามจากกลุ่มตัวอย่างนักศึกษา 800 คน วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนาแสดงผลในรูปแบบอัตราร้อยละและใช้สถิติเชิงอนุมานเพื่อทดสอบสมมติฐาน หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตามด้วยการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ (Regression) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ผลการศึกษาพบว่า (1) นักศึกษาต่างสาขาวิชาเรียนมีพฤติกรรมการณ์อนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเลไม่แตกต่างกันและ (2) พฤติกรรมการณ์อนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเลของนักศึกษามีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปัจจัยการอนุรักษ์ ได้แก่ ความรู้ด้านการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเล การรับข่าวสารด้านทรัพยากรชายฝั่งทะเลทั้งจากสื่อมวลชนและสื่อเฉพาะกิจ รวมทั้งทัศนคติและความตระหนักในการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเล อย่างไรก็ตามผลการวิจัยเสนอแนะให้ภาครัฐและเอกชนกำหนดนโยบายเพื่อส่งเสริมพฤติกรรมการณ์อนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเลด้วยการสร้างกิจกรรมการให้ความรู้และสร้างความตระหนักผ่านสื่อมวลชน

คำสำคัญ: การอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเล, พฤติกรรม, ทัศนคติ, ความตระหนัก, ชายฝั่งทะเลตะวันออก

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the behaviors of undergraduate students towards coastal resource conservation in the Eastern seaboard area of Thailand. Conservation attitudes, awareness, and understanding of coastal resource issues were used as the important factors affecting on their conservation behaviors. The questionnaire was used as a tool to collect data from 800 questionnaire respondents. Data were analyzed by using descriptive statistics, expressed in percentages, and using inference statistics to test the hypotheses. The relationship between the variables was analyzed by regression analysis at the 0.05 significant level. It was found that (1) students in different disciplines did not show significant differences in conservation behavior of coastal resources; and (2) coastal resource conservation behavior of the students was positively correlated with the conservation factors; such as understanding of coastal resource issues, the information receiving from the mass and specialized media, attitudes and awareness of coastal resource conservation. The results of this study can be used as a model for coastal resource conservation and to plan for conservation behavior development among students, as well as the local population in other coastal areas of Thailand. However, this research suggests public and private sectors to proactively formulate any policies that will have direct impacts on coastal resource conservational behaviors by focusing on knowledge and awareness development activities with promote through mass media.

KEYWORDS: Coastal resources conservation, Behavior, Attitude, Awareness, Eastern seaboard

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

เนื่องจากทรัพยากรชายฝั่งทะเลเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการดำเนินกิจกรรมทางทะเลของมนุษย์ โดยมนุษย์ใช้ประโยชน์จากทรัพยากรชายฝั่งทะเลในรูปแบบต่างๆ อาทิ การใช้ประโยชน์จากทรัพยากรชายฝั่งทะเลเพื่อการท่องเที่ยว การอุตสาหกรรม การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การแปรสภาพแหล่งป่าชายเลนเพื่อการตั้งถิ่นฐานของชุมชนชายฝั่ง ฯลฯ ซึ่งพบว่าชุมชนมีการปล่อยสารเคมีที่มีการผสมของฟอสฟอรัสลงสู่ทะเล โดยจากการประเมินสถานการณ์คุณภาพน้ำทะเลบริเวณพื้นที่จังหวัดชลบุรีพบว่าคุณภาพน้ำค่อนข้างมีปัญหาโดยเฉพาะบริเวณเกาะสีชัง (หาดถ้ำพัง) อ่าวชลบุรี 100 เมตรและท่าเรือแหลมฉบังของจังหวัดชลบุรีมีค่าฟอสฟอรัสไม่เป็นไปตามมาตรฐานฯ พบการปนเปื้อนของโลหะหนักในตะกอนดินที่เกิดจากการสะสมระยะยาวจากอุตสาหกรรมประเภทการผลิตเหล็ก หลอมเหล็ก ต่อเรือ ซ่อมเรือ ทาสีเรือ เหมภัณฑ์ และโรงงานเชื้อกระดาษจึงส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศทางทะเล ทั้งนี้ศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งพื้นที่อ่าวไทยฝั่งตะวันออกมีการรายงานพบว่าพบวาฬเกยตื้นเน่าตาย บริเวณท่าเรือแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี (ศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอ่าวไทยฝั่งตะวันออก กรมทรัพยากรทางทะเลฯ, 2560) ชลาทิพ จันทน์ชมภูและคณะ (2559) ศึกษาพบว่าแนวโน้มประชากรเต่าทะเลและจำนวนไข่เต่าทะเล บริเวณเกาะครามลดลงรวมถึงคุณภาพในการปฏิสนธิของไข่ลดน้อยลงเนื่องจากปัจจัยทางธรรมชาติด้านอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นและกิจกรรมของมนุษย์ที่ส่งผลการตายของเต่าทะเล นอกจากการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมแล้ว มัทนา ลัดดาสิริพร (2555) การสร้างท่าเรือน้ำลึกก่อให้เกิด

ผลกระทบเชิงลบโดยตรงต่อระบบนิเวศทางทะเลซึ่งจำเป็นจะต้องมีการบูรณาการเพื่อลดผลกระทบให้พื้นที่ชายฝั่งทะเลเกิดการเปลี่ยนแปลงและอาจจะทำให้กระแสน้ำเปลี่ยนส่งผลกระทบไปถึงชีวิตความเป็นอยู่ของชุมชน

จากปัญหาดังกล่าวมนุษย์คือตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทรัพยากรชายฝั่งทะเล พฤติกรรมการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเลของมนุษย์จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้การอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเลมีความยั่งยืนหรือไม่นั้นจะต้องขึ้นอยู่กับนโยบายหรือแนวทางปฏิบัติที่ภาครัฐนำมาปฏิบัติใช้อีกทั้งการมีส่วนร่วมและจิตสำนึกรับผิดชอบจากชุมชนในพื้นที่ที่มีส่วนสำคัญเช่นกันประกอบกับประเทศไทยได้ให้สัตยาบันในอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยกฎหมายทะเล ค.ศ. 1982 ภาค 12 ว่าด้วยการคุ้มครองและรักษาสีงแวดล้อมทางทะเลระดับเขตแดนของรัฐมีพันธกรณีที่ควรคุ้มครองและรักษาสีงแวดล้อมทางทะเล (กรมสนธิสัญญาและกฎหมายกระทรวงการต่างประเทศ, 2548: 87) จึงนำมาสู่การวิจัยครั้งนี้โดยนักศึกษานำมาเป็นกลุ่มตัวอย่างการศึกษา เพราะนักศึกษาเป็นกลุ่มสำคัญลำดับแรกที่ต้องได้รับการพัฒนาแนวคิดเพื่อสอดคล้องกับนโยบายไทยแลนด์ 4.0 ประกอบกับทองเรือน อมรัชกุล (2525) กล่าวว่านักศึกษามีลักษณะนิสัยคือมีความมุ่งมั่น ความต้องการแสวงหาความรู้ ต้องการแสวงหาความมั่นคงทางสังคม มีความพร้อมทางเวลาและสติปัญญาที่จะสามารถได้รับการพัฒนาให้มีความเฉลียวฉลาด

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเลของนักศึกษาระดับปริญญาตรี พื้นที่ชายฝั่งทะเลตะวันออกของประเทศไทยได้แก่ จังหวัดชลบุรีและจังหวัดจันทบุรี สืบเนื่องจากบริเวณพื้นที่ดังกล่าวเป็นทั้งแหล่งท่องเที่ยว แหล่งที่ตั้งของอุตสาหกรรมหลักของประเทศ การใช้ประโยชน์จากทรัพยากรชายฝั่งทะเลเพื่อดำเนินกิจกรรมเหล่านี้ย่อมจะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศทางทะเลอย่างแน่นอน กลุ่มนักศึกษาจึงเป็นกลุ่มเป้าหมายแรกของการพัฒนาแนวคิดและพฤติกรรมการอนุรักษ์เพื่อนำไปสู่การอนุรักษ์ทรัพยากรทางทะเลอย่างยั่งยืน

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเลของนักศึกษาระดับปริญญาตรีบริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเลตะวันออกของประเทศไทย
2. เพื่อศึกษาปัจจัยการอนุรักษ์ที่มีผลต่อพฤติกรรมการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเลของนักศึกษาระดับปริญญาตรีพื้นที่ชายฝั่งทะเลตะวันออกของประเทศไทย

3. ทฤษฎีและกรอบแนวคิดในการวิจัย

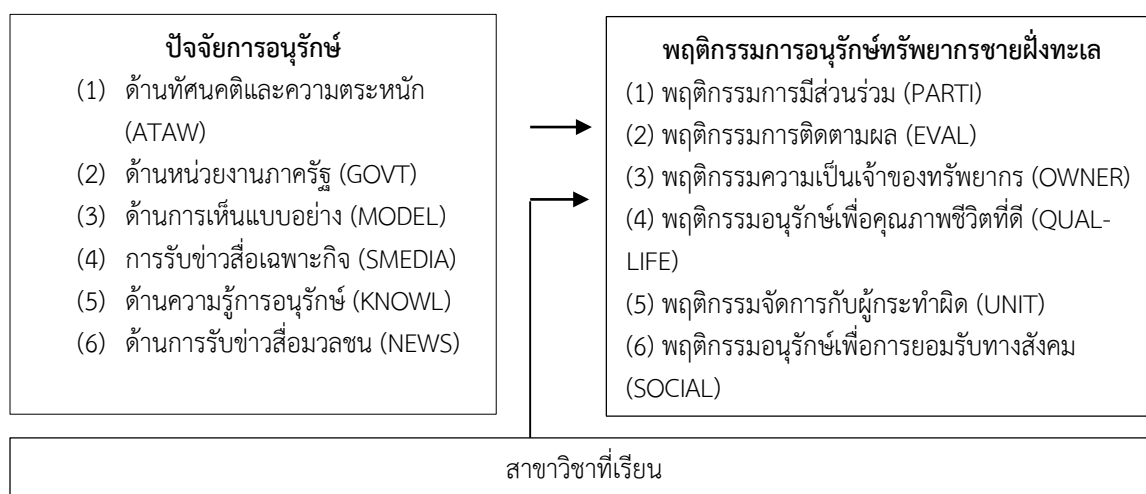
เนื่องจากทรัพยากรชายฝั่งทะเลบริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออกของประเทศไทยมีสภาพเสื่อมโทรม พฤติกรรมการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเลจึงเป็นตัวชี้วัดสำคัญต่อการนำมาซึ่งตัวแบบพฤติกรรมการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเล โดยพฤติกรรมการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเลมีแนวคิดจากการมีส่วนร่วมและแนวคิดหลักสำนึกรับผิดชอบซึ่งผู้วิจัยนำแนวคิดของ Cohen and Uphoff (1977) กล่าวถึงกระบวนการของการมีส่วนร่วมประกอบด้วย 5 ขั้นตอนได้แก่ (1) การมีส่วนร่วมด้านการรวบรวมปัญหา (2) การมีส่วนร่วมด้านการวางแผน (3) การมีส่วนร่วมด้านการดำเนินกิจกรรม (4) การมีส่วนร่วมด้านการรับผลประโยชน์ (5) การมีส่วนร่วมด้านการประเมินผลและ สถาบันพระปกเกล้า (2547) กล่าวว่าหลักสำนึกรับผิดชอบได้แก่ (1) การบริหารงานอย่างมี

ประสิทธิภาพ (2) การมีเป้าหมายชัดเจน (3) การสร้างความเป็นเจ้าของ (4) การติดตามประเมินผลและ (5) การมีแผน นำมาเป็นแบบวัดพฤติกรรมการณ์การอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเล ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาปัจจัยอนุรักษ์ที่มีผลต่อพฤติกรรมการณ์การอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเล ประกอบด้วย 6 ปัจจัย ได้แก่ (1) ด้านทัศนคติและความตระหนัก (2) ด้านหน่วยงานรณรงค์ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ ดวงเดือน พันธุมนาวิน (2541) กล่าวไว้ว่าบุคคลจะต้องมีองค์ประกอบพื้นฐานคือการรู้เชิงประเมินคุณค่า ความรู้สึก การมุ่งกระทำซึ่งปัจจัยพื้นฐานเหล่านี้ส่งผลทำให้บุคคลเกิดแนวโน้มในการแสดงออกทางพฤติกรรม โดยผู้วิจัยนำแนวคิดดังกล่าวมาวัดทัศนคติและความตระหนักว่านักศึกษาในระดับความคิดเห็นหรือมีการรู้เชิงประเมินคุณค่า ความรู้สึก การมุ่งกระทำต่อทรัพยากรชายฝั่งทะเลอย่างไร เช่น การร่วมปลูกป่าชายเลนมีความสำคัญต่อท่าน แม้ท่านไม่ได้อาศัยอยู่บริเวณชายฝั่ง นักศึกษาเข้าร่วมกิจกรรมการอนุรักษ์เมื่อมีการรณรงค์จากหน่วยงานท่านนั้น เป็นต้น (3) ด้านความรู้การอนุรักษ์สอดคล้องกับแนวคิดของ วิจารย์ พานิช (2547) ซึ่งกล่าวไว้ว่าความรู้ คือรู้ภาคทฤษฎีว่าสิ่งนั้นคืออะไร รู้วิธีการด้วยการนำความรู้ในเชิงทฤษฎีมาประยุกต์ใช้ให้เข้ากับเหตุการณ์หรือสภาพแวดล้อมต่างๆซึ่งผู้วิจัยนำแนวคิดดังกล่าวมาเป็นตัววัดระดับความคิดเห็น เช่น หากท่านทำกิจกรรมหรือใช้ประโยชน์จากทรัพยากรชายฝั่งทะเล ท่านคำนึงถึงเขตการใช้งานเสมอ เช่น เขตอนุรักษ์ เขตสงวน เขตการใช้งาน (4) ด้านการรับข่าวสารเฉพาะกิจ (5) ด้านการรับข่าวสารมวลชนซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Wilbur Schramm (1954) กล่าวไว้ว่าขั้นตอนของการรับข่าวสารของผู้รับสารจะเริ่มต้นจากผู้รับสารได้ทำการรับสารแล้วจึงทำการถอดรหัส ตีความหมายและทำการเข้ารหัสสารที่ได้รับ ขั้นตอนต่อมาเมื่อผู้รับสารทำการเข้ารหัสสารที่ได้รับแล้วจึงเกิดการกระตุ้นและตอบสนอง ผู้รับสารจึงเกิดการตัดสินใจและเป็นเหตุจูงใจให้เกิดการแสดงพฤติกรรมการณ์และ (6) ด้านการเห็นแบบอย่างสอดคล้องกับแนวคิดของ Bandura, A. (1971) กล่าวว่าบุคคลสามารถที่จะเรียนรู้พฤติกรรมการณ์จากการสังเกตพฤติกรรมการณ์ของตัวแบบ เมื่อเห็นการกระทำดังกล่าวจึงกระทำตามตัวแบบ หลักแนวคิดนี้จึงนำมาวัดระดับความคิดเห็นของนักศึกษา เช่น ท่านร่วมกิจกรรมปลูกป่าชายเลนเมื่อท่านเห็นศิลปินร่วมกิจกรรมดังกล่าวท่านนั้น

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยด้านทัศนคติและความตระหนักต่อการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเล ได้แก่ การศึกษาของ นิภาพร โชติสุดแสนห์ (2545) พบว่านักศึกษาที่มีทัศนคติที่ดีต่อพฤติกรรมการณ์ท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ในระดับมากจะเป็นผู้มีพฤติกรรมการณ์การอนุรักษ์สถานที่ท่องเที่ยวและการศึกษาของ ภิญญาภรณ์ เพ็ญภินันท์ (2544) พบผลการศึกษาว่าทัศนคติต่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมมีความสัมพันธ์ทางบวกกับการมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมซึ่งหมายความว่าประชาชนที่มีทัศนคติต่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมในเชิงบวกจะมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมมาก ปัจจัยต่อมาการเห็นแบบอย่างสอดคล้องกับผลการศึกษาของ นิภาพร โชติสุดแสนห์ (2545) ศึกษาพบว่านักศึกษาที่มีแบบอย่างที่ดีจากบิดามารดาเป็นผู้ที่มีพฤติกรรมการณ์การอนุรักษ์สถานที่ท่องเที่ยวสำหรับปัจจัยด้านการรับข่าวสารด้านทรัพยากรชายฝั่งทะเลสอดคล้องกับผลการศึกษาของ วีระศักดิ์ จรินทร์รัตนกร (2544) พบผลการศึกษาว่าการเปิดรับข่าวสารเกี่ยวกับการอนุรักษ์หอยหลอดจากสื่อทั้ง 3 ประเภท คือ สื่อมวลชน สื่อบุคคลและสื่อเฉพาะกิจมีความสัมพันธ์กับการมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์หอยหลอด หากประชาชนมีการเปิดรับข่าวสารเกี่ยวกับการอนุรักษ์หอยหลอดมาก การมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์หอยหลอดก็จะมีความตามไปด้วยและปัจจัยต่อมาคือ ความรู้ด้านการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเลสอดคล้องกับผลการศึกษาของ จุฑามาศ อ่อนวงศ์ (2554) พบผลการศึกษาว่าชาวบ้านมีความรู้เกี่ยวกับป่าชายเลนในระดับมาก โดยความรู้เกี่ยวกับป่าชายเลนมี

ความสัมพันธ์เชิงบวกกับการมีส่วนร่วมของชุมชนท้องถิ่นในการอนุรักษ์ป่าชายเลน โดยชาวบ้านมีความรู้ในการใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้เกิดประโยชน์มากที่สุดและยาวนานที่สุด

จากการรวบรวมแนวคิดและผลงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง นำมาพัฒนาเป็นกรอบแนวคิดสำหรับการศึกษาค้นคว้า ดังปรากฏในแผนภาพที่ 1



แผนภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

4. สมมุติฐานการวิจัย

- 4.1 สมมุติฐานที่ 1 นักศึกษาต่างสาขาวิชามีพฤติกรรมการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเลแตกต่างกัน
- 4.2 สมมุติฐานที่ 2 ปัจจัยการอนุรักษ์มีผลต่อพฤติกรรมการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเล

5. วิธีดำเนินการวิจัย

5.1 ประชากรที่ใช้ในการวิจัย การวิจัยเรื่องนี้เป็นการศึกษาเชิงผสม ประชากรที่ใช้ในการวิจัยคือนักศึกษาที่กำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีบริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเลตะวันออกของประเทศไทยจำนวน 60,144 คน (สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา, 2559) โดยใช้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 800 คนเพื่อดำเนินการวิจัย

5.2 ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่

(1) ตัวแปรอิสระ (Independent variable) คือ ทัศนคติและความตระหนัก หน่วยงานภาครัฐ การเห็นแบบอย่าง การรับข่าวสารเฉพาะกิจ ความรู้ด้านการอนุรักษ์ และการรับข่าวสารมวลชน

(2) ตัวแปรตาม (Dependent variable) คือ พฤติกรรมการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเล

5.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้คือแบบสอบถาม โดยผู้วิจัยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการวัดพฤติกรรมการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเลของนักศึกษาระดับปริญญาตรีจากสถาบันอุดมศึกษาพื้นที่ชายฝั่งทะเลตะวันออกของประเทศไทย โดยเกณฑ์การให้คะแนนคือมีพฤติกรรมการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเลที่ดีที่สุดจะได้รับคะแนนเท่ากับ 5 และมีพฤติกรรมการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเลน้อยที่สุดจะได้รับคะแนนเท่ากับ 1 ตามลำดับ

5.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลจากนักศึกษาที่กำลังศึกษาระดับปริญญาตรีในสถาบันอุดมศึกษา 6 แห่งของจังหวัดชลบุรีและจันทบุรีจำนวน 800 คน

5.5 การวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้รับจากการตอบแบบสอบถามประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อคำนวณค่าสถิติต่าง ๆ ทั้งสถิติเชิงพรรณนาโดยแสดงในรูปแบบค่าเฉลี่ย ร้อยละและสถิติเชิงอนุมานเพื่อทดสอบสมมติฐานของงานวิจัยซึ่งใช้การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ (Multiple Regression Analysis) ณ ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ทั้งนี้ผู้วิจัยวิเคราะห์ปัจจัยการอนุรักษ์และปัจจัยพฤติกรรมการอนุรักษ์ทรัพยากรทางทะเลของนักศึกษาที่กำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีพื้นที่ชายฝั่งทะเลตะวันออกของประเทศไทย (Factor Analysis) เพื่อตรวจสอบข้อคำถามก่อนที่จะนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตาม พบผลการศึกษาว่าปัจจัยการอนุรักษ์และพฤติกรรมการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเล ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ปัจจัยการอนุรักษ์

เลขที่ข้อคำถาม	ปัจจัยการอนุรักษ์					
	1	2	3	4	5	6
	(ATAW)	(GOVT)	(MODEL)	(SMEDIA)	(KNOWL)	(NEWS)
5 (ATT)	0.74					
2 (ATT)	0.66					
1 (ATT)	0.65					
7 (AWN)	0.63					
6 (AWN)	0.61					
10 (AWN)	0.58					
4 (ATT)	0.53					
9 (AWN)	0.42					
3 (ATT)		0.78				
8 (AWN)		0.78				
24 (KNOWL)		0.55				
11 (MODEL)			0.36			
14 (MODEL)			0.75			
13 (MODEL)			0.74			
12 (MODEL)			0.44			
15 (MODEL)			0.43			
19 (SMEDIA)				0.76		
20 (SMEDIA)				0.74		
18 (SMEDIA)				0.68		
25 (KNOWL)					0.73	

เลขที่ข้อคำถาม	ปัจจัยการอนุรักษ์					
	1 (ATAW)	2 (GOVT)	3 (MODEL)	4 (SMEDIA)	5 (KNOWL)	6 (NEWS)
21 (KNOWL)					0.59	
22 (KNOWL)					0.56	
16 (NEWS)						0.70
17 (NEWS)						0.64
23 (NEWS)						0.50

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ปัจจัยพฤติกรรมการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเล

เลขที่ข้อคำถาม	ปัจจัยพฤติกรรมการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเล					
	1 (PARTI)	2 (EVAL)	3 (OWNER)	4 (QUAL- LIFE)	5 (MGT)	6 (SOCIAL)
2 (PARTI)	0.85					
3 (PARTI)	0.84					
4 (PARTI)	0.82					
5 (PARTI)	0.81					
6 (PARTI)	0.80					
1 (PARTI)	0.79					
8 (PARTI)	0.59					
18 (PARTI)	0.55					
13 (PARTI)	0.52					
14 (PARTI)	0.46					
9 (PARTI)	0.45					
28 (ACT)		0.86				
29 (ACT)		0.86				
27 (ACT)		0.86				
26 (ACT)		0.81				
25 (ACT)		0.80				
30 (ACT)		0.71				
20 (ACT)			0.73			
21 (ACT)			0.71			
23 (ACT)			0.69			

เลขที่ข้อคำถาม	ปัจจัยพฤติกรรมการณ์การอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเล					
	1 (PARTI)	2 (EVAL)	3 (OWNER)	4 (QUAL- LIFE)	5 (MGT)	6 (SOCIAL)
19 (ACT)			0.65			
24 (ACT)			0.57			
22 (ACT)			0.44			
12 (PARTI)				0.78		
11 (PARTI)				0.69		
10 (PARTI)				0.55		
7 (PARTI)				0.55		
16 (ACT)				0.41		
32 (ACT)					0.86	
31 (ACT)					0.85	
33 (ACT)					0.71	
18 (ACT)						0.78
17 (ACT)						0.76

6. ผลการทดสอบสมมติฐาน

สมมติฐานที่ 1 นักศึกษาต่างสาขาวิชามีพฤติกรรมการณ์การอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเลแตกต่างกัน

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์คะแนนและความแปรปรวนของพฤติกรรมการณ์การอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเล

กลุ่มสาขาวิชา	Mean	F	Sig.
กลุ่มการศึกษา	3.59		
กลุ่มมนุษยและศิลปกรรมศาสตร์	3.49		
กลุ่มสังคมศาสตร์ ธุรกิจและกฎหมาย	3.67		
กลุ่มวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์	3.55	1.00	0.50
กลุ่มวิศวกรรมศาสตร์ การผลิตและการก่อสร้าง	3.50		
กลุ่มการเกษตรศาสตร์	3.63		
กลุ่มสุขภาพและสวัสดิการ	3.61		
กลุ่มการบริการ	3.48		
Total	3.58	1.00	0.50

จากตารางที่ 3 พบผลการศึกษาว่านักศึกษาต่างกลุ่มสาขาวิชา มีพฤติกรรมการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเลที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยมีค่าสถิติ F เท่ากับ 1.00 และค่า Sig มีค่าเท่ากับ 0.50 ซึ่งมากกว่า $\alpha = 0.05$

สมมุติฐานที่ 2 ปัจจัยการอนุรักษ์มีผลต่อพฤติกรรมการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเลของนักศึกษา

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยการอนุรักษ์ที่มีผลต่อพฤติกรรมการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเลของนักศึกษาระดับปริญญาตรีพื้นที่ชายฝั่งทะเลตะวันออกของประเทศไทย

ปัจจัยการอนุรักษ์	R	R ²	Adjusted R ²	S.E.est	F-test		t-test	
					F	Sig	t	Sig
(Constant)	0.51	0.26	0.26	0.40	71.07	0.00	5.96	0.00
ด้านความรู้การอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเล							9.88	0.00
ด้านการรับข่าวทรัพยากรชายฝั่งทะเล (สื่อเฉพาะกิจ)							6.73	0.00
ด้านทัศนคติและความตระหนัก							5.07	0.00
ด้านการรับข่าวทรัพยากรชายฝั่งทะเล (สื่อมวลชน)							3.13	0.00

จากตารางที่ 4 พบผลการศึกษาว่ามี 4 ปัจจัยที่สามารถร่วมอธิบายการแปรผันพฤติกรรมการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเลของนักศึกษาได้ประมาณร้อยละ 26.00 ($R^2 = 0.26$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปัจจัยการอนุรักษ์ทั้ง 4 ปัจจัยมีผลต่อพฤติกรรมการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเลอยู่ในระดับที่ไม่สูงมาก ได้แก่ (1) ด้านความรู้การอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเล (2) ด้านการรับข่าวทรัพยากรชายฝั่งทะเล (สื่อเฉพาะกิจ) (3) ด้านทัศนคติและความตระหนักในการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเลและ (4) ด้านการรับข่าวทรัพยากรชายฝั่งทะเล (สื่อมวลชน) ปัจจัยการอนุรักษ์ทั้ง 4 ปัจจัย ได้แก่ (1) ความรู้การอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเลสอดคล้องกับผลการศึกษาของ จุฑามาศ อ่อนวงศ์ (2554) พบผลการศึกษาว่าชาวบ้านมีความรู้เกี่ยวกับป่าชายเลนในระดับมาก โดยความรู้เกี่ยวกับป่าชายเลนมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการมีส่วนร่วมของชุมชนท้องถิ่นในการอนุรักษ์ป่าชายเลน (2) การรับข่าวทรัพยากรชายฝั่งทะเล (สื่อเฉพาะกิจ) และ (3) การรับข่าวทรัพยากรชายฝั่งทะเล (สื่อมวลชน) พบผลการศึกษาว่าสอดคล้องกับ วีระศักดิ์ จรินทร์รัตนกร (2544) ศึกษาว่าการเปิดรับข่าวสารเกี่ยวกับการอนุรักษ์หอยหลอดจากสื่อทั้ง 3 ประเภท คือ สื่อมวลชน สื่อบุคคลและสื่อเฉพาะกิจมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์หอยหลอด ปัจจัยต่อมาคือ (4) ทัศนคติและความตระหนักในการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเล พบผลการศึกษาสอดคล้องกับ นิภาพร โชติสุดแสน์ (2545) ศึกษาพบว่านักศึกษาที่มีทัศนคติที่ดีต่อพฤติกรรมการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ในระดับมากจะเป็นผู้มีพฤติกรรมการอนุรักษ์สถานที่ท่องเที่ยวและการศึกษาของกับ ภิญญาภรณ์ เพ็ญภินันท์ (2544) พบผลการศึกษาว่าทัศนคติต่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมมีความสัมพันธ์ทางบวกกับการมีส่วนร่วมใน

การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมซึ่งหมายความว่าประชาชนที่มีทัศนคติต่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมในเชิงบวกจะมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมมาก ทั้งนี้ นักศึกษาในพื้นที่ชายฝั่งทะเลตะวันออกได้รายงานว่าพบปัญหาปริมาณสัตว์ทะเลลดลง พื้นที่ป่าชายเลนและทรัพยากรทางทะเลเสื่อมโทรมลงและเสนอแนวทางแก้ไขปัญหทรัพยากรชายฝั่งทะเลเสื่อมโทรมในพื้นที่จังหวัดชลบุรีและจังหวัดฉะเชิงเทราไว้ว่า (1) นักศึกษาควรสมัครใจเข้าร่วมโครงการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเลที่หน่วยงานเกี่ยวข้องจัดขึ้น (2) นักศึกษาควรศึกษาความรู้หรือกฎหมายทางทะเลต่างๆและ (3) หากมีโอกาสนักศึกษควรเข้าร่วมกิจกรรมการเพิ่มปริมาณสัตว์น้ำทะเลกับทางหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจัดขึ้น จึงสรุปผลการศึกษาได้ว่า (1) ความรู้ด้านการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเล (2) การรับข่าวด้านทรัพยากรชายฝั่งทะเลผ่านสื่อเฉพาะกิจ (3) ทัศนคติและความตระหนักในการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเลและ (4) ปัจจัยการรับข่าวด้านทรัพยากรชายฝั่งทะเลผ่านสื่อมวลชนมีผลต่อพฤติกรรมการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเล หากนักศึกษามีปัจจัยการอนุรักษ์ทั้ง 4 ปัจจัยข้างต้นมากจะส่งผลให้นักศึกษามีพฤติกรรมการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเลมากขึ้น ในทางกลับกันหากนักศึกษามีปัจจัยการอนุรักษ์ทั้ง 4 ปัจจัยน้อย พฤติกรรมการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเลมีแนวโน้มที่จะน้อยลง

7. สรุปผลการวิจัย

ตารางที่ 5 ผลการศึกษาพฤติกรรมการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเลของนักศึกษาระดับปริญญาตรี

พฤติกรรมการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเล	Mean	Std. Deviation	ระดับ นัยสำคัญ
พฤติกรรมการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเล (MAR-COAST-BEHV)	3.58	0.46	ดี
1. พฤติกรรมการมีส่วนร่วม (PARTI)	2.73	0.97	ปานกลาง
2. พฤติกรรมการติดตามผล (EVAL)	3.42	0.90	ดี
3. พฤติกรรมความเป็นเจ้าของทรัพยากร (OWNER)	4.16	0.55	ดี
4. พฤติกรรมอนุรักษ์เพื่อคุณภาพชีวิตที่ดี (QUAL-LIFE)	3.73	0.74	ดี
5. พฤติกรรมการจัดการผู้กระทำผิด (UNIT)	3.81	0.88	ดี
6. พฤติกรรมอนุรักษ์เพื่อการยอมรับทางสังคม (SOCIAL)	3.62	1.20	ดี

ตารางที่ 5 สรุปผลการศึกษาได้ว่านักศึกษาผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศหญิงจำนวน 518 คน (ร้อยละ 70.28) มากกว่าเพศชายซึ่งมีจำนวน 219 คน (ร้อยละ 29.72) ซึ่งพฤติกรรมการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่ง

ทะเล โดยรวมอยู่ในระดับดีซึ่งนักศึกษาที่มีพฤติกรรมมีส่วนร่วมในการร่วมสังเกตปัญหา เสนอแนะแนวทางแก้ไข ดำเนินกิจกรรม ประเมินผลตลอดจนร่วมมือกันรับผิดชอบต่อปัญหาการเสื่อมโทรมของทรัพยากรชายฝั่งทะเล

8. ข้อเสนอแนะ

(1) นักศึกษาพื้นที่ชายฝั่งทะเลตะวันออกของประเทศไทยควรรับข่าวด้านการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเลผ่านสื่อต่างๆ ให้มากขึ้น โดยเฉพาะสื่อสังคมออนไลน์

(2) นักศึกษาควรเข้าร่วมกิจกรรมที่มีส่วนร่วมในการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเลกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเลให้มากยิ่งขึ้น

(3) หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์ทรัพยากรชายฝั่งทะเลควรจัดให้มีถังขยะแยกประเภท โดยเพิ่มการจัดวางของถังขยะแยกประเภทบริเวณชายหาดเพื่อกระตุ้นและปรับเปลี่ยนพฤติกรรมแยกขยะก่อนลงถึง

9. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณบดี คณาจารย์และเจ้าหน้าที่จากสถาบันการศึกษาทั้ง 6 แห่ง ได้แก่ มหาวิทยาลัยบูรพา (วิทยาเขตบางแสนและจันทบุรี) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก (วิทยาเขตบางพระและจันทบุรี) มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณีที่ได้ให้ความอนุเคราะห์บุคลากรและสถานที่ในการแจกแบบสอบถาม นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณนักศึกษาผู้ตอบแบบสอบถามและผู้ให้สัมภาษณ์ทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการให้ข้อมูลสำหรับการศึกษานี้เป็นอย่างดีตลอดระยะเวลาที่เก็บข้อมูล

10. เอกสารอ้างอิง

กรมสนธิสัญญาและกฎหมาย กระทรวงการต่างประเทศ. 2548. **อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยกฎหมายทะเล**

ค.ศ. 1982 ภาค 12 การคุ้มครองและการรักษาสีงแวดล้อมทางทะเล. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ห้างหุ้นส่วนจำกัดเอราวัณการพิมพ์.

จุฑามาศ อ่อนวงศ์. 2554. “ความรู้ ความตระหนักและการมีส่วนร่วมของชุมชนท้องถิ่นในการอนุรักษ์ป่าชายเลนกรณีศึกษา บ้านธารน้ำร้อน ตำบลเขาฉกรรจ์ อำเภอนาทม จังหวัดสุราษฎร์ธานี.” ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการภาครัฐและภาคเอกชน คณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ชลทิพ จันทน์ชมภู และคณะ. 2559. “สถานภาพประชากรแม่พันธุ์เต่าทะเลและสถิติการวางไข่ บริเวณเกาะคราม จังหวัดชลบุรี.” **งานประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์ทางทะเล โรงแรมรามการ์เด้น กรุงเทพฯ ครั้งที่ 5 ประจำปี 2559** : 210-218.

ดวงเดือน พันธุมนาวิน. 2541. “รูปแบบปฏิสัมพันธ์นิยม (Interactionism model) เพื่อการวิจัยสาเหตุของพฤติกรรมและการพัฒนาพฤติกรรมมนุษย์”. **วารสารทันตการศึกษาศาสตร์**: 62-81.

ทองเรือน อมรัชกุล. 2525. **การบริหารกิจการนิสิตทฤษฎีและแนวปฏิบัติ**. กรุงเทพมหานคร: จงเจริญการพิมพ์.

นิภาพร โชติสุดเสนห์. 2545. “ปัจจัยเชิงจิตสังคมที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการท่องเที่ยวเชิงอนุรักษ์ของนักศึกษามหาวิทยาลัย.” ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาพัฒนาสังคม คณะพัฒนาสังคม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

กัญญาภรณ์ เพ็ญภินันท์. 2544. “การเปิดรับข่าวสาร ความรู้ ความตระหนักรู้ ทักษะคิด และการมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมของประชาชนในเขตนิคมอุตสาหกรรมบางปู จังหวัดสมุทรปราการ.” นิเทศศาสตรมหาบัณฑิต สาขานิเทศศาสตร์พัฒนาการ คณะนิเทศศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มัทนา ลัดดาสิริพร. 2560. สืบค้นเมื่อวันที่ 28 มกราคม 2560, จาก

<http://www.komchadluek.net/news/economic/138972>

วิจารณ์ พานิช. 2547. **สถานศึกษากับการจัดการความรู้เพื่อสังคม**. กรุงเทพมหานคร: สำนักนโยบายและแผนการศึกษา.

วีระศักดิ์ จรินทร์รัตนกร. 2544. “การเปิดรับข่าวสาร ความตระหนัก และการมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์หอยหลอดของประชาชนในเขตอำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสงคราม.” นิเทศศาสตรมหาบัณฑิต สาขานิเทศศาสตร์พัฒนาการ คณะนิเทศศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศูนย์วิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งอ่าวไทยฝั่งตะวันออก กรมทรัพยากรชายฝั่ง. 2560. สืบค้นเมื่อวันที่ 3 พฤศจิกายน 2560, จาก <http://dmcrth.dmcr.go.th/emcr/detail/1134/>

สถาบันพระปกเกล้า. 2560. สืบค้นเมื่อวันที่ 10 กรกฎาคม 2560, จาก

<http://wiki.kpi.ac.th/index.php?title=%E0%B8%98%E0%B8%A3%E0%B8%A3%E0%B8%A1%E0%B8%B2%E0%B8%A0%E0%B8%B4%E0%B8%9A%E0%B8%B2%E0%B8%A5>

สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา. 2559. สืบค้นเมื่อวันที่ 28 มกราคม 2560, จาก

http://www.info.mua.go.th/information/show_all_statdata_table.php?data_show=2

Bandura, A. 1971. “Social Learning Theory”. New York: General learning Press.

Cohen, J.M. and Uphoff, N. Rural. 1977. “Development Participation: Concept and Measure for Project Design Implementation and Evaluation”. New York: Cornell University.

Wilbur Schramm. 1954. “The process and effects of mass communication: How communication works.” University of Illinois Press.

**ปัจจัยทำนายพฤติกรรมเสี่ยงในการรับสัมผัสสารเคมีของพนักงานในสถานประกอบการ
ซ่อมและเคาะพ่นสีรถยนต์ในเขตกรุงเทพมหานคร**

**FACTORS PREDICTING RISK BEHAVIOR FOR CHEMICAL EXPOSURE
AMONG WORKERS IN REPAIR AND SPRAY PAINTING SHOP IN
BANGKOK**

จิตติมา จันทรอุไร

คณะสาธารณสุขศาสตร์ ภาควิชาสาธารณสุขศาสตร์อุตสาหกรรมและความปลอดภัย มหาวิทยาลัยบูรพา

E-mail: faii.jittima@gmail.com

นันทพร ภัทรพุทธ

รองศาสตราจารย์ คณะสาธารณสุขศาสตร์ ภาควิชาสาธารณสุขศาสตร์อุตสาหกรรมและความปลอดภัย

มหาวิทยาลัยบูรพา

E-mail: nantapor@buu.ac.th

ศรียรัตน์ ล้อมพวงค์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะสาธารณสุขศาสตร์ ภาควิชาสาธารณสุขศาสตร์อุตสาหกรรมและความปลอดภัย

มหาวิทยาลัยบูรพา

E-mail: sriratl@hotmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบภาคตัดขวาง วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมเสี่ยงในการรับสัมผัสสารเคมี และศึกษาปัจจัยทำนายพฤติกรรมเสี่ยงในการรับสัมผัสสารเคมีของพนักงานในสถานประกอบการซ่อมและเคาะพ่นสีรถยนต์ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา คือ พนักงานในสถานประกอบการซ่อมและเคาะพ่นสี 8 แห่งในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร จำนวน 215 คน เก็บรวบรวมข้อมูลในช่วงเดือนมีนาคม ถึง พฤษภาคม พ.ศ.2560 ด้วยแบบสอบถามที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น โดยมีดัชนีความตรงตามเนื้อหาของแบบสอบถาม (IOC) เท่ากับ 0.89 วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา สถิติไคว์สแควร์ สถิติสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน และสถิติวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน ผลการวิจัย พบว่า พนักงานในสถานประกอบการซ่อมและเคาะพ่นสีรถยนต์ มีพฤติกรรมเสี่ยงในการรับสัมผัสสารเคมีอยู่ในระดับต่ำร้อยละ 58.1 และพบว่า ความรู้เกี่ยวกับอันตรายจากสารเคมี การได้รับการอบรม การใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล และการได้รับการสนับสนุนทางสังคม มีความสัมพันธ์ทางลบกับพฤติกรรมเสี่ยงในการรับสัมผัสสารเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < .01$) แต่การรับรู้ในการรับสัมผัสสารเคมี มีความสัมพันธ์ทางบวกกับพฤติกรรมเสี่ยงในการรับสัมผัสสารเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < .01$) ผลการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน พบว่า ปัจจัยด้าน

ความรู้เกี่ยวกับอันตรายจากสารเคมี การรับรู้ในการรับสัมผัสสารเคมี การได้รับการอบรม และการได้รับการสนับสนุนอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล สามารถร่วมทำนายพฤติกรรมเสี่ยงในการรับสัมผัสสารเคมีของพนักงานในสถานประกอบการซ่อมและเคาะพ่นสีรถยนต์ได้ร้อยละ 54.6 (p -value < .05) โดยที่ปัจจัยการได้รับการสนับสนุนอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลมากที่สุด

คำสำคัญ: พฤติกรรมเสี่ยง, การรับสัมผัสสารเคมี, เคาะและพ่นสี

ABSTRACT

This research study was a cross-sectional survey. The objective of this research were to analyze the risk behavior for chemical exposure and studying the factor predicting risk behavior for chemical exposure among workers in repair and spray painting shop in Bangkok. The sample was used in the study of 215 in repair and spray painting shop in Bangkok. Data were collected during March to May 2017 with the questionnaire developed by the researcher. The content validity of the questionnaire (IOC) was 0.89. The descriptive statistics, Chi-square, Pearson's product moment correlation and Stepwise Multiple Regression Analysis. The results showed that 58.1% of employees in the repair and spray painting shop had low risk behaviors. It was found that the use of knowledge of chemical hazards, training, personal protective equipment. And social support there was a statistically significant negative correlation (p -value < .01) with exposure to chemicals. But the perception of chemical exposure. Positive correlation with risk behaviors in chemical exposure was significant (p -value < .01). In addition, the results of the stepwise multiple regression analysis revealed that knowledge of chemical hazards, perception of chemical exposure to be trained and support for personal protective equipment. Predictive risk behaviors of employees in the repairing and spraying were 54.6% (p -value < .05). Where factors were supported personal protective equipment was the most influential variables.

KEYWORDS: risk behavior, exposure chemical, repair and spray painting

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมยานยนต์ได้มีการขยายตัวเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากปริมาณการใช้รถยนต์ที่มีจำนวนมากขึ้นสังเกตได้จากรถยนต์ที่จดทะเบียนมีสูงถึง 15 ล้านคัน ซึ่งค่าเฉลี่ยในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา ตั้งแต่ปี 2553 ถึง 2557 พบว่าค่าเฉลี่ยรถยนต์ที่เพิ่มขึ้นปีละประมาณ 9.5 แสนคัน และคาดว่าในอีก 5 ปีข้างหน้ารถยนต์ที่จดทะเบียนอาจจะสูงถึง 19 ล้านคัน ซึ่งส่งผลให้สถานประกอบการเกี่ยวกับรถยนต์เพิ่มขึ้นตามมาด้วย ศูนย์วิจัยกสิกรไทย (2558) และปัจจุบันมีสถานประกอบการซ่อมและเคาะพ่นสีรถยนต์ที่ได้รับอนุญาตจากกรมโรงงานอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นมากที่สุดอยู่ใน 3 อันดับแรก และเป็นอุตสาหกรรมที่มีการจ้างงานมากที่สุด 3 อันดับแรก ซึ่งกรุงเทพมหานครก็จัดเป็น 3 อันดับแรกของจังหวัดที่มีอุตสาหกรรมประกอบกิจการเพิ่มขึ้นมากที่สุดด้วย กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2558) สถานประกอบการซ่อมและเคาะพ่นสีรถยนต์ เป็นสถานประกอบการที่ก่อให้เกิด

อันตรายต่อสุขภาพของแรงงานหลากหลายด้านและมีผลกระทบต่อประชาชนที่อาศัยอยู่โดยรอบ ทั้งทางด้านเคมี ด้านกายภาพ ด้านการยศาสตร์ และก็มีจะถูกรังเรียนอยู่เสมอ ซึ่งสาเหตุหลักๆที่ทำให้เกิดปัญหา คือการที่ผู้ประกอบการขาดความรู้ ความเข้าใจในการประกอบการให้ถูกสุขลักษณะ และความตระหนักถึงปัญหามลพิษที่เกิดขึ้น กองสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อม สำนักอนามัย (2557) สถานประกอบการซ่อมและเคาะพ่นสีรถยนต์มีการใช้สารเคมีร้อยละ 94.93 และในด้านพฤติกรรมการทำงานคนงานไม่สวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลร้อยละ 17.52 ไม่ได้รับการอบรมการใช้/ การบำรุงรักษาเครื่องมือ/ อุปกรณ์ร้อยละ 23.91 ใช้เครื่องมือ/ อุปกรณ์ที่ดัดแปลงให้มีสภาพผิดไปจากปกติร้อยละ 16.67 และไม่ปฏิบัติตามกฎระเบียบความปลอดภัยในการทำงานร้อยละ 6.52 ณัฐนันท์ ขอดวงศ์ (2554) ช่างซ่อมรถยนต์อาจจะได้รับสัมผัสกับอนุภาคโลหะขัดฝุ่นและเมทิลีนคลอไรด์ ไอระเหยในระหว่างการทำงาน ซึ่งโลหะในฝุ่นจะติดกับมือของคนงานตลอดระยะเวลาของวันทำงานและส่งผ่านสารเข้าสู่ร่างกายจากการรับประทานอาหารหากไม่มีการล้างทำความสะอาด Richard (2010) พนักงานที่ทำงานเคาะพ่นสีรถยนต์อาจได้รับสัมผัสสารตะกั่ว จากการสูดดมไอระเหยหรือละอองของพ่นสี ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อที่เป็นอันตรายต่อภาวะสุขภาพและทำให้เกิดการเจ็บป่วยหากไม่มีการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล แต่ทั้งนี้ก็จะขึ้นอยู่กับทัศนคติเกี่ยวกับการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล การสนับสนุนทางสังคม และการบริหารจัดการอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล ซึ่งจะช่วยสนับสนุนและส่งเสริมพฤติกรรมการใช้ อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลและลดความเสี่ยงต่อการสัมผัสสารตะกั่ว โดยเฉพาะพนักงานพ่นสีรถยนต์ จินตนา นิยมน้อย (2556) รวมไปถึงพฤติกรรมการใช้สารเคมีหากไม่รู้จักรั้วการใช้ก็จะก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพที่เกิดจากการใช้สารเคมี ได้แก่ ปวดศีรษะ และมีมึนงง มีอาการน้ำตาไหล มีปัญหาด้านระบบทางเดินหายใจ และอาการที่เจ็บบ่อยที่สุด คือ การไอและจาม วัชรวิธรรณ คำแสน (2552) ดังนั้นเรื่องพฤติกรรมจึงเป็นสิ่งสำคัญหากต้องทำงานกับสารเคมี ประสพการณ์ในการทำงาน การช่างสังเกตสิ่งรอบตัว ทั้งปายเดือน ฉลาก วิธีการใช้จะสามารถช่วยให้ลดการสัมผัสกับสารเคมีลงได้ วัชรวิธรรณ เศรษฐธรรม (2555)

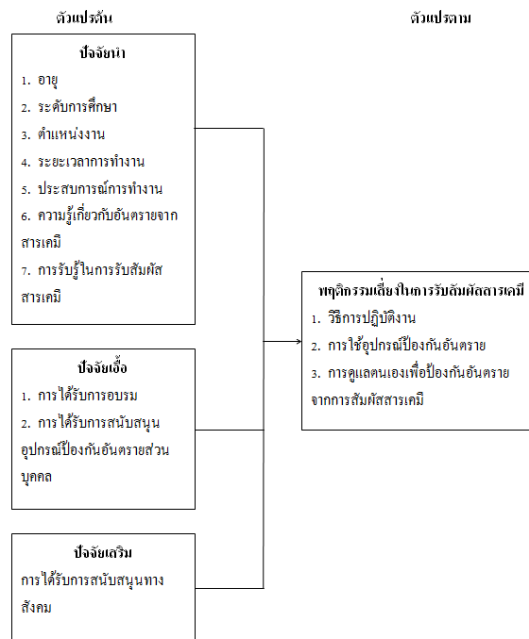
ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้ทำให้ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาปัจจัยทำนายพฤติกรรมเสี่ยงในการรับสัมผัสสารเคมีของพนักงานในสถานประกอบการซ่อมและเคาะพ่นสีรถยนต์ในเขตกรุงเทพมหานคร เพื่อให้ทราบข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับพฤติกรรมในการใช้สารเคมี เช่น วิธีการปฏิบัติงาน การใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล และการดูแลสุขภาพตนเองเพื่อป้องกันการรับสัมผัสสารเคมี เพื่อเป็นแนวทางในการส่งเสริมให้ความรู้ในการปฏิบัติตัวในการป้องกันการรับสัมผัสสารเคมีที่ถูกต้องแก่พนักงานซึ่งจะทำให้พฤติกรรมเสี่ยงในพนักงานลดน้อยลงตลอดจนสามารถนำข้อมูลไปใช้ในการจัดมาตรการหรือแนวทางในการแก้ไขป้องกันการเกิดอันตรายจากการรับสัมผัสสารเคมีจากการปฏิบัติงานของพนักงานในสถานประกอบการซ่อมและเคาะพ่นสีรถยนต์ต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- (1) เพื่อศึกษาพฤติกรรมเสี่ยงในการรับสัมผัสสารเคมีของพนักงานในสถานประกอบการซ่อมและเคาะพ่นสีรถยนต์
- (2) เพื่อศึกษาปัจจัยทำนายพฤติกรรมเสี่ยงในการรับสัมผัสสารเคมีของพนักงานในสถานประกอบการซ่อมและเคาะพ่นสีรถยนต์

3. กรอบแนวคิดในการวิจัย

การศึกษานี้ผู้วิจัยได้นำแนวคิดทฤษฎี PRECEDE PROCEED FRAMEWORK ของ Green and Kreuter (1999) มาใช้เป็นกรอบแนวคิดซึ่งจะประกอบไปด้วย ปัจจัยนำ (Predisposing factors) ปัจจัยเอื้อ (Enabling factors) และปัจจัยเสริม (Reinforcing factors) ดังนี้



แผนภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

4. วิธีดำเนินการวิจัย

รูปแบบของการวิจัย การวิจัยแบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional study)

ประชากร ประชากรที่ใช้ในการศึกษานี้ คือ พนักงานในสถานประกอบการซ่อมและเคาะฟันสิรถยนต์ 8 แห่งในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร จำนวน 217 คน

กลุ่มตัวอย่าง กำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างจากสูตรการคำนวณขนาดตัวอย่างโดยใช้สูตรของ Hsieh & et al (1998)

จากสูตร

$$n = \frac{4P(1-P)(Z_{1-\alpha/2} + Z_{1-\beta})^2}{(P_1 - P_2)^2}$$

เมื่อ n คือ ขนาดตัวอย่างที่ต้องการ

P คือ อัตราการเกิดเหตุการณ์ทั้งหมด ซึ่งในการศึกษานี้ได้ใช้พฤติกรรมเสี่ยงของพนักงานโรงงานแปรรูปโลหะแผ่น จากการศึกษาของ ปันดามธรรภาณี (2553) ที่พบว่ามีพฤติกรรมเสี่ยงในการทำงานโดยรวม ในระดับปานกลางและระดับสูงร้อยละ 62.6 ($P=0.626$)

$P_1 - P_2$ คือ ค่าความแตกต่างระหว่างพฤติกรรมระดับปานกลางและพฤติกรรมระดับสูง ซึ่งในที่นี้กำหนดความแตกต่างที่น้อยที่สุดที่จะเท่ากับ 0.482

