

กลุ่ม 3

กลุ่มวิทยานิพนธ์

(วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)

การกำจัดสารประกอบเชิงซ้อนนิกเกิล (II) ไชยาไนต์ ในน้ำเสียสังเคราะห์
โดยการออกซิเดชันด้วยเฟอร์เรต
REMOVAL OF NICKEL (II) CYANIDE COMPLEX IN SYNTHETIC
WASTEWATER BY FERRATE OXIDATION

ประภาพร ฉัตรชัยชนวัฒน์¹

เขมรัฐ โอสถาพันธุ์²

¹นิสิตมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์

E-mail : oumyore@gmail.com

²ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย E-mail : khemarath.o@chula.ac.th

บทคัดย่อ

สารประกอบเชิงซ้อนนิกเกิล (II) ไชยาไนต์เป็นสารเคมีอันตรายที่พบอยู่ในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมชุบโลหะ และอุตสาหกรรมการชุบเหมืองแร่ วิธีการกำจัดไชยาไนต์ที่ใช้กันทั่วไปคือ การกำจัดโดยการออกซิเดชัน งานวิจัยนี้ได้ ทำการศึกษาผลของการกำจัดสารประกอบเชิงซ้อนนิกเกิล (II) ไชยาไนต์ ในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยการออกซิเดชันด้วยเฟอร์เรตโดยในส่วนแรกได้ทำการศึกษถึงผลของพีเอช และอัตราส่วนโดยโมลเฟอร์เรตต่อ ไชยาไนต์ ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดนิกเกิล (II) ไชยาไนต์ และสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น โดยทดลองในช่วงความ เข้มข้นนิกเกิล (II) ไชยาไนต์ไม่เกิน 500 ไมโครโมลาร์ (รูปไชยาไนต์) ผลการทดลองพบว่า ที่อัตราส่วนโดยโมลเฟอร์เรตต่อไชยาไนต์เท่ากับ 1:1 มีประสิทธิภาพในการกำจัดนิกเกิล (II) ไชยาไนต์ประมาณ 60% 50% และ 40% ที่พีเอช 9 10 และ 11 ตามลำดับ โดยมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงที่พีเอช 9 และมีแนวโน้มถึงประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น เมื่อความ เข้มข้นในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น โดยสารผลิตภัณฑ์หลักที่เกิดขึ้นจากการกำจัดนิกเกิล (II) ไชยาไนต์คือ ไชยานด ส่วนที่สองได้ทำการศึกษผลของอัตราส่วนโดยโมลเฟอร์เรตต่อไชยาไนต์ในการทำปฏิกิริยา และอัตราการ เกิดปฏิกิริยา โดยกำหนดให้ความเข้มข้นนิกเกิล (II) ไชยาไนต์ไม่เกิน 500 ไมโครโมลาร์ (รูปไชยาไนต์) ที่พีเอช 9 10 และ 11 ผลการทดลองพบว่า พีเอชไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดนิกเกิล (II) ไชยาไนต์ ไม่มีผลต่อสัดส่วนใน การทำปฏิกิริยา และไม่มีผลต่อสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น แต่มีผลทำให้อัตรา การเกิดปฏิกิริยาช้าลง โดยปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้เร็วที่สุดที่พีเอช 9 และมีอัตราส่วนโดยโมลเฟอร์เรตต่อไชยาไนต์ในการ ทำปฏิกิริยาประมาณ 4:1

คำสำคัญ : ไชยาไนต์ สารประกอบเชิงซ้อนนิกเกิล (II) ไชยาไนต์ เฟอร์เรต การออกซิเดชัน

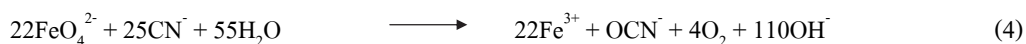
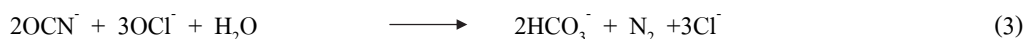
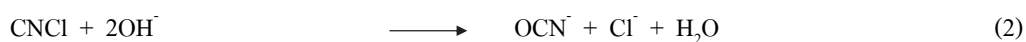
ABSTRACT

Nickel (II) cyanide complex is a highly toxic substance for electroplating and mining industrial wastewater. Oxidation technique is generally applied for cyanide treatment technologies. This research studied the effects of removal of nickel (II) cyanide complex in synthetic wastewater by ferrate oxidation. The first experiment was done on the synthetic wastewater that the maximum concentration of nickel (II) cyanide is 500 μM . It is to study the effect of pH and the increased mole fractions of ferrate per cyanide to both of by products and nickel (II) cyanide removal efficiency. The result, at the mole fraction of 1:1 ferrate per cyanide, cyanide removal efficiency was 60%, 50% and 40% at pH 9, 10 and 11 respectively with the fast rate at pH 9. The increasing initial concentration of nickel (II) cyanide in each reaction caused the trend of increasing nickel (II) cyanide removal efficiency. Cyanate was identified as the major product of the reaction. The second experiment was done on the synthetic wastewater that the maximum concentration of nickel (II) cyanide is 500 μM at pH 9, 10 and 11. It is to study the mole fractions of ferrate per cyanide during the reaction and the chemical reaction rate. The results indicated that pH has no effect on both nickel (II) cyanide removal efficiency and any mole fractions of ferrate per cyanide, but it retarded the chemical reaction rate. The ferrate molar consumption per oxidized cyanide was 4:1

KEYWORDS : Cyanide, Nickel(II) Cyanide Complex, Ferrate, Oxidation

1. บทนำ

ปัจจุบันมีความเจริญทางด้านอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอุตสาหกรรมชุบโลหะ ซึ่งการชุบโลหะ มีวัตถุประสงค์เพื่อรักษาเนื้อวัสดุ และความสวยงาม การชุบโลหะต้องใช้ไซยาไนด์ ซึ่งเป็นสารช่วยในการทำความสะอาดผิวโลหะที่จะชุบ และใช้เป็นสารเคลือบ เพื่อให้โลหะหนักสามารถละลายน้ำได้มากขึ้น ดังนั้นน้ำเสียจึงปนเปื้อนไซยาไนด์ และสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไซยาไนด์กับโลหะหนัก ซึ่งไซยาไนด์ และโลหะหนักเป็นสารที่มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต โดยมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรมมีการกำหนดค่าความเข้มข้นไซยาไนด์ทั้งหมดในน้ำทิ้งต้องมีค่าน้อยกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 7.6 ไมโครโมลาร์ (อรอนงค์ ทรงกิตติ, 2539 : 45-51) และมาตรฐานน้ำดื่มของ US EPA (The U.S. Environmental Protection Agency) ได้กำหนดปริมาณความเข้มข้นไซยาไนด์ทั้งหมดต้องมีค่าน้อยกว่า 200 ppb (Sharma, 2008 : 3005-3010) ซึ่งสารประกอบไซยาไนด์ทั้งหมดนั้น รวมถึงสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไซยาไนด์กับโลหะหนักด้วย วิธีการกำจัดไซยาไนด์ที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน คือ การออกซิเดชันด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรด์ (Alkali Chlorine Method) แต่การออกซิเดชันด้วยคลอรีนจะทำให้เกิดสารผลิตภัณฑ์ที่เป็นพิษ เช่น ไซยาโนเจน และสารประกอบของคลอไรด์ ซึ่งมีความเป็นพิษ และทำให้น้ำเกิดความเป็นด่าง ดังแสดงในสมการที่ (1) ถึง (3) (ภัทรวรรณ ดิยานนท์, 2549) ปัจจุบันจึงมีความพยายามอย่างมากที่จะค้นหากระบวนการที่เหมาะสมในการกำจัดไซยาไนด์ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ ซึ่งเฟอร์เรตมีสมบัติที่น่าสนใจคือ มีกำลังในการออกซิไดซ์สูงมีความสามารถในการโคแอกกูเลชันสารผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นสารที่เลือกทำปฏิกิริยา ดังแสดงในสมการที่ (4) (Sharma, 2002 : 143-156)



สมบัติดังกล่าวทำให้สามารถใช้งานได้ง่าย และเป็นข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับสารออกซิไดซ์ตัวอื่นๆ งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาการออกซิเดชันของไซยาไนด์อิสระด้วยเฟอร์เรต แต่ในขณะเดียวกันสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไซยาไนด์กับโลหะนั้นกำจัดได้ยากกว่า ซึ่งน้ำเสียที่มีสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไซยาไนด์กับนิกเกิลสามารถพบได้ในอุตสาหกรรมการชุบโลหะทั่วไป ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงเลือกศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัดสารประกอบเชิงซ้อนนิกเกิล (II) ไซยาไนด์ ในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยกระบวนการออกซิเดชันด้วยเฟอร์เรต

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษา และหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสารประกอบเชิงซ้อนนิกเกิล (II) ไซยาไนด์ ในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยการออกซิเดชันด้วยเฟอร์เรต

3. วิธีการวิเคราะห์

1. เฟอร์เรต ตรวจสอบด้วยเครื่องยูวีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
2. ไซยาไนด์ และไซยาเนต ตรวจสอบด้วยเครื่องไอออนโครมาโตกราฟ
3. ฟิเอช ตรวจสอบด้วยฟิเอชมิเตอร์

4. วิธีดำเนินการวิจัย

การทดลองจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 : เพื่อศึกษาผลของฟิเอช และความเข้มข้นไซยาไนด์ ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดนิกเกิล (II) ไซยาไนด์ และสารผลิตภัณฑ์

1. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ให้มีความเข้มข้นนิกเกิล (II) ไซยาไนด์เท่ากับ 50 100 250 และ 500 ไมโครโมลาร์ (รูปไซยาไนด์) และแปรค่าฟิเอชเป็น 9 10 และ 11

2. เติมสารละลายเฟอร์เรตในอัตราส่วนโดยโมลเฟอร์เรตต่อไซยาไนด์เท่ากับ 1:1 รอจนปฏิกิริยาเสร็จสิ้น

3. กรองด้วย Hyperclean Syringe Filter และนำไปตรวจวัดค่าไซยาไนด์ และไซยาเนต

ส่วนที่ 2 : เพื่อศึกษาผลของอัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างเฟอร์เรต กับนิกเกิล (II) ไซยาไนด์

1. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ให้มีความเข้มข้นนิกเกิล (II) ไซยาไนด์เท่ากับ 500 ไมโครโมลาร์ (รูปไซยาไนด์) และแปรค่าฟิเอชเป็น 9 10 และ 11

2. เติมสารละลายเฟอร์เรตในอัตราส่วนโดยโมลเฟอร์เรตต่อไซยาไนด์เท่ากับ 1:1 และเก็บตัวอย่างที่เวลา 0 1 5 10 20 30 60 90 120 150 180 210 240 และ 300 นาที

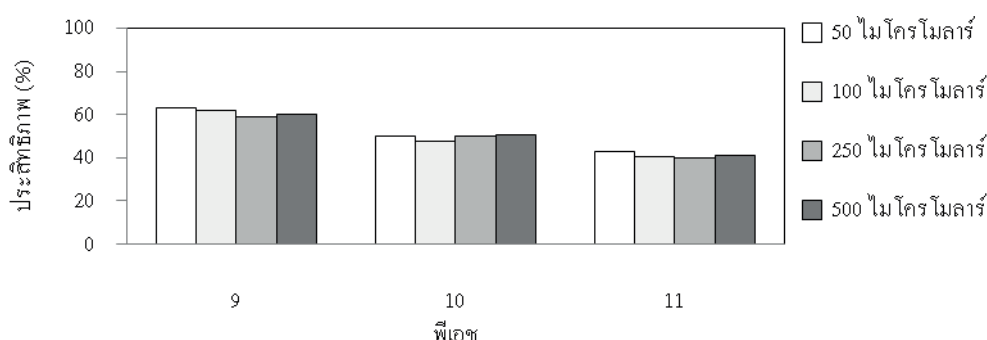
3. กรองด้วย Hyperclean Syringe Filter และนำไปตรวจวัดค่าไซยาไนด์

ส่วนที่ 3 : เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลเฟอร์เรตต่อไซยาไนด์ และความเข้มข้นไซยาไนด์ ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดนิกเกิล (II) ไซยาไนด์ และสารผลิตภัณฑ์

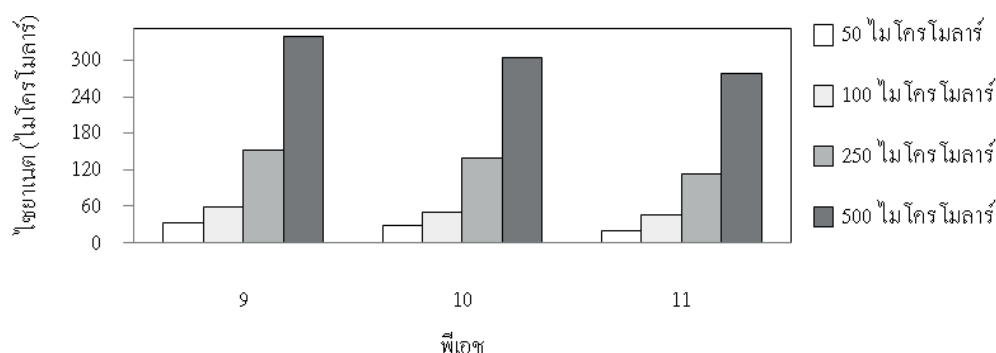
1. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ให้มีความเข้มข้นนิกเกิล (II) ไซยาไนด์เท่ากับ 50 100 250 และ 500 ไมโครโมลาร์ (รูปไซยาไนด์) และแปรค่าพีเอชเป็นพีเอชที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในส่วนที่ 1 และ 2
2. เติมน้ำละลายเฟอร์เรตที่ความเข้มข้น 50 100 200 300 400 และ 500 ไมโครโมลาร์ ร่อนปฏิกิริยาเสร็จสิ้น ซึ่งสามารถสังเกตได้จากสีม่วงของเฟอร์เรตหายไปจนหมด
3. กรองด้วย Hyperclean Syringe Filter และนำไปตรวจวัดค่าไซยาไนด์ และไซยานต

5. ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาพีเอช และความเข้มข้นไซยาไนด์ ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดนิกเกิล (II) ไซยาไนด์ และสารผลิตภัณฑ์ พบว่า ที่ความเข้มข้นนิกเกิล (II) ไซยาไนด์เริ่มต้น 50 100 250 และ 500 ไมโครโมลาร์ (รูปไซยาไนด์) และอัตราส่วนโดยโมลเฟอร์เรตต่อไซยาไนด์เท่ากับ 1:1 มีประสิทธิภาพในการกำจัดนิกเกิล (II) ไซยาไนด์ประมาณ 60% 50% และ 40% ที่พีเอช 9 10 และ 11 ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 1 และสารผลิตภัณฑ์หลักที่ได้ คือ ไซยานต ดังภาพประกอบ 2 โดยปฏิกิริยาสิ้นสุดที่เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง ซึ่งสังเกตจากสีม่วงของเฟอร์เรตที่หมดไป

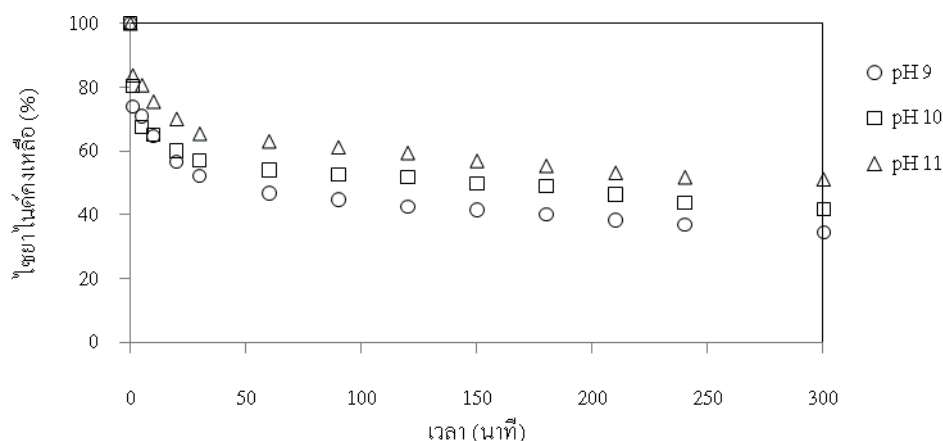


ภาพประกอบ 1 ประสิทธิภาพในการกำจัดนิกเกิล (II) ไซยาไนด์ ที่พีเอช 9 10 และ 11

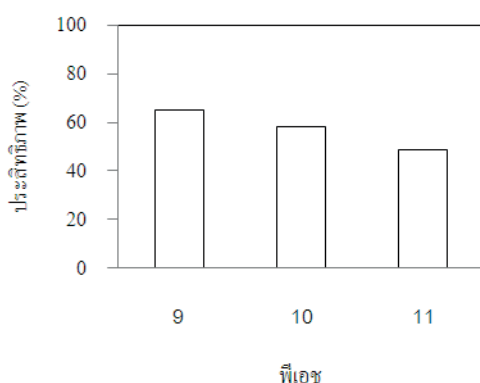


ภาพประกอบ 2 ความเข้มข้นไซยานต ที่พีเอช 9 10 และ 11

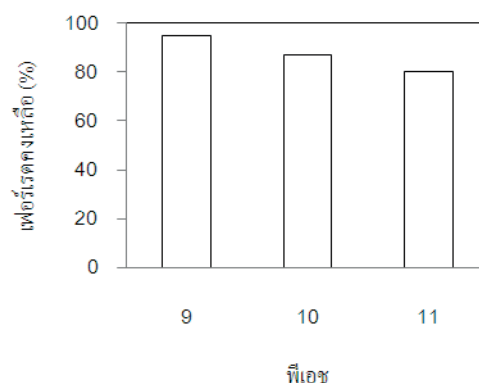
2. ผลการศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างเฟอร์เรต กับนิกเกิล(II) ไชยาไนต์ ผลการทดลอง พบว่าที่อัตราส่วนโดยโมลเฟอร์เรตต่อไชยาไนต์เท่ากับ 1:1 อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะสูงที่สุดที่พีเอช 9 ดังภาพประกอบ 3 โดยพบว่าการเกิดปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 30 นาทีแรก แต่หลังจากนั้นการเกิดปฏิกิริยาจะค่อยๆ เกิดขึ้นอย่างช้าๆ ตลอดการเกิดปฏิกิริยา แสดงว่าพีเอชไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดนิกเกิล (II) ไชยาไนต์ ไม่มีผลต่อสัดส่วนในการทำปฏิกิริยา และไม่มีผลต่อสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น แต่มีผลทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาช้าลงซึ่งอาจกล่าวได้ว่า เมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะมีค่าลดลง อาจเป็นผลเนื่องมาจากประสิทธิภาพในการกำจัดนิกเกิล (II) ไชยาไนต์ น่าจะมีความสัมพันธ์กับความเสถียรของเฟอร์เรตเป็นอย่างมาก โดยประสิทธิภาพในการกำจัดนิกเกิล (II) ไชยาไนต์ที่พีเอชต่างๆ มีแนวโน้มคล้ายกับความเสถียรของเฟอร์เรตที่พีเอชต่างๆ ดังภาพประกอบ 4 ถึง 5 โดยที่เฟอร์เรตจะมีความคงตัวมากที่สุดที่ช่วงพีเอช 9.4-9.7 และสลายตัวได้เร็วที่พีเอช 11 (Sharma, 2002 : 143-156) ดังนั้นปฏิกิริยาระหว่างเฟอร์เรตกับนิกเกิล (II) ไชยาไนต์เกิดขึ้นได้เร็ว แต่เฟอร์เรตมีการสลายตัวได้เร็วเช่นกัน ทำให้เฟอร์เรตส่วนหนึ่งสลายตัวไปก่อนที่จะปฏิกิริยาจะเสร็จสมบูรณ์



ภาพประกอบ 3 ความเข้มข้นไชยาไนต์คงเหลือ กับเวลาในการทำปฏิกิริยา ที่พีเอช 9 10 และ 11

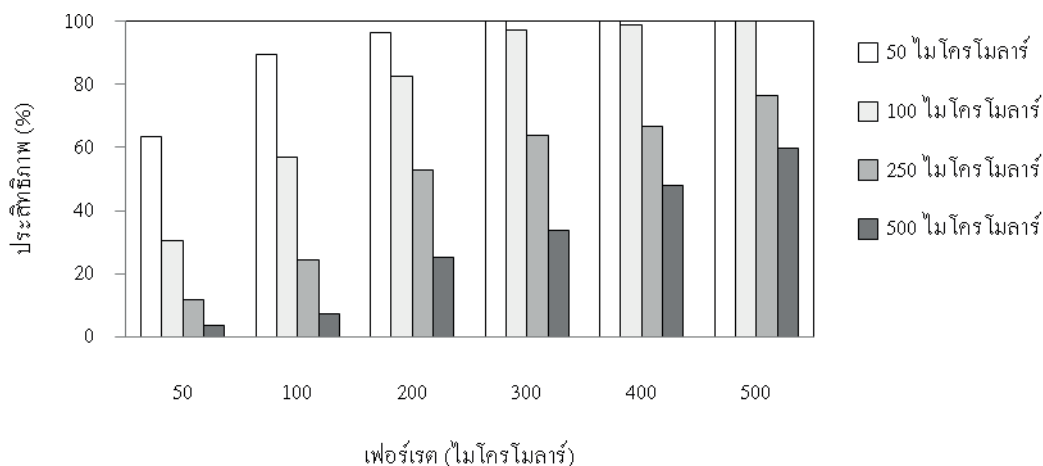


ภาพประกอบ 4 ประสิทธิภาพในการกำจัดนิกเกิล (II) ไชยาไนต์

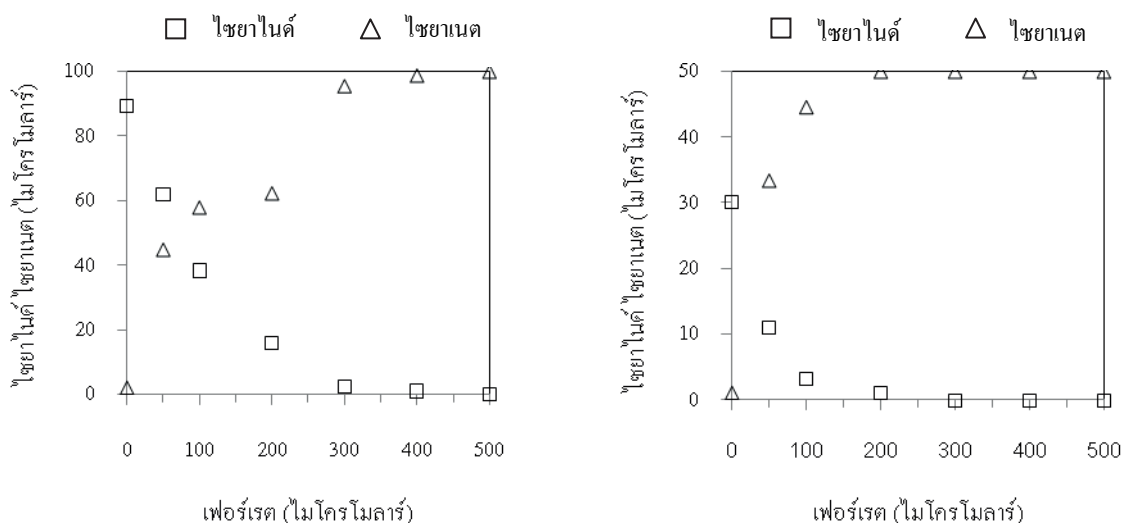


ภาพประกอบ 5 เฟอร์เรตคงเหลือที่เวลา 30 นาที

3. ผลการศึกษาอัตราส่วนโดยโมลเฟอร์เรตต่อไซยาไนด์ และความเข้มข้นไซยาไนด์ ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดนิกเกิล (II) ไซยาไนด์ และสารผลิตภัณฑ์ ผลการทดลอง พบว่า ที่อัตราส่วนโดยโมลเฟอร์เรตต่อไซยาไนด์ 4:1 โดยพิจารณาจากความเข้มข้นเริ่มต้นของนิกเกิล (II) ไซยาไนด์ 100 ไมโครโมลาร์ มีประสิทธิภาพในการกำจัดนิกเกิล (II) ไซยาไนด์ได้ 100% ดังภาพประกอบ 6 และสารผลิตภัณฑ์หลักที่ได้ คือ ไซยานตเช่นเดียวกับการทดลองในส่วนที่ 1 ดังภาพประกอบ 7

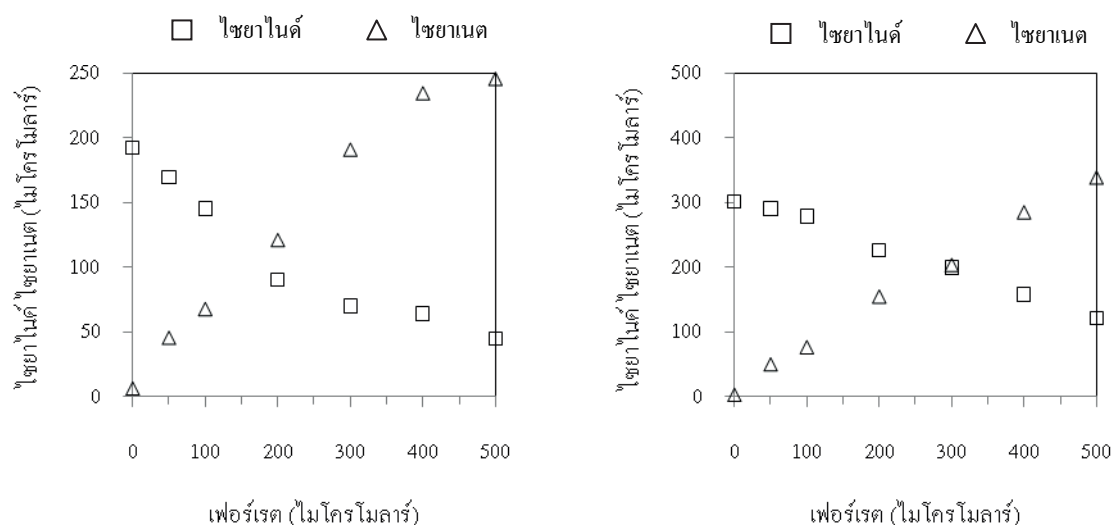


ภาพประกอบ 6 ประสิทธิภาพในการกำจัดนิกเกิล (II) ไซยาไนด์ กับความเข้มข้นของเฟอร์เรตในการทำปฏิกิริยา ที่ความเข้มข้นของนิกเกิล (II) ไซยาไนด์ เริ่มต้น 50 100 250 และ 500 ไมโครโมลาร์



ภาพประกอบ 7-1 ความเข้มข้นนิกเกิล (II) ไซยาไนด์ เริ่มต้น 50 ไมโครโมลาร์

ภาพประกอบ 7-2 ความเข้มข้นนิกเกิล (II) ไซยาไนด์ เริ่มต้น 100 ไมโครโมลาร์



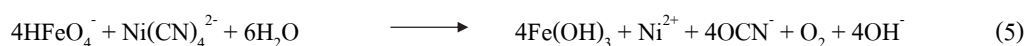
ภาพประกอบ 7-1 ความเข้มข้นนิกเกิล (II) ไชยาไนต์
เริ่มต้น 250 ไมโครโมลาร์

ภาพประกอบ 7-2 ความเข้มข้นนิกเกิล (II) ไชยาไนต์
เริ่มต้น 500 ไมโครโมลาร์

ภาพประกอบ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างไชยาไนต์ที่เหลือ และไชยาไนต์ที่เกิดขึ้น ในการทำปฏิกิริยากับเฟอร์เรต
โดยมีความเข้มข้นนิกเกิล (II) ไชยาไนต์ เริ่มต้น 50 100 250 และ 500 ไมโครโมลาร์ ที่พีเอช 9

6. สรุปผลการวิจัย

ผลการทดลองพบว่า การทำปฏิกิริยาระหว่างเฟอร์เรตกับนิกเกิล (II) ไชยาไนต์มีประสิทธิภาพในการกำจัดนิกเกิล (II) ไชยาไนต์ประมาณ 60% 50% และ 40% ที่พีเอช 9 10 และ 11 ตามลำดับ และได้สารผลิตภัณฑ์คือ ไชยาไนต์ โดยอัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างเฟอร์เรตกับนิกเกิล (II) ไชยาไนต์จะลดลงเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น โดยที่พีเอช 9 มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็วที่สุด ซึ่งปฏิกิริยาส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในช่วงเวลา 30 นาทีแรก แต่หลังจากนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะค่อยๆ เกิดขึ้นอย่างช้าๆ ตลอดการเกิดปฏิกิริยา โดยที่พีเอชนั้นไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดนิกเกิล (II) ไชยาไนต์ ไม่มีผลต่อสัดส่วนในการทำปฏิกิริยา และไม่มีผลต่อสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น แต่มีผลทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาช้าลง และอัตราส่วนโดยโมลเฟอร์เรตต่อไชยาไนต์ในการทำปฏิกิริยาพบว่าที่อัตราส่วนโดยโมลเฟอร์เรตต่อไชยาไนต์เท่ากับ 4:1 มีประสิทธิภาพในการกำจัดนิกเกิล (II) ไชยาไนต์ประมาณ 100% และได้ผลิตภัณฑ์เป็นไชยาไนต์เช่นกัน ดังแสดงในสมการที่ (5)



จากงานวิจัยต่างๆ ที่อัตราส่วนโดยโมลเฟอร์เรตต่อไชยาไนต์ที่สามารถกำจัดสารประกอบไชยาไนต์ได้อย่างสมบูรณ์เท่ากับ 1:1 4:1 4:1 และ 5:1 ของสารประกอบไฮโดรเจนไชยาไนต์ แคดเมียม (II) ไชยาไนต์ ซิงค์ (II) ไชยาไนต์ และคอปเปอร์ (II) ไชยาไนต์ ตามลำดับ (Sharma, 2008 : 3005-3010) ซึ่งได้เปรียบเทียบกับอัตราส่วนในการทำปฏิกิริยาดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่า ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบเชิงซ้อนไชยาไนต์กับโลหะหนักนั้น

เฟอร์เรตต้องไปทำปฏิกิริยาในการสลายพันธะระหว่างไซยาไนด์กับโลหะหนักก่อน หลังจากนั้นเฟอร์เรตที่เหลือจึงจะมาทำปฏิกิริยากับไซยาไนด์อิสระต่อไป ดังนั้นในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีสารประกอบเชิงซ้อนไซยาไนด์กับโลหะหนัก จะใช้ปริมาณเฟอร์เรตมากกว่าน้ำเสียที่มีไซยาไนด์อิสระเพียงอย่างเดียว

ตารางที่ 1 อัตราส่วนโดยโมลเฟอร์เรตต่อไซยาไนด์ ที่ทำปฏิกิริยาโดยสมบูรณ์ กับสารประกอบไซยาไนด์ต่างๆ

ประเภทของสารประกอบไซยาไนด์	อัตราส่วนโดยโมลเฟอร์เรตต่อไซยาไนด์
HCN	1:1
$\text{Cd}(\text{CN})_4^{2-}$	4:1
$\text{Zn}(\text{CN})_4^{2-}$	4:1
$\text{Ni}(\text{CN})_4^{2-}$	4:1
$\text{Cu}(\text{CN})_4^{3-}$	5:1

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ. ดร.เขมรัฐ โอสถาปนัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้แนวทาง และคำแนะนำอย่างดียิ่ง ขอขอบพระคุณ คุณ Virender K. Sharma สำหรับคำแนะนำ สารเคมีโปตัสเซียมเฟอร์เรต และเอกสารงานวิจัยต่างๆ ที่มีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการทำงานวิจัยครั้งนี้ บัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้เงินทุนสนับสนุนในการทำวิจัย และโครงการศูนย์วิจัยแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย (NCE-EHWM) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ สารเคมี และเครื่องมือในการทำวิจัย

8. รายการอ้างอิง

ภัทรวรรณ ดิยานนท์, 2549. ผลของนิกลิตต่อการกำจัดไซยาไนด์ในน้ำเสียโดยวิธีการออกซิไดซ์ด้วยเฟอร์เรต.

วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศีลาวัชร ดำรงศิริ, 2548. ผลของสังกะสีต่อการกำจัดไซยาไนด์โดยวิธีการออกซิไดซ์ด้วยเฟอร์เรต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อรอนงค์ ทรงกิตติ, 2539. “ไซยาไนด์ (Cyanide).” วารสารโรงงาน 14, 3: 45-51.

Sharma, V. K., 2002. “Potassium Ferrate(VI): an Environmentally Friendly Oxidant.” **Advance in Environmental Research** 6: 143-156.

Sharma, V. K., Burnett, C. R., Yngard, R. A. and Cabelli, D. E., 2005. “Iron(VI) and Iron(V) Oxidation of Copper(I) Cyanide.” **Environ. Sci. Technol** 39: 3849-3854.

Yngard, R., Sharma, V. K., Filip, J. and Zboril, R., 2008. “Ferrate(VI) Oxidation of Weak-Acid Dissociable Cyanides.” **Environ. Sci. Technol** 42: 3005-3010.

การค้นหาโปรตีนแกมมาโตไซท์ของพลาสโมเดียม ฟัลซิพารัม

ซึ่งกระตุ้นการสร้างแอนติบอดี

CHARACTERIZATION OF GAMETOCYTE PROTEINS INDUCING
NATURAL ANTIBODIES IN *PLASMODIUM FALCIPARUM* INFECTIONสลิล ศิริวัฒน์¹รัชนิย์ อุดมแสงเพชร²¹นักศึกษาระดับบัณฑิต ภาควิชาพยาธิชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

E-mail : salil14s@yahoo.com

²ศาสตราจารย์ ภาควิชาพยาธิชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

E-mail : scrud@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ

มาลาเรียมีวงจรชีวิตที่ซับซ้อน โดยเฉพาะระยะแกมมาโตไซท์ ซึ่งเป็นระยะที่ติดต่อกับผู้อื่นได้โดยพาหะ ยุงก้นปล่อง การเพิ่มพูนความรู้ด้าน โปรตีนของระยะนี้ที่มีบทบาทต่อการตอบสนองภูมิคุ้มกัน จะนำไปสู่ การพัฒนาวัคซีนป้องกันการติดต่อกับ ซึ่งสามารถลดอัตราการติดเชื้อนี้ได้ งานวิจัยนี้เน้นศึกษาการติดเชื้อของ พลาสโมเดียมฟัลซิพารัม เนื่องจากพบได้มากที่สุดและมีอันตรายถึงขั้นชีวิต น้ำเหลืองของผู้ป่วยที่ติดเชื้อมาลาเรีย นี้ 97 ตัวอย่างถูกนำมาประเมินแอนติบอดีต่อโปรตีนของไซซอนต์และแกมมาโตไซท์ ด้วยวิธี IFA และ ELISA พบว่ามากกว่า 66% ของตัวอย่างมีแอนติบอดี ด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีทั้งด้านจิ้นโนมิกส์และ โปรตีนโอมิกส์ จึงได้ทำการสังเคราะห์โปรตีนที่จำเพาะขึ้น โปรตีนสมมุติฐานของแกมมาโตไซท์ที่ถูกสังเคราะห์โดยวิธีปราศจาก เซลล์นั้น ถูกนำมาทดสอบปฏิกิริยากับน้ำเหลืองตัวอย่าง ซึ่งมีค่าไตเตอร์สูงและมีผล IFA ที่แตกต่างกัน พบว่า ทำปฏิกิริยาอ่อนๆ กับตัวอย่างที่มีผลลบต่อแอนติบอดีของไซซอนต์ โดยมีค่าไม่เกินสองเท่าของตัวอย่างที่ไม่ติด เชื้อ อย่างไรก็ตามผลของปฏิกิริยากับโปรตีนแกมมาโตไซท์ที่ถูกย่อยเชิงกล (sonication) มีค่าสูงมากถึง 4 เท่าของ ตัวอย่างไม่ติดเชื้อ จึงสรุปได้ว่าโปรตีนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีปราศจากเซลล์ไม่น่าจะมีคุณสมบัติในการกระตุ้น การผลิตแอนติบอดีตามธรรมชาติได้ดี แต่โปรตีนที่กระตุ้นการผลิตแอนติบอดีนี้ยังคงมีอยู่ในโปรตีนที่ทำปฏิกิริยา ภายในโปรตีนที่ถูกย่อยเชิงกล การศึกษาอย่างต่อเนื่องเกี่ยวกับโปรตีนที่ทำปฏิกิริยาภายในโปรตีนที่ถูกย่อยเชิงกล อาจนำมาซึ่งการพบตัวแทนวัคซีน

คำสำคัญ: มาลาเรีย พลาสโมเดียม ฟัลซิพารัม แกมมาโตไซท์ แอนติบอดี

ABSTRACT

Within the complex malaria cycle, gametocytes are responsible for transmission via the *Anopheles* mosquito. Increase knowledge of gametocyte proteins towards immune response will be used for the development of transmission blocking vaccine thus decreasing the rate of malaria infection. Focusing on *Plasmodium falciparum* infection, the most prevalent and fatal malaria species, 97 infected anti-malaria sera were evaluated for antibodies against schizont and gametocyte antigen by immunofluorescence assay (IFA) and enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA). More than 66% were found positive by both assays. With the progress of both genomic and proteomic technologies, the expression or synthesis of specific proteins is possible. Cell-free expressed theoretical gametocyte proteins further reacted with high titer anti-malaria sera of either positive or negative IFA results indicated weak reactivity with anti-malaria sera negative for schizont antibody, no more than 2 times the optical density of uninfected plasma. On the other hand, that of crude gametocyte protein sonication produced a remarkably strong reaction, as high as 4 times of that of uninfected. These tested cell-free expressed proteins does not possess good characteristics for inducing natural antibody production but possible antigens within the sonicated crude gametocyte proteins are present as seen in their reaction. Continual investigation into reactive proteins in crude sonication may lead to a possible vaccine candidate.

KEYWORDS : Malaria; *Plasmodium falciparum*; Gametocyte; Antibody

1. Introduction

Malaria is the world's most important tropical disease. It is the leading cause of deaths and diseases worldwide. According to the World Health Organization, 47% of the world's population, a total of 2,400 million people, lives in malaria transmitted areas consisting of about 101 countries. As many as 300 to 500 million people are infected with malaria annually (World Health Organization, 2006) of whom 700 to 2.7 million die. With the increasing rate of morbidity and mortality, malaria has caused an enormous impact on both the economic status and well being of the subtropical and tropical areas (World Health Organization, 2006).

This endemic disease is caused by protozoa from the genus *Plasmodium*. *P. vivax*, *P. falciparum*, *P. ovale* and *P. malariae* are the only four known species which cause human malaria (National Center for Infectious Disease, 2004). Of these four, *P. vivax* and *P. falciparum* are the most prevalent in the world. The latter causes cerebral malaria, a more severe and often fatal (Day, 1999).

The *Plasmodium* parasite's life cycle is complex, having both asexual and sexual stages, alternating between the vertebrate host, human, and the invertebrate host, mosquito of the genus *Anopheles* (Carter and Ranford-Cartwright, 1998). The sporozoites from the mosquito vector are transmitted to humans by a single bite. This initiates the beginning of the exoerythrocytic stage also known as the incubation period (National

Center for Infectious Disease, 2004). When the exoerythrocytic schizont is fully developed, the liver cell bursts, releasing merozoites into the host's blood stream. This then starts the human blood stage or erythrocytic stage (Fujioka and Aikawa, 1999), the easiest detectable stage. Some patients have only asexual stages consisting of rings, trophozoites, and shizonts; whereas a smaller group has sexual stages, gametocytes, present in their erythrocyte. The latter stage plays a key role in the transmission of malaria. Recent research has found that specific antibodies towards gametocyte lessen the development of oocyst within the mosquito thus causing a reduction in transmission (Tsuboi and others, 2003). This immunity is called transmission blocking immunity and primarily consists of antibodies which are specific to antigens involving the fertilization of the parasites (Drakeley and others, 2006). Currently, there is no malaria vaccine approved for human use (National Center for Infectious Disease, 2004) or a definite method of preventing this disease from spreading. So far, there is not enough information on which proteins or antigens are specific antigen to these antibodies (Sutherland, 2009); therefore, this study intends investigate and characterize selected gametocyte proteins synthesized by wheat germ cell-free protein production system as antigens inducing natural antibodies prevalent in *P. falciparum* infected patients in Thailand.

2. Methodology

1. Plasma collection

1.1 Normal plasma collection: Blood were obtained from non-malaria infected donors of random blood groups during the year 2007. Plasma were separated from their erythrocytes by centrifugation and inactivated before conducting any further experiments. A total of 15 normal plasma have been obtained. Plasma were stored at -20 °C.

1.2 Anti-malaria plasma collection: Blood from *Plasmodium falciparum* infected donors, admitted to the Hospital for Tropical Diseases, Faculty of Tropical Medicine, Mahidol University in the year 2005, were used. The blood sample collected had been heparinized. Anti-malaria plasma were collected by centrifugation and further inactivated before conducting any further experiments. Anti-malaria plasma were stored at -20 °C.

2. Schizont and gametocyte enrichment

The cultured schizonts or gametocytes with high parasitemia were adjusted to 20% hematocrit and overlaid on top of freshly prepared 5 ml Percoll® [9 (Percoll® and 10X RPMI) : 1 1X RPMI], 60% Percoll® for schizont separation and 47% Percoll® for gametocyte separation. Then tubes were centrifuged at 2,800 rpm for 25 min at 10 °C for schizont and 27 °C for gametocyte separation. The thin interface was carefully collected and washed thrice with 1X RPMI 1640 (Gibco™). The pellets were further processed for IFA and ELISA.

3. Wheat germ cell-free protein production

Gametocyte genes were selected from Plasmdb.org which had high expression during gametocyte stage. Most of them translate to hypothetical proteins. Plasmids containing selected gametocyte genes were processed by PCR (94 °C X 2 min, 98 °C X 10 sec, 55 °C X 30 sec (35 cycles), 72 °C X 3 min (2 kb/min), 72 °C X 7 min, and 20 °C hold) by Taq polymerase. PCR product was checked by 1.0% Agarose gel electrophoresis. Transcription of genes for mRNA was done and precipitated for further synthesis. Wheat germ cell-free protein was synthesized using bilayer method (Sawaski and others, 2002). Upper buffer was added into each well of round bottom 96 well plates. The mRNAs of gametocyte proteins were resuspended in lower buffer avoiding bubbles. This solution is then loaded to the bottom of each well by not disturbing the interphase of the 2 buffers. The plates were sealed and incubated at 17 °C for 16 hr or overnight. The plates were later kept at – 80 °C.

4. Immunofluorescence assay

The schizont and gametocyte enriched pellet was diluted with phosphate saline buffer (PBS) [1:50] and spotted on 24 multiwell slides. Once the slides were dry, they were fixed with cold acetone and blocked with 5% Fetal Calf Serum (FCS) in PBS, 1 hr in the dark at 37 °C. Anti-malaria and normal plasma with 1:25 dilution were added. After 30 min similar to the previous condition, the slides were washed thrice before Rabbit Anti-Human IgG FITC with 1:50 dilution were added. This was also placed in the dark at 37 °C for 30 min. Before 50 µl of 80% Glycerol in PBS was placed on the slide for the coverslip to adhere, the slides were washed thrice with cold PBS. Once the coverslip was placed on, the slides were stored in moist chamber at 4 °C for no more than a week for further evaluation under fluorescent microscope.