เมื่อแทนค่าในสูตร และกำหนดค่าความคลาดเคลื่อน (α) เท่ากับ 5% ($Z_{1-\alpha/2} = 1.96$) และกำหนดกำลังของการทดสอบสมมติฐาน ($1-\beta$) เท่ากับ 90% ($Z_{1-\beta} = 1.28$) จะคำนวณขนาดตัวอย่างได้ $42.19 \cong 43$ คน

ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้มีการศึกษาตัวแปรร่วมหลายตัว จึงทำการปรับขนาดตัวอย่าง ด้วย Hsieh & et al (1998)

$$n_p = \frac{n_1}{(1-R^2)}$$

เมื่อ n_p คือ ขนาดตัวอย่างเมื่อทำการปรับแล้ว
 n_1 คือ ขนาดตัวอย่างที่คำนวณได้จากสูตรคำนวณขนาดตัวอย่างสำหรับ simple logistic regression
 R^2 คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ multiple logistic regression ซึ่งในการศึกษานี้ได้กำหนดไว้ที่ 80% ($R^2=0.80$)

เมื่อแทนค่าสูตรจะได้ขนาดตัวอย่างทั้งหมด 215 คน แต่เพื่อป้องกันการผิดพลาดของข้อมูลจึงทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 217 คน โดยใช้เกณฑ์เกณฑ์คัดเข้า คือ เป็นพนักงานในสถานประกอบการซ่อมและเคาะพ่นสีรถยนต์ขนาดกลาง เป็นพนักงานในแผนกตัวถังและสี (อายุงานไม่ต่ำกว่า 1 เดือน) และเป็นพนักงานที่ยินดีเข้าร่วมในการศึกษาครั้งนี้ ทำให้เหลือกลุ่มตัวอย่างจริง 215 คน โดยเก็บข้อมูลระหว่างเดือนมีนาคม-เดือนพฤษภาคม 2560

เครื่องมือวิจัยและการตรวจสอบคุณภาพ เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล เป็นแบบสอบถามที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเอง ประกอบด้วย 6 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 แบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคล 7 ข้อ ส่วนที่ 2 แบบสอบถามความรู้เกี่ยวกับอันตรายจากสารเคมี 10 ข้อ ส่วนที่ 3 แบบสอบถามการรับรู้ในการรับสัมผัสสารเคมี 10 ข้อ ส่วนที่ 4 ข้อมูลปัจจัยเอื้อ แบ่งเป็น 2 ตอน ตอนที่ 1 แบบสอบถามการได้รับการอบรม 5 ข้อ ตอนที่ 2 แบบสอบถามการได้รับอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล 5 ข้อ ส่วนที่ 5 ข้อมูลปัจจัยเสริม แบบสอบถามการได้รับการสนับสนุนทางสังคม 10 ข้อ และส่วนที่ 6 แบบสอบถามพฤติกรรมเสี่ยงในการรับสัมผัสสารเคมี 20 ข้อ

การตรวจสอบ ความตรงเชิงเนื้อหา และความเป็นปรนัย ผู้วิจัยได้ตรวจสอบความถูกต้องและครอบคลุมเนื้อหาพร้อมทั้งประเมินความเข้าใจของผู้ตอบ โดยผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน ($IOC = 0.89$) และผ่านการทดสอบความเที่ยงของแบบสอบถาม แล้วได้นำไปทดลองใช้ในการเก็บข้อมูลกับพนักงานที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างแต่มีลักษณะเช่นเดียวกับประชากรที่ศึกษา จำนวน 30 คน เพื่อทำการวิเคราะห์ความเที่ยงของแบบสอบถาม ในส่วนที่ 3 การรับรู้ในการรับสัมผัสสารเคมี ได้ค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.77 ส่วนที่ 4 การได้รับการอบรมจากหน่วยงาน และการได้รับการสนับสนุนอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล ได้ค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.70 และ 0.52 ตามลำดับ ส่วนที่ 5 การได้รับการสนับสนุนทางสังคม ได้ค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.81 และส่วนที่ 6 พฤติกรรมเสี่ยงในการรับสัมผัสสารเคมี ได้ค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.88 สำหรับแบบสอบถามด้านความรู้เกี่ยวกับอันตรายจากสารเคมี ได้นำมาหาค่าความเชื่อมั่น (Reliability) ด้วยสูตร Kuder-Richardson (KR-20) ได้ค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.74

การเก็บรวบรวมข้อมูล การวิจัยนี้ได้รับจริยธรรมการวิจัยจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยบูรพา และในการเข้าร่วมการวิจัยนี้ได้รับความยินยอมจากกลุ่มตัวอย่างเป็นลายลักษณ์

อักษร การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยตนเอง โดยชี้แจงวัตถุประสงค์ในการทำวิจัยครั้งนี้ และทำการแจกแบบสอบถามให้แก่พนักงาน โดยเลือกเฉพาะพนักงานที่มีคุณสมบัติตรงกับที่ระบุไว้ข้างต้น และทำการเก็บแบบสอบถามและตรวจสอบความสมบูรณ์ของแบบสอบถาม เพื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา หาค่าความสัมพันธ์ด้วยสถิติไคว์สแควร์ สถิติสหสัมพันธ์ของเพียร์สัน และวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน (Stepwise multiple regression analysis)

5. สรุป

จากการศึกษากลุ่มตัวอย่างร้อยละ 36.3 มีอายุอยู่ในช่วง 31-40 ปี โดยมีค่าเฉลี่ยอายุอยู่ที่ 36 ปี ร้อยละ 32.1 จบศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น ร้อยละ 24.7 ทำงานในตำแหน่งช่างพ่นสี ร้อยละ 84.7 ทำงานสัปดาห์ละ 48 ชั่วโมง และร้อยละ 47.4 มีประสบการณ์ทำงานอยู่ในช่วง 1-5 ปี โดยมีค่าเฉลี่ยประสบการณ์ทำงานอยู่ที่ 4.59 ปี ในด้านความรู้เกี่ยวกับอันตรายจากสารเคมี ร้อยละ 60 มีคะแนนอยู่ในระดับดี ร้อยละ 32.1 มีคะแนนอยู่ในระดับปานกลาง และร้อยละ 6.5 มีคะแนนอยู่ในระดับน้อย โดยค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 7.8 ในด้านการรับรู้การรับสัมผัสสารเคมี ร้อยละ 77.2 มีคะแนนอยู่ในระดับสูง ร้อยละ 22.3 มีคะแนนอยู่ในระดับปานกลาง และร้อยละ 0.5 มีคะแนนอยู่ในระดับต่ำ โดยคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 25.26 ในด้านการได้รับการอบรม ร้อยละ 75.3 มีคะแนนอยู่ในระดับสูง ร้อยละ 17.7 มีคะแนนอยู่ในระดับปานกลาง และร้อยละ 7.0 มีคะแนนอยู่ในระดับต่ำ โดยคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 12.73 ในด้านการได้รับอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล ร้อยละ 92.6 มีคะแนนอยู่ในระดับสูง และร้อยละ 7.4 มีคะแนนอยู่ในระดับปานกลาง ต่ำ โดยคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 14.07 และในด้านการได้รับการสนับสนุนทางสังคม ร้อยละ 44.7 มีคะแนนอยู่ในระดับสูง ร้อยละ 49.8 มีคะแนนอยู่ในระดับปานกลาง และร้อยละ 5.6 มีคะแนนอยู่ในระดับต่ำ โดยคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 22.62 ส่วนในเรื่องพฤติกรรมเสี่ยงในการรับสัมผัสสารเคมีของกลุ่มตัวอย่าง พบว่า ร้อยละ 58.1 มีคะแนนพฤติกรรมเสี่ยงอยู่ในระดับต่ำ และร้อยละ 35.8 มีคะแนนพฤติกรรมเสี่ยงอยู่ในระดับปานกลาง โดยคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 16.70

ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการศึกษา ตำแหน่งงาน กับพฤติกรรมเสี่ยงในการรับสัมผัสสารเคมีของพนักงานในสถานประกอบการซ่อมและเคาะพ่นสีรถยนต์ ผลจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยสถิติไคว์สแควร์ พบว่า ระดับการศึกษามีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมเสี่ยงในการรับสัมผัสสารเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ส่วนตำแหน่งงานไม่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมเสี่ยงในการรับสัมผัสสารเคมี

ความสัมพันธ์ระหว่างอายุ ระยะเวลาการทำงาน ประสบการณ์ทำงาน ความรู้เกี่ยวกับอันตรายจากสารเคมี การรับรู้ในการรับสัมผัสสารเคมี การได้รับการอบรม การได้รับอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล และการได้รับการสนับสนุนทางสังคม กับพฤติกรรมเสี่ยงในการรับสัมผัสสารเคมีของพนักงานในสถานประกอบการซ่อมและเคาะพ่นสีรถยนต์ ผลจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยใช้สถิติสหสัมพันธ์ของเพียร์สัน พบว่า ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ทางบวกกับพฤติกรรมเสี่ยงในการรับสัมผัสสารเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ การรับรู้ในการรับสัมผัสสารเคมี ($r = 0.215, p\text{-value} < .01$) ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ทางลบกับพฤติกรรมเสี่ยงในการรับสัมผัสสารเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับอันตรายจากสารเคมี ($r = -0.290, p\text{-value} < .001$) การ

อบรม ($r = -0.272$, $p\text{-value} < .001$) การสนับสนุนอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล ($r = -0.392$, $p\text{-value} < .001$) และการสนับสนุนทางสังคม ($r = -0.315$, $p\text{-value} < .001$)

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์หาคถอยพหุคูณแบบขั้นตอนของปัจจัยที่สามารถทำนายพฤติกรรมเสี่ยงในการรับสัมผัสสารเคมีของพนักงานในสถานประกอบการซ่อมและเคาะฟันสิริยนต์ ($n=215$)

ตัวแปรที่เข้าสมการ	β	Beta	R^2	R^2 Change	t	p-value
การสนับสนุน PPE	-1.771	-.290	.149	.149	-4.616	<0.001
ความรู้เกี่ยวกับอันตรายจากสารเคมี	-1.215	-.247	.202	.053	-3.468	0.001
การรับรู้ในการรับสัมผัสสารเคมี	.873	.328	.278	.076	5.031	<0.001
การอบรม	-.548	-.175	.298	.020	-2.374	0.019
ค่าคงที่ = 36.126						
$R^2 = .546$ R^2 Adjusted = .284 $F = 5.638$ $p\text{-value} = <.05$						

ปัจจัยทำนายพฤติกรรมเสี่ยงในการรับสัมผัสสารเคมี

วิเคราะห์โดยใช้สถิติสัมประสิทธิ์ถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอนดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่า ปัจจัยที่เข้าสมการถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน ได้แก่ การได้รับการสนับสนุนอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล ซึ่งสามารถทำนายพฤติกรรมเสี่ยงในการรับสัมผัสสารเคมีได้ร้อยละ 14.9 ความรู้เกี่ยวกับอันตรายจากสารเคมีร้อยละ 20.2 การรับรู้ในการรับสัมผัสสารเคมีร้อยละ 27.8 และการได้รับการอบรมร้อยละ 29.8 ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยมีสมการ ดังนี้

สมการถดถอยในรูปของคะแนนดิบ (β) คือ พฤติกรรมเสี่ยงในการรับสัมผัสสารเคมีในพนักงานซ่อมและเคาะฟันสิริยนต์ = $36.126 - 1.771$ (การได้รับการสนับสนุนอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล) - 1.215 (ความรู้เกี่ยวกับอันตรายจากสารเคมี) + 0.873 (การรับรู้ในการรับสัมผัสสารเคมี) - 0.548 (การได้รับการอบรม)

สมการถดถอยในรูปของคะแนนมาตรฐาน (Beta) คือ พฤติกรรมเสี่ยงในการรับสัมผัสสารเคมีในพนักงานซ่อมและเคาะฟันสิริยนต์ = -0.290 (การได้รับการสนับสนุนอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล) - 0.247 (ความรู้เกี่ยวกับอันตรายจากสารเคมี) + 0.328 (การรับรู้ในการรับสัมผัสสารเคมี) - 0.175 (การได้รับการอบรม)

6. อภิปรายผล

จากการศึกษาพฤติกรรมเสี่ยงในการรับสัมผัสสารเคมีของพนักงานในสถานประกอบการซ่อมและเคาะฟันสิริยนต์ พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีพฤติกรรมเสี่ยงอยู่ในระดับต่ำ คิดเป็นร้อยละ 58.1 ซึ่งการศึกษาปัจจัยทำนายพฤติกรรมเสี่ยงในการรับสัมผัสสารเคมีของพนักงานในสถานประกอบการซ่อมและเคาะฟันสิริยนต์ พบว่า ความรู้เกี่ยวกับอันตรายจากสารเคมีมีความสัมพันธ์ทางบวกและสามารถทำนายพฤติกรรมเสี่ยงในการรับสัมผัสสารเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < .01$) กล่าวคือ ความรู้นั้นก่อให้เกิดความเข้าใจ เกิดแรงจูงใจที่จะปฏิบัติตนให้ถูกต้องเหมาะสมซึ่งก็ส่งผลไปยังพฤติกรรมที่แสดงออกมา ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของจิรา จำศีล (2555) ที่ศึกษาเรื่องปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการป้องกันตนเองจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ของ

เกษตรกรผู้ปลูกสับปะรด ที่พบว่า ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและผลกระทบมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับพฤติกรรมการป้องกันตนเอง กล่าวคือ ถ้าเกษตรกรมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับสารเคมีที่ใช้กำจัดศัตรูพืชและสัตว์สูงก็จะมีพฤติกรรมการป้องกันตนเองจากสารเคมีสูงตามไปด้วย

ในส่วนการรับรู้ในการรับสัมผัสสารเคมีมีความสัมพันธ์ทางลบและสามารถทำนายพฤติกรรมเสี่ยงในการรับสัมผัสสารเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < .01$) กล่าวคือ การรับรู้เป็นการประเมินความเข้าใจ การตีความของแต่ละบุคคล ซึ่งแต่ละบุคคลมีการรับรู้ที่แตกต่างกัน และการรับรู้อาจรวมไปถึงความเชื่อมั่นของแต่ละบุคคลจึงส่งผลต่อพฤติกรรมโดยตรง และในงานวิจัยนี้กลุ่มตัวอย่างที่มีการรับรู้ในการรับสัมผัสสารเคมีสูงและก็มีพฤติกรรมเสี่ยงในการรับสัมผัสสารเคมีสูงเช่นกัน ทั้งนี้อาจเกิดจากความเชื่อมั่นในตนเองที่คิดว่าตนเองรู้มากและสามารถป้องกันมันได้ ซึ่งไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของทรัพย์สตรี แสตนวิสุข (2550) ที่ศึกษาเรื่องพฤติกรรมความปลอดภัยในการปฏิบัติงานกับสารเคมีของพนักงานในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ที่พบว่า ผู้ที่มีการรับรู้ความเสี่ยงจากสารเคมีมากกว่าจะมีพฤติกรรมความปลอดภัยที่ดีกว่าผู้ที่มีการรับรู้ความเสี่ยงน้อยกว่า หรือผู้ที่มีการรับรู้สูงก็จะมีพฤติกรรมเสี่ยงต่ำนั่นเอง

ในส่วนการได้รับการอบรมมีความสัมพันธ์ทางบวกและสามารถทำนายพฤติกรรมเสี่ยงในการรับสัมผัสสารเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < .01$) กล่าวคือ กลุ่มตัวอย่างที่ได้รับการอบรมสูงก็จะมีพฤติกรรมเสี่ยงในการรับสัมผัสสารเคมีต่ำ การได้รับการอบรมก็เปรียบเสมือนการหาความรู้ใหม่ๆ ยิ่งมีความรู้มากก็จะยิ่งทำให้ตระหนักถึงอันตรายที่จะเกิดขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของวิชาดา สิมลา (2554) ที่ศึกษาเรื่องปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันสารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรจังหวัดพัทลุง พบว่า การได้รับความรู้คำแนะนำหรือเคยได้รับการอบรมเกี่ยวกับอันตรายจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืช มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ($p = 0.002$) กล่าวคือ เกษตรกรที่ได้รับการความรู้ คำแนะนำ หรือการอบรมเกี่ยวกับอันตรายจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืชจะมีพฤติกรรมการป้องกันสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ดีกว่าเกษตรกรที่ไม่เคยได้รับความรู้ คำแนะนำ หรือการอบรมเกี่ยวกับอันตรายจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืช

ในส่วนการสนับสนุนอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลมีความสัมพันธ์ทางบวกและสามารถทำนายพฤติกรรมเสี่ยงในการรับสัมผัสสารเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < .01$) กล่าวคือ กลุ่มตัวอย่างที่ได้รับการสนับสนุนอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลสูงก็จะมีพฤติกรรมเสี่ยงในการรับสัมผัสสารเคมีต่ำ อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดเพราะสามารถป้องกันร่างกายจากอันตรายต่างๆ ได้ ดังนั้นหากสถานประกอบให้ความสำคัญกับเรื่องการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลก็จะส่งผลต่อพฤติกรรมที่แสดงออกมาของกลุ่มตัวอย่างด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของพรรัตน์ เทียงคำดี (2556) ที่ศึกษาเรื่องปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมป้องกันอุบัติเหตุจากการทำงานของพนักงานเก็บขยะ ที่พบว่า ถ้ากลุ่มตัวอย่างได้รับการสนับสนุนอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลเพิ่มขึ้นก็จะมีพฤติกรรมการป้องกันอุบัติเหตุจากการทำงานที่ดีขึ้นตามไปด้วย

และในส่วนการสนับสนุนทางสังคมมีความสัมพันธ์ทางบวกแต่ไม่รวมทำนายพฤติกรรมเสี่ยงในการรับสัมผัสสารเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < .001$) กล่าวคือ กลุ่มตัวอย่างที่ได้รับการสนับสนุนทางสังคมสูงก็จะมีพฤติกรรมเสี่ยงในการรับสัมผัสสารเคมีต่ำการสนับสนุนทางสังคมเป็นตัวที่จะช่วยให้เกิดการกระทำ เพราะการได้รับความแนะนำ การเห็นตัวอย่างที่ดี จะเป็นอิทธิพลที่ช่วยผลักดันให้บุคคลมีพฤติกรรมที่ปลอดภัย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของอรุณี จันไชยชนะ (2552) ที่ศึกษาเรื่องพฤติกรรมการป้องกันการสัมผัสสารเคมีกำจัด

ศัตรูพืชและปัจจัยที่เกี่ยวข้องในเกษตรกรที่ปลูกสตอเบอรี่ พบว่า กลุ่มตัวอย่างมากกว่าครึ่งหนึ่งมีความคิดเห็นว่า ทักษะของบุคคลอื่น การเป็นแบบอย่างทางสังคมของครอบครัว เพื่อนหรือคนรู้จัก มีอิทธิพลโดยตรงกับพฤติกรรมป้องกันการสัมผัสสารเคมี

จากการศึกษาปัจจัยทำนายพฤติกรรมเสี่ยงในการรับสัมผัสสารเคมี พบว่า ตัวแปรที่เข้าทำนายพฤติกรรมเสี่ยงในการรับสัมผัสสารเคมี ได้แก่ ปัจจัยนำ คือ ความรู้ในการรับสัมผัสสารเคมี ปัจจัยเอื้อ คือ การได้รับการอบรมและการได้รับการสนับสนุนอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล ในส่วนปัจจัยเสริม คือ การสนับสนุนทางสังคม ไม่รวมทำนายพฤติกรรมเสี่ยงในการรับสัมผัสสารเคมีในครั้งนี้ ซึ่งไม่สอดคล้องตามทฤษฎี PRECEDE-PROCEED Model ของ Green & Kreuter (1999) ที่กล่าวไว้ว่า พฤติกรรมหรือการกระทำต่างๆ ของบุคคลเป็นอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้ง 3 คือ ปัจจัยนำ ปัจจัยเอื้อ และปัจจัยเสริม ซึ่งจะขาดปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งไม่ได้ กล่าวคือ หากกลุ่มตัวอย่างได้รับการอบรม จะส่งผลให้มีความรู้เพิ่มขึ้น และประกอบกับสถานประกอบการมีการบริหารจัดการอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล จัดให้มีอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลอย่างเพียงพอกับจำนวนพนักงาน จะเอื้ออำนวยให้พนักงานมีการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลมากขึ้น แต่ถ้าหากขาดการสนับสนุนจากทางสังคม เช่น หัวหน้างาน เพื่อนร่วมงาน ก็จะทำให้ขาดแรงผลักดันให้บุคคลมีการปฏิบัติตนที่ดีทำให้ส่งผลต่อพฤติกรรมที่แสดงออกมา

7. ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

จากผลการวิจัย พบว่า การสนับสนุนอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล เป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลในการทำนายพฤติกรรมเสี่ยงในการรับสัมผัสสารเคมีได้มากที่สุด ดังนั้น

1. หน่วยงานควรจัดให้มีการอบรม ให้ความรู้เกี่ยวกับเรื่องสารเคมี การฝึกอบรมการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล ให้กับพนักงานในหน่วยงานอย่างเป็นประจำ
2. หน่วยงานควรจัดอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลให้ตรงกับลักษณะของงานและครบถ้วนทุกชิ้น หากเกิดการชำรุด เสียหาย พนักงานสามารถขอเปลี่ยนชิ้นใหม่ได้ตลอด

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรศึกษาปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมในการทำงาน เพิ่มเพื่อหาความสัมพันธ์ต่อพฤติกรรมเสี่ยงในการรับสัมผัสสารเคมี
2. ควรศึกษาภาวะสุขภาพในกลุ่มพนักงานซ่อมและเคาะพ่นสีรถยนต์ เนื่องจากขั้นตอนการปฏิบัติงานมีความเสี่ยงที่อาจเจ็บป่วยด้วยโรคต่างๆ จากสารเคมี

7. เอกสารอ้างอิง

- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2558. “สรุปสถิติจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมที่ได้รับอนุญาตให้ประกอบกิจการ”. สืบค้นเมื่อวันที่ 31 มกราคม 2559. จาก <http://www.diw.go.th/hawk/content.php?mode=spss58>
- กองสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อมสำนักอนามัยกรุงเทพมหานคร. 2557. “คู่มือและหลักเกณฑ์การประกอบกิจการที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพประเภทพ่นสีรถยนต์”. สืบค้นเมื่อวันที่ 31 มกราคม 2559 จาก <http://203.155.220.217/phpd/Media/HandBook/ESD/57/Car%2057.pdf>
- จินตนา นิยมน้อย. 2556. “ปัจจัยทำนายการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลของพนักงานโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์จังหวัดสมุทรปราการ”. *พยาบาลสาร*, 40(3): 30-39.
- จิรภา จำศีล. 2555. “ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการป้องกันตนเองจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ของเกษตรกรผู้ปลูกสับปะรด ตำบลบ้านเสด็จ อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง”. *วิทยานิพนธ์ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการมนุษย์กับสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*.
- ณัฐนันท์ ขอดวงศ์. 2554. “สิ่งแวดล้อมในการทำงานสภาพการทำงานและพฤติกรรมการทำงานที่ปลอดภัยของคนงานในสถานประกอบการเคาะพ่นสีรถยนต์”. *วิทยานิพนธ์พยาบาลศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการพยาบาลอาชีวอนามัย บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*.
- ดาวิวรรณ เสรฐฐิธรรม. 2555. “พฤติกรรมการใช้และปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการลดการสัมผัสสารกำจัดศัตรูพืชในกลุ่มเกษตรกรในขอนแก่นประเทศไทย”. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 17(1): 35-49.
- ทรัพย์สตรี แสนทวีสุข. 2550. “พฤติกรรมความปลอดภัยในการปฏิบัติงานกับสารเคมีของพนักงานในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ จังหวัดชลบุรี”. *วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาประชากรศาสตร์ วิทยาลัยประชากรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*.
- นพรัตน์ เทียงคำดี. 2556. “ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการป้องกันอุบัติเหตุจากการทำงานของพนักงานเก็บขยะอำเภอบางละมุงจังหวัดชลบุรี”. *วิทยานิพนธ์พยาบาลศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการพยาบาลอาชีวอนามัย คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา*.
- ปนัดดา มธุรภาณี. (2553). “การบาดเจ็บที่เกี่ยวข้องเนื่องจากการทำงานและพฤติกรรมเสี่ยงของพนักงานโรงงานแปรรูปโลหะแผ่น”. *วิทยานิพนธ์พยาบาลศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการพยาบาลอาชีวอนามัย บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*.
- วัชรวิวรรณ คำแสน. 2552. “พฤติกรรมการใช้สารเคมีและปัญหาสุขภาพในผู้ประกอบการอาชีพหัตถกรรมไม้มะม่วง”. *วารสารวิชาการสาธารณสุข*, 17(6): 951-964.
- วิชชาดา สิมลา. 2554. “ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันสารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรตำบลแหลมโดนด อำเภอกวนขนุน จังหวัดพัทลุง”. *วารสารวิชาการสาธารณสุข*, 42(2): 103-113.
- ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. “ธุรกิจผลิตชิ้นส่วนรถยนต์”. สืบค้นเมื่อวันที่ 31 มกราคม 2559. จาก http://www.kasikornbank.com/SME/Documents/KSMEAnalysis/IndustrySolution_AutoAndParts_2015.pdf

อรุณี จันไชยชนะ. 2552. “พฤติกรรมป้องกันการสัมผัสสารเคมีกำจัดศัตรูพืชและปัจจัยที่เกี่ยวข้องในเกษตรกรที่ปลูกสตรอเบอร์รี่”. วิทยานิพนธ์วิทยานิพนธ์พยาบาลศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการพยาบาล
อาชีวอนามัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Green, L. W., & Kreuter, M. W. 1999. **“Health promotion planning an education and ecological Approach”**.
(3rd ed). California: Mayfield.

Hsieh FY, Bloch DA, Larsen MD. (1998). “A simple method of sample size calculation for linear and logistic regression”. **Statistics in Medicine**. 17(14): 1623-34.

Richard T.Enander. 2010. “Lead and Methylene Chloride Exposures Among Automotive Repair Technicians”.
Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 1: 119-125.

การหาค่ามุมตกกระทบจากแผ่นโลหะที่ถูกยิงด้วยกระสุนปืนขนาด .45
ANGLE OF IMPACT DETERMINATION FROM DAMAGED METAL
PLATES SHOT BY .45 CALIBER BULLETS

ศราวิน โปไลตานนท์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์(หลักสูตรนานาชาติ)

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

E-mail: Sarawin127@gmail.com

ดร. รัชภักย์ จิตต์อารี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

E-mail: rachapak.chi@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของร่องรอยความเสียหายของแผ่นโลหะและหัวกระสุน จากมุมตกกระทบต่างๆ ผลของการศึกษาคาดว่าจะสามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับผู้ตรวจในการหามุมตกกระทบของหัวกระสุนในการตรวจสอบสถานที่เกิดเหตุคดีที่มีอาวุธปืนเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งในการที่จะหามุมตกกระทบจะต้องใช้ความเชื่อมโยงจากวิธีการต่างๆหลายวิธี ประกอบด้วย (1) การใช้ฟังก์ชันตรีโกณมิติซึ่งคล้ายกับวิธีที่ใช้ในการหาทิศทาง การกระเด็นของหยดเลือด; (2) การสังเกตการกระจายของเนื้อตะกั่ว บริเวณที่หัวกระสุนกระทบกับเป้าหมาย; (3) การอ่านค่าโดยตรงจาก template และ (4) การสังเกตจากซากชิ้นส่วนของหัวกระสุน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า แม้จะสังเกตพบว่าการกระจายของเนื้อตะกั่วมีความแตกต่างกันในแต่ละมุม แต่ไม่สามารถระบุค่ามุมตกกระทบเป็นตัวเลขที่ถูกต้องได้ ทำให้จำเป็นต้องอาศัยผลที่ได้จากวิธีการต่าง ๆ มาพิจารณารวมกัน เพื่อที่จะสามารถได้ข้อมูลที่สมบูรณ์ทั้งเชิงปริมาณ และเชิงคุณภาพสำหรับการระบุมุมตกกระทบที่ถูกต้อง โดยสรุปคือเมื่อใช้วิธีการต่าง ๆ ตามที่กล่าวมาข้างต้นร่วมกัน พบว่าการระบุค่ามุมตกกระทบใกล้เคียงกับค่าอ้างอิงมากขึ้น โดยเฉพาะมุมตกกระทบที่มีขนาดเล็ก

คำสำคัญ: การตรวจสอบสถานที่เกิดเหตุ, มุมตกกระทบ, วิถีกระสุน, นิติวิทยาศาสตร์

ABSTRACT

This research studies the correlation between the damaged area of a metal plate and deformed bullet fired on different bullet impact angles. The result are expected to give a guideline for investigators to reconstruct the bullet trajectory in shooting crime scene. Different methods are proposed to decode the impact angle from the correlation found. The methods include (1) the use of trigonometric function similarly used in the blood pattern

analysis; (2) the observation of the spreading of the lead deposition due to the bullet contacting the target; (3) the direct reading from a template and (4) the interpretation of the bullet fragments. The experimental results show that although the spreading of the lead deposition from individual impact angles are rather different, numerical value of the impact angles cannot be accurately selected. This suggests that a combination of the methods are required so as to correctly achieve both qualitative and quantitative impact angles. In all, the results obtained from the combination of proposed methods provided better matching of estimated impact angles to the preset ones, especially the lower impact angles.

KEYWORDS: crime scene investigation, impact angle, bullet trajectory, forensic science

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

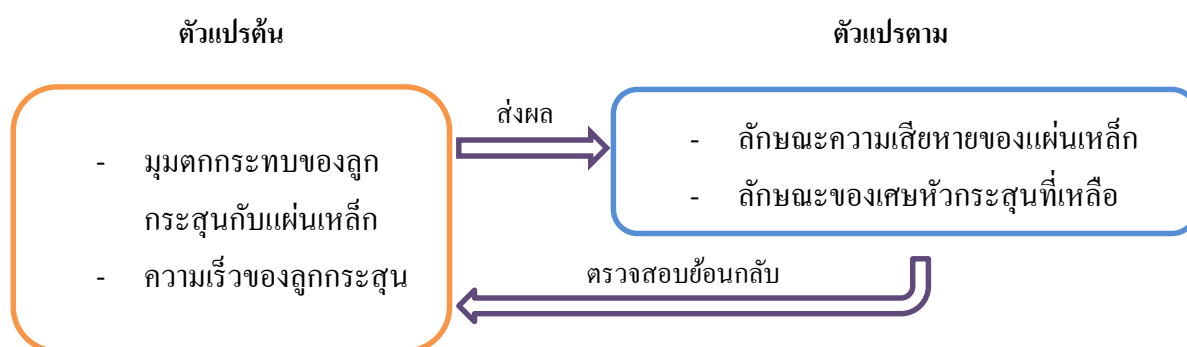
อาวุธปืนเป็นหนึ่งในอาวุธที่ใช้ในการก่อคดีอาชญากรรมในประเทศไทย เพราะอาวุธปืนนั้นสามารถหาครอบครองได้ง่ายทั้งกรณีที่ถูกกฎหมายและผิดกฎหมาย ซึ่งเป็นเหตุให้คดีที่เกี่ยวข้องกับอาวุธปืนมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น และปืนขนาด .45 เป็นอาวุธปืนขนาดหนึ่งที่ผู้คนใช้กันเป็นจำนวนมากเนื่องจากหาใช้งานได้โดยสะดวก

ในการตรวจสอบที่เกิดเหตุการชันสูตรศพ ควรรวบรวมพยานหลักฐานที่สำคัญให้ได้มากที่สุด ซึ่งคดีที่มีอาวุธปืนเข้ามาเกี่ยวข้อง สิ่งสำคัญที่ผู้ตรวจต้องการทราบคือลูกกระสุนชนิดใดและขนาดใด ยิ่งมาจากปืนชนิดและขนาดใด และที่สำคัญคือยิงมาจากมุมใด ซึ่งในปกติการหาทิศทางกระสุนปืนหรือการหาวิถีกระสุนจะใช้ร่องรอยการทะลุของเป้าหมาย ดังนั้นร่องรอยความเสียหาย ต้องประกอบด้วย รูกกระสุนเข้าและออก จึงจะหาทิศทางได้อย่างแม่นยำ แต่ในบางกรณี ลูกกระสุนปืนที่ตกกระทบกับวัตถุไม่ทะลุผ่านแต่เกิดการแล่นบนพื้นผิว ทำให้วิธีการเดิมที่ใช้กับการทะลุมาใช้ไม่ได้กับกรณีกระสุนแล่นบนพื้นผิว ซึ่งประเด็นนี้ถูกนำมาใช้เป็นปัญหาในการวิจัย โดยในการวิจัยนี้ใช้แผ่นเหล็กในการศึกษาหาร่องรอยความเสียหายกับมุมตกกระทบต่าง ๆ ของลูกกระสุน

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การวิจัยนี้ได้ศึกษาหาความสัมพันธ์ของลักษณะร่องรอยความเสียหายที่ปรากฏบนแผ่นเหล็ก กับมุมตกกระทบต่างๆของลูกกระสุน เพื่อที่จะสามารถนำไปเปรียบเทียบกับร่องรอยความเสียหายไปหามุมตกกระทบของลูกกระสุนได้

3. กรอบแนวคิดในการวิจัย



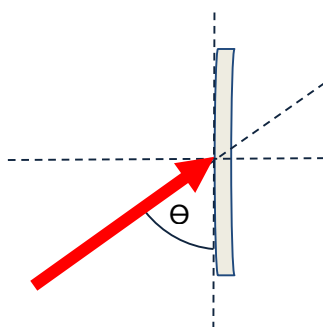
ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

จากกรอบแนวคิดในการวิจัย ซึ่งพิจารณาจากตัวแปรต้น คือมุมตกกระทบของหัวกระสุน และความเร็วของลูกกระสุน จะส่งผลให้ร่องรอยความเสียหายปรากฏที่ แผ่นเหล็กตัวอย่าง และลักษณะซากหัวกระสุนปืนที่ตกกระทบ มีลักษณะแตกต่างกัน ซึ่งลักษณะที่ปรากฏเฉพาะในแต่ละมุมยิงนั้น สามารถนำไปเปรียบเทียบย้อนกลับในการตรวจสอบที่เกิดเหตุในคดีที่เกี่ยวกับอาวุธปืนเพื่อหาข้อมูลต่างๆ ได้

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 แบบแผนการวิจัย

การวิจัยได้ศึกษาร่องรอยความเสียหายจากมุมยิงต่างๆ ซึ่งการทดลองได้ทำที่ระยะการยิง 5 เมตร ที่แผ่นเหล็กชนิดเดียวกัน กระสุนขนาด .45 ยิงจากปืน Colt automatic M1911A1 ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะถูกควบคุมให้เหมือนกันทุกมุมยิง การทดลองจะถูกแบ่งเป็นสองส่วนประกอบด้วย ส่วนแรกยิงด้วยกระสุนปกติ และส่วนที่สองยิงด้วยกระสุนที่ถูกกลดดันปืนออก ซึ่งแต่ละส่วนแผ่นเหล็กจะถูกยิงที่มุม 90, 75, 60, 45 และ 30 องศา วัดเทียบกับระนาบของแผ่นเหล็ก ในแต่ละมุมทำการทดลองยิง 2 ครั้ง ร่องรอยความเสียหายทั้งหมดถูกบันทึกภาพด้วยกล้องถ่ายรูปแบบดิจิทัลยี่ห้อ Nikon รุ่น D90 ติดตั้งให้ทำมุมตั้งฉากกับแผ่นเหล็ก ร่องรอยความเสียหายจะถูกวัดขนาดด้วยเวอร์เนียสคาลิปเปอร์ และใช้ template รูปวงรีมาเทียบหามุมที่ใกล้เคียงที่สุด



ภาพที่ 2 แสดงนิยามการวัดมุมตกกระทบ θ ของหัวกระสุนในการวิจัย

4.2 ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรที่สังเกตคือ มุมตกกระทบของหัวกระสุนและความเร็วของลูกกระสุนที่จะส่งผลให้ได้ลักษณะของความเสียหายที่ปรากฏแตกต่างกัน

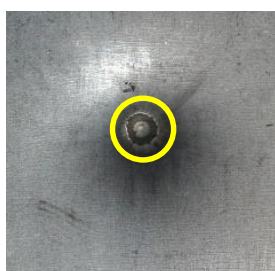
4.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลจะถูกแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกคือการใช้หลักการเดียวกันกับการหาทิศทางของการกระจายของโลหิต โดยการวัดความกว้างและความยาวของร่องรอยการแลบของหัวกระสุนกับแผ่นโลหะและหาค่าทางตรีโกณมิติ $\sin^{-1}$ เพื่อให้ได้มาซึ่งมุมตกกระทบของหัวกระสุน ขั้นตอนที่สองคือการใช้ template เปรียบเทียบ โดยในแผ่น template มีรูปวงรีที่มีขนาดระบุชัดเจนสำหรับหาขนาดของร่องรอยความเสียหายเพื่อหาช่วงมุมตกกระทบของหัวกระสุน ขั้นตอนที่สามคือ การสังเกตร่องรอยอื่นๆของความเสียหายที่เกิดขึ้นบนแผ่นโลหะ ในที่นี้จะสังเกตการกระจายของเนื้อตะกั่วตรงจุดปะทะเนื่องจากการแตกตัวของหัวกระสุนบนแผ่นโลหะ และขั้นตอนสุดท้ายคือสังเกตซากของหัวกระสุนที่เก็บได้

5. สรุปผลการวิจัย

5.1 หัวกระสุนขนาด .45 ความเร็วกระสุน ~1170-1180 Fps ขนาดดินปืนประมาณ 0.35 กรัม

No.	มุมตกกระทบ	ความเร็ว (fps)	ความเร็ว (mps)	กว้าง (mm)	ยาว (mm)	$\sin^{-1}$	มุมที่วัดจาก template	การกระจายของ เนื้อตะกั่ว
1	90°	1177	357.5	14.6	14.6	90°	75°-90°	เท่ากันทุกด้าน
2	90°	1177	357.5	12.7	12.6	82.8°	75°-90°	ด้านบนมากกว่า



ภาพที่ 3 ความเสียหายที่แผ่นโลหะหมายเลข 1(ทางซ้าย) และหมายเลข 2 (ทางขวา)

ภาพที่ 4 ซากหัวกระสุนหมายเลข 1

No.	มุมตกกระทบ	ความเร็ว (fps)	ความเร็ว (mps)	กว้าง (mm)	ยาว (mm)	$\sin^{-1}$	มุมที่วัดจาก template	การกระจายของ เนื้อตะกั่ว
3	75°	1166	355.4	13.5	14.1	73.2°	75°-90°	ด้านบนมากกว่า
4	75°	1167	357.7	15.3	16.0	72.9°	75°-90°	ด้านบนมากกว่า

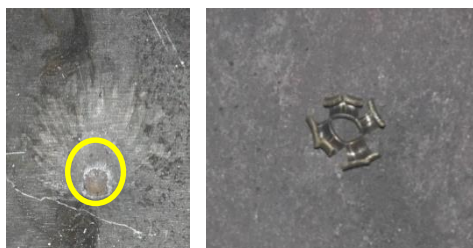


ภาพที่ 5 ความเสียหายที่แผ่นโลหะและลูกกระสุนหมายเลข 3

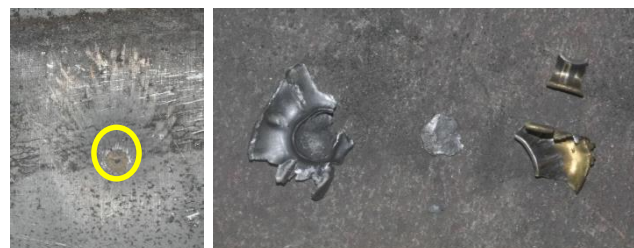


ภาพที่ 6 ความเสียหายที่แผ่นโลหะและลูกกระสุนหมายเลข 4

No.	มุมตกกระทบ	ความเร็ว (fps)	ความเร็ว (mps)	กว้าง (mm)	ยาว (mm)	$\sin^{-1}$	มุมที่วัดจาก template	การกระจายของ เนื้อตะกั่ว
5	60°	1170	356.6	11.7	13.7	58.6°	60°-75°	ด้านบนด้านเดียว
6	60°	1171	356.9	13.1	15.3	58.9°	60°-75°	ด้านบนด้านเดียว

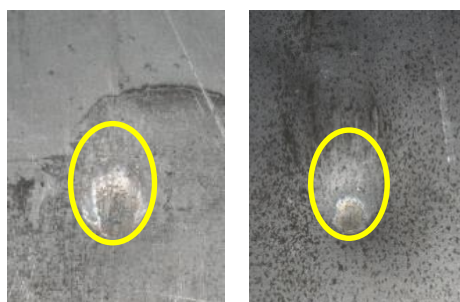


ภาพที่ 7 ความเสียหายที่แผ่นโลหะและลูกกระสุนหมายเลข 5



ภาพที่ 8 ความเสียหายที่แผ่นโลหะและลูกกระสุนหมายเลข 6

No.	มุมตกกระทบ	ความเร็ว (fps)	ความเร็ว (mps)	กว้าง (mm)	ยาว (mm)	$\sin^{-1}$	มุมที่วัดจาก template	การกระจายของ เนื้อตะกั่ว
7	45°	1167	355.7	11.3	14.0	53.7°	45°-60°	ด้านบนด้านเดียว
8	45°	1170	356.6	9.4	12.2	50.4°	45°-60°	ด้านบนด้านเดียว



ภาพที่ 9 ความเสียหายที่แผ่นโลหะหมายเลข 7(ทางซ้าย) และหมายเลข 8(ทางขวา)



ภาพที่ 10 ซากหัวกระสุนหมายเลข 8

No.	มุมตกกระทบ	ความเร็ว (fps)	ความเร็ว (mps)	กว้าง (mm)	ยาว (mm)	$\sin^{-1}$	มุมที่วัดจาก template	การกระจายของ เนื้อตะกั่ว
9	30°	1170	356.6	16.1	33.6	28.6°	15°-30°	-
10	30°	1168	356.0	15.2	30.0	30.4°	15°-30°	-

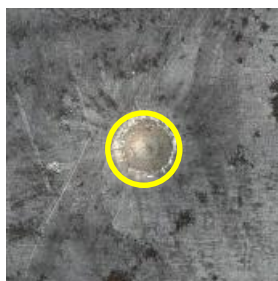


ภาพที่ 11 ความเสียหายที่แผ่นโลหะหมายเลข 9(ทางซ้าย) และหมายเลข 10(ทางขวา)

ภาพที่ 12 ซากหัวกระสุนหมายเลข 9

5.2 หัวกระสุนขนาด .45 ความเร็วกระสุน ~600-700 Fps ขนาดดินปืนประมาณ 0.21 กรัม

No.	มุมตกกระทบ	ความเร็ว (fps)	ความเร็ว (mps)	กว้าง (mm)	ยาว (mm)	$\sin^{-1}$	มุมที่วัดจาก template	การกระจายของ เนื้อตะกั่ว
1	90°	601	183.1	13.5	13.2	76.9°	75°-90°	-
2	90°	601	183.1	12.3	11.8	73.0°	75°-90°	-



ภาพที่ 13 ความเสียหายที่แผ่นโลหะหมายเลข 1(ทางซ้าย) และหมายเลข 2(ทางขวา)

ภาพที่ 14 ซากหัวกระสุนหมายเลข 1

No.	มุมตกกระทบ	ความเร็ว (fps)	ความเร็ว (mps)	กว้าง (mm)	ยาว (mm)	$\sin^{-1}$	มุมที่วัดจาก template	การกระจายของ เนื้อตะกั่ว
3	75°	623	189.9	10.6	10.9	76.5°	75°-90°	-
4	75°	673	205.1	12.6	13.6	72.6°	75°-90°	-



ภาพที่ 15 ความเสียหายที่แผ่นโลหะและลูกกระสุนหมายเลข 3

ภาพที่ 16 ความเสียหายที่แผ่นโลหะและลูกกระสุนหมายเลข 4

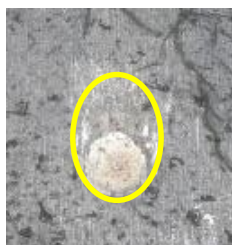
No.	มุมตกกระทบ	ความเร็ว (fps)	ความเร็ว (mps)	กว้าง (mm)	ยาว (mm)	$\sin^{-1}$	มุมที่วัดจาก template	การกระจายของ เนื้อตะกั่ว
5	60°	635	193.5	14.0	15.1	67.9°	60°-75°	-
6	60°	634	193.2	13.0	14.1	67.2°	60°-75°	-



ภาพที่ 17 ความเสียหายที่แผ่นโลหะและลูกกระสุนหมายเลข 5

ภาพที่ 18 ความเสียหายที่แผ่นโลหะและลูกกระสุนหมายเลข 6

No.	มุมตกกระทบ	ความเร็ว (fps)	ความเร็ว (mps)	กว้าง (mm)	ยาว (mm)	$\sin^{-1}$	มุมที่วัดจาก template	การกระจายของ เนื้อตะกั่ว
7	45°	604	184.1	13.1	18.0	46.7°	45°-60°	-
8	45°	592	180.0	13.3	18.8	45.0°	45°-60°	-



ภาพที่ 19 ความเสียหายที่แผ่นโลหะและลูกกระสุนหมายเลข 7

ภาพที่ 20 ความเสียหายที่แผ่นโลหะและลูกกระสุนหมายเลข 8

No.	มุมตกกระทบ	ความเร็ว (fps)	ความเร็ว (mps)	กว้าง (mm)	ยาว (mm)	$\sin^{-1}$	มุมที่วัดจาก template	การกระจายของ เนื้อตะกั่ว
9	30°	569	173.4	-	-	-	30°-45°	-
10	30°	622	189.5	-	-	-	30°-45°	-



ภาพที่ 21 ความเสียหายที่แผ่นโลหะและลูกกระสุนหมายเลข 9

ภาพที่ 22 ความเสียหายที่แผ่นโลหะและลูกกระสุนหมายเลข 10

6. อภิปรายผล

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการระบุมุมยังให้ถูกต้องทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ ต้องอาศัยวิธีการกันหลายอย่างร่วมกัน สำหรับกระสุนปกติความเร็วลูกกระสุนประมาณ 1170-1180 fps มุมตกกระทบที่ 75 และ 90 องศา ร่องรอยความเสียหายมีลักษณะเป็นวงกลม ขากที่จะใช้วิธีการวัดหาค่า $\sin^{-1}$ หรือการใช้ template เพื่อหามุมตกกระทบเพื่อแบ่งแยกมุมตกกระทบทั้งสอง แต่ทั้งสองมุมมีความแตกต่างที่การกระจายตัวของเนื้อตะกั่วที่เกิดจากการสัมผัสกันอย่างรุนแรงระหว่างหัวกระสุนกับเป้าโลหะ ทำให้ปรากฏเป็นรอยตะกั่วกระจายบนแผ่นเหล็ก ซึ่งที่มุม 90 องศา การกระจายของเนื้อตะกั่วรอบ ๆ รอยที่เสียหายมีขนาดเท่ากันทุก ๆ ด้าน ในขณะที่มุม 75 องศา พบว่าเนื้อตะกั่วกระจายไปตามทิศการแลบของหัวกระสุนมากกว่าทางตรงกันข้าม ในขณะที่ตั้งแต่มุม 60 องศา ลงมา การกระจายของเนื้อตะกั่วจะมีเพียงทิศทางเดียวคือทิศทางการแลบของหัวกระสุน และ การใช้ template เทียบกับรอยความเสียหายเริ่มมุมเฉพาะค่าหนึ่งก็ให้ผลที่ใกล้เคียงกับค่าอ้างอิง เช่น ที่มุม 45 องศา เราสามารถใช้ template ระบุมุมตกกระทบได้และพบว่าเนื้อตะกั่วมีการกระจายตัวในมุมที่แหลมกว่า 60 องศา ส่วนที่มุม 30 องศา การวัดหาค่า $\sin^{-1}$ และ template จะให้ผลที่ใกล้เคียงกับมุมตกกระทบเป็นอย่างมาก ในขณะที่หัวกระสุนที่สามารถเก็บได้ มีเพียงมุมขนาด 30 องศา ที่ยังมีสภาพที่ดีอยู่

สำหรับกระสุนที่ลดความเร็วเหลือประมาณ 600-700 fps ด้วยการปรับลดปริมาณดินปืนก่อนยิง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าลักษณะความเสียหายบนแผ่นเหล็กคล้ายกับความเสียหายที่เกิดจากการปะทะด้วยหัวกระสุนจากความเร็วปกติ แต่จะไม่พบร่องรอยการกระจายของเนื้อตะกั่วในทุก ๆ มุม สาเหตุอาจเนื่องมาจากแรงปะทะจากหัวกระสุนที่กระทำต่อเป้าโลหะมีค่าต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของค่าเดิม นอกจากนี้พบหัวกระสุน มีสภาพสมบูรณ์ที่มุมตกกระทบ 45 และ 30 องศา ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะสามารถใช้เป็นตัวตัดสินในการวัดรอยกระสุนดังกล่าวได้

โดยสรุปแล้ว ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า แม้จะพบการกระจายของเนื้อตะกั่วที่แตกต่างกันในแต่ละมุม แต่ค่าของมุมตกกระทบที่บ่งบอกเป็นตัวเลขยังไม่สามารถระบุได้แน่ชัด ซึ่งทำให้จำเป็นต้องประยุกต์ใช้วิธีการต่าง ๆ ร่วมกัน เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่สมบูรณ์ทั้งเชิงปริมาณ และเชิงคุณภาพในการระบุมุมตกกระทบทั้งหมดที่ทำการทดลอง ซึ่งเมื่อใช้วิธีการต่าง ๆ ตามที่กล่าวมาประกอบกันพบว่าสามารถระบุค่ามุมตกกระทบได้ใกล้เคียงมากขึ้น โดยเฉพาะค่ามุมตกกระทบที่มีขนาดไม่โตมากนัก

ตารางสรุปการหามุมตกกระทบที่ค่ามุมตกกระทบต่างๆ

หัวกระสุนขนาด .45 ความเร็วกระสุนที่ 1170-1180 fps

มุมตกกระทบ	$\sin^{-1}$	Template	ดูการกระจายของเนื้อตะกั่ว
90°	x	x	x
75°	x	x	x
60°	x	x	x
45°	✓	✓	x
30°	✓	✓	x

หัวกระสุนขนาด .45 ความเร็วกระสุนที่ 600-700 fps

มุมตกกระทบ	$\sin^{-1}$	Template	ดูการกระจายของเนื้อตะกั่ว
90°	x	x	✓
75°	x	x	✓
60°	x	x	✓
45°	✓	✓	✓
30°	✓	✓	✓

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

ผลการทดลองที่ได้มาสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการจำลองสถานการณ์ในที่เกิดเหตุได้ในระดับหนึ่ง แต่เพื่อความสมบูรณ์อาจต้องมีการใช้อุปกรณ์สร้างแนววิถีกระสุน เช่น เลเซอร์ที่สามารถจำลองแนววิถีกระสุนย้อนกลับไปได้หาตำแหน่งของผู้ยิงได้

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

สามารถดำเนินการการวิจัยครั้งต่อไปกับวัตถุเป้าหมายชนิดอื่น ๆ เพิ่มเติมได้ หรือการหาความเชื่อมโยงต่าง ๆ ของตัวบ่งชี้ใหม่ในการยิงแต่ละมุม รวมถึงชนิดกระสุนต่าง ๆ ที่อาจส่งผลต่อความเสียหายของเป้าหมาย

8. เอกสารอ้างอิง

- Jauhari, M. 1969. **Bullet Ricochet from metal plate**, Jour. Crim. Law Crimin. & Police Sc.Vol. 60, No. 3, PP.387-394
- Jauhari, M. 1970. **Mathemetical model for bullet ricochet**, Jour. Crim. Law Crimin. & Police Sc.Vol. 61, No. 3, PP.469-473
- Jauhari, M. 1971. **Approximate relationship between the angle of incidence and ricochoe for pratical application the field of criminal investiation**, Jour. Crim. Law Crimin. & Police Sc.Vol. 62, No. 1, PP.122-125
- Tod W. Burke. 1992. Bullet ricochet: A comprehensive review. ASTM international PP.1254-1260
- L.C. Haag and M.G. Haag. 2006. **Projectile ricochet and deflection**. Shooting incident reconstruction, chapter 7, PP.115-145
- U.S. Department of Justice. 2008. **Ballistic Resistance of Body Armor NIJ Standard-0101.06**, PP.3-8
- R.M. Gardner. 2012. **Practical Crime Scene Processing and Investigation, Second Edition**, PP.305-311
- L. Boonchongrak. 2015. Study of bullet marks on material kind from guns size at different distance and difference angel. **KMUTT conference**, PP.955-965

Erwin J.A.T M. and Wim K. 2016. Bullet trajectory reconstruction – Methods, accuracy and precision.