5. Enzyme-linked immunosorbent assay

10 µg/ml of non-malaria infected erythrocyte protein, gametocyte proteins, schizont proteins in coating buffer, and cell-free expressed proteins were diluted [1:50] were used as antigen to coat each well of 96 well Nunc-immuno™ plates overnight at 4 °C. Excess antigen buffer were removed and blocked with blocking buffer for 2 hr at room temperature. Then the wells were washed with TBS-T (0.05% Tween-20 in PBS) thrice. The anti-malaria and normal plasma were diluted to 1:100 in PBS and added to each well. Plates were incubated overnight at 4 °C. After washing thrice, Horseradish Peroxidase-conjugated Rabbit anti-Human IgG [1:2000] was added and incubated for 1 hr at room temperature. After washing with TBS-T thrice, 2,2'-azino-di-(3-ethylbenzthiazolin sulfonic acid) (ABTS) peroxidase substrate solution was added and incubated for another 20 min in the dark at room temperature. Once the time period was reached, the enzyme reaction was measured by automated microplate reader at 405 nm.

3. Results

Microscopic examination of malaria infection was done by medical technologist at the Hospital for Tropical Diseases, Faculty of Tropical Medicine, Mahidol University. Schizont parasitemia were observed in thin blood sample films, whereas the presences of gametocytemia were evaluated by observing the stained thick

blood sample films under light microscope. All blood samples (100%) had *Plasmodium falciparum* schizont stage infected erythrocytes, but gametocyte infected erythrocytes were presented in only 50% of the samples.

Anti-malaria antibodies, naturally induced by malaria infection, were evaluated for the presence of antibodies by two assays immunofluorescence assay (IFA) and enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA).

Table 1. Percentage of plasma positive for *Plasmodium falciparum* schizont and gametocyte antibodies by IFA and ELISA.

Assay	Schizont Antibodies	Gametocyte Antibodies
IFA	66	67
ELISA	79	84

Although all blood samples had schizont infected erythrocyte, but evaluation of naturally induced anti-malaria schizont antibodies from 97 *Plasmodium falciparum* infected plasma by IFA showed that only 66% of the plasma were positive for anti-schizont antibodies, Table 1. ELISA confirmed the presence of such antibodies to 79% by using sonicated schizont antigens. Determination of ELISA cutoff point, 0.4, was based on the mean optical densities (OD) of 20 normal plasma, $\bar{X} = 0.02$, with the addition of 1 standard deviation (SD), 0.02, at 68% confidence.

Anti-gametocyte antibody positive samples evaluated by IFA showed bright green fluorescence on the gametocyte infected erythrocytes. Anti-gametocyte antibody by IFA showed 67% of the samples, Table 1, whereas gametocytemia had only 50%. The presence of anti-gametocyte antibodies in the plasma showed 84% positive by ELISA. Any sample with OD higher than 68% confidence value, $\bar{X} + 1SD$, of the infected sera was considered positive.

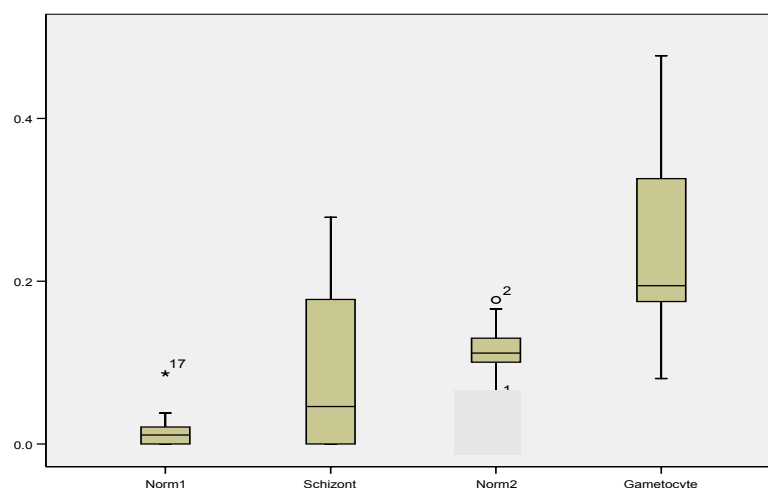


Figure 1. Comparison of antibody to malaria antigens in normal plasma and malaria infected plasma shown by ELISA. Antigens were prepared from schizont and gametocyte. Norm 1 and Norm 2 were reacted with schizont or gametocyte antigens respectively. Data are shown in median (horizontal bars), interquartile ranges (box plots), maximum and minimum (upper-lower lines).

Antibodies against schizont antigens analyzed by ELISA, shown in Figure 1, indicated that the range of anti-schizont antibody level was wide, and some were similar to those of normal plasma. The antibody level range in normal plasma was narrow and the median is centered. Almost all plasma had high anti-gametocyte antibodies than that of the normal plasma, Norm 2. Only a few plasma samples had a similar OD level to that of the normal plasma. The range of anti-gametocyte antibodies was broad.

All 157 cell-free expressed gametocyte proteins were reacted with 5 pooled or combined anti-gametocyte antibody positive plasma, having high OD levels. 13 gametocyte proteins with the highest OD values, protein number 83, 90.2, 96, 128, 150.2, 154, 160, 162, 165, 167, 178, 184, and 185 which were translated from gene codes PF08_0077, PF13_0220, PF10_0365, PFL 1265c, PFI 1345c, PF14_0672, PF10_0365, PF10_0190, MAL7P1.35, PF08_0017, PFI 1315c, PF13_0298, and PF11_0456, respectively, were selected to react with the selected 6 anti-malaria plasma. The SD of normal plasma OD against each cell-free expressed protein was nearly half the OD of the mean normal plasma. These positive reactions were very weak and not convincingly positive. Plasma numbers 74 and 35 had reaction with all the selected gametocyte expressed protein. These two infected plasma were negative for anti-schizont antibodies by IFA. Protein 162, 167, 178, 184, and 185 also had weak reactivity with plasma number 77 and 94. Only 4 proteins, 128, 160, 184, and 185, had high reactivity of OD higher than mean of normal plasma with the addition of 2 S.D.

All four infected plasma were positive for anti-schizont and anti-gametocyte antibodies by ELISA, but anti-malaria serum number 74, 35, and 94 were negative for anti-schizont antibodies by IFA. Plasma number 91 is also negative for anti-schizont antibodies by IFA but produced no reaction. Anti-gametocyte antibody present in the plasma does not always react with the gametocyte proteins.

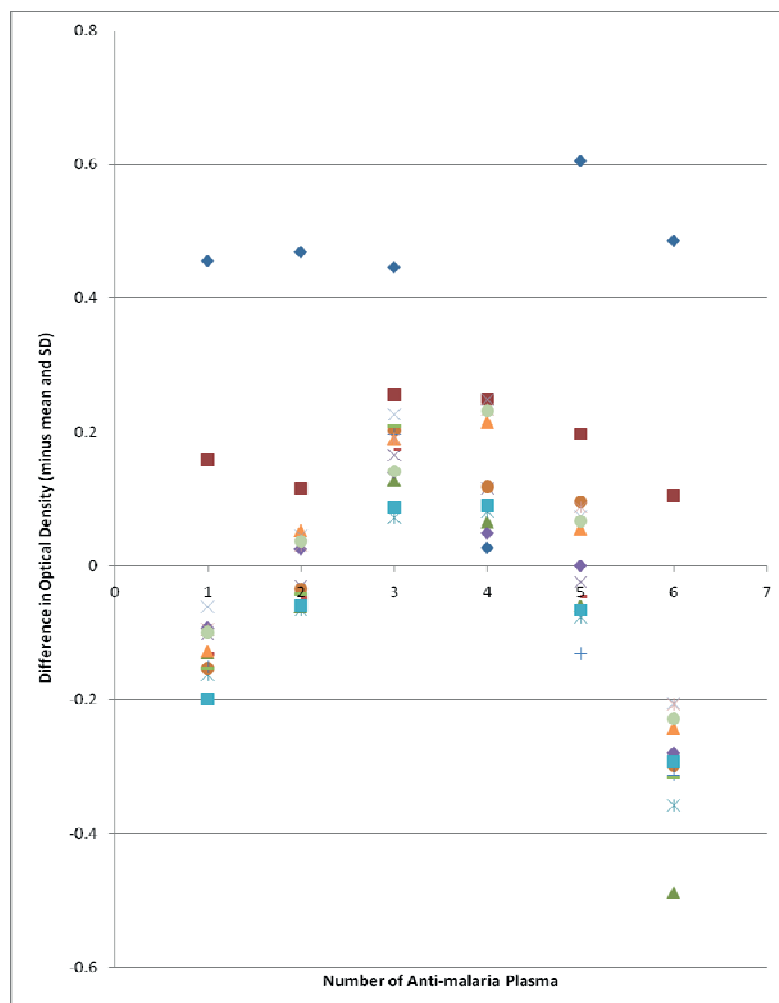


Figure 2. Difference in optical densities of anti-malaria antibodies of the 6 plasma (1 = no. 64, 2 = no. 77, 3 = no. 74, 4 = no. 35, 5 = no. 94, 6 = no. 91) with sonicated gametocyte proteins (◆), sonicated schizont proteins (■), protein 83 (▲), protein 90.2 (×), protein 96 (*), protein 128 (●), protein 150.2 (+), protein 154 (▪), protein 160 (◻), protein 162 (◆), protein 165 (■), protein 167 (▲), protein 178 (×), protein 184 (*), and protein 185 (●). All OD values were subtracted by mean OD of normal plasma reacting with the corresponding protein tested and 1 SD.

Difference in OD of the reaction of anti-malaria antibodies with sonicated schizont proteins, sonicated gametocyte protein, and expressed gametocytes, Figure 2, showed that the OD of the reaction with gametocyte sonicated protein is higher than the OD reaction with selected expressed gametocyte proteins by 4 folds. Plasma number 4 was the only plasma having OD reaction to expressed gametocyte proteins higher than the OD reaction to expressed gametocyte proteins.

4. Conclusion

This study focuses on naturally induced antibodies during *Plasmodium falciparum* infection. Examination of anti-malaria antibodies to schizont antigens and gametocyte antigens was done by two assays, IFA and ELISA. Percentages positive for anti-schizont antibodies were slightly lower than parasitemia but that of anti-gametocytemia were higher. This suggests that gametocyte detection by light microscopy, the gold standard should not be used for gametocytemia. Some other molecular means of detection may be the solution.

Comparison of anti-schizont and anti-gametocyte antibody presence showed that *P. falciparum* infection produced higher levels of anti-gametocyte antibodies even though the gametocyte density is greatly lower than schizont density. The production of antibodies does not depend on the density of the parasite. Classification of the anti-malaria plasma revealed that most of the plasma were positive for both anti-schizont and anti-gametocyte. Cell-free expressed gametocyte proteins showed little reaction with the selected anti-malaria plasma, thus indicating that these proteins possess little characteristics as a prominent antigen. Two plasma had weak reactions with all the selected proteins. Some proteins reacted with 4 plasma that were of different classification.

The selected proteins slightly induced antibody, however, the antigen producing high reaction to with the gametocyte antigen is still present and remains anonymous. The OD of the infected plasma to sonicated gametocyte protein is 4 times higher than that to the gametocyte proteins. Certain gametocyte surface antigens such as Pfs230 and Pfs48/45 have been found to induce antibody production (Sutherland, 2009); however, further research to pin point the protein with natural antibody production properties should be carried out. The success of this find will contribute to the development of new and possible transmission blocking vaccine.

5. Acknowledgements

The success and completion of this thesis would have not been possible without constant encouragement, guidance, and critics from many personnel whether from the department of pathobiology, malaria center and even acquaintances. I would like to give my deepest gratitude to my advisor, Dr. Rachanee Udomsangpetch for her support and advice in every aspect of my research and academic life. I would also like to thank Ms. Natda Tonwong, PhD candidate, for the parasite cultures and cell-free expressed gametocyte proteins.

6. References

- Carter R, Ranford-Cartwright L, 1998. "Malaria transmission. Has the ignition key been found?" **Nature**. 392:227-8.
- Day KP, 1999. "The epidemiology of malaria." in: Wahlgren M, Perlmann P, editors. **Malaria: molecular and clinical aspects**. Amsterdam (The Netherlands): Harwood Academic Publishers.

- Drakeley CJ, Bousema JT, Akim NI, Teelen K, Roeffen W, Lensen AH, et al, 2006. "Transmission-reducing immunity is inversely related to age in *Plasmodium falciparum* gametocyte carriers". **Parasite Immunol.** 28:185-90.
- Fujioka H, Aikawa M, 1999. "The malaria parasite and its life-cycle." in: Wahlgren M, Perlmann P, editors. **Malaria:molecular and clinical aspects.** Amsterdam (The Netherlands): Harwood Academic Publishers.
- National Center for Infectious Disease [Online] Retrieve 2004, Available from: URL:<http://www.cdc.gov/>
- Sutherland CJ, 2009. "Surface antigens of *Plasmodium falciparum* gametocytes- A new class of transmission blocking vaccine targets." **Mol Biochem Parasitol.** 166:93-8.
- Sawasaki T, Hasegawa Y, Tsuchimochi M, Kamura N, Ogasawara T, Kuroita T, et al, 2002 "A bilayer cell-free protein synthesis system for high-throughput screening of gene products". **FEBS Lett.** 514(1):102-5.
- Tsuboi T, Tachibana M, Kaneko O, Torii M, 2003. "Transmission-blocking vaccine of vivax malaria." **Parasitol Int.** 52:1-11.
- World Health Organization, [Online] Retrieve 2006, Available from: URL:<http://www.who.org/>

การเคลือบผิวเยื่อแผ่น PVDF ด้วยไคโตซาน เพื่อป้องกัน
การเปียกในกระบวนการกลั่นแบบออสโมติก
COATING OF MICROPOROUS PVDF MEMBRANES WITH
CHITOSAN FOR PROTECTION AGAINST WETTING IN
OSMOTIC DISTILLATION PROCESS

กิตติคุณ เมฆทรัพย์

อำไพ ชนะไชย

รัตนา จิระรัตนานนท์

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของการเคลือบผิวเยื่อแผ่นเส้นใยกลวง PVDF ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำด้วยไคโตซานที่มีคุณสมบัติชอบน้ำสูง เพื่อป้องกันการเปียกจากน้ำมันในน้ำผลไม้ในกระบวนการกลั่นแบบออสโมติก (OD) โดยเป็นการเคลือบไคโตซานภายนอกท่อของเส้นใย ผลการทดสอบ FTIR และ SEM พบว่าไคโตซานสามารถเคลือบติดที่ผิวของเยื่อแผ่น PVDF ได้ดี และการเคลือบผิวด้วยไคโตซานส่งผลให้ค่าฟลักซ์น้ำที่ผ่านเยื่อแผ่นมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย ในการทดสอบการป้องกันการเปียกของเยื่อแผ่นด้วยน้ำมัน (limonene เข้มข้น 2 %vol) เป็นเวลา 5 ชั่วโมง พบว่าเยื่อแผ่นที่มีการเคลือบผิวด้วยไคโตซานสามารถป้องกันการเปียกได้ และยังมีค่าฟลักซ์คงที่ตลอดการทดลอง ส่วนเยื่อแผ่นที่ไม่มีการเคลือบผิวจะเกิดการเปียกอย่างชัดเจน โดยตรวจพบเกลือ CaCl_2 ที่แพร่ผ่านมาด้านรีเทนเทท และมีค่าฟลักซ์ลดลงถึง 29.27 % ที่เวลา 5 ชั่วโมง ในการทดสอบหาค่าการสูญเสียสารให้กลิ่นรสด้วย Ethyl acetate และ Ethyl hexanoate พบว่า การเคลือบผิวเยื่อแผ่นด้วยไคโตซานมีส่วนช่วยลดการสูญเสียสารให้กลิ่นรสได้

คำสำคัญ: กระบวนการกลั่นแบบออสโมติก การเคลือบผิวเยื่อแผ่น การเปียก

ABSTRACT

This research studied the coating of hydrophobic membrane PVDF with chitosan which was the high hydrophilicity substance for protection against wetting by oils from fruit juice in osmotic distillation process. FTIR and SEM results indicated that chitosan was well coated on PVDF membrane surface. Coating of membrane with chitosan resulted in membrane with higher flux. The protection against wetting of the membranes was tested by oil solution (limonene 2 %v) for 5 hr. The results indicated that the coated membrane was successful in protecting the membrane against wetting-out and maintaining the permeant flux along the test. An uncoated membrane was tremendously wetting-out which was shown by the existence of CaCl_2 in the

retentate solution and the decreasing of the permeant flux. The permeate flux of the uncoated membrane was decreased by 29.27% after 5 hr of OD operation of limonene oil. In testing of flavor (ethyl acetate and ethyl hexanoate) loss during OD, the results indicated that the chitosan coating on the membrane provided the decreasing of flavor loss.

KEYWORDS: Osmotic distillation, Membrane coating, Wetting

1. บทนำ

การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำผลไม้ในปัจจุบัน มีด้วยกันอยู่หลายวิธี ได้แก่ การระเหยน้ำออก (Evaporation concentration) การทำความเข้มข้นเยือกแข็ง (freeze concentration) และกระบวนการออสโมซิสผันกลับ (Reverse osmosis) ซึ่งแต่ละวิธีอาจมีข้อเสียต่างกัน เช่น การสูญเสียกลิ่นและรสชาติจากความร้อน การมีค่าใช้จ่ายในกระบวนการที่สูงและมีขีดจำกัดในการเพิ่มความเข้มข้น กระบวนการกลั่นแบบออสโมติก (Osmotic distillation) จึงเป็นอีกทางเลือกที่กำลังได้รับความสนใจ เพราะสามารถดำเนินการได้ที่อุณหภูมิและความดันปกติ สามารถเพิ่มความเข้มข้นได้สูงสุดถึง 75% TSS (Bui and others, 2004:237-245) และใช้ต้นทุนที่ต่ำ แต่มีข้อเสียที่สำคัญ 2 ข้อ คือ เยื่อแผ่นที่ใช้ อาจเกิดการเปื่อยจากน้ำมันในน้ำผลไม้ (รัตน จิระรัตนานนท์, 2543:7, 12) ทำให้ประสิทธิภาพการดำเนินการลดลงและเสียคุณสมบัติในการแยกสาร และแม้ว่ากระบวนการนี้จะไม่ได้ทำลายสารให้กลิ่นรสของน้ำผลไม้ แต่ยังคงมีการสูญเสียสารให้กลิ่นรสบางส่วนผ่านรูพรุนของเยื่อแผ่นที่ใช้ (Barbe and others, 1998:67-75)

การเปื่อยของเยื่อแผ่น เกิดจากการมีน้ำมันไปยึดเกาะที่ผิวหน้าของเยื่อแผ่น น้ำมันในน้ำผลไม้เป็นสารประเภทไม่ชอบน้ำเช่นเดียวกับเยื่อแผ่นที่ใช้ จึงเกิดการดูดซับและสะสมที่ผิวหน้าของเยื่อแผ่น ส่งผลให้แรงดึงผิวของสารละลายบริเวณผิวหน้าเยื่อแผ่นลดลง ทำให้น้ำซึมผ่านรูพรุนไปได้ การเปื่อยของเยื่อแผ่นจะส่งผลให้ความต้านทานการผ่านเยื่อแผ่นของไอน้ำเพิ่มมากขึ้น เพราะโมเลกุลน้ำมีความสามารถในการแพร่ในสภาพของเหลวได้น้อยกว่าในสภาพก๊าซ เมื่อการเปื่อยเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ การแพร่ผ่านของโมเลกุลน้ำจะไม่อยู่ในรูปของไอน้ำอีกต่อไป และสารละลายทั้งสองด้านจะผสมกันจนค่าฟลักซ์เป็นศูนย์ งานวิจัยนี้จึงสนใจในการป้องกันการเปื่อยของเยื่อแผ่น โดยการนำพอลิเมอร์ชนิดชอบน้ำมาเคลือบผิวหน้าของเยื่อแผ่น เพราะพอลิเมอร์ชอบน้ำจะยอมให้น้ำเคลื่อนที่ผ่านไปได้ แต่จะกักสารที่ไม่ละลายน้ำไว้ น้ำมันจึงไม่สามารถผ่านรูพรุนของพอลิเมอร์ ชอบน้ำเข้าไปสัมผัสกับเยื่อแผ่นได้ จึงไม่เกิดการเปื่อยขึ้น

Mansouri และ Fane (1999:103-120) ได้ทำการเคลือบผิวเยื่อแผ่น PVDF ด้วย polyvinyl alcohol (PVA) เพื่อป้องกันการเปื่อยจากน้ำมัน (limonene) ในการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสด้วยกระบวนการ OD โดยทำการเคลือบผิวเยื่อแผ่น PVDF ด้วยการจุ่มเยื่อแผ่นลงในสารละลายเคลือบผิวโดยตรง (Dip Coating) และศึกษาการใช้สารเชื่อมขวาง Glutaraldehyde กับ Maleic acid พบว่า เยื่อแผ่นที่ผ่านการเคลือบผิวแล้วสามารถป้องกันการเปื่อยเยื่อแผ่นจากน้ำมันได้ดี โดยทำการทดสอบด้วยการนำเยื่อแผ่นที่เคลือบผิวแล้วไปใช้เพิ่มความเข้มข้นสารละลายที่มีน้ำมันอยู่ถึง 1 %wt เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่า เยื่อแผ่นยังไม่เกิดการเปื่อย และมีสภาพที่ดีอยู่เมื่อมองด้วยตาเปล่า (ไม่มีการหลุดลอกของสารเคลือบผิว) ขณะที่เยื่อแผ่นที่ไม่มีการเคลือบผิวจะเกิดการเปื่อยอย่างรวดเร็วที่ความเข้มข้นของน้ำมันเพียง 0.2 %wt เท่านั้น

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการเคลือบผิวเยื่อแผ่นไม่ชอบน้ำ เช่น PTFE และ PVDF ด้วยพอลิเมอร์ชอบน้ำ เช่น Alginic acid (Xu and others, 2005:19-25) และ PVA (Mansouri, 1999:103-120) สามารถช่วยป้องกันการเป็กของเยื่อแผ่นในกระบวนการ OD ได้ดี ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจใช้ไคโตซานซึ่งเป็นสารที่มีความชอบน้ำสูงมาเป็นสารเคลือบผิวเยื่อแผ่น เพื่อศึกษาผลของการเคลือบผิวเยื่อแผ่นที่มีต่อการเป็ก และการเกิดฟาวลิง รวมถึงศึกษาผลที่มีต่อค่าการสูญเสียสารให้กลั่นรส

2. วิธีการทดลอง

2.1 สารเคมี

Chitosan (CS) ของบริษัท เอ็นเอ็นซี โปรดักส์, Acetic acid ของบริษัท LAB-SCAN, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ของบริษัท VolChem, Limonene และ Formaldehyde (FM) ของบริษัท Sigma Aldrich, Ethyl acetate ของบริษัท BDH, Ethyl hexanoate และ Ethanol ของบริษัท Merck และ NaOH ของบริษัท CARLO ERBA

2.2 เยื่อแผ่นที่ใช้

งานวิจัยนี้ใช้เยื่อแผ่นเส้นใยกลวงทำจาก polyvinylidene fluoride (PVDF) ผลิตโดยบริษัท Memcor (South Windsor, New South Wales, Australia) ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 800 μm เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 1300 μm ขนาดรูพรุน 0.2 μm และเป็นเยื่อแผ่นที่ไม่ชอบน้ำ ส่วนโมดูลทำมาจากแก้วมีความยาว 250 mm และมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 8 mm โดยใน 1 โมดูลบรรจุเยื่อแผ่นเส้นใยกลวงจำนวน 15 เส้น ความยาวของเยื่อแผ่นเส้นใยกลวงที่ใช้ในการถ่ายเทมวล คือ 225 mm คิดเป็นพื้นที่ในการถ่ายเทมวลเท่ากับ 0.01378 m^2

2.3 การเคลือบผิวเยื่อแผ่นด้วยไคโตซาน

2.3.1 การเตรียมสารละลายเคลือบผิว

ละลายไคโตซานในสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 2 %wt โดยมีความเข้มข้นของไคโตซาน 0.1, 0.5, 1, 2%w/v ซึ่งเป็นช่วงความเข้มข้นที่ใช้ในงานวิจัยของ Tsai และคณะ ทำการกวนให้ไคโตซานละลายเป็นเวลา 20 นาที จากนั้นจึงนำไปกรองเพื่อกำจัดสิ่งเจือปนในไคโตซานออก จนได้สารละลายไคโตซานที่พร้อมจะนำไปใช้ในการเคลือบผิว

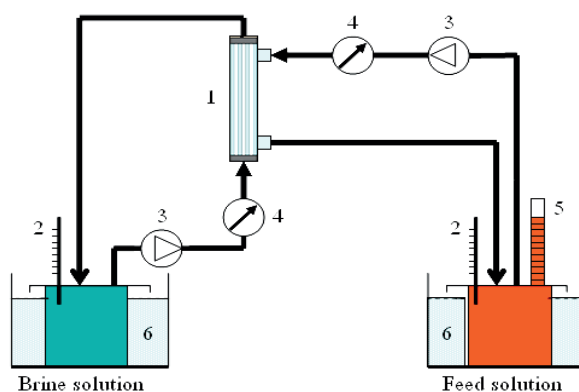
2.3.2 วิธีการเคลือบผิวเยื่อแผ่น

ในงานวิจัยนี้จะทำการเคลือบผิวเยื่อแผ่น PVDF ชนิดเส้นใยกลวง ด้วยวิธีการ Dip-coating โดยจะนำเยื่อแผ่นมาจุ่มลงในสารละลายเคลือบผิวเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นจึงนำออกมาทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 60 นาที เพื่อให้เกิดความสม่ำเสมอในการเคลือบมากขึ้น ก่อนนำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 45, 50 และ 55 องศาเซลเซียส ที่แต่ละอุณหภูมิเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (Tsai and others, 2008:146-155) เพื่อระเหยตัวทำละลายออก นำเยื่อแผ่นที่ได้มาแช่ลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 4 %w/v ในสารละลายเอทานอล 50 %v เป็นเวลา 60 นาที เพื่อทำให้ฟิล์มของไคโตซานอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ จากนั้นนำมาแช่ลงในสารละลายเอทานอล 50 %v เป็นเวลา 5 นาที ก่อนนำไปล้างด้วยน้ำสะอาดอีก 3-4 ครั้ง เพื่อกำจัดสารปนเปื้อนออกให้หมด จึงนำเยื่อแผ่นที่ได้ไปทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง ก่อนนำไปใช้งานต่อไป

2.4 การตรวจสอบคุณสมบัติของเยื่อแผ่น

2.4.1 การวัดฟลักซ์น้ำ

ทำการติดตั้งเยื่อแผ่นในชุดทดลองดังภาพประกอบ 1 โดยสารป้อนจะถูกปั๊มด้วย Peristaltic pump จาก Feed tank ไปที่ด้าน tube และป้อนสารละลายเกลือไปที่ด้าน shell ของเส้นใยรูพรุน ผ่าน Flow meter ควบคุมอัตราการไหลของสารป้อนและสารละลายเกลือที่ 455.3 และ 452.4 ml/min ตามลำดับ ซึ่งทำให้ความเร็วของสารป้อนและสารละลายเกลืออยู่ที่ 0.25 และ 1 m/s ตามลำดับ ซึ่งมีระบบด้านป้อนเป็นระบบปิด ทำให้สามารถรักษาระดับน้ำที่ปิดได้ ควบคุมอุณหภูมิของทั้งสองด้านไว้ที่ 25 °C โดยบันทึกระดับน้ำที่ลดลงของปิเปตทางด้านสารป้อนทุกๆ 5 นาที ทำการวัดค่าฟลักซ์น้ำของแต่ละเยื่อแผ่นซ้ำมากกว่า 3 ครั้ง แล้วคัดเลือกข้อมูลที่ได้มาใช้อธิบายผล



ภาพประกอบ 1 ชุดทดลองในกระบวนการ OD (1) Hollow fiber module (2) Thermometer (3) Peristaltic pump (4) Flow meter (5) Pipette (6) อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ

2.4.2 ค่าร้อยละการสูญเสีย Ethyl acetate และ Ethyl hexanoate ของเยื่อแผ่น

ในการหาค่าร้อยละการสูญเสียของ Ethyl Acetate และ Ethyl hexanoate 500 mg/l จะทำการเก็บตัวอย่างสารละลายด้านรีเทนเทท ทั้งก่อนและหลังจากผ่านกระบวนการเป็นเวลา 7 ชั่วโมง จากนั้นวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ Ethyl acetate และ Ethyl hexanoate ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC-14B) ซึ่งใช้ Column J&W DB-Wax ในวิเคราะห์แบบไอโซเทอร์มอล โดยตั้งอุณหภูมิที่ Injector 230 °C อุณหภูมิที่ Detector 250 °C (FID) และตั้งอุณหภูมิของ Oven 40 °C สำหรับวิเคราะห์ Ethyl acetate และ 65 °C สำหรับวิเคราะห์ Ethyl hexanoate นำค่าความเข้มข้นที่ได้มาคำนวณค่าร้อยละการสูญเสียสารให้กลิ่นรส

2.4.3 ลักษณะการยึดเกาะของสารเคลือบผิวที่ผิวหน้ารูพรุน

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารเคลือบผิวโคโคซานที่มีต่อลักษณะการยึดเกาะของโคโคซานในโครงสร้างรูพรุน โดยการตรวจสอบโครงสร้างของเยื่อแผ่นด้วยเครื่อง Scanning electron microscopy (SEM)

2.4.4 ตรวจสอบการเชื่อมขวางของสารเคลือบผิว

ในการตรวจสอบการเคลือบผิวของโคโคซาน และการเชื่อมขวางของสารเคลือบผิว จะวิเคราะห์ได้จากเครื่อง Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy โดยสังเกตจากหมู่ฟังก์ชันและพันธะที่เกิดขึ้นในเยื่อแผ่น

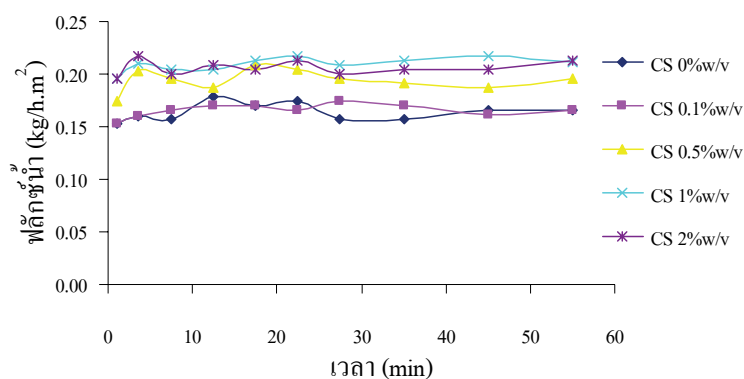
2.4.5 ตรวจสอบการเปื่อยของเยื่อแผ่น

ตรวจสอบโดยนำสารละลายด้านรีเทนเทมาไคเตรดด้วยสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO_3) เข้มข้น 0.0124 M โดยใช้สารละลายโพแตสเซียมโครเมต (K_2CrO_4) เป็นอินดิเคเตอร์ หากเยื่อแผ่นเกิดการเปื่อยจะได้ตะกอนสีขาว (AgCl) ออกมา และในกรณีที่ไมเกิดการเปื่อยจะได้ตะกอนสีแดง (Ag_2CrO_4)

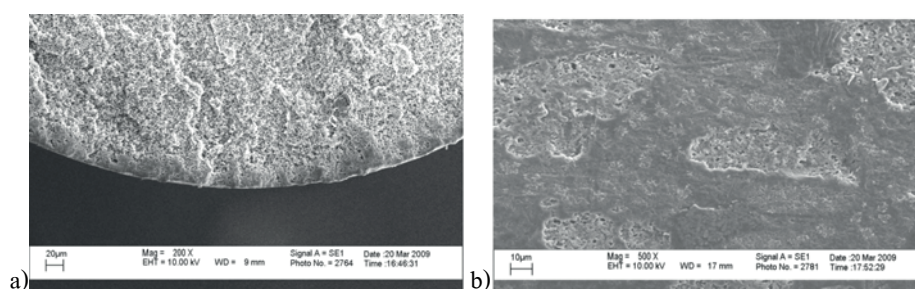
3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ผลของการเคลือบผิวเยื่อแผ่นที่มีต่อค่าฟลักซ์น้ำ

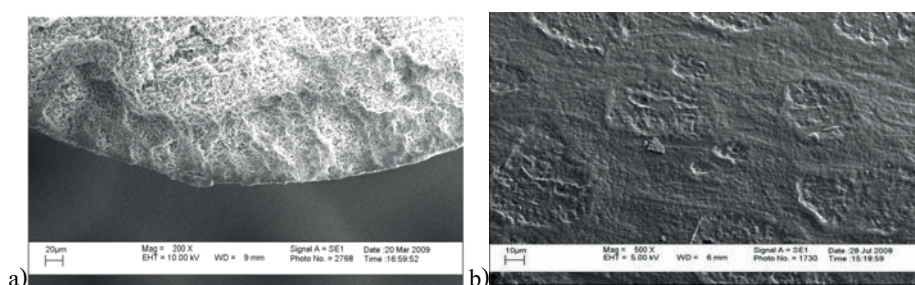
จากการเคลือบผิวเยื่อแผ่นด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน สามารถแสดงความสัมพันธ์ของค่าฟลักซ์น้ำที่ผ่านเยื่อแผ่นกับเวลาได้ ดังภาพประกอบ 2 และตรวจสอบการยึดเกาะของไคโตซานด้วยเครื่อง Scanning electron microscopy (SEM) ดังแสดงในภาพประกอบ 3-5



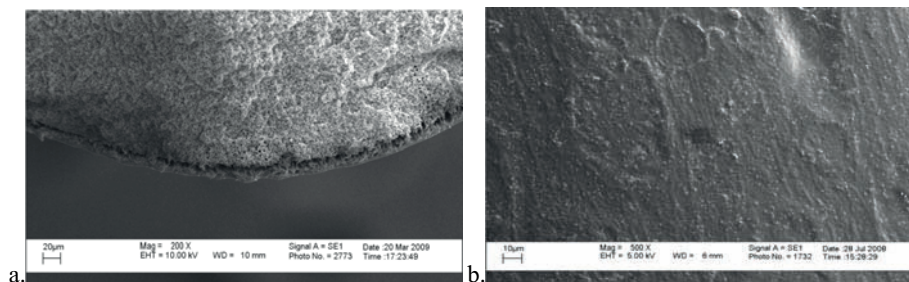
ภาพประกอบ 2 ฟลักซ์น้ำกับเวลา โดยใช้เยื่อแผ่นที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ



ภาพประกอบ 3 a) ภาพหน้าตัดขวาง b) ภาพพื้นผิวของเยื่อแผ่นที่มีการเคลือบผิวด้วยไคโตซานเข้มข้น 0.1 %w/v



ภาพประกอบ 4 a) ภาพหน้าตัดขวาง b) ภาพพื้นผิวของเยื่อแผ่นที่มีการเคลือบผิวด้วยไคโตซานเข้มข้น 0.5 %w/v



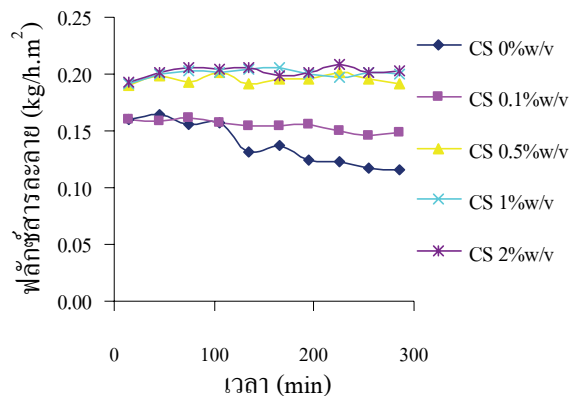
ภาพประกอบ 5 a) ภาพหน้าตัดขวาง b) ภาพพื้นผิวของเยื่อแผ่นที่มีการเคลือบผิวด้วยไคโตซานเข้มข้น 0.2 %w/v

จากผลการทดลองทำให้ทราบว่า ความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานที่เพิ่มขึ้นไม่ได้ทำให้ฟลักซ์น้ำมีค่าลดลง ในทางตรงกันข้ามกลับพบว่าค่าฟลักซ์น้ำที่ผ่านเยื่อแผ่นมีค่ามากขึ้น ดังแสดงในภาพประกอบ 2 และจากการตรวจสอบการยึดเกาะของไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่า ไคโตซานสามารถยึดเกาะกับเยื่อแผ่นได้ โดยไคโตซานจะปกคลุมพื้นผิวของเยื่อแผ่นได้บางส่วนที่ความเข้มข้นของไคโตซาน 0.1 %w/v ดังภาพประกอบ 3b. และเมื่อใช้ความเข้มข้นของไคโตซาน 0.5 %w/v จะเห็นว่าไคโตซานได้ปกคลุมพื้นผิวเยื่อแผ่นได้หมดจนมองไม่เห็นรูพรุนของ เยื่อแผ่นดังภาพประกอบ 4b. และเมื่อใช้ความเข้มข้นของไคโตซานที่ 2 %w/v พบว่า เกิดชั้นฟิล์มหนาที่ผิวหน้าของเยื่อแผ่นมากขึ้น

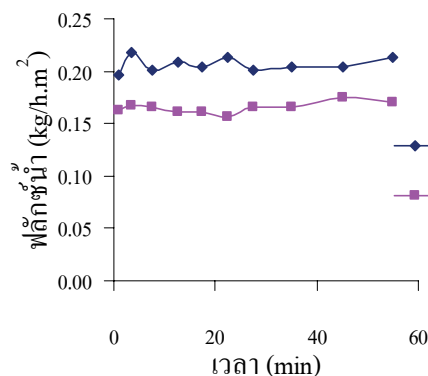
เมื่อเปรียบเทียบผลของค่าฟลักซ์น้ำ กับลักษณะการยึดเกาะของไคโตซานที่เกิดขึ้น สามารถอธิบายได้ว่าการเคลือบผิวเยื่อแผ่นด้วยไคโตซานได้ช่วยเพิ่มความขรุขระให้กับเยื่อแผ่นที่บริเวณผิวหน้า ลดแรงผลักระหว่างเยื่อแผ่นกับน้ำ ทำให้น้ำสามารถแพร่ผ่านเยื่อแผ่นรูพรุนได้ดีขึ้น ส่งผลให้ค่าฟลักซ์สูงขึ้นกว่าเยื่อแผ่นที่ไม่มีการเคลือบผิว โดยการเคลือบผิวด้วยไคโตซานที่มีความเข้มข้นสูงกว่า 0.5 %w/v จะให้ค่าฟลักซ์ที่ใกล้เคียงกัน

3.2 ผลของการเคลือบผิวเยื่อแผ่นที่มีต่อการป้องกันการเปื่อย

ได้ทำการทดสอบการเปื่อยของเยื่อแผ่นโดยนำไปผ่านกระบวนการ OD โดยใช้ Limonene เข้มข้น 2%v เป็นสารป้อนของระบบ ทำการเก็บตัวอย่างสารละลายด้านรีเทนเททไปทดสอบดูการเปื่อยของเยื่อแผ่นหลังผ่านไป 5 ชั่วโมง พบว่า เยื่อแผ่นที่มีการเคลือบผิวจะไม่เกิดการเปื่อยสลายขึ้น เพราะไม่พบการซึมผ่านของเกลือมาทาง ด้านรีเทนเททเลย ซึ่งต่างกับเยื่อแผ่นที่ไม่มีการเคลือบผิวจะเกิดการเปื่อยขึ้นชัดเจน โดยสามารถวัดความเข้มข้นของเกลือที่ซึมผ่านออกมาทางด้านรีเทนเททได้ถึง 18.86 mg/l สามารถแสดงผลของฟลักซ์น้ำที่เวลาต่างๆ ได้ดังภาพประกอบ 6 พบว่าค่าฟลักซ์น้ำมีค่าลดลงจากเดิมสำหรับเยื่อแผ่นที่ไม่มีการเคลือบผิว แต่แทบจะไม่ลดลงเลยสำหรับเยื่อแผ่นที่ผ่านการเคลือบผิวแล้ว



ภาพประกอบ 6 ฟลักซ์น้ำกับเวลา โดยใช้เยื่อแผ่นที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างๆ



ภาพประกอบ 7 ฟลักซ์น้ำกับเวลา ก่อน และหลังจากแช่เยื่อแผ่นเคลือบผิวด้วยไคโตซาน 2 %w/v ในสารละลาย limonene 4 %v เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

ในการทดสอบความสามารถในการป้องกันการเปียกในระยะยาวของเยื่อแผ่นที่มีการเคลือบผิว โดยการแช่เยื่อแผ่นทั้งที่ไม่เคลือบผิวและเคลือบผิวด้วยไคโตซาน 2%w/v ในสารละลาย limonene เข้มข้น 4%v เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำมาวัดฟลักซ์น้ำอีกครั้ง พบว่าเยื่อแผ่นที่เคลือบผิวสามารถรักษาคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำไว้ได้ แม้ค่าฟลักซ์น้ำจะลดลงจาก 0.206 มาอยู่ที่ 0.165 kg/h.m² ดังแสดงในภาพประกอบ 7 ในขณะที่เยื่อแผ่นที่ไม่มีการเคลือบผิวมีค่าฟลักซ์ลดลงเป็นศูนย์ และสูญเสียคุณสมบัติไม่ชอบน้ำชัดเจน สามารถตรวจพบปริมาณเกลือได้ถึง 0.578 กรัม ที่เวลา 15 นาทีแรกของการทดลอง

3.4 ผลของการเคลือบผิวเยื่อแผ่นที่มีต่อการสูญเสียสารให้กลิ่นรส

ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบค่าฟลักซ์ของน้ำ (J_w) และสารให้กลิ่นรส (J_v) สำหรับเยื่อแผ่นที่มีการเคลือบผิวด้วยไคโตซานเข้มข้น 2%w/v และเยื่อแผ่นที่ไม่มีการเคลือบผิว ซึ่งสามารถแสดงผลได้ดังตาราง 1 และ 2

ตาราง 1 เปรียบเทียบค่าฟลักซ์ของน้ำ ค่าฟลักซ์ของ Ethyl acetate และค่าร้อยละการสูญเสียในกระบวนการ OD ของสารละลาย Ethyl acetate 500 ppm เป็นเวลา 7 ชั่วโมง

ชนิดของเยื่อแผ่น	ฟลักซ์น้ำเฉลี่ย (kg/h.m ²)	ฟลักซ์ Ethyl acetate (kg/h.m ²)	%Volatile Loss	Jv/Jw
ไม่เคลือบไคโตซาน	0.1425	1.821×10^{-3}	28.06	0.0124
เคลือบไคโตซาน 2%w/v	0.1874	1.613×10^{-3}	24.87	0.0086

ตาราง 2 เปรียบเทียบค่าฟลักซ์ของน้ำ ค่าฟลักซ์ของ Ethyl hexanoate และค่าร้อยละการสูญเสียในกระบวนการ OD ของสารละลาย Ethyl hexanoate 500 ppm เป็นเวลา 7 ชั่วโมง

ชนิดของเยื่อแผ่น	ฟลักซ์น้ำเฉลี่ย (kg/h.m ²)	ฟลักซ์ Ethyl hexanoate (kg/h.m ²)	%Volatile Loss	Jv/Jw
ไม่เคลือบไคโตซาน	0.1299	6.003×10^{-3}	94.86	0.0462
เคลือบไคโตซาน 2%w/v	0.1695	5.787×10^{-3}	91.44	0.0341

ดังตาราง 1 และ 2 จะเห็นได้ว่า เยื่อแผ่นที่นำมาทดสอบทั้งสองชนิด มีค่าฟลักซ์ (J_v) และร้อยละการสูญเสีย Ethyl acetate ในปริมาณไม่ต่างกันมาก โดยเยื่อแผ่นที่ไม่มีการเคลือบผิวด้วยไคโตซาน 2%w/v มีค่าสูงกว่าเล็กน้อย กล่าวได้ว่าสารเคลือบผิวไคโตซานสามารถกักกันโมเลกุลของ Ethyl acetate และ Ethyl hexanoate ไว้ได้ส่วนหนึ่ง เมื่อทำการเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างค่าฟลักซ์ของสารให้กลั่นรกับค่าฟลักซ์ของน้ำ (J_v/J_w) จะพบว่าเยื่อแผ่นที่มีการเคลือบผิวมีความเหมาะสมในการนำไปใช้งานมากกว่า เพราะสามารถให้โมเลกุลน้ำแพร่ผ่านได้ดีกว่าเยื่อแผ่นที่ไม่มีการเคลือบผิว และกักกันสารให้กลั่นรในกระบวนการได้มากกว่า

4. สรุปผลการทดลอง

เยื่อแผ่นที่มีการเคลือบผิวด้วยไคโตซานสามารถป้องกันการเปื่อยได้ดี และลดการสูญเสียสารให้กลั่นรได้ในปริมาณหนึ่ง โดยเยื่อแผ่นที่ทำการเคลือบผิวด้วยไคโตซานเข้มข้น 2%w/v สามารถรักษาคุณสมบัติไม่ชอบน้ำของเยื่อแผ่นในสารละลาย limonene เข้มข้น 4 %w/v ได้เป็นเวลาอย่างน้อย 48 ชั่วโมง การเคลือบผิวเยื่อแผ่นด้วยไคโตซานไม่ได้ทำให้ค่าฟลักซ์น้ำที่ผ่านเยื่อแผ่นลดลง แต่กลับทำให้ค่าฟลักซ์ของเยื่อแผ่นมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย งานวิจัยนี้ช่วยเพิ่มคุณค่าของไคโตซาน โดยนำมาช่วยลดข้อด้อยของเยื่อแผ่นในกระบวนการกลั่นแบบออสโมติกได้ในหลายด้าน จึงเป็นที่น่าสนใจอย่างยิ่งในการศึกษาเพิ่มเติมกับเยื่อแผ่นชนิดอื่นๆ เพื่อเป็นการส่งเสริมอุตสาหกรรมน้ำผลไม้ให้มีความล้ำหน้ามากขึ้น

5. รายการอ้างอิง

รัตนา จิระรัตนานนท์, 2543. กระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ พิมพ์ครั้งที่ 2, ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงพิมพ์ไทยเส็ง.