Forensic science international Vol.262, PP.204-211

การประเมินค่าประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสที่ใช้งานร่วมกับชุดปรับ

ความเร็วรอบในสถานะทำงานจริง

THE EFFICIENCY ESTIMATION OF THREE PHASE INDUCTION MOTOR WITH VARIABLE SPEED DRIVE IN THE ACTUAL WORKING CONDITIONS

วิชชากร เสงศรีธวัช

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: vichchakorn.he@spu.ac.th

พศวีร์ ศรีโหมด

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ชนภัทร พรหมวัฒนภักดี

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

เพชร นันทิวัฒนา

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการประเมินค่าประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสที่ใช้งานร่วมกับชุดปรับความเร็วรอบในสถานะการทำงานจริงโดยไม่ต้องหยุดการทำงาน เพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวนต่อระบบและผู้ใช้ ซึ่งได้แก่วิธีสลิปแบบปรับปรุงและวิธีกระแสแบบปรับปรุง ผลเปรียบเทียบกับค่าประสิทธิภาพที่ทดสอบได้ด้วยวิธีวัดแรงบิดที่แกนเพลลาในห้องปฏิบัติการ แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่มีการใช้งานร่วมกับชุดปรับความเร็วรอบที่ประเมินได้จากวิธีสลิปแบบปรับปรุงมีค่าแม่นยำสูงสุดตลอดช่วงการทำงานที่ทุกความถี่ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5 % ในขณะที่วิธีกระแสแบบปรับปรุงจะให้ค่าความคลาดเคลื่อนสูงเกือบ 10% การทดสอบในสภาพการทำงานที่ต่ำกว่า 50% ของพิกัดมอเตอร์ยังชี้ให้เห็นว่าความคลาดเคลื่อนของทั้งสองวิธีจะมีค่าที่สูงขึ้น โดยเฉพาะวิธีกระแสแบบปรับปรุง อย่างไรก็ตาม เมื่อมอเตอร์มีสภาพการทำงานที่สูงกว่า 50% ของพิกัด ความคลาดเคลื่อนของทั้งสองวิธีก็จะมีค่าลดลงอยู่ที่ประมาณ 6% โดยขึ้นอยู่กับความถี่ในการทำงาน ผลสรุป

ที่ได้คือวิธีสลิปแบบปรับปรุงมีความเหมาะสมในการใช้ประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่มีการใช้งานร่วมกับชุดปรับความเร็วรอบได้ดีด้วยการใช้เครื่องมือวัดขั้นพื้นฐาน ส่วนวิธีกระแสแบบปรับปรุงมีความเหมาะสมในการใช้ประเมินที่สภาพการทำงานมากกว่า 50% ขึ้นไป แต่อาจมีข้อจำกัดด้านเครื่องมือวัดกระแสซึ่งต้องมีฟังก์ชันในการวัดกระแสฮาร์โมนิกได้

คำสำคัญ: ชุดปรับความเร็วรอบ, มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส, การหาค่าประสิทธิภาพที่สภาวะทำงานจริง

ABSTRACT

This paper presents the efficiency evaluation methods of three phase induction motor with variable speed drive (VSD) based on on-site measurements. This technique includes the modified slip and modified current methods. The results are compared with the shaft torque method test in laboratory as a reference. The results also show the effective of modified slip method is perform well for all load point at various frequency. The errors in this case is less than 5% whereas the modified current method has almost 10% of error. The error of both methods is increased for motor operating under 50% of rated, especially the modified current method. However, the error reduced to around 6% when the motor operated close to the rated. Finally, the results demonstrate that the modified slip method is suitable for efficiency estimation of induction motor with variable speed drive by using basic measuring tools. Whereas the modified current method should be used in case of higher 50% operating point.

KEYWORDS: Variable Speed Drive (VSD), Three-Phase Induction Motor, On-Site Efficiency Evaluation

1. บทนำ

ในช่วงเวลาไม่กี่ปีมานี้ ประเทศไทยได้ให้ความสำคัญและมีความพยายามที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในภาคอุตสาหกรรม ทั้งนี้เพื่อให้ภาพรวมของการใช้พลังงานของประเทศไทยมีค่าลดลง หนึ่งในมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่สำคัญคือการปรับลดความเร็วรอบในการทำงานของมอเตอร์ด้วยการใช้ชุดปรับความเร็วรอบ (Variable Speed Drive: VSD) โดยอุปกรณ์ดังกล่าวจะใช้เทคโนโลยีของอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ทำการปรับลดความถี่ทางไฟฟ้าให้มีค่าต่ำกว่าค่าความถี่ปกติของมอเตอร์ ดังนั้นในปัจจุบันจะพบการใช้อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามเมื่อมอเตอร์มีอายุการใช้งานที่มากขึ้นหลายปี การทราบค่าประสิทธิภาพที่แท้จริงของมอเตอร์ก็เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับใช้เป็นข้อมูลประกอบการวิเคราะห์การลงทุนด้านการประหยัดพลังงาน โดยเฉพาะความคุ้มค่ากรณีเปลี่ยนมอเตอร์ใหม่ ทำให้การประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่มีการทำงานร่วมกับชุดปรับความเร็วรอบกลายเป็นประเด็นที่ได้รับความสนใจมากขึ้นในช่วงหลายปีที่ผ่านมา

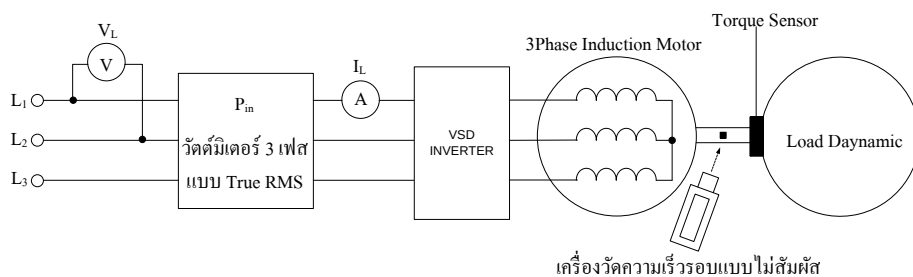
ตามมาตรฐาน IEC60034-2-3 [1] ได้แนะนำวิธีประเมินหาประสิทธิภาพสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีการใช้งานร่วมกับชุดปรับความเร็วรอบไว้ 2 วิธีคือการประเมินด้วยวิธีทางตรง (Direct Input-Output Method)

หรือวิธีวัดค่าแรงบิดที่แกน (Shaft Torque Method) และวิธีทางอ้อม (Indirect Method) หรือวิธีผลรวมกำลังสูญเสีย (Losses Summation Method) อย่างไรก็ตาม การประเมินทั้ง 2 วิธีจำเป็นต้องทดสอบในห้องปฏิบัติการเท่านั้น อีกทั้งยังมีความยุ่งยากของวิธีการทดสอบและการเตรียมเครื่องมือวัดต่างๆ ซึ่งไม่สามารถทำได้ในสภาวะการทำงานจริง ในระดับงานวิจัยมีผู้นำเสนอวิธีการประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีการใช้งานร่วมกับชุดปรับความเร็วรอบอยู่หลายวิธี [2-5] โดยส่วนใหญ่ยังคงใช้การทดสอบแบบไม่มีโหลด (No-load test) ประกอบกับการใช้วิธีเชิงตัวเลขที่มีความซับซ้อนแต่ให้ผลตอบที่มีความแม่นยำค่อนข้างสูง บทความนี้จึงได้นำเอาวิธีสลิปและวิธีกระแสที่เคมีผู้นำเสนอในการประเมินประสิทธิภาพที่สภาวะการทำงานจริงของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสโดยการใช้เครื่องมือวัดพื้นฐาน [6] มาทำการปรับปรุงเพื่อให้สามารถใช้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสที่มีการใช้งานร่วมกับชุดปรับความเร็วรอบได้ ซึ่งเรียกว่าวิธีสลิปแบบปรับปรุง (Modified slip method) และวิธีกระแสแบบปรับปรุง (Modified current method) ทั้งนี้เพื่อแสดงให้เห็นความคลาดเคลื่อน ความเป็นไปได้ในการนำมาใช้ประเมินจริง รวมถึงขอบเขตและข้อจำกัดที่เกิดขึ้นในการทดสอบ โดยการเปรียบเทียบกับผลทดสอบที่ได้ด้วยวิธีการวัดแรงบิดที่แกนเพลลาในห้องปฏิบัติการ

2. วิธีประเมินค่าประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้งานร่วมกับชุดปรับความเร็วรอบ

2.1 วิธีวัดค่าแรงบิดที่แกนเพลลา (Shaft torque method)

เป็นวิธีหาประสิทธิภาพทางตรงด้วยการวัดค่าแรงบิดและความเร็วที่แกนเพลลา ซึ่งเป็นวิธีที่มีความแม่นยำมากที่สุดและยอมรับในระดับสากลโดยอ้างอิงตามมาตรฐาน IEC60034-2-3 จากแผนภาพที่ 1 แสดงระบบจำลองการทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยใช้โหลดทางกลแบบปรับค่าได้ร่วมกับเซ็นเซอร์วัดแรงบิดและความเร็วที่แกนเพลลา ซึ่งค่าประสิทธิภาพมอเตอร์ของวิธีการนี้สามารถหาได้จากสมการที่ (1)



แผนภาพที่ 1 ระบบจำลองการทดสอบหาประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำ

$$\eta = \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right) \times 100\% \quad (1)$$

ซึ่งค่ากำลังด้านออกหาได้จาก

$$P_{out} = T \times \omega \quad (2)$$

โดยที่ T คือแรงบิดที่แกนเพลลา (N.m)
 ω คือความเร็วรอบมอเตอร์ (rad/s)
 P_{in} คือกำลังไฟฟ้าด้านเข้าที่ได้จากเครื่องวัด (W)
 P_{out} คือกำลังทางกลด้านออกของมอเตอร์ (W)

2.2 วิธีสลิปแบบปรับปรุง (Modified slip method)

วิธีสลิปเดิม [6] เป็นวิธีหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ โดยการประเมินค่ากำลังงานด้านออกที่มอเตอร์ใช้ขับเคลื่อนจากการเปรียบเทียบค่าสลิปใดๆ ขณะทำงานกับค่าสลิปที่ความเร็วพิกัดของมอเตอร์ ตามสมการที่ (3)

$$P_{out} = \left(\frac{S_{meas}}{S_{rated}} \right) \times \left(\frac{V_{meas}}{V_{rated}} \right)^2 \times P_{rated} \quad (3)$$

โดยที่ S_{meas}, S_{rated} คือค่าสลิปขณะทำงานและที่ความเร็วพิกัด
 V_{meas}, V_{rated} คือค่าแรงดันขณะทำงานและค่าแรงดันพิกัด (V)
 P_{rated} คือค่ากำลังงานพิกัดของมอเตอร์ (W)

การปรับปรุงวิธีสลิปจะใช้หลักการที่ว่า โดยทั่วไปการทำงานของชุดปรับความเร็วรอบหรือ VSD นั้นจะรักษาอัตราส่วนแรงดันต่อความถี่ขาออก (V/F) ให้คงที่ ซึ่งหมายถึงค่าแรงดันพิกัดที่ความถี่ใหม่จะมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดยความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปนั้นยังส่งผลถึงค่ากำลังที่พิกัดของมอเตอร์ด้วย ซึ่งสามารถหาค่าแรงดันและค่ากำลังพิกัดใหม่โดยพิจารณาให้แรงบิดคงที่ได้จากสมการที่ (4) และ (5) ตามลำดับ

$$V_2 = V_1 \times \left(\frac{f_2}{f_1} \right) \quad (4)$$

$$P_2 = P_1 \times \left(\frac{n_{r2}}{n_{r1}} \right) \quad (5)$$

โดย V_1 คือแรงดันพิกัดของมอเตอร์ (V)
 V_2 คือแรงดันพิกัดใหม่ที่ความถี่ใหม่ (V)
 f_1, f_2 คือความถี่พิกัดและความถี่ใหม่ของมอเตอร์ (Hz)
 P_1 คือกำลังงานพิกัดของมอเตอร์ (W)
 P_2 คือกำลังงานพิกัดที่ความถี่ใหม่ (W)
 n_{r1} คือความเร็วพิกัดของมอเตอร์ (rpm)
 n_{r2} คือความเร็วของมอเตอร์ที่ความถี่ใหม่ (rpm)

สำหรับค่าสลิปพิกัดที่ความถี่เดิมก็ต้องถูกปรับค่าใหม่เช่นกัน จากผลของความถี่ในการทำงานซึ่งถูกปรับลดลงตามสมการที่ (6) และสามารถประเมินค่ากำลังงานด้านออกของมอเตอร์ใหม่กรณีใช้ VSD ได้ดังสมการที่ (7)

$$S_{2,rated} = S_{1,rated} \left(\frac{V_1}{V_2} \right) \left(\frac{f_1}{f_2} \right) \quad (6)$$

$$P_{out,VSD} = \left(\frac{S_{2,meas}}{S_{2,rated}} \right) \times P_2 \quad (7)$$

โดยที่ $S_{1,rated}$ คือค่าสลิปพิกัดที่ความถี่ปกติ
 $S_{2,rated}$ คือค่าสลิปพิกัดที่ความถี่ใหม่
 $S_{2,meas}$ คือค่าสลิปขณะทำงานที่ความถี่ใหม่
 $P_{out,VSD}$ คือค่ากำลังงานด้านออกของมอเตอร์จากการใช้ชุดปรับความเร็วรอบ (W)

2.3 วิธีกระแสแบบปรับปรุง (Modified current method)

ด้วยคุณลักษณะของการใช้ VSD มาควบคุมความเร็วรอบนั้น จะส่งผลให้เกิดกระแสฮาร์มอนิกขึ้นและทำให้รูปคลื่นของกระแสรวมที่วัดได้มีความผิดเพี้ยนไปจากรูปคลื่นไซน์ ดังนั้นเพื่อเป็นการลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการประเมินค่าประสิทธิภาพด้วยวิธีนี้ จึงพิจารณาใช้เฉพาะค่ากระแสที่ความถี่มูลฐาน 50 Hz เท่านั้น เพื่อตัดผลของกระแสฮาร์มอนิกทิ้งไป โดยสามารถประเมินค่ากำลังงานด้านออกได้จากสมการที่ (8) ดังนั้นการประเมินนี้อาจจำเป็นต้องใช้เครื่องวัดที่มีฟังก์ชันในการวัดกระแสฮาร์มอนิกได้

$$P_{out,VSD} = \left(\frac{I_F}{I_{rated}} \right) \times P_2 \quad (8)$$

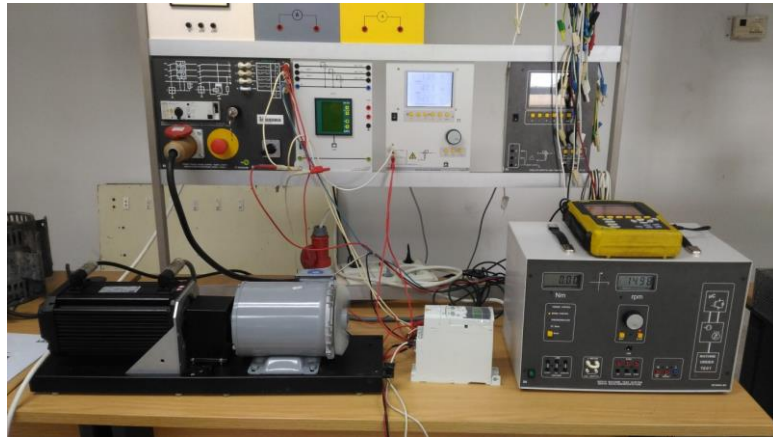
โดยที่ I_F คือค่ากระแสทำงานของมอเตอร์ที่ความถี่มูลฐาน 50 Hz (A)
 I_{rated} คือค่ากระแสพิกัดของมอเตอร์ (A)

3. แนวทางการทดสอบ

มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ที่ถูกนำมาใช้ทดสอบหาประสิทธิภาพในบทความนี้ มีขนาดพิกัด 2 แรงม้า (1.5 kW) โรเตอร์แบบกรงกระรอก โดยมีรายละเอียดข้อมูลจำเพาะของมอเตอร์บนแผ่นป้ายข้อมูลตามตารางที่ 1 โดยการทดสอบทั้งหมดถูกทำในห้องปฏิบัติการเครื่องจักรกลไฟฟ้าตามแผนภาพที่ 2

ตารางที่ 1 ข้อมูลการทำงานที่ค่าพิกัดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสที่ใช้ในการทดสอบ

แรงดันพิกัด	380 V	
กระแสพิกัด	3.4 A	
ความถี่พิกัด	50 Hz	
กำลังงานพิกัด	1.5 kW	
ตัวประกอบกำลัง	0.82	
ความเร็วพิกัด	1430 rpm	
จำนวนขั้วแม่เหล็ก	4 pole	



แผนภาพที่ 2 การทดสอบหาประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำในห้องปฏิบัติการ

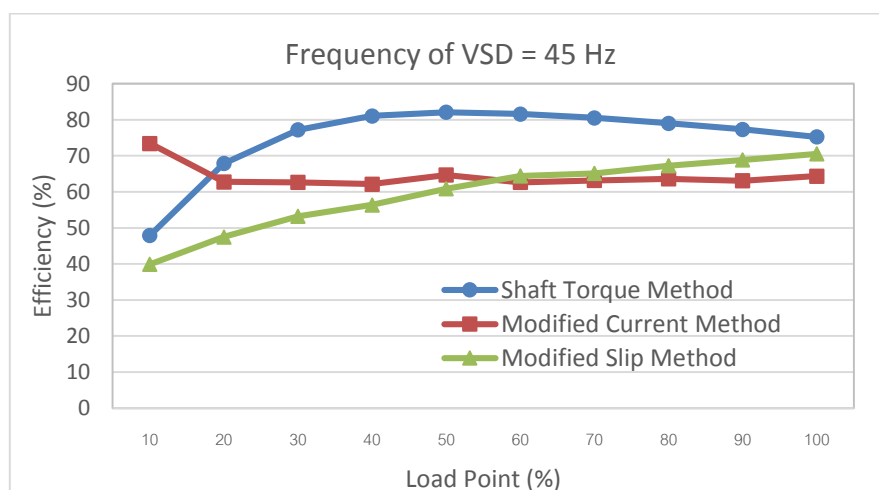
ค่าการทำงานทางกลและทางไฟฟ้าที่แต่ละจุดทำงานของมอเตอร์ จะถูกปรับโดยใช้ชุดควบคุมโหลดทางกล ซึ่งสามารถกำหนดค่าแรงบิดและดูผลตอบสนองของความเร็วรอบที่จุดทำงานต่างๆ ได้ โดยการทดสอบในบทความนี้จะกำหนดระดับโหลดเป็นค่าเปอร์เซ็นต์เทียบกับกำลังฟักัดของมอเตอร์ (Load point) ตั้งแต่ 10%-100% และปรับเพิ่มขึ้นละ 10% สำหรับการปรับความเร็วด้วย VSD จะกระทำที่ค่า 45Hz, 40Hz และ 35Hz

4. ผลการทดสอบ

ผลเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีต่างๆ จากการปรับความเร็วของชุดปรับความเร็วรอบเป็น 45Hz, 40Hz และ 35Hz แสดงไว้ในตารางที่ 2 ถึง 4 ตามลำดับ รวมถึงแนวโน้มค่าประสิทธิภาพของแต่ละความเร็วที่แสดงไว้ในแผนภาพที่ 3 ถึง 5 โดยความคลาดเคลื่อนของแต่ละวิธีจะถูกคำนวณเทียบกับค่าประสิทธิภาพที่ทดสอบได้จากวิธีวัดแรงบิดที่แกนเพลลาของแต่ละจุดทำงาน อีกทั้งยังแสดงให้เห็นค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยรวมยกกำลังสอง (Root mean square error) ในสภาวะการทำงานที่มากกว่าและน้อยกว่า 50% ของฟักัดมอเตอร์ด้วย

ตารางที่ 2 ผลเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของแต่ละวิธีจากการปรับความถี่เป็น 45 Hz

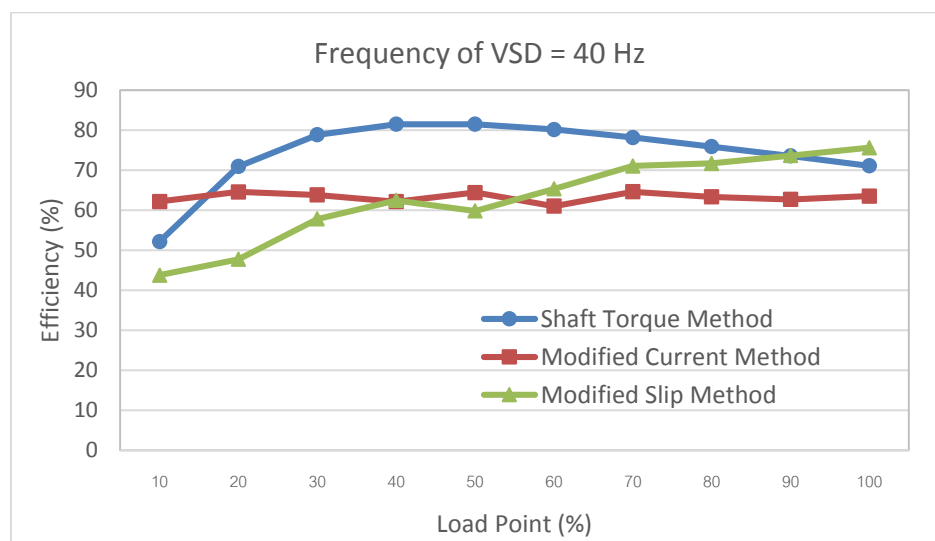
Load Point	Shaft Torque	Modified Current Method		Modified Slip Method	
(%)	Efficiency (%)	Efficiency	Error	Efficiency	Error
		(%)	(% point)	(%)	(% point)
10	47.90	73.46	25	39.92	7.98
20	67.91	62.80	5.11	47.49	20.42
30	77.20	62.65	14.55	53.25	23.95
40	81.08	62.17	18.91	56.39	24.69
50	82.08	64.68	17.4	60.86	21.22
60	81.59	62.65	18.94	64.44	17.15
70	80.53	63.16	17.37	65.13	15.4
80	79.03	63.61	15.42	67.27	11.76
90	77.36	63.07	14.29	68.86	8.5
100	75.26	64.38	10.88	70.57	4.69
Root Mean Square Error (Total)			8.59		4.88
Root Mean Square Error (< 50% Load)			17.22		8.16
Root Mean Square Error (≥ 50% Load)			6.51		5.81



แผนภาพที่ 3 แนวโน้มค่าประสิทธิภาพของแต่ละวิธีที่ความถี่ 45 Hz

ตารางที่ 3 ผลเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของแต่ละวิธีจากการปรับความถี่เป็น 40 Hz

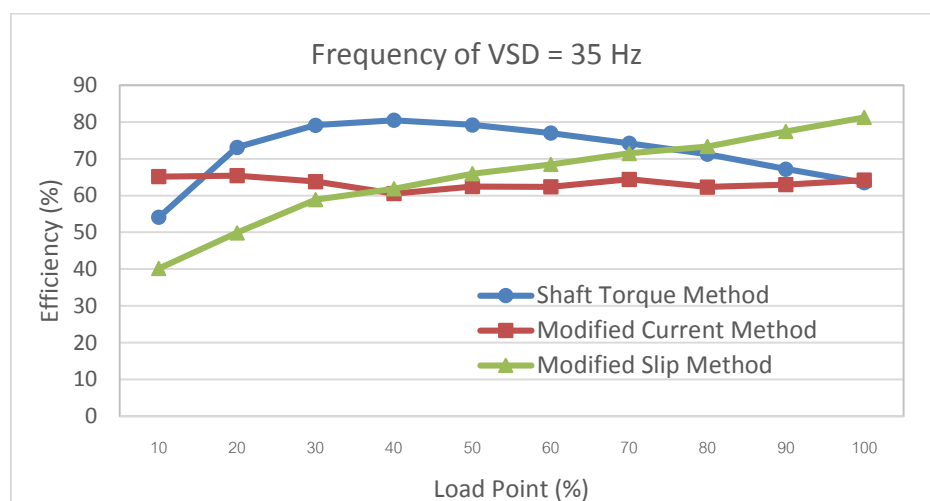
Load Point	Shaft Torque	Modified Current Method		Modified Slip Method	
(%)	Efficiency (%)	Efficiency	Error	Efficiency	Error
		(%)	(% point)	(%)	(% point)
10	52.15	62.16	10.01	43.77	8.38
20	70.95	64.57	6.38	47.72	23.22
30	78.84	63.81	15.03	57.81	21.03
40	81.48	62.11	19.37	62.45	19.03
50	81.51	64.40	17.11	59.80	21.72
60	80.19	61.00	19.19	65.34	14.85
70	78.17	64.59	13.59	71.05	7.12
80	75.90	63.34	12.56	71.70	4.20
90	73.58	62.69	10.89	73.64	0.06
100	71.09	63.54	7.54	75.63	4.54
Root Mean Square Error (Total)			8.81		4.26
Root Mean Square Error (< 50% Load)			18.12		7.52
Root Mean Square Error ($\geq$ 50% Load)			5.72		4.66



แผนภาพที่ 4 แนวโน้มค่าประสิทธิภาพของแต่ละวิธีที่ความถี่ 40 Hz

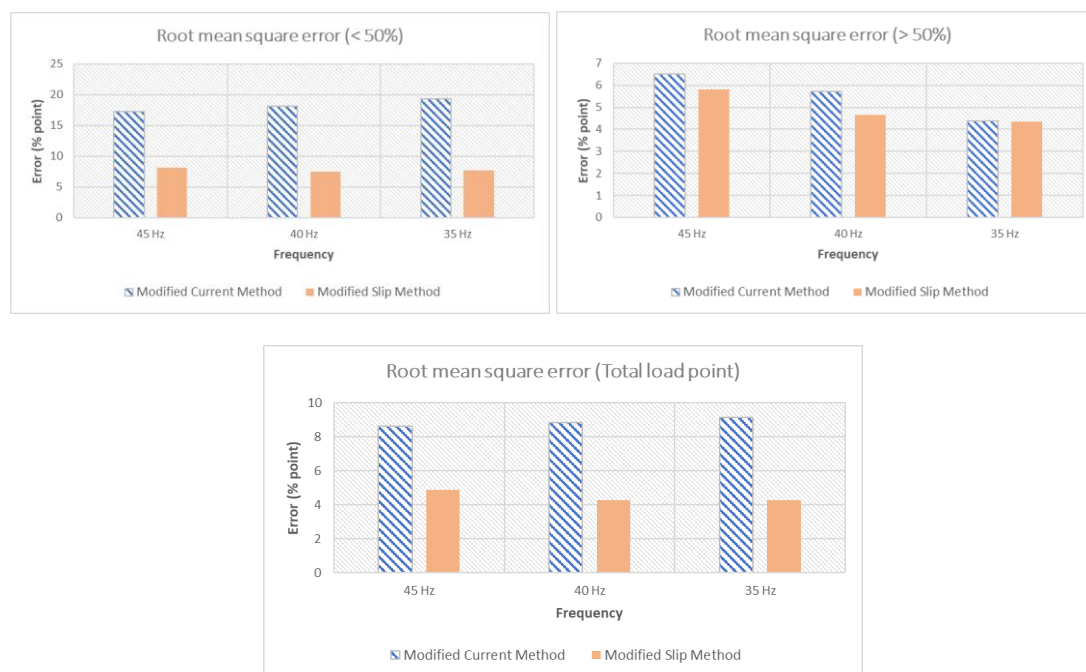
ตารางที่ 4 ผลเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของแต่ละวิธีจากการปรับความถี่เป็น 35 Hz

Load Point	Shaft Torque	Modified Current Method		Modified Slip Method	
(%)	Efficiency (%)	Efficiency	Error	Efficiency	Error
		(%)	(% point)	(%)	(% point)
10	54.12	65.16	11.04	40.17	13.96
20	73.11	65.41	7.70	49.89	23.21
30	79.11	63.80	15.31	58.90	20.21
40	80.49	60.54	19.94	61.85	18.64
50	79.22	62.45	16.77	65.94	13.28
60	77.00	62.37	14.63	68.45	8.55
70	74.22	64.44	9.78	71.45	2.77
80	71.25	62.32	8.93	73.35	2.09
90	67.20	62.98	4.22	77.43	10.23
100	63.51	64.22	0.71	81.26	17.75
Root Mean Square Error (Total)			9.11		4.24
Root Mean Square Error (< 50% Load)			19.34		7.72
Root Mean Square Error (≥ 50% Load)			4.37		4.35



แผนภาพที่ 5 แนวโน้มค่าประสิทธิภาพของแต่ละวิธีที่ความถี่ 35 Hz

ผลความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยยกกำลังสองของแต่ละวิธีที่ทุกความถี่ ทั้งในภาพรวมตลอดช่วงทุกจุดการทำงาน และในสภาวะทำงานที่ต่ำกว่า 50% รวมถึงในสภาวะทำงานที่มากกว่า 50% ของฟัดมอเตอร์ แสดงเปรียบเทียบให้เห็นในแผนภาพที่ 6



แผนภาพที่ 6 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยยกกำลังสองของแต่ละความถี่ในสภาวะการทำงานต่างกัน

ผลจากตารางที่ 2 ถึง 4 แสดงให้เห็นว่าค่าประสิทธิภาพที่ประเมินได้จากวิธีสลีปแบบปรับปรุงก่อนข้างมีความแม่นยำตลอดช่วงการทำงานของมอเตอร์ในทุกความถี่ที่ทดสอบ โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5% ในขณะที่วิธีกระแสแบบปรับปรุงจะมีความคลาดเคลื่อนที่สูงเกือบ 10% และหากพิจารณาสภาพการทำงานที่ต่ำกว่า 50% ของฟัดมอเตอร์จะสังเกตได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนของทั้งสองวิธีจะสูงขึ้น โดยเฉพาะวิธีกระแสแบบปรับปรุง ทั้งนี้เป็นผลจากคุณลักษณะความไม่เป็นเชิงเส้นของมอเตอร์ขณะที่ทำงานต่ำกว่าฟัดมากๆ ซึ่งในทางตรงข้ามกรณีที่มอเตอร์ทำงานที่ระดับสูงกว่า 50% ของฟัด ความคลาดเคลื่อนก็จะมีค่าลดลงทั้งสองวิธี

5. สรุปผลการทดสอบ

การทราบค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีการใช้งานร่วมกับชุดปรับความเร็วรอบในขณะที่ทำงานจริงนับเป็นสิ่งสำคัญต่อการวางแผนและการจัดการด้านอนุรักษ์พลังงาน ปัญหาที่พบคือความแม่นยำสูงสุดของวิธีประเมินตามมาตรฐาน IEC จำเป็นต้องนำมอเตอร์ไปทดสอบในห้องปฏิบัติการ นั่นหมายถึงต้องหยุดระบบทำงานเดิมซึ่งเป็นการรบกวนต่อผู้ใช้งานค่อนข้างมาก แต่ด้วยการปรับปรุงวิธีสลีปและวิธีกระแสตามที่ได้นำเสนอในบทความนี้ แสดงให้เห็นว่าวิธีสลีปแบบปรับปรุงสามารถนำไปใช้ในการประเมินค่าประสิทธิภาพการทำงานได้ค่อนข้างดีเพราะมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่สูงมากนัก ในขณะที่วิธีกระแสแบบปรับปรุงมีความเหมาะสมกับการใช้ประเมินประสิทธิภาพกรณีที่มอเตอร์มีจุดทำงานใกล้เคียงกับค่าฟัด แต่อาจมีข้อจำกัดด้านเครื่องมือวัดที่ต้องมีฟังก์ชัน

พิเศษที่สามารถวัดกระแสฮาร์มอนิกได้ อย่างไรก็ตาม ตัวอย่างมอเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบมีเพียงตัวเดียว ดังนั้นผลการทดสอบที่ได้อาจยังไม่มีแนวโน้มที่จะใช้เป็นข้อสรุปได้กับมอเตอร์ตัวอื่นๆ

6. เอกสารอ้างอิง

วีระ สุทธิสิงห์, กิรติ ชยะกุลศิริ, วิชชากร เสงศรีธวัช และเพชร นันทิวัฒนา. 2558, ธันวาคม, “การศึกษาวิธีการประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสขณะมีโหลดที่สภาวะการทำงานจริงโดยการใช้เครื่องมือวัดพื้นฐาน.” การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ครั้งที่ 10 ประจำปี 2558, 1241-1250.

Aldo Boglietti, Andrea Cavagnino, Marco Cossale, Alberto Tenconi and Silvio Vaschetto. 2013, September, “Efficiency Determination of Converter-Fed Induction Motors: Waiting for the IEC60034-2-3 Standard.” Conference on IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, Denver, 230-237.

IEC60034-2-3 Standard (2013): Specific Test Methods for Determining Losses and Efficiency of Converter-Fed AC Induction Motors

Petr Orsag, Stanislav Kocman and Lukas Paulinsky. 2012, “Efficiency Determination of Inverter-Fed Induction Motor of Low Power Applications.” Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, R. 88, NR 10a, 305-307.

R. Antonello, F. Tinazzi and M. Zigliotto. 2015, March, “Energy Efficiency Measurements in IM: The Non-Trivial Application of the Norm IEC60034-2-3:2013.” Electrical Machines Design, Control and Diagnosis (WEMDCD), IEEE Workshop on 26-27 March 2015, Torino, 248-253.

Raymond C. Zowarka, Thomas J. Hotz, John R. Uglum and Howard E. Jordan. 2007, January, “Induction Motor Performance Testing With an Inverter Power Supply: Part 2.” IEEE Transaction on Magnetics, 43(1), 275-278.

**การลดค่าการสูญเสียสะท้อนกลับของหัวต่อเส้นใยแก้วนำแสง
ด้วยวัสดุโพลียูรีเทนแบบยืดหยุ่น
RETURN LOSS REDUCTION SCHEME IN FIBER OPTIC CONNECTOR
USING FLEXIBLE POLYURETHANE SHEET**

ธีรฉัตร อุตสงควัฒน์

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Email: Thirachat.Uta@gmail.com

อภิชัย ภัทรนันท์

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Email: apichai.bha@kmutt.ac.th

ยุทธพงษ์ จิรรัชโสภาคกุล

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Email: yuttapong.jir@kmutt.ac.th

ชนินทร์ วงศ์งามขำ

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Email: chanin.won@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการลดค่าการสูญเสียย้อนกลับของหัวต่อเส้นใยแก้วนำแสงด้วยวัสดุโพลียูรีเทนแบบยืดหยุ่น ซึ่งมีค่าดัชนีการหักเหของแสงเท่ากับ 1.46 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับดัชนีการหักเหของเส้นใยแก้วนำแสงที่โดยทั่วไปมีค่าประมาณ 1.48 วัสดุโพลียูรีเทนหนาถูกใช้เป็นแผ่นกั้นที่วางกั้นระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงทั้งสองเส้นในหัวเชื่อมต่อทำหน้าที่เสมือนตัวปรับค่าดัชนีตัวกลางระหว่างเส้นใยแก้วสองเส้นให้มีค่าใกล้เคียงกัน เพื่อลดค่าการสูญเสียจากการสะท้อนกลับของแสง จากการจำลองผลค่าการสูญเสียด้วยการนำวัสดุดังกล่าวโดยมุมที่ใช้ในการศึกษาอยู่ระหว่าง 0° ถึง 90° ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีการสะท้อนของเฟรเนลและกฎของสเนลล์พบว่าค่าการสูญเสียต่ำสุดมีค่าประมาณ -80 dB ซึ่งดีกว่าค่าการสูญเสียสะท้อนกลับในหัวต่อทั่วไปที่มีค่าประมาณ -60 dB

ความยาวคลื่นแสงที่ใช้ในการจำลองมีค่า 1550 นาโนเมตร ดังนั้นการใช้แผ่นวัสดุโพลียูรีเทนแบบยืดหยุ่นที่นำเสนอสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงกับหัวต่อเส้นใยแก้วนำแสงในเครือข่ายสื่อสารใยแก้วนำแสงต่างๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสายส่ง

คำสำคัญ: การสูญเสียสะท้อนกลับ, การสะท้อนกลับของแสง, หัวต่อเส้นใยแก้วนำแสง, วัสดุโพลียูรีเทนแบบยืดหยุ่น

ABSTRACT

This paper proposes an alternative scheme to reduce the return loss in fiber optic connector using flexible polyurethane sheet. The refractive index of polyurethane is 1.46, which is close to one of an optical fiber at 1.48. The flexible polyurethane sheet, placed between the two connecting fibers, is acting as an index matching material to reduce the return loss. The simulation results showed that, by following Fresnel's equations and Snell's law and with the incident angle varying from 0° to 90° , the lowest return loss is approximately equal to -80 dB, which is better than one obtained from the conventional connector of -60 dB. The wavelength used in the simulation was 1550 nm. Thus, the proposed method, by inserting flexible polyurethane sheet to a connector, could be applied to the practical connector used in optical communication system to enhance the link performance.

KEYWORDS: Return loss, Reflection of light, Fiber Connector, Flexible Polyurethane

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการส่งผ่านข้อมูลผ่านเส้นใยแก้วนำแสง (Optical fiber) นั้น เริ่มถูกใช้กันอย่างแพร่หลายมากขึ้นโดยในอดีตการส่งผ่านข้อมูลต่าง ๆ นั้น จะส่งสัญญาณผ่านสายทองแดง (Copper Wire Cable) ซึ่งถูกรบกวนจากสัญญาณภายนอกได้ง่าย และมีระยะทางในการส่งข้อมูลจำกัด สุกฤษฎ (2551) จึงมีการพัฒนาเส้นใยแก้วนำแสงขึ้นมา โดยเส้นใยแก้วนำแสงนั้นสามารถส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูง ไม่ถูกรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถส่งข้อมูลได้ในปริมาณมากและระยะไกล แม้ว่าเส้นใยแก้วนำแสงจะมีข้อดีอยู่มาก แต่ก็ยังมีการสูญเสีย (Loss) G-net Network Solution (2560) ที่ทำให้คุณภาพของสัญญาณลดลง โดยค่าการสูญเสียนั้นมีหลายรูปแบบ เช่น การสูญเสียจากกระบวนการผลิต การสูญเสียจากการงอของสาย และการสูญเสียจากหัวต่อ (Connector) เป็นต้น โดยปัญหาที่พบเจอได้บ่อยคือ การสูญเสียจากหัวต่อ iFONG iDEA (2559) ซึ่งการต่อเส้นใยแก้วโดยใช้หัวต่อนั้นจะเกิดช่องว่างของอากาศ (Air Gap) ทำให้เกิดการเปลี่ยนตัวกลางในการเดินทางของแสง เป็นเหตุให้เกิดการหักเหและการสะท้อนกลับของแสง วิทิต (2560) แม้ว่าจะมีการพัฒนาหัวต่อให้เกิดการลดค่าการสูญเสียจากการย้อนกลับของแสง (Return Loss) (M. Kihara, S. Nagasawa, & T. Tanifuji, 1996) ให้มากที่สุด แต่ก็ยังมีปัญหาจากการต่อหัวต่อผิดประเภทอยู่ในการปฏิบัติงานจริงในเครือข่าย โดยประเภทของหัวต่อของเส้นใยแก้วนำแสงนั้นมี

หลายประเภท (FIBERDK APS, 2014) หากต่อผิดประเภทก็จะทำให้เกิดค่าการสูญเสียจากการย้อนกลับของแสงมากขึ้น

ที่ผ่านมาได้มีการนำเสนอวิธีการเคลือบผิวเลนส์ด้วยฟิล์มชนิดบาง (E. F. Schubert & J. K. Kim., 2009) เพื่อลดการย้อนกลับของแสง การใช้ของเหลวที่มีค่าดัชนีหักเหของแสง (Refractive Index) ใกล้เคียงกับเส้นใยแก้วนำแสง (R. Budwig, 1994) และการทดสอบค่าการสูญเสียจากรอยต่อ (Insertion Loss) ของการเชื่อมต่อเชิงกล (Mechanical splice) ด้วยวัสดุแข็งที่มีดัชนีการหักเหใกล้เคียงกับเส้นใยแก้วนำแสง (solid matching index material) (M. Tanaka, H. Watanabe, M. Kihara, & M. Takaya, 2012) โดยจากงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงถึงแนวทางการลดการย้อนกลับของแสงที่เคลือบบนผิวของวัตถุที่ยังต้องผ่านตัวกลางที่เป็นอากาศอยู่ซึ่งทำให้ยังเกิดการสะท้อนกลับของแสงอยู่จำนวนหนึ่ง ในส่วนการใช้ของเหลวเพื่อเคลือบหัวต่อก่อนนำไปใช้ หากมีการขยับหรือเปลี่ยนตำแหน่งของหัวสายก็จะสามารถทำให้สารที่เคลือบนั้นหลุดออกไปได้

งานวิจัยนี้นำเสนอการจำลองการลดการสูญเสียจากการย้อนกลับของแสงของเส้นใยแก้วนำแสงด้วยแผ่นกั้นจากวัสดุโพลียูรีเทนแบบยืดหยุ่นที่ถูกวาดคั่นระหว่างหัวต่อภายในตัวเชื่อมต่อ เพื่อลดค่าการสูญเสียจากการสะท้อนกลับของแสง โดยทฤษฎีและผลการจำลองได้ถูกนำเสนอพร้อมกับข้อเสนอแนะ

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อทำการวิเคราะห์การเกิดค่าการสูญเสียสะท้อนกลับจากการจากการเชื่อมต่อของหัวต่อเส้นใยแก้วนำแสง
2. เพื่อนำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาสร้างแนวทางการลดค่าการสูญเสียสะท้อนกลับได้อย่างมีประสิทธิภาพ

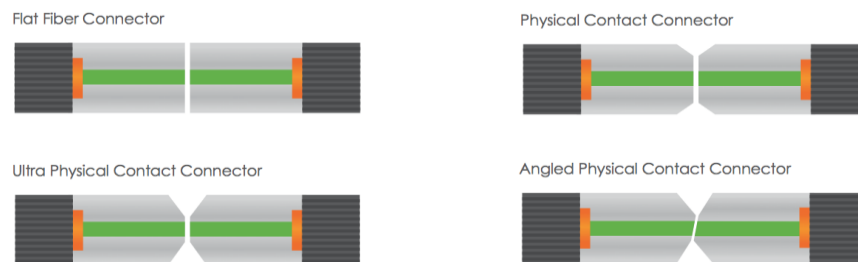
3. ระเบียบวิธีวิจัย

1. ขั้นตอนและวิธีการศึกษาของงานวิจัยมีดังนี้
 - 1.1 ประเภทหน้าตัดของหัวต่อ

ปัจจุบันหน้าตัดของหัว connector (Aria Zhu, 2016) มีอยู่ 4 แบบด้วยกันดังภาพที่ 1 โดย

 - Flat Fiber: มีลักษณะเป็นหน้าตัดตรง ผิวขัดมัน หัวต่อลักษณะนี้จะมียะระห่างทำให้เกิดค่าการสูญเสียจากการสะท้อนกลับที่มาก
 - Physical Contact (PC): มีลักษณะเดียวกับแบบ Flat Fiber แต่ยาวกว่าทำให้รอยต่อแนบจนแทบไม่มีช่องว่างของอากาศ หัวต่อนี้จะมีค่าการสูญเสียจากการสะท้อนกลับที่น้อยกว่า
 - Ultra-Physical Contact (UPC): มีลักษณะหน้าตัดเป็นส่วนใหญ่โค้ง เพื่อให้จุดกึ่งกลางของแกนกลางใยแก้วนำแสง (Core Fiber Optic) แนบกัน ทำให้เกิดค่าการสูญเสียจากการสะท้อนกลับที่น้อยกว่า 2 แบบแรก
 - Angled Physical Contact (APC): หน้าตัดของหัวต่อนี้จะทำมุม 8° (Eric Lindmark, Ph.D., & Peter Koudelka, 2011; FOSCO, 2016) เนื่องจากเมื่อแสงเดินทางมาถึงปลายของหัวต่อจะเกิดการหักเหจากการแสงเดินทางเปลี่ยนตัวกลาง ทำให้เกิดแสงย้อนกลับ โดยแสงที่ย้อนกลับมาจากปลายของหัวต่อแบบ APC จะพุ่ง

ตรงไปยัง ตัวหุ้ม (Cladding) และทะลุผ่านไปทำให้แสงที่ย้อนกลับมานั้น ไม่กลับมาจนแสงตั้งต้น connector ชนิดนี้จะมีค่าการสูญเสียจากการสะท้อนกลับ ที่ต่ำที่สุดโดยค่าการสะท้อนกลับของแสงใน Connector แบบต่างๆ ถูกแสดงดังตารางที่ 1

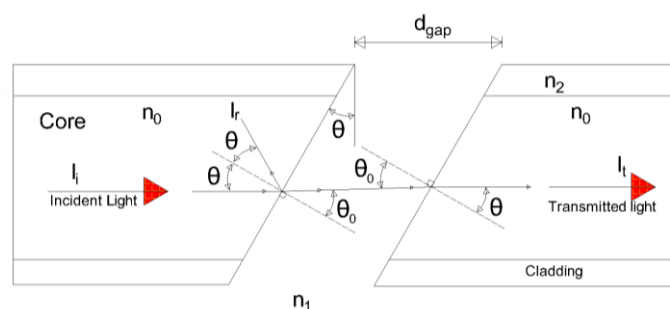


ภาพที่ 1 ภาพแสดงหัว Connector แบบต่างๆ

ตารางที่ 1 ประเภทของหัว Connector และค่าการย้อนกลับของแต่ละประเภท

ประเภทของหัว Connector	ค่าการย้อนกลับ (dB)
Flat Fiber	20
Physical Contact (PC)	30 ถึง 40
Ultra-Physical Contact (UPC)	40 ถึง 50
Angled Physical Contact (APC)	60 หรือ สูงกว่า

1.2 สมการเฟรชนอล และกฎของสเนลล์



ภาพที่ 2 ภาพจำลองการเดินทางของแสงผ่าน Connector แบบ APC

ภาพที่ 2 แสดงการเดินทางของแสงในหัวต่อเส้นใยแก้วนำแสงแบบ APC โดยตัวแปรต่างๆสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของเฟรชนอล (Alexander I Lvovsky, 2013) ดังนี้

ถ้าแสงที่ตกกระทบบมีมุมตกกระทบบ θ ไม่เท่ากับศูนย์ดังแสดงในภาพที่ 2 โพลาริเซชัน (Polarization) ดร. ศรีณย์ (2551) ของแสงจะต้องถูกนำมาพิจารณาในการหาค่ากำลังสะท้อนกลับ โดยสูตรการหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับสำหรับโพลาริเซชันแบบพี (r_p) และแบบเอส (r_s) สามารถหาได้จากสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ

$$\left(\frac{I_r}{I_i} \right)_p = \frac{\tan(\theta - \theta_0)}{\tan(\theta + \theta_0)} = r_p \quad (1)$$

$$\left(\frac{I_r}{I_i} \right)_s = -\frac{\sin(\theta - \theta_0)}{\sin(\theta + \theta_0)} = r_s \quad (2)$$

โดย I_i คือ ความเข้มของแสง

I_r คือ ความเข้มของแสงที่

θ คือ มุมที่แสงตั้งต้นทำกับวัตถุ

θ_0 คือ มุมหักเหของแสงเมื่อเปลี่ยนตัวกลาง

ค่าการสะท้อนกลับของแสงสามารถหาได้จากสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงดังสมการที่ (3)

$$\left(\frac{I_r}{I_i} \right)^2 = r^2 = R \quad (3)$$

ในกรณีของฟิล์มบาง (Thin-film) เมื่อ $n_1 = n_3$ และ $A_{ij} = -A_{ji}$

ค่าการสะท้อนกลับของแสงสามารถหาได้จากสมการที่ (5)

$$R = A_{12}^2 + A_{23}^2 + 2A_{12}A_{23} \cos \phi \quad (4)$$

$$R = 2A_{12}^2 (1 - \cos \phi) \quad (5)$$

$$\phi = \frac{4\pi n_1 d \cos \theta_0}{\lambda} \quad (6)$$

โดย

λ คือ ความยาวคลื่นแสง

d คือ ความหนาของตัวกลางระหว่างเส้นใยแก้วทั้งสอง

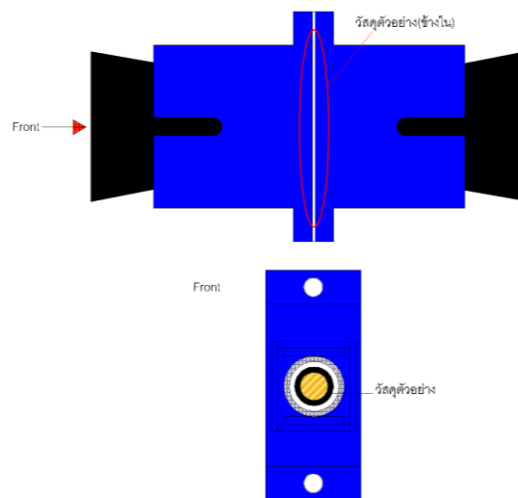
A_{ij} คือ r_s เมื่อหาค่า R ของ โพลาริเซชันแบบเอส และ เท่ากับ r_p เมื่อหาค่า R ของ โพลาริเซชันแบบพี

และมุมที่หักเหของแสงเมื่อเปลี่ยนตัวกลางนั้นสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของสเนล (Khan Academy, 2016) ดังสมการที่ (7)

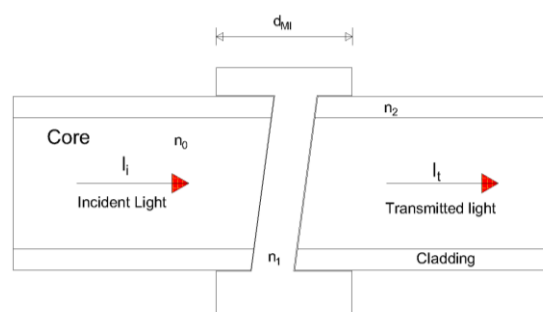
$$n \sin \theta = n_0 \sin \theta_0 \quad (7)$$

2. การวิเคราะห์ข้อมูล

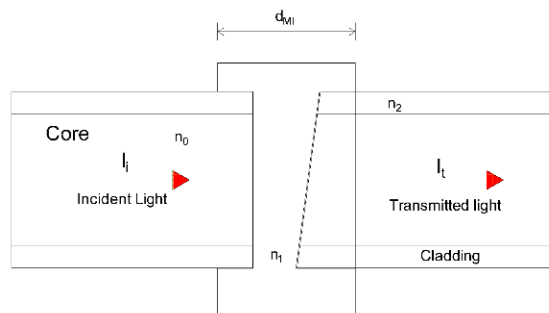
จากการศึกษาและค้นคว้าพบว่าวิธีการที่ได้ถูกนำเสนอที่ผานมานั้นเป็นการทดสอบเพื่อหาค่าการสูญเสียจากรอยต่อ (Insertion Loss) ด้วยการใช้ของแข็งที่มีดรรชนีหักเหใกล้เคียงกับวัตถุ (M. Tanaka et al., 2012) แต่เนื่องจากวัสดุที่ใช้เป็น silicone resin ที่มีความยืดหยุ่น เมื่อวัสดุแนบกับวัตถุจะทำให้ตัววัสดุนั้นเปลี่ยนรูปตามวัตถุ จึงกลายเป็นแนบไปกับหัว connector ที่มีหน้าตัดตรง ซึ่งทำให้ลดการเกิด Loss ไม่ดีเท่าที่ควร และจากการที่ตัววัสดุมีความยืดหยุ่นที่มากเกินไปโดยสามารถเคลื่อนเส้นใยแก้วนำแสงเข้าออกได้อย่างอิสระ อาจจะทำให้เมื่อนำไปใช้งานจริงแล้วเกิดความเสียหายได้งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและค้นคว้าหาวัสดุตัวอย่างที่มีความยืดหยุ่น และแข็งแรง โดยพบว่าวัสดุโพลียูรีเทน มีค่าดรรชนีหักเหของแสงอยู่ที่ 1.46 (Norland Products, 2016) ซึ่งใกล้เคียงกับเส้นใยแก้วนำแสงซึ่งโดยทั่วไปอยู่ที่ 1.48 (Gerd Keiser, 1992) และมีความแข็งอยู่ในมาตรฐาน Shore – D อยู่ที่ 40 ซึ่งมีความแข็งยืดหยุ่นพอเหมาะ โดยจะนำมาใส่ตรงกลางของหัวต่อดังแสดงในภาพที่ 3 (โดยขั้นตอนนี้จะต้องมาตั้งแต่การผลิต) ภาพที่ 4 และภาพที่ 5 เป็นภาพจำลองการต่อภายในด้านในของตัวเชื่อมต่อจากนั้นการทดสอบค่าการสูญเสียจากการสะท้อนกลับของแสงจะถูกจำลองจากสมการที่ได้กล่าวมาข้างต้นเพื่อยืนยันสมมติฐาน



ภาพที่ 3 แบบจำลองหัวต่อและวัสดุตัวกลาง



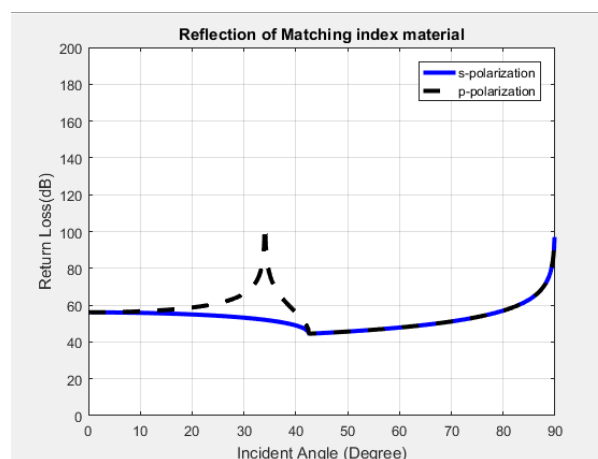
ภาพที่ 4 ภาพการเชื่อมต่อของหัวต่อภายในตัวเชื่อมต่อ แบบชนิด APC กับชนิด APC



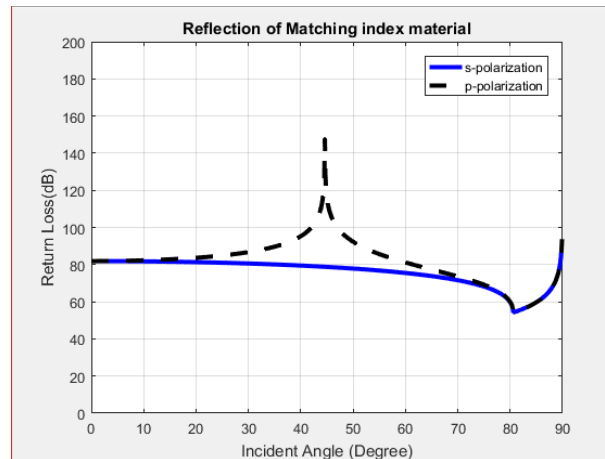
ภาพที่ 5 ภาพการเชื่อมต่อของหัวต่อต่างชนิดกัน ระหว่างตัวเชื่อมต่อชนิด UPC กับชนิด APC

4. ผลการวิจัย

จากทดลองโดยใช้ความสัมพันธ์ของเฟรซเนลและกฎของสเนล โดยที่ ความยาวคลื่น λ เท่ากับ 1550 นาโนเมตร, มุม θ มีค่าตั้งแต่ 0° ถึง 90° และระยะห่างระหว่างหัวต่อ d เท่ากับ 1 นาโนเมตร พบว่า ค่าการสูญเสียจากการสะท้อนกลับของแสง อยู่ที่ประมาณ 55 ถึง 80 dB และค่าการสะท้อนกลับของแสงของ โพลาริเซชัน นั้นจะมีค่าที่ดีกว่าการเชื่อมต่อแบบเก่าที่ผ่านตัวกลางที่เป็นอากาศ ดังภาพที่ 6 และผลการจำลองจากงานวิจัย ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 6 ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสูญเสียสะท้อนกลับกับค่ามุมตกกระทบ ในหัวต่อที่มีช่องว่างอากาศระหว่างเส้นใยแก้วนำแสง



ภาพที่ 7 ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสูญเสียสะท้อนกลับกับค่ามุมตกกระทบ ในหัวต่อที่ได้ใส่แผ่นกั้นโพลียูรีเทนแบบยืดหยุ่นคั่นระหว่างเส้นใยแก้ว

และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการสูญเสียสะท้อนกลับงานวิจัยเก่าและการใช้งานในปัจจุบันพบว่าแผ่นกั้นที่นำเสนอสามารถลดค่าการสูญเสียสะท้อนกลับได้ถึง 15 dB ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบค่าการสูญเสียสะท้อนกลับในหัวต่อที่นำเสนอเปรียบเทียบกับงานวิจัยเก่า [9] และหัวต่อที่ใช้งานปฏิบัติจริง [10]

ค่าพารามิเตอร์	ค่าการสูญเสียสะท้อนกลับ (dB)		
	งานวิจัยเก่า [9]	การใช้งานปัจจุบัน [10]	การจำลอง
การเปรียบเทียบที่ $\lambda = 1550$ นาโนเมตร และ $d = 1$ นาโนเมตร	45.5 dB แบบ UPC + UPC	60 dB หรือ สูงกว่า เฉพาะ APC + APC	80 dB และใช้งานได้ทั้งแบบเชื่อมต่อทั้ง APC + APC และ UPC + APC

5. สรุปและอภิปรายผล

ผลการจำลองพบว่าค่าการสูญเสียจากการสะท้อนกลับของแสงโดยใช้ มีค่าอยู่ที่ต่ำสุดประมาณ 55 dB และสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 80 dB เทียบกับค่าการสูญเสียของหัวต่อที่ใช้งานจริงในปัจจุบันซึ่งมีค่าการสูญเสียอยู่ที่ 60 dB อีกทั้งยังสามารถลดปัญหาการเชื่อมต่อโดยใช้หัวต่อคนละชนิดกัน เช่น UPC กับ APC โดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาค่าการสูญเสียเพิ่มขึ้นเพราะแผ่นโพลียูรีเทนสามารถยืดหยุ่นรองรับความผิดพลาดแบบนี้ได้

งานวิจัยนี้ทำเพื่อวิเคราะห์และแสดงผลการจำลองการใช้แผ่นกั้นจากโพลียูรีเทน ที่มีค่าดัชนีหักเหใกล้เคียงกับเส้นใยแก้วนำแสงเพื่อลดค่าการสูญเสียจากการสะท้อนกลับของแสงโดยนำมาประยุกต์กับตัวเชื่อมต่อ

เส้นใยแก้วนำแสง ผลการจำลองพบว่าวิธีที่นำเสนอสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานจริงได้และสามารถลดปัญหาการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงผิดประเภทเพื่อทำให้การส่งสัญญาณแสงมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

6. ข้อเสนอแนะ

ผลการทดลองในรายงานนี้เป็นผลที่ได้จากการจำลองค่าการสะท้อนกลับของแสงตามทฤษฎีที่เกี่ยวข้องต่างๆ หากนำมาประยุกต์ใช้งานจริงอาจมีตัวแปรอื่นที่นอกเหนือจากตัวแปรที่ใช้ในการจำลองในงานวิจัยนี้ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตที่จะต้องถูกนำมาพิจารณาต่อไป

7. เอกสารอ้างอิง

- วิฑิต วรรณเลิศลักษณ์. (2560, มิถุนายน). การหักเหของแสง. สืบค้นเมื่อ 7 กรกฎาคม 2560
จาก <http://www.scimath.org/lesson-physics/item/7282-2017-06-14-13-59-29>
- ศรัณย์ สัมฤทธิ์เดชขจร. (2008). โพลาริเซชันกับทิศการสั่นของคลื่นแสง. สืบค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม 2560 จาก
<https://www.gotoknow.org/posts/213432>.
- ศุภกฤษ นาคป้อมฉิน. (2551). ชนิดของสายสัญญาณ. สืบค้นเมื่อ 5 กรกฎาคม 2560 จาก
http://home.npru.ac.th/supakit/Slide_7123703/Overview_Cable.pdf
- Alexander I Lvovsky. (2013). Fresnel Equations. In Encyclopedia of Optical Engineering. Taylor and Francis. New York. Published online. (pp 1-6).
- Aria Zhu. (2016). PC, UPC or APC – Selecting the Right Fiber Connector. Retrieved from
<http://www.china-cable-suppliers.com/pc-upc-apc-select-right-fiber-connector.html>
- E. F. Schubert & J. K. Kim. (2009). "Low-refractive-index materials - A new class of optical thin-film materials". **2009 Conference on Lasers and Electro-Optics and 2009 Conference on Quantum electronics and Laser Science Conference**. Baltimore, MD. (pp.1-2)
- Eric Lindmark, Ph.D., & Peter Koudelka. (2011). VARIATION IN LINEAR APEX OFFSET MEASUREMENTS OF ANGLED FIBER OPTIC CONNECTORS. Promet Optic, (pp.8 – 13).
- FIBERDK APS. (2014). Fiber Connector Types. Retrieved from
<http://www.fiberdk.dk/wp-content/uploads/2014/09/b57563567a56066fa8d6d01d5f7580b9.pdf>
- FOSCO. (2016). WHAT ARE APC (ANGLED PHYSICAL CONTACT) FIBER CONNECTORS?. Retrieved from <https://www.fiberoptics4sale.com/blogs/archive-posts/95041478-what-are-apc-angled-physical-contact-fiber-connectors>
- Gerd Keiser. (1992). **Optical Fiber Communications**. (4th edition), Mcgraw-Hill International Edition, (pp.67)
- G-net Network Solution. (2560, มีนาคม). **Loss ค่าการสูญเสียของสัญญาณแสงใน Fiber Optic System**. สืบค้นเมื่อ 5 กรกฎาคม 2560 จาก <https://www.g-net.co.th/loss-ค่าการสูญเสียของสัญญาณ>

iFONG iDEA. (2559, มีนาคม). Insertion Loss & Return Loss Fiber Optic Connector. สืบค้นเมื่อ 5 กรกฎาคม 2560 จาก <http://ifong-idea.blogspot.com/2016/02/insertion-loss-return-loss-fiber-optic.html>

Khan Academy. (2016). Refraction and Snell's law. Retrieved from <https://www.khanacademy.org/science/physics/geometric-optics/reflection-refraction/v/refraction-and-snell-s-law>.

M. Kihara, S. Nagasawa, & T. Tanifuji. (1996). "Return loss characteristics of optical fiber connectors". **Journal of Lightwave Technology**. Vol.14. No. 9. (pp.1986-1991).

M. Tanaka, H. Watanabe, M. Kihara, & M. Takaya. (2012). "New optical fiber connection method using solid refractive index matching material", **2012 17th Opto-Electronics and Communications Conference**, Busan, (pp.194-195).

Norland Products. (2016). Norland Optical Adhesive 85V. Retrieved from <https://www.norlandprod.com/adhesives/NOA85V.html>

R. Budwig. (1994). **Experiments in Fluids**. Volume 17. No. 5. (pp.350)

การวิเคราะห์ค่าการสูญเสียจากการเชื่อมต่อด้วยการหลอมระหว่างเส้นใยแก้วนำแสง

ชนิด SMF-28 กับ MP980

ANALYSIS OF FUSION SPLICING LOSS BETWEEN COMMERCIAL SMF-28 AND MP980 OPTICAL FIBERS

วรรณิศา ผางตะ

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

E-mail: wannisa.p@mail.kmutt.ac.th

อภิชัย ภัทรนันท์

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

E-mail: apichai.bha@kmutt.ac.th

ยุทธพงษ์ จิรรัชโสภาคกุล

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

E-mail: yuttapong.jir@kmutt.ac.th

เดชวุฒิ ขาวปรีสุทธิ

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

E-mail: dejwoot.kao@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการวิเคราะห์ค่าการสูญเสียที่เกิดจากการเชื่อมต่อด้วยการหลอมของเส้นใยแก้วนำแสงชนิด SMF-28 และ MP980 การทดลองถูกออกแบบให้คล้ายคลึงกับทางปฏิบัติจริงในอุตสาหกรรมโดยใช้เครื่องเชื่อมต่อด้วยการหลอมเส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้งานทั่วไปในด้านโทรคมนาคม ขณะที่การจำลองค่าการสูญเสียตามทฤษฎีถูกจำลองโดยใช้พารามิเตอร์เดียวกันกับการทดลองได้แก่ เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมเส้นใยแก้วนำแสง โดยใช้ทำการจำลองตามทฤษฎี Mode-mismatch, Phase-front transformer, และการวางตำแหน่งเส้นใยแก้วที่ผิดพลาด ผลการวิจัยจากการทดลองพบว่า ในช่วงเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการปฏิบัติงานจริง ค่าการสูญเสียที่เกิดจากการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงจะแปรผกผันกับอุณหภูมิของการหลอมเส้นใยแก้ว และเวลาที่ใช้ในการ

เชื่อมต่อ ผลการทดลองหาค่าการสูญเสียที่มีแนวโน้มสอดคล้องกับค่าการสูญเสียที่คำนวณได้จากทางทฤษฎี โดยจากการทดลองค่าการสูญเสียที่น้อยที่สุดมีค่า 1.109 เดซิเบลเมื่อเวลาที่ใช้ในการเชื่อมเท่ากับ 3.5 วินาที และอุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมเท่ากับ 70% ของค่าอุณหภูมิสูงสุดของเครื่องฟิวชั่นสไปลซ์เซอร์รุ่น INNO VIEW7 ซึ่งสามารถนำไปค่าพารามิเตอร์นี้ไปใช้ในการปฏิบัติงานจริงต่อไป

คำสำคัญ: ค่าการสูญเสียที่เกิดจากการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงด้วยการหลอม, การเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงด้วยการหลอม, เส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดี่ยวชนิด SMF-28, เส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดี่ยวชนิด MP980

ABSTRACT

An analysis of fusion splicing loss of commercial SMF-28 and MP980 optical fibers in both practical and theoretical aspects is reported in this paper. The experiments were conducted with the same practice used in real industry while the theoretical simulations were carefully performed with similar parameters to the experiments. Mode-mismatch loss, Phase-front transformer loss, and mechanical alignment losses were considered in the simulations. The experimental results show that the splicing loss is inversely proportional to the splicing temperature and time and these are in good agreement with the simulation results. The results also showed that the lowest loss of 1.109 dB could be achieved with the splicing time of 3.5 s and temperature of 70% of the maximum temperature of the INNO VIEW7 fusion splicer. These parameters can be applied to the real operation.

KEYWORDS: Fusion splice loss, Fusion Splice, Single-mode fiber (SMF-28), Single-mode fiber (MP980)

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ปัจจุบันระบบการสื่อสารด้วยแสงโดยการติดต่อสื่อสารผ่านตัวกลางที่เป็นเส้นใยแก้วนำแสง (Optical Fiber) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่นิยมใช้กันมากและตอบสนองความต้องการในด้านการนำส่งสัญญาณข้อมูล จึงส่งผลให้ต้องมีระบบสื่อสารที่ส่งข้อมูลได้อย่างรวดเร็วและมีเสถียรภาพมาก ซึ่งข้อดีของการส่งข้อมูลด้วยแสงผ่านทางเส้นใยแก้วนำแสงนั้นมีหลายประการ เช่น มีค่าการลดทอนสัญญาณแสงต่ำและมีแบนด์วิดท์กว้างทำให้สามารถส่งข้อมูลในปริมาณมากและส่งข้อมูลในระยะทางไกลได้ มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา อีกทั้งยังไม่เกิดการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าในเส้นใยแก้วนำแสง มีภูมิคุ้มกันต่อสัญญาณแทรกสอดทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและผลกระทบจากพัลส์คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า อย่างไรก็ตามในการระบบสื่อสารเส้นใยแก้วนำแสงโดยทั่วไปนั้นต้องมีการเชื่อมต่อในส่วนของใยแก้วด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การเชื่อมต่อเชิงกล (mechanical splicing) การเชื่อมต่อด้วยหัวเชื่อมต่อ (connector) และการเชื่อมต่อด้วยการหลอม (fusion splicing) โดยการเชื่อมต่อด้วยการหลอมเป็นที่นิยมมากเนื่องจากความสะดวกในกระบวนการเชื่อมต่อ และมีรอยเชื่อมต่อที่สนิทแนบแน่นกว่าแบบอื่นๆ ทำให้การสูญเสียของสัญญาณที่เกิดจากการเชื่อมต้อมีค่าต่ำกว่า โดยการสูญเสียจะเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อของเส้นใยแก้วนำแสง นอกจากนี้หากการเชื่อมต่อด้วยการหลอมของเส้นใยแก้วนำแสงที่มีโครงสร้างของเส้นใยแก้วนำแสงและ

เงื่อนไขในการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงที่ไม่เหมาะสมนั้น ค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นจะมีค่าสูงเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน ทำให้การส่งกำลังสัญญาณแสงมีประสิทธิภาพต่ำลง

ในทางปฏิบัตินั้นการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงสองเส้นเข้าด้วยกันนั้นอาจมีความคลาดเคลื่อนซึ่งทำให้เกิดค่าการสูญเสียของสัญญาณขึ้นจากลักษณะต่างๆ ของใยแก้วทั้งเกิดจากขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของโหมดฟิลด์ (Mode field diameter) ของเส้นใยแก้วนำแสง ทั้ง 2 ชนิด มีค่าไม่เท่ากัน กรณีการเชื่อมต่อแล้วไม่ตรงแนว (Lateral misalignment หรือ Axial misalignment) การเชื่อมต่อไม่ตรงแนวแล้วเกิดมุมระหว่างเส้นใยแก้วนำแสง (Angular misalignment) และการเชื่อมต่อแล้วเกิดระยะห่างระหว่างเส้นใยแก้วนำแสง (End Separation) (S. Zuoming, S. Ningfang, J. Jing, S. Jingming & M. Pan, 2012) อีกทั้งในปัจจุบันเทคโนโลยีเส้นใยแก้วนำแสงมีความก้าวหน้าและพัฒนากันอย่างหลากหลาย รวมไปถึงได้มีการปรับปรุงโครงสร้างคุณสมบัติบางประการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลให้มากขึ้น ทำให้ในอดีตมีงานวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลต่อค่าการสูญเสียจากการเชื่อมต่อด้วยการหลอมเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดี่ยว (Single mode fiber) ของเส้นใยแก้วนำแสงชนิด SMF-28 และ MP980 กันอย่างหลากหลาย ซึ่งเส้นใยแก้วนำแสงทั้งสองชนิดนั้นได้รับความนิยมในการใช้งานในเทคโนโลยีการสื่อสารด้วยแสงทางด้านการขยายสัญญาณแสงด้วยเทคนิค EDFA (erbium-doped fiber amplifier) การสูญเสียจากการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วทั้งสองด้วยการหลอมถูกวิเคราะห์บนพื้นฐานทฤษฎี Matching mode และทฤษฎี Phase-front transformer model ร่วมกับความผิดพลาดที่เกิดจากการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง กรณี Axial misalignment และกรณี Angular misalignment เมื่อวิเคราะห์ร่วมกับการทดลองจริงนั้นค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นมีค่าแตกต่างกัน และยังไม่พิจารณาค่าการสูญเสียที่เกิดจากการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วชนิด SMF-28 ไป MP980 ด้วย จึงทำให้ค่าการสูญเสียที่วัดค่าจากการทดลองในอดีตนั้นเป็นค่าการสูญเสียที่ไม่แท้จริงของการเชื่อมต่อ (P. Khamdee, A. Bhatranand & Y. Jiraksopakun, 2016)

งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการวิเคราะห์ค่าการสูญเสียที่เกิดจากการเชื่อมต่อด้วยวิธีการหลอมระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงชนิด SMF-28 และ MP980 โดยเทคนิคกระบวนการการเชื่อมต่อด้วยเครื่องเชื่อมสายเส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้งานทั่วไปในด้านโทรคมนาคม ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ทั้งทางภาคทฤษฎีและการทดลองจริงสำหรับการเชื่อมต่อด้วยวิธีหลอมของเส้นใยแก้วนำแสงทั้งชนิด SMF-28 กับชนิด MP980 ภายใต้เงื่อนไขทิศทางการเดินทางของแสงที่เดินทางในกระบวนการวัดค่าการสูญเสียจากเส้นใยแก้วนำแสงซึ่งมีขนาดคอร์ที่แตกต่างกัน เพื่อให้ทราบถึงอิทธิพลของตัวแปรที่สำคัญต่อค่าการสูญเสียจากการเชื่อมต่อที่เกิดขึ้น

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

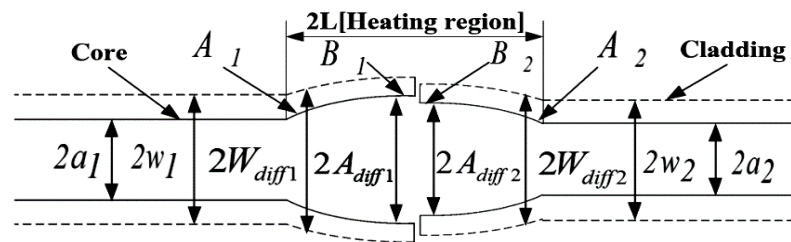
2.1 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าการสูญเสียที่เกิดจากกระบวนการเชื่อมต่อด้วยการหลอมของเส้นใยแก้วนำแสงที่ได้จากการพิจารณาทางด้านทฤษฎีร่วมกับทางปฏิบัติจริงภายใต้การเงื่อนไขการเชื่อมต่อเดียวกัน

2.2 เพื่อศึกษาถึงตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อค่าการสูญเสียจากการเชื่อมต่อด้วย

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย

3.1 กระบวนการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงด้วยวิธีการหลอม

กระบวนการเชื่อมต่อด้วยวิธีการหลอมของเส้นใยแก้วนำแสงนั้นเป็นการเชื่อมต่อโดยใช้ความร้อนจากขั้วอิเล็กโตรด หรือที่เรียกว่า Electric arc โดยมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง $2L$ จากนั้นปลายเส้นใยแก้วนำแสงจะถูกดันมาเชื่อมต่อกันภายในเครื่องเชื่อมสายเส้นใยแก้วนำแสง (Fusion Splice)



ภาพที่ 1 แผนภาพจำลองตำแหน่งบริเวณที่ให้ความร้อนและเกิดกระบวนการเชื่อมต่อที่ระยะเท่ากับ $2L$

ที่มา: W. Inart and W. Asawamethapant (2012)

ภาพที่ 1 แสดงถึงการจำลองตำแหน่งที่เกิดการเชื่อมต่อด้วยวิธีการหลอม ซึ่งค่า a_1 และ a_2 คือรัศมีคอร์ของเส้นใยแก้วนำแสง ค่า w_1 และ w_2 คือรัศมีของ Mode field ของเส้นใยแก้วนำแสงซึ่งเป็นค่าก่อนกระบวนการเชื่อมต่อ ส่วนค่า A_{diff} และ W_{diff} คือค่ารัศมีของคอร์และค่ารัศมีของ mode field ที่เกิดหลังจากการเชื่อมต่อนี้ระยะ $2L$

3.2 ค่าการสูญเสียจากการเชื่อมต่อด้วยวิธีการหลอมของเส้นใยแก้วนำแสงชนิด SMF-28 กับ ชนิด MP 980 จากทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

3.2.1 ค่าการสูญเสียที่เกิดจากทฤษฎี Matching mode field

ค่าการสูญเสียที่เกิดจาก Matching mode field ขณะเชื่อมต่อเส้นใยแก้วสองชนิดนั้นจะพิจารณาจากค่าความแตกต่างระหว่างขนาดรัศมี mode field ของเส้นใยแก้วนำแสงทั้งสองชนิดในบริเวณที่มีการเชื่อมต่อ ในการคำนวณหา Matching mode field Radii (M) สำหรับใช้พิจารณาการแพร่กระจายสารเจือปนภายในคอร์ของเส้นใยแก้วนำแสง[3] จากภาพที่ 1 สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$M = -10 \log \left[\left(\frac{2W_{diff1}W_{diff2}}{W_{diff1}^2 + W_{diff2}^2} \right)^2 \right] \quad (1)$$

โดยที่ค่ารัศมี Mode field ของเส้นใยแก้วนำแสงบริเวณที่มีการเชื่อมต่อ W_{diff} สามารถหาได้จาก $W_{diff} = A_{diff}/\sqrt{\ln V}$ และหาค่ารัศมีคอร์ของเส้นใยแก้วนำแสงบริเวณที่มีการเชื่อมต่อด้วยวิธีหลอม A_{diff} ได้จาก $A_{diff} = \sqrt{a^2 + 4Dt}$ และ V คือพารามิเตอร์วี หรือค่า Normalized frequency ซึ่งสามารถหาได้จาก $V = (2\pi/\lambda) \cdot a \cdot NA$ โดยที่ λ คือความยาวคลื่นซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ค่าเท่ากับ $1.55 \mu m$, NA คือค่าความสามารถในการรับแสง สามารถหาได้จาก $NA = n \sin \theta_{max} = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$ โดยค่า θ_{max} คือมุมรับแสงสูงสุด (Maximum acceptance angle), n คือค่าดัชนีหักเหของตัวกลางที่แสงตกกระทบซึ่งโดยทั่วไปคืออากาศ ดังนั้นจะได้ $n = 1$, n_1 คือ ค่าดัชนีการหักเหของแสงบริเวณ

ของคอร์ n_2 คือค่าดัชนีการหักเหของแสงบริเวณเคลดคั้ง ค่า τ คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงด้วยวิธีหลอม และ D ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของสารโคภายในเส้นใยแก้วนำแสง(J. Luo, 2007) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ $D = D_0 \exp(-Q/RT)$ โดย D_0 คือค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของสารภายในคอร์ที่อุณหภูมิห้อง, Q คือพลังงานยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมที่อุณหภูมิใดๆ, R คือค่าคงที่ของก๊าซ 8.31 J/mol-K, T คืออุณหภูมิใดๆ (K) ซึ่งจากสมการที่ (1) ถ้าหากค่า W_{diff} มีค่าแตกต่างกันมาก ก็จะทำให้เกิดค่าการสูญเสียมาก

3.2.2 ค่าการสูญเสียที่เกิดจากทฤษฎี Phase-front transformer model

ค่าการสูญเสียนี้เกิดจากการส่งสัญญาณข้อมูลผ่านบริเวณที่มีการเชื่อมต่อของเส้นใยแก้วนำแสง โดยพิจารณาส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า D เป็นระยะ $2L$ ณ บริเวณที่มีการเชื่อมต่อ(M. Kihara, M. Matsumoto, T. Haibara & S. Tomita, 1996) จากภาพที่ 1 สามารถหาค่าการสูญเสียจากสัมประสิทธิ์การส่งสัญญาณข้อมูลบริเวณที่มีการเชื่อมต่อนี้ (A_f) (M. Ratuszek, 2007) ได้จากสมการ

$$A_f = -10 \log T_A T_{B1} T_{B2} T_C \quad (2)$$

โดย T_A , T_{B1} , T_{B2} , และ T_C คือค่าสัมประสิทธิ์ของการส่งผ่านสัญญาณข้อมูลบริเวณที่มีการเชื่อมต่อของเส้นใยแก้วนำแสงในตำแหน่ง A, B1, B2 และ C ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$T_A = \left\{ 1 + \left[\frac{1}{2} (\gamma_{\max 1} - 1) \frac{\pi m_{r1} w_1^2}{\lambda L} \right]^2 \right\}^{-1} \quad (3)$$

$$T_{B1} = \left\{ 1 + \left[\gamma_{\max 1} (\gamma_{\max 1} - 1) \frac{\pi m_{r1} w_1^2}{\lambda L} \right]^2 \right\}^{-1} \quad (4)$$

$$T_{B2} = \left\{ 1 + \left[\gamma_{\max 2} (\gamma_{\max 2} - 1) \frac{\pi m_{r2} w_2^2}{\lambda L} \right]^2 \right\}^{-1} \quad (5)$$

$$T_C = \left\{ 1 + \left[\frac{1}{2} (\gamma_{\max 2} - 1) \frac{\pi m_{r2} w_2^2}{\lambda L} \right]^2 \right\}^{-1} \quad (6)$$

โดยที่ $\gamma_{\max}$ คืออัตราส่วนระหว่าง A_{diff} กับ a ของเส้นใยแก้วนำแสง

3.2.3 ค่าการสูญเสียที่เกิดจากความผิดพลาดกรณี Axial misalignment

ค่าการสูญเสียของการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงด้วยวิธีหลอมโดยมีอิทธิพลจากความผิดพลาดในการวางเส้นใยแก้วนำแสงไม่ตรงแนว ซึ่งทำให้คอร์ไม่อยู่ในตำแหน่งศูนย์กลาง สามารถคำนวณค่าการสูญเสียกรณี Axial misalignment ของการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง (L_{ax}) ได้จากสมการ

$$L_{ax} (dB) = 4.343 \frac{2d^2}{W_{diff1}^2 + W_{diff2}^2} \quad (7)$$

โดย d คือระยะความผิดพลาดที่เกิดจากกรณี Axial misalignment หรือ ระยะ Radial offset ของคอร์

3.2.4 ค่าการสูญเสียที่เกิดจากความผิดพลาดกรณี Angular misalignment

ค่าการสูญเสียของการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงด้วยวิธีหลอมโดยมีอิทธิพลจากความผิดพลาดของการเกิดมุมที่เกิดจากการวางไม่ตรงแนวของเส้นใยแก้วนำแสงด้านใดด้านหนึ่ง สามารถคำนวณค่าการสูญเสียกรณี Angular misalignment การเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง (L_θ) ได้จากสมการ

$$L_{\theta}(dB) = 4.343 \left(\frac{2\pi n_2}{\lambda} \right)^2 \frac{(W_{diff1} W_{diff2})^2}{2(W_{diff1}^2 + W_{diff2}^2)} \sin^2 \left(\frac{\pi \theta}{180} \right) \quad (8)$$

โดยที่ n_2 คือค่าดัชนีหักเหแสงของเคลดคิงของเส้นใยแก้วนำแสงด้านที่ต้องการวิเคราะห์ความผิดพลาดจากกรณี Angular misalignment, θ องศาของความผิดพลาดที่เกิดจากกรณี Angular misalignment (degree)

3.3 การคำนวณค่าการสูญเสียโดยรวมที่เกิดจากการเชื่อมต่อด้วยวิธีการหลอมของเส้นใยแก้วนำแสง

ชนิด SMF-28 กับ MP980

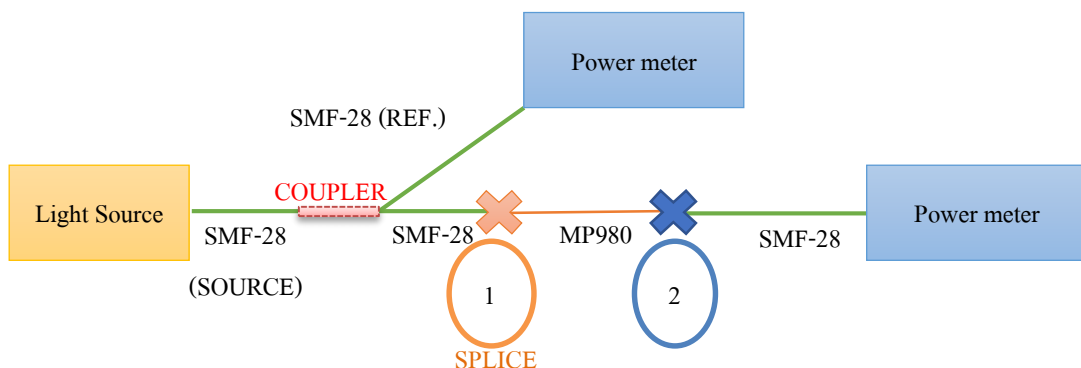
สำหรับการคำนวณค่าการสูญเสียโดยรวมที่เกิดจากการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงชนิด SMF-28 กับ ชนิด MP980 โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (14) โดยเทอมที่ 1 (M) คือค่าการสูญเสียที่เกิดจาก matching mode field model ส่วนเทอมที่ 2 (A_f) คือ ค่าการสูญเสียที่เกิดจาก phase front transformer model ส่วนเทอมที่ 3 คือค่าการสูญเสียที่เกิดจากการเชื่อมต่อกรณี Axial misalignment (L_{ax}) และเทอมที่ 4 คือค่าการสูญเสียที่เกิดจากการเชื่อมต่อกรณี Angular misalignment (L_{θ}) ดังนั้นค่าการสูญเสียรวมที่เกิดจากการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสง สามารถหาได้จาก

$$Loss(dB) = M + A_f + L_{ax} + L_{\theta} \quad (9)$$

4. วิธีดำเนินการวิจัย

การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าการสูญเสียที่เกิดจากการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงด้วยวิธีการหลอม โดยใช้เครื่องฟิวชั่นสไปซ์เซอร์ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมการสื่อสารด้วยใยแก้วนำแสงในการเชื่อมต่อ ภายใต้งานวิชาการพิจารณาทิศทางการเดินทางของแสงจากเส้นใยแก้ว SMF-28 ไปยังเส้นใยแก้วชนิด MP980 จากนั้นผลที่ได้จากการทดลองจะถูกนำมาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลค่าการสูญเสียที่ได้จากการจำลองคำนวณค่าดังกล่าวทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น โดยทั้งการจำลองและการทดลองจริงได้ถูกดำเนินการภายใต้ตัวแปรและเงื่อนไขเดียวกัน เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของการสูญเสียที่เกิดจากการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงชนิด SMF-28 กับ MP980 อีกทั้งศึกษาถึงตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อค่าการสูญเสียจากการเชื่อมต่ออีกด้วย

4.1 ออกแบบกระบวนการทดลอง



ภาพที่ 4 แผนผังการทดลองเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงเพื่อหาค่าการสูญเสียจากการเชื่อมต่อ

แผนผังการทดลองเพื่อหาค่าการสูญเสียการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วชนิด SMF-28 กับชนิด MP980 ได้ถูกแสดงในภาพที่ 4 เลเซอร์เปล่งแสงที่ย่านความถี่ 1550 นาโนเมตร ถูกใช้เป็นตัวกำเนิดแสง (Light source) แสงวิ่งเข้าไปในคอปเปอเรเตอร์ (coupler) แล้วถูกแยกออกเป็น 2 เส้นทาง โดยเส้นทางที่หนึ่งต่อเข้าเครื่องวัดกำลัง (Power meter) เพื่อใช้วัดเป็นค่ากำลังอ้างอิง (Reference power) จากเครื่องกำเนิดแสง เนื่องจากค่ากำลังจากเครื่องกำเนิดแสงอาจมีค่ากำลังไม่คงที่ส่วนอีกเส้นทางหนึ่ง ขาของคอปเปอเรเตอร์ถูกต่อเข้ากับเส้นใยแก้วนำแสงชนิด SMF-28 เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อกับเส้นใยแก้วนำแสงชนิด MP 980 เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ค่าการสูญเสียที่จุดเชื่อมต่อของเส้นใยแก้วทั้งสองชนิด (ตำแหน่งที่ 1) ปลายอีกด้านของเส้นใยแก้วนำแสงชนิด MP 980 จะถูกเชื่อมต่อเข้ากับเส้นใยแก้วนำแสงชนิด SMF-28 (Fiber source) ในตำแหน่งที่ 2 วัดค่ากำลังอ้างอิงในตำแหน่งที่ 2 คำนวณค่ากำลังอินพุตหรือกำลังอ้างอิงของทั้งระบบโดยนำค่ากำลังอ้างอิงที่ได้จากเครื่องกำเนิดแสงและค่ากำลังอ้างอิงในตำแหน่งที่ 2 มาพิจารณารวมกัน ทำการเชื่อมต่อระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงชนิด SMF-28 กับชนิด MP980 ด้วยวิธีการหลอมโดยใช้เครื่องฟิวชั่นสไปดเซอร์ รุ่น INNO VIEW 7 โดยค่าการสูญเสียจากการเชื่อมต่อที่ต้องการศึกษาวิเคราะห์จะอยู่ที่ตำแหน่งที่ 1 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่แสงเดินทางผ่านเส้นใยแก้วนำแสงชนิด SMF-28 ไปยังเส้นใยแก้วนำแสงชนิด MP980 เงื่อนไขช่วงเวลาที่ใช้ในการหลอมคือ 1.5 – 3.5 วินาทีเนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงานจริง และค่าอุณหภูมิของกระแสในการหลอมเส้นใยแก้วที่ใช้ในการทดลองคือ 40 - 70% มุมที่เกิดจากการวางไม่ตรงแนวหรือตัดของการทดลองคือ 0 – 0.5 องศา และมีการควบคุมอุณหภูมิของตัวเครื่องเชื่อมต่อที่ 28 องศา ผู้วิจัยทำการทดลองเงื่อนไขละ 10 ครั้งแล้วนำค่าความสูญเสียที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อให้ได้ความแม่นยำของผลการทดลองมากขึ้น ค่าการสูญเสียที่เกิดจากการเชื่อมต่อด้วยวิธีการหลอมโดยเฉลี่ยมาวิเคราะห์กับค่าการสูญเสียทางจากการจำลองที่อยู่บนพื้นฐานของทฤษฎี Matching mode field และทฤษฎี Phase-front transformer model ร่วมกับความผิดพลาดกรณี Angular misalignment ดังที่ได้กล่าวมาในหัวข้อที่แล้ว ซึ่งค่าคุณสมบัติต่างๆ ของเส้นใยแก้วนำแสงที่นำมาวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้แสดงดังตารางที่ 1 โดยอ้างอิงข้อมูลมาจากวิทยานิพนธ์ (เพ็ญนภา คำดี, อภิษฐ์ ภัทรนันท์ และยุทธพงษ์ จิรรัชโสภาค, 2558: 49)

ตารางที่ 1 ค่าคุณสมบัติเฉพาะของ SMF-28 กับ MP980

	a (μm)	NA	n_1	n_2	D_0 (m^2/s)	Q (J/mol)
ชนิด SMF-28	4.1	0.1228	1.452	1.447	6.7082×10^{-6}	3.1×10^5
ชนิด MP980	1.51	0.23	1.465	1.458	0.5×10^{-6}	2.89×10^5

5. ผลการทดลอง

ผลการจำลองค่าการสูญเสียจากทฤษฎี Matching mode field พบว่าเมื่อเวลาและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อ A_{diff} ทำให้นาคอร์มีค่าใกล้เคียงกัน เกิดค่าการสูญเสียลดลง ส่วนค่าการสูญเสียที่จำลองได้จากทฤษฎี Phase-front transformer model พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น A_{diff} มีค่าสูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงค่า γ_{max} ของเส้นใยแก้วทั้งสองมีค่าสูงขึ้นด้วยทำให้ค่าการสูญเสียมีค่าเพิ่มขึ้นดังแสดงดังตารางที่ 1 เมื่อพิจารณาค่าการสูญเสียทั้งสองทฤษฎีจากการจำลองภายใต้เงื่อนไขและค่าตัวแปรเดียวกันพบว่าค่าการสูญเสียจากทฤษฎี Matching mode field มีผลต่อค่า

การสูญเสียโดยรวมมากกว่าค่าทางทฤษฎี Phase-front transformer model(วีรัตน์ อินทร์อาจ และวีรัช อัสวเมธา พันธุ์, 2560: 338)

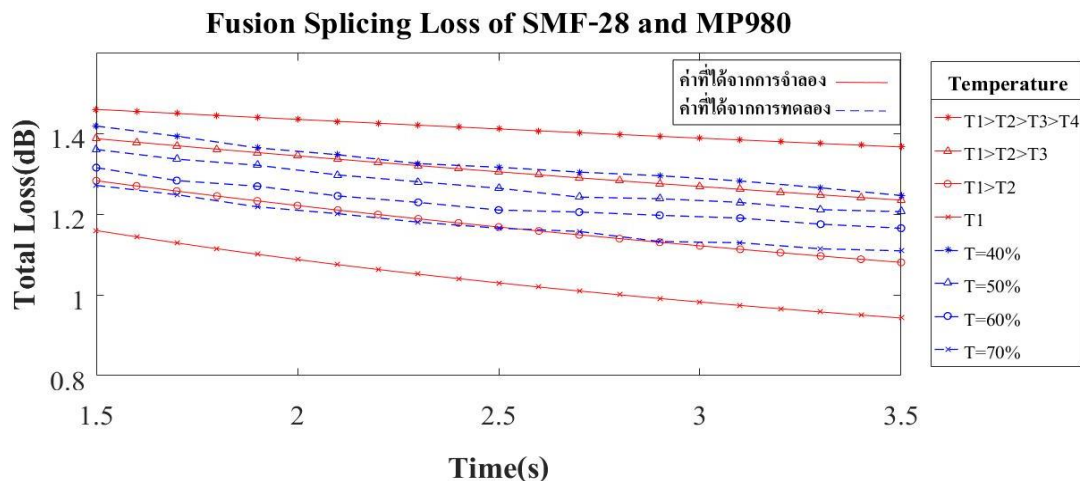
ผลการทดลองจากการปฏิบัติการเชื่อมเส้นใยแก้วชนิด SMF-28 กับ MP980 พบว่าค่าการสูญเสียจากการเชื่อมต่อด้วยการหลอมมีค่าลดลง เมื่อเวลาและกระแส(หรืออุณหภูมิ) ที่ใช้ในการหลอมเพิ่มขึ้น เมื่อนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการจำลองตามทฤษฎีพบว่ามีความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกันดังแสดงในภาพที่ 5 โดยเส้นสีแดง คือค่าที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี Matching mode field และเส้นสีน้ำเงินคือค่าที่ได้จากการทดลอง ซึ่งถ้าการใช้อุณหภูมิในการหลอมที่ค่ามากกว่า 70% ตรงจุดเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงที่ทำให้การหลอมนั้นเส้นใยแก้วนำแสงจะเกิดการผิดรูปทำให้การเชื่อมต่อไม่สมบูรณ์ ดังนั้นค่าสูญเสียที่เกิดจากการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงที่เกิดจากการทดลองมีค่าน้อยที่สุดคือ 1.109 dB ที่อุณหภูมิในการหลอมอยู่ที่ 70% ในช่วงเวลา 3.5 วินาที

ตารางที่ 2 ค่าความสูญเสียโดยรวมที่คำนวณจากทฤษฎี Matching mode field และทฤษฎี Phase-front transformer model ร่วมกับความผิดพลาดกรณี Angular misalignment กรณีที่ตัวแปร T มีค่า 2000 °C

Time (sec)	M (dB)	A_r (dB)	$M + A_r + L_\theta$ (dB)					
			0°	0.1°	0.2°	0.3°	0.4°	0.5°
1.5	1.3993	2.366E-03	1.4017	1.4032	1.4077	1.4152	1.4257	1.4392
1.7	1.3762	3.060E-03	1.3793	1.3808	1.3854	1.3932	1.4040	1.4179
1.9	1.3544	3.847E-03	1.3582	1.3598	1.3646	1.3725	1.3836	1.3979
2.1	1.3337	4.730E-03	1.3384	1.3401	1.3449	1.3531	1.3645	1.3791
2.3	1.3141	5.709E-03	1.3198	1.3215	1.3265	1.3348	1.3465	1.3616
2.5	1.2956	6.786E-03	1.3024	1.3041	1.3092	1.3178	1.3298	1.3452
2.7	1.2779	7.963E-03	1.2859	1.2876	1.2929	1.3016	1.3139	1.3297
2.9	1.2611	9.240E-03	1.2703	1.2721	1.2775	1.2865	1.2991	1.3152
3.1	1.2451	1.062E-02	1.2557	1.2576	1.2631	1.2723	1.2851	1.3017
3.3	1.2298	1.210E-02	1.2419	1.2438	1.2494	1.2588	1.2720	1.2889
3.5	1.2152	1.369E-02	1.2289	1.2308	1.2366	1.2462	1.2596	1.2769

อนึ่งในกระบวนการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงนั้นสามารถเชื่อมด้วยเครื่องมือที่เรียกว่า ฟิวชั่นสไปลซ์เซอร์ (Fusion Splicer) เครื่องจะมีการปรับระดับตำแหน่งในการวางตัวของเส้นใยแก้วนำแสง 2 เส้น โดยใช้หลักการตรวจวัดปริมาณของแสง จากนั้นเครื่องเชื่อมจะทำการปรับระดับของคอร์ให้อยู่ในระดับเดียวกันแบบอัตโนมัติ (Automatic core alignment) ทำให้การวิเคราะห์ค่าการสูญเสียจากระยะของคอร์ไม่ตรงแนวก้นหรือความผิดพลาดกรณี Axial misalignment ไม่เกิดขึ้นในกระบวนการเชื่อมต่อด้วยการหลอม โดยใช้เครื่องฟิวชั่นสไปลซ์เซอร์ (Fusion Splicer)(P. Khamdee, A. Bhatranand & Y. Jiraraksopakun, 2016) และในการหาค่าการสูญเสียที่เกิดจากความผิดพลาดกรณี Angular misalignment พบว่ามีค่าน้อยมากด้วยเหตุจากเครื่องเชื่อมต่อ

เส้นใยแก้วมีการปรับแต่งตำแหน่งของเส้นใยแก้วทั้งสองให้เหมาะสมโดยอัตโนมัติก่อนการเชื่อมต่อ ทำให้มุมและระยะห่างจากการวางเส้นใยแก้วที่ผิดพลาดลดลงจนไม่ส่งผลต่อค่าการสูญเสียที่เกิดจากการเชื่อมต่ออย่างมีนัยยะ ในกรณีที่การทดลองบอกค่าอุณหภูมิเป็นร้อยละซึ่งต่างจากการจำลองที่บอกเป็นองศาเซลเซียสเนื่องจากเครื่องฟิวชั่นสไปเซอร์และคู่มือของเครื่องไม่ได้บอกค่าอุณหภูมิในการหลอมเป็นองศาแต่บอกเป็นร้อยละ แต่ยังสามารถเปรียบเทียบแนวโน้มค่าการสูญเสียกันได้



ภาพที่ 5 ผลการทดลองเปรียบเทียบกับผลการจำลองหาค่าการสูญเสียของการเชื่อมต่อด้วยการหลอมของเส้นใยแก้วนำแสงชนิด SMF-28 และ MP980 ที่สภาวะต่างๆ

6. สรุปและอภิปรายผล

จากการวิเคราะห์ค่าการสูญเสียที่เกิดจากการเชื่อมต่อด้วยการหลอมของเส้นใยแก้วนำแสงชนิด SMF-28 กับ MP980 โดยมีการกำหนดเงื่อนไขของตัวแปรสำหรับการวิเคราะห์คือเวลาและอุณหภูมิของกระแสที่ใช้หลอมภายใต้การพิจารณาทิศทางการเดินทางของแสงจากเส้นใยแก้วชนิด SMF-28 ไปยังเส้นใยแก้วชนิด MP980 พบว่าค่าการสูญเสียจากการเชื่อมต้อมีค่าน้อยลงเมื่อค่าของเวลาและอุณหภูมิของกระแสเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์กับค่าการสูญเสียที่ได้จากการจำลองตามทฤษฎีนั้นพบว่าแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันที่สอดคล้องสัมพันธ์กัน โดยค่าการสูญเสียที่น้อยที่สุดมีค่า 1.109 dB เมื่อเวลากับอุณหภูมิในการหลอมเส้นใยแก้วมีค่า 3.5 วินาที กับ 70% ตามลำดับ

7. ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ค่าตัวแปรเวลาและอุณหภูมิกระแสที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้น เป็นแค่ช่วงเวลานั้นๆ เนื่องจากข้อจำกัดของอุปกรณ์ในการทดลอง อาจต้องมีการพิจารณาขอบเขตของตัวแปรให้กว้างขึ้น เพื่อดูอิทธิพลของตัวแปรทั้งสองดังกล่าวต่อค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วในช่วงที่กว้างกว่านี้ แต่อย่างไรก็ตามช่วงที่ใช้ในการปฏิบัติงานจริงในอุตสาหกรรมได้ถูกรอบคลุมในงานวิจัยนี้แล้ว

9. เอกสารอ้างอิง

- วริรัตน์ อินทร์อาจ และวิรัชย์ อัสวเมธพันธ์. (2560). การวิเคราะห์หัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความสูญเสียจากการเชื่อมต่อเชิงกลของเส้นใยแก้วนำแสงชนิด SMF-28 และ MP980. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 24(5), 331-349.
- เพ็ญนภา คำดี, อภิชัย ภัทรนันท์ และยุทธพงษ์ จิรรักษ์โสภาคกุล. (2558). การศึกษาหัวแปรที่มีผลต่อค่าความสูญเสียจากการเชื่อมต่อเส้นใยแก้วนำแสงชนิด SMF-28 กับ MP980 และ SMF-28 กับ PCF. ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- J. Luo. (2007). Modeling dissimilar optical fiber splices with substantial diffusion. **Journal of lightwave technology**, vol. 25, no. 11(pp.3575-3579).
- M. Kihara, M. Matsumoto, T. Haibara, and S. Tomita. (1996). Characteristics of Thermally Expanded Core Fiber. **Jounal of Lightwave Technology**, Vol.14, No. 10(pp.2209 – 2214)
- M. Ratuszek. (2007). Loss analysis of single mode Telecommunication Fiber thermally-diffused core areas. **Optical Applicata**, Vol. XXXVII, No. 3(pp.279-294).
- P. Khamdee, A. Bhatranand, and Y. Jiraraksoyakun. (2016). Study on the influential factor in the fusion splicing loss of SMF-28 and MP980 fibers. IMECS 2016, Conf.
- S. Zuoming, S. Ningfang, J. Jing, S. Jingming, and M. Pan. (2012). Low loss fusion splicing polarization-maintaining photonic crystal fiber and conventional polarization-maintaining fiber. **Optic Fiber Technology**, Vol 18(pp.452-456).
- W. Inart and W. Asawamethapant. (2012). The analysis of parameters related to fusion splicing loss of SMF-28 and MP980. IEEE ECTI-CON.