- Barbe, A.M., Bartley, J.P., Jacobs, A.L., Johnson, R.A., 1998. "Retention of volatile organic flavour/fragrance compound in the concentration of liquid foods by osmotic distillation." **Journal of Membrane Science**. 145: 67-75.
- Bui V.A., Nguyen M.H., Muller J., 2004. "A laboratory study on glucose concentration by osmotic distillation in hollow fibre module." **Journal of Food Engineering**. 63: 237-245.
- J. Mansouri, A.G. Fane, 1999. "Osmotic distillation of oily feeds." **Journal of Membrane Science**. 153: 103-120.
- Tsai, H.A., Chen, W.H., Kuo, C.Y., Lee, K.R., Lai, J.Y., 2008. "Study on the pervaporation performance and long-term stability of aqueous *iso*-propanol solution through chitosan/polyacrylonitrile hollow fiber membrane." **Journal of Membrane Science**. 309: 146-155.
- Xu J.B., Spittler D.A., Bartley J.P., Johnson R.A., 2005. "Alginic acid-silica hydrogel coating for osmotic distillation membranes against wet-out by surface-active agents." **Journal of Membrane Science**. 260: 19-25.

การบำบัดน้ำเสียจากการผลิตเอทานอล โดยระบบบำบัดแบบไร้อากาศสองขั้นตอน :

ผลของอัตราภาระสารอินทรีย์

**WASTEWATER TREATMENT FROM ETHANOL DISTILLERY PROCESS
BY TWO-PHASE ANAEROBIC TREATMENT
: EFFECT OF ORGANIC LOADING RATE**

ฤทธิชัย รัตนมุกดา¹

ศรัณย์ เตชะเสน²

¹ นิสิตบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

E-mail : lekuser@hotmail.com

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย E-mail : Sarun.T@chula.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอัตราภาระสารอินทรีย์ที่มีต่อประสิทธิภาพและการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศสองขั้นตอน ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอล โดยใช้ถังสร้างกรดชนิดถังกวนผสมสมบูรณ์ ขนาด 1.7 ลิตร ต่ออนุกรมกับถังสร้างมีเทนชนิดยูเอสบี ขนาด 10 ลิตร โดยใช้ถังสร้างกรดมีระยะเวลา กักน้ำนาน 12 ชั่วโมง และถังสร้างมีเทนชนิดยูเอสบีมีระยะเวลากักน้ำนาน 2.8 วัน ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบประมาณ 66,354 มก./ล. และความเร็วไหลขึ้นในถังยูเอสบี เท่ากับ 0.5 ม./ชม. การทดลองกระทำที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 3.8 , 7.0 , 10.0 และ 11.7 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ โดยการเจือจางน้ำเสียด้วยน้ำประปาให้มีความเข้มข้นชีโอดีเท่ากับ 12,532 23,453 33,653 และ 39,015 มก./ล. ตามลำดับ อัตราสูบน้ำเข้าระบบเท่ากับ 3.5 ลิตร/วัน คงที่ตลอดการทดลอง

ผลการวิจัยจากการทดลองที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 3.8 , 7.0 , 10.0 และ 11.7 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 3.8 – 10.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีละลายได้ของถังสร้างกรดเท่ากับ 12.0 – 21.8% ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีละลายได้เท่ากับ $57.8 \pm 0.3\%$ ปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำทิ้งจากถังยูเอสบี 515 – 1,866 มก./ล.(ในเทอมของกรดอะซิติก) อัตราการผลิตก๊าซมีเทนประมาณ 0.24 - 0.31 ลิตร/กรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด และที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 11.7 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีละลายได้ของถังสร้างกรดเท่ากับ 21.4% ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีละลายได้เท่ากับ 39.1% ปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำทิ้งจากถังยูเอสบี 2,575 มก./ล.(ในเทอมของกรดอะซิติก) อัตราการผลิตก๊าซมีเทนประมาณ 0.22 ลิตร/กรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า การใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศสองขั้นตอน ในการบำบัดน้ำเสียจากการผลิตเอทานอลนั้นมีข้อจำกัดในเรื่องการสะสมของกรดไขมันระเหยและการหลุดและแตกออกของ

เมื่อตะกอนจุลินทรีย์ เมื่ออัตราภาระสารอินทรีย์มีค่าสูงเกินไป กล่าวคือ ระบบจะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพจนถึงอัตราภาระสารอินทรีย์ไม่เกิน 10.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่ระบบมีค่ากรดไขมันระเหยในระดับที่ยังไม่ส่งผลต่อระบบ จากนั้นระบบมีแนวโน้มที่จะมีประสิทธิภาพลดลงอย่างรวดเร็วเมื่ออัตราภาระสารอินทรีย์มีค่าเพิ่มมากขึ้น

คำสำคัญ : การย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน ถึงปฏิกิริยาสร้างกรด ถึงปฏิกิริยาเอเอสบี กระบวนการสร้างกรด กระบวนการสร้างมีเทน

ABSTRACT

The aim of this research was to study the performance of two-phase Anaerobic treatment in treating wastewater from ethanol distillery process, using 1.7 L-CSTR acidification tank connected with 10 L-UASB tank in series. The retention time of acidification tank and UASB tank was 12 hours and 2.8 d, respectively, using 0.5 m/hr upflow velocity and MLSS concentration 66,354 mg/l. Organic loading rates were 3.8, 7.0, 10.0 and 11.7 kgCOD/m³-d. Real wastewater were diluted in tap water to obtain the COD concentration of 12532, 23453, 33653, and 39015 mg/l. While the flowrate was kept constant at 3.5 l/d throughout all experiments.

From the experiment, at organic loading rate of 3.8 – 10.0 kg COD/m³-d, the soluble COD removal efficiencies of the acidification tank were 12.0 – 21.8%. The soluble COD removal efficiencies were 57.8 ± 0.3 %. The effluent VFA were 515 – 1866 mg/l (as CH₃COOH). Methane yield were approximate 0.24 - 0.31 l/g COD removed. At organic loading rate of 11.7 kgCOD/m³-d, the soluble COD removal efficiency of the acidification tank was 21.7%. The soluble COD removal efficiency was 39.1%. The effluent VFA was 2575 mg/l (as CH₃COOH). Methane yield was approximate 0.22 l/g COD removed

In conclusion, two-phase Anaerobic treatment treating wastewater from ethanol distillery process had limitation VFA accumulation and washing out of granules when the organic loading rate was too high i.e. the system would work efficiently to reach the organic loading rate of 10.0 kgCOD/m³-d. The organic loading rate of 10.0 kgCOD/m³-d was the highest operating value without VFA accumulation effect. After that the system efficiency tended to decrease when the organic loading rate increased.

KEYWORDS : Anaerobic digestion; Acidification tank; UASB; Acidogenesis; Methanogenesis

1. บทนำ

เนื่องจากแนวโน้มราคาน้ำมันเชื้อเพลิงในตลาดโลกมีราคาที่สูงขึ้น ประเทศไทยจึงพยายามพึ่งพาตนเองโดยใช้พลังงานทดแทน ที่สามารถผลิตได้เองเพื่อลดปริมาณการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ เช่นการใช้เอทานอลเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงโดยผสมเข้ากับน้ำมันเบนซินกลายเป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์ การผลิตเอทานอล 1 ลบ.ม. จะเกิดน้ำเสียประมาณ 10 ลบ.ม. และมีค่าชีโอดีสูงประมาณ 80,000-100,000 มก./ล. มีพีเอชต่ำ

กลิ่นแรง และมีสีน้ำตาลเข้ม นอกจากนั้นในน้ำเสียยังมีธาตุอาหาร เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม
อีกเป็นจำนวนมาก

การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอลด้วยระบบไร้ออกซิเจนเป็นที่นิยมใช้กันมาก เช่น ระบบบ่อ
แต่ก็มีปัญหาจากการใช้พื้นที่มาก ปัญหาเรื่องกลิ่น และการปนเปื้อนน้ำใต้ดิน ส่วนระบบอัตราสูง(High Rate)
นิยมใช้กันมากเช่นกัน และมีข้อได้เปรียบระบบบ่อในเรื่องการประหยัดพื้นที่ และมีประสิทธิภาพของระบบ
สูงกว่า เนื่องจากถึงปฏิกริยาแบบอัตราสูงมีข้อดีคือเวลากักน้ำและเวลากักตะกอนไม่เกี่ยวข้องกัน ทำให้จุลชีพ
แบบไร้ออกซิเจนซึ่งเจริญเติบโตช้าสามารถอยู่ได้ในถึงปฏิกริยา โดยไม่ขึ้นกับอัตราการไหลของน้ำเสีย
แต่เนื่องจากระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน มีวิธีการย่อยสลายที่ซับซ้อน ยากต่อการทำความเข้าใจ ยากต่อ
การออกแบบและดำเนินการให้ถูกต้องและเหมาะสม ดังนั้นผลการวิจัยในครั้งนี้จะถูกนำไปวิเคราะห์ถึง
พฤติกรรมของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนโดยใช้ระบบยูเอเอสบีสองขั้นตอน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง
อัตราภาระสารอินทรีย์ ซึ่งทำให้สามารถใช้ค่าที่ได้จากการทดลองเพื่อการออกแบบและควบคุมการทำงานของ
ระบบบำบัดน้ำเสียจริง ทำให้สามารถออกแบบได้อย่างเหมาะสมและประหยัดรวมถึงสามารถวางแผนการ
ดำเนินการควบคุมระบบได้อย่างเหมาะสมและคุ้มค่าที่สุด

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของอัตราภาระสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate) ที่มีต่อการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย
แบบไร้ออกซิเจนสองขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียจากการผลิตเอทานอล

3. วิธีการวิจัย

3.1 การเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ (Start-up)

ในการวิจัยนี้ได้หัวเชื้อจุลินทรีย์มาจากบริษัท เสริมสุข จำกัด โดยเชื้อจุลินทรีย์มีลักษณะเป็นเม็ดและเป็น
ชั้นตะกอนแขวนลอย (Sludge Blanket) ปนกัน ซึ่งเม็ดจุลินทรีย์มีขนาดประมาณ 1.0 – 3.0 มม. นำไปใส่ในถัง
ยูเอเอสบีที่ใช้ทดลอง ประมาณ 4 ลิตร (ประมาณ 40 % ของปริมาตรถัง) จากนั้นจึงเริ่มป้อนน้ำเสีย โดยใช้น้ำเสีย
จริงจากโรงงานผลิตเอทานอลด้วยกากน้ำตาลในเขตจังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งมีความเข้มข้นซีโอดีประมาณ 160000
มก./ล. และมีพีเอชเท่ากับ 4 โดยน้ำเสียจะถูกเจือจางจนมีความเข้มข้นซีโอดี 1000 มก./ล. (Lettinga & Hulshoff
Pol, 1991 : 87-107) และปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 6.8 - 7.2 (Cohen, 1980 : 1439-1448) โดยใช้โซเดียม
ไบคาร์บอเนต ที่ค่าอัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 0.30 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แล้วจึงเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเสียที่
ป้อนเข้าสู่ถังยูเอเอสบีให้สูงขึ้นตามลำดับ ส่งผลให้อัตราภาระสารอินทรีย์สูงขึ้นตามไปด้วยใช้เวลาประมาณ 40
วัน จนถึงค่าอัตราภาระสารอินทรีย์ 3.8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน จากนั้นจึงทำการต่อถังสร้างกรดและถังสร้างมีเทน
เข้าด้วยกัน โดยในการทดลองนี้ใช้ถังสร้างกรดชนิดถังกวนผสมสมบูรณ์ ขนาด 1.7 ลิตร ต่ออนุกรมกับถังสร้าง
มีเทนชนิดยูเอเอสบี ขนาด 10 ลิตร โดยถังสร้างกรดมีระยะเวลาพักน้ำนาน 12 ชั่วโมง (Dinopoulou and Lester,
1989 : 799-814) โดยคุมพีเอชไว้ที่ 5.9 ± 0.1 (Zoetemeijer and others, 1982 : 303-311) และถังสร้างมีเทนชนิด
ยูเอเอสบี มีระยะเวลากักน้ำนาน 2.8 วัน (Metcalf & Eddy, 2004) ความเร็วไหลขึ้นในถังยูเอเอสบี เท่ากับ 0.5

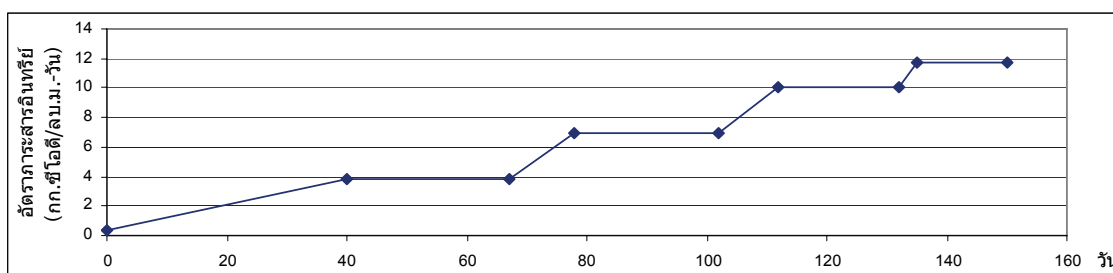
ม./ชม. (Lettinga and others, 1980 : 699-734) โดยใช้เครื่องสูบน้ำหมุนเวียนน้ำจากทางออกมาผสมกับน้ำเสียที่ทางเข้าถังยูเอสบี

3.2 ทำการเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์

เนื่องจากน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นน้ำเสียจริงจากหอกลั่นของโรงงานผลิตเอทานอลในเขตจังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งมีค่าซีโอดีประมาณ 140,000 – 170,000 มก./ล. ดังนั้นจะต้องนำมาเจือจางด้วยน้ำประปาให้มีค่าซีโอดีประมาณ 12,532 23,453 33,653 และ 39,015 มก./ล. ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 3.8 7.0 10.0 และ 11.7 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 1 ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ตลอดการทดลองแสดงดังภาพประกอบ 1 ใช้อัตราสูบน้ำเข้าระบบเท่ากับ 3.5 ลิตร/วัน คงที่ตลอดการทดลอง และมีการปรับพีเอช ซึ่งเดิมสภาพค่าพีเอชโดยเฉลี่ยเดิมไปคาร์บอนเตและส่วนประกอบของสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย (Speece, 1996)

ตาราง 1 การเปลี่ยนแปลงอัตราภาระสารอินทรีย์โดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นซีโอดี

ช่วงการทดลองที่	เวลา (วัน)	ซีโอดี (มก./ล.)	เวลากักน้ำ (วัน)	อัตราภาระสารอินทรีย์ (กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	อัตราการเวียนน้ำกลับ (Q_{RE}/Q_{IN})	พีเอชในถังสร้างกรด
1	1 – 67	12,532	3.3	3.8	0	5.9 ± 0.1
2	68 - 102	23,453	3.3	7.0	0	5.9 ± 0.1
3	103 - 132	33,653	3.3	10.0	0	5.9 ± 0.1
4	133 - 150	39,015	3.3	11.7	0	5.9 ± 0.1



ภาพประกอบ 1 แสดงระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองในแต่ละอัตราภาระสารอินทรีย์

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

4.1 ผลการวิจัยที่อัตราภาระสารอินทรีย์ต่างๆ

ผลการวิจัยแสดงโดยตาราง 2 ซึ่งจะแสดงรายละเอียดพารามิเตอร์ต่างๆ ที่อัตราภาระสารอินทรีย์ 3.8, 7.0, 10.0 และ 11.7 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ประกอบด้วย ค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ ค่าซีโอดีทั้งหมด ค่าพีเอชเฉลี่ยในถังสร้างกรด ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลายได้ในถังสร้างกรด อุณหภูมิในถังยูเอสบี ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมด ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลายได้ ค่าพีเอชเฉลี่ยในถังยูเอสบี

สภาพ่างทั้งหมดเฉลี่ยของน้ำทั้งจากถังยูเอสบี ปริมาณกรดไขมันระเหยเฉลี่ยของน้ำทั้งจากถังยูเอสบี ค่าตะกอนแขวนลอยเฉลี่ยของน้ำทั้งจากถังยูเอสบี อัตราการผลิตก๊าซของถังยูเอสบี อัตราการผลิตก๊าซมีเทน ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบเฉลี่ย และค่า MLVSS/MLSS ซึ่งการเก็บตัวอย่างน้ำ มี 3 จุด คือ น้ำเข้า น้ำในถังสร้างกรด และน้ำทิ้ง ทำเก็บตัวอย่างน้ำทุกๆ 2 วัน การวิเคราะห์พารามิเตอร์ทั้งหมด วิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐานสากล (Standard Method for Examination of Wastewater)

ตาราง 2 แสดงรายละเอียดผลงานวิจัยที่อัตราการสสารอินทรีย์ต่างๆ

รายละเอียด	อัตราการสสารอินทรีย์ (กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน)			
	3.8	7.0	10.0	11.7
- อัตราการไหลน้ำเสียเฉลี่ย	3.5	3.5	3.5	3.5
- ค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ	5.29	5.47	6.29	6.31
- ค่าชีโอดีทั้งหมด (มก./ล.)	12,532	2,3453	33,653	39,015
- ค่าพีเอชเฉลี่ยในถังสร้างกรด	5.83	5.90	5.92	5.90
- ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีละลายได้ในถังสร้างกรด (%)	12.0	21.8	21.7	21.4
- อุณหภูมิน้ำเสียในถังยูเอสบี (°C)	26.5	26.1	29.3	29.8
- ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีทั้งหมด (%)	57.9	56.4	56.9	35.0
- ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีละลายได้ (%)	57.6	58.2	57.5	39.1
- ค่าพีเอชเฉลี่ยในถังยูเอสบี	7.23	7.20	7.18	7.01
- สภาพ่างทั้งหมดเฉลี่ยของน้ำทั้งจากถังยูเอสบี (มก./ล. ในเทอมของแคลเซียมคาร์บอเนต)	2,217	5,358	8,443	9,625
- ปริมาณกรดไขมันระเหยเฉลี่ยของน้ำทั้งจากถังยูเอสบี (มก./ล. ในเทอมของกรดอะซิดิก)	515	1,208	1,866	2,575
- ค่าตะกอนแขวนลอยเฉลี่ยของน้ำทั้งจากถังยูเอสบี (มก./ล.)	260	470	575	1,350
- อัตราการผลิตก๊าซมีเทนของถังยูเอสบี (ลิตร/วัน)	4.3	7.3	11.9	4.6
- อัตราการผลิตก๊าซมีเทน (ลิตร/กรัมชีโอดีที่ถูกกำจัด)	0.24	0.25	0.31	0.22
- ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบเฉลี่ย (มก./ล.)	69,176	74,150	64,083	58,006
- ค่า MLVSS/MLSS	0.82	0.82	0.84	0.80

4.2 ความสัมพันธ์ของอัตราการสสารอินทรีย์กับพารามิเตอร์ต่างๆ ในการวิจัย

4.2.1 ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีละลายได้

จากผลการวิจัย ที่อัตราการสสารอินทรีย์เท่ากับ 3.8, 7.0, 10.0 และ 11.7 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน

มีประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีละลายได้เท่ากับ 57.9, 58.1, 57.5 และ 39.1% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า

ประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีละลายได้มีค่าสูงต่อเนื่องจนถึงที่อัตราการสสารอินทรีย์เท่ากับ 10.0 กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน จากนั้นประสิทธิภาพการกำจัดชีโอดีละลายได้จะลดลงเมื่ออัตราการสสารอินทรีย์มีค่าเพิ่มมากขึ้น

ดั่งภาพประกอบ 2.1

4.2.2 พืเอชของน้ำทึงจากถั่งยูเอเอสบี

จากผลการวิจัย ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 3.8, 7.0, 10.0 และ 11.7 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีพืเอชเฉลี่ยของน้ำทึงจากถั่งยูเอเอสบีเท่ากับ 8.47, 7.86, 7.77 และ 7.51 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าพืเอชของน้ำทึงจากถั่งยูเอเอสบีมีค่าลดลงเมื่ออัตราภาระสารอินทรีย์มีค่าเพิ่มมากขึ้น ดั่งภาพประกอบ2.2 เมื่อค่าพืเอชในถั่งสร้างกรณมีค่าคงที่ที่ 5.9 ± 0.1 เนื่องจากการสะสมของปริมาณกรดไขมันระเหยในระบบที่เพิ่มมากขึ้น

4.2.3 ปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำทึงจากถั่งยูเอเอสบี

จากผลการวิจัย ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 3.8, 7.0, 10.0 และ 11.7 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำทึงจากถั่งยูเอเอสบีเท่ากับ 515, 1,208, 1,866 และ 2,575 มก./ล. (ในเทอมของกรดอะซิดิก) ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าปริมาณกรดไขมันระเหยของน้ำทึงจากถั่งยูเอเอสบีมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราภาระสารอินทรีย์มีค่าเพิ่มมากขึ้น ดั่งภาพประกอบ2.3 สอดคล้องกับผลการทดลองในเรื่องค่าพืเอชของน้ำทึงที่ลดลงตามลำดับ

4.2.4 อัตราการผลิตก๊าซมีเทนของถั่งยูเอเอสบี

จากผลการวิจัย ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 3.8, 7.0, 10.0 และ 11.7 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนของถั่งยูเอเอสบีเท่ากับ 4.3, 7.3, 11.9 และ 4.6 ลิตร/วัน ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนของถั่งยูเอเอสบีมีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุดที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 10.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน จากนั้นอัตราการผลิตก๊าซมีเทนของถั่งยูเอเอสบีจะลดลงเมื่ออัตราภาระสารอินทรีย์มีค่าเพิ่มมากขึ้น ดั่งภาพประกอบ2.4 ซึ่งสอดคล้องผลการทดลองในเรื่องประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลายได้

4.2.5 ตะกอนแขวนลอยของน้ำทึงจากถั่งยูเอเอสบี

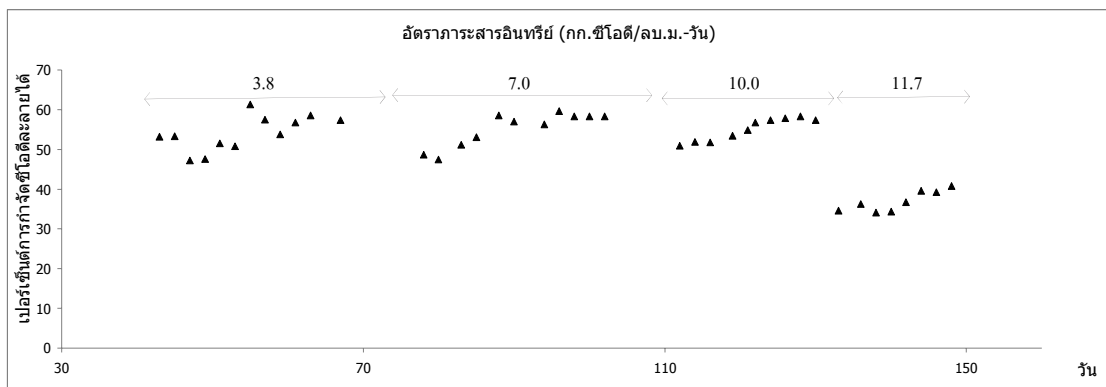
จากผลการวิจัย ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 3.8, 7.0, 10.0 และ 11.7 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีตะกอนแขวนลอยของน้ำทึงจากถั่งยูเอเอสบีเท่ากับ 260, 470, 575 และ 1,350 มก./ล. ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าตะกอนแขวนลอยของน้ำทึงจากถั่งยูเอเอสบีมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากการหลุดออกของตะกอนจุลินทรีย์ เมื่ออัตราภาระสารอินทรีย์มีค่าเพิ่มมากขึ้น ดั่งภาพประกอบ2.5

4.2.6 ปริมาณค่าที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสีย 16 ลิตร

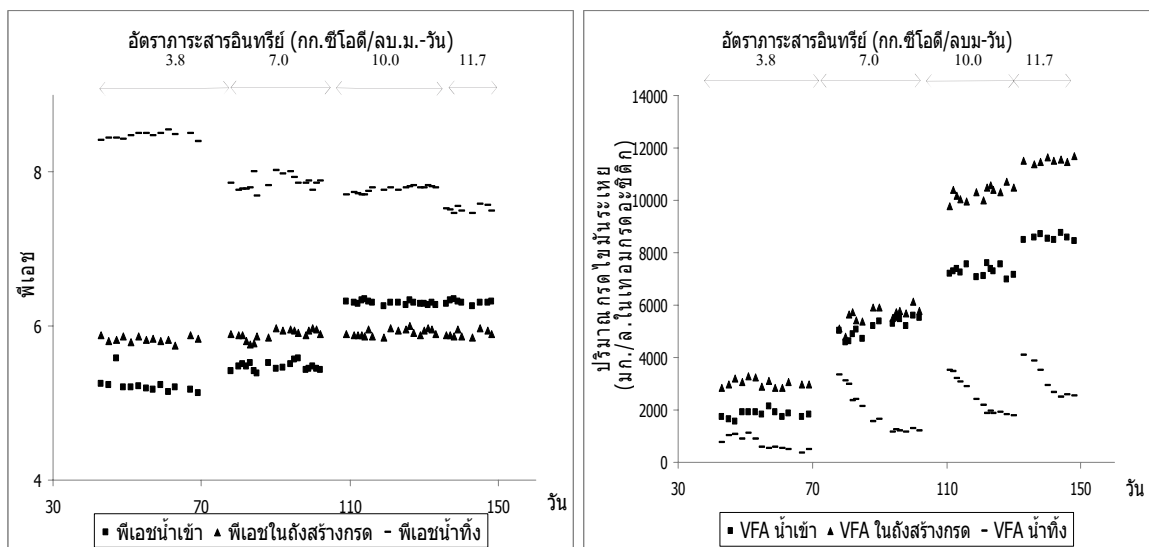
จากผลการวิจัย ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 3.8, 7.0, 10.0 และ 11.7 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน โดยที่ค่าพืเอชในถั่งสร้างกรณมีค่าคงที่เท่ากับ 5.9 ± 0.1 มีการใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตเท่ากับ 40, 70, 115 และ 145 กรัม ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามีการใช้ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนตสูงขึ้น เมื่ออัตราภาระสารอินทรีย์มีค่าเพิ่มมากขึ้น ดั่งภาพประกอบ2.6 เพื่อให้เกิดความสมดุลของอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยได้ต่อสภาพด่างทั้งหมดของระบบ

4.2.7 อัตราส่วนการกำจัดซีโอดีต่อมวลของจุลินทรีย์ในระบบ

จากผลการวิจัย ที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 3.8, 7.0, 10.0 และ 11.7 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีอัตราส่วนการกำจัดซีโอดีต่อมวลของจุลินทรีย์ในระบบเท่ากับ 0.066, 0.096, 0.149 และ 0.092 กรัมซีโอดี/กรัมของมวลจุลินทรีย์ในระบบ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนการกำจัดซีโอดีต่อมวลของจุลินทรีย์ในระบบมีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุดที่อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 10.0 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน จากนั้นอัตราส่วนการกำจัดซีโอดีต่อมวลของจุลินทรีย์ในระบบจะลดลงเมื่ออัตราภาระสารอินทรีย์มีค่าเพิ่มมากขึ้น ดั่งภาพประกอบ2.7 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในเรื่องประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลายได้

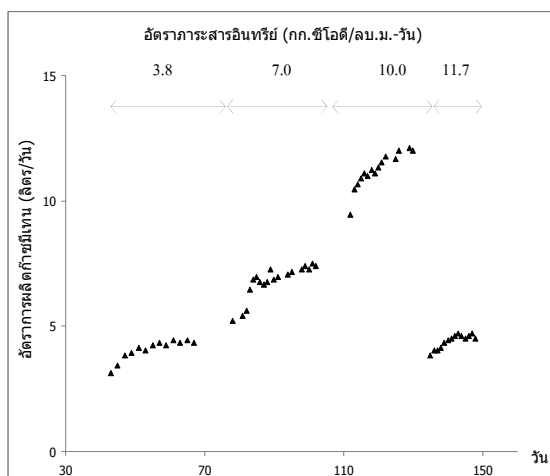


ภาพประกอบ 2.1 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลายได้

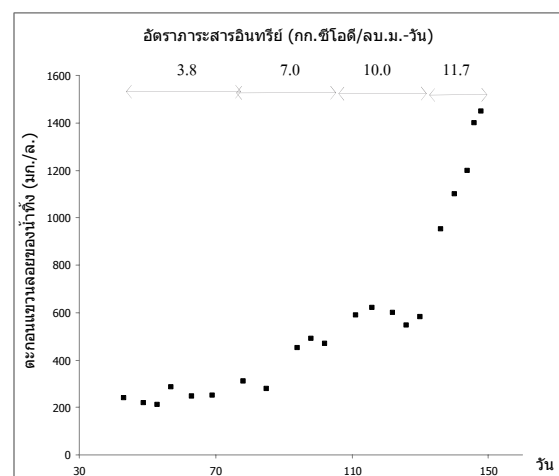


ภาพประกอบ 2.2 พีเอช

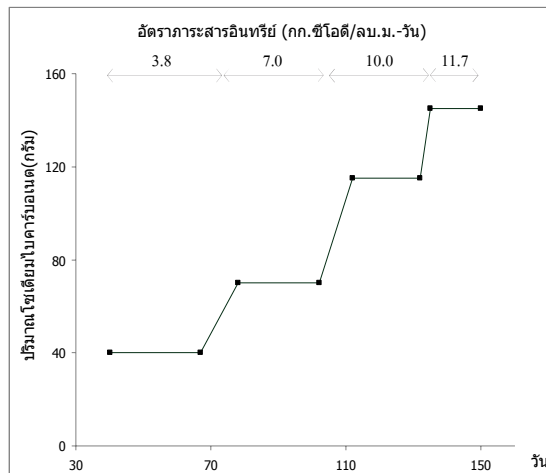
ภาพประกอบ 2.3 ปริมาณกรดไขมันระเหย



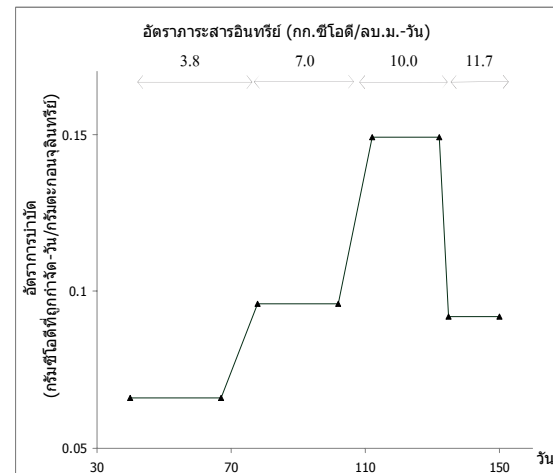
ภาพประกอบ 2.4 อัตราการผลิตก๊าซมีเทน



ภาพประกอบ 2.5 ตะกอนแขวนลอยของน้ำทิ้ง



ภาพประกอบ 2.6 ปริมาณซีไอดีสะสมในคาร์บอนไดออกไซด์



ภาพประกอบ 2.7 อัตราการดูดซับ

ภาพประกอบ 2.1-2.7 ความสัมพันธ์ของอัตราการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์กับพารามิเตอร์ต่างๆ ในการวิจัย

5. สรุปผลการวิจัย

การใช้ระบบยูเอสบีสองชั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียจากการผลิตเอทานอลนั้นมีข้อจำกัดในเรื่องการสะสมของกรดไขมันระเหยและการหลุดและแตกออกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ เมื่ออัตราการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าสูงเกินไป กล่าวคือ ระบบจะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพจนถึงอัตราการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 10 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่ระบบมีค่ากรดไขมันระเหยในระดับที่ยังไม่ส่งผลกระทบต่อระบบ โดยมีปริมาณกรดไขมันระเหย 1,866 มก./ล.(ในเทอมของกรดอะซิติก) และ ตะกอนแขวนลอยของน้ำทิ้งเท่ากับ 575 มก./ล. จากนั้นระบบมีแนวโน้มที่จะมีประสิทธิภาพลดลงเมื่ออัตราการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าเพิ่มมากขึ้น เช่นที่ อัตราการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 11.7 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ค่าปริมาณกรดไขมันระเหยจะสูงถึง 2,575 มก./ล.(ในเทอมของกรดอะซิติก) และค่าตะกอนแขวนลอยของน้ำทิ้งมีค่าสูงถึง 1,350 มก./ล. ซึ่งหมายถึง ที่อัตราการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์นี้ เม็ดตะกอนเริ่มมีการแตกออกและหลุดออกไปกับน้ำทิ้ง ทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลงอย่างมาก ดังนั้น ค่าอัตราการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมในการออกแบบและเดินระบบยูเอสบีสองชั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียจากการผลิตเอทานอลนั้นมีค่าประมาณ 10.0 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน และจากการที่ค่าพีเอชและค่าสภาพด่างทั้งหมดในน้ำทิ้งจากถังยูเอสบีมีค่าค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะลดปริมาณการใช้ด่างลง แต่ระบบยังคงมีเสถียรภาพอยู่ โดยการลดค่าพีเอชในถังสร้างกรดลงหรือการเวียนน้ำทิ้งจากถังยูเอสบีกลับมายังถังสร้างกรด

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้ทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในการทำวิจัย นายกิตติคุณ ตระยานนท์ ในการให้คำปรึกษาการทำวิจัย โรงงานน้ำตาลไทยเอทานอลที่จัดหาข้อมูลในการดำเนินงานวิจัยและให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลต่างๆ บริษัท เสริมสุข จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์หัวเชื้อจุลินทรีย์

7. รายการอ้างอิง

- Cohen A., et al., 1980. "Influence of Phase Separation on the Anaerobic Digestion of Glucose I : Maximum COD-Turn-Over Rate During Continuous Operation". **Wat.Res.** 14 : 1439-1448.
- Dinopoulou G. and Lester J.N., 1989. "Optimization of a two-phase anaerobic digestion system treating a complex wastewater". **Envir. Technol. Lett.** 10 : 799-814.
- Lettinga, G., Van Velson, A.F.M., Hobma, S.W., De Zeeuw, W., and Klapwijk, A. 1980. "Use of the Upflow Sludge Blanket (USB) Reactor Concept of Biological Wastewaters Treatment. Especially for Anaerobic Treatment." **Biotechnology and Bioengineering.**, 22 : 699-734.
- Lettinga, G. and Hulshoff Pol, L.W., 1991. "UASB - Process Design for Variance Types of Wastewaters". **Wat.Sci.Tech.** 24(8) : 87-107.
- Metcalf & Eddy. Inc., 2004. **Wastewater Engineering Treatment and Reuse**. New York : McGraw-Hill.
- Speece, R.E., 1996. **Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewater** : Vanderbilt University.
- Zoetemeyer R.J., van den Heuvel J.C. and Cohen A., 1982. "pH influence on acidogenic dissimilation of glucose in anaerobic digester". **Wat.Res.** 16 : 303-311.

**การปรับปรุงคุณสมบัติของเยื่อแผ่นอัลตราฟิลเตรชัน PES
ด้วย Al_2O_3 เพื่อลดการเกิดฟาวลิง**
**HYDROPHILIC MODIFICATION OF PES ULTRAFILTRATION
MEMBRANE FOR FOULING REDUCTION**

ปิ่นนา หาญณรงค์

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

E-mail : pinnapa_harnna@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มคุณสมบัติของเยื่อแผ่น Polyethersulfone (PES) ด้วย Al_2O_3 เพื่อลดการเกิดฟาวลิงของเยื่อแผ่น เยื่อแผ่นได้ถูกเตรียมโดยวิธีการเปลี่ยนเฟสและเพิ่มความชอบน้ำด้วย 2 วิธีคือ 1) วิธีผสม Al_2O_3 กับ PES ในขั้นตอนการเตรียมเยื่อแผ่นโดยวิธีการเปลี่ยนเฟสและ 2) การเคลือบผิวเยื่อแผ่น PES ด้วย Al_2O_3 ผลการทดลองพบว่า เยื่อแผ่นที่เพิ่มคุณสมบัติของน้ำทั้ง 2 วิธี มีค่าฟลักซ์ ความชอบน้ำ และความสามารถในการป้องกันการเกิดฟาวลิงของเยื่อแผ่นสูงกว่าเยื่อแผ่น PES และการเพิ่มความเข้มข้นของ Al_2O_3 ก็จะส่งผลให้ค่าฟลักซ์ ความชอบน้ำ และความสามารถในการป้องกันการเกิดฟาวลิงของเยื่อแผ่นมีค่าเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกัน เยื่อแผ่นที่เพิ่มคุณสมบัติของน้ำด้วยวิธีการเคลือบผิวเกิดฟาวลิงของโปรตีนต่ำกว่า แต่มีค่าฟลักซ์น้ำ และฟลักซ์สารละลายโปรตีนต่ำกว่าเยื่อแผ่นที่เพิ่มคุณสมบัติของน้ำด้วยวิธีการผสม

คำสำคัญ : คุณสมบัติของน้ำ, โพลีเอเทอร์ซัลโฟน, วิธีการเปลี่ยนเฟส, อลูมินา, อัลตราฟิลเตรชัน,

ABSTRACT

This research was purposed to improve hydrophilicity of polyethersulfone (PES) membrane with alumina (Al_2O_3) for reducing membrane fouling. The membranes were prepared by phase inversion method and increased hydrophilicity by 2 methods; 1) mixing of Al_2O_3 with PES in the step of preparing membrane by phase inversion and 2) coating of PES membrane with Al_2O_3 . It was found that fluxes, hydrophilicity and antifouling properties of membranes improved hydrophilicity by both methods were higher than pure PES membrane. An increase of Al_2O_3 concentration resulted in increasing of fluxes, hydrophilicity and antifouling properties of membrane. Increased hydrophilicity of membrane by coating method resulted in membrane with lower protein fouling but lower water and protein fluxes than membrane increased hydrophilicity by mixing methods.

KEYWORDS : Hydrophilicity, Polyethersulfone (PES), Phase inversion method, alumina (Al_2O_3), Ultrafiltration

1. บทนำ

กระบวนการอัลตราฟิเตรชัน (Ultrafiltration, UF) เป็นกระบวนการเยื่อแผ่นสังเคราะห์ประเภทหนึ่ง ที่นิยมนำมาใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย กระบวนการแยกในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น ผลิตภัณฑ์นม เครื่องดื่ม เป็นต้น แต่ปัญหาสำคัญที่พบในกระบวนการอัลตราฟิเตรชัน คือ การเกิดคอนเซนเตรชันโพลาไรเซชัน (Concentration Polarization, CP) และการเกิดฟาวลิง (Fouling) ซึ่งอาจเกิดมาจากการดูดซับ (adsorption) การรวมตัวเป็นกลุ่มของอนุภาคหรือการอุดตันรูพรุน (pore plugging) ของตัวถูกละลายหรืออนุภาคทั้งภายในรูพรุนและผิวหน้าเยื่อแผ่น ส่งผลให้ค่าฟลักซ์ลดลงอย่างต่อเนื่องขณะดำเนินการ และทำให้ต้องทำความสะอาดเยื่อแผ่นบ่อย ส่งผลให้เยื่อแผ่นมีอายุการใช้งานสั้นลง ดังนั้นการลดการเกิดฟาวลิงจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องให้ความสนใจ ซึ่งทางเลือกในการลดการเกิดฟาวลิงสามารถทำได้โดย การเลือกสภาวะการทำงานที่เหมาะสม การเพิ่มคุณสมบัติของน้ำของเยื่อแผ่นโดยการเติมสารตัวเติมที่ขบข่นน้ำหรือการปรับสภาพผิวเยื่อแผ่น

Guiping และคณะ (2008 : 7080–7086) ผลิตเยื่อแผ่น Polyethersulfone (PES) และเยื่อแผ่นผสม PES/TiO₂ ด้วยวิธีการเปลี่ยนเฟส สารละลายโพลิเมอร์ประกอบด้วย PES 15 %wt. และ TiO₂ (0, 0.3, 0.5, 0.7 %wt.) ผลการทดลองพบว่า การเพิ่มปริมาณ TiO₂ ทำให้คุณสมบัติขบข่นน้ำ และความต้านทานการเกิดฟาวลิงของเยื่อแผ่นเพิ่มขึ้น และเยื่อแผ่น PES/TiO₂ ที่มีความเข้มข้น TiO₂ 0.5 %wt. มีคุณสมบัติในการป้องกันการเกิดฟาวลิงมากกว่าที่ความเข้มข้นอื่น เนื่องจากเยื่อแผ่น PES ที่มี TiO₂ มากกว่า 0.5 %wt. จะทำให้โครงสร้างชั้นรูพรุนของเยื่อแผ่นลดลง ซึ่งส่งผลให้คุณสมบัติการป้องกันการเกิดฟาวลิงลดลง

Yan, Li, Xiang (2005 : 7701–7706) ได้ทำการเตรียมเยื่อแผ่นโดยวิธีการเปลี่ยนเฟส (phase inversion method) จาก poly(vinylidene fluoride) (PVDF) 19 wt.% ผสมอนุภาคอลูมินา (Al₂O₃) 0-4 wt.% ซึ่งเป็นสารที่มีคุณสมบัติขบข่นน้ำ (hydrophilic) ผลการวิจัย พบว่า การเพิ่มปริมาณ Al₂O₃ ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อค่าความพรุน การกักกัน และ Molecular Weight Cut-off (MWCO) ของเยื่อแผ่น แต่จะทำให้ค่า contact angle ลดลง (ขบข่นน้ำมากขึ้น) เมื่อเทียบกับเยื่อแผ่นที่ไม่ได้ผสม Al₂O₃ โดยค่า contact angle จะมีค่าต่ำสุด ที่ความเข้มข้นของ Al₂O₃ เท่ากับ 2 %wt ซึ่งส่งผลให้ค่าฟลักซ์น้ำมีค่าสูงที่สุด

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติเยื่อแผ่นที่ผลิตจาก PES ด้วยวิธีการเปลี่ยนเฟสโดยศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติเยื่อแผ่นด้วยการใช้สารตัวเติมที่มีคุณสมบัติขบข่นน้ำคือ Al₂O₃ เปรียบเทียบกับวิธีการเคลือบผิวหน้าเยื่อแผ่น PES ด้วย Al₂O₃ เพื่อลดการเกิดฟาวลิงของเยื่อแผ่น PES

2. วิธีการทดลอง

2.1 สารเคมี

Polyethersulfone (PES) จากบริษัท Udel รุ่น A-100, Alumina (Al₂O₃) < 10 micron ของบริษัท Aldrich, Dimethylacetamide (DMAC), Density = 0.942 g/cm³ ของบริษัท Fluka, Polyvinylpyrrolidone (PVP) น้ำหนักโมเลกุล 100 kDa บริษัท Merck, Polyethylene glycol (PEG) น้ำหนักโมเลกุล 4, 15, 35, 100 และ 400 kDa และโปรตีน Bovine serum albumin (BSA) จากบริษัท Fluka

2.2 การเตรียมเยื่อแผ่น

2.2.1 วิธีการผสม PES/ Al_2O_3

เตรียมสารละลายโพลิเมอร์โดยนำ PES ผสมกับ Al_2O_3 ละลายใน DMAC ปริมาตร 30 ml ตามสัดส่วนในตาราง 1 (Yan, Li และ Xiang, 2005; Yang และคณะ, 2007) กวนสารละลายโพลิเมอร์ที่อุณหภูมิห้อง (25°C) เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วทิ้งไว้เพื่อให้ฟองสลายไปเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นทำการคาสต์สารละลายโพลิเมอร์ลงบนแผ่นกระจกขนาด $11.8\text{ cm} \times 17\text{ cm}$ ด้วยมีดคาสต์ที่ปรับความหนาไว้ที่ $200\text{ }\mu\text{m}$ แล้วจุ่มเยื่อแผ่นพร้อมแผ่นกระจกลงในอ่างน้ำ RO ทันที การจุ่มในอ่างแรกนี้ใช้เวลา 2 นาที จากนั้นย้ายเยื่อแผ่นไปแช่ในน้ำ RO อ่างที่สองเป็นเวลา 48 ชั่วโมง เยื่อแผ่นที่เตรียมได้มีความหนาอยู่ที่ $110\text{--}120\text{ }\mu\text{m}$ เก็บเยื่อแผ่นในน้ำกลั่นเพื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติ

ตาราง 1 ส่วนประกอบสารละลายโพลิเมอร์สำหรับเยื่อแผ่น PES/ Al_2O_3 ที่เตรียมโดยวิธีผสม

PES (%wt)	Al_2O_3 (%wt)	PVP (%wt)	DMAC (%wt)
18	0	2	80
18	2	2	78
18	4	2	76
18	6	2	74

2.2.2 วิธีการเคลือบผิวเยื่อแผ่น

ในการเคลือบ Al_2O_3 บนเยื่อแผ่น PES นั้นจะใช้สารละลายโคโคซานเป็นตัวยึดให้ Al_2O_3 ติดผิวหน้าเยื่อแผ่นโดยมีวิธีการดังนี้ เตรียมเยื่อแผ่น PES ด้วยวิธีการเปลี่ยนเฟส โดยใช้ความเข้มข้นของ PES 15 %wt, PVP 2%wt. และ DMAC 83 %wt. ต่อจากนั้นเตรียมสารละลายโคโคซานที่ความเข้มข้น 0.2 %w/v ในกรดอะซิติกเข้มข้น 2 %vol เติม Al_2O_3 ปริมาณ 0, 0.0198, 0.0408 และ 0.0628 g ในสารละลายโคโคซาน (ปริมาณเท่ากับปริมาณของ Al_2O_3 ที่อยู่ในเยื่อแผ่นที่เตรียมโดยวิธีการผสมที่ 0, 2, 4 และ 6%wt ตามลำดับ) กวนสารละลายให้เข้ากัน จากนั้นนำสารละลายผสม Al_2O_3 เคลือบผิวเยื่อแผ่นด้วยการป้อนสารละลายผ่านเยื่อแผ่นโดยใช้ vacuum pump เป็นเวลา 15 นาที ต่อมานำเยื่อแผ่นที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย Al_2O_3 ไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทำการ neutralize ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 M เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้สารละลายโคโคซานมีสภาพเป็นกลาง ล้างเยื่อแผ่นด้วยน้ำกลั่น จากนั้นนำเยื่อแผ่นที่ได้ไปทดสอบคุณสมบัติ

2.3 การทดสอบคุณสมบัติเยื่อแผ่น

2.3.1 การวัดฟลักซ์น้ำ

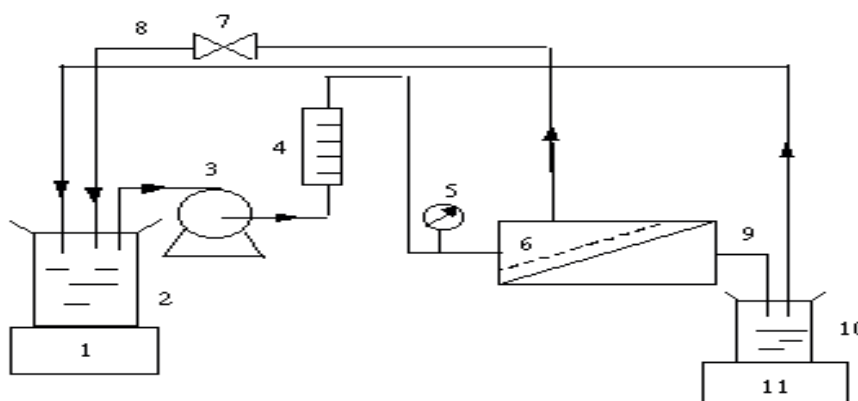
นำเยื่อแผ่นที่ผลิตได้ไปติดตั้งในชุดการทดลองอัลตราฟิลเตรชันดังภาพประกอบ 1 เติมน้ำในถังป้อนปริมาตร 2 ลิตร เดินเครื่อง แล้วปรับวาล์วให้ได้อัตราการไหลของสารป้อน 0.877 L/min และความดัน 2 bar ที่อุณหภูมิ 25°C วัดอัตราการไหลของเพอเมอเมท (โดยวัดปริมาตร/เวลา) ทุก 5 min บันทึกผล จนกระทั่งฟลักซ์เข้าสู่ภาวะคงตัว

2.3.2 หาค่า Molecular Weight Cut-off (MWCO)

เตรียมสารละลายที่จะนำมาใช้ทดสอบหาค่า MWCO ตามคู่มือการใช้คอลัมน์ Phenomenex GPC-4000 โดยใช้ Polyethylene glycol (PEG) ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 4, 15 และ 35 kDa ละลายในน้ำ DI ที่ความเข้มข้นของแต่ละสาร 0.5 %w/v และขนาด 100 และ 400 kDa ที่ความเข้มข้นละ 0.25 %w/v (ความเข้มข้นของ PEG รวม 2 %w/v) ทำการหา MWCO ของเยื่อแผ่นที่เตรียมได้โดยป้อนสารละลาย PEG ผ่านเยื่อแผ่นที่บรรจุในชุดการทดลองดังภาพประกอบ 1 โดยป้อนแบบวนกลับถึงป้อนทั้งรีเทนเทตและเพอมีเอท เพื่อควบคุมความเข้มข้นในถังป้อนให้คงที่ (โดยใช้สภาวะการทดลองเดียวกันกับการทดลองวัดฟลักซ์น้ำ) รอจนกระทั่งค่าฟลักซ์คงที่เก็บตัวอย่างสารละลาย เพอมีเอทที่ได้ไปหาความเข้มข้นของ PEG โดยใช้ เครื่อง HPLC ยี่ห้อ Water 2414 คู่กับคอลัมน์ Phenomenex GPC-4000 นำค่าความเข้มข้นที่ได้มาคำนวณค่าการกักกัน ตามสมการที่ (1) ซึ่งค่า MWCO เป็นค่าขนาดโมเลกุลที่สามารถกักกันได้เกิน 90 %

$$R = \left(1 - \frac{C_p}{C_r}\right) \times 100 \quad (1)$$

R คือ ค่าการกักกัน C_p คือ ความเข้มข้นด้านเพอมีเอท และ C_r คือ ความเข้มข้นด้านรีเทนเทต



ภาพประกอบ 1 ชุดการทดลองอัลตราฟิเตรชัน (1) เครื่องกวนสาร (2) ถังป้อน (3) ปั๊ม (4) เครื่องวัดอัตราการไหล (5) เกจวัดความดัน (6) โมดูลเยื่อแผ่นแบบ radial flow (7) วาล์วควบคุมแรงดัน (8) ท่อรีเทนเทต (9) ท่อเพอมีเอท (10) ถังเพอมีเอท

2.3.3 Scanning Electron Microscope (SEM)

วิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของเยื่อแผ่นที่เตรียมได้ด้วยเครื่อง SEM ยี่ห้อ LEO รุ่น 1455VP

2.3.4 การวัดค่ามุมสัมผัสพื้นผิว (Contact angle)

นำเยื่อแผ่นมาตรวจสอบลักษณะมุมสัมผัสพื้นผิวด้วยเครื่อง contact angle measurement ยี่ห้อ Kruss รุ่น DSA 10 MK 2

2.3.5 การทดสอบฟาวลิง

เตรียมสารละลายโปรตีน BSA 1 g/L ในสารละลาย phosphate buffer saline ติดตั้งเยื่อแผ่นในชุดการทดลองภาพประกอบ 1 ป้อนสารละลายโปรตีนแบบวนกลับ (โดยใช้สภาวะการทดลองเดียวกันกับการทดลองวัดฟลักซ์น้ำ) เป็นเวลา 150 min เก็บตัวอย่างด้านเพอมีเอทและรีเทนเทตไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของโปรตีนโดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ยี่ห้อ Hitachi โมเดล U-3000 ใช้ความยาวคลื่น 280 nm

ทำการล้างเยื่อแผ่นด้วยน้ำ DI ที่สภาวะการทดลองเดียวกับสภาวะการทดลองวัดฟลักซ์น้ำ โดยป้อนน้ำแบบไม่วนกลับถึงป้อนด้วยปริมาตรน้ำล้าง 4 L และป้อนแบบวนกลับถึงป้อน 30 min จากนั้นวัดฟลักซ์น้ำหลังล้างเยื่อแผ่น

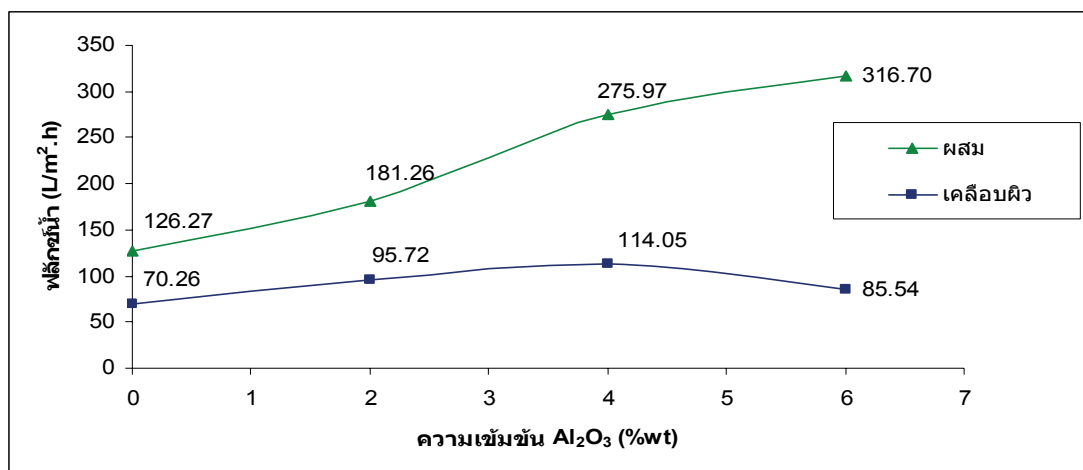
3. ผลการทดลองและการวิจารณ์

3.1 ฟลักซ์น้ำ

ฟลักซ์น้ำของเยื่อแผ่น PES ที่ผสม Al_2O_3 มีค่าฟลักซ์สูงขึ้น เมื่อปริมาณ Al_2O_3 เพิ่มขึ้น ดังภาพประกอบ 2 เนื่องจาก Al_2O_3 เป็นสารที่มีคุณสมบัติชอบน้ำจึงทำให้ PES ที่มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ มีคุณสมบัติชอบน้ำมากขึ้น ค่าฟลักซ์น้ำจึงเพิ่มขึ้น (Yan, Li และ Xiang, 2005 : 7701–7706 ; Li และคณะ, 2009 : 4725–4732)

สำหรับวิธีการเคลือบผิวเยื่อแผ่น PES ด้วย Al_2O_3 ในสารละลายโคโคซานั้น เยื่อแผ่น PES เริ่มต้น มีค่าฟลักซ์น้ำเท่ากับ 672.10 $\text{L/m}^2\cdot\text{h}$ หลังจากเคลือบผิวด้วยสารละลายโคโคซาน พบว่า ค่าฟลักซ์น้ำมีค่าลดลงเท่ากับ 70.26 $\text{L/m}^2\cdot\text{h}$ เนื่องจากเป็นผลของชั้นฟิล์มโคโคซานที่ไปปิดกั้นชั้นผิวของเยื่อแผ่น ทำให้ความต้านทานการถ่ายเทมวลสูงขึ้น จึงทำให้ค่าฟลักซ์ลดลง แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบกับระหว่างเยื่อแผ่นที่ปรับคุณสมบัติโดยการเคลือบผิว พบว่า เมื่อปริมาณ Al_2O_3 เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าฟลักซ์น้ำมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรก เป็นผลจากคุณสมบัติชอบน้ำของ Al_2O_3 แต่ฟลักซ์น้ำของเยื่อแผ่นที่เคลือบผิวกลับมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของ Al_2O_3 เพิ่มขึ้นถึง 6 %wt อาจเนื่องจากปริมาณ Al_2O_3 ติดอยู่บนชั้นผิวหนาเกินไปส่งผลให้น้ำแพร่ผ่านได้ยากขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบวิธีการผสมกับวิธีการเคลือบ พบว่าวิธีการผสม Al_2O_3 ในสารละลายโพลิเมอร์ PES จะให้ค่าฟลักซ์น้ำที่สูงกว่าการเคลือบผิวเยื่อแผ่นด้วย Al_2O_3 เนื่องจากการเคลือบผิวบนเยื่อแผ่นทำให้ชั้นผิวมีความหนาขึ้น ทำให้ความต้านทานการถ่ายเทมวลสูงขึ้น ซึ่งต่างจากวิธีการผสมซึ่งไม่มีชั้นฟิล์มของสาร ไปปิดกั้นชั้นผิวของเยื่อแผ่นทำให้น้ำผ่านได้มากกว่า ดังภาพประกอบ 3



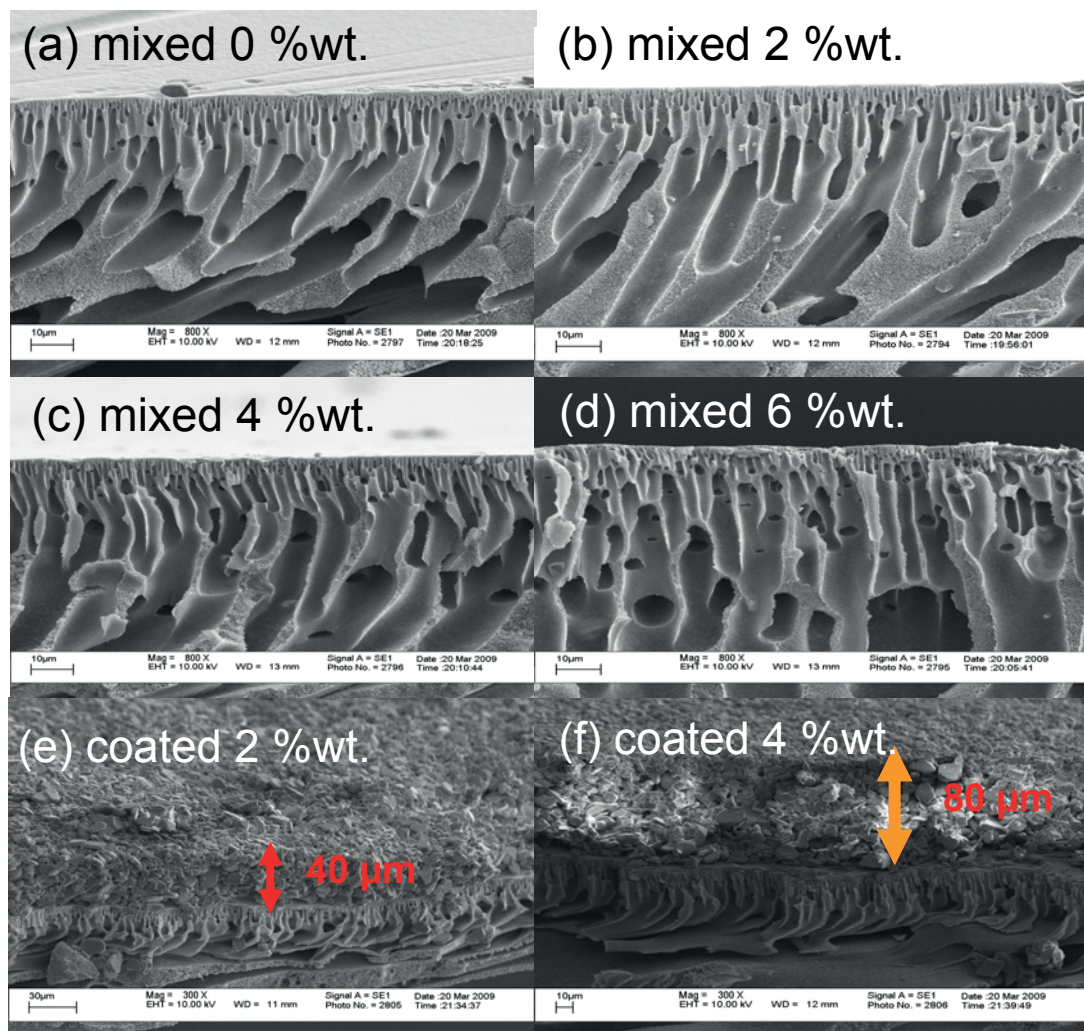
ภาพประกอบ 2 ฟลักซ์น้ำของเยื่อแผ่นที่สภาวะคงที่เทียบกับความเข้มข้น Al_2O_3
(ค่าที่ได้ในแต่ละจุดเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลองวัดฟลักซ์ของเยื่อแผ่นแต่ละชนิด ชนิดละ 3 แผ่น)

3.2 ค่า Molecular Weight Cut-Off (MWCO)

กรณีผสม Al_2O_3 ในขั้นตอนการเตรียมเยื่อแผ่นด้วยวิธีการเปลี่ยนเฟส พบว่าเยื่อแผ่นที่มี Al_2O_3 ผสมอยู่ 0, 2, 4 และ 6 %wt มีค่า MWCO เท่ากับ 11.7, 11.6, 11.5, 11.3 kDa ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่ม Al_2O_3

ไม่ทำให้ MWCO เปลี่ยนแปลง เนื่องจากโครงสร้างรูพรุนของเยื่อแผ่นไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังภาพประกอบ 3(a-d) ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yan, Li และ Xiang, 2005 : 7701-7706

กรณีวิธีการเคลือบผิวเยื่อแผ่นด้วย Al_2O_3 ในสารละลายไฮโดรอกไซด์ เยื่อแผ่นที่นำมาใช้มี MWCO 90 kDa หลังจากเคลือบผิวเยื่อแผ่นด้วย Al_2O_3 ผสมสารละลายไฮโดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0, 2, 4 และ 6 %wt พบว่าค่า MWCO มีแนวโน้มลดลงเป็น 50, 18, 13 และ 5 kDa ตามลำดับ เนื่องจากชั้นผิวที่เคลือบ Al_2O_3 มีความหนาแน่นมากขึ้น ดังภาพประกอบ 3e และ 3f จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการเคลือบ Al_2O_3 ที่ 2 %wt. ชั้นฟิล์ม Al_2O_3 มีความหนา 40 μm และเมื่อทำการเคลือบที่ 6%wt. ชั้นฟิล์ม Al_2O_3 มีความหนา 80 μm แต่จากผลของฟลักซ์น้ำซึ่งเพิ่มขึ้นในช่วงแรกที่เพิ่มความเข้มข้นของ Al_2O_3 ในขณะที่ MWCO มีค่าลดลง แสดงว่าค่าความขบน้ำของเยื่อแผ่นน่าจะมีผลต่อฟลักซ์ของน้ำสูง

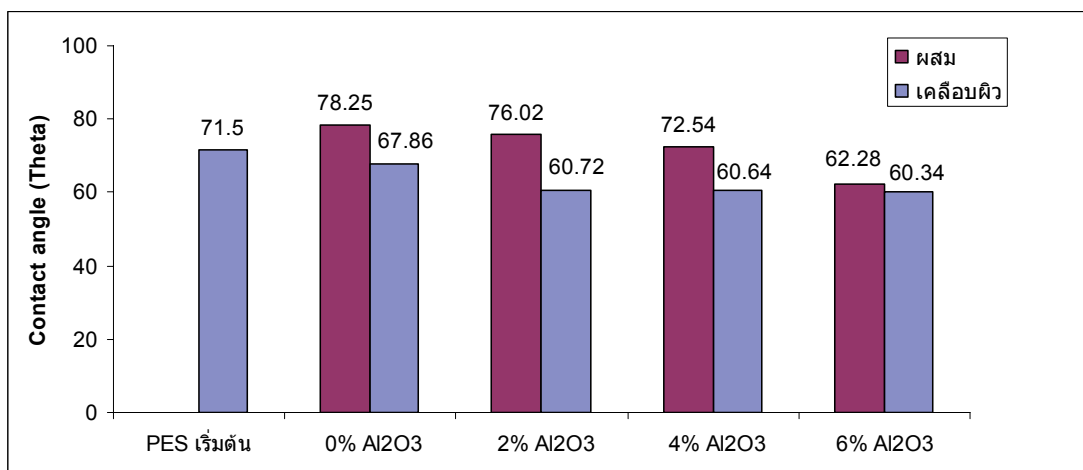


ภาพประกอบ 3 ลักษณะภาพตัดขวางของเยื่อแผ่นที่เตรียมจากการผสม Al_2O_3 ในขั้นตอนการเตรียมเยื่อแผ่น (a-d), ลักษณะภาพตัดขวางของเยื่อแผ่นที่เตรียมโดยวิธีการเคลือบผิวด้วย Al_2O_3 ในสารละลายไฮโดรอกไซด์ (e-f)

3.3 ค่า Contact Angle

กรณีเยื่อแผ่นที่ผสม Al_2O_3 ในขั้นตอนการเตรียมเยื่อแผ่น พบว่าค่า contact angle มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเยื่อแผ่นที่ไม่ได้ผสม Al_2O_3 และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Al_2O_3 ก็ยิ่งทำให้ค่า contact angle ลดลง (ภาพประกอบ 4) ซึ่งเป็นการบ่งชี้ว่าเยื่อแผ่นมีความชอบน้ำมากขึ้น (Yan, Li และ Xiang, 2005 : 7701–7706; Yang และคณะ, 2007 : 231 – 238)

การเคลือบผิวเยื่อแผ่น PES ด้วยสารละลายไคโตซานเพียงอย่างเดียวโดยไม่ผสม Al_2O_3 ก็ส่งผลให้ค่า contact angle ลดลง (ภาพประกอบ 4) เนื่องจากไคโตซานเป็นสารที่มีคุณสมบัติชอบน้ำ และเมื่อเติม Al_2O_3 ในการเคลือบผิวด้วยความเข้มข้น 2 %wt จะส่งผลให้ค่า contact angle มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับการเคลือบด้วยไคโตซาน เพียงอย่างเดียวอย่างเห็นได้ชัด ดังแสดงในภาพประกอบ 4 เนื่องจาก Al_2O_3 เป็นสารที่มีความชอบน้ำ เช่นเดียวกับไคโตซาน เมื่อนำ Al_2O_3 มาผสมในไคโตซานแล้วเคลือบผิวเยื่อแผ่น ก็ยิ่งทำให้เยื่อแผ่นมีความชอบน้ำมากขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณ Al_2O_3 มากขึ้นไปอีก จะพบว่าค่า contact angle ก่อนข้างคงที่เพราะมีปริมาณ Al_2O_3 บนผิวเยื่อแผ่นมีมากเกินไป และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่า contact angle ที่ได้จากวิธีการผสมและวิธีการเคลือบผิว จากภาพประกอบ 4 จะเห็นได้ว่าค่า contact angle ที่ได้จากวิธีการผสมมีค่าสูงกว่าวิธีการเคลือบผิว เนื่องจากวิธีการผสมนั้น Al_2O_3 กระจายตัวทั่วเยื่อแผ่นทั้งบริเวณผิวหน้าและภายในรูพรุน ส่วนวิธีการเคลือบผิวนั้นทำให้เกิดชั้นฟิล์มของ Al_2O_3 บริเวณผิวด้านบนของเยื่อแผ่น จึงทำให้เยื่อแผ่นที่ผ่านการเคลือบผิวมีค่า contact angle ต่ำกว่า ส่งผลให้เยื่อแผ่นที่ผ่านการเคลือบผิวมีความชอบน้ำสูงกว่าเยื่อแผ่นที่ได้จากการผสม



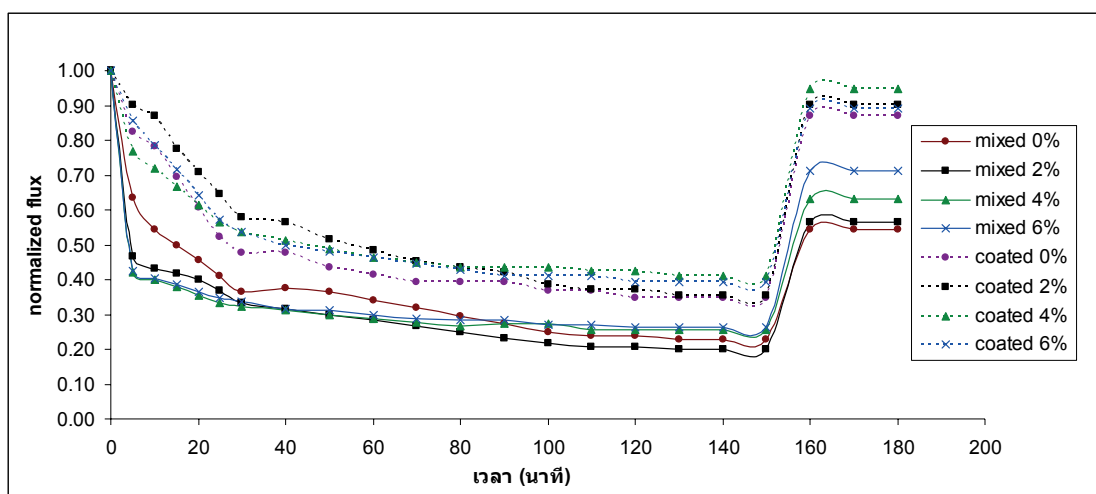
ภาพประกอบ 4 ค่า contact angle ของเยื่อแผ่น PES/ Al_2O_3 ที่เตรียมโดยการผสมและการเคลือบผิว (ข้อมูลที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวัดค่า contact angle ของเยื่อแผ่นแต่ละชนิด ชนิดละ 3 แผ่น)

3.4 ผลการทดสอบฟลวลิง

จากภาพประกอบ 5 จะเห็นได้ชัดเจนว่า เยื่อแผ่นที่ปรับคุณสมบัติโดยการเคลือบผิวมีการลดลงของฟลักซ์สารละลายโปรตีนน้อยกว่าวิธีการผสม ถึงแม้ว่าจะเคลือบด้วยไคโตซานเพียงอย่างเดียวก็ยิ่งทำให้ค่าการลดลงของฟลักซ์สารละลายโปรตีนลดลงน้อยกว่าวิธีการผสม แสดงให้เห็นว่า วิธีการเคลือบผิว สามารถต้านทาน

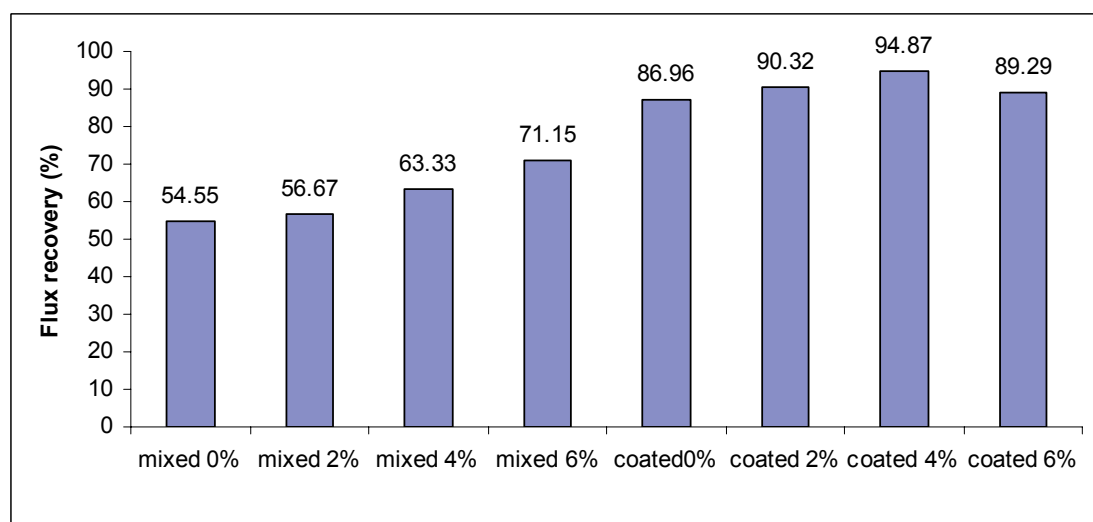
การเกิดฟาวลิง ได้ดีกว่าวิธีการผสม และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าฟลักซ์ของโปรตีนกับการเพิ่มความเข้มข้น Al_2O_3 จากทั้ง 2 วิธี พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้น Al_2O_3 ส่งผลให้การลดลงของฟลักซ์โปรตีนลดลง แต่ที่ความเข้มข้นของ Al_2O_3 เท่ากับ 4 และ 6 %wt ฟลักซ์มีการลดลงใกล้เคียงกัน

จากภาพประกอบ 6 เมื่อวัดฟลักซ์น้ำหลังล้างเยื่อแผ่นพบว่า วิธีการเคลือบผิวให้ค่า flux recovery (FR) ของน้ำสูงกว่าวิธีการผสม ซึ่งบอกได้ว่าวิธีการเคลือบผิวมีคุณสมบัติในการนำกลับมาใช้ใหม่ของเยื่อแผ่นได้ดีกว่าวิธีการผสม เนื่องจากวิธีการเคลือบผิวมีความชอบน้ำมากกว่าวิธีการผสม (Ma และคณะ, 2007 : 71–78) และเมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณของ Al_2O_3 ที่เพิ่มขึ้นกับค่า FR พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ Al_2O_3 มากขึ้น จะส่งผลให้ค่า FR สูงขึ้น โดยวิธีการผสมที่ปริมาณ Al_2O_3 เท่ากับ 6%wt และวิธีการเคลือบผิวที่ปริมาณ Al_2O_3 เท่ากับ 4 %wt จะให้ค่า FR สูงสุด



ภาพประกอบ 5 ค่า normalized flux ของเยื่อแผ่นชนิดต่างๆ

(ค่าที่ได้ในแต่ละจุดเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลองวัดฟลักซ์ของเยื่อแผ่นแต่ละชนิด ชนิดละ 3 แผ่น)



ภาพประกอบ 6 ค่า flux recovery ของเยื่อแผ่นชนิดต่างๆ

(ข้อมูลที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลองของเยื่อแผ่นแต่ละชนิด ชนิดละ 3 แผ่น)

4. สรุปผลการทดลอง

การปรับคุณสมบัติเยื่อแผ่น PES ให้มีความชอบน้ำ (Hydrophilic) เพื่อลดการเกิดฟาวลิงโดยใช้ Al_2O_3 โดยเปรียบเทียบวิธีในการปรับคุณสมบัติชอบน้ำ 2 วิธีคือ วิธีผสม Al_2O_3 ในขั้นตอนการเตรียมเยื่อแผ่นด้วยวิธีการเปลี่ยนเฟส และการเคลือบผิวเยื่อแผ่นด้วย Al_2O_3 ในสารละลายไคโตซาน พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Al_2O_3 ส่งผลให้ค่าฟลักซ์น้ำ คุณสมบัติชอบน้ำ และความสามารถในการต้านทานการเกิดฟาวลิง เพิ่มขึ้น และการเคลือบผิวเยื่อแผ่นด้วย Al_2O_3 ในสารละลายไคโตซาน สามารถป้องกันการเกิดฟาวลิงได้ดีกว่าการผสม Al_2O_3

5. ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาการปรับคุณสมบัติเยื่อแผ่นอัลตราฟิลเตรชัน PES ให้มีความชอบน้ำ (Hydrophilic) เพื่อลดการเกิดฟาวลิงโดยใช้ Al_2O_3 สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหาร โดยนำไปใช้ในการแยกสารละลายโปรตีนเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ หรือเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโปรตีนในอุตสาหกรรมนม เป็นต้น ซึ่งปัจจุบันวิธีแก้ปัญหาจากการเกิดฟาวลิงในโรงงานอุตสาหกรรม ทำโดยนำเยื่อแผ่นไปทำความสะอาด โดยต้องใช้สารเคมีเพื่อขจัดฟาวลิงที่ถูกดูดซับบนผิวเยื่อแผ่น ในกรณีที่ฟาวลิงเกาะที่ผิวและรูพรุนของเยื่อแผ่นไม่สามารถทำความสะอาดออกได้ ก็จำเป็นต้องเปลี่ยนเยื่อแผ่นใหม่ ซึ่งโดยทั่วไปในโรงงานที่ต้องใช้เยื่อแผ่นในกระบวนการแยก จะมีค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนเยื่อแผ่นใหม่ 30-50% และการทำความสะอาดเยื่อแผ่น 10-30% ของค่าใช้จ่ายโดยรวม (Asaketa และคณะ, 2007 : 136-146) ซึ่งการใช้ Al_2O_3 ในการเพิ่มคุณสมบัติชอบน้ำให้กับเยื่อแผ่น PES นอกจากจะช่วยลดการเกิดฟาวลิงแล้ว ยังส่งผลให้เยื่อแผ่นมีอายุการใช้งานที่นานขึ้นเนื่องจากการล้างเยื่อแผ่นโดยใช้สารเคมี และยังเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

6. รายการอ้างอิง

- Asatekin, A., Kang, S., Elimelech, M., Mayes, A.M., 2007, "Anti-fouling ultrafiltration membranes containing polyacrylonitrile-graft-poly(ethylene oxide) comb copolymer additives." **Journal of Membrane Science**. 298 : 136-146.
- Guiping, W., Gan, S., Cui, L., Xu, Y., 2008, "Preparation and characterization of PES/TiO₂ composite membranes." **Applied Surface Science**. 254 : 7080 – 7086.
- Li, J.F., Xu, Z.L., Yang, H., Yu, L.Y., Liu, M., 2009, "Effect of TiO₂ nanoparticles on the surface morphology and performance of microporous PES membrane," **Applied Surface Science**. 255 : 4725-4732.
- Ma, X., Su, Y., Sun, Q., Wang, Y., Jiang, Z., 2007, "Enhancing the antifouling property of polyethersulfone ultrafiltration membranes through surface adsorption-crosslinking of poly(vinyl alcohol)." **Journal of Membrane Science**. (300): 71-78.
- Yang, Y., Zhang, H., Wang, P., Zheng, Q., Li, J., 2007. "The influence of nano-sized TiO₂ fillers on the morphologies and properties of PSF UF membrane." **Journal of Membrane Science**. 288 : 231-238.
- Yan, L., Li, Y.S., Xiang, C.B., 2005, "Preparation of polyvinylidene fluoride (PVDF) ultrafiltration membrane modified by nano-sized alumina (Al_2O_3) and its antifouling research." **Polymer**. 46 : 7701-7706.

**การพัฒนาเครื่องมือช่วยสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลง
ของเทคโนโลยี กรณีศึกษา : เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับเซิร์ฟเวอร์
DEVELOPMENT OF DECISION MAKING TOOL FOR CHANGE OF
TECHNOLOGY CASE STUDY: COMPUTER SERVER**

สันติ นุ่มนวล

วรพจน์ อังกสิทธิ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

E-mail : santi_jav@hotmail.com, vorapoch@fibo.kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอ และแนะแนวทางการพัฒนาเครื่องมือช่วยสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีโดยใช้การจัดหาเครื่องคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์เป็นกรณีศึกษา โดยเครื่องคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์นั้นเป็นเทคโนโลยีทางด้านฮาร์ดแวร์ที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากวงจรอายุผลิตภัณฑ์ในแต่ละรุ่นมีอัตราที่สั้นลงอย่างต่อเนื่อง และถูกแทนที่ด้วยรุ่นใหม่ ๆ ตลอดเวลา ทำให้เป็นปัญหาต่อผู้ตัดสินใจในการเลือกเทคโนโลยีของเครื่องคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์มาใช้งานในหน่วยงาน และด้วยความรู้ความสามารถของผู้ใช้ที่ไม่เท่ากันจึงเกิดความคลุมเครือจากการตัดสินใจและส่งผลให้การตัดสินใจเลือกผลิตภัณฑ์ภายใต้เทคโนโลยีที่เข้ามาใหม่เกิดความไม่แน่นอน โดยในกรณีศึกษานี้ได้นำเครื่องมือกระบวนการระดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process) และ ทฤษฎีฟัซซีนัมเบอร์ (Fuzzy number) หรือที่เรียกว่า Fuzzy-AHP เข้ามาช่วยสนับสนุนการตัดสินใจ โดยมีปัจจัยที่ใช้ในการเลือกภายใต้การเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยี 8 ปัจจัยด้วยกัน คือ ด้านจำนวนลูกข่าย ด้านความเร็ว ด้านความเสถียร ด้านคุณภาพ ด้านรูปร่างของเครื่อง ด้านระยะเวลาที่ต้องการใช้งาน ด้านการรับประกัน และด้านราคา ทั้งนี้ข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ได้มาจากกลุ่มผู้เชี่ยวชาญที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการตัดสินใจเลือกเครื่องคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์ โดยผลจากการวิจัยได้แสดงให้เห็นว่า Fuzzy-AHP สามารถนำมาช่วยตัดสินใจเลือกภายใต้กฎเกณฑ์ที่ถูกกำหนดได้อย่างเป็นกระบวนการ ตลอดจนสามารถกำหนดทางเลือกเพื่อใช้ตัดสินใจเลือกผลิตภัณฑ์ได้อย่างเหมาะสม

คำสำคัญ : การเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยี ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ กระบวนการระดับชั้นเชิงวิเคราะห์ ฟัซซีนัมเบอร์ คอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์

ABSTRACT

The objectives of this study is to introduce and develop a tool to support a decision making process in the area of technological change. Server selection is an implementation case. Since, Server is obviously impacted from the change of technology. The production life cycle has been shortening down in each of every

generation of technology. Many businesses have been keeping up by replacing them with newer model and newer technology from time to time. However, this is a very troublesome for executives or buyers due to limitation of users knowledge. As a result, making a new decision for products under new technology would effect to uncertainty of an outcome. This study helps making a decision which can be implemented with Analytic Hierarchy Process and Fuzzy number that call Fuzzy-AHP under the change of technology factors. Eight factors are number of client, speed, stability, quality, design, period of time, warranty and price. The data were collected from an expert group who involve in a process of making a decision to choose computer servers. A result indicates that Fuzzy-AHP can help buyers and executives make selection of servers under ambiguous circumstances.