การศึกษาการลดฮาร์มอนิกของเครื่องเชื่อมไฟฟ้าโดยใช้

วงจรวัลเลย์ฟิลล์และวงจรชอปเปอร์

A STUDY ON THE HARMONIC REDUCTION OF ELECTRIC WELDING MACHINE USING VALLEY-FILL CIRCUIT AND CHOPER CIRCUIT

นิमित บุญภิรมย์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: nimit.bo@spu.ac.th

สำเริง อินทามะ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: samroeng.hi@spu.ac.th

สัณญา คุณขาว

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: sanya.kh@spu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้เป็นงานนำเสนอการศึกษาการลดฮาร์มอนิกของเครื่องเชื่อมไฟฟ้าโดยใช้วงจรวัลเลย์ฟิลล์และวงจรชอปเปอร์ วัตถุประสงค์เพื่อลดขนาดของค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของกระแสอินพุตในสายจ่ายเข้า เครื่องเชื่อมไฟฟ้าจากผลกระทบของตัวประจุที่ใช้กรองในคิซึบัสของวงจรเรียงกระแส 3 เฟสของวงจรของเครื่องเชื่อมจากผลช่วงเวลาการประจุและคายประจุของตัวประจุทำให้เกิดกระแสฮาร์มอนิกในสายจ่ายเข้าไหลเข้าสู่สายป้อนของเมนไฟฟ้า โดยนำเสนอวิธีลดค่ากระแสฮาร์มอนิก 2 วิธีคือ ติดตั้งวงจรวัลเลย์ฟิลล์ที่คิซึบัสของวงจรเรียงกระแสและติดตั้งวงจรชอปเปอร์ที่ตำแหน่งเดียวกัน การทดลองจะวัดค่ารูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าและวัดค่าสเปกตรัมด้วยเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้าตำแหน่งสายจ่ายเข้าขณะทำการเชื่อม ผลการปรับปรุงสามารถลดค่ากระแสฮาร์มอนิกของกระแสได้โดยวงจรวัลเลย์ฟิลล์สามารถลดค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมได้ 127.7 เปอร์เซ็นต์และวงจรชอปเปอร์ลดได้ 159 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

คำสำคัญ: เครื่องเชื่อมไฟฟ้า กระแสฮาร์มอนิก ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม

ABSTRACT

This paper presents a study on the harmonic reduction of electric welding machine using valley field circuit and chopper circuit. The main objective is to reduce the total harmonic distortion of input harmonic current

of electrical welding machine due to charge and discharge of filter capacitor in 3 phase rectifier. Accordingly, the harmonic AC current will diffuse back to the feeder of main system, In order to reduce this harmonic current, the two methods are proposed orderly: the valley field circuit method and DC chopper circuit by installing this circuit into DC bus circuit to delay the charge and discharge period of filter capacitor. Moreover, the power quality analyzer is employed to measure the instantaneous voltage waveform, current waveform and spectrums. For the experimental results, the reducing of total harmonic distortion of valley field method and DC chopper method are 159 percent and 127.7 percent respectively.

KEYWORDS: Electric Welding, Harmonic Current, Total Harmonic Distortion.

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

เครื่องเชื่อมไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์หนึ่งที่ใช้อุปกรณ์ด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ถูกสร้างมาทดแทนเครื่องเชื่อมแบบดั้งเดิมที่มีขนาดใหญ่ ใช้กำลังไฟฟ้ามาก เครื่องเชื่อมไฟฟ้าจะมีขนาดเล็กกะทัดรัด เคลื่อนที่ได้สะดวก ประหยัดพลังงานเป็นที่นิยมใช้มากในโรงงานอุตสาหกรรม จากผลของการใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ใช้ในเครื่องเชื่อมไฟฟ้าและมีลักษณะการทำงานเป็นการอาร์ท ทำให้เกิดกระแสฮาร์มอนิกจำนวนมากเข้าไปสู่ระบบไฟฟ้ากระทบกับคุณภาพไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า โดยมาตรฐานที่ใช้ประเมินค่าฮาร์มอนิกจะใช้วัดค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม (THD) เทคนิคการลดกระแสฮาร์มอนิกของเครื่องเชื่อมมีหลายวิธี เช่น การติดตั้งตัวกรองแบบแอคทีฟ การติดตั้งรีแอคเตอร์ที่สายอินพุตและการใช้ดีซีไช้ค(สุเทพ สัญใจ, นิमित บุญภิรมย์, 2559) แต่ข้อจำกัดของดีซีไช้คอาจจะเกิดจากการอิ่มตัวของแกนเหล็ก บทความนี้จะได้นำเสนอการลดค่ากระแสฮาร์มอนิก 2 วิธี คือ วิธีที่ 1 การใช้วงจรวัลเลย์ฟิลด์ ซึ่งเป็นที่นิยมในการลดฮาร์มอนิกและปรับค่าตัวประกอบกำลัง (Ahteshamul Haque, 2016) และใช้กับบาลาสต์อิเล็กทรอนิกส์(สรายุทธ ทองกุลภัทร, 2556) และวิธีที่ 2 การใช้วงจรชอปเปอร์ ซึ่งมีแนวคิดในการสร้างวงจรสวิตช์เพื่อจะหน่วงเวลาการทำงานในช่วงเวลาประจุและคายประจุของตัวประจุในดีซีบัส ซึ่งการศึกษาจะเป็นการปรับปรุงวงจรดีซีบัสของเครื่องเชื่อมไฟฟ้าที่ใช้ทั่วไป โดยติดตั้งวงจรทั้ง 2 วิธี และวัดค่ารูปคลื่นของกระแสและแรงดัน ค่าสเปกตรัมทั้ง 2 ค่าที่เฟส A ขณะทำการเชื่อม และวัดค่า THD เปรียบเทียบทั้ง 2 วิธี วิธีนี้จะเป็นวิธีง่าย ๆ และประหยัด ทำให้สามารถลดทอนค่ากระแสฮาร์มอนิกเครื่องเชื่อมแต่ละตัวได้ในโรงงานอุตสาหกรรม ที่ใช้เครื่องเชื่อมจำนวนมาก และลดความเสี่ยงจากปัญหาหลายด้าน จากผลของกระแสฮาร์มอนิก

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- (1) เพื่อศึกษาและวิเคราะห์การเกิดกระแสฮาร์มอนิกจากเครื่องเชื่อมไฟฟ้า 3 เฟส
- (2) เพื่อปรับปรุงเพื่อลดกระแสฮาร์มอนิกโดยใช้วงจรวัลเลย์ฟิลด์ติดตั้งเพิ่มเติมในวงจรดีซีบัสของวงจรเรียงกระแส 3 เฟสของเครื่องเชื่อมไฟฟ้า
- (3) เพื่อปรับปรุงเพื่อลดกระแสฮาร์มอนิกโดยใช้ติดตั้งวงจรดีซีชอปเปอร์เพิ่มเติมในวงจรดีซีบัสของวงจรเรียงกระแส 3 เฟสของเครื่องเชื่อมไฟฟ้า

- (4) เพื่อวัดค่ากระแสฮาร์โมนิกที่เฟส A ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสที่จ่ายให้กับเครื่องเชื่อมไฟฟ้า โดยวัดค่ารูปคลื่นแรงดันระหว่างเฟส รูปคลื่นกระแสที่เฟส และสเปกตรัมของแรงดันและกระแส
- (5) เพื่อประเมินผลการเกิดกระแสฮาร์โมนิก จากการวัดค่าความเพี้ยนฮาร์โมนิกรวม (THD)

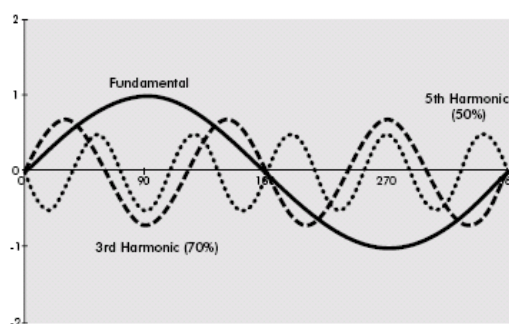
3.ขอบเขตของงานวิจัย

- (1) สร้างเครื่องเชื่อมไฟฟ้า 3 เฟส 380 โวลต์ ที่มีวงจรและองค์ประกอบเดียวกันกับเครื่องเชื่อมที่ใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไป
- (2) วัดค่ารูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสลับที่อินพุตของเครื่องเชื่อม และวัดค่าสเปกตรัมของกระแสฮาร์โมนิกที่ตำแหน่งเดียวกัน
- (3) ออกแบบและติดตั้งตัววงจรวัดเลย์ฟลักซ์ที่ดัชนีสของวงจรเรียงกระแส 3 เฟสที่ประกอบอยู่ในเครื่องเชื่อม
- (4) วัดค่ารูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าสลับที่อินพุตของเครื่องเชื่อมและวัดค่าสเปกตรัมของกระแสฮาร์โมนิกเช่นเดียวกับหัวข้อที่ 2
- (5) ออกแบบและติดตั้งตัววงจรดิซิชอปเปอร์ที่ดัชนีสของวงจรเรียงกระแส 3 เฟสที่ประกอบอยู่ในเครื่องเชื่อมและวัดค่ากระแสเช่นเดียวกันกับหัวข้อที่ 2
- (6) สรุปผลของการกระแสฮาร์โมนิกจากค่า THD ทั้งสองวิธี

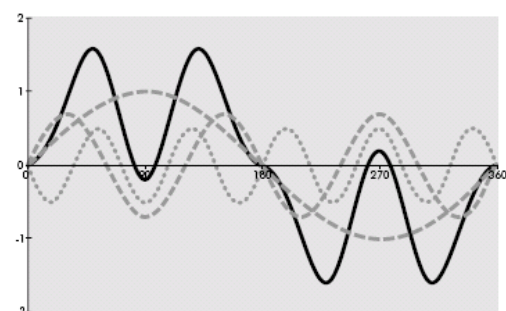
4. หลักการเบื้องต้นของฮาร์โมนิก

ได้ตั้งแผนภาพที่ 2 (Arrillag, J & Watson, 2003) มาตรฐานการกำกับขนาดกระแสฮาร์โมนิก IEC10003-2 ในตารางที่ 1 และ เวกเตอร์ของกระแสฮาร์โมนิกจะแสดงดังแผนภาพที่ 3 ตามลำดับ

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t) \quad (1)$$



ก. สัญญาณฮาร์โมนิกความถี่ต่าง ๆ



ข. ผลรวมของสัญญาณมูลฐานและฮาร์โมนิก

แผนภาพที่ 1 องค์ประกอบของสัญญาณฮาร์โมนิกที่ลำดับต่าง ๆ

กำหนดให้ THD = ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม (Total Harmonic Distortion), PF = ตัวประกอบกำลังจริง (True Power Factor), DPF = ตัวประกอบกำลังเฉพาะความถี่หลัก (Displacement Power Factor)

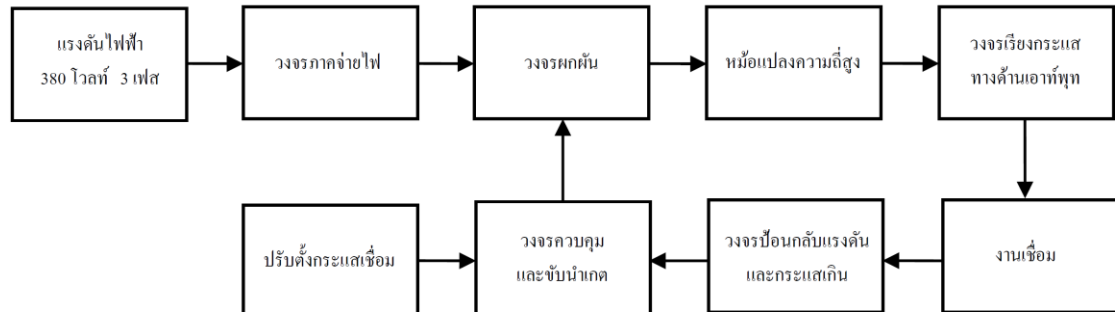
$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N I_n^2}}{I_1} \quad (2)$$

$$I_{rms} = \sqrt{\sum_{n=1}^N I_n^2} \quad (3)$$

$$I_{rms} = I_1 \sqrt{1 + (THD_i)^2} \quad (4)$$

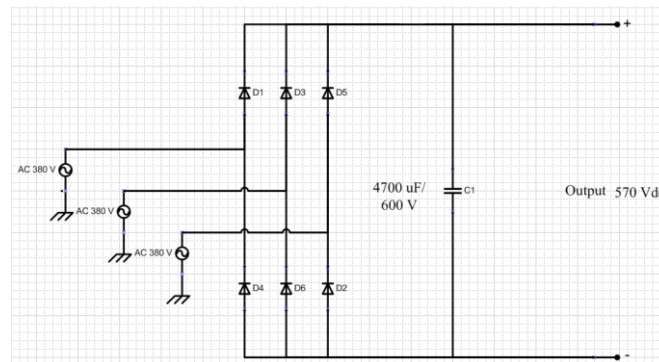
$$PF = \frac{\sum_{n=1}^N V_n I_n \cos \theta_n}{\sqrt{\sum_{n=1}^N V_n^2} \sqrt{\sum_{n=1}^N I_n^2}} \quad (5)$$

5. โครงสร้างของเครื่องเชื่อมไฟฟ้า



แผนภาพที่ 2 โครงสร้างของเครื่องเชื่อมไฟฟ้าที่ใช้ในบทความ

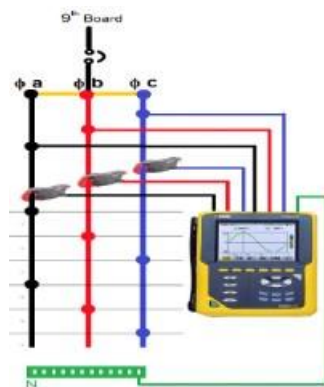
จากแผนภาพที่ 2 แสดงโครงสร้างของเครื่องเชื่อมไฟฟ้าซึ่งประกอบด้วยโครงสร้างสำคัญ 4 ส่วนคือ ภาคจ่ายไฟ ซึ่งประกอบด้วยวงจรเรียงกระแส 3 เฟส ซึ่งทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อจ่ายให้กับวงจรผกผันแบบ PWM แปลงกลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อควบคุมขนาดแรงดันและความถี่ผ่านไปยัง หม้อแปลงความถี่สูงและจึงแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงอีกครั้งเพื่อจะนำไปเชื่อมซึ่งปัญหาหลักของการเกิด ฮาร์มอนิกที่กระแสนินพุตเกิดจากการใช้ตัวประจุเพื่อใช้กรองในดีซีบัส ดังแผนภาพที่ 3 จะเกิดการประจุและคายประจุเพื่อกรองแรงดันให้เรียบนำไปสู่วงจรผกผัน



แผนภาพที่ 3 วงจรเรียงกระแส 3 เฟสที่ใช้ในเครื่องเชื่อม

6. การวัดและการวิเคราะห์ผลกระทบของฮาร์มอนิก

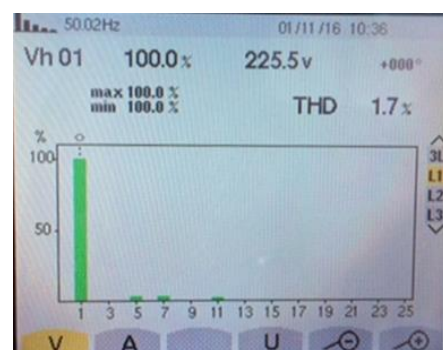
เพื่อวิเคราะห์รูปแบบของฮาร์มอนิกที่เกิดจากแรงดันและกระแสที่แปรออกจากเครื่องเชื่อมไฟฟ้า ด้วยเครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า(Power Quality Analyzer)ยี่ห้อ Chauvin Arnoux รุ่น C.A 8334 ดังแสดงในแผนภาพที่ 4



แผนภาพที่ 4 ตำแหน่งการวัดแรงดันฮาร์มอนิกและ กระแสฮาร์มอนิก



ก. รูปคลื่นของแรงดันที่สายแรงดัน 220 โวลต์ 3 เฟส

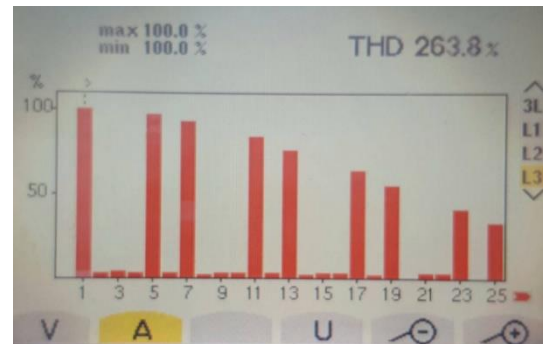


ข. สเปกตรัมของแรงดัน

แผนภาพที่ 5 คลื่นแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเข้า และสเปกตรัมของแรงดันไฟฟ้า ตามลำดับ



ก. รูปคลื่นของกระแสที่เฟส A ของอินพุต



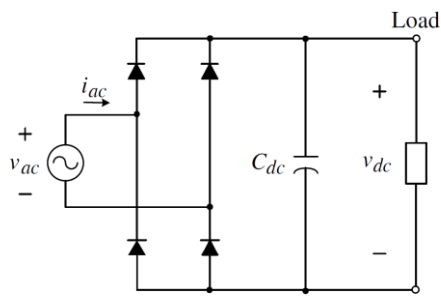
ข. สเปกตรัมของกระแสที่เฟส A

แผนภาพที่ 6 รูปคลื่นของกระแสและสเปกตรัมของกระแสที่เฟส A ของเครื่องเชื่อมก่อนการติดตั้ง

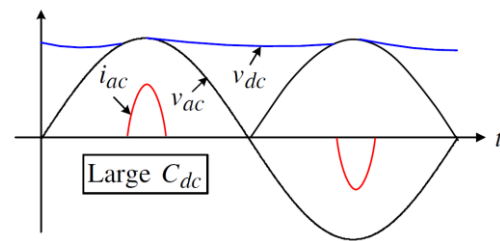
หลังจากการติดตั้งเครื่องวัดได้ทำการทดลองใช้เครื่องเชื่อมใช้งานเชื่อมและวัดค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้า และค่าสเปกตรัม ดังแสดงในแผนภาพที่ 5 และที่ 6 จะเห็นว่าค่าฮาร์มอนิกของแรงดันมีค่าน้อย มีค่า THD เท่ากับ 1.7 % แต่ค่ารูปคลื่นกระแสที่เฟส A หรือ L_1 มีค่าความเพี้ยนสูงมีค่ารีเปิ้ลของกระแสและมีค่า THD เท่ากับ 263.8 % ซึ่งเป็นผลจากความเพี้ยนของกระแสจากตัวประจุในคิซิปัสและช่วงการอาร์คของหัวเชื่อม

7. ติดตั้งวงจรฟิลเตอร์

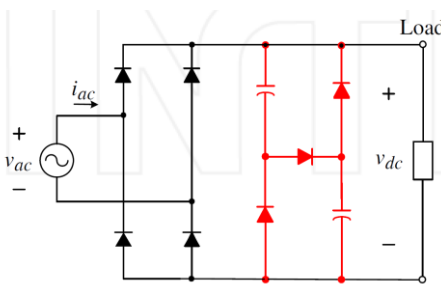
วงจรฟิลเตอร์เป็นวงจรที่ติดตั้งเพิ่มเติมในวงจรเรียงกระแส เพื่อปรับปรุงค่ารีเปิ้ลของกระแสไฟฟ้า สลับอินพุตให้มีขนาดกว้างขึ้น แผนภาพที่ 7 แสดงให้เห็นผลของวงจรเรียงกระแสแบบพื้นฐานซึ่งมีค่ารีเปิ้ลจากช่วงประจุและการคายประจุของประจุซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญในการเกิดฮาร์มอนิกและเมื่อติดตั้งวงจรฟิลเตอร์ ค่ารูปคลื่นกระแสจะเกิดความกว้างขึ้น จะทำให้ค่าฮาร์มอนิกลดลง



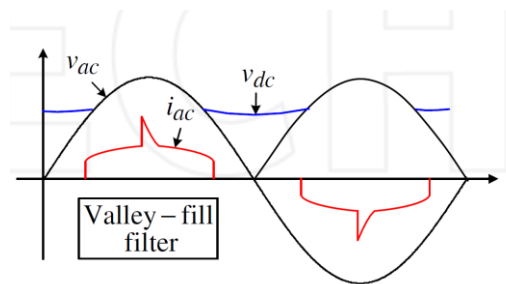
ก. วงจรเรียงกระแสพื้นฐาน



ข. รูปคลื่นกระแสสลับจากผลของการกรองด้วยประจุ



ค. วงจรเรียงกระแสแบบวัลเลย์ฟิลล์



ง. รูปคลื่นกระแสสลับจากผลของการกรองด้วยประจุ

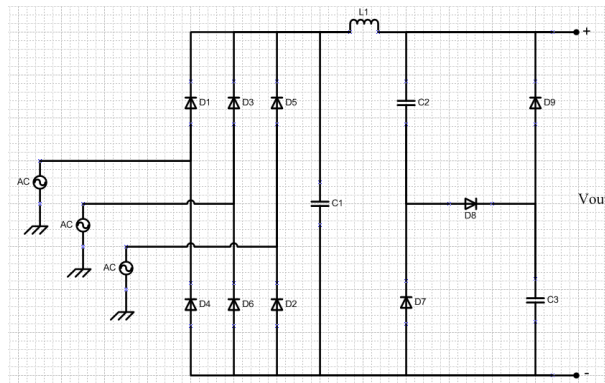
แผนภาพที่ 7 วงจรพื้นฐานของวงจรเรียงกระแสแบบวัลเลย์ฟิลล์ (C.M. Liaw, Y.C.Chang, 2011)

จากหลักการที่กล่าวแล้วจึงได้นำวงจรวัลเลย์ฟิลล์มาติดตั้งในวงจรเรียงกระแส 3 เฟสของเครื่องเชื่อมดังแสดงในแผนภาพที่ 8 ซึ่งยังเพิ่มเติมด้วยดีซี โช๊ค เพื่อปรับปรุงค่าริปเปิ้ลของไฟฟ้ากระแสสลับตามหลักการที่กล่าวแล้ว การกำหนดค่าตัวเหนี่ยวนำ L_1 และค่าตัวประจุ C_1 หาได้จากสูตรในสมการ (2) (3)

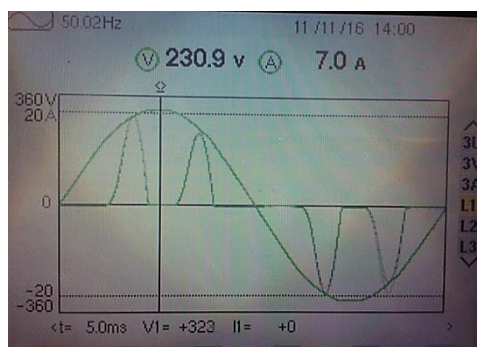
$$L_1 = \frac{R \sqrt{\left(\frac{0.4714}{RF}\right)^2 - 1}}{4\pi f} \quad (2)$$

$$C_1 = \frac{1 + (\sqrt{2}RF)}{2\sqrt{2}RFfR} \quad (3)$$

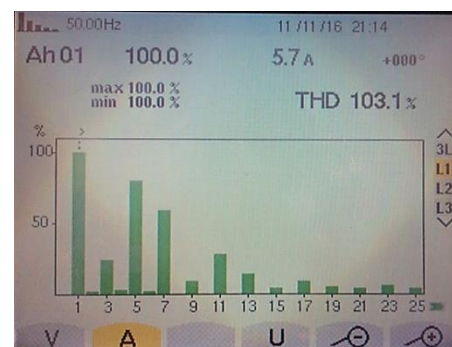
โดยที่ L_1, C_1 เท่ากับตัวเหนี่ยวนำและตัวประจุที่ใช้เป็นตัวกรองตามลำดับ, f เท่ากับความถี่ของระบบ, RF เท่ากับ Ripple Factor ได้ค่า L_1, C_1 เท่ากับ 4,700 μF , L เท่ากับ 100 mH. ตามลำดับ ความถี่ f เท่ากับ 300 Hz. (วงจรเรียงกระแส แบบ 6 pluses) หาค่า C_2 เท่ากับ C_3 เท่ากับ 3,300 μF ซึ่งได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม Matlab และปรับแต่งค่าที่ดีที่สุด ดังแสดงวงจรการติดตั้งในแผนภาพที่ 8 ทำการทดลองติดตั้งเครื่องวัดและทำการเชื่อมโลหะจริงบันทึกรูปคลื่นและค่าสเปกตรัม และได้ค่า THD เท่ากับ 96.8 % ลักษณะของกระแสที่เฟส A มีการขยายค่าริปเปิ้ลมากขึ้นดังแสดงใน แผนภาพที่ 9



แผนภาพที่ 8 การติดตั้งวงจรตัวแปลงไฟที่ติดตั้งของวงจรเรียงกระแส 3 เฟส



ก. รูปคลื่นของกระแสที่เฟส A ของอินพุต

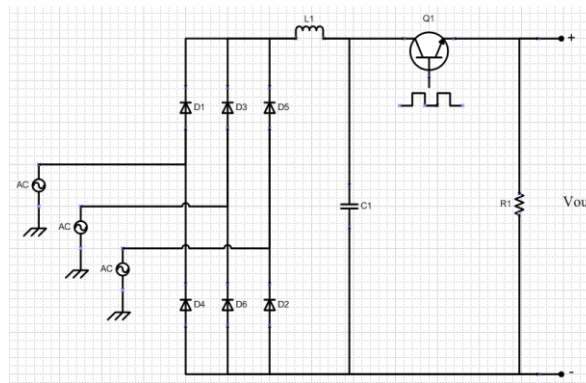


ข. สเปกตรัมของกระแสที่เฟส A

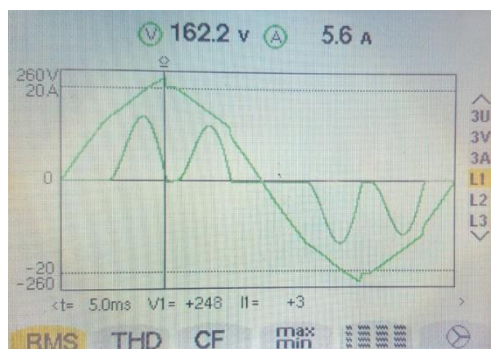
แผนภาพที่ 9 กระแสที่เฟส A ของวงจรเรียงกระแส 3 เฟสติดตั้งวงจรตัวแปลงไฟ

8. ติดตั้งวงจรชอปเปอร์

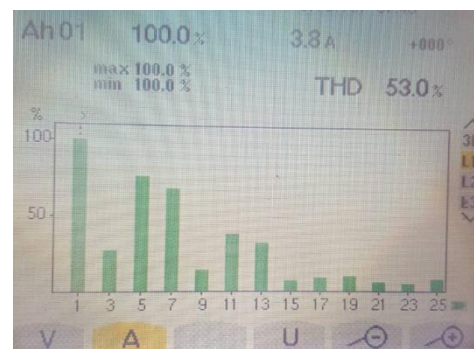
การติดตั้งวงจรชอปเปอร์มีวัตถุประสงค์ที่จะใช้ตัวสวิตช์ความถี่สูงมาปรับระดับของแรงดันคัสซึ่งที่ติดตั้งทำให้ลดเวลาการประจุและคายประจุของตัวประจุ C_1 โดยติดตั้ง IGBT ขนาด 15 แอมป์ 600 โวลท์ เป็นตัวสวิตช์ใช้ความถี่ PWM ขนาด 10 kHz., Duty cycle 75 % ติดตั้งความต้านทาน R_1 เพื่อเป็น Dummy โหลด ขนาด 500 Ω . ทำการทดลองกับเครื่องเชื่อมเช่น 2 กรณีแรก ได้ผลการทดสอบดังแสดงในแผนภาพที่ 11 จะเป็นได้ว่า ค่า THDi ของกระแสที่เฟส A ลดลงเหลือ 53 % ในการทดลองในหัวข้อนี้ได้ลดแรงดันที่จ่ายเข้าโดยใช้ Auto Transformer ด้วยสาเหตุของการลดการสวิตช์ของตัวสวิตช์ แต่ก็ยังสามารถเชื่อมได้ตามปกติ ในการประยุกต์ใช้จริงอาจจะเพิ่มแรงดันหรือติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันเช่นวงจรสนับเปอร์เพื่อป้องกันอัตราการเป็นแปลงของ กระแสและแรงดันเนื่องจากแรงดันที่คัสมีค่าสูงจึงนำเสนอในหลักการเท่านั้น



แผนภาพที่ 10 วงจรเรียงกระแส 3 เฟสติดตั้งวงจรชอปเปอร์



ก. รูปคลื่นของกระแสสลับที่เฟส A ของอินพุต



ข. สเปกตรัมของ ที่เฟส A

แผนภาพที่ 11 กระแสที่เฟส A ของวงจรเรียงกระแส 3 เฟสติดตั้งวงจรชอปเปอร์

9. สรุปการวิจัยและเสนอแนะ

จากการศึกษาการลดฮาร์มอนิกของกระแสอินพุตของเครื่องเชื่อมไฟฟ้าโดยใช้การติดตั้งวงจรวัลเลย์-ฟิลล์และวงจรชอปเปอร์ได้พบว่าผลการปรับปรุงตามตารางที่ 1 จะเห็นว่าวงจรวัลเลย์ฟิลล์สามารถลดค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมได้เท่ากับ 127 % และวงจรชอปเปอร์ลดลงได้ถึง เท่ากับ 159 % ซึ่งบทความนี้ยังมีได้มีจุดประสงค์ที่จะลดลงให้ได้ถึงมาตรฐานแต่เป็นเพียงการศึกษาความเป็นไปได้ของการปรับปรุงวงจรเครื่องเชื่อมที่เป็นวิธีง่าย ๆ และราคาถูก ประโยชน์ที่สำคัญในกรณีที่มีเครื่องเชื่อมจำนวนมากการปรับปรุงวงจร หรือสร้างเครื่องเชื่อมในลักษณะนี้ก็จะช่วยลดปัญหาความเสี่ยงจากกระแสฮาร์มอนิกได้ในเชิงปฏิบัติ เช่นปัญหาผลกระทบต่อคาปาซิเตอร์ที่ปรับปรุงตัวประกอบกำลังของระบบเมนท์ ในทางหลักการอาจจะให้ประสิทธิภาพการลดทอนน้อยกว่าวงจร PFC แต่เมื่อพิจารณาทางปฏิบัติจะทำได้ง่ายราคาถูก เหมาะกับการใช้ในระบบที่มีกำลังไฟฟ้าขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ วงจรไม่ซับซ้อนเป็นเพียงการแก้ไขและลดความเสี่ยงการเกิดรีโซแนนซ์และลดขนาดของตัวกรองของระบบจากปัญหาของเครื่องเชื่อมไฟฟ้า ซึ่งในโอกาสต่อไปอาจจะเป็นการปรับปรุงวงจรวัลเลย์ฟิลล์หรือวงจรชอปเปอร์เพื่อใช้กับเครื่องเชื่อมไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพในการลดค่ากระแสฮาร์มอนิกได้มากขึ้น

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบผลของวงจรวัลเลย์ฟิลล์และวงจรชอปเปอร์ในวงจรเรียงกระแสของเครื่องเชื่อม

อัตราความเพี้ยนของกระแสเมื่อติดตั้งวงจรวัลเลย์ฟิลล์				อัตราความเพี้ยนของกระแสเมื่อติดตั้งวงจรชอปเปอร์			
ลำดับฮาร์โมนิก	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ระดับการลดลง	ลำดับฮาร์โมนิก	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ระดับการลดลง
3	40%	5%	35%	3	40%	25%	15%
5	90%	70%	20%	5	90%	75%	15%
7	80%	50%	30%	7	80%	65%	15%
9	30%	3%	27%	9	30%	10%	20%
11	70%	15%	55%	11	70%	40%	30%
15	20%	2%	18%	15	20%	5%	25%
THD	212.0%	84.3%	127.7%	THDi	212.0%	53.0%	159.0%

10. เอกสารอ้างอิง

C.M. Liaw, Y.C.Chang (2011) **Some Basic Issues and Applications of Switch-Mode Rectifiers on Motor Drives and Electric Vehicle Chargers**, Electrical Generation and Distribution System and Power Quality Disturbances, Published by Intech.

Ahteshamul Haque. (2016).Valley-Fill Circuit for Power Quality Improvement, **IJIRST International Journal for Innovative Research in Science & Technology (IJIRST)**, Volume 2 , Issue 09.

IEEE 519. 1993. **IEEE Recommended Practices and Requirement for Harmonic Control in Electrical Power system**. USA: American National Standard Insitue 11-25.

สราวุธ ทองกุลภัทร์ การวิเคราะห์และออกแบบบาลาสต์ชนิดขับนำตัวเองสำหรับโหลดฟูลเรสเซนส์ ขนาด 36 วัตต์โดยการชารจ์ป้อนร่วมกับวัลเลย์ฟิลล์สำหรับปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ พ.ศ.2556.

มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าของประเทศไทยเทียบกับมาตรฐานสากล
THAILAND LIGHTNING PROTECTION STANDARD COMPARED WITH
INTERNATIONAL STANDARD

ธนภูมิ เคลื่อนมณี

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: thanaphum.k@gmail.com

สำเริง อินท่ำไม้

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: samroeng.hi@spu.ac.th

ภรชัย จูณวัฒน์กุล

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: parachai.ju@spu.ac.th

บทคัดย่อ

ในบทความนี้ได้นำเสนอการศึกษาและเปรียบเทียบการบริหารความเสี่ยงของระบบระบบป้องกันฟ้าผ่าตามมาตรฐานของประเทศไทยกับมาตรฐานของสากล โดยการพิจารณาองค์ประกอบความเสี่ยงที่สัมพันธ์กับขนาดเจ็บของสิ่งมีชีวิตจากแรงดันสัมผัสและแรงดันช่วงก้าว และองค์ประกอบความเสี่ยงทางกายภาพ เนื่องจากประกายอันตรายภายในสิ่งปลูกสร้างทำให้เกิดเพลิงไหม้หรือการระเบิด จากผลการคำนวณค่าความเสี่ยงกรณีตัวอย่างอาคารสำนักงาน พบว่าค่าความเสี่ยงที่ได้จากมาตรฐานของสากล(IEC/EN 62305-2 Ed.2:2012) จะมีค่าความเสี่ยงประมาณ 50% เมื่อเทียบกับมาตรฐานของไทย ผลการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าตามมาตรฐานของประเทศไทยให้ทำการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าระดับ 4 จึงจะมีค่าต่ำกว่าค่าที่ยอมรับได้ ในขณะที่การออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าตามมาตรฐานสากลให้ทำการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าระดับ 4 และจะต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันลैंดระดับ 2 เพิ่มอีกจึงจะทำให้ค่าความเสี่ยงมีค่าต่ำกว่าค่าที่ยอมรับได้ ดังนั้นการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าที่ดี ควรจะต้องทำการประเมินความเสี่ยงภายในสิ่งปลูกสร้าง(ความปลอดภัยต่อชีวิตมนุษย์) และความเสี่ยงต่อสภาพแวดล้อมด้วย

คำสำคัญ: มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า, ความเสี่ยง, ฟ้าผ่า

ABSTRACT

This paper presents the study and comparison of risk management of lightning protection systems in accordance with Thai standards and international standards. In these cases, the study considers the risk component associated with human injury from touch and step voltage and physical damage component due to the dangers inside buildings causing fire or explosion. From case study, it is found that the risk calculation of international standard (IEC62305:2012) is about 50 percent of Thai standard. According to Thai standard, lightning protection system is designed at level 4, which is lower than the acceptable value. While the lightning protection system in accordance with international standard is designed at level 4 and should SPD level 2. Therefore, the risk calculation for lightning protection system design should be taken into account the risk inside the structure (safety for the people) and risk to the environment.

KEYWORDS: Lightning protection standards, Risk, Lightning

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

การจัดการบริหารความเสี่ยงสำหรับระบบการป้องกันฟ้าผ่าเป็นเครื่องมือที่สำคัญอย่างยิ่งเพื่อประเมินการบาดเจ็บของมนุษย์และสิ่งที่อยู่ภายในสิ่งปลูกสร้างจากการถูกฟ้าผ่า และเพื่อให้มั่นใจได้ว่าเป็นการวัดความปลอดภัยที่จำเป็นและมีประสิทธิภาพมากที่สุด ที่ผ่านมาทางวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) ได้มีการปรับปรุงมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าขึ้น ในปี พ.ศ.2553 โดยอ้างอิงจากมาตรฐานสากล IEC/EN 62305-2: 2006 และในปัจจุบันนี้มาตรฐาน IEC/EN 62305-2 ได้มีการปรับปรุงเพิ่มเติมหลักการของระบบการป้องกันฟ้าผ่าและการบริหารความเสี่ยงสำหรับการสูญเสียทางเศรษฐกิจใน IEC/EN 62305-2: 2012

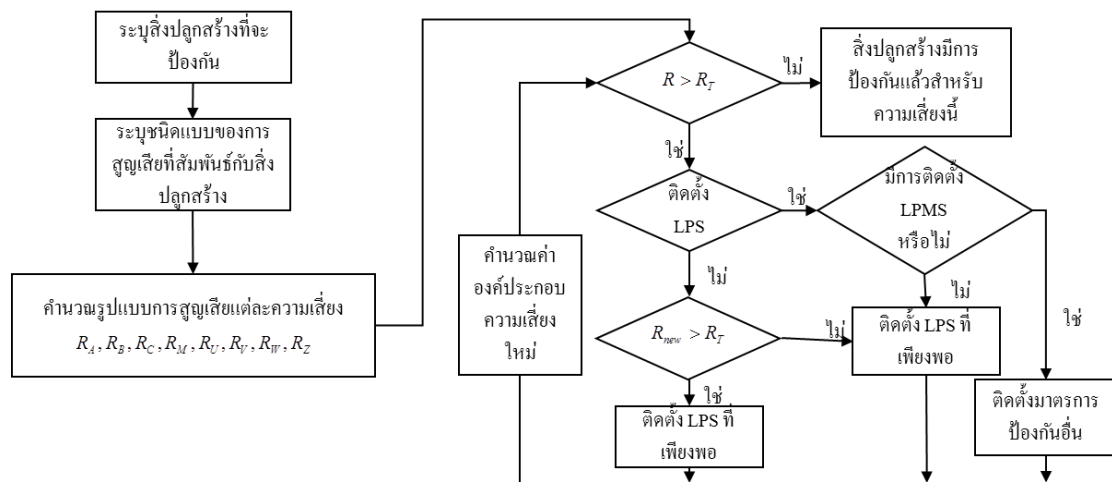
ดังนั้นในบทความนี้ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการประเมินความเสี่ยงของระบบป้องกันฟ้าผ่าตามมาตรฐานของประเทศไทยกับมาตรฐานของสากล โดยการพิจารณาองค์ประกอบความเสี่ยงที่สัมพันธ์กับการบาดเจ็บของสิ่งมีชีวิตจากแรงดันสัมผัสและแรงดันช่วงก้าว และองค์ประกอบความเสียหายทางกายภาพเนื่องจากประกายอันตรายภายในสิ่งปลูกสร้างทำให้เกิดเพลิงไหม้หรือการระเบิดในกรณีของสิ่งปลูกสร้างที่เป็นอาคารสำนักงาน เป็นต้น

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

(1) เพื่อศึกษาการประเมินความเสี่ยงของระบบป้องกันฟ้าผ่า โดยการพิจารณาองค์ประกอบความเสี่ยงที่สัมพันธ์กับการบาดเจ็บของสิ่งมีชีวิตจากแรงดันสัมผัสและแรงดันช่วงก้าว และองค์ประกอบความเสียหายทางกายภาพเนื่องจากประกายอันตรายภายในสิ่งปลูกสร้างทำให้เกิดเพลิงไหม้หรือการระเบิดในกรณีของสิ่งปลูกสร้างที่เป็นอาคารสำนักงาน ของมาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) และมาตรฐานของ IEC/EN 62305-2: 2012

(2) เพื่อเปรียบเทียบการประเมินความเสี่ยงของระบบป้องกันฟ้าผ่า โดยการพิจารณาองค์ประกอบความเสี่ยงที่สัมพันธ์กับการบาดเจ็บของสิ่งมีชีวิตจากแรงดันสัมผัสและแรงดันช่วงก๊าว และองค์ประกอบความเสียหายทางกายภาพเนื่องจากประกายอันตรายภายในสิ่งปลูกสร้างทำให้เกิดเพลิงไหม้หรือการระเบิดในกรณีของสิ่งปลูกสร้างที่เป็นอาคารสำนักงาน ระหว่างมาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) และมาตรฐานของ IEC/EN 62305-2: 2012

3. กรอบแนวคิดในการวิจัย



ในการตัดสินใจที่จะป้องกันสิ่งปลูกสร้างจากฟ้านั้น สิ่งแรกที่สำคัญคือการระบุสิ่งปลูกสร้างที่จะป้องกันและระบุชนิดแบบทั้งหมดของการสูญเสียในสิ่งปลูกสร้างที่จะป้องกัน และการประเมินค่าความเสี่ยงโดยการคำนวณรูปแบบการสูญเสียแต่ละความเสี่ยง R ที่มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งค่าความเสี่ยงสูงสุดที่ยอมรับได้ R_T ถ้า $R \leq R_T$ หมายถึงการป้องกันฟ้าผ่าไม่มีความจำเป็น แต่ถ้า $R > R_T$ หมายถึงมาตรการป้องกันฟ้าผ่าต้องนำมาใช้เพื่อลดความเสี่ยงจากความเสียหายกับสิ่งปลูกสร้างจะได้รับ

4. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

4.1 การประเมินความเสี่ยง

การประเมินความเสี่ยงจากฟ้าผ่า (รวมถึงแรงดันเกินเนื่องจากฟ้าผ่า) คือ ผลรวมขององค์ประกอบความเสี่ยงต่างๆ ซึ่งมีแหล่งกำเนิดความเสียหายเป็น S1, S2, S3, S4 และชนิดของความเสียหายเป็น D1, D2, D3 ดังแสดงในรูปที่ 1

โดยองค์ประกอบความเสี่ยงทั้งหมดนี้ สามารถแสดงในรูปสมการทั่วไปได้ดังนี้

$$R_x = N_x \cdot P_x \cdot L_x \quad (1)$$

N_x คือ จำนวนเหตุการณ์อันตราย (เป็นผลกระทบจากความหนาแน่นของวาบฟ้าผ่า (N_g) และลักษณะทางกายภาพของสิ่งปลูกสร้างที่ได้รับการป้องกันจากสิ่งแวดล้อม รวมถึงสายไฟฟ้าสาธารณูปโภคที่ต่อเข้าอาคารและอาคารที่เชื่อมต่อกัน)

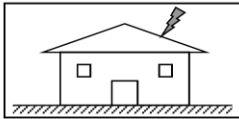
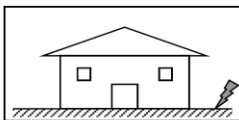
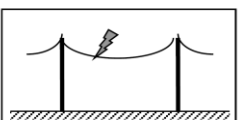
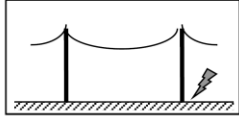
P_x คือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความเสียหายต่อระบบสิ่งปลูกสร้าง (เป็นผลกระทบจากลักษณะของสิ่งปลูกสร้างและมาตรการป้องกันที่มีต่อสิ่งปลูกสร้าง)

L_x คือ การสูญเสียที่ตามมา (เป็นผลกระทบจากลักษณะการใช้งาน, จำนวนคนที่อยู่ในสิ่งปลูกสร้างหรือพื้นที่, มูลค่าของผลกระทบจากความเสียหาย และมาตรการที่มีไว้เพื่อจำกัดจำนวนของการสูญเสีย)

4.2 ปัจจัยการสูญเสียต่อสิ่งปลูกสร้าง[2]

ในการออกแบบระบบป้องกันสิ่งปลูกสร้าง จะต้องทำการประเมินค่าการสูญเสียต่อสิ่งปลูกสร้างที่ยอมรับได้โดยผู้ออกแบบหรือเจ้าของอาคาร ซึ่งค่าการสูญเสียนี้จะมีความสัมพันธ์กับความเสียหายจากสภาพแวดล้อม (ซึ่งได้มีการนำเสนอไว้ในมาตรฐานของ IEC 62305-2 Edit 2) และชนิดของสิ่งปลูกสร้าง และสิ่งปลูกสร้างรอง ซึ่งได้มีการกำหนดความสูญเสียออกเป็น 4 แบบ

- L1: การสูญเสียชีวิตหรือบาดเจ็บของมนุษย์
- L2: การสูญเสียบริการต่อสาธารณะ
- L3: การสูญเสียมรดกทางวัฒนธรรม
- L4: การสูญเสียมูลค่าทางเศรษฐกิจ

จุดฟ้าผ่า	ภาพแสดงจุดฟ้าผ่า	แหล่งกำเนิดความเสียหาย	ชนิดแบบของความเสียหาย	ชนิดแบบของความสูญเสีย
ลงสิ่งปลูกสร้าง		S1	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
ใกล้สิ่งปลูกสร้าง		S2	D3	L1 ^b , L2, L4
ลงสายสาธารณูปโภคที่ต่อกับสิ่งปลูกสร้าง		S3	D1 D2 D3	L1, L4 ^a L1, L2, L3, L4 L1 ^b , L2, L4
ใกล้กับสายสาธารณูปโภค		S4	D3	L1 ^b , L2, L4
a เฉพาะสิ่งปลูกสร้างที่อาจเกิดอันตรายต่อชีวิตสัตว์ b เฉพาะสิ่งปลูกสร้างที่มีความเสี่ยงต่อการระเบิด และโรงพยาบาลหรือสิ่งปลูกสร้างอื่นๆ ซึ่งความล้มเหลวของระบบภายในทำให้เกิดอันตรายต่อชีวิตมนุษย์โดยทันที				

รูปที่ 1 ความเสียหายและความสูญเสียที่เกี่ยวข้องกับสิ่งปลูกสร้างแยกตามจุดฟ้าผ่า[1]

โดยการสูญเสียจะถูกแบ่งตามลักษณะของย่านการป้องกัน เมื่อ

- ความสูญเสียของชีวิตมนุษย์เป็นผลมาจากลักษณะการใช้งานย่านการป้องกัน ซึ่งจะถูกเพิ่มขึ้นด้วย h_z และลดลงด้วย r_p , r_t และ r_f
- ค่าสูงสุดของการสูญเสียจะถูกลดลงด้วยจำนวนคนที่อยู่ในย่านป้องกัน n_z ต่อจำนวนคนที่อยู่ในสิ่งปลูกสร้างทั้งหมด n_t
- ระยะเวลาในการปฏิบัติงานรายชั่วโมงต่อปี t_z สามารถลดค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นได้หากระยะเวลาทำงานต่อปีไม่ถึง 8,760 ชั่วโมงต่อปี

$$L_A = L_U = \frac{r_t \cdot L_T \cdot n_z}{n_t} \cdot \frac{t_z}{8760} \quad (2)$$

$$L_B = L_V = \frac{r_p \cdot r_f \cdot h_z \cdot L_F \cdot n_z}{n_t} \cdot \frac{t_z}{8760} \quad (3)$$

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = \frac{L_O \cdot n_z}{n_t} \cdot \frac{t_z}{8760} \quad (4)$$

เมื่อ

- L_T การสูญเสียเนื่องจากการบาดเจ็บจากแรงดันสัมผัสและแรงดันช่วงกาว (ตารางที่ 1)
- L_F การสูญเสียเนื่องจากความเสียหายทางกายภาพ (ตารางที่ 1)
- L_O การสูญเสียเนื่องจากความล้มเหลวของระบบภายใน (ตารางที่ 1)
- r_t ปัจจัยการสูญเสียอันเนื่องมาจากความเสียหายทางกายภาพ (ตารางที่ 2)
- r_p ปัจจัยการสูญเสียอันเนื่องมาจากความเสียหายและผลกระทบจากไฟไหม้ (ตารางที่ 3)
- r_f ปัจจัยความเสี่ยงของการเกิดไฟไหม้และการระเบิดของสิ่งปลูกสร้าง (ตารางที่ 4)
- h_z ปัจจัยเพิ่มเติมพิเศษสำหรับการสูญเสียของชีวิตมนุษย์อันเนื่องมาจากระดับของความหวาดกลัวหรือตื่นตระหนก (ตารางที่ 5)
- n_z จำนวนของสิ่งมีชีวิตที่คาดว่าจะอยู่ในพื้นที่สิ่งปลูกสร้าง ขณะเกิดเหตุการณ์
- n_t จำนวนของสิ่งมีชีวิตที่เกี่ยวข้องกับสิ่งปลูกสร้างทั้งหมด
- t_z ชั่วโมงการทำงานของสิ่งปลูกสร้างนั้น มีหน่วยเป็น ชั่วโมง/ปี

ถ้าไม่ทราบอัตราส่วนระหว่าง n_z/n_t ให้กำหนดค่าดังกล่าวเป็นค่าสูงสุด คือ 1 และเช่นเดียวกันถ้าไม่ทราบชั่วโมงการทำงานของสิ่งปลูกสร้างต่อปีนั้น ควรกำหนดค่าเป็น 1

ตารางที่ 1 ค่าการสูญเสีย L1 ของการสูญเสียทั่วไป L_T , L_f และ L_o

ประเภทของความเสียหาย	ค่าการสูญเสียโดยทั่วไป		ประเภทของสิ่งปลูกสร้าง
D1: การบาดเจ็บของสิ่งมีชีวิต เนื่องจากแรงดันสัมผัสและแรงดันช่วงก๊ว	L_T	10^{-2}	ทุกประเภท
D2: ความเสียหายทางกายภาพ (เช่น ไฟไหม้ การระเบิด การทำลายทางกลการปล่อยสารเคมี เป็นต้น) เนื่องจากผลกระทบทางความร้อนของกระแสไฟฟ้า รวมทั้งการเกิดประกายไฟ	L_f	10^{-1}	ความเสี่ยงของการระเบิด
		10^{-1}	โรงพยาบาล, โรงแรม, โรงเรียน, อาคารสาธารณะ
		5×10^{-2}	อาคารที่มีสิ่งอำนวยความสะดวกเพื่อความบันเทิง, โบสถ์, พิพิธภัณฑ์
		2×10^{-2}	โรงงานอุตสาหกรรม, พื้นที่ทางเศรษฐกิจ
		10^{-2}	อื่นๆ
D3: ความล้มเหลวของระบบภายในเนื่องจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	L_o	10^{-1}	ความเสี่ยงของการระเบิด
		10^{-2}	พื้นที่ที่ต้องได้รับการดูแลเป็นพิเศษ, ส่วนดำเนินการในโรงพยาบาล (ห้องผ่าตัด ฯลฯ)
		10^{-3}	พื้นที่อื่นๆในโรงพยาบาล

ตารางที่ 2 ปัจจัยการสูญเสียอันเนื่องมาจากความเสียหายทางกายภาพ (r_t)

ชนิดของสิ่งปลูกสร้าง	ค่าคงที่ของความต้านทาน $k\Omega^a$	r_t
พื้นที่เพาะปลูก, คอนกรีต	≤ 1	10^{-2}
หินอ่อน, เซรามิก	1-10	10^{-3}
ลูกรัง, พรม	10-100	10^{-4}
ยางมะตอย, เลื่อน้ำมัน, ไม้	≥ 100	10^{-5}
^a ค่าที่วัดระหว่างพื้นที่ 400 cm^2 ที่มีแรงกด 500N จากจุดศูนย์กลาง		

ตารางที่ 3 ปัจจัยการสูญเสียอันเนื่องมาจากความเสียหายและผลกระทบจากไฟไหม้ (r_p)

วิธีการ	r_p
ไม่มี	1
หนึ่งในมาตรการดังต่อไปนี้: อุปกรณ์ดับเพลิงใช้งานด้วยมือ, ระบบเตือนภัยใช้งานด้วยมือ, ท่อน้ำดับเพลิง, ช่องทางหนีไฟ	0.5
หนึ่งในมาตรการดังต่อไปนี้: อุปกรณ์ดับเพลิงอัตโนมัติ, ระบบเตือนภัยอัตโนมัติ	0.2

ตารางที่ 4 ปัจจัยความเสี่ยงของการเกิดไฟไหม้และการระเบิดของโครงสร้าง (r_f)

ความเสี่ยง	ประเภทของความเสี่ยง	r_f
การระเบิด	โซน 0,20 และวัตถุระเบิด	1
	โซน 1, 21	10^{-1}
	โซน 2, 22	10^{-3}
ไฟไหม้	ความเสี่ยงสูง	10^{-1}
	ความเสี่ยงปกติ	10^{-2}
	ความเสี่ยงต่ำ	10^{-3}
การระเบิดหรือไฟไหม้	ไม่มี	ไม่มี

ตารางที่ 5 ปัจจัยเพิ่มเติมพิเศษสำหรับการสูญเสียของชีวิตมนุษย์อันเนื่องมาจากระดับของความหวาดกลัวหรือตื่นตระหนก (h_z)