KEYWORDS : Change of the technology, Decision making support system, Analytic hierarchy process, Fuzzy number, Server

1. ที่มาและความสำคัญ

การเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยี (Technological Change) นั้นมักเกิดจากแรงผลักดันของเทคโนโลยีสมัยใหม่ (Technology push) และแรงดึงของความต้องการทางด้านตลาด (Market pull) ในการใช้เทคโนโลยีจากผู้บริโภคที่มีอยู่มากทำให้เกิดวงจรของการทดแทนผลิตภัณฑ์ หรือที่เรียกกันว่า วงจรผลิตภัณฑ์ (Product Life Cycle: PLC) เป็นแรงขับเคลื่อนที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยี

โดยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีสารสนเทศนั้นมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว โดยกอร์ดอน มัวร์ (Gordon Moore) จากบริษัทอินเทล ได้สร้างแบบจำลองการพัฒนาเทคโนโลยีที่แสดงให้เห็นว่า อัตราการพัฒนาความก้าวหน้าของเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ในหลาย ๆ ด้าน มีอัตราเพิ่มเป็นสองเท่าในทุก ๆ คาบเวลาหนึ่ง เช่น ความเร็วในการทำงานของไมโครคอมพิวเตอร์ในเชิงความเร็วของสัญญาณพิกเซลและจำนวนทรานซิสเตอร์เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าทุก ๆ 18 เดือน และ 48 เดือนตามลำดับ เป็นต้น ปัจจุบันนิยมเรียกการเปลี่ยนแปลงนี้ว่า การเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีสารสนเทศตามกฎหมายของมัวร์ (Moore's law) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีมักมีผลกระทบต่อการตัดสินใจในการเลือกเทคโนโลยีใดเทคโนโลยีหนึ่งมาใช้ หากผู้ตัดสินใจขาดการวินิจฉัยอย่างเป็นกระบวนการอาจทำให้การตัดสินใจเลือกนั้นไม่ได้รับประโยชน์สูงสุด

เครื่องคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์เป็นส่วนหนึ่งของเทคโนโลยีที่ใช้สร้างความสามารถการแข่งขันและมักมีผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยี และด้วยความคลุมเครือจากการตัดสินใจทำให้มีผลกระทบต่อการเลือกที่อาจทำให้เกิดการตัดสินใจที่ผิดพลาดขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำเครื่องมือทางเทคโนโลยีที่ช่วยสนับสนุนการตัดสินใจมาใช้ โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องมือ Fuzzy-AHP ซึ่งเป็นเครื่องมือหนึ่งที่มีความสามารถในการช่วยให้ผู้ตัดสินใจสามารถเลือกทางเลือกได้ถูกต้องขึ้น เครื่องมือนี้เป็นเครื่องมือที่ได้มาจากการนำทฤษฎี Fuzzy number มาประยุกต์ใช้กับเครื่องมือที่มีชื่อว่ากระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process หรือ AHP)

Fuzzy-AHP เป็นที่ยอมรับกันอย่างในวงกว้างขึ้น โดยนักวิจัยหลายๆ ท่าน ได้นำมาใช้วิจัยในภาคธุรกิจด้านต่างๆ มากขึ้น เพื่อสร้างความสามารถการแข่งขัน ดังเช่น ในด้านการลดต้นทุนการผลิต โดย M. Weck, F.Klock, H. Schell และ E. Ruenauver (1997) ได้นำ fuzzy-AHP มาประเมินผลทางเลือกของกระบวนการ

ผลที่แตกต่างกันเพื่อลดต้นทุนโดยใช้หลักการวิเคราะห์หลายปัจจัย และในด้านการประเมินค่าใช้จ่ายโดย Mason, Anthony K., Korkmaz และ Sevil (1998) ก็ได้นำหลักการของ AHP เข้ามาใช้ร่วมกับหลักการของ Fuzzy เพื่อใช้ในการประเมินค่าใช้จ่าย โดยใช้ข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญด้านการประเมินค่าใช้จ่ายที่มักจะมี ความไม่แน่นอนในการตัดสินใจ และสำหรับด้านการประเมินซัพพลายเออร์นั้น Cengiz Kahraman, Ufuk Cebeci และ Ziya Ulukan (2003) ได้ปรับปรุงหลักการในการตัดสินใจเลือกซัพพลายเออร์โดยใช้เงื่อนไขด้านความ น่าเชื่อถือ, ด้านคุณภาพผลิตภัณฑ์ และด้านคุณภาพการให้บริการ มาประเมินด้วย fuzzy-AHP และในด้านการ เลือกผู้ให้บริการ L. Mikhailov และ P. Tsvetinov (2004) ก็ได้นำเสนอวิธีการจัดการกับปัญหาความไม่แน่นอนโดยใช้ ขั้นตอนการจัดลำดับแบบ fuzzy number ปรับปรุงเข้ากับวิธีการประเมินเปรียบเทียบแบบลำดับชั้นของ AHP เพื่อ เลือกผู้ให้บริการ โดยใช้ปัจจัย 3 แบบ คือ ด้านราคา, ด้านคุณภาพการบริการ และเวลาการจัดส่ง และในด้านการ ประเมินกลยุทธ์โดย Orlando Duran และ Jose Aquilo (2008) ใช้เกณฑ์การประเมินด้านเศรษฐกิจและกลยุทธ์ 6 เกณฑ์คือ ความยืดหยุ่น, ง่ายต่อการใช้, ความน่าเชื่อถือ, คุณภาพ, มีความเป็นไปได้ต่อความสำเร็จ, บำรุงรักษา มาประเมินการคัดเลือกเทคโนโลยีเครื่องจักรสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความสามารถ ทางการแข่งขัน โดยใช้ AHP ร่วมกับ Fuzzy เป็นเครื่องมือช่วยประเมิน ด้วยเหตุนี้ Fuzzy-AHP จึงเป็นเครื่องมือที่ ช่วยสนับสนุนการตัดสินใจให้เป็นไปอย่างมีกระบวนการ และเป็นเครื่องมือหนึ่งที่มีความสามารถในการนำมา ช่วยสนับสนุนการตัดสินใจได้ถูกต้องมากขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์การวิจัย คือ

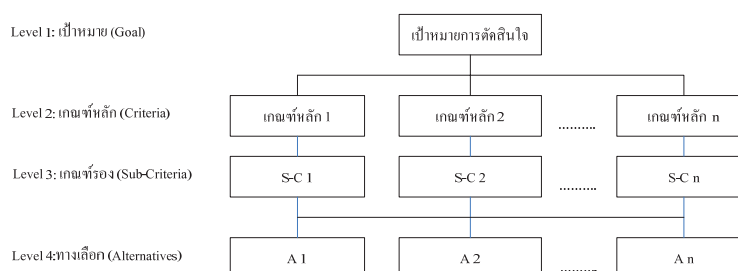
1. เพื่อศึกษาวิธีการจัดหาเทคโนโลยีเข้ามาใช้ภายใต้การเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยี
2. เพื่อศึกษาขั้นตอนสำหรับพัฒนาเครื่องมือช่วยสำหรับช่วยสนับสนุนการตัดสินใจ

2. การนำเครื่องมือ Fuzzy-AHP มาใช้วิเคราะห์

การตัดสินใจที่มีเหตุผลนั้น ขึ้นอยู่กับกระบวนการของการตัดสินใจไม่ใช่ผลของการตัดสินใจ กระบวนการตัดสินใจที่มีเหตุผลนั้นส่งผลให้ผลของการตัดสินใจมีความถูกต้องมากขึ้น ปัจจัยต่างๆ ที่นำมาใช้ วิเคราะห์ต้องมีความเชื่อมโยงกันและการวินิจฉัยเปรียบเทียบปัจจัยต่าง ๆ ต้องมีความสอดคล้องกันของเหตุผล ทั้งนี้รายละเอียดขั้นตอนของกระบวนการ AHP สามารถแสดงได้ดังนี้

ขั้นที่ 1 วางกรอบของปัญหาให้ตรงประเด็น รวมถึงหาเกณฑ์การตัดสินใจและทางเลือกที่เหมาะสม

ขั้นที่ 2 วางโครงสร้างของแผนภูมิลำดับชั้นตามองค์ประกอบที่ได้มาในขั้นที่ 1 ภายใต้วิธีการระดมสมอง โดยเริ่มจากระดับชั้นบนสุดลงมา โดยเริ่มจากเป้าหมาย เกณฑ์หลัก เกณฑ์รอง และทางเลือก ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 การสร้างแผนภูมิลำดับชั้น

ขั้นที่ 3 สร้างตารางเมตริกซ์เพื่อวินิจฉัยเปรียบเทียบปัจจัยต่าง ๆ เป็นคู่ ๆ ในลักษณะฟัซซี่ (Fuzzy) โดยปัจจัยแต่ละปัจจัยนั้น เมื่อเทียบกับปัจจัยอื่นแล้วมีผลกระทบต่อเกณฑ์หรือปัจจัยที่อยู่ระดับสูงกว่ามากน้อยกว่ากัน ขนาดไหน ในการวินิจฉัยเปรียบเทียบระหว่าง 2 ปัจจัย โดยใช้ตารางเมตริกซ์ซึ่งจะมีช่องให้ใส่ผลการวินิจฉัยในพื้นที่เหนือเส้นทแยงมุม ส่วนพื้นที่อยู่ใต้เส้นทแยงมุมเป็นค่าต่างตอบแทนหรือเศษส่วน ดังนั้นถ้าปัจจัยที่ 1 มีความสำคัญมากกว่าปัจจัยที่ 2 ค่าที่จะออกมาเป็นตัวเลขบนพื้นที่เหนือเส้นทแยงมุม เช่น ความเร็วมีค่าระดับความสำคัญมากกว่าจำนวนลูกข่ายในระดับความสำคัญที่ 3 แต่ในทางตรงกันข้ามถ้าปัจจัยที่ 1 มีความสำคัญน้อยกว่าปัจจัยที่ 2 ค่าที่ได้จะเป็นเศษส่วนในพื้นที่เหนือเส้นทแยงมุมแทน เช่น ความเสถียรมีค่าน้อยกว่าจำนวนลูกข่ายอยู่ในระดับ 1/5 ส่วนค่าที่อยู่ล่างเส้นทแยงมุมจะเท่ากับค่าต่างตอบแทนของค่าที่อยู่เหนือเส้นทแยงมุม ดังตาราง 1 โดยที่ค่าระดับความสำคัญได้นั้นมาจากการสอบถามผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในการตัดสินใจเลือกเครื่องเซิร์ฟเวอร์

ตาราง 1 การวินิจฉัยเปรียบเทียบเกณฑ์การตัดสินใจ

เครื่องเซิร์ฟเวอร์ ภายใต้การ เปลี่ยนแปลงของ เทคโนโลยี	ขนาด ของหน่วย	ความเร็ว	ความเสถียร	ความ ปลอดภัย	รูปร่างของเครื่อง	ระยะเวลาการใช้งาน	การรับประกัน	ราคา
จำนวนลูกข่าย	1,1,1	2,3,4	1/4, 1/5, 1/6	1/4, 1/5, 1/6	8,9,10	1,1,1	1,1,1	2,3,4
ความเร็ว	1/2, 1/3, 1/4	1,1,1	1/4, 1/5, 1/6	1/2, 1/3, 1/4	8,9,10	1,1,1	1/2, 1/3, 1/4	2,3,4
ความเสถียร	4,5,6	4,5,6	1,1,1	1,1,1	8,9,10	4,5,6	4,5,6	6,7,8
คุณภาพ	4,5,6	2,3,4	1,1,1	1,1,1	8,9,10	4,5,6	2,3,4	4,5,6
รูปร่างของเครื่อง	1/8, 1/9, 1/10	1/8, 1/9, 1/10	1/8, 1/9, 1/10	1/8, 1/9, 1/10	1,1,1	1/4, 1/5, 1/6	1/8, 1/9, 1/10	1/2, 1/3, 1/4
ระยะเวลาการใช้งาน	1,1,1	1,1,1	1/4, 1/5, 1/6	1/4, 1/5, 1/6	4,5,6	1,1,1	1/3, 1/4, 1/5	2,3,4
การรับประกัน	1,1,1	2,3,4	1/4, 1/5, 1/6	1/2, 1/3, 1/4	8,9,10	3,4,5	1,1,1	4,5,6
ราคา	1/2, 1/3, 1/4	1/2, 1/3, 1/4	1/6, 1/7, 1/8	1/4, 1/5, 1/6	2,3,4	1/2, 1/3, 1/4	1/4, 1/5, 1/6	1,1,1

ขั้นที่ 4 หาผลการวินิจฉัยเปรียบเทียบทั้งหมดจากชุดตารางเมตริกซ์ในขั้นตอนที่ 3 ข้างต้น

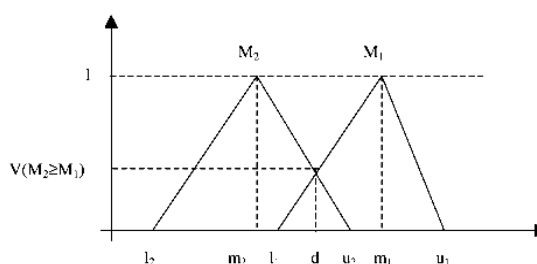
ขั้นที่ 5 หลังจากที่ได้ข้อมูลตัวเลขของการวินิจฉัยเปรียบเทียบทั้งหมดลงในตารางเมตริกซ์แล้ว จึง

คำนวณหาระดับความสำคัญด้วยการนำ Fuzzy number มาลดความคลุมเครือจากการวินิจฉัยทางเลือกของผู้ตัดสินใจ การนำ Fuzzy number มาใช้ในการคำนวณร่วมกับทฤษฎี AHP ในขั้นตอนนี้มีการกำหนดค่าระดับความสำคัญที่เป็นช่วงในทฤษฎีสมาชิกฟังก์ชันสามเหลี่ยม เพื่อให้ผู้วินิจฉัยทางเลือกได้รับความถูกต้องมากขึ้น โดยค่าระดับความสำคัญที่กำหนดขึ้นในลักษณะ Fuzzy-AHP เมื่อเทียบกับ AHP แบบเดิมสามารถกำหนดได้ดังตาราง 2

ตาราง 2 การเปรียบเทียบค่าระดับความสำคัญของ AHP และ Fuzzy AHP

ระดับความสำคัญแบบ AHP	ความหมาย	ระดับความสำคัญแบบ Fuzzy-AHP
1	สำคัญเท่ากัน	(1,1,1)
3	สำคัญกว่าระดับปานกลาง	(2,3,4)
5	สำคัญมากกว่า	(4,5,6)
7	สำคัญมากกว่าที่สุด	(6,7,8)
9	สำคัญมากกว่าสูงสุด	(8,9,10)
2,4,6,8	ระดับความสำคัญการลดช่องว่างระหว่างระดับความรู้สึก	(1,2,3),(3,4,5),(5,6,7),(7,8,9)

ทฤษฎีสมาชิกฟังก์ชันสามเหลี่ยมฟัซซี่นัมเบอร์ (Triangular fuzzy numbers) สามารถนำมากำหนดให้อินเตอร์เซกชันกันได้ดังภาพประกอบ 2 โดยให้ d จะเป็นค่าที่ใช้สำหรับกำหนดระดับความสำคัญที่ได้จากการคำนวณด้วย Fuzzy-AHP



ภาพประกอบ 2 สมาชิกฟังก์ชันสามเหลี่ยมที่อินเตอร์เซกชัน

การคำนวณด้วย Fuzzy-AHP นั้น สามารถกำหนดค่าการสังเคราะห์ของฟัซซี่ด้วยสมการคือ

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (1)$$

สมการ (1) จาก Cafer Erhan Bozdag, Cengiz Kahraman และ Da Ruan (2003) ใช้เพื่อคำนวณค่าระดับความสำคัญจากการวินิจฉัยเปรียบเทียบปัจจัย และทางเลือกที่นำมาใช้เป็นเกณฑ์ตัดสินใจ กำหนดให้ l และ u เป็นค่าล่างและบนของสมาชิกตามลำดับ และ m เป็นค่ากลาง ของ M Triangular Fuzzy Number ถูกแสดงคือ (l, m, u) มีกฎการบวกและการคูณกันของ M ดังนี้

การบวกกันของ Triangular Fuzzy Number คือ

$$(l_1, m_1, u_1) \oplus (l_2, m_2, u_2) = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad (2)$$

การคูณกันของ Triangular Fuzzy Number คือ

$$(l_1, m_1, u_1) \otimes (l_2, m_2, u_2) = (l_1 \times l_2, m_1 \times m_2, u_1 \times u_2) \quad (3)$$

- โดยที่ M คือ ปัจจัยที่ใช้เป็นเกณฑ์ตัดสินใจ
- S_i คือ คำนวณน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยที่ใช้เป็นเกณฑ์ตัดสินใจ
- $\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$ คือ ผลบวกของ Triangular Fuzzy Number
- และ $\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1}$ คือ ค่าต่างตอบแทนผลรวมของ l, m, u ทุกเกณฑ์การตัดสินใจ
- ขั้นที่ 6 ดำเนินการตามขั้นตอนที่ 3, 4, และ 5 สำหรับปัจจัยในแต่ละระดับชั้นและแต่ละชุดของแผนภูมิ
- ขั้นที่ 7 สังเคราะห์องค์ประกอบทั้งหมดของแผนภูมิ โดยนำเอาระดับความสำคัญของปัจจัยในระดับล่างมาถ่วงน้ำหนักลำดับความสำคัญของปัจจัยที่อยู่ระดับถัดขึ้นไป และนำผลรวมของค่าที่ได้มาหาค่าระดับความสำคัญทั่วทั้งแผนภูมิ ทำเช่นนี้จนถึงระดับชั้นล่างสุดซึ่งโดยปกติจะเป็นทางเลือก
- ขั้นที่ 8 จัดลำดับของทางเลือกทั้งหมด แล้วเลือกทางเลือกที่ดีที่สุด

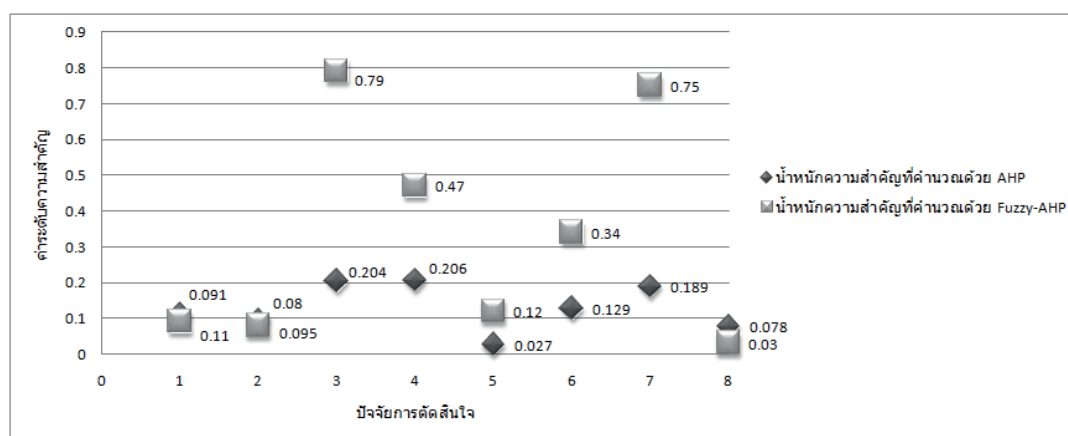
ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดทางเลือกในการตัดสินใจโดยใช้ชื่อเครื่องคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์เป็น A, B และ C แทน เครื่องคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์จำนวน 3 ยี่ห้อ จากนั้นให้เครื่องคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์ A, B และ C มีส่วนประกอบเหมือนกันเพื่อใช้ในการพิจารณา โดยนำปัจจัยทั้ง 8 ข้อ ดังตาราง 3 ที่ใช้เป็นเกณฑ์การตัดสินใจมาวินิจฉัยเปรียบเทียบหาลำดับความสำคัญของเครื่องคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์ทั้ง 3 ภายใต้เกณฑ์ทั้ง 8 ข้างต้น โดยให้ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในการตัดสินใจเลือกชื่อเครื่องคอมพิวเตอร์เปรียบเทียบเกณฑ์หลักภายใต้เป้าหมายและเปรียบเทียบทางเลือกภายใต้ปัจจัยของเกณฑ์หลัก

ตาราง 3 ปัจจัยสำหรับใช้เป็นเกณฑ์การตัดสินใจ

ปัจจัยการตัดสินใจ	ความหมาย
1. จำนวนลูกข่าย	ความสามารถในการรองรับจำนวนลูกข่ายพร้อม ๆ กัน
2. ความเร็ว	ความเร็วในการตอบสนองการเรียกใช้บริการของเครื่องลูกข่าย
3. ความเสถียร	ความสามารถในการทำงานอย่างราบรื่นเมื่อเครื่องลูกข่ายเรียกใช้งานพร้อมกัน
4. คุณภาพ	การตอบสนองต่อความต้องการและการได้รับความคาดหวังของผู้ใช้
5. รูปร่างของตัวเครื่อง	ลักษณะของการจัดวางอุปกรณ์ภายในตัวเครื่อง
6. ระยะเวลาที่ต้องการใช้งาน	อายุการใช้งานก่อนทำการปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์
7. การรับประกัน	บริการที่ได้รับจากผู้ผลิตเมื่อตัวเครื่องเกิดความชำรุดเสียหาย
8. ราคา	ความพึงพอใจต่อราคา

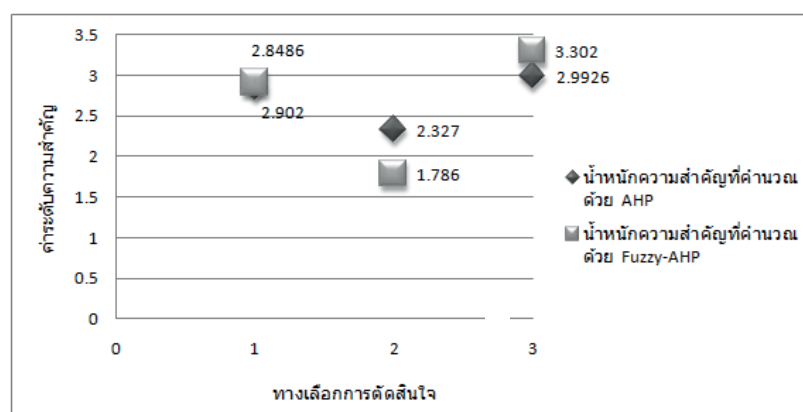
3. ผลการวิจัย

ในการวิจัยนี้ได้มีการคำนวณทั้งแบบ AHP และ Fuzzy-AHP โดยเมื่อนำมาเปรียบเทียบกันพบว่า ค่าน้ำหนักระดับความสำคัญของปัจจัยที่คำนวณด้วย Fuzzy-AHP มีการกระจายค่าน้ำหนักระดับความสำคัญได้ชัดเจนกว่า AHP ดังแสดงในภาพประกอบ 3 โดยค่าน้ำหนักระดับความสำคัญที่คำนวณจาก AHP มีค่าน้ำหนักระดับความสำคัญของแต่ละปัจจัยห่างกันโดยเฉลี่ยเพียง 0.022 ซึ่งค่าน้ำหนักระดับความสำคัญที่ได้นี้เกาะกลุ่มกันแสดงถึงความคลุมเครือจากการตัดสินใจ และค่าน้ำหนักระดับความสำคัญที่คำนวณได้จาก Fuzzy-AHP ของแต่ละปัจจัยมีความห่างกันโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 0.095 โดยที่ค่าการกระจายตัวของ Fuzzy-AHP นั้นมีมากกว่าค่าการกระจายตัวของ AHP ถึง 0.073 แสดงให้เห็นว่าความคลุมเครือในค่าน้ำหนักระดับความสำคัญที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญนั้นได้ถูกขจัดออกไปแล้ว



ภาพประกอบ 3 กราฟเปรียบเทียบการกระจายตัวค่าน้ำหนักระดับความสำคัญของปัจจัยระหว่าง AHP และ Fuzzy-AHP

ในทำนองเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบค่าน้ำหนักระดับความสำคัญของทางเลือกจากการตัดสินใจที่คำนวณด้วย AHP และ Fuzzy-AHP พบว่าค่าน้ำหนักระดับความสำคัญของ Fuzzy-AHP มีการกระจายตัวมากกว่าค่าน้ำหนักระดับความสำคัญของ AHP ดังแสดงในภาพประกอบ 4 โดยค่าน้ำหนักระดับความสำคัญที่ได้แต่ละทางเลือกมีความกระจายตัวโดยเฉลี่ย 0.2218 ซึ่งค่าน้ำหนักระดับความสำคัญที่ได้นี้เกาะกลุ่มกันแสดงถึงความคลุมเครือจากการตัดสินใจ



ภาพประกอบ 4 กราฟเปรียบเทียบการกระจายตัวค่าน้ำหนักระดับความสำคัญของทางเลือกการตัดสินใจระหว่าง AHP และ Fuzzy-AHP

ค่าน้ำหนักระดับความสำคัญที่คำนวณได้จาก Fuzzy-AHP นั้นมีการกระจายของค่าน้ำหนักระดับความสำคัญที่ได้ของแต่ละทางเลือกโดยเฉลี่ย 0.505 ซึ่งค่าการกระจายตัวโดยเฉลี่ยของ Fuzzy-AHP นั้นมีมากกว่า AHP ถึง 0.2832 แสดงให้เห็นถึงความคลุมเครือของการตัดสินใจนั้นได้ถูกขจัดออกไปแล้ว ด้วยเหตุนี้จึงพิสูจน์ได้ว่า การให้ค่าระดับความสำคัญจากผู้เชี่ยวชาญยังมีความคลุมเครือจากการตัดสินใจอยู่ ทำให้ค่าการกระจายตัวของค่าน้ำหนักระดับความสำคัญห่างกันน้อย และเมื่อนำการคำนวณแบบ Fuzzy-AHP ทำให้ค่าการกระจายตัวของค่าน้ำหนักระดับความสำคัญมีการกระจายตัวมากขึ้น ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าค่าระดับความสำคัญที่ใช้เป็นเกณฑ์ตัดสินใจเมื่อนำมาคำนวณด้วย Fuzzy-AHP แล้วทำให้มีความถูกต้องมากขึ้น

4. บทสรุป และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการในการตัดสินใจจัดหาเทคโนโลยีแบบหลายหลักเกณฑ์ด้วย Fuzzy-AHP ที่สามารถนำมาช่วยในกระบวนการตัดสินใจได้ทั้งปัจจัยเชิงคุณภาพ และเชิงปริมาณ ซึ่งเป็นเครื่องมือช่วยตัดสินใจที่มีขั้นตอนอย่างเป็นกระบวนการ ซึ่งสามารถลดความคลุมเครือของผู้ตัดสินใจ และง่ายในการนำไปประยุกต์ใช้งานการตัดสินใจอีกหลาย ๆ ด้านได้อย่างมีประสิทธิภาพ และส่วนสำคัญของงานวิจัยนี้คือ การแสดงให้เห็นว่าการใช้เครื่องมือช่วยสนับสนุนการตัดสินใจนี้ทำให้สามารถตัดสินใจได้อย่างเป็นกระบวนการขึ้น และสามารถช่วยลดความคลุมเครือจากการตัดสินใจได้อีกด้วย นอกจากนี้การใช้ปัจจัยเป็นเกณฑ์การตัดสินใจในกระบวนการ Fuzzy-AHP นั้น ผู้วิจัยสามารถใช้ปัจจัยจากงานวิจัยนี้เป็นแนวทางในการศึกษาการตัดสินใจเลือกในลักษณะอื่นๆ ได้ โดยสามารถแยกส่วนย่อยของปัจจัยทั้ง 8 ปัจจัยเป็นเกณฑ์รองในการตัดสินใจตามกระบวนการที่ได้ และสามารถทดลองใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในรูปแบบอื่นเพื่อพัฒนาเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจ โดยต้องดูความเหมาะสมของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกให้สอดคล้องกับลักษณะของปัญหาการตัดสินใจด้วย

5. รายการอ้างอิง

กิตติ ภักดีวัฒนะกุล, 2550. คัมภีร์ระบบสนับสนุนการตัดสินใจและระบบผู้เชี่ยวชาญ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: เคทีพี คอมพ์ แอนด์คอนซัลท์.

รัชชัย ผิวสะอาด, 2008. “เลือกเซิร์ฟเวอร์อย่างไรให้ถูกใจ”. **อีเวิลด์แม็กกาซีน**. 6 : 90-95.

พยุ่ง มีสัจ, **พีชชี ลอจิก**[Online] From <http://suanpalm3.kmitnb.ac.th/teacher/phayung/powerpoint.asp?pno=1>

วิฑูรย์ ตันศิริคงกล, 2542. **AHP กระบวนการตัดสินใจที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในโลก**. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.

สุธรรม อรุณ, “การตัดสินใจโดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์”. **Process management**. 64 : 1-7.

อรรคเจตต์ อภิขจรศิลป์ และ ปริญญ์ บุญณินัย, 2550. **เครื่องมือการตัดสินใจในกระบวนการออกแบบพัฒนาผลิตภัณฑ์**. **Eco Design Consultant**. มปท.

Andrew word, 2000. “How to Size A Server.” **Management and Strategy: Hardware**. 116 : 3-4.

Cafer Erhan Bozdag, Cengiz Kahraman and Da Ruan, 2003. “Fuzzy group decision making for selection among computer integrated manufacturing systems.” **Computer in Industry**. 13-29.

Cengiz Kahraman, Ufuk Cebeci and Ziya Ulukan, 2003. “Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP.” **Logistics Information Management**. 16, 6 : 382-394.

L. Mikhailov and P. Tsvetinov, 2004. “Evaluation of services using a fuzzy analytic hierarchy process.” **Applied Soft Computing**. 23-33.

M. Weck, F.Klock, H. Schell, E. Ruenauer, 1997. “Evaluating alternative production cycles using the extended fuzzy AHP method.” **European Journal of Operational Research**. 351-366.

Mason, Anthony K., Korkmaz and Sevil, 1998. “Obtaining fuzzy membership functions and rule sets in fuzzy expert systems with AHP.” **Proceedings of the IEEE International Conference on Systems**. 2315-2319.

Orlando Duran and Jose Aguilo, 2008. “Computer-aided machine-tool selection based on a Fuzzy-AHP Approach.” **Expert Systems with Applications**. 1787-1794.

Saaty, T.L., 1994. **Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process**. Pittsburgh : **RWS Publications**.

Tarek Khalil, 2000. **Management of Technology**. New York : McGraw-Hill.

การพัฒนาระบบห้องสมุดดิจิทัลของห้องสมุดงานวิจัย

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

DEVELOPING AUTOMATION DIGITAL LIBRARY FOR RESEARCH LIBRARY OF THE NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF THAILAND

สุภาพรณ โทจน์¹

ประสงค์ ปราณีตพลกรัง²

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail : ¹meonaja@hotmail.com, ²prasong.pr@spu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบห้องสมุดดิจิทัลของห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ สำหรับจัดเก็บและให้บริการสื่อดิจิทัลของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติแบบอัตโนมัติ โดยใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จภาพประกอบชื่อว่า Greenstone ในการพัฒนาระบบดังกล่าว

ผลที่ได้จากการวิจัยนี้ ทำให้ได้ระบบห้องสมุดดิจิทัลของห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่สามารถให้บริการแก่นักวิจัย นักศึกษา และที่ผู้สนใจทั่วไป สามารถสืบค้นข้อมูลในรูปแบบดิจิทัล จากทรัพยากรสารสนเทศที่เป็น วารสาร งานวิจัยและวิทยานิพนธ์ และสื่อมัลติมีเดียอื่น ๆ ซึ่งประกอบด้วย ภาพ เสียง และวิดีโอ ได้อย่างสะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: ห้องสมุดดิจิทัล ระบบคอมพิวเตอร์ห้องสมุด

ABSTRACT

The research in information technology has purposed to development the automated digital library system of Research Library of The National Research Council of Thailand. We tried to collect and provide the automated digital media service of The National Research Council of Thailand by using Greenstone software suite in development processes.

The result from this study is to gain the digital automation library system of Research Library of The National Research Council of Thailand that can provide the service for researchers, students and general users. It can be convenient and more rapidly searched for digital contents that consist of information resources in e-journals, research and thesis bibliography and multimedia that consist of images, audio and video.

KEYWORDS: Digital library, Library system

1. บทนำ

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) เป็นศูนย์รวบรวมเอกสารงานวิจัยของประเทศ เพื่อส่งเสริมและสนับสนุนการศึกษาวิจัยในสาขาวิชาการต่างๆ แก่นักวิจัย หน่วยงานวิจัย นักศึกษา และประชาชนทั่วไป ห้องสมุดได้พัฒนาระบบจัดเก็บและสืบค้นเอกสารงานวิจัยและทรัพยากรสารสนเทศต่างๆ ที่มีในห้องสมุด ในรูปแบบฐานข้อมูลเอกสาร งานวิจัยและวิทยานิพนธ์ มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2534 โดยใช้โปรแกรม CDS/ISIS ซึ่งเป็นโปรแกรมจัดการฐานข้อมูลแบบโอเพ่นซอร์สที่สนับสนุนโดยองค์การยูเนสโก และให้บริการสืบค้นผ่านเว็บไซต์ห้องสมุดมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2541 โดยสามารถเชื่อมโยงไปยังบทคัดย่อฉบับเต็มรูปแบบของไฟล์แบบพดีเอฟ (PDF) ได้ อย่างไรก็ตาม ห้องสมุดยังไม่มีระบบสำหรับจัดเก็บและให้บริการเอกสารและสื่อดิจิทัลโดยเฉพาะ จึงทำให้การจัดการและให้บริการสื่อดังกล่าวเป็นไปอย่างจำกัด

ดังนั้น ได้มีการพัฒนาระบบห้องสมุดดิจิทัลของห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ จะช่วยให้ห้องสมุดสามารถบริหารจัดการและให้บริการเอกสารดิจิทัลและสื่อดิจิทัลของหน่วยงานได้สะดวก รวดเร็วและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบห้องสมุดดิจิทัลของห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ โดยโครงการวิจัยมีขอบเขต ดังนี้

1. พัฒนาระบบห้องสมุดดิจิทัล สำหรับจัดเก็บและให้บริการสื่อดิจิทัลที่เป็นข้อความ ภาพ เสียง และมัลติมีเดีย ของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
2. สื่อดิจิทัล ประกอบด้วย บทความจากวารสารสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ บทคัดย่อบทวิจัยและวิทยานิพนธ์ที่มีในห้องสมุด และมัลติมีเดีย ได้แก่ เพลง ภาพถ่าย และวีดิทัศน์
3. พัฒนาระบบห้องสมุดดิจิทัลบนเครื่อง PC Stand Alone

2. แนวคิดการพัฒนาห้องสมุดดิจิทัล

ห้องสมุดดิจิทัล หมายถึงห้องสมุดที่มีการสร้างทรัพยากรสารสนเทศดิจิทัล อาจเป็นข้อความ ภาพ เสียง หรือมัลติมีเดีย เพื่อให้ผู้ใช้บริการสามารถเข้าถึงเอกสารฉบับเต็มได้อย่างสะดวก รวดเร็ว โดยใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ และระบบเครือข่าย โดยอาจจะพัฒนาระบบขึ้นมาเองหรือใช้ซอฟต์แวร์บริหารจัดการห้องสมุดดิจิทัลสำเร็จรูป

ลักษณะของห้องสมุดดิจิทัล มีดังนี้

1. ห้องสมุดที่มีการจัดหาหรือสร้างข้อมูลเนื้อหาเอกสาร (Information Contents) ให้เป็นไฟล์ดิจิทัล (Digital Objects)
2. ห้องสมุดที่มีการจัดการข้อมูลในรูปแบบดิจิทัลที่เรียกว่า เป็น Digital Objects เริ่มจากมีการจัดการการเผยแพร่ข้อมูลและการใช้ข้อมูลที่จัดเก็บไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์หลักหรือในหลายๆ แหล่งจัดเก็บข้อมูล (Repositories) ผ่านระบบเครือข่าย
3. ผู้ใช้เรียกใช้ข้อมูลได้โดยตรง เป็นเนื้อหาเต็มรูปแบบ โดยผู้ใช้ไม่ต้องมาที่อาคารห้องสมุดและไม่ใช้ข้อมูลผ่านผู้ให้บริการหรือบรรณารักษ์

4. ห้องสมุดดิจิทัล มีการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศที่เกี่ยวข้องเช่น เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีการสื่อสาร การจัดการสารสนเทศและการติดต่อกับผู้ใช้

5. ห้องสมุดดิจิทัลมีการจัดหมวดหมู่ให้เป็นระบบในลักษณะ Metadata เพื่อความสะดวก ในการค้นหา และเพื่อให้การจัดการข้อมูล ดิจิทัลมีมาตรฐานในการใช้ข้อมูลดิจิทัลร่วมกัน รวมถึงการแลกเปลี่ยนข้อมูล

ขั้นตอนการพัฒนาห้องสมุดดิจิทัล มีรายละเอียดดังนี้

1. การคัดเลือกและจัดหาทรัพยากรและการสร้าง Collection (Information Acquisition and Collection) เป็นขั้นตอนของการคัดเลือกและการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปดิจิทัลซึ่งอยู่ในรูปของข้อความ ภาพ เสียง หรือ มัลติมีเดีย

2. การทำดัชนีข้อมูลที่จัดเก็บและการจัดเก็บข้อมูลไว้ใน Collection (Information Indexing and Organization) เป็นการจัดเก็บข้อมูลเป็นหมวดหมู่และหัวเรื่องในลักษณะการทำ Metadata และการจัดเก็บข้อมูลไว้ในฐานข้อมูลเพื่อความสะดวกในการค้นหาข้อมูลที่ต้องการ เมทาเดตามีหลายแบบ เช่น MARC, Dublin Core เป็นต้น

3. การเผยแพร่ข้อมูลและการนำมาใช้ (Information Dissemination and Utilization) เป็นการเผยแพร่ข้อมูลในลักษณะที่ผู้ใช้ค้นหาข้อมูลที่ต้องการได้ด้วยตนเอง เพื่อความสะดวกและการนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์

โปรแกรม Greenstone

Greenstone Digital Library Software (GSDL) เป็นชุดโปรแกรมบริหารจัดการห้องสมุดดิจิทัล ที่สามารถสร้าง หรือ จัดเก็บสารสนเทศที่อยู่ในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ได้ GSDL พัฒนาขึ้นมาตั้งแต่ปี 1997 โดยโครงการ New Zealand Digital Library Project มหาวิทยาลัย Waikato ประเทศนิวซีแลนด์ ซึ่งมีการพัฒนาและเผยแพร่โดย องค์การ UNESCO และ Human Info NGO ในการพัฒนาเป็น Open source software เพื่อส่งเสริมให้ประเทศต่างๆ พัฒนาห้องสมุดดิจิทัลของหน่วยงานตนเองได้โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อซอฟต์แวร์ ทำให้มีสื่อดิจิทัลเผยแพร่ทั่วโลกมากขึ้นอีกด้วย ซอร์สโค้ดต้นฉบับของ Greenstone เขียนด้วยภาษา C++ และ Perl ผู้ใช้งานสามารถเรียกใช้งาน นำมาพัฒนาเพิ่มเติมเองได้

เมทาเดตา (Metadata)

เมทาเดตา (Metadata) หมายถึง ข้อมูลของข้อมูล ที่อธิบายลักษณะสารสนเทศและทำหน้าที่เป็นตัวสร้างความสัมพันธ์กับสารสนเทศอื่นๆ เมทาเดตามีหลายแบบ เช่น MARC, Dublin Core เป็นต้น

เมทาเดตาที่เป็นที่รู้จักกันดี ก็คือ ดับลินคอร์ (Dublin Core--DC) มี 15 องค์ประกอบ ได้แก่

- 1) Title 2) Creator 3) Subject 4) Description 5) Publisher 6) Contributor 7) Date 8) Type 9) Format
- 10) Identifier 11) Source 12) Language 13) Relation 14) Coverage 15) Rights

3.งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธนวัฒน์ เลิศประเสริฐ (2550) ได้พัฒนาห้องสมุดดิจิทัลอนุกรมวิชาหนังสือพิมพ์ในพื้นที่ที่ราบลุ่มภาคกลางของประเทศไทย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลองค์ความรู้ที่หนังสือพิมพ์ในพื้นที่ที่ราบลุ่มภาคกลางของประเทศไทย ให้อยู่ในรูปแบบของฐานข้อมูลดิจิทัลในลักษณะเว็บเทคโนโลยี โดยใช้โปรแกรมมายเอสคิวแอล ในการสร้างฐานข้อมูล แล้วทดสอบระบบจากกลุ่มผู้ดูแลระบบ และนักพฤกษศาสตร์ ผลการทดสอบระบบในภาพรวมพบว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในระดับปานกลาง ระบบมีความสะดวกต่อการใช้งาน ข้อมูลที่สืบค้นมีความถูกต้องน่าเชื่อถือ ระบบมีประสิทธิภาพ รวมทั้งช่วยลดขั้นตอนการทำงาน

เอกพล เหลียวรุ่งเรือง (2546) ได้พัฒนาระบบการสืบค้นภาพวิทัศน์จากห้องสมุดดิจิทัล เพื่อสนับสนุนการให้บริการข้อมูลสารสนเทศวิทัศน์ในรูปแบบข้อมูลดิจิทัลภายในห้องสมุด โดยได้นำเอาระบบฐานข้อมูล DB2 ของบริษัทไอบีเอ็มและใช้ภาษาจาวาในการพัฒนา ทำให้ได้ระบบสืบค้นภาพวิทัศน์ดิจิทัล และเรียกใช้งานข้อมูลวิทัศน์ดิจิทัลได้สะดวกมากยิ่งขึ้น โดยสามารถเรียกดูข้อมูลวิทัศน์ที่สืบค้นได้ ณ จุดเริ่มต้นของวิทัศน์ ณ เวลาที่ต้องการ หรือตำแหน่งของวิทัศน์ที่ต้องการได้

Liu, Yan Quan (2004) ได้ศึกษาเกี่ยวกับ วิธีการ มาตรฐาน และเทคนิคในการแปลงวัสดุของห้องสมุดดิจิทัลของโครงการห้องสมุดดิจิทัลในประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อศึกษาประเภทของวัสดุที่ห้องสมุดต่างๆ แปลงให้เป็นดิจิทัล แนวทาง วิธีการ มาตรฐาน เทคโนโลยีที่ใช้ในการพัฒนาโครงการห้องสมุดดิจิทัล รวมทั้งปัญหาของโครงการห้องสมุดดิจิทัล ผลการศึกษาพบว่าโครงการห้องสมุดดิจิทัลในประเทศสหรัฐอเมริกาส่วนใหญ่ได้รับการสนับสนุนด้านงบประมาณในการพัฒนาห้องสมุดดิจิทัลจากหน่วยงานของรัฐ โดยวัสดุที่ห้องสมุดสถาบันอุดมศึกษานำมาแปลงให้เป็นดิจิทัลเป็นวัสดุที่มีคุณค่าของหน่วยงาน ห้องสมุดส่วนใหญ่มีความร่วมมือกับหน่วยงานอื่นๆ และมีการกำหนดนโยบายในการพัฒนาห้องสมุดดิจิทัล รวมทั้งมีการใช้มาตรฐานเมทาตาhta และมาตรฐานคุณภาพของภาพ ได้แก่ ดับลินคอร์เมทาเดตา, RDF, EAD, TEI, SGML, XML และ HTML โดยยังคงมีการใช้มาตรฐาน MARC ในการพรรณาทรรศการดิจิทัลในโครงการห้องสมุดดิจิทัลต่างๆ สำหรับเทคโนโลยีพบว่า มีแนวโน้มในการใช้ซอฟต์แวร์ในการจัดการภาพ เช่น Paint Shop Pro และ Adobe PhotoShop มากขึ้น สำหรับฮาร์ดแวร์พบว่า มีแนวโน้มในการใช้กล้องดิจิทัลแทนการใช้สแกนเนอร์แบบแท่นนอนในการแปลงให้เป็นดิจิทัล รวมทั้งมีการจัดเก็บทรรศการดิจิทัลในเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายของห้องสมุด

4. วิธีการดำเนินการวิจัย

การออกแบบระบบใหม่

1. จัดเตรียมข้อมูลดิจิทัล ผู้ศึกษาได้คัดเลือกข้อมูลที่จะนำเข้าระบบห้องสมุดดิจิทัลเฉพาะข้อมูลของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ เพื่อป้องกันปัญหาลิขสิทธิ์ ประกอบด้วย e-Journals เป็นบทความจากวารสารสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และ Research เป็นรายงานวิจัยและวิทยานิพนธ์ที่มีในห้องสมุด โดยนำมาจากฐานข้อมูลเดิมของห้องสมุดในโปรแกรม CDS/ISIS และ Multimedia เป็นสื่อมัลติมีเดียของสำนักงานฯ ได้แก่ ไฟล์เสียง, ไฟล์ภาพ และ ไฟล์ภาพเคลื่อนไหว

2. การออกแบบโครงสร้างข้อมูล โดยลงรายการข้อมูลดิจิทัลตามมาตรฐานฉบับลินคอร์เมทาตา

3. ติดตั้งระบบ โดยติดตั้งโปรแกรมต่างๆ ได้แก่ Java2 Runtime Environment, ImageMagick,

GhostScript, Greenstone 2.80

4. สร้างคอลเลกชันใน Greenstone ได้แก่ E-Journals Multimedia และ Research ตามลำดับ

5. ออกแบบระบบสืบค้น ดังนี้

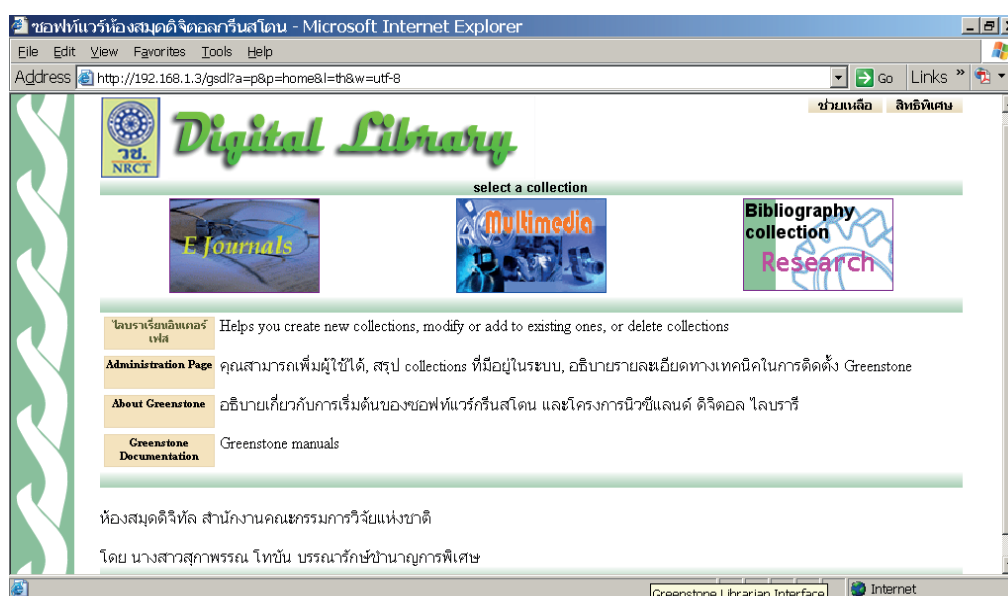
E-Journals ให้ Search: ทุกเขตข้อมูล ชื่อเรื่อง ผู้แต่ง และหัวเรื่อง และให้ Browse: ชื่อเรื่อง หัวเรื่อง และผู้แต่ง

Multimedia ให้ Search: ชื่อเรื่อง และให้ Browse: ชื่อเรื่อง และ ประเภทสื่อ Research ให้ Search: ชื่อเรื่อง ผู้แต่ง และหัวเรื่อง และให้ Browse: ชื่อเรื่อง ชื่อผู้แต่ง และปีพิมพ์

5. ผลการวิจัย

ผลที่ได้การพัฒนาระบบห้องสมุดดิจิทัลในครั้งนี้ นำเสนอใน 2 ประเด็น คือ โฮมเพจห้องสมุดดิจิทัล และระบบสืบค้นห้องสมุดดิจิทัล ดังรายละเอียดต่อไปนี้

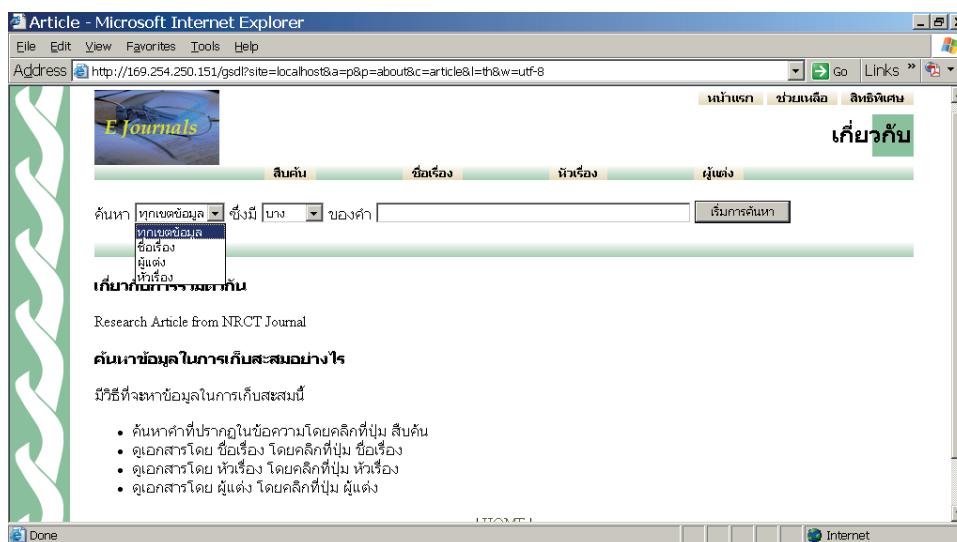
โฮมเพจห้องสมุดดิจิทัล ดังภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 โฮมเพจห้องสมุดดิจิทัล

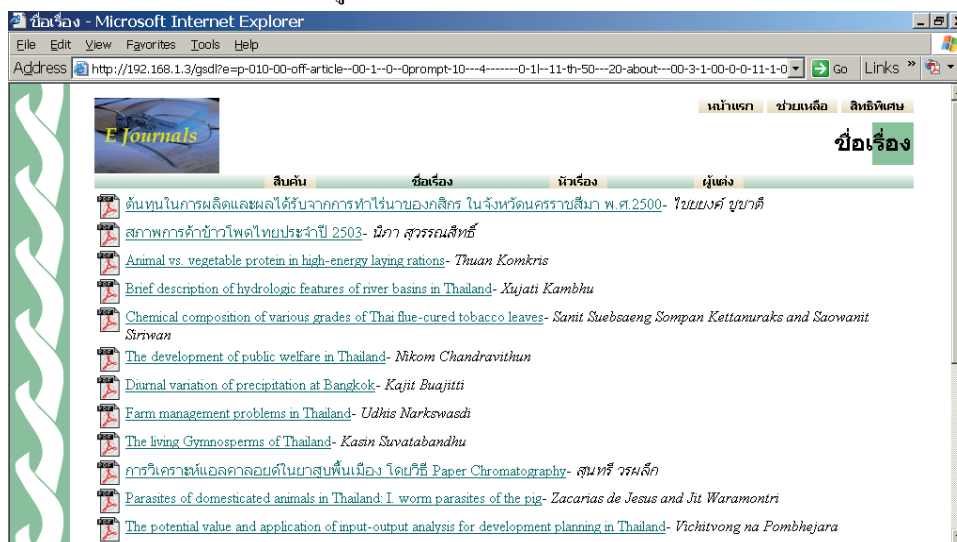
ระบบสืบค้นห้องสมุดดิจิทัล

1. E-Journals มีระบบ Search และ Browse โดย Search: ทุกเขตข้อมูล ชื่อเรื่อง ผู้แต่ง และหัวเรื่อง
 ดังภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 ระบบ Search E-Journals

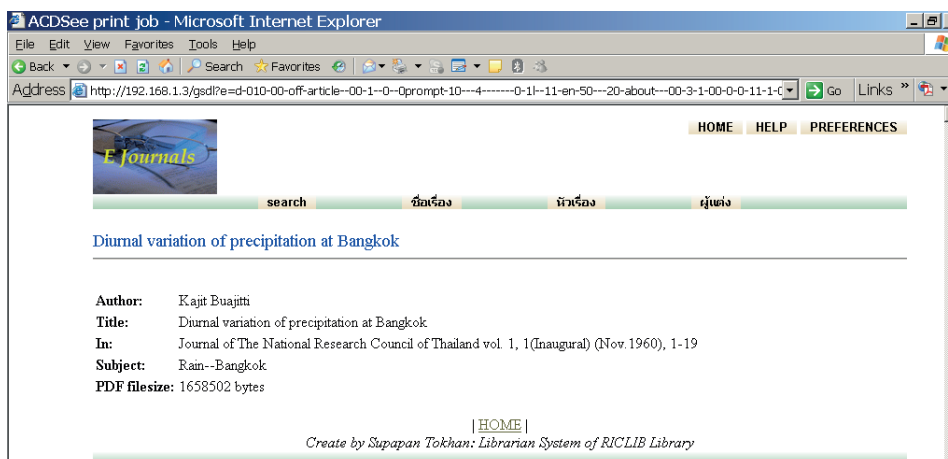
Browse: ชื่อเรื่อง หัวเรื่อง และผู้แต่ง ดังภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 ระบบ Browse E-Journals

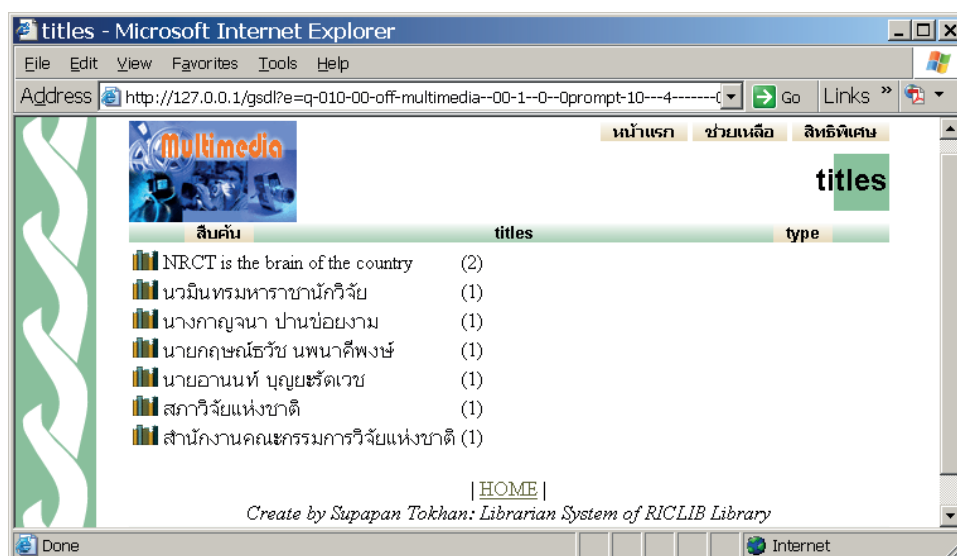
เมื่อคลิกที่ปุ่ม  จะลิงก์ไปยังบทความฉบับเต็มที่อยู่ในรูป PDF

เมื่อคลิกที่ชื่อเรื่องจะลิงก์ไปยังรายละเอียดทางบรรณานุกรมของบทความนั้น ดังภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 รายละเอียดทางบรรณานุกรม

2. Multimedia มีระบบ Search: ชื่อเรื่อง และ Browse: ชื่อเรื่อง และประเภทสื่อ ดังภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 5 ระบบ Browse Multimedia

3. Research มีระบบ Search และ Browse โดย Search: ชื่อเรื่อง ผู้แต่ง และหัวเรื่อง และให้ Browse: ชื่อเรื่อง ชื่อผู้แต่ง และปีพิมพ์ โดยมีรูปแบบการแสดงผลเช่นเดียวกับ e-Journals

สรุปได้ว่า ผลการวิจัยแบ่งเป็น 2 ด้าน ได้แก่ (1) การออกแบบเว็บไซต์ห้องสมุดดิจิทัล ได้ออกแบบตามรูปแบบของโปรแกรม Greenstone และได้ปรับเปลี่ยนภาพประกอบหรือข้อความให้เหมาะสมกับห้องสมุดงานวิจัย (2) วิธีการค้นหาข้อมูลในห้องสมุดดิจิทัล โดยแบ่งทรัพยากรสารสนเทศ ออกเป็น 3 กลุ่ม คือ e-Journals, Multimedia และ Research โดยมีวิธีการค้นหาสองรูปแบบ คือ การสืบค้นโดยการป้อนคำค้น และที่ระบุขอบเขตการค้นได้ และการค้นหาแบบไล่เรียงตามลำดับอักษรคำค้น วิธีการสืบค้นและการแสดงผลการค้นแตกต่างกันไปตามประเภททรัพยากร โดย E-Journals และ Research ซึ่งมีลักษณะข้อมูลบรรณานุกรมเช่นเดียวกัน จะมีรูปแบบ

การแสดงผลการค้นแบบย่อ ผลการค้นแบบบรรณานุกรม และการแสดงเอกสารฉบับเต็มที่อยู่ในรูปของไฟล์พีดีเอฟ ส่วนมัลติมีเดียจะเปิดไฟล์ได้ทันที

ข้อดีของ Greenstone คือ เป็นซอฟต์แวร์สำหรับพัฒนาห้องสมุดดิจิทัลแบบโอเพ่นซอร์ส มีประสิทธิภาพสูง ใช้งานง่าย มีหลายแพลตฟอร์มและหลายภาษา รองรับข้อมูลหลายประเภท และรองรับเมตาดาต้าที่หลากหลาย นอกจากนี้ยังสามารถบริหารจัดการห้องสมุดดิจิทัลได้ทั้งออนไลน์และออฟไลน์ อย่างไรก็ตาม ใ้การใช้ Greenstone ยังมีข้อจำกัดที่ไม่สามารถใช้งานภาษาไทยได้เต็มประสิทธิภาพ และผู้พัฒนาห้องสมุดดิจิทัลจำเป็นต้องรู้และทักษะในการใช้โปรแกรมภาษาที่เกี่ยวข้องเป็นอย่างดี จึงจะสามารถพัฒนาระบบได้ตามความต้องการ

6. รายการอ้างอิง

กรภัทร์ สุทธิธรา, 2544. **ก้าวสู่โลกอินเทอร์เน็ต ฉบับสมบูรณ์**. กรุงเทพฯ : อินโฟเพรส.

กิตติ ภัคดีวัฒนะกุล และพนิดา พานิชกุล, 2546. **คัมภีร์การวิเคราะห์และออกแบบระบบ**. พิมพ์ครั้งที่ 3.

กรุงเทพฯ : ไทยเจริญการพิมพ์.

ชนะวัฒน์ เลิศประเสริฐ, 2550. **ห้องสมุดดิจิทัลอนุกรมวิธานพืชวงศ์หญ้าในพื้นที่ที่ราบลุ่มภาคกลางของ**

ประเทศไทย. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการจัดการ, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

น้ำทิพย์ วิภาวิน, 2543. **ห้องสมุดดิจิทัล**. กรุงเทพฯ : ดวงกมลสมัย.

บุญเลิศ อรุณพิบูลย์ และสุภาพร ชัยชมะปกรณ์, 2552. **เริ่มต้นกับ Greenstone พัฒนาห้องสมุดดิจิทัล**.

ปทุมธานี : ศูนย์บริการความรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.

เย็น ภู่วรรณ, 2542. **ดิจิทัลไลบรารี (ออนไลน์)**. เข้าถึงเมื่อ 2 เมษายน 2009

<http://www.paktho.ac.th/computerptk/introcom/it7.htm>

สุจิรา อัมรักเลิศ, 2547. **การดำเนินงานห้องสมุดดิจิทัลในสถาบันอุดมศึกษาสังกัดทบวงมหาวิทยาลัย**.

อักษรศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาบรรณารักษศาสตร์และสารนิเทศศาสตร์, คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เอกพล เหลียวรุ่งเรือง, 2546. **การสืบค้นภาพวิทัศน์จากห้องสมุดดิจิทัล**. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Liu, Yan Quan, 2004. "Best Practices, Standards and Techniques for Digitizing Library Materials:

A Snapshot of Library Digitization Practices in the USA." **Online Information Review**, 28, 5 : 338-345.

Witten, Ian H., & Bainbridge, David, 2007. **A brief history of the Greenstone Digital Library Software**

(Online). Retrieved May 20, 2009 from

http://wiki.greenstone.org/wiki/gsdoc/others/Greenstone_history.htm

**การวางแผนกลยุทธ์สำหรับการควบคุมบริหารจัดการโครงการซอฟต์แวร์
โดยอาศัยตัวแบบวุฒิภาวะความสามารถ
STRATEGIC PLANNING FOR CONTROLLING THE SOFTWARE
PROJECT MANAGEMENT USING CAPABILITY MATURITY MODEL**

อัญชลี อินไชย¹

ประสงค์ ปราณีตพลกรัง²

¹หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา ระบบสารสนเทศคอมพิวเตอร์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีปทุม E-mail : K_anchalee.in@hotmail.com

²หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา เทคโนโลยีสารสนเทศ
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีปทุม E-mail : prasong.pr@spu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่องนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางสำหรับควบคุมบริหารจัดการโครงการซอฟต์แวร์โดยอาศัยตัวแบบวุฒิภาวะความสามารถ โดยที่ผู้วิจัยได้จัดทำข้อเสนอแนะ กำหนดขั้นตอนและวิธีการที่จะนำตัวแบบวุฒิภาวะความสามารถในการพัฒนาซอฟต์แวร์ (Software Capability Maturity Model หรือ SW-CMM) มาใช้เพื่อให้การบริหารโครงการซอฟต์แวร์ได้อย่างเป็นระบบ และเป็นที่ยอมรับในระดับสากล การศึกษานี้ยังรวมถึงการตรวจสอบปัจจัยที่เป็นปัญหาและอุปสรรคเมื่อปฏิบัติตามข้อกำหนด CMM โดยใช้วิธีวิจัยเอกสาร และการสัมภาษณ์ผู้บริหารบริษัท ซอฟต์แวร์ไทยที่ได้รับและผ่านการประเมิน CMMI ในระดับ ที่ 3 มาแล้ว จากนั้นจึงได้วิเคราะห์และนำสิ่งที่ได้มาจัดประชุมกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ (Focus group) เพื่อหาข้อสรุปและจัดทำเป็นแนวทางและวิธีปฏิบัติเพื่อนำไปใช้ในการบริหารโครงการซอฟต์แวร์โดยมีขั้นตอนในการควบคุมบริหารจัดการโครงการซอฟต์แวร์สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การเตรียมความพร้อม และการวิเคราะห์กระบวนการในการดำเนินงานการบริหารโครงการซอฟต์แวร์
ก้าวสู่มาตรฐาน CMM และพิจารณาปรับปรุงกระบวนการบริหารโครงการตามแนวทางของ CMM

2. ทำการแก้ไขปัญหาดังต่าง ๆ เมื่อเริ่มดำเนินการตามแนวทางของ CMM

ผลการวิจัย พบว่าขั้นตอนในการควบคุมบริหารจัดการโครงการซอฟต์แวร์นั้น การได้รับการสนับสนุนจากผู้บริหารนับว่า เป็นสิ่งสำคัญยิ่งที่จะช่วยให้การบริหารโครงการซอฟต์แวร์ ประสบผลสำเร็จ

คำสำคัญ: ตัวแบบวุฒิภาวะความสามารถ การบริหารโครงการซอฟต์แวร์

ABSTRACT

The purpose of this study is to control and manage software project by using capability maturity model. Researcher has provided suggestions, steps and means of using the Capability Maturity Model (CMM) so that people can produce software or execute software Project more efficiently and well recognized internationally. This study also includes inspecting factors that cause problems and barrier when following CMM rule by using research paper and interviewing executives of Thai Software Companies that have passed CMMI evaluation in level 3 and then analyzing and bringing the results to the focus group meeting to conclude and find means and practical ways for software project execution. The steps of controlling and managing software project by using CMM are as the follows

1. Preparing and analyzing procedures of software project execution to meet CMM standard for improving procedure of software project execution according to CMM.

2. Dealing with problems solving when starting the CMM.

The research results revealed that supporting from the executives is the most important thing to help software project management successfully

KEYWORDS: Capability maturity model, Software project management,

1. ความเป็นมาของการบริหารโครงการ (Project Management: PM)

การพัฒนาของโลกทางด้านวัตถุได้เจริญก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว ด้วยกิจกรรมอันสลับซับซ้อนมากมาย และผลของการพัฒนาทางด้านวัตถุนี้ก่อให้เกิดผลสะท้อนหรือผลกระทบอย่างมากต่อการบริหารจัดการในยุคปัจจุบัน จึงทำให้องค์กรหรือหน่วยงานมีความจำเป็นที่ต้องมีการปรับตัวให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงตามสถานการณ์ที่เกิดขึ้น ตลอดจนจะต้องสามารถตอบสนองต่อสิ่งเร้าได้อย่างรวดเร็วทั้งในระยะสั้นและระยะยาว ปัจจุบันการบริหารจัดการโครงการซอฟต์แวร์ เป็นแนวทางหรือกิจกรรมที่หน่วยงาน หรือองค์กรส่วนใหญ่ได้นำมาใช้เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพ สร้างความยืดหยุ่นและความสามารถในการแข่งขัน ตลอดจนจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุดทั้งในด้านเวลา ค่าใช้จ่าย คุณภาพ และในปัจจุบันมีโครงการมากมายที่ถือได้ว่าเป็นกลยุทธ์หลักในการบริหารงานทั้งในระดับชาติ หรือแม้แต่โครงการที่มีการจัดขึ้นภายในองค์กรหรือหน่วยงาน เพื่อให้สามารถแข่งขันในระดับประเทศและระดับโลกได้ (ดร.ครรชิต มาลัยวงศ์ 2545, มกราคม) จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องนำมามาตรฐาน CMM มาใช้ในการบริหารโครงการซอฟต์แวร์ เพื่อให้จัดการกระบวนการบริหารโครงการซอฟต์แวร์ มีวิธีการปฏิบัติหลักที่ชัดเจน อีกทั้งเรื่องของจัดการโครงสร้างการบริหารซอฟต์แวร์ ทรัพยากร ระยะเวลา บุคลากร (ทีมงาน) ในการบริหารโครงการซอฟต์แวร์ เพื่อให้บรรลุไปยังเป้าหมายระดับการเจริญเติบโตที่ต้องการและช่วยลดความล้มเหลวของการบริหารโครงการซอฟต์แวร์ที่จะเกิดขึ้น

2. วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยเรื่อง การวางแผนกลยุทธ์สำหรับควบคุมการบริหารจัดการ โครงการซอฟต์แวร์ โดยอาศัยตัวแบบวุฒิภาวะความสามารถ (Strategic Planning for Software Project Management Using Capability Maturity Model: PMMM) มีดังนี้

1. เพื่อศึกษา การบริหารจัดการ โครงการซอฟต์แวร์ไทยในปัจจุบัน
2. เพื่อวางแผนกลยุทธ์ในการควบคุมการบริหารจัดการ โครงการซอฟต์แวร์โดยอาศัยตัวแบบวุฒิภาวะความสามารถ

3. ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีขอบเขตการดำเนินงานต่อไปนี้

1. จัดทำขั้นตอนและรายละเอียดทางภาคปฏิบัติ
2. จัดทำข้อเสนอแนะในการวางแผนสำหรับควบคุมการบริหารจัดการ โครงการซอฟต์แวร์สู่

มาตรฐาน CMM ทั้ง 5 ระดับ โดยภาพรวม

4. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีนำมาใช้คือ ตัวแบบวุฒิภาวะความสามารถ (Capability Maturity Model (CMM) เป็นมาตรฐานในการพัฒนาซอฟต์แวร์ ซึ่งจะนำมาใช้ในการวัดมาตรฐานการบริหารจัดการ โครงการซอฟต์แวร์เพื่อ เพิ่มพูนความรู้ และทักษะในการบริหาร โครงการ ซึ่งจะทำให้กระบวนการบริหาร โครงการซอฟต์แวร์มีประสิทธิภาพ ให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงต่อสถานการณ์ที่เกิดขึ้น

CMM ย่อมาจาก Capability Maturity Model หมายถึง แบบจำลองในการจัดการกับพัฒนาซอฟต์แวร์หรือแบบจำลองที่ใช้วัดระดับของการพัฒนาที่เราเรียกว่า ระดับวุฒิภาวะ (Maturity) มีระดับมาตรฐานขนาดไหน CMM ถูกนำมาใช้แพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของคน ทรัพยากรมนุษย์และที่มีชื่อเสียงแพร่หลายทางด้านการพัฒนาซอฟต์แวร์ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับด้านอื่นได้ ซึ่งงานวิจัยก่อนหน้านี้ นางสาวปิยะดา ภารวงศ์ ได้ทำวิจัยเรื่อง “แนวทางการสร้างวุฒิภาวะความสามารถในการพัฒนาซอฟต์แวร์ตามแบบจำลอง ซีเอ็มเอ็ม” มหาวิทยาลัยศรีปทุม ได้ทำการศึกษาค้นคว้าเพื่อศึกษาแนวทางการสร้างวุฒิภาวะความสามารถด้านการพัฒนาซอฟต์แวร์ระดับที่ 2 โดยเริ่มตั้งแต่กำหนดขั้นตอนและวิธีการที่จะนำแบบจำลองวุฒิภาวะในการพัฒนาซอฟต์แวร์ (Software Capability Model หรือ SW-CMM) มาใช้เพื่อให้หน่วยงานหรือบริษัทสามารถผลิตซอฟต์แวร์ได้อย่างเป็นระบบและเป็นที่ยอมรับในระดับสากล

5. ระเบียบวิธีวิจัย

ในการดำเนินการศึกษาวิจัยเรื่อง การวางแผนกลยุทธ์สำหรับควบคุมการบริหารจัดการ โครงการซอฟต์แวร์โดยอาศัยตัวแบบวุฒิภาวะ (Strategic Planning for Software Project Management Using Maturity Model)

มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาแนวทาง การวางแผนกลยุทธ์ในการควบคุมการบริหารจัดการ โครงการซอฟต์แวร์โดย อาศัยตัวแบบวุฒิภาวะ (Project Management Capability Maturity Model: PMMM) ซึ่งในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ มี ขั้นตอนการดำเนินงาน ประกอบด้วย

5.1 การบริหารโครงการซอฟต์แวร์ในปัจจุบัน

ศึกษาค้นคว้าวิธีการบริหาร โครงการซอฟต์แวร์ไทยในปัจจุบันมีระเบียบ วิธีการขั้นตอนการดำเนินงาน เป็นอย่างไร และเมื่อนำตัวแบบวุฒิภาวะ (Capability Maturity Model) มาเป็นแนวทางในการพัฒนาการบริหาร โครงการซอฟต์แวร์แล้วนั้น จะมีวิธี ขั้นตอนการดำเนินงานอย่างไร

5.2 การวางแผนกลยุทธ์สำหรับควบคุมการบริหารจัดการโครงการซอฟต์แวร์โดยอาศัยตัวแบบวุฒิภาวะ

บริหารจัดการโครงการซอฟต์แวร์ (Software Project Management) เป็นแนวทางหรือกิจกรรมที่ หน่วยงาน หรือองค์กรส่วนใหญ่ ได้นำมาใช้เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพ สร้างความยืดหยุ่นและความสามารถในการ แข่งขัน ตลอดจนจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุดทั้งในด้านเวลา ค่าใช้จ่าย คุณภาพ และใน ปัจจุบันมีโครงการมากมายที่ถือได้ว่าเป็นกลยุทธ์หลักในการบริหารงานซอฟต์แวร์ทั้งในระดับชาติและระดับ นานาชาติ

5.3 สัมภาษณ์

การวิจัยครั้งนี้ มีการสัมภาษณ์ตัวแทนจากองค์กร หรือบริษัท ที่ผ่านการประเมิน CMMI ระดับ 3 จำนวน 1 บริษัท /ท่าน คือ บริษัท Adasoft Co.,Ltd เพื่อที่จะได้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับ ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานขององค์กร ในการประเมิน CMMI ระดับ 3 มีรายละเอียดขั้นตอนและวิธีการ ดำเนินงานอย่างไรบ้าง และสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการบริหารโครงการซอฟต์แวร์ได้

5.4 ประชุมกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ

การวิจัยนี้ได้มีการศึกษาเนื้อหา จากเอกสาร งานวิจัย บทความต่าง ๆ และการประชุมกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ (Focus group) จำนวน 5 ท่าน เพื่อวิเคราะห์ความสอดคล้องความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับการบริหาร โครงการซอฟต์แวร์โดยอาศัยตัวแบบวุฒิภาวะความสามารถ และนำข้อมูลที่ได้โดยที่ปรึกษาร่วมกับผู้วิจัย ได้สกัด ออกมาเป็นข้อมูลเชิงสรุป ซึ่งนำไปเป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาการบริหาร โครงการซอฟต์แวร์ให้มี ประสิทธิภาพต่อไป

6. ผลการวิจัย

จากผลการวิจัยตามขั้นตอนของระเบียบวิธีวิจัยข้างต้นสามารถสรุปขั้นตอนในการบริหารโครงการโดย อาศัยตัวแบบวุฒิภาวะความสามารถ (CMM) ได้ดังต่อไปนี้

6.1 ประเมินการบริหารโครงการซอฟต์แวร์ก่อนทำ CMM

วัตถุประสงค์ ของการประเมินการบริหารโครงการซอฟต์แวร์ เพื่อสำรวจดูการทำงานของ การบริหาร โครงการว่าปัจจุบันมีกระบวนการทำงานอย่างไรบ้าง และไม่สอดคล้องกับ CMM ในส่วนใดบ้าง แล้วนำข้อมูล จากการวิเคราะห์นี้มาจัดทำแผนการบริหารโครงการซอฟต์แวร์โดยการประเมินจากกระบวนการความสามารถ (Process Capability) รวมถึงการวางแผน หรือประมาณการซอฟต์แวร์ ทั้งในการประมาณแผนงาน บุคลากร และ ระยะเวลาการดำเนินงาน เพื่อให้การบริหารโครงการซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงสมรรถนะกระบวนการวางแผนควบคุม

สำหรับบริหารโครงการซอฟต์แวร์ โดยนำเอาแนวทาง CMM ทั้ง 5 ระดับ มาปรับปรุงเพื่อช่วยในการวิเคราะห์การประเมินการบริหารโครงการซอฟต์แวร์นั้น พิจารณาจากกระบวนการบริหารโครงการซอฟต์แวร์ ที่เป็นอยู่ปัจจุบัน แล้วทำการเปรียบเทียบกับแต่ละกระบวนการ ขั้นตอนหลัก เพื่อลดความขัดแย้ง และความคิดเห็นที่แตกต่างกันของทีมงาน ผู้ที่ทำหน้าที่กำหนดกระบวนการคือ ผู้บริหารโครงการซอฟต์แวร์ (Software Project Manager)

6.2 กระบวนการควบคุมบริหารจัดการโครงการซอฟต์แวร์ตามหลัก CMM ทั้ง 5 ระดับ

กระบวนการควบคุมบริหารจัดการโครงการซอฟต์แวร์ตามหลักภาวะความสามารถ (CMM) ทั้ง 5 ระดับ สามารถสรุปรายละเอียดขั้นตอนการปฏิบัติได้ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

6.2.1 การบริหารโครงการเข้าสู่หลักภาวะความสามารถ (CMM) ระดับที่ 1 ระดับเริ่มต้น (Initial Level) การบริหารโครงการซอฟต์แวร์ในระดับนี้ ในทุกองค์กรหรือหน่วยงานต้องมีการบริหารจัดการโครงการซอฟต์แวร์รู้จักการบริหารโครงการซอฟต์แวร์เบื้องต้น อาทิเช่น วิธีบริหารจัดการโครงการซอฟต์แวร์โดยมุ่งเน้นให้การบริหารจัดการลุล่วงอย่างเดียว

6.2.2 การบริหารโครงการเข้าสู่หลักภาวะความสามารถ (CMM) ระดับที่ 2 ระดับทำซ้ำ (Repeatable Level) ประกอบไปด้วย วิธีการปฏิบัติหลักของ CMM ดังนี้คือ

1. การบริหารความต้องการของลูกค้า (Requirements Management)

ผู้บริหารโครงการเตรียมความพร้อมของบุคลากรหรือทีมงาน เพื่อให้มั่นใจถึงกระบวนการทำงานและมีการจัดทำเอกสารความต้องการ คือ ก่อนที่ทำการตกลงบันทึกร่วมกันจะมีการทบทวนโครงสร้างของการทำงานของก่อนจัดทำรายงานสรุปร้องขอการเปลี่ยนแปลง และจัดทำรายงานสรุปของโครงการ เพื่อการติดตามการดำเนินงานและแก้ไขปัญหาได้

2. การวางแผนโครงการซอฟต์แวร์ (Software Project Planning)

ผู้บริหารโครงการมีการบริหารจัดการในเรื่องของ เวลา ทรัพยากร และทีมงานให้เหมาะสมกับการบริหารโครงการ จัดทำแผนงานและเอกสารประกอบต่าง ๆ เพื่อใช้ในการวางแผนการบริหารโครงการโดยนำเอกสารความต้องการมาใช้เป็นข้อมูลเพื่อการวางแผนโครงการ

3. การติดตาม ดูแลและตรวจสอบแผนงานที่วางไว้ (Software Project Tracking and Oversight)

ผู้บริหารโครงการบริหารจัดการเวลา ทรัพยากรให้เหมาะสมและเพียงพอในการดูแลติดตาม ตรวจสอบแผนงานที่วางไว้ และผลลัพธ์ของโครงการ รวมถึงการวิเคราะห์ความเสี่ยงของโครงการ เพื่อทำการวางแผนที่ใช้ป้องกันความเสี่ยงหรือความล้มเหลวที่จะเกิดขึ้นกับการบริหารโครงการ

4. การตรวจสอบคุณภาพของซอฟต์แวร์ (Software Quality Assurance)

ผู้บริหารโครงการจัดตั้งทีมประกันคุณภาพซอฟต์แวร์ ขึ้นมา เพื่อทำการตรวจสอบกระบวนการมาตรฐาน และจัดตั้งกลุ่มผู้ควบคุมคุณภาพรับผิดชอบในการประสานงานและการดำเนินการตรวจสอบรับรอง

5. การพิจารณาทุกส่วนของการทำงานซอฟต์แวร์ (Software Configuration Management)

ผู้บริหารโครงการ จัดทำแผนบริหารโครงร่างซอฟต์แวร์ และจัดตั้งคณะผู้บริหารที่มีอำนาจในการจัดการบริหารหลักทางด้านซอฟต์แวร์ มีอำนาจในการจัดทำหลักการด้านซอฟต์แวร์ในแต่ละส่วน และรายงานผลรายละเอียดที่สำคัญ

6. การเลือกและควบคุมผู้รับช่วงต่อในการทำงาน (Software Subcontract Management)

ผู้บริหารโครงการจัดทำเอกสารและมาตรฐานในการคัดเลือกผู้รับเหมารายย่อย รวมถึง ข้อตกลงหลักออกมาเป็นเอกสารอย่างชัดเจน

6.2.3 การบริหารโครงการเข้าสู่หลักภาวะความสามารถ (CMM) ระดับที่ 3 ระดับกำหนด (Define Level) ประกอบไปด้วย วิธีการปฏิบัติหลักของ CMM ดังนี้คือ

1. การเน้นกระบวนการขององค์กร (Organization Process Focus)

ผู้บริหารโครงการจัดเตรียมทรัพยากรและเงินทุนที่เพียงพอและกำหนดผู้รับผิดชอบในกิจกรรมต่าง ๆ ในกระบวนการบริหารโครงการซอฟต์แวร์ให้สอดคล้องกับขององค์กร

2. การกำหนดกระบวนการขององค์กร (Organization Process Definition)

ผู้บริหารโครงการจัดเตรียมทรัพยากร ทีมงาน และเงินทุนที่เพียงพอ เพื่อที่จะนำมาพัฒนามาตรฐานของกระบวนการบริหารโครงการซอฟต์แวร์และสิ่งที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการบริหารและการจัดฝึกอบรมผู้ที่จะพัฒนาฐานของกระบวนการบริหารโครงการ, จัดทำเอกสารเกี่ยวกับกระบวนการบริหารโครงการ

3. โปรแกรมการฝึกอบรม (Training Program)

ผู้บริหารโครงการกำหนดกลุ่มผู้รับผิดชอบในการฝึกอบรมของการบริหารโครงการซอฟต์แวร์ จัดฝึกอบรม ความรู้และทักษะ ที่จำเป็นในการดำเนินกิจกรรมและเกี่ยวข้องกับการบริหารโครงการซอฟต์แวร์

4. จัดการซอฟต์แวร์แบบบูรณาการ (Integrated Software Management)

ผู้บริหารโครงการ จัดเตรียมทรัพยากรและเงินทุนในการบริหารโครงการโดยใช้กระบวนการ และการจัดการโครงการซอฟต์แวร์ตามแบบมาตรฐานวุฒิภาวะCMM

5. วิศวกรรมผลผลิตซอฟต์แวร์ (Software Product Engineering)

ผู้บริหารโครงการวางแผนและดำเนินการทดสอบ การรวบรวมระบบงานซอฟต์แวร์ และ ดำเนินการทดสอบการยอมรับของระบบตามแนวทางของกระบวนการบริหารโครงการ

6. การประสานงานระหว่างกลุ่ม (Intergroup Coordination)

ผู้บริหารโครงการจัดทำการดำเนินงานร่วมกันเพื่อให้ทุกคนได้รับรู้ความเคลื่อนไหวของปัญหา และติดต่อสื่อสารประสานงานกิจกรรมต่าง ๆ เกี่ยวกับข้อตกลงระหว่างกลุ่ม ติดตามตรวจสอบการดำเนินงานบริหารโครงการ

7. การทบทวน (Peer Reviews)

ผู้บริหารโครงการวัดผลการบริหารโครงการ ประเมินหรือแผนงานเกี่ยวกับการบริหารโครงการด้าน ต้นทุน เวลาการทำงาน โดยเปรียบเทียบกับสิ่งที่เกิดขึ้นจริงและกำหนดการวัดผลงานด้านคุณภาพ ในแผนงานตรวจสอบทบทวนอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อจัดทำเป็นหลักฐานสำหรับความสามารถของกระบวนการ

6.2.4 การบริหารโครงการเข้าสู่หลักภาวะความสามารถ (CMM) ระดับที่ 4 ระดับจัดการ (Management Level) ประกอบไปด้วย วิธีการปฏิบัติหลักของ CMM ดังนี้คือ

1. การจัดการคุณภาพซอฟต์แวร์ (Software Quality Management)

ผู้บริหารโครงการวัดผลวิธีที่ใช้ในการบริหารคุณภาพซอฟต์แวร์ และติดตามตรวจสอบความก้าวหน้าของการทำงานอยู่เสมอ จัดทำแผนงานด้านคุณภาพของโครงการซอฟต์แวร์ และวางแผนข้อตกลงด้านคุณภาพของซอฟต์แวร์

2. การจัดการกระบวนการเชิงปริมาณ (Quantitative Process Management)

ผู้บริหารโครงการกำหนดคุณภาพในเชิงจำนวนและกำหนดความเสี่ยงแก่กระบวนการบริหารโครงการที่สามารถวัดคุณภาพของกระบวนการบริหารโครงการ

6.2.5 การบริหารโครงการเข้าสู่หลักคุณลักษณะความสามารถ (CMM) ระดับที่ 5 ระดับปรับปรุง (Optimizing Level) ประกอบไปด้วย วิธีการปฏิบัติหลักของ CMM ดังนี้คือ

1. การป้องกันข้อบกพร่อง (Defect Prevention)

ผู้บริหารโครงการกำหนดทีมงานในการประสานความร่วมมือในการป้องกันความเสียหายของโครงการซอฟต์แวร์ จัดทำแผนงานและข้อตกลงระยะยาว สำหรับ เงินทุน บุคลากร และทรัพยากรที่ใช้ในการป้องกันความเสียหาย

2. การจัดการการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยี (Technology Change Management)

ผู้บริหารโครงการ จัดทำวัตถุประสงค์ ของการบริหารความเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีเป็นลายลักษณ์อักษรและมีการระบุถึงความเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีในแผนงาน รวมถึงจัดตั้งทีมงานผู้เชี่ยวชาญ จัดหาเทคโนโลยีมาใช้ในการบริหารโครงการเป็นลายลักษณ์อักษร

3. การจัดการการเปลี่ยนแปลงกระบวนการ (Process Change Management)

ผู้บริหารโครงการติดตามผลการดำเนินงาน จัดทำแผนงานการปรับปรุงโครงการเปรียบเทียบกับเป้าหมาย โดยกระบวนการจะมุ่งเน้นไปในการปรับปรุงคุณภาพกระบวนการโครงการได้

7. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย แนวทางการบริหารโครงการซอฟต์แวร์โดยอาศัยตัวแบบคุณลักษณะความสามารถ ซึ่งเป็นการศึกษาวิธีการและขั้นตอนการปฏิบัติที่จะเข้าสู่มาตรฐาน CMM ทั้ง 5 ระดับ เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการดำเนินการที่ชัดเจนว่าจะต้องปฏิบัติอย่างไร ในการที่เข้าสู่มาตรฐาน CMM พร้อมทั้งมีการออกแบบนโยบายเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานมากขึ้น แล้วจึงดำเนินการบริหารโครงการซอฟต์แวร์เข้าสู่มาตรฐาน CMM ซึ่งเป็นการแสดงรายละเอียดที่จะต้องเตรียมดำเนินการในส่วนต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของการจัดการโครงสร้างการบริหารซอฟต์แวร์ ทรัพยากรที่ใช้และ บุคลากรหรือ ทีมงาน การจัดการกระบวนการบริหารโครงการซอฟต์แวร์ วิธีการปฏิบัติ เพื่อให้บรรลุไปยังเป้าหมายระดับการเจริญเติบโตที่ต้องการ รวมถึงเสนอรายละเอียดการพิจารณาปรับปรุงการบริหารโครงการซอฟต์แวร์เข้าสู่มาตรฐาน CMM และปัญหาหลักที่พบเมื่อเริ่มดำเนินการตามหลักการ CMM

8. ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำ การวางแผนกลยุทธ์สำหรับควบคุมการบริหารจัดการโครงการซอฟต์แวร์โดยอาศัยตัวแบบคุณลักษณะความสามารถ (CMM) ซึ่งได้แสดงถึงรายละเอียดขั้นตอน วิธีการปฏิบัติ จัดทำข้อเสนอแนะ

ปรับปรุงกระบวนการอย่างต่อเนื่อง เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นได้ การบริหารจัดการโครงการซอฟต์แวร์โดยอาศัยตัวแบบวุฒิภาวะความสามารถ ผู้บริหารโครงการสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางสำหรับการบริหารจัดการโครงการ อีกทั้งยังสามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในการบริหารโครงการได้ อาทิเช่น ทรัพยากรบุคคล การใช้งบประมาณเงินและเวลาเกินที่ตั้งไว้ ฯลฯ

9. รายการอ้างอิง

- Crawford J.Kent, 2005. **Using The Project Management Maturity Model (2)**. Northwst: Auerbach Taylor & Francis Group.
- Kerzer Harold, 2007. **Project Management Maturity Mode Second Edition(2)**. Canada: Taylor & Francis Group.
- จิตรา สัฒนรัตน์, 2540. การออกแบบพัฒนาองค์กรซอฟต์แวร์สู่ระบบซีเอ็มเอ็ม. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- บังอร มากดี, 2548. *การประเมินผลการประยุกต์ใช้ตัวแบบคุณภาพ ISO 9001:2000 และตัวแบบคุณภาพทีคิวเอส ในการพัฒนาซอฟต์แวร์ด้วยหลักจิตสมดุลเพื่อนำเสนอแนวทางใหม่ในการพัฒนาตัวแบบคุณภาพซอฟต์แวร์ไทย*. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศรีปทุม.
- ปิยะดา การวงศ์, 2545. *แนวทางการสร้างวุฒิภาวะความสามารถในการพัฒนาซอฟต์แวร์ตามแบบจำลอง CMM*. สารนิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศรีปทุม.