ประเภทของความเสี่ยงพิเศษ	h_z
ไม่มีความเสี่ยงพิเศษ	1
ความเสี่ยงต่อการตื่นตระหนกต่ำ (เช่น สิ่งปลูกสร้างที่มีเพียง 2 ชั้น หรือมีมนุษย์อาศัยอยู่ต่ำกว่า 100 คน)	2
ความเสี่ยงต่อการตื่นตระหนกปานกลาง (เช่น โครงสร้างทางวัฒนธรรม หรือสนามกีฬาที่กำลังมีการแข่งขัน ที่มีคนเข้าชม 100-1000 คน)	5
ความยากลำบากของการอพยพ (เช่น โรงพยาบาลที่คนไข้ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยตัวเอง)	5
ความเสี่ยงต่อการตื่นตระหนกปานกลาง (เช่น โครงสร้างทางวัฒนธรรม หรือสนามกีฬาที่กำลังมีการแข่งขัน ที่มีคนเข้าชมมากกว่า 1000 คน)	10

5. การคำนวณค่าความเสี่ยงตามมาตรฐานของ วสท. เปรียบเทียบกับ IEC/EN 62305-2 2012[3]

ในการประเมินค่าความเสี่ยง จะทำการเลือกตัวอย่างของอาคารสำนักงานดังแสดงในรูปที่ 2 โดยทำการแบ่งการคำนวณออกเป็น 5 ย่าน คือ Z1: บริเวณทางเข้า, Z2: บริเวณสวน, Z3: ห้องเก็บเอกสารหรือสิ่งบันทึกสำคัญ, Z4: สำนักงาน และ Z5: ศูนย์คอมพิวเตอร์

ตารางที่ 6 ข้อมูลสิ่งปลูกสร้าง

มิติของอาคาร(m)		$W \times L \times H$	20	40	25
วันที่มีฝนฟ้าคะนองต่อปี		T_d	40		
ความหนาแน่นของวบบฟ้าผ่า		N_g	4		
ตัวประกอบตำแหน่งที่ตั้ง	โดดเดี่ยว	C_d	1		
ระบบป้องกันฟ้าผ่า	ไม่มี	P_B	1		
ตัวกำบังที่ขอบเขตของสิ่งปลูกสร้าง	ไม่มี	K_{S1}	1		
ตัวกำบังที่อยู่ในสิ่งปลูกสร้าง	ไม่มี	K_{S2}	1		
ผู้คนที่อยู่ในอาคารเรือน		n_t	200		
ความต้านทานจำเพาะของดิน (Ω -m)		ρ	250		

ตารางที่ 7 ข้อมูลสายและระบบภายในสายแรงต่ำ

ความยาวสายภายใน(m)		L_c	200
ความสูง(m)	อากาศ	H_c	6
หม้อแปลง	ไม่มี	C_t	1
ตัวประกอบตำแหน่งที่ตั้งของสาย	โดดเดี่ยว	C_d	1
ตัวประกอบสภาพแวดล้อมของสาย	ชนบท	C_e	1
การกำบังสาย	ไม่มี	P_{LD}	1
	ไม่มี	P_{LI}	0.4
การระวังในการเดินสาย	ไม่มี	K_{S3}	1
ความคงทนของระบบภายใน	Uw=1.5kV	K_{S4}	0.6
การป้องกันด้วยอุปกรณ์ป้องกันลรั้งที่มีการประสานสัมพันธ์	ไม่มี	P_{SPD}	1
มิติของสิ่งปลูกสร้างที่ปลายสาย a(m)	ไม่มี	$W \times L \times H$	- - -



a) ด้านหน้า



b) ด้านข้าง

รูปที่ 2 ลักษณะของอาคารสำนักงานที่ใช้สำหรับกรณีศึกษา

ตารางที่ 8 ข้อมูลสายและระบบภายในสายโทรคมนาคม

ความยาวสายโทรคมนาคมภายใน(m)		L_C	1000
ความสูงสายโทรคมนาคม(m)	ฝังดิน	H_C	-
ตัวประกอบตำแหน่งที่ตั้งของสาย	โคเคเคเค	C_d	1
ตัวประกอบสภาพแวดล้อมของสาย	ชนบท	C_e	1
การกำบังสาย	ไม่มี	P_{LD}	1
	ไม่มี	P_{LI}	1
การระงับในการเดินสาย	ไม่มี	K_{S3}	1
ความคงทนของระบบภายใน	$U_w=1.5kV$	K_{S4}	1
การป้องกันด้วยอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จที่มีการประสานสัมพันธ์	ไม่มี	P_{SPD}	1
มิติของสิ่งปลูกสร้างที่ปลายสาย a(m)	ไม่มี	$W \times L \times H$	- - -

จากการคำนวณพื้นที่รับฟ้าผ่า และจำนวนเหตุการณ์อันตรายของตามมาตรฐานของ วสท. และ IEC/EN 62305-2:2012 ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 9 พื้นที่รับฟ้าผ่าที่คำนวณได้จากมาตรฐานของ วสท. และ IEC/EN 62305-2 Ed.2:2012

ชนิดเหตุการณ์	สัญลักษณ์	วสท.	IEC/EN 62305-2 Ed.2:2010-12
ลงสิ่งปลูกสร้าง	A_d	27,471.46	27,471.46
ลงสายไฟฟ้ากำลัง	$A_{i(P)}$	4,500.00	8,000.00
ลงใกล้สายไฟฟ้ากำลัง	$A_{i(P)}$	200,000.00	800,000.00
ลงสายโทรคมนาคม	$A_{i(T)}$	14,625.53	40,000.00
ลงใกล้สายโทรคมนาคม	$A_{i(T)}$	39,5284.70	4,000,000.00

ตารางที่ 10 จำนวนเหตุการณ์อันตรายที่คำนวณได้จากมาตรฐานของ วสท. และ IEC/EN 62305-2 Ed.2:2012

ชนิดเหตุการณ์	สัญลักษณ์	วสท.	IEC/EN 62305-2 Ed.2:2010-12
ลงสิ่งปลูกสร้าง	N_D	0.110	0.110
ลงสายไฟฟ้ากำลัง	$N_{I(P)}$	0.018	0.032
ลงโกลีสายไฟฟ้ากำลัง	$N_{i(P)}$	0.800	3.200
ลงสายโทรคมนาคม	$N_{I(T)}$	0.059	0.080
ลงโกลีสายโทรคมนาคม	$N_{i(T)}$	1.581	8.000

จากการคำนวณค่าองค์ประกอบความเสี่ยงทั้งหมดของอาคารสำนักงานได้ 4 แบบคือ R_A , R_B , R_U , R_V (เนื่องจากไม่มีความสูญเสียตามมา, L1 จากระบบที่ล้มเหลว จึงไม่ต้องคำนวณ R_C , R_M , R_W , R_Z)

ตารางที่ 11 การรวมกันขององค์ประกอบความเสี่ยงในแต่ละย่าน

ย่านการป้องกัน	ค่าความเสี่ยง	วสท.	IEC/EN 62305-2 Ed.2:2010-12
Z1	R	0.002×10^{-5}	0.002×10^{-5}
Z2	R	≈ 0	≈ 0
Z3	R	3.730×10^{-5}	0.888×10^{-5}
Z4	R	0.299×10^{-5}	7.100×10^{-5}
Z5	R	0.026×10^{-5}	0.621×10^{-5}
R รวม		4.057×10^{-5}	8.611×10^{-5}

ตารางที่ 12 การรวมกันขององค์ประกอบความเสี่ยงในแต่ละย่าน หลังการปรับแก้องค์ประกอบ

ย่านการป้องกัน	ค่าความเสี่ยง	วสท.	IEC/EN 62305-2 Ed.2:2010-12	
		ระดับการป้องกัน 4	ระดับการป้องกัน 4	ระดับการป้องกัน 4 และติดตั้ง SPD ระดับการป้องกัน 2
Z1	R	0.002×10^{-5}	0.002×10^{-5}	0.002×10^{-5}
Z2	R	≈ 0	≈ 0	≈ 0
Z3	R	0.485×10^{-5}	0.536×10^{-5}	0.097×10^{-5}
Z4	R	0.039×10^{-5}	4.290×10^{-5}	0.775×10^{-5}
Z5	R	0.003×10^{-5}	0.375×10^{-5}	0.068×10^{-5}
R รวม		0.529×10^{-5}	5.203×10^{-5}	0.942×10^{-5}

จากการคำนวณค่าความเสี่ยงที่ได้ในแต่ละย่าน ดังแสดงในตารางที่ 11 จะพบว่าค่าความเสี่ยงตามมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ จะมีค่าความเสี่ยงต่ำกว่า 50% เมื่อเทียบกับมาตรฐาน IEC/EN 62305-2 Ed.2:2012 ซึ่งในกรณีศึกษาถ้าพิจารณาการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าอาคาร

ตัวอย่างตามมาตรฐาน วสท. นั้น จะต้องทำการออกแบบระบบการป้องกันฟ้าผ่าผ่านการป้องกัน 4 ในขณะที่มาตรฐาน IEC/EN 62305-2 Ed.2:2012 จะต้องทำการออกแบบระบบการป้องกันฟ้าผ่าผ่านการป้องกัน 4 และจะต้องทำการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จ (Surge Protection Device: SPD) ระดับการป้องกัน 2 ด้วย ค่าความเสี่ยงจึงจะมีค่าต่ำกว่าค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้(10^{-5}) ดังค่าที่แสดงตามตารางที่ 12

6. สรุป

การคำนวณความเสี่ยงตามมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ มีความอ่อนกว่ามาตรฐานที่ร่างขึ้นมาใหม่ IEC/EN 62305-2 Ed.2:2012 โดยมาตรฐานนี้จะให้ความสำคัญกับจำนวนคนที่อยู่ในเหตุการณ์ และมีองค์ประกอบของลักษณะ โครงสร้างต่างๆ เข้ามาเกี่ยวข้องมากขึ้น ทำให้ค่าที่ได้ออกมาในครั้งแรกค่อนข้างที่จะมากกว่าค่าที่คิดตามมาตรฐานของ วสท. แต่เมื่อได้ทำการปรับปรุงค่าองค์ประกอบจะเห็นได้ว่า มาตรฐานของ IEC/EN 62305-2 Ed.2:2012 ให้ความสำคัญกับองค์ประกอบที่สัมพันธ์กับความเสียหายทางกายภาพ(D2) และองค์ประกอบความเสี่ยงเนื่องจากวาตภัยสายที่ต่ออยู่กับสิ่งปลูกสร้าง(S3)มากขึ้นในกรณีที่มิใช่คนอยู่อาศัย จึงทำให้การติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าระดับ 4 เพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอ เนื่องจากความเสี่ยงที่ได้ยังมีค่ามากกว่าค่าที่ยอมรับได้ จึงจำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จ(SPD)เพิ่มเติมอีก

7. เอกสารอ้างอิง

คณะกรรมการสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า. “มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า ภาคที่ 2 การบริหารความเสี่ยง”. วิศวกรรม

สถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. พิมพ์ครั้งที่ 2. พ.ศ.2557

IEC/EN 62305-2, “Protection Against lightning – Part 2: Risk management.” 2006.

IEC/EN 62305-2 Ed.2, “Protection Against lightning – Part 2: Risk management.” 2012.

การตอบสนองทางเวลาของสิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์ฟิล์มบางทังสเตนออกไซด์
SWITCHING RESPONSE ON ELECTROCHROMIC DEVICE OF WO₃
THIN FILM

สัญญา คุณขาว

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: sanya.kh@spu.ac.th

นิมิต บุญภิรมย์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: nimit.bo@spu.ac.th

ปราศฤต เหลียงประดิษฐ์

อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: praktik.li@spu.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมของอิเล็กทรอนิกส์ด้วยฟิล์มบางทังสเตนออกไซด์(WO₃)ที่สร้างด้วยการระเหยเป็นไอ ร่วมกับสารอิเล็กโทรไลต์ เมื่อได้รับแรงดันไบอัสก่อให้เกิดการเปลี่ยนความเข้มของสีเพิ่มขึ้นและลดลงรวมทั้งการคงสภาพของสีเมื่อไม่มีแรงดันไบอัส จากการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าด้านกระแสตรงและแบบพัลส์พบว่ามึปัจจัยที่มีผลกระทบกับการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนและไอออนบนฟิล์มบางทังสเตนออกไซด์กับปริมาณความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งเป็นผลของปฏิกิริยาออกซิไดซ์และรีดักชันที่เป็นผลของ switching time ต่อความไวของการเกิดปฏิกิริยา

คำสำคัญ: อิเล็กทรอนิกส์, การตอบสนองทางเวลา, ฟิล์มบาง

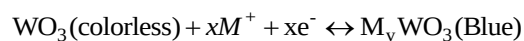
ABSTRACT

This research investigated the behavior of electrochromic thin films of tungsten oxide (WO₃) by vaporization with electrolyte. As a result of applied bias, the change in color intensity increases and decreases as well as the color retention when no bias voltage is applied. By measuring the electrical properties of the direct current and pulse signal, there are factors that affect the exchange of electrons and ions on thin films with tungsten (VI) oxide and the concentration of the electrolyte solution. This is the result of the oxidation and reduction effects of the switching time on the sensitivity

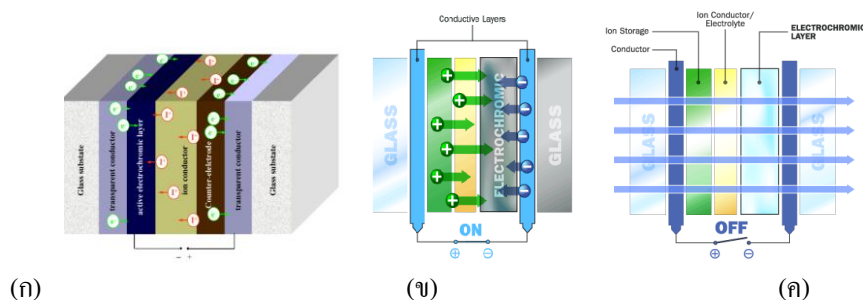
KEYWORDS: electrochromic, switching time, thin film

1. คำนำ

สิ่งประดิษฐ์อิเล็กโตรโครมิก (Electrochromic device) เป็นนวัตกรรมสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถปรับเปลี่ยนความเข้มสีจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี มีคุณสมบัติการตอบสนองต่อแสงภายใต้สนามไฟฟ้า และสามารถเปลี่ยนกลับไปยังสถานะเริ่มต้นได้ด้วยการให้สนามไฟฟ้าย้อนกลับ ด้วยกระจกที่ได้รับการเคลือบสารประกอบออกไซด์ที่ทำปฏิกิริยาไฟฟ้ากับสารประกอบอิเล็กโตรไลต์ เมื่อได้รับการจ่ายแรงดันไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้า ก็จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความเข้มสี เป็นโครงสร้างของสิ่งประดิษฐ์อิเล็กโตรโครมิก (สัญญา ภูณขาว, 2555) ด้วยปฏิกิริยารีดอกซ์ ความเร็วของการเปลี่ยนสถานะความเข้มสี (Switching time) ช่วงเวลา (Delay time) เป็นการเปลี่ยนสถานะเพื่อหาการเปลี่ยนแปลงของความเข้มสี ด้วยการปรับสถานะช่วงเวลา และความเร็วของการสวิตช์ซิง (Switching) (A. D. Tenner, L. Zonneveldt, 2002) จากที่ไม่มีสีกับมีสี โดยที่ประจุไอออนของธาตุที่ใช้ในปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าอาจจะเป็นประจุไอออนของลิเทียมไอออน (Li^+) โซเดียมไอออน (H^+) และซิลเวอร์ไอออน (Ag^+) พุ่งออกย้อนกลับไปมาภายในชั้นของสารที่เคลือบบนกระจกเพื่อให้เกิดสีขึ้นมาเมื่อได้รับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า และจางหายไปด้วยการให้แรงดันย้อนกลับ โดยมีสารประกอบอิเล็กโตรไลต์ หรือไอออนของตัวนำ อีกทั้งส่วนของขั้วไฟฟ้า และชั้นของสารเคมีที่ก่อให้เกิดสีในปฏิกิริยาเคมี (Y. Domori, T. Nanba, Y. Miura, 2005) ในการแทนที่ของประจุไอออนจากสมการรีดอกซ์สามารถแสดงได้ดังนี้



ซึ่งประกอบด้วย $\text{M}^+ = \text{H}^+, \text{Li}^+, \text{Na}^+$ หรือ K^+ และ ไอออนลบ e^- เข้าไปแทนที่อิเล็กตรอนในแต่ละธาตุของสารเคมีที่เป็นอิเล็กโตรโครมิก กับสารอิเล็กโตรไลต์ ในปัจจุบันนี้ประจุไอออนของธาตุที่ใช้ในปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าเพื่อการเปลี่ยนสีนั้นจะเป็นประจุไอออนของลิเทียมไอออน (Li^+) โซเดียมไอออน (H^+) และซิลเวอร์ไอออน (Ag^+) สารประกอบออกไซด์ที่ถูกนำมาใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์อิเล็กโตรโครมิก นั้นมีดังนี้คือ ทังสเตนออกไซด์ WO_3 ; นิกเกิลออกไซด์ NiO อิลเดียมออกไซด์ IrO_x วานาเดียมออกไซด์ V_2O_5 และ โมลิบดีนัมออกไซด์ MoO_3 การทำปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าของสารประกอบทังสเตนออกไซด์เพื่อเปลี่ยนสีจำเป็นต้องใช้สารประกอบอิเล็กโตรไลต์ที่มีประจุไอออนผสมอยู่โดยการบรรจุอยู่ให้ใกล้มากที่สุดกับชั้นของสารที่เคลือบอยู่บนกระจกที่จะเกิดเป็นสีออกมาที่สามารถควบคุมการผ่านของแสงตามการกระจายของสนามไฟฟ้าที่ในเนื้อสาร (A.L. Holt, J. M. Leger, and S. A. Carter, 2005) ดังนั้นเสถียรภาพของปฏิกิริยาเคมีสามารถเพิ่มขึ้นได้โดยการใช้ชั้นของสารเคมีในการเกิดสีจากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าเพื่อใช้ในการแลกเปลี่ยนประจุไอออนระหว่างกันการออกแบบอุปกรณ์ประเภทนี้นั้นมุ่งให้ประจุไอออนพุ่งออกย้อนกลับไปมาภายในชั้นของสารที่เคลือบบนกระจกเพื่อให้เกิดสีขึ้นมาเมื่อได้รับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า และจางหายไปด้วยการให้แรงดันย้อนกลับในการเคลือบสารที่เกิดสีบนกระจกจากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้านั้นสามารถสร้างชั้นสารประกอบที่มีความโปร่งใสอยู่บนชั้นของตัวนำที่โปร่งแสง โดยมีชั้นของสารประกอบอิเล็กโตรไลต์ หรือ ไอออนของตัวนำอยู่ระหว่างสารประกอบทังสเตนออกไซด์ อีกทั้งส่วนของขั้วไฟฟ้า และชั้นของสารเคมีที่ก่อให้เกิดสีในปฏิกิริยาเคมี ดังแสดงในแผนภาพที่ 1



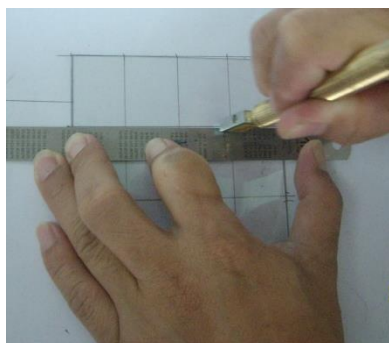
แผนภาพที่ 1 (ก) โครงสร้างของสิ่งประดิษฐ์ อิเล็กโตรโครมิก (Electrochromic device) ของชั้นสารเคมีที่เคลือบลงบนกระจกอิเล็กโตรโครมิก แสดงโครงสร้างการทำงานของฟิล์มอิเล็กโตรโครมิกอยู่บนกระจกโปร่งแสง(ข) สถานะที่ไม่ได้รับการไบอัสแสงสว่างจะสามารถผ่านเข้าสู่กระจกได้ และ (ค)สถานะได้รับการไบอัสฟิล์มอิเล็กโตรโครมิกจะปรับความเข้มสีซึ่งแสงจะไม่สามารถผ่านออกไปได้

ในการนำเสนอครั้งนี้เป็นการศึกษาการเปลี่ยนสถานะกลไกของการทำปฏิกิริยา ผลกระทบของความเข้มข้นสารอิเล็กโตรไลต์ต่อฟิล์มบางทั้งสแตนออกไซด์ WO_3 จากสารละลาย H_2SO_4 และ HCl โดยพิจารณาถึงความแตกต่างกันของความหนาฟิล์มบางที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของการดูดกลืน และการกระตุ้นการเปลี่ยนแปลงของสีผ่านกระแสไฟฟ้าไปยังสารละลายที่เกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชัน-รีดอกซ์ ซึ่งเป็นผลจากการสูญเสียอิเล็กตรอนเกิดเป็นประจุบวกและอนุมูลอิสระที่เรียกว่า polaron หรือ radical cation(สัญญา คุณขาว, อภิษฎา ทองรักษ์)

2. การเตรียมกระจกและการเคลือบสารทั้งสแตนออกไซด์

2.1 การเตรียมแผ่นกระจก ITO

ในการเตรียมกระจกที่ได้รับการเคลือบฟิล์มของทั้งสแตนออกไซด์นั้นจะใช้กระจกที่มีการเคลือบโลหะออกไซด์โปร่งแสงที่ทำจากสารประกอบอ็อกไซด์ทินออกไซด์ซึ่งเรียกว่ากระจก (ITO Glass) โดยการตัดแผ่นกระจก ITO ออกให้มีขนาด $3.33 \times 2.5 \text{ cm}^2$ ทำความสะอาดชิ้นกระจกด้วย acetone และล้างด้วยน้ำไร้ประจุ (Deionization water)



(ก) การตัดกระจกเคลือบ ITO



(ข) ด้านที่เป็นกระจก



(ค) ด้านที่เคลือบสาร ITO

แผนภาพที่ 2 การตัดกระจก ITO และการทดสอบกระจกด้านที่เป็นกระจก และด้านที่เคลือบ ITO

จากนั้นทำให้แห้ง ภายหลังจากการตัดกระจก ITO แล้วให้ทำความสะอาดอีกครั้งแล้ววัดค่าความต้านทานของกระจกโดยด้านที่เคลือบสาร ITO มีความต้านทานประมาณ 22-25 โอห์ม ส่วนด้านที่เป็นกระจกจะมีความต้านทานสูงมากดังแผนภาพที่ 2 ทั้งนี้การเคลือบสารทั้งสแตนออกไซด์กระทำบนด้านที่เคลือบสารประกอบอินเดียมทินออกไซด์

2.2 การเคลือบสารทั้งสแตนออกไซด์ลงบนแผ่นกระจก ITO

2.2.1 ชั่งสารประกอบทั้งสแตนออกไซด์ปริมาณ 0.1 กรัม จากนั้นใส่สารประกอบออกไซด์ที่อยู่ในหลุมของไส้ความร้อนทั้งสแตน และจัดวางแผ่นตะแกรงโลหะที่ตัดเป็นช่องสำหรับวางกระจก ITO ให้ห่างจากไส้ทั้งสแตนประมาณ 4 cm จากนั้นปิดฝาครอบกระจกด้านบน เปิดวาล์วควบคุมความดันและทำการเปิดสวิทช์ปั๊มสุญญากาศเพื่อดูดอากาศและสารประกอบที่เจือปนอยู่ภายในออกจากภาชนะเครื่องเคลือบสุญญากาศ

2.2.2 เมื่อดูดอากาศภายในจนความดันภายในลดต่ำลงด้วยปั๊มสุญญากาศที่ประมาณ 0.4 Pa เป็นระดับปั๊มที่จะทำได้ต่อจากนั้นให้เริ่มปรับแรงดันที่อุปกรณ์ควบคุมกระแสที่ให้กับไส้ความร้อนทั้งสแตน โดยในลำดับแรกให้ทำการอุ่นไส้ความร้อนทั้งสแตนก่อนโดยการปรับแรงดันที่ 100 โวลต์จาก Auto transformer ให้มีกระแสไหลผ่านไส้ทั้งสแตนประมาณ 100 แอมป์ ทั้งนี้เนื่องจากไส้ความร้อนทั้งสแตนนั้นมีความต้านทานต่ำประมาณ 3-5 โอห์ม จึงทำการออกแบบหม้อแปลงแรงดันต่ำไม่เกิน 10 โวลต์ และมีกระแสสูงที่ฟลักซ์ 200 แอมป์ จากนั้นให้ค่อยๆปรับแรงดันเพิ่มขึ้นทีละน้อยจนไส้ทั้งสแตนมีระดับกระแส 150 แอมป์ จากนั้นให้ปิดวาล์วที่ต่อเชื่อมกับปั๊มสุญญากาศ

2.2.3 ขณะที่กระแสไหลผ่านไส้ทั้งสแตนที่มีกระแสไหล 150 แอมป์ นี้จะทำให้สารประกอบทั้งสแตนออกไซด์เกิดการระเหย เมื่อไอระเหยของสารประกอบทั้งสแตนออกไซด์เริ่มระเหยเป็นไอในระยะแรกให้รอ สัก 30 วินาที จากนั้นให้เปิด shutter ที่ปิดกั้นระหว่างแผ่นกระจกกับไส้ความร้อน จากนั้นไอระเหยของสารประกอบทั้งสแตนออกไซด์จะระเหยขึ้นไปติดยังส่วนของกระจก ITO โดยในขั้นตอนนี้ต้องรักษาระดับกระแสให้คงที่ที่ 150 แอมป์ จนกระทั่งสารประกอบทั้งสแตนออกไซด์ได้ระเหยจนหมด

2.2.4 สารประกอบทั้งสแตนออกไซด์ได้ระเหยไปจับติดกับกระจก ITO แล้วลดกระแสจนเป็นศูนย์ และเปิดวาล์วปรับสภาพบรรยากาศให้เท่ากับบรรยากาศปกติ จากนั้นเปิดกระจกฝาครอบออกแล้วนำเอาแผ่นกระจกที่เคลือบสารประกอบทั้งสแตนออกไซด์ออกมา ดังแผนภาพที่ 3



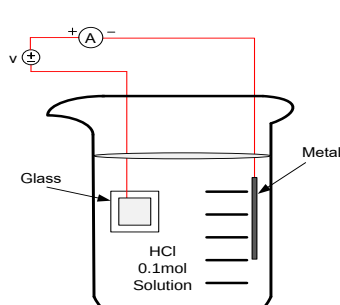
แผนภาพที่ 3 แสดงระบบสุญญากาศเพื่อกำเนิดไอระเหยทั้งสแตนออกไซด์เคลือบลงบนที่กระจก ITO

2.2.5 ภายหลังจากการเคลือบสารประกอบทั้งสเดนออกไซด์นำเข้าสู่เตาอบ ทำการไล่อากาศภายใน ด้วยก๊าซไนโตรเจน ในปริมาณ 0.5 ลิตรต่อนาทีทิ้งไว้ประมาณ 10 นาทีจึงเริ่มทำการอบ (ปล่อยก๊าซไนโตรเจน ตลอดเวลาที่อบ) ตั้งอุณหภูมิของการอบไว้ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงต่อจากนั้นเพิ่มอุณหภูมิเป็น 150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นค่อยๆลดอุณหภูมิลง 50 องศาเซลเซียส ทุกๆ 1 ชั่วโมงจนเข้าสู่ อุณหภูมิปกติแล้วจึงนำออกจากเตาอบมาทำการทดสอบ

3. การทดสอบสมบัติทางไฟฟ้า

การทดสอบกระจุกลีโทรโครมิกด้วยการใช้แรงดันไฟฟ้าในการควบคุมปฏิกิริยาไฟฟ้า ในการปรับ ความเข้มของสีในเนื้อสารอิลีโทรโครมิกที่เคลือบบนกระจกที่ขั้วนำไฟฟ้าโปร่งแสง(ITO) ด้วยการปรับความ เข้มสีสามารถกระทำได้ด้วยการให้แรงดันย้อนกลับและไบอัสตรงเพื่อศึกษาผลของกระแสกับแรงดัน

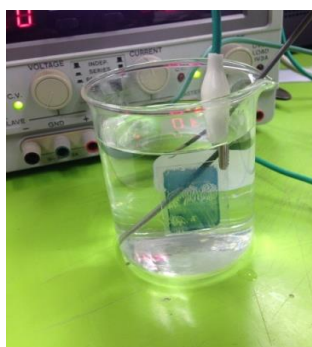
3.1 การทดลองด้านฮิสเตอร์เรซิส การให้ไบอัสแรงดันกระแสตรง ด้วยขั้วโลหะอ้างอิงกับแผ่นกระจกที่ เคลือบสารทั้งสเดนออกไซด์ โดยการจ่ายแรงดันจาก DC Supply (ให้ขั้ว + ต่อเข้ากับขั้วโลหะ ขั้ว - ต่อกระจุกลีโทรโครมิก) นำกระจกและขั้วโลหะจุ่มในสารละลายอิลีโทรไลต์ HCl ความเข้มข้น 0.1 mol ดังแผนภาพที่ 4 โดยการเพิ่มแรงดันขึ้นจาก 0 ถึง 1.5 โวลต์ และลดลงจาก 1.5 ถึง 0 โวลต์ โดยไม่เปลี่ยนขั้วไฟฟ้าบันทึกค่ากระแส และสังเกตการเปลี่ยนแปลง



แผนภาพที่ 4 วงจรการทดสอบก่อนการให้แรงดัน ไบอัสกับกระจก ITO /WO₃



(ก) เมื่อให้แรงดัน 0.5 V



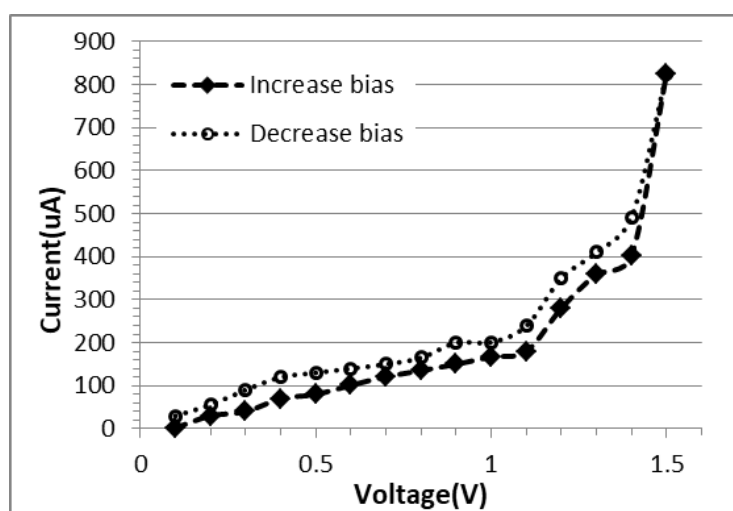
(ข) เมื่อให้แรงดัน 1.0 V



(ค) กระจกหลังจ่ายแรงดันไบอัส

แผนภาพที่ 5 การทดสอบหลังการให้แรงดัน ไบอัสกับกระจก ITO /WO₃

เมื่อกระจกได้รับแรงดัน จะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพคือเริ่มเปลี่ยนสีเป็นสีฟ้า ดังแผนภาพที่ 5(ก),(ข) เนื่องจาก ประจุที่เก็บอยู่ที่ชั้นเก็บประจุจะถูกผลักให้เข้าไปในชั้นอิเล็กโทรไลต์และนำพาไปรวมตัวกับสารที่จะเกิดปฏิกิริยา ที่มีการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนของปฏิกิริยารีดอกซ์ที่อยู่ในชั้น อิเล็กโทรโครมิกเกิดการดูดกลืนแสงหรือสะท้อนแสง ทำให้ฟิล์มชั้นนี้เปลี่ยนสีเป็นสีเข้มขึ้น (Y. Domori, T. Nanba, Y. Miura.2005) และจะมีสีฟ้าเข้มมากขึ้นเมื่อจ่ายแรงดันเพิ่มขึ้น แต่เมื่อลดแรงดันลงสีของกระจกก็ยังอยู่เหมือนเดิมกับที่จ่ายแรงดันเพิ่มขึ้น เนื่องจาก สารอิเล็กโทรโครมิกนั้นมีความสามารถในการจำสีหรืออาจจะเกิดจากสภาพของเนื้อฟิล์มระหว่างสารทั้งสแตคออกไซด์กับสารละลาย อิเล็กโทรไลต์ หรือระหว่างสารเคลือบโลหะโปร่งแสง ทำให้สีของกระจกยังคงความเข้มอยู่ได้ ดังแผนภาพที่ 5 (ค)

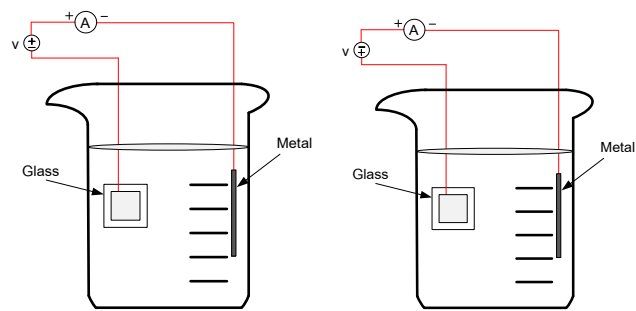


แผนภาพที่ 6 แสดงกระแสกับแรงดันไบอัสย้อนกลับที่ขั้วคาโทดของ EC

3.2 การไบอัสแรงดันกระแสตรงและไบอัสย้อนกลับ ด้วยขั้วโลหะในสารละลาย HCl และการสลับขั้วแหล่งจ่าย

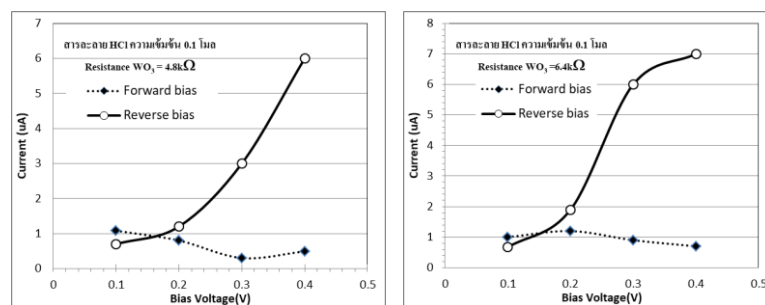
การทดลองนี้ใช้การทดลองตามแผนภาพที่ 4 แต่จะเพิ่มการกลับขั้วแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC Supply) ให้ขั้ว + ต่อที่กระจก และขั้ว - ต่อที่ขั้วโลหะ แผนภาพที่ 7 ด้วยการทดสอบวัดค่ากระแสและสังเกตการเปลี่ยนแปลงของกระจก โดยการทดลองจะทดลองการเพิ่มแรงดัน 0-1.5 โวลต์ บันทึกค่ากระแส และสังเกตการทดลอง และทำการสลับขั้วแหล่งจ่ายไฟฟ้า ทดลองการเพิ่มแรงดัน 0-1.5 โวลต์ มีการควบคุมความเข้มข้นสารละลายที่ใช้ในการทดสอบว่ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของกระจกอิเล็กโทรโครมิกหรือไม่ และ การสลับขั้วแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC Supply) จะมีผลต่อกระจกหรือไม่

โดยการทดลองจะใช้สารละลาย HCl ขนาดความเข้มข้น 0.1 โมล, 0.01 โมล และ 0.001 โมล การทดลองจะต้องจริงเหมือนกับการทดลองที่ 1 ทดลองการเพิ่มแรงดัน 0-1.5 โวลต์ บันทึกค่ากระแส และสังเกตการทดลอง และทำการสลับขั้วแหล่งจ่ายไฟฟ้า ทดลองการเพิ่มแรงดัน 0-1.5 โวลต์ บันทึกค่ากระแส และสังเกตการทดลอง



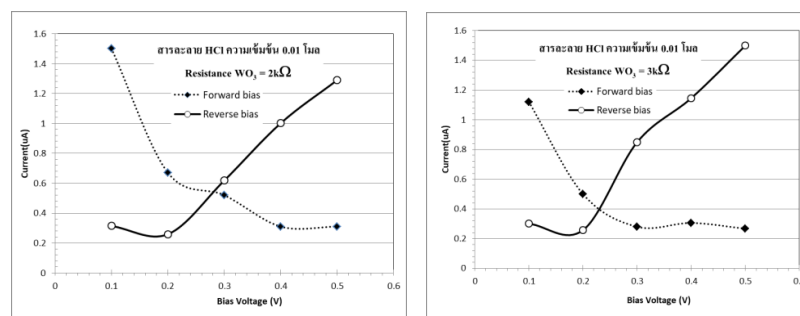
แผนภาพที่ 7 แสดงการต่อวงจร ไบอัสกระแสตรงแบบไบอัสตรงและไบอัสย้อนกลับ

ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลาย HCl เท่ากับ 0.1 โมล



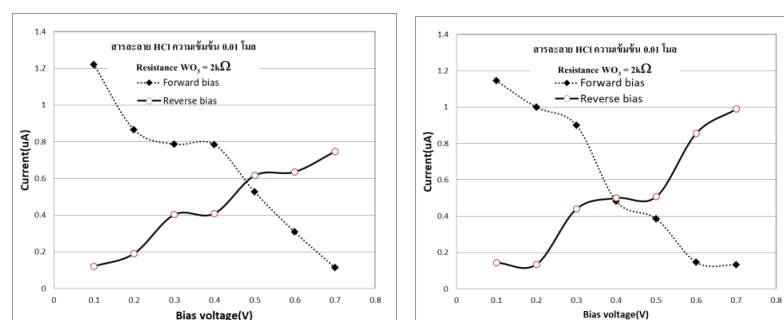
แผนภาพที่ 8 การให้ไบอัสตรงและย้อนกลับในสารละลาย HCl ความเข้มข้น 0.1 โมล

ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลาย HCl เท่ากับ 0.01 โมล



แผนภาพที่ 9 การให้ไบอัสตรงและย้อนกลับในสารละลาย HCl ความเข้มข้น 0.01 โมล

ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลาย HCl เท่ากับ 0.001 โมล

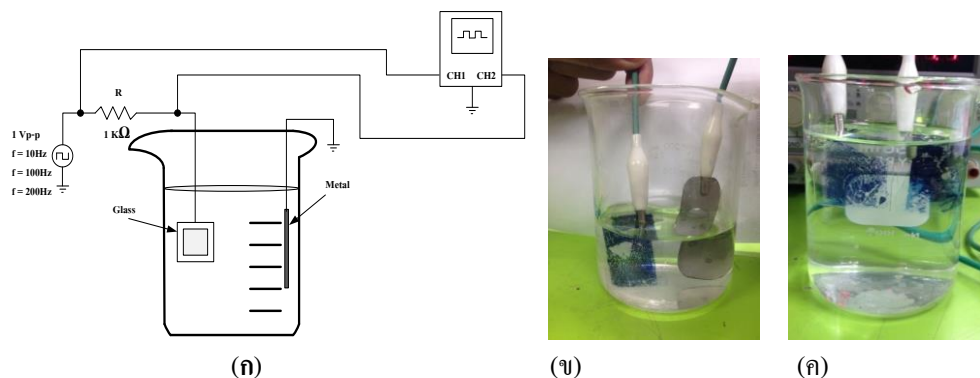


แผนภาพที่ 10 การให้ไบอัสตรงและย้อนกลับในสารละลาย HCl ความเข้มข้น 0.001 โมล

เมื่อเปลี่ยนความเข้มข้น 0.1, 0.01 และ 0.001 โมล ที่ความเข้มข้น 0.1 โมล เมื่อจ่ายแรงดันเพิ่มขึ้นสีของกระจกจะมีความเข้มมากขึ้น จะเปลี่ยนจากสีขุ่นเป็นสีฟ้าและมีความเข้มมากขึ้นดังแผนภาพที่ 8-10 ยิ่งไปกว่านั้นเมื่อทำการสลับขั้วแหล่งจ่ายไฟพบว่ากระจกจากสีที่เข้มอยู่จะเริ่มกลับมาเป็นสีขุ่นดั้งเดิม เนื่องจากประจุที่อยู่ในชั้นนี้ก็จะถูกผลักกลับไปเก็บไว้ที่ชั้นฟิล์มเก็บประจุเหมือนเดิมซึ่งจะเป็นการลดความเข้มของสีที่ชั้นของเนื้อสารทั้งสแตนออกไซด์ ซึ่งเป็นการเกิดปฏิกิริยาของสารอิเล็กโตรโครมิกขึ้นกับขั้วไฟฟ้าของแหล่งจ่ายโดยที่ชั้นของฟิล์มบางอิเล็กโตรโครมิกที่เชื่อมต่อกับขั้วลบจะทำให้เกิดการเปลี่ยนสีนั้นคือสถานะทางด้านไบอ็อกไซด์กลับ

3.3 การตอบสนองของช่วงเวลาการเปลี่ยนความเข้มสี (Switching time response)

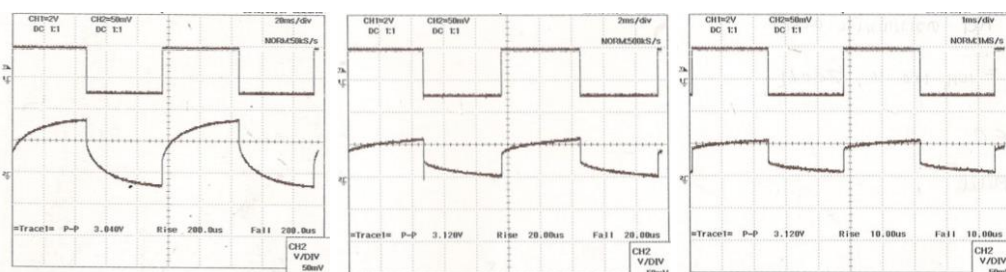
การทดสอบสัญญาณกระแสไฟฟ้าสลับเป็นการให้แรงดันไบออสตรงและย้อนกลับสลับกันที่ความถี่ต่ำๆ ซึ่งการให้สัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับจะเป็นการศึกษาการตอบสนองของการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาหรือการแลกเปลี่ยนไอออน ด้วยการใช้สารละลายสองชนิด คือ สารละลาย HCl ที่ความเข้มข้น 0.25 โมล และ 0.1 โมล ด้วยการใช้สัญญาณพัลส์ที่มีความถี่ 10Hz, 100Hz และ 200Hz ตามลำดับและขนาดสัญญาณแรงดันที่ $3V_{p-p}$ โดยการใช้ขั้วไฟฟ้าระหว่างขั้วโลหะ กับกระจกอิเล็กโตรโครมิก และกระจกอิเล็กโตรโครมิกกับกระจกอิเล็กโตรโครมิกสังเกตการทดลองและบันทึกผล ดังแผนภาพที่ 11



แผนภาพที่ 11 (ก) วงจรการทดลองการตอบสนองของสัญญาณกระแสสลับ

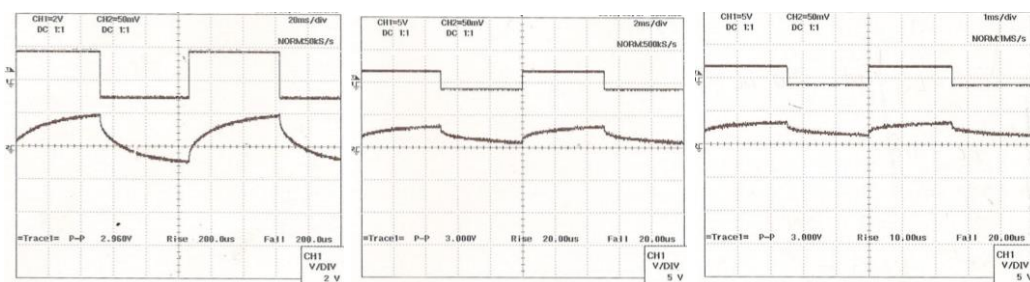
- (ข) แสดงการทดลองการตอบสนองของสัญญาณกระแสสลับ ระหว่าง EC กับ ขั้วโลหะ
(ค) แสดงการทดลองการตอบสนองของสัญญาณกระแสสลับระหว่าง EC กับ EC

ผลการทดลอง สารละลาย HCl ความเข้มข้น 0.25 โมล ระหว่างกระจกอิเล็กโตรโครมิก กับ ขั้วโลหะ



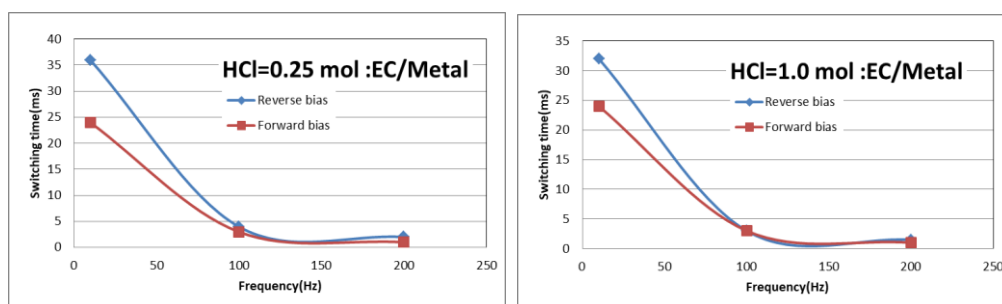
แผนภาพที่ 12 (ก) ผลการให้ค่าความถี่ 10 Hz, 100 Hz และ 200 Hz ระหว่าง EC กับ ขั้วโลหะใน HCl 0.25 โมล

ผลการทดลอง สารละลาย HCl ความเข้มข้น 1 โมล ระหว่างกระแสจลิกโตรโครมิก กับ ขั้วโลหะ



แผนภาพที่ 13 ผลการให้ความถี่ 10 Hz ,100 Hz และ200 Hz ระหว่าง EC กับ ขั้วโลหะ ใน HCl 1 โมล

การเปลี่ยนแปลงของสีเพิ่มขึ้นในขณะที่ได้รับสัญญาณพัลส์ด้านบวกที่เป็นการไบอัสย้อนกลับ และจะมีการเปลี่ยนสีลดลงเมื่อสัญญาณพัลส์ที่อยู่ด้านล่างซึ่งเป็นการไบอัสตรง ทั้งนี้ที่เงื่อนไขของสารละลาย HCl ความเข้มข้น 0.25 และ 1.0 โมล ความถี่ 10 Hz, 100 Hz และ 200 Hz ระหว่างกระแสจลิกโตรโครมิก กับ ขั้วโลหะการเกิดสีและการลดลงของสีจะมีเวลาของการเปลี่ยนสีอยู่ที่ 90% ของระดับสัญญาณแรงดัน ดังแสดงตามแผนภาพที่ 14



แผนภาพที่ 14 ผลการเปลี่ยนสีความถี่ 10, 100 และ 200 Hz ระหว่าง EC กับ ขั้วโลหะใน HCl 0.25 และ 1.0 โมล

สารละลาย HCl ความเข้มข้น 0.25 โมล การเกิดสีและการลดลงของสีจะมีเวลาที่ 36 ms และ 20 ms ที่ความถี่ 10 Hz และที่ความถี่สูงขึ้นการเปลี่ยนแปลงของสีจะเกิดขึ้นเร็วมาก และที่ความเข้มข้นของ HCl ที่ 1.0 โมล จะมีการเปลี่ยนแปลงของสีที่เร็วเช่นเดียวกัน ซึ่งจะพบว่าเวลาของการเกิดสีนั้นจะใช้เวลาที่สั้นกว่าเวลาของการเกิดสี ซึ่งคาดได้ว่าเป็นอันเนื่องจากการลดต่ำลง ของการเคลื่อนที่ในส่งผ่านประจุไอออนไอออนิก (transit time)

4. สรุปผลการวิจัย

กระบวนการสร้างอุปกรณ์สังเคราะห์ขึ้นนั้นเราสามารถใช้อิเล็กโตรไลต์ โดยที่สารอิเล็กโตรไลต์ทั้งสองแบบสามารถเป็นตัวนำ และตัวจ่ายเพื่อให้ประจุไอออนเคลื่อนที่เข้าไป หรือ ออกจากชั้นสารที่เกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีให้เปล่งสี หรือ ให้สีจางหายไป ดังนั้นสารอิเล็กโตรไลต์จึงเป็นส่วนสำคัญเพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับการแลกเปลี่ยนประจุไอออนในกระบวนการทางไฟฟ้าเคมีทั้ง ออกซิเดชัน (Oxidation) และรีดักชัน (Reduction) ดังนั้นทั้งการดูดกลืนแสงและการส่งผ่านของแสง ซึ่งเกิดจากการได้รับแรงดันไบอัสตรงและแรงดันไบอัสย้อนกลับกับขั้วไฟฟ้าของตัวอุปกรณ์ซึ่งจะเป็นการเปลี่ยนสี (ดูดกลืนแสง) และการส่งผ่าน (สีจางลง) ของ

แสงที่ผ่านออกไป ดังนั้นการที่จะเพิ่มความเร็วของการเปลี่ยนสีจะขึ้นกับปริมาณสัดส่วนของสารอิเล็กโทรไลต์ และระดับแรงดันไบอัส

5. ข้อเสนอแนะ

(1) เทคโนโลยีอิเล็กโตรโครมิก (Electrochromic) ที่ปรับเปลี่ยนสีจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีสามารถตอบสนองผลประโยชน์โดยตรงต่องานด้านสถาปัตยกรรมใช้แรงดันไบอัสต่ำ ขนาดเพียง (1-5V) สามารถควบคุมความเข้มของสีได้ดี

(2) ความต่อเนื่องในสภาพที่มีแสงอาทิตย์ และการส่งผ่านทางแสง การสะท้อนแสง และการดูดกลืนทางแสงนั้นจะอยู่ในสถานะที่สีจางหายไป(bleached) และสถานะที่มีสี(colored) ระยะเวลาการเกิดสีและการจางหายไปของสีนั้นในช่วงมิลลิวินาที(ms)-วินาที(sec)

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ได้รับการช่วยเหลือจากนายรัชเทพ นาคพลั่ง,นางสาวสิริมล กลัดงาม,นายอนุพงษ์ ชูชาตินักศึกษา และอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] สัญญา คุณขาว, "สมบัติวัสดุอัจฉริยะอิเล็กโตรโครมิกของฟิล์มบางทังสเตนออกไซด์",วารสารศรีปทุมปริทัศน์, ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ปีที่ 4, มค.-ธค. 2555
- [2] A. D. Tenner , L. Zonneveldt . 2002: "Switchable Facades and Visual Comfort" **Proceedings Right Light** Vol.5, May 29-31:279-283.
- [3] A. L. Holt, J. M. Leger, and S. A. Carter.2005: "Solid-state electrochromic devices based on poly phenylene vinylene polymers" **Applied physics letter**. Vol. 86. :86-88.
- [4] Y. Domori, T. Nanba, Y. Miura.2005. "Coloration and Bleaching phenomena of amorphous WO₃ films due to the electrochromical insertion of divalent cations" **6th Pacific Rim Conference on Ceramic & Glass Technology**, September 13.1-6.
- [5]. สัญญา คุณขาว, อภิษฎา ทองรักษย์,"Optical properties of Electrochromic smart material by "WO₃" ,การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8, ECTI CARD 2016 ,หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์, 2559.

ผลกระทบของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา

และการชาร์จรถไฟฟ้าต่อระบบจำหน่าย

IMPACT OF SOLAR PV ROOFTOP AND PLUG-IN ELECTRIC VEHICLE

CHARGING POSING ON DISTRIBUTION NETWORKS

โชติวุฒิ ชนะบุญ

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail : chotwut.ch@gmail.com

ภรชัย จูณวัฒน์กุล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail : parachai.ju@spu.ac.th

สำเริง อินท่าไม้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail : samroeng.hi@spu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอผลกระทบของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาและการชาร์จรถไฟฟ้าต่อระบบจำหน่าย โดยนำข้อมูลโหลดที่พิกอัสของวันทำงานและวันหยุด การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา และรูปแบบการชาร์จรถไฟฟ้า มาจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์หาผลกระทบของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาและการชาร์จรถไฟฟ้าต่อค่าระดับแรงดันไฟฟ้า โดยที่ระบบยังรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าที่บัสให้อยู่ในขอบเขตของแรงดันไฟฟ้า 0.95 ถึง 1.05 เปอร์เซ็นต์ และเป็นไปตามข้อกำหนดการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ว่าด้วยกำลังผลิตติดตั้งรวมที่เชื่อมต่อในหม้อแปลงจำหน่าย ต้องไม่เกินขีดจำกัด 15% ของพิกัดหม้อแปลงจำหน่าย โดยผลการทดลองจะแบ่งออกเป็น 7 กรณี และผลลัพธ์ที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์และสรุปผล เพื่อเสนอข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อไป

คำสำคัญ: ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา, การชาร์จรถไฟฟ้า, ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, ขอบเขตของแรงดันไฟฟ้า

ABSTRACT

This paper presents the impact of Solar PV Rooftop and Plug-in Electric Vehicle charging posing on distribution networks. Workday and holiday residential loads, Solar PV Rooftop profiles, and PEV charging patterns are performed using computer programming to analyse impact of Solar PV Rooftop and Plug - in Electric vehicle charging patterns on voltage profiles while the system also maintains the voltage limits of the bus in the range of 0.95 - 1.05 per unit, following the electricity grid system connection requirement of Provincial Electricity Authority (PEA), total installed generating capacity shall not be over than 15% of distribution transformer rating. The simulation can be divided into seven cases. The simulation results will be analysed and concluded to provide recommendations for future works.

KEYWORDS: Solar PV Rooftop, Plug-in Electric Vehicle, PEA distribution networks, voltage limit

1. บทนำ

พลังงานเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตประจำวัน การปรับปรุงคุณภาพชีวิตและการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศไทย ซึ่งเป็นประเทศกำลังพัฒนา มีความต้องการพลังงานเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง รัฐบาลได้มีการสนับสนุนให้ประชาชนเข้ามามีบทบาทและร่วมลงทุนในการผลิตไฟฟ้า และจำหน่ายไฟฟ้า ในรูปแบบของการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา (Solar PV Rooftop) ซึ่งส่วนใหญ่จะถูกเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า ในระบบจำหน่ายทางด้านแรงต่ำ 380/220 โวลต์ ผลจากการเชื่อมต่อกับระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาเข้ากับระบบจำหน่ายสามารถทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้า ไม่อยู่ในขอบเขตของแรงดันไฟฟ้า [1] นอกจากนี้ปัญหาด้านพลังงานแล้ว ประเทศไทยยังต้องเผชิญกับความท้าทายด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้พลังงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลกระทบของการใช้รถยนต์ ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาทางด้านมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งทำให้เกิดปัญหาภาวะโลกร้อน ปัจจุบันเทคโนโลยีการใช้รถไฟฟ้า (Electric Vehicle) ในภาคการขนส่งเริ่มได้รับความสนใจมากขึ้น ในระดับที่มีนัยสำคัญ จากประเทศต่างๆ ทั่วโลก เนื่องจากเทคโนโลยีดังกล่าวอาศัยพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเก็บสะสมอยู่ในแบตเตอรี่มาเป็นแหล่งพลังงานหลัก ในการขับเคลื่อนยานพาหนะ การเปลี่ยนจากรถที่ใช้น้ำมันมาเป็นรถไฟฟ้าจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการช่วยอนุรักษ์พลังงาน

ตัวอย่างผลงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายทางด้านแรงต่ำเช่น งานวิจัยใน [2] ได้กล่าวถึงผลกระทบของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาต่อระบบจำหน่าย โดยงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาผลกระทบของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาต่อค่าระดับแรงดันไฟฟ้าที่ระดับการผลิตติดตั้งต่างๆ ซึ่งผลการทดลองสามารถที่จะติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ได้ถึง 60.48% ของขนาดพิกัดหม้อแปลง โดยไม่ทำให้เกิดแรงดันเกินกว่าพิกัด งานวิจัย [3] นำเสนอการควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้า ในระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กที่ต่อระบบ PV และระบบการชาร์จ EV โดยงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อลดต้นทุนระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กโดยวิธีการของการจัดการ Stochastic ของแหล่งที่มาของพลังงาน ซึ่งช่วยลดผลกระทบของกระบวนการชาร์จของ

EV งานวิจัยใน [4] นำเสนอผลกระทบจากความต้องการพลังงานไฟฟ้าในเวลาที่แตกต่างกัน เมื่อมีการชาร์จ EV ที่เพิ่มขึ้นโดยงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมาย ในการหาตำแหน่งการชาร์จ และเวลาที่เหมาะสมในการชาร์จ EV เพื่อลดผลกระทบที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่าย โดยได้ผลว่าเมื่อมีการชาร์จ EV ถึง 71% ของจำนวนบ้านที่ทำการทดลอง จะทำให้แรงดันต่ำกว่า 0.94 p.u. ซึ่งเกินค่ามาตรฐานที่กำหนด จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการชาร์จของรถไฟฟ้ามีผลกระทบมากในระบบจำหน่าย ดังนั้น จึงต้องศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบที่จะเกิดขึ้น เพื่อนำผลที่ได้มาประกอบการตัดสินใจในการแก้ปัญหาต่างๆ ได้ แต่อย่างไรก็ดี ยังไม่พบการศึกษาผลกระทบของระบบจำหน่าย เมื่อมีการเชื่อมต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาและการชาร์จรถไฟฟ้าเข้ากับระบบในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ดังนั้นบทความนี้จึงได้ พิจารณาการชาร์จรถไฟฟ้าเข้ากับระบบ ร่วมกับการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา เพื่อหาผลกระทบต่อระบบจำหน่ายด้วยโปรแกรม DIGSILENT Power Factory [5]

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- (1) เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบของแรงดันไฟฟ้าในกรณีที่มีเฉพาะการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์
- (2) เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบของแรงดันไฟฟ้าเมื่อมีเฉพาะการชาร์จไฟของรถไฟฟ้า
- (3) เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบโดยรวม โดยพิจารณาการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับการชาร์จไฟของรถไฟฟ้า ด้วยโปรแกรม DIGSILENT

3. แบบจำลองของการวิจัย

แบบจำลองของระบบทดสอบเป็นระบบจำหน่าย ส่วนข้อมูลการใช้ไฟฟ้าจะแบ่งเป็นสองส่วนคือวันทำงานกับวันหยุด ส่วนกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะใช้แบบจำลองที่มีการเปลี่ยนแปลงใน 1 วัน และรูปแบบการชาร์จรถไฟฟ้าจะเป็นแบบการชาร์จปกติโดยใช้เวลา 6 ชั่วโมง

3.1 แบบจำลองของระบบทดสอบ

แบบจำลองของระบบจะใช้ระบบจำหน่ายหนึ่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่เริ่มจากระบบ 115 kV ปรับลดระดับแรงดันไฟฟ้าเป็น 22 kV ส่งกำลังไฟฟ้าผ่านสายส่งผ่านหม้อแปลง 3 เฟส ขนาด 250 kVA โดยด้านแรงสูงต่อแบบเดลต้าและด้านแรงต่ำต่อแบบสตาร์ มีค่าระดับแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 380 V จ่ายไฟแบบลักษณะ 3 เฟส 4 สาย ดังแสดงในตารางที่ 1 ให้กับบ้านพักอาศัยทั้งหมด 54 หลัง [2] โดยสายไฟฟ้าแรงต่ำที่ใช้เป็นสายไฟฟ้าอะลูมิเนียม ขนาด 95 mm² ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์หม้อแปลงไฟฟ้า

ขนาดพิกัดหม้อแปลง	250 kVA
แรงดันหม้อแปลง	22 kV/0.38 kV
เวกเตอร์กรุป	Dyn 11
ความถี่	50 Hz

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์หม้อแปลงไฟฟ้า (ต่อ)

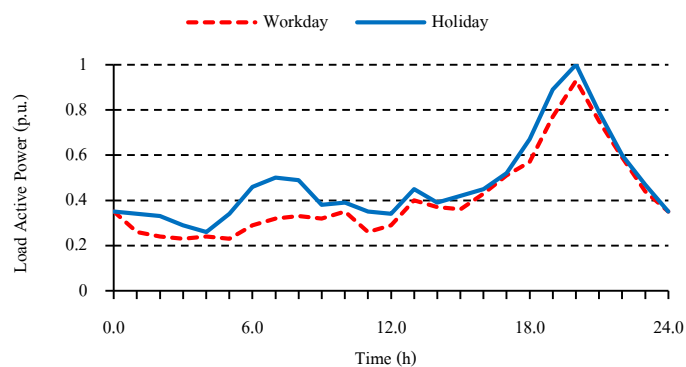
% อิมพีแดนซ์โวลต์เตจ	5
กำลังสูญเสียในขดลวดทองแดง	0.1 kW

ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์สายไฟฟ้าอะลูมิเนียม

ขนาดสายไฟฟ้า	95 mm ²
ประเภท	THW - A
ความต้านทาน	0.866471 Ω /km
รีแอक्टแดนซ์	0.114993 Ω /km
การติดตั้ง	เดินบนฉนวนลูกถ้วยในอากาศ

3.2 แบบจำลองของโหลดที่พักอาศัย

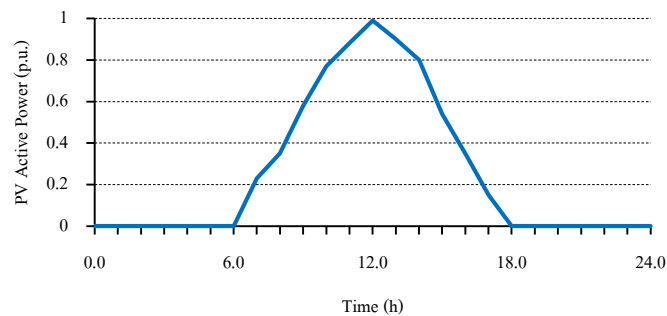
จากการเก็บข้อมูลในพื้นที่ที่ได้จำลองสถานะโหลด โดยข้อมูลของผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นพื้นที่บ้านพักอาศัย มีพื้นที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 39 m² โหลดมีลักษณะเป็นโหลดหนึ่งเฟสที่เป็นบ้านพักที่อยู่อาศัย โดยจำนวนบ้านในเฟส A เฟส B และเฟส C มีจำนวนเฟสละ 18 หลังคา โดยเป็นโหลดแรงต่ำ (380/220 V) ความต้องการใช้โหลดที่อยู่อาศัยแต่ละหลัง สำหรับวันทำงานอยู่ที่ 0.6 - 3.3 kVA โหลดสูงสุดจะอยู่ที่ช่วงเวลา 20.00 - 21.00 น. โหลดต่ำสุดอยู่ที่ช่วงเวลา 04.00 - 05.00 น. ส่วนวันหยุดนั้นอยู่ที่ 0.8 - 3.2 kVA โหลดสูงสุดจะอยู่ที่ช่วงเวลา 19.00 - 20.00 น. โหลดต่ำสุดอยู่ที่ช่วงเวลา 04.00 - 05.00 น. เช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโหลดที่อยู่อาศัยสำหรับวันทำงานกับวันหยุดเทียบกับเวลา

3.3 แบบจำลองการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ที่มีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา

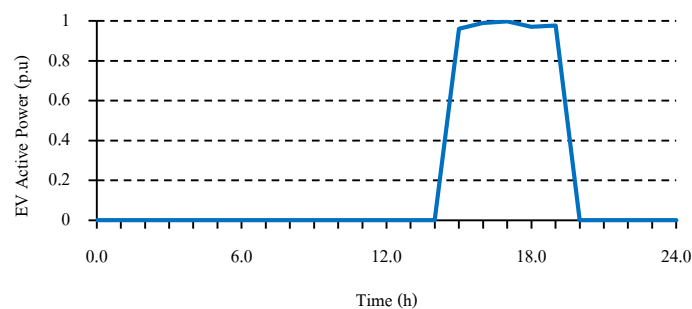
แบบจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาบ้านจะเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายด้านแรงต่ำ 380/220 V โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้มีขนาด 260 W พื้นที่ต่อแผงเท่ากับ 1.65 m² สามารถติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ได้ 15 แผง กำลังผลิตรวมเท่ากับ 3.9 kW ค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะอยู่ที่ช่วงเวลา 06.30 - 18.00 น. ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์กับเวลา

3.4 รูปแบบการชาร์จรถไฟฟ้า

แบบจำลองของรถไฟฟ้าที่ทำการชาร์จกับระบบไฟฟ้าบ้านพักอาศัย ทำการชาร์จไฟแบบ Normal Charge แรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 250 V ค่ากำลังไฟฟ้าขณะทำการชาร์จไฟประมาณ 3,300 - 3,500 W โดยใช้เวลาชาร์จประมาณ 6 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 กราฟแสดงค่ากำลังไฟฟ้าขณะทำการชาร์จรถไฟฟ้า ใช้กำลังไฟฟ้าในการชาร์จไฟประมาณ 3,300 - 3,500 W

4. วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิเคราะห์ระบบทดสอบเพื่อหาขนาดกำลังผลิตติดตั้งของเซลล์แสงอาทิตย์และหาจำนวนรถที่สามารถชาร์จได้ โดยไม่ทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าเกินมาตรฐานที่กำหนด

การวิเคราะห์จะแบ่งเป็นสามส่วน คือ ส่วนที่ 1 วิเคราะห์จากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาแต่ละหลังแบบสมมูล ติดตั้งแบบเท่ากันในแต่ละเฟส ส่วนที่ 2 วิเคราะห์หาจำนวนรถไฟฟ้าที่สามารถชาร์จได้ในแต่ละช่วงเวลา และส่วนที่ 3 วิเคราะห์การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาพร้อมกับชาร์จรถไฟฟ้า ซึ่งการวิเคราะห์ทั้งสามแบบมีวัตถุประสงค์เพื่อหาผลกระทบของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ และการชาร์จรถไฟฟ้าต่อระดับแรงดันไฟฟ้า โดยแบ่งการศึกษาเป็น 7 กรณี

กรณีที่ 1 ไม่มีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์และไม่มีการชาร์จรถไฟฟ้า

กรณีที่ 2 ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาแบบสมมูลจำนวน 15 แผง ที่มีกำลังการผลิตติดตั้งเท่ากับ 3.9 kW จำนวน 9 หลัง คิดเป็น 14.04% ของขนาดพื้นที่ดัดแปลงในวันทำงานและวันหยุด

กรณีที่ 3 ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาแบบสมดุลจำนวน 23 แผง ที่มีกำลังการผลิตติดตั้งเท่ากับ 5.98 kW จำนวน 21 หลัง คิดเป็น 50.23% ของขนาดพิกัดหม้อแปลงในวันทำงาน และจำนวน 24 หลัง คิดเป็น 57.40% ของขนาดพิกัดหม้อแปลงในวันหยุด

กรณีที่ 4 จำนวนรถไฟฟ้าที่สามารถชาร์จได้ ในแต่ละช่วงเวลา

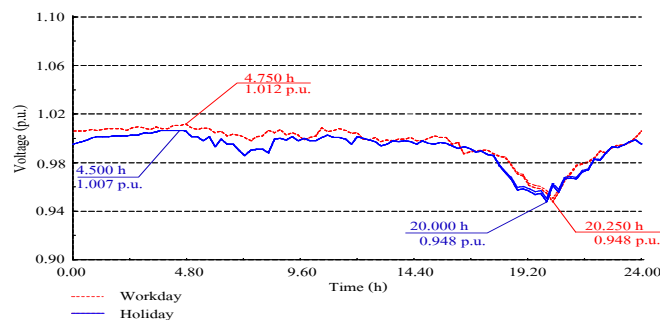
กรณีที่ 5 ช่วงเวลาที่สามารถชาร์จรถไฟฟ้าได้มากที่สุด

กรณีที่ 6 ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาพร้อมกับชาร์จรถไฟฟ้า

กรณีที่ 7 ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา พร้อมหาช่วงเวลาที่สามารถชาร์จรถไฟฟ้าได้มากที่สุด

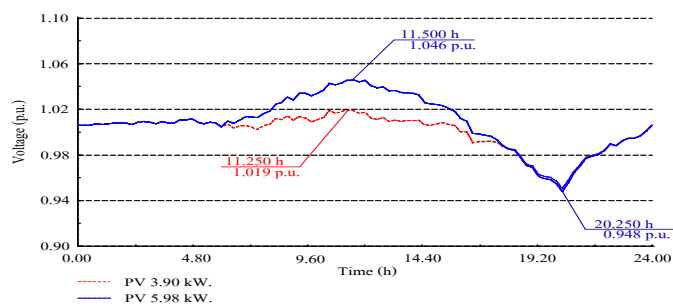
5. ผลการทดลองและอภิปราย

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ในบทความนี้จะแยกตามกรณีศึกษากรณีที่ 1 ค่าแรงดันไฟฟ้า จะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณโหลด โดยช่วงเวลาที่ต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในวันทำงานและวันหยุด อยู่ในช่วง 20.00 - 21.00 น. ค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดอยู่ที่ 0.948 p.u. ดังแสดงในรูปที่ 4

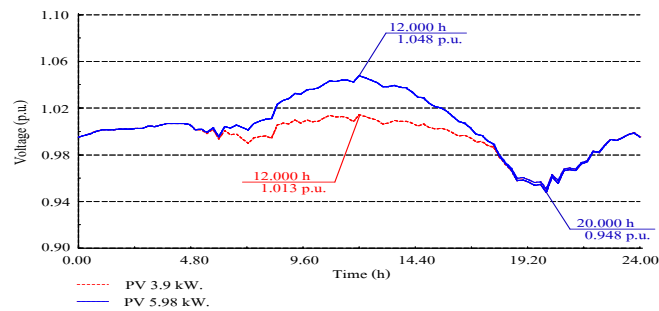


รูปที่ 4 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าในกรณีที่ 1

กรณีที่ 2 และ 3 ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดในวันทำงานอยู่ที่ 1.019 p.u. และ 1.046 p.u. ตามลำดับ ส่วนค่าแรงดันไฟฟ้าสำหรับวันหยุดมีค่าสูงสุดที่ 1.013 p.u. และ 1.048 p.u. ตามลำดับ ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดอยู่ที่ 0.948 p.u. ดังแสดงในรูปที่ 5 และ 6



รูปที่ 5 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้ากรณีที่ 2 และ 3 วันทำงาน



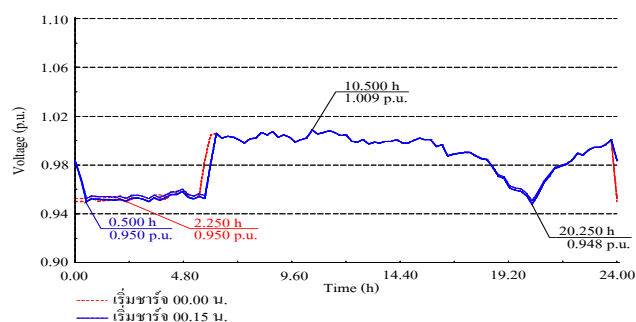
รูปที่ 6 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้ากรณีที่ 2 และ 3 วันหยุด

กรณีที่ 4 จำนวนรถไฟฟ้าที่สามารถชาร์จได้ ในแต่ละช่วงเวลา ดังตารางที่ 3 ซึ่งในช่วงเวลา 18.00 - 00.00 น. ค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดอยู่ที่ 0.948 p.u. จึงทำให้ช่วงเวลานี้ไม่สามารถชาร์จได้ เนื่องจากค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน IEEE ดังแสดงในตารางที่ 3

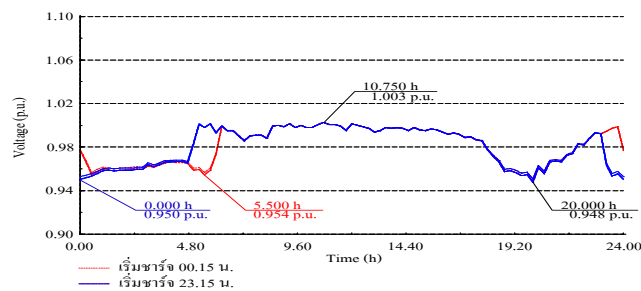
ตารางที่ 3 แสดงช่วงเวลา จำนวนรถไฟฟ้า และค่า%ของขนาดพิกัดหม้อแปลงในแต่ละช่วงเวลา

ช่วงเวลา	วันทำงาน		วันหยุด	
	จำนวนรถไฟฟ้า (คัน)	% ของขนาดพิกัดหม้อแปลง	จำนวนรถไฟฟ้า (คัน)	% ของขนาดพิกัดหม้อแปลง
00.00 - 06.00 น.	36	48.96	27	36.72
06.00 - 12.00 น.	27	36.72	18	24.48
12.00 - 18.00 น.	21	28.56	18	24.48
18.00 - 00.00 น.	ไม่สามารถชาร์จได้		ไม่สามารถชาร์จได้	

กรณีที่ 5 ช่วงเวลาที่สามารถเริ่มชาร์จรถไฟฟ้าได้มากที่สุดในวันทำงานอยู่ในช่วงเวลา 00.00 - 00.15 น. ค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดอยู่ที่ 0.950 p.u. สามารถชาร์จได้ถึง 36 คัน ดังแสดงในรูปที่ 7 และในวันหยุดอยู่ในช่วงเวลา 23.15 - 00.15 น. ค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดอยู่ที่ 0.950 p.u. สามารถชาร์จได้ถึง 27 คัน ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 7 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าในช่วงเวลาเริ่มชาร์จ 00.00 - 00.15 น. วันทำงาน



รูปที่ 8 แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าในช่วงเวลาเริ่มชาร์จ 23.15 - 00.15 น. วันหยุด

กรณีที่ 6 ช่วงเวลาที่มีการผลิตพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคานั้น สามารถที่จะเพิ่มจำนวนการชาร์จไฟของรถไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น โดยค่าแรงดันไฟฟ้ายังอยู่ในขอบเขตมาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงจำนวนรถไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา เมื่อมีการชาร์จไฟร่วมกับการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ เฉพาะช่วงเวลาที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ และค่า%ของขนาดพิกัดหม้อแปลง

การดำเนินการ	กำลังผลิตติดตั้งและจำนวนหลัง	ช่วงเวลาเริ่มชาร์จ	จำนวนรถไฟฟ้า (คัน)	% ของขนาดพิกัดหม้อแปลง
วันทำงาน	3.9 kW 9 หลัง	06.00 - 12.00 น.	30	40.80
		12.00 - 18.00 น.	21	28.56
	5.98 kW 21 หลัง	06.00 - 12.00 น.	36	48.96
		12.00 - 18.00 น.	24	32.64
วันหยุด	3.9 kW 9 หลัง	06.00 - 12.00 น.	21	28.56
		12.00 - 18.00 น.	21	28.56
	5.98 kW 24 หลัง	06.00 - 12.00 น.	27	36.72
		12.00 - 18.00 น.	24	32.64

กรณีที่ 7 ช่วงเวลาที่มีการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา ร่วมกับการชาร์จรถไฟฟ้าได้จำนวนคันมากที่สุดทั้งวันทำงานและวันหยุด โดยค่าแรงดันไฟฟ้ายังอยู่ในขอบเขตมาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงจำนวนรฟไฟฟ้าเมื่อมีการชาร์จรฟไฟฟ้าร่วมกับการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในช่วงเวลาที่สามารถเริ่มชาร์จรฟไฟฟ้าได้มากที่สุด และค่า%ของขนาดพิกัดหม้อแปลง

การดำเนินการ	กำลังผลิตติดตั้งและจำนวนหลัง	ช่วงเวลาเริ่มชาร์จ	จำนวนรฟไฟฟ้า (คัน)	% ของขนาดพิกัดหม้อแปลง
วันทำงาน	3.9 kW 9 หลัง	08.30 - 08.45 น.	36	48.96
	5.98 kW 21 หลัง	08.30 - 08.45 น.	54	73.44
วันหยุด	3.9 kW 9 หลัง	08.15 - 08.45 น.	33	44.88
	5.98 kW 24 หลัง	08.30 - 09.15 น.	54	73.44

5. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษากรณีศึกษาการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาในรูปแบบต่างๆ และการชาร์จรฟไฟฟ้าผลที่ได้มีดังนี้

(1) กรณีศึกษาที่ 1 เนื่องจากโหลดของระบบมีค่าสูงในช่วง 20.00 - 21.00 น. ทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าในวันทำงานและวันหยุดมีค่าต่ำกว่าพิกัดที่ 0.948 p.u.

(2) กรณีศึกษาที่ 2 และ 3 จะเห็นได้ว่าสามารถติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์แบบสมดุลงานวันทำงานได้ถึง 50.23% ของขนาดพิกัดหม้อแปลง และในวันหยุดได้ถึง 57.40% ของขนาดพิกัดหม้อแปลง ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนด

(3) กรณีศึกษาที่ 4 และ 6 จะเห็นได้ว่าในช่วงวันทำงานนั้นสามารถชาร์จรฟไฟฟ้าได้มากกว่าวันหยุดเนื่องจากวันทำงานความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในบ้านตอนกลางวันมีค่าน้อยกว่าวันหยุด และยังมีการผลิตพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาเข้ามาร่วมทำให้สามารถชาร์จรฟไฟฟ้าได้มากขึ้น

(4) ในกรณีศึกษาที่เกี่ยวกับการชาร์จไฟฟ้าเพื่อหาจำนวนรฟไฟฟ้าที่มากที่สุดที่สามารถชาร์จได้ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อระบบจำหน่าย หากในอนาคตมีจำนวนรฟไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น ก็สามารถคาดการณ์ล่วงหน้าได้ว่า จะมีผลกระทบต่อระบบจำหน่ายมากน้อยเพียงใด และสามารถรองรับจำนวนรฟไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้นได้หรือไม่

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

(1) ในช่วงเวลาที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงจะอยู่ในช่วงเวลา 20.00 - 21.00 น. ค่าแรงดันไฟฟ้าจะมีค่า 0.948 p.u. ซึ่งค่าที่ได้จะมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน IEEE ทำให้เกิดแรงดันตกในสาย สามารถแก้ไขได้โดยการนำคาปาซิเตอร์แรงต่ำไปติดตั้งในระบบ เพื่อยกระดับแรงดันไฟฟ้าไม่ให้มีแรงดันไฟฟ้าตกที่ปลายสาย

(2) จะเห็นได้ว่า ค่าพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาและค่าของความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า ไม่สอดคล้องกันและไม่สามารถแก้ไขปัญหแรงดันตกได้ ดังนั้นจึงควรทำการติดตั้งแบตเตอรี่สำรองไว้ เพื่อที่จะได้เก็บค่าพลังงานที่เหลือใช้จากการผลิตและสามารถนำกลับมาใช้ในช่วงเวลาที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงได้

(3) ตามมาตรฐานการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค กำหนดให้มีกำลังผลิตติดตั้งในระบบได้ไม่เกิน 15% ของขนาดพิกัดหม้อแปลง แต่จากผลการทดลองสามารถติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์แบบสมมูลได้ถึง 50.23% ของขนาดพิกัดหม้อแปลง และประกอบกับงานวิจัย [2] สามารถติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ได้ถึง 60.48% ของขนาดพิกัดหม้อแปลง ซึ่งการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสามารถนำข้อมูลนี้ มาใช้ในการพิจารณาการเพิ่มขนาดกำลังผลิตติดตั้งได้หรือปรับข้อกำหนดในการเชื่อมต่อเพิ่มขึ้นได้ไม่เกิน 50% ของขนาดพิกัดหม้อแปลง

(4) การนำรถไฟฟ้ามาชาร์จเข้ากับระบบรวมกับการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา หากมีระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Grid) จะช่วยให้ระบบมีความมั่นคงขึ้น

6.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

- (1) ทำการขยายผลการศึกษา โดยพิจารณาถึงค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบ
- (2) ในอนาคตหากมีรถไฟฟ้าเข้ามาในระบบมากขึ้น การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคควรมีแผนรองรับ เพื่อแก้ไขปัญหาทางระบบไฟฟ้า เมื่อมีการขยายตัวของการใช้พลังงานไฟฟ้า ในอัตราที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ นายกฤษฎา ปาระคะ นายภูมินทร์ ศรีประหลาด และนายวสันต์ ศรีบริบาล การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สำหรับข้อมูลต่างๆ ในบทความนี้

8. เอกสารอ้างอิง

ภรชัย จูณวัฒน์กุล, สำเร็จ อินทามั และวันชัย จันไกรผล " ผลกระทบของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาต่อระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค " การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 39 ปี 2560.

A. S. Masoum, P. S. Moses, M. A. S. Masoum and A. Abu-Siada, "Impact of rooftop PV generation on distribution transformer and voltage profile of residential and commercial networks," **2012 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT)**, Washington, DC, 2012, pp. 1-7.

DIgSILENT PowerFactory Manual, 14.0 ed., 2009.

N. B. M. Shariff, M. Al Essa and L. Cipcigan, "Probabilistic Analysis of Electric Vehicles Charging Load Impact on Residential Distributions Networks," **2016 IEEE International Energy Conference (ENERGYCON)**, Leuven, Belgium, 2016, pp. 1-6.

U. Abronzini, C. Attaianesi, M. D'Arpino, M. D. Monaco and G. Tomasso, "Power Converters for PV Systems with Energy Storage: Optimal Power Flow Control for EV's Charging Infrastructures," **PCIM Europe 2016; International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management**, Nuremberg, Germany, 2016, pp. 1-7.

ความเที่ยงตรงของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์รถยนต์ OBD II THE ACCURACY OF AN ON BOARD DIAGNOSTICS II (OBD II)

อดุลย์ พัฒนภักดี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: adual.pa@spu.ac.th

เผชิญ จันทรสา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: pachern.ja@spu.ac.th

มณฑิร แก่นสน

อาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: montien.ka@spu.ac.th

บทคัดย่อ

อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์รถยนต์ OBD II เป็นอุปกรณ์ที่ได้รับความนิยมในการใช้เพื่อหาข้อผิดพลาด และตรวจสอบสภาพการทำงานของระบบต่างๆของรถยนต์ บทความนี้กล่าวถึงความเที่ยงตรงของอุปกรณ์ดังกล่าว จำนวนสามรูปแบบ ประกอบด้วย OBD-II รุ่น Vgatecar2, OBD-II รุ่น ELM 327 V 1.5, และอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์รถยนต์ X431 โดยทำการเก็บข้อมูลของรถยนต์ Honda City และ รถยนต์ Toyota Vios

จากการเก็บข้อมูลของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์รถยนต์ OBD-II ทั้งสามแบบ โดยการเก็บข้อมูลที่รอบเดินเบา, ความเร็ว 60 km/hr, และความเร็ว 90 km/hr โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลผ่านตัวแปร 4 ตัว คือ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (Engine RPM), อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น (Coolant Temperature), อุณหภูมิ อากาศเข้า (Intake Air Temperature), และอัตราเร็ว (Vehicle Speed) พบว่า สำหรับรถยนต์ Honda City ค่าของอุณหภูมิอากาศเข้ามีเปอร์เซ็นต์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยสูงสุดที่ 5.5% และเปอร์เซ็นต์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยของความเร็วรอบเครื่องยนต์ อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น และอัตราเร็วรถยนต์ มีค่าลดลงเป็น 2.8% , 0.2% , และ 0% ตามลำดับ สำหรับรถยนต์ Toyota Vios ค่าของอุณหภูมิอากาศเข้ามีเปอร์เซ็นต์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยสูงสุดที่ 12.6% และเปอร์เซ็นต์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยของความเร็วรอบเครื่องยนต์ อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น และอัตราเร็วรถยนต์ มีค่าลดลงเป็น 4.8% , 3.6% , และ 0% ตามลำดับ

คำสำคัญ: อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์รถยนต์ OBD II รอบเดินเบา ความเร็วรอบเครื่องยนต์ อุณหภูมิอากาศเข้า

ABSTRACT

An on board diagnostic II (OBD II) is the most famous tool for investigating the error code and checking the status of a car systems. . In this paper, the accuracy of three types OBDII (Vgateicar2, ELM 327 V 1.5, and X431) has been studied with the Honda City and Toyota Vios. The output variables are Engine RPM, Coolant Temperature, Intake Air Temperature and Vehicle Speed. For Honda City, the percent of standard deviation of the Intake Air Temperature is 5.5%. And also, the percent of standard deviation are 2.8%, 0.2%, and 0% for the Engine RPM, Coolant Temperature, and Vehicle Speed respectively. For Toyota Vios, the percent of standard deviation of the Intake Air Temperature is 12.6%. Moreover, the percent of standard deviation are 4.8%, 3.6%, and 0% for the Engine RPM, Coolant Temperature, and Vehicle Speed respectively.

KEYWORDS: On board Diagnostics II, Idle Speed, Engine RPM, Intake Air Temperature

1. บทนำ

อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์รถยนต์ OBD II เป็นอุปกรณ์ที่ได้รับความนิยมในการใช้เพื่อหาข้อผิดพลาด และตรวจสอบสภาพการทำงานของระบบต่างๆของรถยนต์ โดยทำการอ่านหรือแลกเปลี่ยนข้อมูลทางดิจิทัลระหว่างระบบคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งบนรถยนต์ กับอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ผ่านช่องเชื่อมต่อข้อมูลในรถยนต์ โดยทั่วไปจะใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์รถยนต์ OBD II เพื่อตรวจหารหัสวิเคราะห์ปัญหา (Diagnostic trouble code: DTC) เพื่อที่จะทำการแก้ไขหรือซ่อมบำรุง ได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว อาทิเช่น ถ้าตรวจเจอรหัสวิเคราะห์ปัญหา P0068 จะหมายความว่าอุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิงสูงเกินไป หรือ P0171 จะหมายความว่า ส่วนผสมเชื้อเพลิงบางเกินไป

ในปัจจุบันมีการนำอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์รถยนต์ OBD II ไปดัดแปลงเพื่อใช้งานที่หลากหลายมากขึ้น ตัวอย่างเช่นการพัฒนาแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เพื่อการจับชีพจรรถยนต์โดยอาศัยการเชื่อมต่อข้อมูลผ่านพอร์ต OBDII หรือการศึกษาการเก็บข้อมูลจากกล่องควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ของรถยนต์สำหรับการวิเคราะห์พฤติกรรมรถขับขี่ที่มีผลต่ออัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

อันเนื่องมาจากการใช้งานที่หลากหลายมากขึ้นของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์รถยนต์ OBD II อีกทั้งราคาจำหน่ายของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์รถยนต์ OBD II ในท้องตลาดที่มีหลากหลายในราคาตั้งแต่หลักพันบาทจนถึงราคาหลายหมื่นบาทตามฟังก์ชันการใช้งานและรูปแบบของการเชื่อมต่อข้อมูลที่มีให้เลือกหลายรูปแบบ จึงมักเกิดคำถามขึ้นบ่อยครั้งกับบรรดาผู้ใช้งานและลูกค้าที่มาใช้บริการถึงความเที่ยงตรงของข้อมูลที่ได้จากการวัด โดยอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์รถยนต์ OBD II ว่ามีความเที่ยงตรงเพียงใด จึงเป็นที่มาของการทดสอบในครั้งนี้

2. วัตถุประสงค์

- (1) เพื่อศึกษาและทดสอบการใช้งานของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์รถยนต์ OBD II
- (2) เพื่อเปรียบเทียบความเที่ยงตรงของข้อมูลที่ได้จากการวัดโดยการใช้อุปกรณ์ OBD-II รุ่นVgateicar2, OBD-II รุ่น ELM 327 V 1.5, และอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์รถยนต์ X431

3. อุปกรณ์ที่ใช้และวิธีการทดสอบ

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

3.1.1 อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์รถยนต์ OBD II รุ่น Vgatecar2 ผ่านระบบ Wi-Fi, OBD-II รุ่น ELM 327 V 1.5 ผ่านระบบ Bluetooth, และอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์รถยนต์ X431 ผ่านพอร์ต USB



รูปที่ 1 แสดงอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์รถยนต์ OBD II ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

3.1.2 รถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ (รถยนต์ Honda City และ รถยนต์ Toyota Vios)



รูปที่ 2 แสดงรถยนต์ ที่ใช้ในการทดสอบเก็บข้อมูล

3.2 วิธีการทดสอบ

3.2.1 นำอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์รถยนต์ OBD II เสียบเข้ากับพอร์ทส่งข้อมูลของรถยนต์ (ส่วนใหญ่จะอยู่ใต้พวงมาลัย) ดังแสดงในรูปที่3



รูปที่ 3 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์รถยนต์ OBD II เข้ากับพอร์ทส่งข้อมูลของรถยนต์

3.2.2 ทำการเชื่อมต่อกับสมาร์ทโฟนเพื่ออ่านข้อมูลด้วยโปรแกรมทอร์ค (Torque) ดังแสดงในรูปที่4



รูปที่ 4 แสดงตัวอย่างการอ่านข้อมูลผ่านโปรแกรมทอร์ค บนหน้าจอแสดงผลของสมาร์ทโฟน

3.2.3 ทำการทดสอบเก็บข้อมูลเพื่อทำการเปรียบเทียบกับรถยนต์ Honda City และ รถยนต์ Toyota Vios ที่รอบเดินเบา อัตราเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และอัตราเร็ว 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

4. ผลการทดสอบ

จากการทดสอบเก็บข้อมูลของรถยนต์ Honda City และ รถยนต์ Toyota Vios ผ่านตัวแปร 4 ตัว คือ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (Engine RPM), อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น (Coolant Temperature), อุณหภูมิอากาศเข้า (Intake Air Temperature), และอัตราเร็วรถยนต์ (Vehicle Speed) ได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 1-6

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดสอบที่รอบเดินเบาสำหรับรถยนต์ Honda City

ตัวแปรทดสอบ	Vgateicar2	ELM 327 V 1.5	X431	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	% ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ความเร็วรอบเครื่องยนต์(rpm)	700.0	688.0	707.0	698.3	9.6	1.4
อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น (°C)	85.0	85.0	85.0	85.0	0.0	0.0
อุณหภูมิ อากาศเข้า (°C)	57.0	60.0	60.0	59.0	1.7	2.9
อัตราเร็วรถยนต์(km/hr)	0	0	0	0.0	0.0	0.0

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดสอบที่รอบเดินเบาสำหรับรถยนต์ Toyota Vios

ตัวแปรทดสอบ	Vgateicar2	ELM 327 V 1.5	X431	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	% ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ความเร็วรอบเครื่องยนต์(rpm)	736.0	872.0	872.0	826.7	78.5	9.5
อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น (°C)	98.0	90.0	88.0	92.0	5.3	5.8
อุณหภูมิ อากาศเข้า (°C)	42.0	72.0	70.0	61.3	16.8	27.3
อัตราเร็วรถยนต์(km/hr)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

พิจารณาจากตารางที่ 1 สำหรับการทดสอบที่รอบเดินเบาของรถยนต์ Honda City มีค่า เปอร์เซนต์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของอุณหภูมิอากาศเข้า 2.9% และมีค่า 1.4%, 0.0%, 0.0% สำหรับความเร็วรอบเครื่องยนต์ อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น และอัตราเร็วรถยนต์ตามลำดับ

พิจารณาจากตารางที่ 2 สำหรับการทดสอบที่รอบเดินเบาของรถยนต์ Toyota Vios มีค่า เปอร์เซนต์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของอุณหภูมิอากาศเข้า 27.3% และมีค่า 9.5%, 5.8%, 0.0% สำหรับความเร็วรอบเครื่องยนต์ อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นและอัตราเร็วรถยนต์ตามลำดับ

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดสอบที่อัตราเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง สำหรับรถยนต์ Honda City

ตัวแปรทดสอบ	Vgateicar2	ELM 327 V 1.5	X431	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	% ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ความเร็วรอบเครื่องยนต์(rpm)	1547.0	1602.0	1420.0	1523.0	93.3	6.1
อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น (°C)	84.0	84.0	84.0	84.0	0.0	0.0
อุณหภูมิ อากาศเข้า (°C)	41.0	41.0	38.0	40.0	1.7	4.3
อัตราเร็ว รถยนต์(km/hr)	60.0	60.0	60.0	60.0	0.0	0.0

ตารางที่ 4 แสดงผลการทดสอบที่อัตราเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง สำหรับรถยนต์ Toyota Vios

ตัวแปรทดสอบ	Vgateicar2	ELM 327 V 1.5	X431	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	% ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ความเร็วรอบเครื่องยนต์(rpm)	1647.0	1536.0	1597.0	1593.3	55.6	3.5
อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น (°C)	84.0	90.0	87.0	87.0	3.0	3.4
อุณหภูมิ อากาศเข้า (°C)	50.0	56.0	50.0	52.0	3.5	6.7
อัตราเร็ว รถยนต์(km/hr)	60.0	60.0	60.0	60.0	0.0	0.0

พิจารณาจากตารางที่ 3 สำหรับการทดสอบที่อัตราเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ของรถยนต์ Honda City มีค่า เปอร์เซนต์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของอุณหภูมิอากาศเข้า 4.3 % และมีค่า 6.1%, 0.0%, 0.0% สำหรับความเร็วรอบเครื่องยนต์ อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น และอัตราเร็วรถยนต์ตามลำดับ

พิจารณาจากตารางที่ 4 สำหรับการทดสอบที่อัตราเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมงของรถยนต์ Toyota Vios มีค่า เปอร์เซนต์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของอุณหภูมิอากาศเข้า 6.7% และมีค่า 3.5%, 3.4%, 0.0% สำหรับความเร็วรอบเครื่องยนต์ อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นและอัตราเร็วรถยนต์ตามลำดับ

ตารางที่ 5 แสดงผลการทดสอบที่อัตราเร็ว 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง สำหรับรถยนต์ Honda City

ตัวแปรทดสอบ	Vgateicar2	ELM 327 V 1.5	X431	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	% ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ความเร็วรอบเครื่องยนต์(rpm)	2043.0	2025.0	2058.0	2042.0	16.5	0.8
อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น (°C)	84.0	84.0	83.0	83.7	0.6	0.7
อุณหภูมิ อากาศเข้า (°C)	39.0	39.0	33.0	37.0	3.5	9.4
อัตราเร็วรถยนต์(km/hr)	90.0	90.0	90.0	90.0	0.0	0.0

ตารางที่ 6 แสดงผลการทดสอบที่อัตราเร็ว 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง สำหรับรถยนต์ Toyota Vios

ตัวแปรทดสอบ	Vgateicar2	ELM 327 V 1.5	X431	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	% ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ความเร็วรอบเครื่องยนต์(rpm)	2490.0	2430.0	2421.0	2447.0	37.5	1.5
อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น (°C)	86.0	89.0	87.0	87.3	1.5	1.7
อุณหภูมิ อากาศเข้า (°C)	45.0	48.0	45.0	46.0	1.7	3.8
อัตราเร็วรถยนต์(km/hr)	90.0	90.0	90.0	90.0	0.0	0.0

พิจารณาจากตารางที่ 5 สำหรับการทดสอบที่อัตราเร็ว 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ของรถยนต์ Honda City มีค่า เปอร์เซนต์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของอุณหภูมิอากาศเข้า 9.4 % และมีค่า 0.8%, 0.7%, 0.0% สำหรับความเร็วรอบเครื่องยนต์ อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น และอัตราเร็วรถยนต์ตามลำดับ

พิจารณาจากตารางที่ 6 สำหรับการทดสอบที่อัตราเร็ว 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมงของรถยนต์ Toyota Vios มีค่า เปอร์เซนต์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของอุณหภูมิอากาศเข้า 3.8% และมีค่า 1.5%, 1.7%, 0.0% สำหรับความเร็วรอบเครื่องยนต์ อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นและอัตราเร็วรถยนต์ตามลำดับ

5. สรุป

จากข้อมูลของเปอร์เซนต์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตามตารางที่ 1-6 เมื่อพิจารณา เปอร์เซนต์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยของรถยนต์ Honda City และ Toyota Vios เราสามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 7-8

ตารางที่ 7 แสดงเปอร์เซ็นต์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยสำหรับรถยนต์ Honda City

ตัวแปรทดสอบ	% ค่าเบี่ยงเบนฯ (รอบเดินเบา)	% ค่าเบี่ยงเบนฯ (60km/hr)	% ค่าเบี่ยงเบนฯ (90km/hr)	% ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐานเฉลี่ย
ความเร็วรอบเครื่องยนต์	1.4	6.1	0.8	2.8
อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น	0.0	0.0	0.7	0.2
อุณหภูมิอากาศเข้า	2.9	4.3	9.4	5.5
อัตราเร็วรถยนต์	0.0	0.0	0.0	0.0

ตารางที่ 8 แสดงเปอร์เซ็นต์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยสำหรับรถยนต์ Toyota Vios

ตัวแปรทดสอบ	% ค่าเบี่ยงเบนฯ (รอบเดินเบา)	% ค่าเบี่ยงเบนฯ (60km/hr)	% ค่าเบี่ยงเบนฯ (90km/hr)	% ค่าเบี่ยงเบนฯ มาตรฐานเฉลี่ย
ความเร็วรอบเครื่องยนต์	9.5	3.5	1.5	4.8
อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น	5.8	3.4	1.7	3.6
อุณหภูมิอากาศเข้า	27.3	6.7	3.8	12.6
อัตราเร็วรถยนต์	0.0	0.0	0.0	0.0

พิจารณาตารางที่ 7 สำหรับรถยนต์ Honda City ค่าของอุณหภูมิอากาศเข้ามีเปอร์เซ็นต์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยสูงสุดที่ 5.5% และเปอร์เซ็นต์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยของความเร็วรอบเครื่องยนต์ อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น และอัตราเร็วรถยนต์ มีค่าลดลงเป็น 2.8% , 0.2% , และ 0% ตามลำดับ

พิจารณาตารางที่ 8 สำหรับรถยนต์ Toyota Vios ค่าของอุณหภูมิอากาศเข้ามีเปอร์เซ็นต์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยสูงสุดที่ 12.6% และเปอร์เซ็นต์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยของความเร็วรอบเครื่องยนต์ อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น และอัตราเร็วรถยนต์ มีค่าลดลงเป็น 4.8% , 3.6% , และ 0% ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยสำหรับอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์รถยนต์ทั้งสามชนิด ให้ค่าแตกต่างกันสำหรับรถยนต์ Honda City และ Toyota Vios กล่าวคือสำหรับความเร็วรอบเครื่องยนต์มีค่าเปอร์เซ็นต์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย 2.8 กับ 4.8, อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นมีค่าเปอร์เซ็นต์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยเป็น 0.2 กับ 3.6, อุณหภูมิอากาศเข้ามีค่าเปอร์เซ็นต์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยเป็น 5.5 กับ 12.6

6. ข้อเสนอแนะ

ในการทดสอบในครั้งนี้มีข้อจำกัดในการวัดโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์รถยนต์ ที่เชื่อมต่อผ่านเครือข่าย WiFi (Vgatecar2) เชื่อมต่อผ่านBluetooth (ELM 327 V1.5) และเชื่อมต่อผ่านพอร์ตUSB (X431) อย่างละอุปกรณ์เท่านั้นและมีข้อจำกัดในการอ่านสัญญาณผ่านเซ็นเซอร์ได้ไม่ครบทุกตัว จึงควรมีการทดสอบกับจำนวนอุปกรณ์ที่มากขึ้นและทดสอบกับเซ็นเซอร์ในรถยนต์ที่หลากหลายขึ้น

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะกรรมการ สาขาวิศวกรรมเครื่องกลและยานยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ได้แก่ นายไชยสุรย์ นาสารี นายอนุพงษ์ เกิดนวล นายณัฐพล บุญจำนงค์, นายณภัตต์ พลสุขบพ ที่ช่วยเหลือในการทดสอบและเก็บข้อมูลสำหรับการศึกษานี้ และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยศรีปทุมที่มีส่วนสนับสนุนการทดสอบและการนำเสนอบทความในครั้งนี้

8. เอกสารอ้างอิง

เพ็ญ จันทร์สา อุดลย์ พัฒนภักดี และรัชิต ฐิติพัฒน์พงศ์. 2559. การศึกษาการเก็บข้อมูลจากกล่องควบคุม

อิเล็กทรอนิกส์ของรถยนต์สำหรับการวิเคราะห์พฤติกรรมการขับขี่ที่มีผลต่ออัตราการสิ้นเปลือง

เชื้อเพลิง. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 30, จังหวัดสงขลา ประเทศไทย.

Bernat Plana Puig, “Smartphones for smart driving: a proof of concept,” Master Thesis, Universitat

Politecnia de Catalunya, 2013, pp. 6-16.

OBD Codes: GenericOBD2 (OBDII). [Online]. Available: <http://www.totalcardiagnostics.com/support/>

Knowledgebase/Article/View/21/0/complete-list-of-obd-codes-generic-obd2-obdii-manufacturer.html

(27 มีนาคม 2558)

ลดปริมาณรอยเชื่อมเสียที่เกิดจากการเชื่อมรางรถไฟ
REDUCE THE AMOUNT OF WELDED JOINTS FAIL CAUSED
BY RAIL WELDING

อานาจ ทรงศิริ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
E-mail: june_stas@hotmail.com

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการคมนาคมขนส่งของประเทศมีการขยายตัวมากยิ่งขึ้นทั้งการขนส่งทางบก ทางน้ำ ทางอากาศ ส่วนการขนส่งทางบกนั้นก็ยังมีทั้ง ทางถนน ทางรางรถไฟ ซึ่งในงานก่อสร้างระบบขนส่งทางรางรถไฟนั้นได้แบ่งงานก่อสร้างออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ 1. ส่วนสถานี 2. ส่วนระบบราง ในที่นี้ขอกล่าวถึงในส่วนของการระบบราง มีอยู่หลายขั้นตอน แต่ขั้นตอนที่สำคัญคือ ขั้นตอนการเชื่อมรางรถไฟ ในการเชื่อมรางรถไฟนั้นสามารถทำได้อยู่ 2 วิธี คือ 1. วิธีการ Flash Butt 2. วิธีการ Thermit ซึ่งการเชื่อมทั้ง 2 วิธีทำให้เกิดรอยเชื่อมที่ผ่าน และไม่ผ่านการทดสอบ ผู้วิจัยจึงหาสาเหตุของปัญหารอยเชื่อมที่ไม่ผ่านการทดสอบมาวิเคราะห์ถึงสาเหตุและแนวทางการแก้ไขและป้องกัน

คำสำคัญ: สถานี ระบบราง รางรถไฟ รอยเชื่อม

ABSTRACT

At present, the transportation of the country has been greatly expanded in the field of land transport by air, while the land transport is by railways. The two main sections are: 1. The station. 2. The rail system here mentioned in the rail system. There are several steps. But the key step is. Welding process There are two ways to connect rail tracks: 1. Flash Butt. 2. Thermit the welding. 2 Ways to create a weld that passes and does not pass the test. The problem of unlabeled welds has been investigated.