**การสร้างเกณฑ์วัดสมรรถนะด้านความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศสำหรับบุคลากรใน
หน่วยงานภาครัฐของประเทศไทย**

**INFORMATION SECURITY COMPETENCY STANDARD FOR THE
MANPOWER IN THAI PUBLIC SECTOR ORGANIZATIONS**

อมรศิริ กลีบฝั่ง¹

ประสงค์ ปราณีตพลกรัง²

พิลาตพงษ์ ทรัพย์เสริมศรี³

^{1,3} หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาระบบสารสนเทศคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

² หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail : ¹aoamon@gmail.com, ²prasong.pr@spu.ac.th, ³pilastpongs@yahoo.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกำหนดมาตรฐานการรับรองผู้เชี่ยวชาญด้านความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศที่เป็นมาตรฐานสากลและเพื่อจัดทำแนวทางในการพัฒนามาตรฐานของบุคลากรด้านความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศในหน่วยงานภาครัฐของไทย ซึ่งงานวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือที่เป็นแบบสอบถาม โดยประยุกต์หลักการที่อ้างอิงตามมาตรฐานหลักที่เป็นที่ยอมรับในระดับสากล เช่น มาตรฐานสำหรับผู้เชี่ยวชาญด้านความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศของกระทรวงกลาโหมสหรัฐ (DoD) มาตรฐาน ISO/IEC 17799/27001 มาตรฐานของยุโรป (EUCIP) มาตรฐานองค์ความรู้ที่จำเป็นทางด้านความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศปี 2008 (EBK2008)

ผู้วิจัยได้นำประเด็นที่สำคัญของแต่ละมาตรฐานมาทำการเปรียบเทียบและสร้างเป็นเกณฑ์วัดสมรรถนะด้านความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศสำหรับบุคลากรในหน่วยงานภาครัฐจำนวน 2 ร่างมาตรฐาน และทำการประชุมกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ (Focus Group) จากหน่วยงานภาครัฐ เพื่อคัดเลือกมาตรฐานและปรับปรุงให้เหมาะสมกับการใช้ในประเทศไทยในลำดับต่อไป

ผลจากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้จะได้เกณฑ์วัดสมรรถนะด้านความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศสำหรับบุคลากรในหน่วยงานภาครัฐ ซึ่งหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการกำหนดคุณสมบัติบุคลากรด้านความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศของหน่วยงานตนเองได้ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความมั่นคงปลอดภัยกับข้อมูลและสารสนเทศอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

คำสำคัญ : ความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศ ใบรับรองผู้เชี่ยวชาญด้านความมั่นคงปลอดภัย มาตรฐาน ISO27001

ABSTRACT

The purpose of this research is to study the standard of security certificated and propose guidelines for development of the standards of information security professionals in public sector organizations. The questionnaires which based on applying the International Standard such as the standard of information security experts of the U.S. Department of Defense (DoD), ISO/IEC 17799/27001, and european certification of informatics professionals (EUCIP), and information technology (IT) security essential body of knowledge (EBK) 2008 are used.

For comparing 2 capability criterions of information security for the manpower of public sector organizations will be formulated and focus group will be used to determine the qualification of information security personals.

The result of this research can be used to identify the performance for IT security personnel in Thai public sector and can be applied to determine the information security personals qualification of the private organizations.

KEYWORDS : Information security, Security certification, ISO 27001

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาใช้ให้เหมาะสมในหน่วยงานหรือองค์กร จะต้องให้ความสำคัญด้านความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศ เพื่อไม่ให้ข้อมูล ความลับ รั่วไหลไปสู่องค์กรหรือบุคคลอื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในหน่วยงานภาครัฐ เพราะเป็นหน่วยงานขนาดใหญ่ ที่มีความสำคัญต่อประเทศ และมีการเชื่อมโยงข้อมูลถึงกัน ซึ่งผู้ที่มิชอบปฏิบัติคือผู้ที่ดูแลระบบและ/หรือผู้ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีสารสนเทศขององค์กรโดยตรง ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการบริหารจัดการบุคลากรทางด้านความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศของหน่วยงานให้เหมาะสม เช่น หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับความมั่นคงของประเทศ จะต้องเก็บรักษาข้อมูลเป็นความลับขั้นสูงสุด เป็นต้น

ในปัจจุบันหลายหน่วยงานได้ให้ความสำคัญกับการสอบใบรับรองผู้เชี่ยวชาญทางด้านความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศ ซึ่งมีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาศักยภาพของบุคลากรในหน่วยงานให้เป็นที่ยอมรับและทันต่อภัยคุกคามด้านสารสนเทศใหม่ๆที่เกิดขึ้นรวมทั้งเป็นการสร้างความน่าเชื่อถือให้กับหน่วยงานนั้นๆ

ดังนั้นหน่วยงานภาครัฐของไทยซึ่งเป็นหน่วยงานที่ควรมีมาตรฐานด้านการรักษาความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศในระดับสูง ควรมีเกณฑ์การวัดสมรรถนะของบุคลากรด้านไอทีทางด้านความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศ เพื่อให้ได้บุคลากรที่มีความรู้ความสามารถ

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์ ดังต่อไปนี้

1. เพื่อศึกษาการกำหนดมาตรฐานการรับรองผู้เชี่ยวชาญด้านความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศ

2. เพื่อนำเสนอแนวทางของเกณฑ์วัดมาตรฐานของบุคลากรทางด้านความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศของหน่วยงานภาครัฐ

3. แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มาตรฐานสำหรับผู้เชี่ยวชาญทางด้านความปลอดภัยข้อมูลของกระทรวงกลาโหมสหรัฐฯ (Department of Defense (DoD) Directive 8570.1)

DoD Directive เป็นมาตรฐานข้อกำหนด ของรัฐบาลสหรัฐฯ โดยได้กำหนดแนวทางในการปฏิบัติเกี่ยวกับการคัดสรรบุคลากรในเรื่องของการฝึกอบรมและ การสอบวัดความรู้ความสามารถด้านความปลอดภัย ข้อมูลของบุคลากร โดยอ้างอิงกับประกาศนียบัตรรับรองความรู้ความสามารถจากหลายสถาบัน ซึ่งได้ มีการแบ่งกลุ่ม ผู้ปฏิบัติหน้าที่ทางด้านความมั่นคงสารสนเทศออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้คือ

1. Information Assurance Technical (IAT) คือ ผู้ดูแลระบบคอมพิวเตอร์และระบบเครือข่าย

2. Information Assurance Management (IAM) คือ ผู้ที่กำกับดูแลให้การรักษาความมั่นคงปลอดภัยเป็นไปตามระเบียบข้อบังคับหรือมาตรฐานที่กำหนด หรือเป็นกลุ่มผู้บริหาร

การแบ่งระดับของกลุ่ม IAT และ IAM จะมีลักษณะคล้ายกันคือ ในระดับที่ 1 จะเป็นผู้ปฏิบัติงานขั้นต้น มีประสบการณ์น้อยหรือไม่มีประสบการณ์ แต่จะต้องได้ผ่านการฝึกอบรมมาแล้วและมีประกาศนียบัตรที่เกี่ยวข้อง ในระดับถัดมาจะเป็นระดับหัวหน้างานที่มีประสบการณ์พอสมควร มีประกาศนียบัตรขั้นสูงขึ้น ส่วนในระดับสูงสุดจะเป็นผู้ออกนโยบายและการบริหารจัดการงานของแต่ละกลุ่ม

มาตรฐานองค์ความรู้ที่จำเป็นทางด้านความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศปี 2008 (Information Technology Security Essential Body of Knowledge 2008 : EBK 2008)

เป็นมาตรฐานของหน่วยงานการรักษาความมั่นคงปลอดภัยมาตุภูมิของประเทศสหรัฐอเมริกา (DHS) โดยทำงานร่วมกับผู้เชี่ยวชาญทางด้านความมั่นคงปลอดภัยทั้งของภาครัฐและภาคเอกชน เพื่อพัฒนาขอบข่ายงานในระดับสูงและสร้างเป็นแนวทางระดับชาติ มีการอธิบายถึงองค์ประกอบองค์ความรู้และทักษะทางด้านความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศ โดยแบ่งเป็น 14 ขอบเขตความสามารถ ได้แก่ Data Security, Digital Forensics, Enterprise Continuity, Incident Management , IT Security Training and Awareness, IT Systems Operations and Maintenance, Network and Telecommunications Security , Personnel Security, Physical and Environmental Security, Procurement , Regulatory and Standards Compliance, Security Risk Management, Strategic Security Management, System and Application Security

ซึ่งมาตรฐานนี้เป็นแนวทางปฏิบัติที่กล่าวถึงคุณสมบัติของผู้ที่เกี่ยวข้องทางด้านความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศควรมี ทำให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล

ใบรับรองผู้เชี่ยวชาญด้านความมั่นคงปลอดภัย (Security Certification)

Certified Security เป็นการออกไปประกาศเพื่อรับรองความรู้ด้านความมั่นคงปลอดภัยที่ออกโดยองค์กรหรือบริษัทต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยมากจะเป็นบริษัทที่ผลิตฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์เกี่ยวกับความมั่นคงปลอดภัย

โดยเฉพาะ เช่น CCSP, CISA, GIAC, Security+, CISSP, SSCP เป็นต้น ซึ่งสามารถแบ่งอย่างกว้างๆ ได้เป็น 3 กลุ่ม ดังต่อไปนี้ คือ

1. Certified Security โดยตรง จะเป็นกลุ่มที่ผ่านการรับรองขั้นพื้นฐานด้านความมั่นคงปลอดภัย ไม่เจาะลึกด้านฮาร์ดแวร์หรือซอฟต์แวร์ของสถาบันใดสถาบันหนึ่ง แต่เป็นที่ยอมรับของสากลเพราะเป็นการรับรองที่เกี่ยวกับความมั่นคงปลอดภัยโดยตรง

2. Hardware Security เป็นกลุ่มที่ผ่านการรับรองที่ออกโดยบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์

3. Software Security เป็นกลุ่มที่ผ่านการรับรองที่เน้นเฉพาะซอฟต์แวร์ครอบคลุมความรู้ เพียงแค่ซอฟต์แวร์ของผู้ผลิตนั้นๆ โดยเฉพาะ จะเหมาะสำหรับบริษัทที่ทำงานเกี่ยวข้องกับซอฟต์แวร์เหล่านั้นโดยตรง ปัจจุบันหลายหน่วยงานพยายามร่วมมือกันรณรงค์เพื่อสนับสนุนให้มีการสอบใบรับรองมากขึ้น เพราะเป็นการแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของหน่วยงาน และสร้างความน่าเชื่อถือ

มาตรฐาน ISO/IEC 27001:2005 และ ISO/IEC 17799:2005

มาตรฐานนี้เป็นมาตรฐานสากลที่มุ่งเน้นด้านการรักษาความมั่นคงปลอดภัยให้กับระบบสารสนเทศขององค์กรและใช้เป็นมาตรฐานอ้างอิงเพื่อเป็นแนวทางในการเสริมสร้างความมั่นคงให้กับระบบสารสนเทศขององค์กร โดยมาตรฐาน ISO/IEC 17799 เป็นเรื่องของวิธีปฏิบัติที่จะนำไปสู่ระบบบริหารจัดการความมั่นคงปลอดภัยขององค์กร จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐาน ISO/IEC 27001 ซึ่งรายละเอียดของมาตรฐานนี้จะบอกถึงวิธีปฏิบัติในการลดความเสี่ยงที่เกิดจากจุดอ่อนของระบบ

สำหรับมาตรฐาน ISO/IEC 27001 นั้นเป็นมาตรฐานเกี่ยวกับการบริหารการรักษาความมั่นคงปลอดภัยข้อมูล และเป็นแนวทางในการสร้าง ดูแล และปรับปรุงระบบบริหารการรักษาความมั่นคงปลอดภัยข้อมูล (The Information Security Management System (ISMS)) โดยใช้การบริหารแบบ Plan-Do-Check-Act (PDCA) มาช่วยในการสร้างและพัฒนาระบบการรักษาความมั่นคงปลอดภัย และใช้แนวทางการประเมินความเสี่ยงมาประกอบการพิจารณาหาวิธีหรือมาตรการเพื่อป้องกัน ลดความเสี่ยง และรักษาทรัพย์สินสารสนเทศที่มีค่าขององค์กรให้มีความมั่นคงปลอดภัยในระดับที่เหมาะสม

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการสืบค้นข้อมูลจากแหล่งต่างๆ พบว่ามีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศจำนวนมากที่ใช้มาตรฐาน ISO27001 และมาตรฐานกรอบความคิดต่างๆ ทางด้านการความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศ อาทิ เช่น

นุชนาฏ รงรอง และ วิเชียร ชูติมาสกุล (2551) ได้ทำการวิจัยเรื่องกรอบแนวคิดการตรวจสอบการพัฒนาและตรวจรับระบบและเทคโนโลยีสารสนเทศของหน่วยงานภาครัฐ เพื่อศึกษาวิเคราะห์สาเหตุและแนวทางแก้ไข ปัญหาของการพัฒนาระบบและเทคโนโลยีสารสนเทศของหน่วยงานภาครัฐ โดยนำเสนอกรอบแนวคิด (Framework) การพัฒนาระบบและเทคโนโลยีสารสนเทศ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดและคุ้มค่าต่อการลงทุน

สมยศ สีขาว มนต์ชัย เทียนทอง และ สุพจน์ นิตย์สุวรรณ (2551) ได้ทำการวิจัยเรื่องการสร้างเกณฑ์วัดสมรรถนะด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีของบุคลากรองค์การปกครองส่วนท้องถิ่น เพื่อสร้างเกณฑ์วัดสมรรถนะด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีและเพื่อเป็นมาตรฐานในการพัฒนามูลฐานขององค์กรปกครองส่วน

ท้องถิ่น ผลการวิจัยพบว่าบุคลากรในหน่วยงานภาครัฐส่วนใหญ่มีความรู้ความเข้าใจเชิงชาวนาทางด้านเทคโนโลยีเกี่ยวกับการพิมพ์งานและการใช้อินเทอร์เน็ตสืบค้นข้อมูล

ยุทธพล พิษ์ณรงค์ และ ประสงค์ ปราณีตพลกรัง (2551) ได้ทำการวิจัยเรื่องการวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงในระบบเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารสำหรับองค์กรภาครัฐ เป็นการศึกษาและทำการวิเคราะห์ความเสี่ยงและประเมินความเสี่ยงในระบบเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารสำหรับองค์กรภาครัฐของประเทศไทย โดยอ้างอิงจากมาตรฐานสากลด้านความมั่นคงปลอดภัยในเทคโนโลยีสารสนเทศ ได้แก่ ISO/IEC 17799/27001, ITIL และ COBIT

Jan H. P. Eloff และ Mariki Eloff (2003) ได้ทำการศึกษาวิจัยเรื่องการจัดการความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศแบบใหม่ เพื่อศึกษาการจัดการความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศสำหรับองค์กร (ISMS) โดยรวมมุมมองต่างๆเข้าด้วยกัน เช่น นโยบาย, มาตรฐาน, เทคโนโลยี เป็นต้น ซึ่งการนำไปใช้และการควบคุมจะเป็นไปตามมาตรฐาน ISO/IEC 17799/27001 ผลการวิจัยพบว่า การนำหลักการต่างๆมาประยุกต์ใช้ให้สอดคล้องสามารถทำให้ความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศขององค์กรมีประสิทธิภาพและครอบคลุม

5. ระเบียบวิธีวิจัย

สำหรับระเบียบวิธีวิจัยสามารถแบ่งออกเป็นหัวข้อได้ดังนี้

5.1 ประชากร หรือ กลุ่มตัวอย่างที่เก็บข้อมูล

สำหรับประชากรหรือกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการเก็บข้อมูลในครั้งนี้ คือ ตัวแทนบุคลากรทั้งระดับบริหารและระดับปฏิบัติการในหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องกับด้านความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศเพื่อสอบถามความคิดเห็น และหาข้อสรุปของร่างมาตรฐานและนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน EBK2008 เพื่อสรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.2 การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลนี้ ผู้วิจัยได้ประยุกต์กรอบวิธีปฏิบัติ (Framework) ตามหลัก ISO27001, CISSP, DoD 8570.1 และ EBK2008 อีกทั้งมาตรฐานต่างๆที่เกี่ยวข้องเพื่อให้เหมาะสมกับระบบสารสนเทศของหน่วยงานภาครัฐของไทย โดยมีขั้นตอนดังนี้

5.2.1 ศึกษาทฤษฎีและมาตรฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องทางด้านความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศ เช่น มาตรฐานใบรับรองผู้เชี่ยวชาญด้านความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศ ของสถาบันต่างๆ มาตรฐานสำหรับผู้เชี่ยวชาญทางด้านความปลอดภัยข้อมูลของกระทรวงกลาโหมสหรัฐ Department of Defense (DoD), มาตรฐาน ISO/IEC 27001:2005, ISO/IEC 17799, EBK2008 เป็นต้น

5.1.2 สร้างร่างเกณฑ์การวัดสมรรถนะบุคลากรด้านความมั่นคงปลอดภัย

5.1.3 สร้างกรอบงานวิจัยเพื่อให้การออกแบบสอบถามอยู่ในขอบเขตตามวัตถุประสงค์

5.1.4 สร้างแบบสอบถามโดยการเขียนข้อความเพื่อใช้ในการศึกษาถึงความความคิดเห็นของบุคลากรที่มีต่อร่างมาตรฐานที่สร้างขึ้นและทำการประชุมกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ (Focus groups) เพื่อทดสอบแบบสอบถาม

6. ผลการวิจัย

ผลจากการวิจัยได้ผลเป็นที่น่าพอใจเมื่อเทียบกับวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัย ซึ่งตัวแทนบุคลากรในหน่วยงานภาครัฐส่วนใหญ่ (ร้อยละ 88.89) ทั้งระดับบริหารและระดับปฏิบัติการเห็นด้วยกับกรอบมาตรฐานด้านความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศในร่างที่ 1 ซึ่งมีหัวข้อหลักดังตาราง 1

ตาราง 1 แสดงหัวข้อหลักในร่างมาตรฐานที่ 1 ทั้ง 2 ระดับและเปรียบเทียบกับ EBK2008

Competency Areas	Essential Body of Knowledge (EBK)	ร่างมาตรฐาน ที่ 1 ระดับ 1	ร่างมาตรฐาน ที่ 1 ระดับ 2
Data Security	/	/	/
Digital Forensics	/	/	/
Enterprise Continuity	/		/
Incident Management	/	/	
IT Security Training and Awareness	/	/	/
IT Systems Operations and Maintenance	/	/	/
Network and Telecommunications Security	/	/	/
Personnel Security	/	/	/
Physical and Environmental Security	/	/	/
Procurement	/		/
Regulatory and Standards Compliance	/	/	/
Security Risk Management	/		/
Strategic Security Management	/		/
System and Application Security	/		/

จากตาราง 1 จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการประชุมกลุ่มผู้เชี่ยวชาญอีกครั้ง โดยที่พิจารณา EBK2008 ประกอบเข้าไปด้วยอาจมีบางหัวข้อที่ควรเพิ่มเติมอีก โดยที่ข้อเสนอแนะจากการประชุมกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ (Focus group) เพิ่มเติมมีดังต่อไปนี้

- Incident Management
- IT Security Training and Awareness
- Physical and Environmental Security
- Regulatory and Standards Compliance

และเพิ่มเติมในร่างมาตรฐานที่ 1 ระดับที่ 2 ดังนี้

- IT Security Training and Awareness
- Physical and Environmental Security
- Regulatory and Standards Compliance
- Strategic Security Management

ส่วนร่างมาตรฐานที่ 2 นั้นเป็นการกำหนดระดับคะแนน ซึ่งประชากรกลุ่มตัวอย่างไม่เห็นด้วยเพราะไม่สะดวกในการนำมาปรับใช้กับระบบราชการ เพราะมีรายละเอียดค่อนข้างมากและซับซ้อน จึงอาจเหมาะสำหรับหน่วยงานอื่น เช่น องค์กรเอกชนที่เกี่ยวข้องกับด้านความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศ

7. สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัย สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ในภาพรวมบุคลากรส่วนใหญ่ที่เกี่ยวข้องด้านความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศของหน่วยงานภาครัฐไม่มีการสอบเพื่อรับใบรับรองผู้เชี่ยวชาญทางด้านความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศ และมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับงานด้านความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศเพียงบางส่วน เนื่องจากหน่วยงานไม่มีการสนับสนุนที่เพียงพอ จึงต้องมีการปรับปรุงนโยบาย เช่น สนับสนุนการอบรมทั้งในสถานที่และนอกสถานที่และมีการปรับระดับขั้นเมื่อมีคุณสมบัติผ่านตามเกณฑ์ที่กำหนด
2. ในภาพรวมการจัดการด้านความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศสำหรับหน่วยงานภาครัฐ เป็นการควบคุมดูแลโดยรวม ไม่มีบุคลากรหรือฝ่ายที่ดูแลด้านนี้โดยตรงซึ่งยังเป็นการรวมอยู่ในฝ่ายสารสนเทศ ทำให้เมื่อมีปัญหา หรือภัยคุกคามเกิดขึ้น การตรวจสอบ แก้ไข จะมีความล่าช้าและสามารถส่งผลกระทบต่อหน่วยงานโดยรวมได้
3. ผู้วิจัยได้นำเสนอร่างเกณฑ์วัดสมรรถนะด้านความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศสำหรับบุคลากรในหน่วยงานภาครัฐดังที่แสดงในร่างมาตรฐานที่ 1 และเป็นที่ยอมรับจากผู้เชี่ยวชาญและบุคลากรในหน่วยงานภาครัฐ

8. ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้ คือ

1. ควรให้หน่วยงานหรือองค์กรที่ดูแลด้านสารสนเทศของภาครัฐ เช่น กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร เป็นผู้นำเกณฑ์ร่างมาตรฐานนี้ไปปรับปรุงและประกาศใช้เป็นนโยบาย เพื่อให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน โดยมีการประชุมร่วมกันสำหรับหาข้อสรุปเพื่อปรับกรอบมาตรฐานใช้ให้เหมาะสมกับโครงสร้างของหน่วยงาน และมีการติดตาม ประเมินผลที่ได้จากการนำเกณฑ์นี้ไปใช้
2. สำหรับการทำวิจัยในอนาคต เนื่องจากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีสารสนเทศได้มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นเพื่อให้ทันต่อเหตุการณ์และภัยคุกคามใหม่ๆ ที่เกิดขึ้น ผู้สนใจที่จะนำงานวิจัยนี้ไปวิจัยต่อควรจะมีการศึกษาเพิ่มเติม ติดตามการเปลี่ยนแปลงหรือการปรับปรุงมาตรฐานต่างๆ ทางด้านความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศ และงานวิจัยนี้สามารถนำไปอ้างอิงเพื่อทำการศึกษาวิจัยเพื่อออกแบบหลักสูตรการฝึกอบรมสำหรับบุคลากรด้านความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศต่อไปได้

9. รายการอ้างอิง

คณะอนุกรรมการด้านความมั่นคงภายในได้ คณะกรรมการธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์, 2548. “มาตรฐานการรักษาความมั่นคงปลอดภัยในการประกอบธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ เวอร์ชัน 2.5”. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://thaicert.nectec.or.th/paper/basic/Book_2.5_FullVersion.pdf

- นุชนาฏ รงรอง, วิเชียร ชูติมาสกุล, 2551. “กรอบแนวคิดการตรวจสอบการพัฒนาและตรวจรับระบบและ เทคโนโลยีสารสนเทศของหน่วยงานภาครัฐ”. การประชุมทางวิชาการ NCIT2008 ครั้งที่ 2 เรื่อง " การวิจัยเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อการพัฒนาประเทศที่ยั่งยืน", 6-7 พฤศจิกายน, โรงแรมแกรนด์ เมอร์เคียว ฟอรั่ม, กรุงเทพฯ, หน้า 224-233.
- บรรจง หะรังสี, 2007. “ ISO/IEC 27001/17799 Information Security Management Standard”. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <http://www.thaicert.nectec.or.th/isa/ISO27001.pdf>
- ยุทธพล พิชัยณรงค์, ประสงค์ ปรานีตพลกรัง, 2551. “การวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงในระบบเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารสำหรับองค์กรภาครัฐ”. การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยศรีปทุม ปีการศึกษา 2551 เรื่อง " ผลงานวิจัยและนวัตกรรมสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน", 13 สิงหาคม 2551, อาคาร ดร.สุข พุคยาภรณ์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม, กรุงเทพฯ, หน้า 430-437.
- สมยศ สีขาว, มนต์ชัย เทียน, สุพจน์ นิตย์สุวัฒน์, 2551. “การสร้างเกณฑ์วัดสมรรถนะด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีของบุคลากรองค์การปกครองส่วนท้องถิ่น”. การประชุมทางวิชาการ NCIT2008 ครั้งที่ 2 เรื่อง " การวิจัยเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อการพัฒนาประเทศที่ยั่งยืน", 6-7 พฤศจิกายน, โรงแรมแกรนด์ เมอร์เคียว ฟอรั่ม, กรุงเทพฯ, หน้า 119-124.
- Department of Defense United State of America, 2008. “ Information Assurance Workforce Improvement Program Incorporating Change 1”. [Online] Retrieved 2009, March 7 from : <http://www.dtic.mil/whs/directives/corres/pdf/857001m.pdf>
- Harris, Shon, 2007. **CISSP All-In- One EXAM GUIDE**. 4th ed. New York: McGraw-Hill.
- Jan H. P. Eloff, Mariki Eloff, 2003. “Information security management: a new paradigm.” Proceedings of the 2003 annual research conference of the South African institute, 2003. pp.130 - 136
- “Standards for Information Security Management [Part I].” [Online] Retrieved 2009, April 2, from : <http://www.acinfotec.com/viewsecurityarticles.php?ID=6>
- United States Computer Emergency Readiness Team. “IT Security Essential Body of Knowledge (EBK):A Competency and Functional Framework for IT Security Workforce Development.” [Online] Retrieved 2009, May 10, from : <http://www.us-cert.gov/ITSecurityEBK>
- Wallhoff, John. “The International CISSP Summary” [Online] Retrieved 2009, January 10, from : http://www.scillani.se/assets/pdf/The_International_CISSP_Summary.pdf

ความเข้มข้นของฝุ่นละอองแต่ละขนาดในพื้นที่กรุงเทพมหานคร
SIZE-SELECTED PARTICULATE MATTER CONCENTRATIONS
IN BANGKOK AMBIENT AIR

ธัญภัตต์ ทองเย็น¹

วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์²

ทรรศนีย์ พฤกษาลิทธิ³

¹ นิสิตบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย E-mail : thunyapat_t@hotmail.com

² รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย E-mail : wongpun.l@eng.chula.ac.th

³ อาจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

E-mail : tassanee.c@chula.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นละอองตั้งแต่ขนาดเล็กลงกว่า 0.1 ไมครอน (เล็กกว่า 100 นาโนเมตร หรือเรียกว่าฝุ่นละอองขนาดนาโน) 0.1-1.0 ไมครอน 1.0-2.5 ไมครอน 2.5-10 ไมครอน และขนาดใหญ่มากกว่า 10 ไมครอน โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดนาโน (Nanoparticle sampler) ซึ่งมีอัตราการไหลของอากาศ 40 ลิตรต่อนาที เก็บตัวอย่างฝุ่นละออง ทุกๆ 6 วัน เป็นระยะเวลา 2 เดือนต่อสถานี ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2551 ถึงเดือนพฤษภาคม 2552 ในพื้นที่ศึกษา 3 แห่ง คือ บริเวณริมถนน ได้แก่ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษการเคหะชุมชนดินแดง และบริเวณพื้นที่ทั่วไป ได้แก่ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยาและจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการศึกษาพบว่า ในบริเวณริมถนนมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กลงกว่า 0.1 ไมครอน 1 ไมครอน 2.5 ไมครอน และ 10 ไมครอน ($PM_{0.1}$ PM_1 $PM_{2.5}$ และ PM_{10}) มีค่า 8.96 37.84 54.88 และ 81.49 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ส่วนบริเวณพื้นที่ทั่วไป มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ $PM_{0.1}$ PM_1 $PM_{2.5}$ และ PM_{10} บริเวณสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา เท่ากับ 7.13 28.21 45.70 และ 71.30 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เท่ากับ 3.31 13.68 20.32 และ 29.67 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ทั้งนี้ค่าเฉลี่ยสัดส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละอองแต่ละขนาด ในสถานีเก็บตัวอย่าง 3 แห่ง มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีสัดส่วนเฉลี่ยของ $PM_{10-2.5}$ $PM_{2.5-1.0}$ $PM_{1.0-0.1}$ และ $PM_{0.1}$ ต่อความเข้มข้นของ PM_{10} เท่ากับ 33.35 22.62 33.31 และ 10.72 เปอร์เซ็นต์ และสัดส่วนความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} ในบริเวณริมถนนและบริเวณพื้นที่ทั่วไป มีค่าเท่ากับ

0.67 และ 0.66 ซึ่งแสดงว่าฝุ่นขนาดเล็กมีสัดส่วนมากกว่าฝุ่นขนาดใหญ่ และฝุ่นขนาดเล็กเป็นปัญหามลพิษอากาศที่สำคัญที่ต้องมีการควบคุมอย่างจริงจังเพื่อป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ : ฝุ่นละอองแต่ละขนาด เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดนาโน กรุงเทพมหานคร

ABSTRACT

The study carried out measurement of particulate matter in Bangkok ambient air by nano-particle sampler, which can collect size-selected particulate matter, namely less than $0.1\ \mu\text{m}$ (less than 100 nm or nanoparticles), $0.1-1\ \mu\text{m}$, $1-2.5\ \mu\text{m}$, $2.5-10\ \mu\text{m}$ and $>10\ \mu\text{m}$. The sampler cutoff flow rate was 40 l/m. The samplings were carried out every 6 days for 2 months at each station for the total period of 6 months during November 2008 until May 2009. The sampling were taken at 3 locations: roadside area at Pollution Control Department's Dindaeng air quality monitoring station (PCD AQ station) and background area at 2 stations; namely Bansomdet Chaopraya Rajabhat University PCD AQ station and Chulalongkorn University.

The results at Bangkok roadside area showed concentrations of $\text{PM}_{0.1}$, $\text{PM}_{1.0}$, $\text{PM}_{2.5}$ and PM_{10} were 8.96, 37.84, 54.88 and 81.49 micrograms per cubic metre, respectively. Background concentrations of $\text{PM}_{0.1}$, $\text{PM}_{1.0}$, $\text{PM}_{2.5}$ and PM_{10} at Bansomdet Chaopraya Rajabhat University were 7.13, 28.21, 45.70 and 71.30 microgram per cubic metre, and at Chulalongkorn University were 3.31, 13.68, 20.32 and 29.67 microgram per cubic metre, respectively. The proportions of $\text{PM}_{10-2.5}$, $\text{PM}_{2.5-1.0}$, $\text{PM}_{1.0-0.1}$ and $\text{PM}_{0.1}$ to the total PM_{10} mass averaged for 3 stations were 33.35, 22.62, 33.31 and 10.72 percent, respectively. The average $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ ratios of roadside area and background area were 0.67 and 0.66, respectively. It can be concluded that fine particles is the important air pollutant and need to be properly control to protect human health and the environment.

KEYWORDS : Size-Selected particulate matter, Nano-particle sampler, Bangkok

1. บทนำ

ประเทศไทยโดยทั่วไปและโดยเฉพาะกรุงเทพมหานครประสบปัญหาทางด้านมลพิษอากาศอย่างต่อเนื่องเนื่องจากมลพิษอากาศก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของคน สัตว์ พืช เกิดความเสียหายต่ออาคาร บ้านเรือน และบดบังทัศนวิสัย ซึ่งเป็นอุปสรรคในการคมนาคมขนส่ง ฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) เป็นปัญหามลพิษอากาศที่สำคัญอันดับหนึ่งของกรุงเทพมหานคร เนื่องจากปัจจุบันยังไม่สามารถควบคุมระดับฝุ่นขนาดเล็กให้ลดลงได้ ในขณะที่วงการวิชาการตระหนักถึงอันตรายจากฝุ่นขนาดเล็ก และประเทศไทยกำลังพิจารณากำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน เพิ่มเติมจากมาตรฐานปัจจุบันที่กำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เนื่องจากฝุ่นขนาดเล็กมีผลกระทบต่อสุขภาพได้รุนแรงมากกว่าฝุ่นขนาดใหญ่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 100 นาโนเมตร ซึ่งเรียกว่าฝุ่นละอองขนาด

นาโน (nanoparticle) เมื่อเข้าสู่ร่างกายแล้ว จะสามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง ถุงลมปอด และยังไปถึงสมองได้ เป็นผลให้เกิดโรคทางเดินหายใจ โรคหลอดเลือดหัวใจ และทำลายเยื่อหุ้มปอด หากได้รับในปริมาณมากและเป็นเวลานานจะเกิดการสะสม ทำให้เกิดพังผืดและเป็นแผลได้ ทำให้การทำงานของปอดลดลง โดยความรุนแรงขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของฝุ่นละอองนั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีสารพิษเป็นองค์ประกอบในฝุ่นด้วยแล้ว จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพมากยิ่งขึ้น

ดังนั้นผลจากการวิจัยนี้จึงเป็นองค์ความรู้ใหม่ที่สร้างความเข้าใจถึงการกระจายขนาดของฝุ่นละอองขนาดเล็ก และเป็นข้อมูลพื้นฐานในการกำหนดค่ามาตรฐานของฝุ่นละอองขนาดเล็กในบรรยากาศของประเทศไทย รวมทั้งเป็นประโยชน์ในการพัฒนาวิธีการตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดนาโน เพื่อลดผลกระทบจากปัญหามลพิษทางอากาศในจังหวัดกรุงเทพมหานครต่อไป

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาหาความเข้มข้นของฝุ่นละอองแต่ละขนาดบริเวณริมถนนและบริเวณพื้นที่ทั่วไปในกรุงเทพมหานคร

3. วิธีการวิจัย

3.1 พื้นที่ศึกษา

การวิจัยครั้งนี้จะเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในพื้นที่กรุงเทพมหานคร 2 บริเวณ ดังนี้

3.1.1 บริเวณริมถนน

เก็บตัวอย่างที่สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษบริเวณริมถนน ซึ่งติดตั้งอยู่ห่างจากถนนสายหลักไม่เกิน 10 เมตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2551) โดยเลือกเก็บตัวอย่าง 1 สถานี คือ สถานีการเคหะชุมชนดินแดง ซึ่งอยู่ริมถนนอโศก-ดินแดง บริเวณใกล้เคียงมีแพลตฟอร์มดินแดงและด้านตรงข้ามมีโรงเรียนพิบูลประชาสรรค์ โดยเครื่องมือการเก็บตัวอย่างจะตั้งบนตู้คอนเทนเนอร์ที่อยู่สูงจากพื้น 3 เมตร

3.1.2 บริเวณพื้นที่ทั่วไป

เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองบริเวณพื้นที่ทั่วไป ซึ่งเป็นบริเวณชุมชนที่อยู่อาศัยและย่านธุรกิจการค้า ติดตั้งอยู่ห่างจากถนนสายหลักประมาณ 50 เมตรขึ้นไป (กรมควบคุมมลพิษ, 2551) จำนวน 2 สถานี ได้แก่

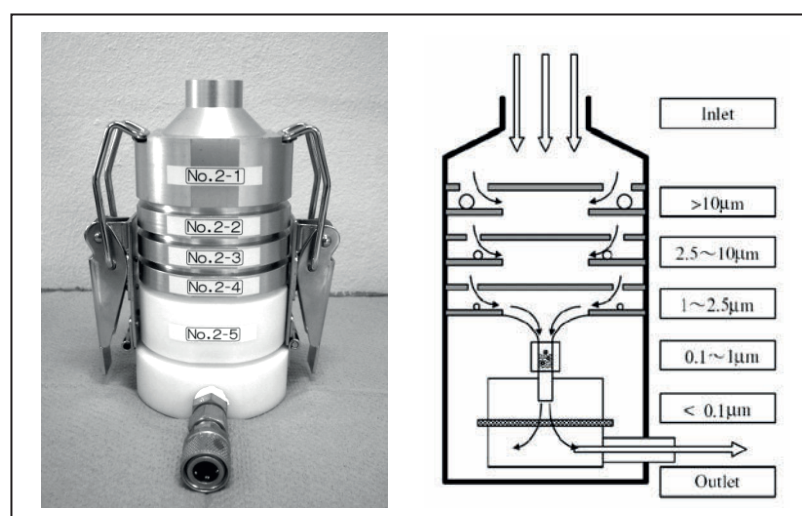
1) สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ บริเวณโดยรอบเป็นอาคารเรียน บ้านเรือน วัด สนามกีฬา และร้านอาหาร โดยเครื่องมือการเก็บตัวอย่างจะตั้งบนตู้คอนเทนเนอร์ที่อยู่สูงจากพื้น 3 เมตร

2) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองบริเวณศาลาอาหารวิศวกรรมโยธา-สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นอาคาร 5 ชั้น โดยรอบมีอาคารเรียน โรงอาหาร สนามกีฬา และลานจอดรถ

3.2 การเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง

การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในบรรยากาศจะใช้เครื่องเก็บตัวอย่างอนุภาคนาโน (Nano-particle sampler) ดำเนินการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทุกๆ 6 วัน จำนวน 10 ตัวอย่างต่อสถานี ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2551 ถึงเดือนพฤษภาคม 2552

เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดนาโน (Nano-particle sampler) จะคัดแยกฝุ่นละอองออกเป็น 5 ขนาด ได้แก่ ฝุ่นที่มีขนาด < 0.1 $0.1-1.0$ $1.0-2.5$ $2.5-10$ และ > 10 ไมครอน โดยเก็บตัวอย่างที่อัตราการไหลของอากาศ 40 ลิตรต่อนาที ภายในประกอบด้วย 5 ชั้น ได้แก่ Impactor stage 3 ชั้น Inertial filter 1 ชั้น และ Back-up filter 1 ชั้น โดย Impactor stage มี filter สำหรับคัดแยกฝุ่นขนาดใหญ่มากกว่า 10 ไมครอน 2.5-10 ไมครอน และ 1.0-2.5 ไมครอน Inertial filter สำหรับคัดแยกฝุ่นขนาด 0.1-1 ไมครอน ภายในบรรจุ Inertial filter SUS-Fiber ขนาด 8 ไมครอน เพื่อใช้คัดแยกฝุ่นขนาดใหญ่มากกว่า 0.1 ไมครอน (100 นาโนเมตร) และ Back-up filter สำหรับรองรับฝุ่นขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอน ดังภาพประกอบที่ 1



ภาพประกอบ 1 เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดนาโน

4. ผลการวิจัย

ความเข้มข้นของฝุ่นละอองบริเวณพื้นที่ริมถนน คือ การเคหะชุมชนดินแดง และพื้นที่ทั่วไป ได้แก่ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นดังตาราง 1 2 และ 3 ดังนี้

ตาราง 1 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองบริเวณการเคหะชุมชนดินแดง เดือนพฤศจิกายน 2551 – มกราคม 2552

ฝุ่นละอองขนาดต่างๆ	ความเข้มข้นของฝุ่นละออง (มก./ลบ.ม.)		
	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด
ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอน ($PM_{0.1}$)	4.31	8.96	13.49
ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน (PM_1)	20.80	37.84	50.93
ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$)	28.86	54.88	93.88
ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10})	50.32	81.49	126.99

ตาราง 2 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองบริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

เดือนมกราคม - มีนาคม 2552

ฝุ่นละอองขนาดต่างๆ	ความเข้มข้นของฝุ่นละออง (มก./ลบ.ม.)		
	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด
ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอน ($PM_{0.1}$)	0.06	7.13	18.58
ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน (PM_1)	5.61	28.21	53.36
ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$)	10.76	45.70	79.36
ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10})	24.71	71.30	119.18

ตาราง 3 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เดือนมีนาคม 2551-พฤษภาคม 2552

ฝุ่นละอองขนาดต่างๆ	ความเข้มข้นของฝุ่นละออง (มก./ลบ.ม.)		
	ค่าต่ำสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด
ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอน ($PM_{0.1}$)	0.95	3.31	6.56
ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน (PM_1)	4.33	13.68	30.03
ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$)	8.33	20.32	43.74
ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10})	19.56	29.67	46.71

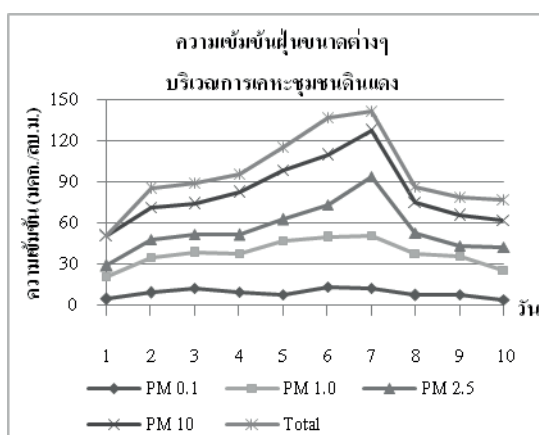
เมื่อจำแนกความเข้มข้นของฝุ่นละอองแต่ละขนาดในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย การเคหะชุมชนดินแดง และมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา จะได้ดังตาราง 4

ตาราง 4 สัดส่วนของความเข้มข้นฝุ่นละอองแต่ละขนาด บริเวณริมถนนและพื้นที่ทั่วไป

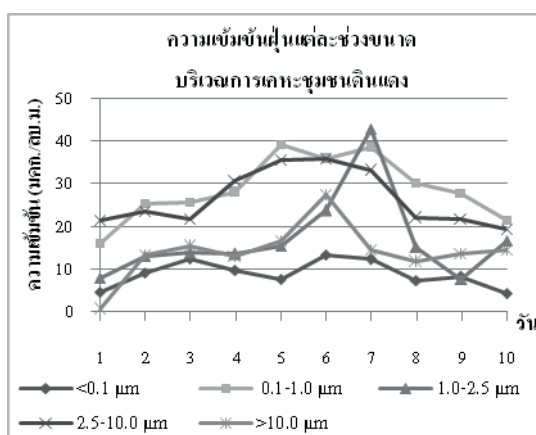
ฝุ่นละอองแต่ละช่วงขนาด	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่นละออง (เปอร์เซ็นต์)			
	บริเวณริมถนน		พื้นที่ทั่วไป	
	การเคหะชุมชนดินแดง	มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	ค่าเฉลี่ย
ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอน	10.99	10.00	11.17	10.72
ฝุ่นละอองขนาด 0.1 - 1.0 ไมครอน	35.44	29.56	34.93	33.31
ฝุ่นละอองขนาด 1.0-2.5 ไมครอน	20.92	24.54	22.39	22.62
ฝุ่นละอองขนาด 2.5-10.0 ไมครอน	32.65	35.90	31.51	33.35
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00

จากตาราง 4 พบว่าค่าเฉลี่ยสัดส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละอองแต่ละขนาด ในพื้นที่ศึกษา 3 แห่ง มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีสัดส่วนเฉลี่ยของ $PM_{10-2.5}$ $PM_{2.5-1.0}$ $PM_{1.0-0.1}$ และ $PM_{0.1}$ ต่อความเข้มข้นของ PM_{10} เท่ากับ 33.35 22.62 33.31 และ 10.72 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อหาสัดส่วนความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} ในบริเวณริมถนนและบริเวณพื้นที่ทั่วไป พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.67 และ 0.66 ตามลำดับ

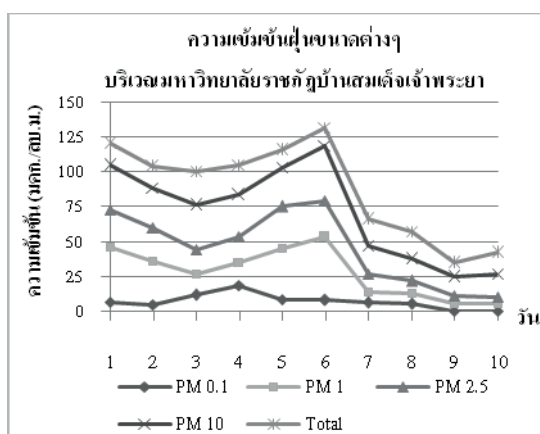
จากผลการวิจัย สามารถจำแนกความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ซึ่งได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอน, ($PM_{0.1}$) ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน (PM_1), ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$), ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) และฝุ่นละอองรวม และจำแนกความเข้มข้นของฝุ่นละอองแต่ละช่วงขนาด ซึ่งได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอน, ฝุ่นละอองขนาด 0.1 - 1.0 ไมครอน, ฝุ่นละอองขนาด 1.0-2.5 ไมครอน, ฝุ่นละออง 2.5-10.0 ไมครอน และ ฝุ่นละอองขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน ในพื้นที่ศึกษา 3 บริเวณ ได้ดังภาพประกอบที่ 2 3 4 5 6 และ 7



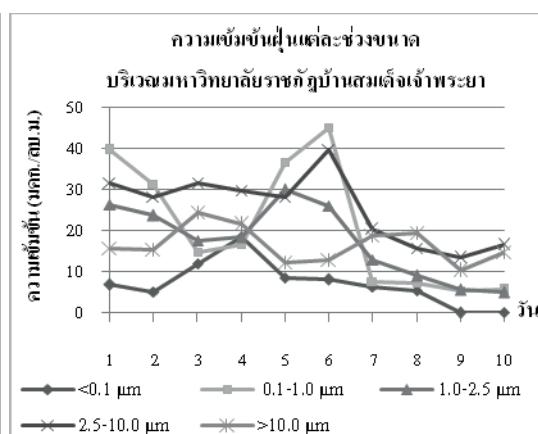
ภาพประกอบ 2 ความเข้มข้นฝุ่นขนาดต่างๆ
บริเวณการเคหะชุมชนดินแดง



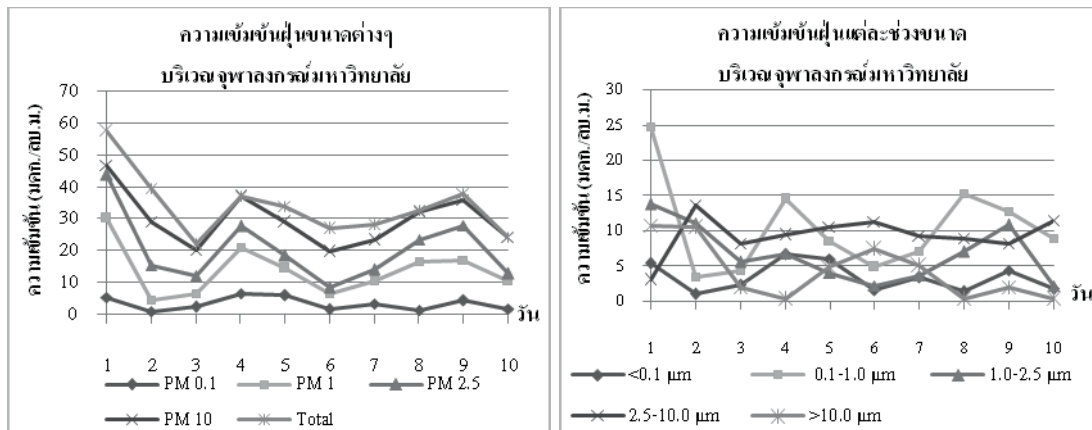
ภาพประกอบ 3 ความเข้มข้นฝุ่นแต่ละช่วงขนาด
บริเวณการเคหะชุมชนดินแดง



ภาพประกอบ 4 ความเข้มข้นฝุ่นขนาดต่างๆ
บริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา



ภาพประกอบ 5 ความเข้มข้นฝุ่นแต่ละช่วงขนาด
บริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา



ภาพประกอบ 6 ความเข้มข้นฝุ่นขนาดต่างๆ

บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพประกอบ 7 ความเข้มข้นฝุ่นแต่ละช่วงขนาด

บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากผลความเข้มข้นของฝุ่นละอองในบริเวณการเคหะชุมชนดินแดงซึ่งเป็นพื้นที่ริมถนน พบว่า ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) มีค่าสูงเกินมาตรฐานของประเทศไทย จำนวน 1 วัน จากการเก็บตัวอย่าง 10 วัน (มาตรฐาน PM_{10} ของประเทศไทย กำหนดให้มีค่าไม่เกิน 120 มก./ลบ.ม.) และค่าความเข้มข้นของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) มีค่าสูงเกินค่าร่างมาตรฐานของประเทศไทย จำนวน 9 วัน จากการเก็บตัวอย่าง 10 วัน (ร่างมาตรฐาน $PM_{2.5}$ ของประเทศไทย กำหนดให้มีค่าไม่เกิน 35 มก./ลบ.ม.)