KEYWORD: Railway Railsystem Flashbutt Thermit

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

เนื่องด้วยเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าในงานก่อสร้างมีมากขึ้น การที่จะเลือกเครื่องมือที่จะเข้ามาช่วยในการทำงานต้องคำนึงถึงคุณสมบัติ ราคา ความคุ้มค่าของตัวเครื่องจักร และอื่นๆที่จะช่วยให้งานนั้นเสร็จได้ใกล้เคียง

เป้าหมายที่ได้วางไว้ สำหรับงานก่อสร้างด้านการเดินทางในประเทศไทยมีการเดินทางทั้ง ทางบก ทางน้ำ ทางอากาศ สำหรับการเดินทาง ทางบกนั้น ด้านรถยนต์มีการตัดทำถนนเส้นทางใหม่ ซ่อมบำรุงเส้นทางเดิม ด้านรถไฟ มีทั้งรถไฟราง รถไฟฟ้า รถไฟใต้ดิน มีทั้งการเพิ่มเส้นทางเดินรถ และมีการซ่อมบำรุง ขยายเส้นเส้นทางเดิม สำหรับงานก่อสร้างด้านการรถไฟ มีการก่อสร้างแบบออกเป็น 2 ส่วน คือ 1. ส่วนของสถานีรถไฟ 2. ส่วนของระบบรางรถไฟ

การก่อสร้างระบบรางรถไฟ การเชื่อมรางรถไฟสามารถทำได้โดยวิธีการ Flash Butt เป็นการเชื่อมต่อชิ้นงานซึ่งวางชนกัน แล้วผ่านกระแสไฟฟ้าให้เกิดความร้อนในสภาวะพลาสติกและกดอัดให้ติดส่วนสำคัญที่สุดในการเชื่อมรางรถไฟ คือรอยเชื่อม ซึ่งในการเชื่อมรางรถไฟนั้นมีทั้งรอยเชื่อมที่ดี และเสีย วิธีการตรวจสอบรอยเชื่อมนั้นสามารถทำได้โดย ตรวจสอบด้วยสายตา ตรวจสอบด้วยเครื่องมือวัดระดับ และตรวจสอบด้วยอัลตราโซนิก ซึ่งหลักจากการตรวจสอบรอยเชื่อมแล้วจะพบว่ารอยเชื่อมนั้นมีทั้ง รอยเชื่อมที่ดี และรอยเชื่อมที่เสีย รอยเชื่อมที่เสีย เกิดจากประสิทธิภาพของเครื่องเชื่อมรางรถไฟ ไม่สามารถให้ความร้อนถึงสภาวะพลาสติก จึงทำให้เหล็กไม่สามารถเชื่อมติดกันได้ สภาพอากาศ ซึ่งหลักจากการเชื่อมเรียบร้อยแล้ว จำเป็นต้องอบรอยเชื่อม ทำให้รอยเชื่อมค่อยๆลดอุณหภูมิลง เพื่อป้องกันการเกิดการร้าวในรอยเชื่อมวิธีการแก้ไขเมื่อเกิดขึ้นในรอยเชื่อม มีวิธีแก้ไขได้คือ การตัดรอยเชื่อมอันที่เสียทิ้ง โดยการตัดนั้นจำเป็นต้องเพื่อระยะในการตัด ห่างจากจากรอยเชื่อม ด้านละ 50 เซนติเมตร เพราะรางรถไฟที่เพื่อระยะไว้คือ ส่วนที่ได้รับความร้อนจากการเชื่อมครั้งก่อนเซนติเมตร และต้องใช้เวลาในการซ่อมแต่ละรอยเชื่อมประมาณ 45 นาที

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- (1) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องเชื่อมรางรถไฟ
- (2) เพื่อลดจำนวนการสูญเสียของการเชื่อมรางรถไฟที่เกิดสาเหตุเกิดจากผู้ปฏิบัติงาน

3. กรอบแนวคิดในการวิจัย

- | |
|---|
| 3.1 เก็บรวบรวมข้อมูลของเครื่องเชื่อมรางรถไฟ จำนวน 3 โครงการ |
| 3.2 การดำเนินการแก้ไขหลังจากได้ผลการวิเคราะห์ |

แผนภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

4. วิธีดำเนินการวิจัย

- 4.1 เก็บรวบรวมข้อมูลของเครื่องเชื่อมรางรถไฟ
- 4.2 วิเคราะห์ผลการเชื่อมรางรถไฟ
- 4.3 จำแนกเหตุที่ทำให้รอยเชื่อมนั้นเสีย
- 4.4 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องเชื่อมรางรถไฟ(OEE)

- 4.5 จัดการอบรมด้านการปฏิบัติงานเชื่อมรางรถไฟ
- 4.6 ประเมินแนวทางการบำรุงรักษาเครื่องเชื่อมรางรถไฟ
- 4.7 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การคำนวณ OEE

ประกอบด้วยผลคูณของ 3 Factor ดังนี้

$$\text{OEE} = \text{อัตราเดินเครื่อง} \times \text{ประสิทธิภาพเดินเครื่อง} \times \text{อัตราคุณภาพ}$$

(Availability) (Performance Efficiency) (Quality Rate)

ซึ่งเมื่อนำปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อระบบการผลิต อันได้แก่ พนักงาน, เครื่องจักร และชิ้นงานที่ผลิต มาวิเคราะห์แล้ว จะทำให้ทราบได้ว่าเกิดอะไรขึ้นกับระบบการผลิตของเราบ้าง ซึ่ง OEE จะเป็นดัชนีที่ชี้ให้เห็นสภาพโดยรวมในระบบการผลิตนั่นเอง

แผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram) หรือแผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

แผนผังสาเหตุและผลเป็นแผนผังที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหา (Problem) กับสาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้ที่อาจก่อให้เกิดปัญหานั้น (Possible Cause) เราอาจคุ้นเคยกับแผนผังสาเหตุและผล ในชื่อของ "ผังก้างปลา (Fish Bone Diagram)" เนื่องจากหน้าตาแผนภูมิมีลักษณะคล้ายปลาที่เหลือแต่ก้าง หรือหลายๆ คนอาจรู้จักในชื่อของแผนผัง อิชิกาวา (Ishikawa Diagram) ซึ่งได้รับการพัฒนาครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1943 โดย ศาสตราจารย์ คาโอรุ อิชิกาวา แห่งมหาวิทยาลัยโตเกียว

วิธีการสร้างแผนผังสาเหตุและผลหรือผังก้างปลา สิ่งสำคัญในการสร้างแผนผัง คือ ต้องทำเป็นทีม เป็นกลุ่ม โดยใช้ขั้นตอน 6 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. กำหนดประโยคปัญหาที่หัวปลา
2. กำหนดกลุ่มปัจจัยที่จะทำให้เกิดปัญหานั้นๆ
3. ระดมสมองเพื่อหาสาเหตุในแต่ละปัจจัย
4. หาสาเหตุหลักของปัญหา
5. จัดลำดับความสำคัญของสาเหตุ
6. ใช้แนวทางการปรับปรุงที่จำเป็น

การดำเนินงานวิจัย

สภาพการทำงานทั่วไปของ โรงงานกรณีศึกษา สภาพการดำเนินงานในสายการเชื่อมรางรถไฟ วิเคราะห์กระบวนการซ่อมบำรุงเครื่องเชื่อมรางรถไฟ เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างของกรณีศึกษา มาทำการวิเคราะห์เพื่อให้เกิดการเกิดความเสียหายในการเชื่อมรางรถไฟ โดยมีขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ดังนี้ การศึกษาข้อมูลในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ใช้ข้อมูลเครื่องเชื่อมรางรถไฟจากบริษัท เอส ที เอ เอส จำกัด เป็นกรณีศึกษา ซึ่งเป็นบริษัทรับเหมาก่อสร้าง

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนในการดำเนินงานสามารถแบ่งออกได้เป็น 9 ขั้นตอน ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนต่อไปนี้

- 1) ศึกษาสภาพการดำเนินงานของการเชื่อมรางรถไฟในกรณีศึกษา
- 2) การวิเคราะห์หาสาเหตุรอยเชื่อมเสียในกรณีศึกษาโดยผังก้างปลา
- 3) วัดประสิทธิภาพของเครื่องเชื่อมรางรถไฟ(OEE)
- 4) สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

ศึกษาสภาพการดำเนินงานของการเชื่อมรางรถไฟในกรณีศึกษา

บริษัท เอส ที เอ เอส ได้เปิดรับเหมาก่อสร้าง เช่น ดิโก อาคาร ถนน สถานีรถไฟ ซึ่งในงานก่อสร้างสถานีรถไฟนั้น ได้แบ่งการก่อสร้างออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือ ในส่วนของสถานี และ ส่วนที่สองคือ ส่วนของระบบราง ซึ่งในงานก่อสร้างระบบราง การเชื่อมรางรถไฟเป็นส่วนสำคัญในการก่อสร้าง การเชื่อมรางรถไฟทำได้ 2 วิธี 1. Flash Butt Welds 2. Thermit Welds ในกรณีศึกษานี้จะวิเคราะห์การเชื่อมด้วยวิธี Flash Butt Welds การเชื่อมรางรถไฟในแต่ละรอยมีการตรวจสอบคุณภาพของรอยเชื่อม ซึ่งมีทั้งรอยเชื่อมที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพและไม่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพ วิธีการแก้ไขรอยเชื่อมที่ไม่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพนั้น สามารถแก้ไขได้โดยการตัดรอยเชื่อมที่ไม่ผ่านทิ้ง และทำการเชื่อมใหม่อีกครั้ง ซึ่งในการแก้ไขรอยเชื่อมที่ไม่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพในแต่ละรอยเชื่อม ทำให้เกิดการเสียเวลา เสียทรัพยากร ไปโดยเปล่า ด้านการเสียเวลาในการแก้ไขรอยเชื่อมในแต่ละครั้ง ต้องใช้เวลาอย่างน้อย ประมาณ 30 นาที และจำเป็นที่ต้องตัดรางรถไฟทั้งเป็นความยาวอย่างน้อย 100 เซนติเมตร

ตารางที่ 3 แสดงปริมาณรอยเชื่อมเสียในแต่ละโครงการ

	จำนวนรอยเชื่อมทั้งหมด	จำนวนรอยเชื่อมที่เสียทั้งหมด
โครงการที่ 1	427	108(25%)
โครงการที่ 2	1,329	296(23%)
โครงการที่ 3	859	207(24%)

การเชื่อมรางรถไฟนั้น หลังจากทำการเชื่อมแล้ว จำเป็นต้องมีการตรวจสอบคุณภาพของรอยเชื่อมแต่ละรอยเชื่อม ทุกรอย ซึ่งผลการตรวจสอบคุณภาพมีทั้ง รอยเชื่อมที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพ และไม่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพ และเมื่อวิเคราะห์หาสาเหตุรอยเชื่อมที่ไม่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพโดยผังก้างปลา สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 สาเหตุหลักๆ คือ

- 1) สาเหตุที่เกิดจากผู้ปฏิบัติงาน
- 2) สาเหตุที่เกิดจากการทำงานของเครื่องเชื่อมรางรถไฟ
- 3) สาเหตุที่เกิดจากสภาพสิ่งแวดล้อม

รอยเชื่อมเสียที่เกิดผู้ปฏิบัติงานนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ

1. รอยเชื่อมไม่ได้ระดับ สาเหตุมาจากพื้นที่ปฏิบัติงานไม่ได้ระดับ และผู้ปฏิบัติงานไม่มีประสบการณ์ในการทำงาน ถึงทำให้รอยเชื่อมไม่ได้ระดับ

2. กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไม่เต็มประสิทธิภาพสาเหตุจากการความทำความสะอาดบริเวณแถวเชื่อมไม่สะอาดพอ จึงทำให้กระแสไฟฟ้าในการเชื่อมไม่สามารถไหลผ่านได้เต็มประสิทธิภาพ

ประสิทธิภาพในการเดินเครื่องเชื่อมรางรถไฟ

เครื่องเชื่อมรางรถไฟมีเวลาในการเดินเครื่องเชื่อมทั้งหมด 360 นาที ต่อ วัน ในการเชื่อมแต่ละครั้งใช้เวลา 20 นาที ต่อ รอยเชื่อม และใช้เวลาในการแก้ไขรอยเชื่อมที่ไม่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพ 30 นาที ต่อ รอยเชื่อม

คำนวณประสิทธิภาพของเครื่องเชื่อมรางรถไฟ

เวลาเดินเครื่องสุทธิ = เวลาเดินเครื่อง – เวลาแก้ไขรอยเชื่อม

$$\text{ประสิทธิภาพเดินเครื่อง} = \frac{\text{เวลาเดินเครื่องสุทธิ (Net Operating Time)}}{\text{เวลาเดินเครื่อง (Operating Time)}}$$

ตารางที่ 3-2 แสดงประสิทธิภาพของเครื่องเชื่อมรางรถไฟ

	เวลาเดินเครื่องสุทธิ (นาที)	เวลาเดินเครื่อง (นาที)	เวลาแก้ไขรอยเชื่อม (นาที)	ประสิทธิภาพของ เครื่องเชื่อม(%)
โครงการที่ 1	6,350	8,540	2,190	74
โครงการที่ 2	19,350	26,580	7,230	72
โครงการที่ 3	11,570	17,120	5,550	67

จากการคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องเชื่อมจากทั้งหมด 3 โครงการ พบได้ว่า ประสิทธิภาพของเครื่องเชื่อมรางรถไฟมีประสิทธิภาพในการทำงาน ลดลง ซึ่งทำให้ความเสียหายทั้งในด้านระยะเวลาในการทำงานที่เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากรอยเชื่อมที่ไม่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพเพิ่มขึ้น และด้านทรัพยากรในการผลิต

3.5 จัดหาอุปกรณ์ในการตรวจปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้าของบริเวณแนวเชื่อมก่อนทำการเชื่อมรางรถไฟ

3.6 ทำการออกแบบอุปกรณ์ปรับระดับรางรถไฟเพื่อลดปริมาณรอยเชื่อมเสียที่เกิดจากรางรถไฟไม่ได้ระดับในการเชื่อม

3.7 จัดทำแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันและนำไปใช้กับเครื่องเชื่อมรางรถไฟกรณีศึกษา

หลังจากทราบประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องเชื่อมจากหัวข้อ 3.4 ในลำดับต่อไปจะเป็นการจัดทำแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันให้กับเครื่องเชื่อมรางรถไฟ โดยการใช้ผลที่ได้จากการคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องเชื่อมรางรถไฟ มากำหนดเป็นแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน และนำแผนดังกล่าวมาใช้ในการทำงานจริงกับเครื่องเชื่อมรางรถไฟในกรณีศึกษา เพื่อช่วยลดรอยเชื่อมเสียอันเนื่องมาจากความเสียหายของเครื่องเชื่อมรางรถไฟในการเชื่อมรางรถไฟ พร้อมทั้งทำการวัดผลและเปรียบเทียบการดำเนินงานวิจัยก่อนและหลัง โดยใช้ดัชนีชี้วัดคือ ปริมาณรอยเชื่อมเสียในขณะทำการเชื่อมรางรถไฟ

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

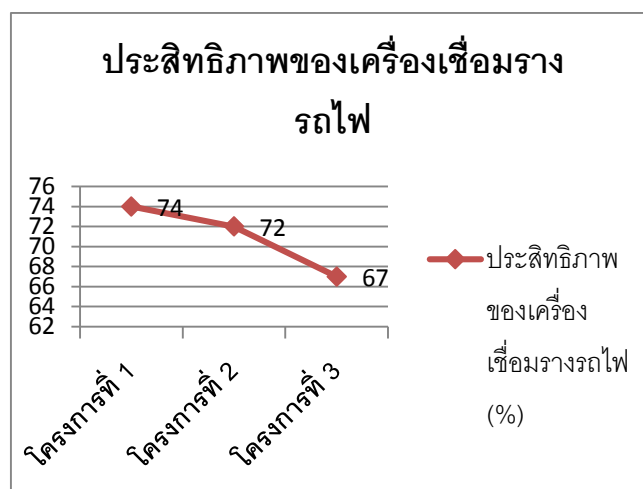
จากการเก็บรวบรวมข้อมูลงานวิจัยที่ได้จากทั้ง 3 โครงการ ได้แสดงรายละเอียดวิธีการดำเนินงานวิจัยและข้อมูลปัญหา โดยแสดงการวิเคราะห์ถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดรอยเชื่อมต่อและบทนี้จะแสดงผลที่ได้จากการดำเนินการถึงผลลัพธ์จากการวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดรอยเชื่อมต่อ แบ่งออกได้เป็น 3 สาเหตุ

1. สาเหตุจากการทำงานของเครื่องรางรถไฟ
2. สาเหตุจากผู้ปฏิบัติงาน
3. สาเหตุจากสภาพอากาศ

การประเมินแนวทางการบำรุงรักษาสาเหตุที่เกิดมาจากเครื่องเชื่อมรางรถไฟโดยใช้การวัดประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร

จากการดำเนินการวัดประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร ในบทที่ 3 ไปแล้วนั้น ซึ่งทำให้ทราบว่า เครื่องเชื่อมรางรถไฟ ที่ควรได้รับการดูแลรักษาโดยพิจารณาจากปริมาณรอยเชื่อมต่อที่มีสาเหตุมาจากเครื่องเชื่อมรางรถไฟโดยเก็บรวบรวมข้อมูลจำนวน 3 โครงการมีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4-1 แสดงประสิทธิภาพของเครื่องเชื่อมรางรถไฟ

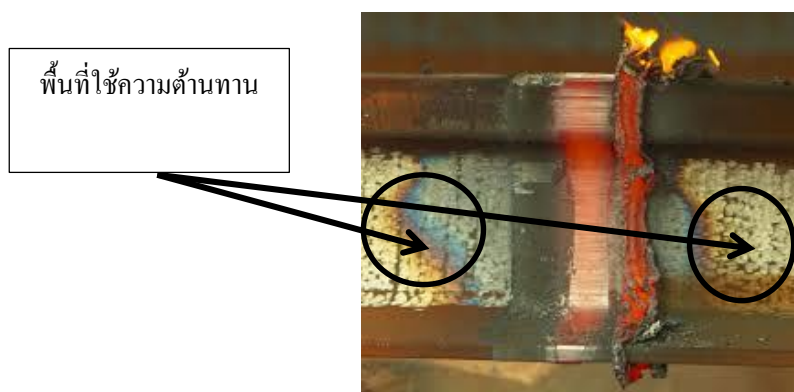


ภาพที่ 4-1 กราฟแสดงประสิทธิภาพเครื่องเชื่อมรางรถไฟ

จากกราฟจะเห็นได้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเชื่อมรางรถไฟนั้น มีประสิทธิภาพต่ำลง หลังจากทราบประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องเชื่อมรางรถไฟในลำดับต่อไปจะเป็นการจัดทำแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันให้กับเครื่องเชื่อมรางรถไฟ โดยการใช้ผลที่ได้จากการคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องเชื่อมรางรถไฟ มากำหนดเป็นแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน และนำแผนดังกล่าวมาใช้ในการทำงานจริงกับเครื่องเชื่อมรางรถไฟในกรณีศึกษา เพื่อช่วยลดรอยเชื่อมต่ออันเนื่องมาจากความเสียหายของเครื่องเชื่อมรางรถไฟในการเชื่อมรางรถไฟ

4.1 การประเมินแนวทางการบำรุงรักษาสาเหตุที่เกิดจากผู้ปฏิบัติงาน

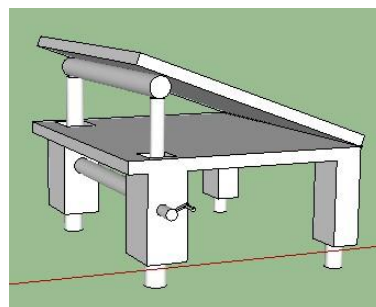
การวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้รอยเชื่อมเสียนั้น สาเหตุที่สำคัญนอกจากเครื่องเชื่อมรางรถไฟแล้วยังมีสาเหตุสำคัญที่เกิดจากผู้ปฏิบัติงาน เนื่องจากก่อนการเชื่อมรางรถไฟนั้นมิฉะนั้นขั้นตอนทำสะอาดผิวรางที่สัมผัสกับตัวปล่อยกระแสไฟเพื่อทำการเชื่อมราง ซึ่งการทำความสะอาดผิวรางก่อนการเชื่อมมีความสำคัญมากเพราะถ้าผิวรางมีความสกปรกมากเกินไปกระแสไฟจะไหลผ่านไปได้เพียงพอกับการเชื่อม รอยเชื่อมนั้นจากเกิดความเสียหายกรอเชื่อม ซึ่งผู้ปฏิบัติงานควรทำสะอาดผิวรางก่อนเสมอและจะเห็นได้จากปริมาณรอยเชื่อมเสียที่เกิดจากกระแสไฟไม่สามารถไหลผ่านได้เพียงพอกับการเชื่อม วิธีการตรวจสอบความสะอาดของผิวราง ทำได้โดยปล่อยกระแสไฟเพื่อวัดความกระแสไฟที่สามารถไหลผ่านได้ และเพียงพอสำหรับการเชื่อม



ภาพที่ 4-1 แสดงพื้นที่ใช้ความต้านทานของรางรถไฟ

จากภาพที่แสดงพื้นที่วัดความต้านทานของรางรถไฟซึ่งความต้านทานจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับการทำความสะอาดผิวรางก่อนทำการเชื่อมของผู้ปฏิบัติงาน ถ้าความต้านทานที่วัดได้มีค่ามากหมายความว่า กระแสไฟสามารถไหลผ่านได้น้อย ผิวรางมีความสกปรกมาก เมื่อทำการเชื่อมกระแสไฟไหลไม่เพียงพอสำหรับการเชื่อม จึงทำให้เกิดรอยเชื่อมเสีย

สาเหตุที่ทำให้รอยเชื่อมเสียที่เกิดจากผู้ปฏิบัติงานคือการตั้งระดับรางรถไฟก่อนทำการเชื่อม เมื่อผู้ปฏิบัติงานตั้งรางไม่ได้ระดับจะทำให้การยุบตัวของรอยเชื่อม ผู้วิเคราะห์จึงได้ทำการออกแบบอุปกรณ์ปรับระดับรางรถไฟเพื่อลดปริมาณรอยเชื่อมเสียที่เกิดจากรางรถไฟไม่ได้ระดับในการเชื่อม



ภาพที่ 4-2 อุปกรณ์ปรับระดับรางรถไฟ

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก อาจารย์กนกพร ศรีปฐมสวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์ และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

อนึ่ง ผู้วิจัยหวังว่า งานวิจัยฉบับนี้จะมีประโยชน์อยู่ไม่น้อย จึงขอมอบส่วนดีทั้งหมดนี้ ให้แก่เหล่าคณาจารย์ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาจนทำให้ผลงานวิจัยเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้อง และขอมอบความกตัญญูกตเวทิตาคุณ แด่บิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่าน สำหรับข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นนั้น ผู้วิจัยขอน้อมรับผิดเพียง ผู้เดียว และยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามามีการศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

จิรศักดิ์ กิจการแสงทอง. (20 กุมภาพันธ์ 2554). **ทฤษฎีกำลังปลา**. สืบค้นเมื่อ 22 กันยายน 2555, จาก

<https://www.slideshare.net/jirasub/ss-44914201>

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. **ประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรอุปกรณ์**. สืบค้นเมื่อ 22 กันยายน

2555, จาก <https://www.rmuti.ac.th/faculty/production/ie/html/Oee.htm>

อภิชาติ ศรีสง่า. (30 มกราคม 2553). **จุดบกพร่องในงานเชื่อม**. สืบค้นเมื่อ 22 กันยายน 2555, จาก

<https://www.gotoknow.org/posts/332425>

การลดความเค้นหนาแน่นของแผ่นสี่เหลี่ยมมีรูวงกลม 4 รู ภายใต้แรงดึงตามแนวแกน
โดยใช้ระเบียบวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์

THE REDUCTION OF STRESS CONCENTRATION IN A RECTANGULAR
PLATE WITH 4 CIRCULAR HOLES UNDER AXIAL TENSION FORCE
USING FINITE ELEMENT METHOD

วัชร เครือรัฐติกาล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: fengwkr@ku.ac.th

ชาญเวช ศิลพิพัฒน์

อาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: fengchse@ku.ac.th

บทคัดย่อ

ในทางปฏิบัติ ทุกชิ้นงานทางวิศวกรรม อย่างน้อยมีการเปลี่ยนแปลงหน้าตัดและหรือรูปทรง ภายใต้ภาระงาน การเปลี่ยนแปลงรูปทรงทำให้ความเค้นของชิ้นงานมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และอาจนำไปสู่ความเสียหายของชิ้นส่วน เนื่องจากความเค้นหนาแน่นสูง การกระจายตัวของความเค้นจะไม่สม่ำเสมอตลอดหน้าตัดของชิ้นงาน เมื่อชิ้นงานสี่เหลี่ยมมีรูวงกลม 4 รู รูปแบบสี่เหลี่ยมอยู่ตรงกลาง ภายใต้แรงดึงตามแนวแกนของชิ้นงาน วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาการลดความเค้นที่เกิดขึ้น ตัวประกอบความเค้นหนาแน่นสามารถลดลงได้ 6.8% สำหรับใช้สี่รูช่วยที่ด้านข้างของแต่ละรูหลักทั้ง 4 รู ผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงการมีรูช่วยและการวางตำแหน่ง ขนาด ที่เหมาะสม ทำให้การไหลของความเค้นราบเรียบขึ้นตลอดชิ้นงาน

คำสำคัญ: ไฟไนต์เอลิเมนต์ ความเค้นหนาแน่น รูช่วย ตัวประกอบความเค้นหนาแน่น

ABSTRACT

In practice, all engineering components have at least minimal changes in section and/or shape. Under loads, these changes in geometry increase the local stress fields of the components quite significantly, and this will lead to failure of the component of high stress concentration. The stress distribution is not uniform throughout the cross section, when a rectangular pattern of 4 circular holes is introduced in a rectangular plate under axial tension force. Finite element method is used to study for the stress reduction. The stress concentration factor can be reduced up to 6.8 % for using four auxiliary holes by locate auxiliary holes on either side of main a rectangular pattern of holes. Results reveals that the introduction of the auxiliary holes at a optimum location and sizes helps to smooth flow of the stress pass through the components.

KEYWORDS: Finite element, Stress concentration, Auxiliary hole, Stress concentration factor

1. บทนำ

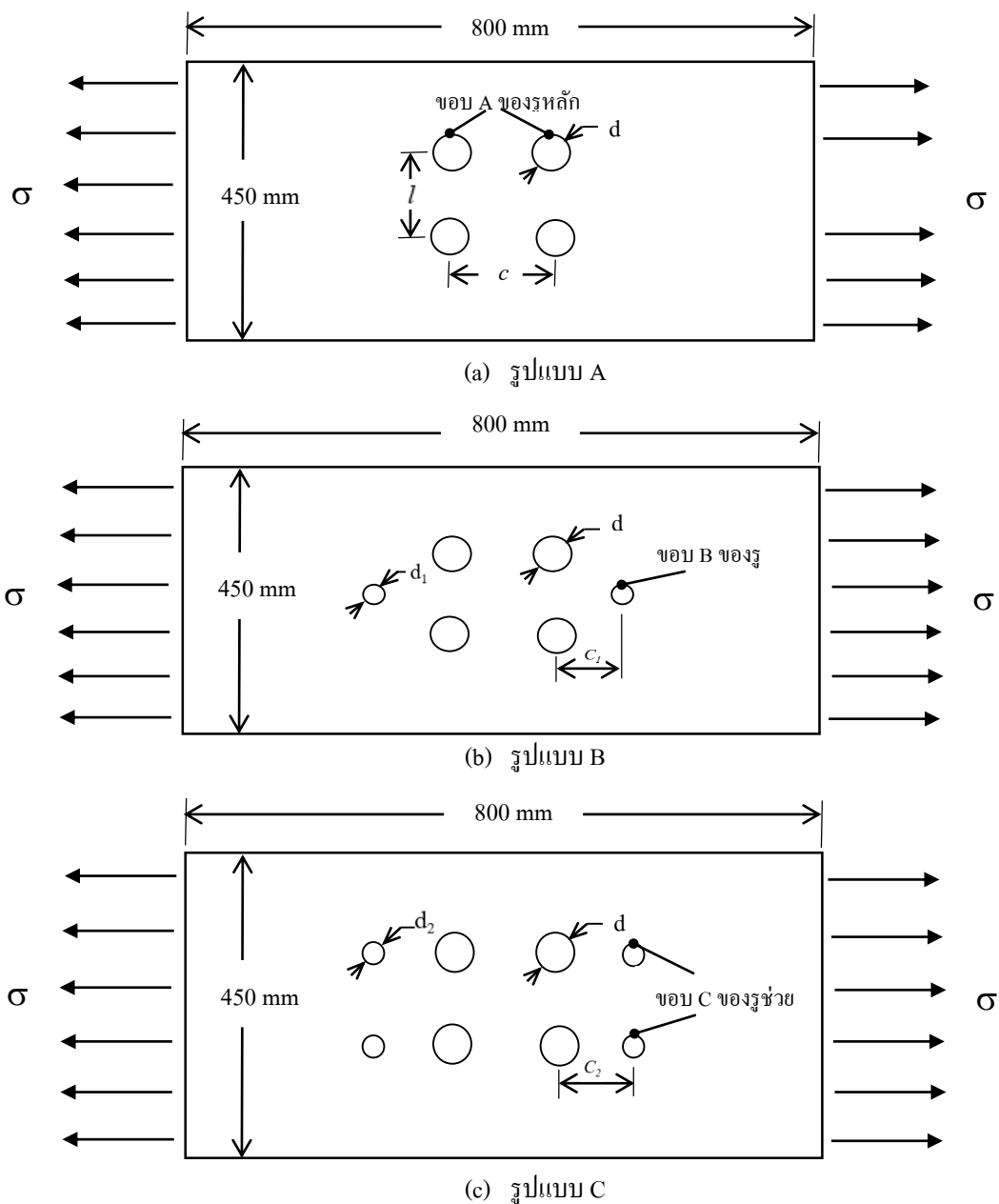
การออกแบบชิ้นงานต่าง ๆ ส่วนใหญ่นำขนาดหน้าตัดของชิ้นงานมีขนาดไม่คงที่ ทำให้มีค่าความเค้นหนาแน่นเกิดขึ้นบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงหน้าตัดนั้น ซึ่งค่าความเค้นหนาแน่นที่เกิดขึ้นเป็นส่วนสำคัญที่วิศวกรออกแบบต้องคำนึงถึงและมีความระมัดระวัง เมื่อมีการกระทำต่อชิ้นงาน ทำให้เกิดความเค้นหนาแน่นเกิดขึ้นสูงบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่หน้าตัด แสดงให้เห็นว่าการไหลของความเค้นไม่ราบเรียบ อาจเกิดความเสียหายของชิ้นงานได้ การศึกษาและออกแบบการทำให้ความเค้นหนาแน่นบริเวณนี้ลดลง โดยไม่เปลี่ยนชนิดของวัสดุ เพิ่มความหนาหรือขนาดของชิ้นงาน จึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เพื่อที่ไม่ทำให้ต้นทุนการผลิตชิ้นงานนี้สูงขึ้นมากเกินไป

เมื่อมีการกระทำตามแนวยาวของชิ้นงานแผ่นสี่เหลี่ยมที่มีรูวงกลม 4 รูอยู่ตรงกลาง ทำให้เกิดความเค้นหนาแน่นบริเวณขอบของรูวงกลมสูงขึ้น Erickson และ Riley (1978) ได้ศึกษาโดยเพิ่มรูช่วย 2 รูวางไว้ก่อนและหลังด้านข้างรูกลมเดี่ยวของชิ้นงานตามแนวของแรงดึงที่กระทำ และวิเคราะห์โดยการทดลองใช้วิธีโฟโตอีลาสติก ผลที่ได้ช่วยลดความเค้นหนาแน่นของชิ้นงานลง 21% - 31% Meguid (1986) ใช้วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์วิเคราะห์หาวิธีการลดค่าความเค้นหนาแน่นของชิ้นงานที่มีรูกลมตรงกลางเดี่ยวของชิ้นงาน ที่รับภาระแรงดึงตามแนวแกน โดยใช้สองรูช่วย ทำให้ลดค่าความเค้นหนาแน่นได้ 5.7% - 11 % Meguid และ Gong (1993) ได้ศึกษาความเค้นหนาแน่นบริเวณรอบรูวงกลมเดี่ยวบนแผ่นสี่เหลี่ยม โดยใช้วิธีโฟโตอีลาสติก และนำผลเปรียบเทียบกับวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน Tenchev และคณะ (1995) เสนอวิธีการลดความเค้นหนาแน่นบริเวณรูวงกลมที่อยู่ตรงกลางของชิ้นงาน โดยการเสริมแผ่นเสริมแรงบริเวณรูวงกลมทั้งด้านบนและล่าง ทำให้บริเวณโดยรอบรูวงกลมเดี่ยวนั้นมีความหนาเพิ่มขึ้น Ulrich และ Moslehy (1995) นำเสนอวิธีการบาวน์ดารีเอลิเมนต์ มาใช้วิเคราะห์โดยใช้รูช่วยเพื่อลดความเค้นหนาแน่นบริเวณรูวงกลม และวงรีที่อยู่ตรงกลางชิ้นงาน Younis (2006) ได้ทำการทดลองโดยใช้วิธีโฟโตอีลาสติกศึกษาการกระจายความเค้นบริเวณรูกลม เพื่อลดความเค้นหนาแน่นในบริเวณนั้น Yang และคณะ (2010) ใช้วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ ศึกษาความเค้นหนาแน่นและความเครียดหนาแน่นที่เกิดขึ้นบริเวณรูกลมที่อยู่ตรงกลางบนแผ่นชิ้นงานที่รับภาระดัด Sburlati (2013) ได้นำเสนอการสวมใส่แหวนลงไปบนรูกลม เพื่อลดความเค้นหนาแน่นบริเวณรูกลมของชิ้นงาน วัชระ และคณะ (2015) ได้ใช้วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์วิเคราะห์เพื่อลดความเค้นหนาแน่นของรูวงกลมเดี่ยวภายใต้แรงดึงโดยใช้ 2 และ 4 รูช่วย เรียงต่อด้านข้างทั้งสองด้านของรูหลัก ผลที่ได้ ลดค่าตัวประกอบความเค้นหนาแน่นลงได้ 14.3 % และ 18.8 % ตามลำดับ วัชระ และคณะ (2016) ได้ทำการวิเคราะห์ลดค่าตัวประกอบความเค้นหนาแน่นของรูวงกลมเดี่ยว โดยใช้ 2 รูกลมช่วย และ 2 รูวงรีช่วยโดยวางตำแหน่งซ้อนรูวงกลมหลัก ผลที่ได้ สามารถลดค่าตัวประกอบความเค้นหนาแน่นลงได้ 19.8 % และ 22.2 % ตามลำดับ Mohammad และ Elahie (2016) ได้ศึกษาการกระจายตัวของความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณรูเดี่ยวที่มีรูปทรงต่าง ๆ ที่อยู่ตรงกลางของแผ่นชิ้นงาน Aizhong Lu และคณะ (2017) ได้นำเสนอ 3 หลักการในการวิเคราะห์หาความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณวงรีที่อยู่ตรงกลางของชิ้นงาน

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาความเค้นหนาแน่นที่เกิดขึ้นบริเวณรูวงกลม 4 รู รูปแบบสี่เหลี่ยม โดยทั้ง 4 รูอยู่ตรงกลางของชิ้นงานแผ่นสี่เหลี่ยม ภายใต้แรงดึงตามแนวแกน และทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อลดความเค้นหนาแน่นสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณขอบของรูวงกลมหลัก โดยใช้รูช่วย 2 รู วางด้านข้างตรงกลางระหว่างรูวงกลมหลักทั้งสองด้าน และใช้รูช่วย 4 รู วางด้านข้างของรูหลักทั้ง 4 รู ในระดับเดียวกัน

2. วิธีดำเนินการวิจัย

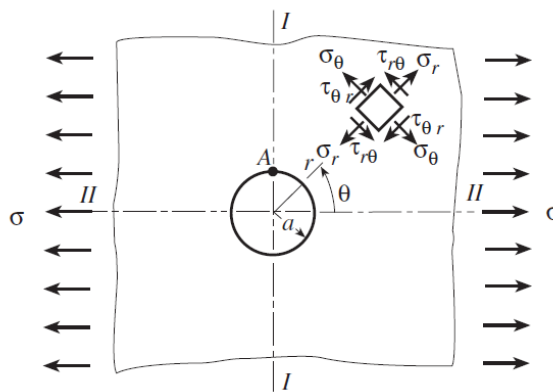
การวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ 3 รูปแบบ ดังแสดงตาม รูปที่ 1 โดย รูปแบบ A มีรูหลัก 4 รู รูปแบบ B มีรูหลัก 4 รู และรูช่วย 2 รู และ รูปแบบ C มีรูหลัก 4 รู และรูช่วย 4 รู โดย รูปแบบ A ทำการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณทางไฟไนต์เอลิเมนต์ กับผลการวิจัยของ Meijers (1967) เพื่อยืนยันรูปแบบโมเดลทางไฟไนต์เอลิเมนต์ว่าสามารถ นำไปใช้ในรูปแบบ B และรูปแบบ C ได้ รูปแบบ B ทำการเปลี่ยนขนาดของรูช่วย d_1 และระยะห่าง c_1 รูปแบบ C ทำการเปลี่ยนขนาดของรูช่วย d_2 และระยะห่าง c_2



(d) รูปที่ 1 แสดง 3 รูปแบบที่ใช้ในการวิเคราะห์

ขนาดของแผ่นสี่เหลี่ยมมีกลุ่มรูตรงกลาง 4 รู ตาม รูปที่ 1 โดยมีความกว้างเท่ากับ 450 มิลลิเมตร และความยาว 800 มิลลิเมตร ขนาดของกลุ่มรูหลักทั้ง 4 รู มีขนาด 20 มิลลิเมตร $l = 125$ มิลลิเมตร และ $c = 100$ มิลลิเมตร การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตในระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ กำหนดให้หน้าตัดด้านซ้ายมือของชิ้นงานไม่ยอมให้มีการเคลื่อนตัว และหน้าตัดด้านขวามือมีแรงดึงตามแนวแกนขนาด 500 นิวตัน กระจายสม่ำเสมอตลอดหน้าตัด ขนาดของเอลิเมนต์ 8 มม. จำนวน 49 462 เอลิเมนต์

ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นตามแนวพิกัดเชิงขั้ว ถูกนำเสนอโดย Timoshenko และ Goodier (1970) แสดงตาม รูปที่ 2



รูปที่ 2 แผ่นอนันต์มีรูตรงกลางรับแรงดึงตามแนวแกน

$$\sigma_r = \frac{1}{2} \sigma \left(1 - \frac{a^2}{r^2} \right) + \frac{1}{2} \sigma \left(1 - \frac{4a^2}{r^2} + \frac{3a^4}{r^4} \right) \cos 2\theta \quad (1)$$

$$\sigma_\theta = \frac{1}{2} \sigma \left(1 + \frac{a^2}{r^2} \right) - \frac{1}{2} \sigma \left(1 + \frac{3a^4}{r^4} \right) \cos 2\theta \quad (2)$$

พิจารณาที่หน้าตัด I-I ที่ค่ามุม $\theta = \pi/2$ สมการที่ 2 เปลี่ยนเป็น

$$\sigma_\theta = \frac{1}{2} \sigma \left(2 + \frac{a^2}{r^2} + \frac{3a^4}{r^4} \right) \quad (3)$$

จาก รูปที่ 1 (a) รูปแบบ A พิจารณาที่ขอบด้านบนสุดตรงกลางของชิ้นงาน ค่า $a = 10$ และ $r = 162.5$ นำไปแทนค่าในสมการที่ 3 ได้ $\sigma_\theta = 1.002\sigma$ ขนาดความเค้นที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันมาก แสดงว่าขนาดความกว้างของชิ้นงานสามารถนำไปใช้วิเคราะห์ได้

พิจารณาที่หน้าตัด II-II ที่ค่ามุม $\theta = 0$ สมการที่ 1 เปลี่ยนเป็น

$$\sigma_r = \frac{1}{2} \sigma \left(2 - \frac{5a^2}{r^2} + \frac{3a^4}{r^4} \right) \quad (4)$$

จาก รูปที่ 1 (a) รูปแบบ A พิจารณาที่ขอบด้านขวามือตรงกลางของชิ้นงาน ค่า $a = 10$ และ $r = 350$ นำไปแทนค่าในสมการที่ 4 ได้ $\sigma_r = 0.998\sigma$ ขนาดความเค้นมีค่าใกล้เคียงกันมาก แสดงว่าขนาดความยาวของชิ้นงานสามารถนำไปใช้วิเคราะห์ได้

ค่าตัวประกอบความเค้นหนาแน่น (K_m) คำนวณได้จากสมการที่ 5

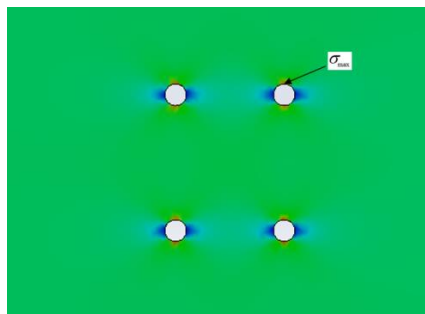
$$K_m = \sigma_{\max} / \sigma_{\text{nom}} \quad (5)$$

$$\sigma_{\text{nom}} = \sigma / (1 - d/l) \quad (6)$$

โดย $\sigma_{\max}$ คือ ความเค้นตึงฉากสูงสุด
 σ คือ ความเค้นตึงฉาก

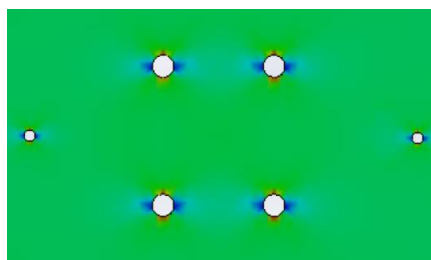
3. ผลการคำนวณและอภิปราย

รูปแบบ A การคำนวณโดยใช้วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ $\sigma_{\max}$ มีค่าสูงสุดที่ขอบของรูหลัก ดังตำแหน่งที่แสดงใน รูปที่ 3 และผลการคำนวณหาค่า K_m ที่ตำแหน่ง $\sigma_{\max}$ ได้ 2.51 ซึ่งค่าที่ได้ถือว่าใกล้เคียงมากกับ Meijers (1967) ที่ 2.52

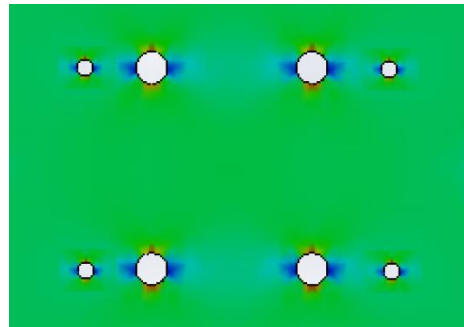


รูปที่ 3 แสดงผลความเค้นที่เกิดขึ้นโดยใช้วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของรูปแบบ A

รูปแบบ B และ รูปแบบ C การคำนวณโดยใช้วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์แสดงใน รูปที่ 4 และ รูปที่ 5 ตามลำดับ ผลการคำนวณหาค่า K_m ที่ได้แสดงในตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2 ตามลำดับ



รูปที่ 4 แสดงผลความเค้นที่เกิดขึ้นโดยใช้วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของรูปแบบ B



รูปที่ 6 แสดงผลความเค้นที่เกิดขึ้นโดยใช้วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของรูปแบบ C

ตารางที่ 1 แสดงค่า K_m ที่ได้จากการใช้วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของรูปแบบ B

d_1/d c_1/d	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
1.0	2.72	2.69	2.62	2.72	2.75	2.79
2.0	2.69	2.67	2.60	2.67	2.69	2.72
3.0	2.66	2.65	2.56	2.62	2.66	2.70
4.0	2.63	2.64	2.58	2.63	2.67	2.68
5.0	2.64	2.66	2.60	2.65	2.69	2.70
6.0	2.66	2.69	2.62	2.68	2.71	2.72

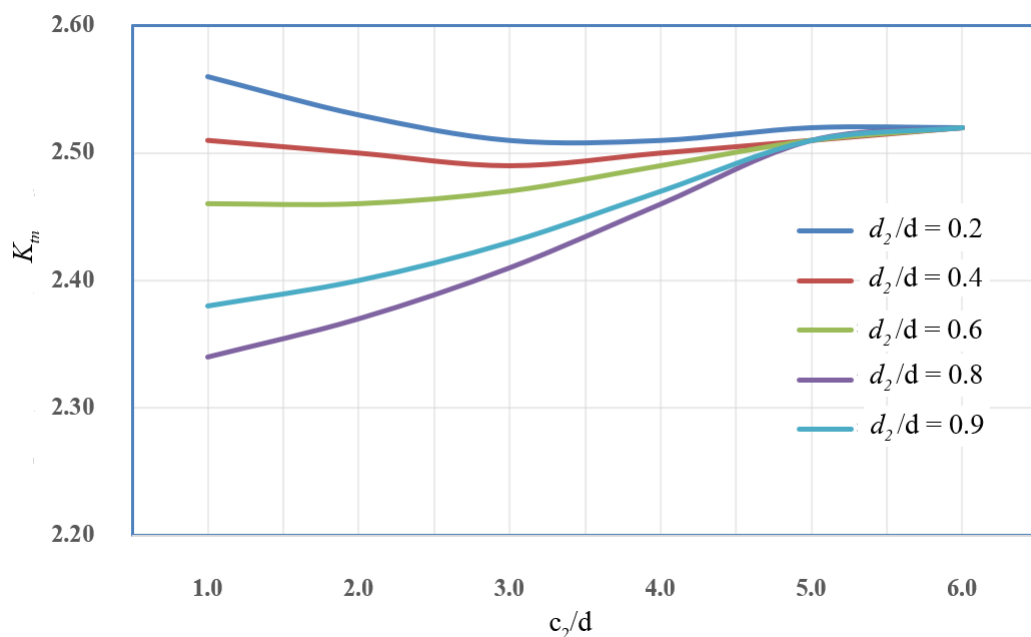
จากตารางที่ 1 รูปแบบ B ที่ c_1/d เท่ากับ 1.0 เมื่อค่า d_1/d มีค่าเพิ่มขึ้น ค่า K_m มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งมีค่ามากกว่ารูปแบบ A และมีความสัมพันธ์เดียวกันกับที่ c_1/d เท่ากับ 2.0 3.0 4.0 5.0 และ 6.0 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มรูช่วย 2 รู ตรงกลางของกลุ่มรูหลัก ตามรูปแบบ B ไม่ได้ช่วยลดค่าตัวประกอบความเค้นหนาแน่นลงเมื่อเทียบกับรูปแบบ A

ตารางที่ 2 แสดงค่า K_m ที่ได้จากการใช้วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของรูปแบบ C

d_2/d c_2/d	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9
1.0	2.56	2.51	2.46	2.34	2.38
2.0	2.53	2.50	2.46	2.37	2.40
3.0	2.51	2.49	2.47	2.41	2.43
4.0	2.51	2.50	2.49	2.46	2.47
5.0	2.52	2.51	2.51	2.51	2.51
6.0	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52

จากตารางที่ 2 รูปแบบ C ที่ c_2/d เท่ากับ 1.0 เมื่อค่า d_2/d มีค่าเพิ่มขึ้น ค่า K_m มีค่าลดลงจนถึงค่า d_2/d เท่ากับ 0.8 จากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้น และมีความสัมพันธ์เดียวกันกับที่ c_2/d เท่ากับ 2.0 3.0 และ 4.0 ตามลำดับ แต่ที่ค่า c_2/d เท่ากับ 5.0 และ 6.0 ค่า K_m มีค่าเท่ากันถึงแม้ว่า d_2/d มีค่าเพิ่มขึ้น

เมื่อนำค่าจากตารางที่ 2 มาสร้างกราฟ ได้ความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 7 แสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะห่างระหว่างรูหลักและรูช่วยมีค่ามากขึ้น ค่า K_m มีแนวโน้มลู่เข้าไปหาค่าที่ได้ตามรูปแบบ A ค่า K_m ในรูปแบบ C นั้นสามารถลดลงได้สูงสุด 6.8 % เมื่อเทียบกับรูปแบบ A



รูปที่ 7 แสดงค่าระหว่าง K_m กับ c_2/d ที่ค่าอัตราส่วน d_2/d ต่าง ๆ ของรูปแบบ C

4. สรุปผลการวิจัย

วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์นำมาใช้ในการวิเคราะห์การหาค่าตัวประกอบความเค้นหนาแน่นของชิ้นงานสี่เหลี่ยมที่มีรูกลมอยู่ตรงกลาง 4 รู ภายใต้การดึงตามแนวแกน ได้ถูกนำเสนอ การลดค่าตัวประกอบความเค้นหนาแน่นโดยใช้รูช่วย 2 รูวางตรงกลางทั้งสองข้างของกลุ่มรูหลักตามรูปแบบ B ไม่สามารถลดค่าตัวประกอบความเค้นหนาแน่นลงได้เมื่อเทียบกับรูปแบบ A และการใช้รูช่วย 4 รูโดยวางด้านข้างของกลุ่มรูหลักข้างละ 2 รูตามรูปแบบ C สามารถลดค่าตัวประกอบความเค้นหนาแน่นได้สูงสุด 6.8 % เทียบกับรูปแบบ A เมื่อตัวประกอบความเค้นหนาแน่นลดลง แสดงถึงความเค้นสูงสุดในชิ้นงานลดลงตามไปด้วย ทำให้การกระจายตัวของความเค้นในชิ้นงานราบเรียบมากขึ้น ส่งผลให้อายุของชิ้นงานสูงขึ้น

5. เอกสารอ้างอิง

- วัชรระ เครือรัฐติกาล กรมมณฑล ชูประเสริฐ และ ชานูเวช ศิลพิพัฒน์ 2015 การวิเคราะห์ด้วยวิธีการ ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ สำหรับการลดความเค้นหนาแน่นของรูวงกลมเดี่ยวภายใต้ภาระดึงโดยรูช่วย **ประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ครั้งที่ 10** หน้า 1155 - 1162 กรุงเทพฯ
- วัชรระ เครือรัฐติกาล กรมมณฑล ชูประเสริฐ และ ชานูเวช ศิลพิพัฒน์ 2016 การลดความเค้นหนาแน่นของแผ่น สี่เหลี่ยมมีรูตรงกลางภายใต้แรงดึงตามแนวแกนโดยใช้ระเบียบวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ **ประชุม วิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 54** หน้า 437 - 445 กรุงเทพฯ
- Aizhong, L., Ning, Z. and Guisen, Z., 2017. Minimizing stress concentrations around and elliptical hole by concentrated forces acting on the uniaxially loaded plate. **Acta Mechanical Solida Sinica**, 30: 318-326
- Erickson, P.E., and Riley, W.F. 1978. Minimizing stress concentrations around circular holes in uniaxially loaded plates. **Experimental Mechanics**. 97-100.
- Meguid, S. A. 1986. Finite element analysis of defence hole system for the reduction of stress concentration factor in a uni-axially loaded plate with two coaxial holes. **Engineering fracture mechanics**. 25 (4): 403-413.
- Meguid, S.A. and Gong, S.X. 1993. Stress concentration around interacting circular holes: A comparison between theory and experiments. **Engineering Fracture Mechanics**. 44(2): 247-256.
- Meijers, P., 1967, Doubly-periodic stress distributions in perforated plates, Dissertation, **Technische Hochschule**, Delft, The Netherlands.
- Mohammad, J. and Dlahe, A., 2016. Stress concentration in finite metallic plates with regular holes. **International Journal of Mechanical Sciences**, 106: 220-230
- Sburlati, R. 2013. Stress concentration factor due to a functionally graded ring around a hole in an isotropic plate. **International Journal of Solids and Structures**. 50: 3649-3658
- Tenchev, R.T., Nygard, M.K. and Echtermeyer, A. 1995. Design procedure for reducing the stress concentration around circular holes in laminated composites. **Composites**. 26(12): 815-828.
- Timoshenko, s., and Goodier, J.N., 1970. **Theory of Elasticity**. McGraw-Hill, New York.
- Ulrich, T.W. and Moslesh, F.A. 1995. A boundary element method for stress reduction by optimal auxiliary holes. **Engineering Analysis with Boundary Elements**. 15: 219-233.
- Yang, Z., Kim, C.B., Beom, H.G. and Cho, C. 2010. The stress and strain concentrations of out-of-plane bending plate containing a circular hole. **International Journal of Mechanical Sciences**. 52: 836-846.
- Younis, N.T. 2006. Assembly stress for the reduction of stress concentration. **Mechanics Research Communications**. 33: 837-845.