ในขณะที่บริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา พบว่า ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานของประเทศไทยทั้งหมด ในขณะที่ค่าความเข้มข้นของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) มีค่าสูงเกินค่าร่างมาตรฐานของประเทศไทยในทุกวันที่มีการเก็บตัวอย่าง

ส่วนบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่า ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานของประเทศไทยทั้งหมด และค่าความเข้มข้นของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) มีค่าสูงเกินค่าร่างมาตรฐานประเทศไทย จำนวน 1 วัน จากการเก็บตัวอย่าง 10 วัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้น

ผลการวิจัย พบว่า สัดส่วนความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} ทั้งในบริเวณริมถนนและบริเวณพื้นที่ทั่วไป มีค่าสูง คือ มีค่า 0.67 และ 0.66 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการตรวจวัดในปี 2542 ที่พบว่าสัดส่วนความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} มีค่าอยู่ในช่วง 0.60 ถึง 0.74 โดยในกรุงเทพมหานครมีค่าสัดส่วนความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} สูงกว่าบริเวณชานเมืองและต่างจังหวัด(สมานชัย, 2543) และจากการวิจัยนี้ พบว่าวันที่มีค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ สูงเกินมาตรฐาน มีจำนวนมากกว่าวันที่มีค่าความเข้มข้นของ PM_{10} สูงเกินมาตรฐาน แสดงว่า $PM_{2.5}$ เป็นปัญหามลพิษทางอากาศที่สำคัญของกรุงเทพมหานคร ข้อมูลนี้สนับสนุนการกำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็ก ไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) เนื่องจากเป็นปัญหามลพิษทางอากาศที่ควรจะมีการเฝ้าระวังและควบคุมเพื่อป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

5. สรุปผลการวิจัย

ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ในบรรยากาศ บริเวณริมถนน และบริเวณพื้นที่ทั่วไป มีค่าค่อนข้างสูง โดยบริเวณริมถนน มีวันที่มีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนสูงกว่าค่ามาตรฐานของประเทศไทยจำนวน 1 วัน ในขณะที่ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในบริเวณริมถนน และบริเวณพื้นที่ทั่วไป มีจำนวนวันที่มีค่าความเข้มข้นสูงกว่าค่ามาตรฐานของประเทศไทย จำนวน 9 และ 10 วันตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ยสัดส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละอองแต่ละขนาด ในพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 แห่ง มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีสัดส่วนเฉลี่ยของ $PM_{10-2.5}$, $PM_{2.5-1.0}$, $PM_{1.0-0.1}$ และ $PM_{0.1}$ ต่อความเข้มข้นของ PM_{10} เท่ากับ 33.35, 22.62, 33.31 และ 10.72 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อหาสัดส่วนความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} ในบริเวณริมถนน และบริเวณพื้นที่ทั่วไป จะพบว่ามีความเท่ากับ 0.67 และ 0.66 ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าฝุ่นขนาดเล็กมีสัดส่วนมากกว่าฝุ่นขนาดใหญ่ เป็นปัญหามลพิษอากาศที่ควรมีการควบคุมอย่างจริงจัง โดยการกำหนดค่ามาตรฐานในบรรยากาศและมาตรการควบคุมสำหรับฝุ่นขนาดเล็ก

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ Assoc.Prof. Dr.Masami Furuuchi และ Dr.Yoshio Otani จากมหาวิทยาลัย Kanazawa ประเทศญี่ปุ่น ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือเก็บตัวอย่างฝุ่นนาโน

ขอขอบคุณสำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ ที่อนุเคราะห์และอำนวยความสะดวกในการใช้สถานที่เก็บตัวอย่างฝุ่น

ขอขอบคุณ ทนวิชัย “ทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย” กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช ที่สนับสนุนการวิจัย

7. รายการอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ, 2551. การติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศในบรรยากาศ. [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 5 มิถุนายน 2552 จาก http://aqnis.pcd.go.th/air/air_main.htm

กรมควบคุมมลพิษ, สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง, 2552. เอกสารประกอบการประชุมการรับฟังความคิดเห็น เรื่อง การกำหนด(ร่าง)ค่ามาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ในบรรยากาศทั่วไป. กรมควบคุมมลพิษ. [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ 7 มิถุนายน 2552 จาก http://infofile.pcd.go.th/law/Draft_std_PM2.5.pdf?CFID=195474&CFTOKEN=33416954

สมานชัย เลิศกมลวิทย์, 2543. การหาปริมาณฝุ่นขนาดเล็ก ($PM_{2.5}$, $PM_{10-2.5}$, PM_{10}) และความ สัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นในบรรยากาศภายในอาคารและฝุ่นที่บุคคลได้รับ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Seinfeld, J.H., 1975. **Air pollution: physical and chemical fundamentals**. USA: McGraw-Hill.

**แนวทางในการวางระบบความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศสำหรับเครือข่ายเฉพาะบริเวณแบบไร้สาย
สำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดเล็ก**

**INFORMATION SECURITY GUIDELINE FOR WIRELESS LOCAL AREA NETWORKS
IN SMALL AND MEDIUM SIZED ENTERPRISES**

ผกากรอง บ่ายสว่าง¹

ประสงค์ ปราณีตพลกรัง²

พิลาศพงษ์ ทรัพย์เสริมศรี³

^{1,3}หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาระบบสารสนเทศคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

²หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail : baiswang@hotmail.com¹, prasong.pr@spu.ac.th.com², pilastpongs@yahoo.com³

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้นำเสนอแนวทางหรือกรอบความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศสำหรับเครือข่ายเฉพาะบริเวณแบบไร้สายสำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดเล็ก โดยอ้างอิงกับมาตรฐาน ISO/IEC 27001 และใช้กรณีศึกษาเป็นธุรกิจร้านกาแฟที่ให้บริการเสริมด้านเครือข่ายไร้สาย โดยมีวิธีการวิจัย คือ การศึกษาถึงสภาพปัจจุบันภายในวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดเล็ก ที่มีการใช้เครือข่ายเฉพาะบริเวณแบบไร้สาย ผู้วิจัยได้จัดทำกรอบความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศสำหรับเครือข่ายเฉพาะบริเวณแบบไร้สายสำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดเล็ก ภายใต้กรอบมาตรฐาน ISO/IEC 27001 ในการวิจัยครั้งนี้มีการเก็บข้อมูลโดยการสัมภาษณ์บริษัทที่เป็นวิสาหกิจขนาดเล็ก การศึกษาเอกสารงานวิจัย ระบบมาตรฐาน ISO 17799/27001 และในการกำหนดกรอบความมั่นคงปลอดภัยสำหรับเครือข่ายเฉพาะบริเวณแบบไร้สายสำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดเล็กนั้น ได้พิจารณา OSI Model กับ Defense Information System Agency for the Department of Defense (DISA for the DOD) และ United States Department of Homeland Security (DHS) ทั้งนี้ เพื่อให้ได้ระบบที่มีความเสถียรในการใช้งานบนระบบเครือข่าย

กรอบความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศสำหรับเครือข่ายเฉพาะบริเวณแบบไร้สายสำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดเล็กที่ผู้วิจัยได้จัดทำขึ้นนี้ สามารถใช้เป็นต้นแบบความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศในวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดเล็กได้ อีกทั้งยังสามารถนำไปปรับใช้ในหน่วยงานอื่นๆ ได้

คำสำคัญ : ความมั่นคงปลอดภัย เครือข่ายเฉพาะบริเวณแบบไร้สาย วิสาหกิจขนาดกลางและขนาดเล็ก

ABSTRACT

This study presents the development of information security framework in wireless local area networks for small and medium sized enterprises according to ISO/IEC 27001. A case study is a coffee shop business providing wireless local area networks for customers.

The purpose of this paper is to determine the current condition of information security framework for wireless local area networks in small and medium sized enterprises, and creates the framework under ISO/IEC 27001 international standard. Data were collected by survey interview and data collection such as ISO 17799/27001 International standard system, study researches. The Framework of wireless network system security will be applied from OSI Model and Defense Information System Agency for the Department of Defense (DISA for the DOD) and United State Department of Homeland Security (DHS).

The information security framework for wireless local area networks that has been developed can be used in Thai SMEs and other Organizations.

KEYWORDS : Information security, Wireless local area networks, Small and medium sized enterprises

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

SMEs (Small and Medium Sized Enterprises) คือ วิสาหกิจขนาดกลางและขนาดเล็ก ซึ่งมีความหมายรวมถึงอุตสาหกรรมการผลิต (Manufacturing) กิจการค้าส่งและค้าปลีก (Whole sale and Retail) และกิจการบริการ (Service) ซึ่งเกณฑ์ในการจัดอุตสาหกรรม เป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ กลาง หรือ เล็กนั้นมีหลายวิธี แต่โดยทั่วไปจะใช้ จำนวนคนงาน (ขนาดการจ้างงาน) จำนวนเงินลงทุน มูลค่าทรัพย์สิน จำนวนยอดขาย หรือ รายได้เป็นเกณฑ์ กิจการใดจะเข้าข่ายเป็น SMEs หรือไม่กระทรวงอุตสาหกรรมได้กำหนดเกณฑ์ การแบ่งประเภทของวิสาหกิจขนาดเล็กมีจำนวนคนงานไม่เกิน 50 คน จำนวนเงินลงทุนไม่เกิน 20 ล้านบาท และวิสาหกิจขนาดกลางจำนวนคนงานระหว่าง 50 ถึง 200 คน จำนวนเงินลงทุนระหว่าง 20 ถึง 200 ล้านบาท

เทคโนโลยีการสื่อสารแบบเครือข่ายเฉพาะบริเวณแบบไร้สาย (Wireless LAN) ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย รวมไปถึงวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดเล็ก (SMEs) ซึ่งเป็นธุรกิจที่มีความหลากหลายและมีอัตราการเติบโตสูงขึ้นในปัจจุบัน การใช้ระบบไร้สายในองค์กรจะทำให้เพิ่มความสะดวกสบายและลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเหมาะสำหรับบุคคลที่เข้ามาเชื่อมต่อข้อมูลหรือใช้งานร่วมกัน ทำให้ต้องคำนึงถึงระบบรักษาความปลอดภัยสารสนเทศสำหรับเครือข่ายเฉพาะบริเวณแบบไร้สาย เนื่องจากธุรกิจประเภท SME จะมีข้อมูลที่สำคัญเหมือนบริษัทเช่นกัน เช่น ข้อมูลทางการเงิน เป็นต้น จึงต้องการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลในประเภทต่างๆ เช่น มีการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลจากไวรัส การรับรองว่าจะมีการเก็บข้อมูลไว้เป็นความลับและผู้มีสิทธิเท่านั้นจึงจะเข้าถึงข้อมูลได้ การรับรองข้อมูลจะไม่ถูกเปลี่ยนแปลงหรือทำลายไว้จะเป็นอุบัติเหตุหรือโดยเจตนา การรับรองว่าข้อมูลและบริการการสื่อสารต่างๆ และพร้อมที่ใช้งานได้ในเวลาที่ต้องการใช้งานเพราะธุรกิจ SME จำเป็นต้องมีการติดต่อสื่อสารโดยตรงกับลูกค้าอยู่ตลอด ดังนั้น การสร้างระบบความมั่นคงปลอดภัยจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับธุรกิจประเภท SME ด้วยเช่นกัน

ดังนั้น ในการศึกษาและวางระบบความมั่นคงปลอดภัยสำหรับระบบเครือข่ายเฉพาะบริเวณแบบไร้สายควรออกแบบให้มีความเหมาะสมกับความต้องการของธุรกิจนั้นๆ และตามลักษณะการใช้งานของผู้ใช้นั้นๆ

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ผู้วิจัยได้มีวัตถุประสงค์ของการวิจัยไว้ดังนี้

1. เพื่อศึกษาถึงสภาพปัจจุบันภายในวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดเล็ที่มีความเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยสารสนเทศสำหรับเครือข่ายเฉพาะบริเวณแบบไร้สาย
2. เพื่อนำเสนอแนวทางการวางระบบความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศสำหรับเครือข่ายเฉพาะบริเวณแบบไร้สายในวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดเล็ภายใต้กรอบมาตรฐาน ISO/IEC 27001

3. ขอบเขตของการวิจัย

ในการจัดทำงานวิจัยสาขาวิชาระบบสารสนเทศคอมพิวเตอร์ครั้งนี้ผู้วิจัยได้มีขอบเขตของการวิจัยโดยการศึกษามาตรฐานระบบสารสนเทศสำหรับเครือข่ายเฉพาะบริเวณแบบไร้สายสำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดเล็ภายใต้กรอบมาตรฐาน ISO/IEC 27001 สำหรับควบคุมการทำงานของระบบธุรกิจขนาดกลางและขนาดเล็ อาทิ ธุรกิจประเภทร้านค้าปลีกที่ให้บริการเสริมด้านเครือข่ายไร้สาย

4. รูปแบบการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพในรูปแบบของการศึกษาเฉพาะกรณี (Case Study) โดยศึกษาธุรกิจประเภท SME ที่มีการวางระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์และการวิจัยจะเป็นแบบประยุกต์เฉพาะกรณี โดยอ้างอิงจากมาตรฐาน ISO/IEC 27001 ซึ่งเป็นมาตรฐานในระดับสากลที่มีหลักปฏิบัติในการป้องกันและควบคุมข้อมูลที่จะสร้างความมั่นใจว่าข้อมูลและสารสนเทศยังถูกเก็บรักษาอยู่ครบถ้วนปลอดภัย โดยผู้ทำวิจัยได้ทำการศึกษาวิเคราะห์เอกสารและสอบถามความเหมาะสมต่อการวางระบบความมั่นคงปลอดภัยจากผู้เชี่ยวชาญที่เป็น CIO ของหน่วยงาน

5. แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

5.1 แนวคิดและทฤษฎีของไอทีต่อวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม

ไอที และ ไอซีที (Information and Communication Technology) ประกอบด้วยเทคโนโลยีสำคัญหลายอย่าง เช่น เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีการสื่อสารโทรคมนาคม เทคโนโลยีเครือข่ายคอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ต เทคโนโลยีการพิมพ์ ฯลฯ ในภาพรวมกล่าวได้ว่าการใช้ไอทีในงานธุรกิจ จะมีการใช้งานเพื่อเพิ่มความสะดวกแก่ผู้ปฏิบัติงานมากขึ้น เช่น การใช้คอมพิวเตอร์ในงานพิมพ์เอกสารที่เรียกว่างานประมวลคำ (Word Processing) หน้าเว็บในระบบอินเทอร์เน็ตยังเป็นส่วนหนึ่งของระบบสำนักงานอัตโนมัติ (Office Automation) เป็นการใช้งานคอมพิวเตอร์ในงานจัดทำและรับส่งเอกสารสำหรับบริษัทและหน่วยงาน เมื่อโลกรู้จักใช้ระบบอินเทอร์เน็ต และเทคโนโลยีเว็บแนวทางการพัฒนาระบบต่างๆ ก็เปลี่ยนไป งานประยุกต์เริ่มเปลี่ยนเป็นระบบเว็บไซด์ (Web Based System) มากขึ้น

5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ภาณุภูมิ ปรีชาพานิช (2550) ได้ทำการวิจัยเรื่องการพัฒนาตัวแบบความมั่นคงปลอดภัยของเว็บเซิร์ฟเวอร์สำหรับกระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร โดยงานวิจัยได้ศึกษาและพัฒนาตัวแบบความมั่นคงปลอดภัยของระบบเว็บเซิร์ฟเวอร์ สำหรับหน่วยงานในกระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร และทำการประเมินความมั่นคงปลอดภัยของระบบเว็บเซิร์ฟเวอร์ภายในกระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร โดยอิงตัวแบบที่ได้พัฒนาขึ้น

2. ศีลพล สุขใส และ เกริก ภิรมย์โสภ “ระบบป้องกันการบุกรุกแบบปรับตัวได้เพื่อลดความเสียหายจากการโจมตีแบบการปฏิเสธการให้บริการ” นำเสนอแนวทางในการป้องกันและลดความเสียหายในระบบป้องกันการบุกรุก (Intrusion Prevention System) โดยใช้การปรับค่าขอบเขตสูงสุดของการติดต่อจากแต่ละหมายเลขไอพีตามช่วงเวลาที่ถูกรับโจมตี ซึ่งช่วยให้ระบบสามารถทนต่อการโจมตีได้นานขึ้น และยังสามารถให้บริการกับเครื่องที่มีแหล่งที่มาเดียวกันกับเครื่องที่ทำการโจมตีได้ ผลการทดลองของระบบต้นแบบที่ได้สร้างขึ้นแสดงให้เห็นว่าแนวทางที่นำเสนอ นั้น สามารถที่จะลดความเสียหายจากการโจมตีได้ในขณะที่ระบบยังสามารถให้บริการกับเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ตามปกติ

6. ผลการวิจัย

จากการดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยได้ผลวิจัยดังต่อไปนี้

6.1 การกำหนดนโยบายด้านความมั่นคงปลอดภัยสำหรับเครือข่ายเฉพาะบริเวณแบบไร้สาย

สำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดเล็

ในการกำหนดกรอบความมั่นคงปลอดภัยสำหรับระบบเครือข่ายไร้สายสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนมีรายละเอียดดังนี้

1. ความมั่นคงปลอดภัยที่เกี่ยวข้องกับบุคลากร (Human Resources Security) การสร้างความมั่นคงปลอดภัยก่อนการจ้างงาน (Prior to Employment) การสร้างความมั่นคงปลอดภัยระหว่างการจ้างงาน (During Employment) การสิ้นสุดหรือการเปลี่ยนการจ้างงาน (Termination or Change of Employment)

2. ความมั่นคงปลอดภัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทำงาน (Process Resources Security)

- นโยบายความมั่นคงปลอดภัยของสารสนเทศ (Information Security Policy) นโยบายนี้เป็นกรอบในการกำหนดวัตถุประสงค์ มาตรการด้านความมั่นคงปลอดภัย รวมถึงแนวทางการบริหารความเสี่ยง และที่สำคัญนโยบายต้องให้ความสำคัญต่อการปฏิบัติตามกฎหมาย กฎระเบียบ สัญญาและข้อตกลงร่วมกัน

- โครงสร้างด้านความมั่นคงปลอดภัยของระบบสารสนเทศสำหรับองค์กร (Organization of Information Security)

- นโยบายการกำหนดมาตรการการป้องกันทรัพย์สินขององค์กร

- นโยบายการกำหนดหน้าที่และความรับผิดชอบและขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Operational Procedures and Responsibilities)

- นโยบายการบริหารจัดการการให้บริการของหน่วยงานภายนอก (Third Party Service Delivery Management)

- นโยบายการควบคุมการเข้าถึง (Access Control)
- นโยบายการสร้างความปลอดภัยให้แก่ไฟล์ของระบบที่ให้บริการ (Security of System Files)

Files)

- นโยบายการปฏิบัติตามข้อกำหนดทางกฎหมาย (Compliance with Legal Requirements)
- นโยบายการตรวจประเมินระบบสารสนเทศ (Information Systems Audit Considerations)

3. ความมั่นคงปลอดภัยที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยี (Technology Resources Security)

- นโยบายความมั่นคงปลอดภัยของสารสนเทศ (Information Security Policy)
- นโยบายการสร้างความปลอดภัยทางกายภาพและสิ่งแวดล้อม (Physical and Environmental Security)

Environmental Security)

- นโยบายการบริหารจัดการด้านการสื่อสารและเครือข่ายสารสนเทศขององค์กร

(Communicational Procedures and Responsibilities)

- นโยบายการควบคุมอุปกรณ์สื่อสารประเภทพกพา
- การปฏิบัติตามนโยบาย

6.2 การพัฒนาแบบความมั่นคงปลอดภัยสำหรับเครือข่ายเฉพาะบริเวณแบบไร้สาย สำหรับ

วิสาหกิจขนาดกลางและขนาดเล็ก

การพัฒนาแบบความมั่นคงปลอดภัยมีพีไอเออร์และเครื่องมือต่าง ๆ ที่ช่วยในการบริหารจัดการและควบคุมระบบ จะช่วยให้การบริหารจัดการเซิร์ฟเวอร์ที่มีหลายแอปพลิเคชันและหลายยูสเซอร์ใช้งานพร้อมกัน นอกจากนี้ยังช่วยในการป้องกันข้อมูลตามนโยบายที่กำหนด ซึ่งจะติดตั้งพร้อมกับระบบเพื่อกรองข้อมูลการจราจรที่วิ่งเข้าออกบนระบบเครือข่าย ดังนั้น การศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับกรอบความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศเครือข่ายเฉพาะบริเวณ แบบไร้สายสำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดเล็กทั้งในส่วนของทฤษฎี งานวิจัยและมาตรฐาน ISO/IEC27001 ร่วมกับการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ CIO จึงสามารถสร้างแบบได้ดังภาพประกอบ 1

OSI Model	มาตรฐาน ISO27001		Security	Management	Quality of Services
	Security Framework				
	Application Layer	Web Service Security			
	Transport Layer	Access control,			
	Network Layer	IP Security, Vulnerability Intrusion Provention System Intrusion Detection System			
	Data link Layer	Authentication in Distributed System Encryption			
	Physical Layer				

ภาพประกอบ 1 กรอบความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศเครือข่ายเฉพาะบริเวณแบบไร้สายสำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดเล็ก

จากผลการกำหนดกรอบความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศเครือข่ายเฉพาะบริเวณแบบไร้สายสำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดเล็กแสดงดังภาพประกอบ 1 ซึ่งแสดงถึงกรอบความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศเครือข่าย

เฉพาะบริเวณแบบไร้สายสำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดเล็กที่อ้างอิงตามมาตรฐาน ISO/IEC 27001 โดยจะมีรายละเอียดในแต่ละ Layer ดังนี้

1. Application Layer เป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างแอปพลิเคชันของผู้ใช้กับกระบวนการ การสื่อสารผ่านเครือข่าย ชั้นนี้อาจจะถือได้ว่าเป็นชั้นที่เริ่มกระบวนการติดต่อสื่อสาร คือ

- Web Services Security เป็นการรักษาความปลอดภัยสำหรับการให้บริการเว็บไซต์ โดยมีการจัดการคือ

● Maintaining security while routing between multiple การป้องกันความปลอดภัยต้องป้องกันทุกๆ Layer เพราะผู้โจมตีอาจเลือก Layer ที่สามารถโจมตีได้ง่าย หรือมีจุดอ่อน

● Unauthorized Access ต้องจำกัดผู้ใช้งาน จำนวนผู้ใช้และการเข้าถึงข้อมูล คือกำหนดสิทธิ์ใช้งาน

● Parameter Manipulation/Malicious Input มีการส่ง Parameter หรือ Input ที่เป็นอันตรายจากผู้ไม่ประสงค์ดี เช่น SQL Injection เป็นต้น

● Network Eavesdropping and Message Replay ถ้าข้อมูลไม่ถูก Encryption ไว้ อาจถูกผู้ไม่ประสงค์ดีดักจับข้อมูลได้ง่าย ทำให้ข้อมูลไม่เป็นความลับ

● Denial of Services (DoS) ผู้โจมตีส่งคำสั่งจำนวนมากๆ (Message Bomb) ให้ Web Services ทำให้เกิดความเสียหาย

● Bypassing of Firewalls ผู้โจมตีพยายามโจมตีผ่าน port ที่ firewall เปิด คือ พยายามโจมตีผ่าน Port 80 เป็นต้น

● Immaturity of the platform Web Services มีการใช้ Platform ที่ต่างกัน ทำให้เกิดการโจมตีโดยง่าย

2. Transport Layer รับผิดชอบในการเคลื่อนย้ายข้อมูลระหว่างโพรเซสของผู้รับ และโพรเซสของผู้ส่ง ในชั้นนี้มีการรักษาความปลอดภัยดังนี้

- Access Control เป็นวิธีการเข้ารหัสข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการป้องกันความลับของข้อมูลได้เป็นอย่างดี แต่ไม่สามารถที่จะป้องกันการปลอมแปลงเข้ามาในระบบได้ ส่วนวิธีที่ใช้ในการป้องกันการปลอมแปลงการเข้ารหัส การป้องกันการเรียกเข้าในระบบโดยไม่ได้รับอนุญาต เป็นการกำหนดระดับสิทธิในการเข้าถึงระบบในการเข้าถึงข้อมูลต่าง ๆ กัน

3. Network Layer จะรับผิดชอบในการจัดเส้นทางให้กับข้อมูลระหว่างสถานีส่งและสถานีรับ โดยมีระบบการรักษาความปลอดภัยดังนี้

- IP Security จะมีระบบรักษาความปลอดภัยเหมือนระบบรักษาความปลอดภัยอื่นๆ คือ การใส่รหัส (Encryption) เพื่อป้องกันข้อมูลรั่วไหล ป้องกันการแอบดักข้อมูลไปใช้

- Vulnerability การค้นหาเพื่อระบุถึง จุดอ่อนของระบบภายในองค์กรนั้น ในบางที่อาจต้องใช้วิธีทางเทคนิคเข้ามาช่วย เพื่อค้นหา จุดอ่อนในเชิง Logical ของระบบ

- Intrusion Detection System ระบบตรวจสอบการบุกรุกเข้าสู่ระบบ ตรวจสอบมัลแวร์ไว้ทั้งหน้า firewall และหลัง firewall เพื่อตรวจสอบการบุกรุก และตรวจสอบผลการใช้ firewall

- Intrusion Prevention System ระบบที่คอยตรวจจับการบุกรุกของผู้ที่ไม่ประสงค์ดี รวมไปถึงข้อมูลจำพวกไวรัสด้วย

4. Data Link Layer มีหน้าที่เหมือนกับชั้นอื่น ๆ คือรับและส่งข้อมูล ซึ่งจะรับผิดชอบในการรับส่งข้อมูล และมีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลด้วย โดยมีการรักษาความปลอดภัยดังนี้

- Authentication in Distributed System เป็นการตรวจสอบความถูกต้องระบบคอมพิวเตอร์ในเครือข่าย

- Encryption คือ การเปลี่ยนข้อความที่สามารถอ่านได้ (plain text) ไปเป็นข้อความที่ไม่สามารถอ่านได้ (cipher text) เพื่อเหตุผลด้านความปลอดภัย ปัจจุบันการเข้ารหัสมี 2 รูปแบบคือ การเข้ารหัสแบบสมมาตร เป็นการเข้ารหัสแบบใช้กุญแจตัวเดียวกันสำหรับการเข้าและถอดรหัส และการเข้ารหัสแบบอสมมาตร เป็นการเข้ารหัสที่ใช้กุญแจตัวหนึ่งสำหรับการเข้ารหัส และกุญแจอีกตัวหนึ่งสำหรับการถอดรหัส

5. Physical Layer จัดการเชื่อมต่อ และการส่งสัญญาณทางไฟฟ้า จากผู้ส่ง ไปยังผู้รับ โดยผ่านสื่อกลาง เช่น สายทองแดง คลื่นวิทยุ สายคู่ตีเกลียว และใยแก้วนำแสง เป็นต้น

ดังนั้น พื้นฐานของการรักษาความมั่นคงปลอดภัยของระบบสารสนเทศทั่วไปเป็นฐานเนื่องจากในองค์กรส่วนใหญ่จะมีระบบสารสนเทศที่ใช้แบบมีสายและแบบไร้สาย ดังนั้นจะต้องดำเนินการรักษาความมั่นคงปลอดภัยร่วมกัน ซึ่งทุกระบบงานย่อยและระบบงานสารสนเทศต้องมี รวมถึงต้องมีการพิจารณาขั้นตอนต่างๆ การดำเนินการต่างๆ ในระดับบริหารจัดการ และเน้นไปที่การรักษาความมั่นคงปลอดภัยเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

7. สรุป

ผลที่ได้จากการวิจัยการจัดทำกรอบความมั่นคงปลอดภัยสำหรับเครือข่ายเฉพาะบริเวณแบบไร้สายในวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดเล็ก โดยอิงมาตรฐาน ISO27001 นั้น ผู้วิจัยได้พัฒนาต้นแบบความมั่นคงปลอดภัยโดยมีวิธีการและเครื่องมือต่างๆ ช่วยในการบริหารจัดการและควบคุมระบบ ซึ่งจะติดตั้งพร้อมกับการจัดทำระบบในครั้งแรก ทั้งนี้เพื่อรองรับข้อมูลการจราจรที่วิ่งเข้าออกระบบ และการที่จะรองรับกับระบบธุรกรรมต่างๆ ของ SME ได้ ระบบปฏิบัติการที่ใช้และเว็บเซิร์ฟเวอร์ต้องรองรับการสื่อสารที่ปลอดภัย จะช่วยให้การบริหารจัดการเซิร์ฟเวอร์ที่มีหลายแอปพลิเคชัน และหลายยูสเซอร์ที่ใช้งานพร้อมกันอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น อย่างไรก็ตามกรอบความมั่นคงปลอดภัยที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นยังช่วยในด้านการป้องกันความมั่นคงปลอดภัยภายในองค์กร SME ซึ่งทำให้ SME ได้ปฏิบัติตามนโยบายที่กำหนดเป็นมาตรฐานในระดับสากล

8. ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาวิจัยเรื่อง กรอบความมั่นคงความปลอดภัยสารสนเทศสำหรับเครือข่ายเฉพาะบริเวณแบบไร้สายสำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดเล็ก ได้มีข้อเสนอแนะในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ข้อดังนี้

1. ถ้าผู้ที่สนใจจะนำไปพัฒนาใช้จริงใน SME ควรพิจารณาด้านนโยบายขององค์กรประกอบ และกำหนดนโยบายภายใน SME ให้เหมาะสม

2. ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยในอนาคต งานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในด้านระบบความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศสำหรับเครือข่ายเฉพาะบริเวณหรือเครือข่ายบริเวณกว้างอื่นๆ สำหรับหน่วยงานภาครัฐหรือบริษัทที่มีขนาดใหญ่ โดยเปรียบเทียบกับ Defense Information System Agency for the Department of Defense มาประกอบเป็นแนวทางในการปรับใช้

9. รายการอ้างอิง

- จตุชัย แพงจันทร์, อนุโชต วุฒิพรพงษ์, 2551. **เจาะระบบ Network**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ บริษัท ไอดีซี อินโฟ ดิสทริบิวเตอร์ เซ็นเซอร์ จำกัด.
- ปริญญ์ เสรีพงษ์, 2551. **ISO 27001 Introduction to Information Security Management System ระบบการจัดการความมั่นคงปลอดภัยของสารสนเทศ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: บริษัท อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน).
- ภาคภูมิ ปรีชาพานิช, 2550. “การพัฒนาตัวแบบความมั่นคงปลอดภัยของเว็บเซิร์ฟเวอร์สำหรับกระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร”. บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สาขาวิชาพาณิชยอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม.
- อนันต์ ผลเพิ่ม, 2550. **แลนไร้สาย (Wireless LAN)**. กรุงเทพฯ : วี พริ้นท์ จำกัด.
- International Standard ISO/IEC 27001, 2005. **Information Technology-Security Techniques-Information Security Management Systems-Requirements**. 1st. Switzerland: ISO Copyright office.
- United States Defense Information System Agency for the Department of Defense, 2005. **Wireless LAN Security Framework Addendum to the Wireless Security Technical Implementation Guide**, Version 1. United States of America.
- United States Department of Homeland Security Washington, D.C. 20528, 2008. **Information Technology (IT) Security Essential Body of Knowledge (EBK): A Competency and Functional Framework for IT Security Workforce Development**.

ผลกระทบของรูปแบบของการเคลื่อนที่ทางด้านข้างต่อกำลังต้านทานแผ่นดินไหวของ
อาคารโดยวิธีการผลักแบบวัฏจักร

THE EFFECTS OF LATERAL DISPLACEMENT PATTERNS ON SEISMIC
CAPACITY OF BUILDINGS BY CYCLIC PUSHOVER ANALYSIS

เทพฤทธิ์ ประสงค์วัฒนา ¹

ไพบุณย์ ปัญญาอะโป ²

¹นักศึกษาปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail : thepparit_m@hotmail.com

²รองศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

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

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอผลกระทบของรูปแบบของการเคลื่อนที่ทางด้านข้างต่อกำลังต้านทานแผ่นดินไหวของอาคารโดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีการผลักแบบวัฏจักร (Cyclic Pushover Analysis ,CPA) ซึ่งอาคารที่ใช้เป็นตัวอย่างในงานวิจัยนี้ เป็นโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 14 ชั้น ระบบพื้น-เสา ซึ่งเป็นอาคารสูงตั้งอยู่ในเขตกรุงเทพมหานครและไม่ได้ออกแบบเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหว การวิเคราะห์นี้ใช้รูปแบบแรงกระทำผลักอาคารมีลักษณะไป-กลับแบบวัฏจักรแบบต่างๆ และเปรียบเทียบกับวิธี Modal Pushover Analysis (MPA) จากการคำนวณค่าดัชนีความเสียหายที่เกิดขึ้นในแต่ละองค์อาคารของโครงสร้าง พบว่า ค่าระดับความเสียหายของโครงสร้าง ซึ่งคำนวณด้วยวิธีการผลักแบบวัฏจักรมีค่าสูงกว่าวิธี MPA อย่างไรก็ตาม ผลการวิเคราะห์แสดงว่า รูปแบบของการเคลื่อนที่ทางด้านข้างมีผลต่อกำลังต้านทานแผ่นดินไหวของอาคาร

คำสำคัญ : การวิเคราะห์ด้วยวิธีการผลักแบบวัฏจักร การวิเคราะห์ด้วยวิธี Modal Pushover กำลังต้านทานแผ่นดินไหว

ABSTRACT

This paper presents the effects of lateral displacement patterns on seismic capacity of building by using Cyclic Pushover Analysis. A 14-stories reinforced concrete building was selected in this study. The building was modeled as slab-column frame located in Bangkok area, and it has not been designed for earthquake effect. Various types of lateral load patterns were employed for cyclic pushover analysis. The results were compared with those of Modal Pushover Analysis. It was found that the seismic

damages of structure computed by Cyclic Pushover Analysis were greater than those of Modal Pushover Analysis. However, the lateral displacement patterns have affected on the seismic capacity of building

KEYWORDS : Cyclic pushover analysis, Modal pushover analysis, Seismic capacity

1. บทนำ

ในปัจจุบัน วิธี Capacity Spectrum Method (Applied Technology Council, 1996) เป็นวิธีการหนึ่งซึ่งใช้ในการประเมินกำลังต้านทานแผ่นดินไหวของโครงสร้างอาคารที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ในวิธีการนี้ อาศัยการวิเคราะห์การผลักอาคารแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear Static Procedure or Pushover Analysis, PA) เพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนที่ฐานอาคารและการเคลื่อนที่ของยอดอาคาร ซึ่งวิธีนี้เป็นการใช้แรงกระทำแบบสถิตผลักอาคารให้เคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียว แม้ว่าวิธีการนี้จะเป็วิธีการที่ง่ายกว่าวิธี Nonlinear Time History Analysis ซึ่งเป็นการใช้คลื่นแผ่นดินไหวกระทำต่อโครงสร้างโดยตรง แต่วิธีการผลักอาคารแบบนี้ไม่ได้แสดงพฤติกรรมในการรับแรงแผ่นดินไหวของอาคารอย่างแท้จริง เนื่องจากในเหตุการณ์แผ่นดินไหว โครงสร้างอาคารถูกแรงกระทำที่ฐานแบบกลับป้กลับมมา ทำให้ระดับค่าความเสียหายที่ได้จากวิธี Pushover Analysis มีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากแรงแผ่นดินไหวจริงๆ นอกจากนี้ วิธีการผลักอาคารแบบนี้ยังเหมาะสำหรับอาคารที่มีการสันแบบโหมดพื้นฐานเป็นหลัก ไม่เหมาะสำหรับอาคารสูงซึ่งมีผลของการสันในโหมดที่สูงขึ้นมาร่วมด้วย วิธีการนี้จึงได้มีการปรับปรุงให้คำนึงถึงผลกระทบของโหมดที่สูงขึ้นด้วย โดยวิธี Modal Pushover Analysis, MPA (Chopra and Goel, 2002:561-582) อย่างไรก็ตาม แรงที่ใช้ในการผลักอาคาร สำหรับการผลักในแต่ละโหมดซึ่งมีรูปแบบแปรเปลี่ยนตามรูปร่างการสันในแต่ละโหมดก็ยังเป็นแรงที่กระทำต่อโครงสร้างอาคารเพียงด้านเดียว

เพื่อให้การผลักอาคารมีลักษณะใกล้เคียงกับพฤติกรรมการรับแรงแผ่นดินไหวที่แท้จริง จึงได้มีการศึกษาวิธีการผลักอาคารแบบวัฏจักร (Cyclic Pushover Analysis, CPA) โดยใช้แรงกระทำผลักอาคารแบบสลับทิศเพื่อพิจารณาถึงพฤติกรรมของแรงกระทำแผ่นดินไหวจริงๆ ผลการศึกษา [3] พบว่า ค่าระดับความเสียหายของโครงสร้างซึ่งได้จากวิธีการผลักแบบวัฏจักรมีค่าสูงกว่าวิธีการผลักอาคารแบบทั่วไป (PA) เนื่องจากวิธีการนี้พิจารณาถึงความเสียหายสะสม(cumulative damage) ที่เพิ่มขึ้นจากแรงกระทำแบบกลับป้กลับมมา อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาที่ผ่านมา ยังไม่มีการศึกษารูปแบบการเคลื่อนที่ไปกลับแบบวัฏจักรลักษณะต่างๆกัน

บทความนี้ เป็นการนำเสนอวิธีการผลักอาคารแบบวัฏจักรในแต่ละรูปแบบการเคลื่อนที่ไปกลับแบบวัฏจักรลักษณะต่างๆ กัน และนำมาเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี Pushover Analysis และวิธี MPA

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อวิเคราะห์กำลังต้านทานแผ่นดินไหวของโครงสร้างอาคารด้วยวิธีการผลักอาคารแบบวัฏจักร (Cyclic Pushover Analysis, CPA) โดยใช้รูปแบบของการเคลื่อนที่ไปกลับแบบวัฏจักรลักษณะต่างๆกัน และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับวิธี Pushover Analysis (PA) และวิธี Modal Pushover Analysis (MPA)

3. ขอบเขตของงานวิจัย

1. โครงสร้างอาคารที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 14 ชั้นแบบ ระบบ พื้น-เสา ซึ่งเป็นอาคารสูงทั่วไปที่ไม่ได้ออกแบบเพื่อต้านทานแรงแผ่นดินไหว
2. พฤติกรรมการรับแรงแบบวัฏจักร (Hysteresis behavior) ในงานวิจัยนี้ใช้แบบจำลองของ Modified Takeda
3. แรงที่นำมาใช้ในการผลักรูปอาคารนี้ มีการกำหนดรูปแบบการเคลื่อนที่ลักษณะต่างๆกัน 4 แบบ
4. เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับวิธี Pushover Analysis (PA) และวิธี Modal Pushover Analysis (MPA)

4. การวิเคราะห์โดยวิธีการผลักรูปแบบวัฏจักร

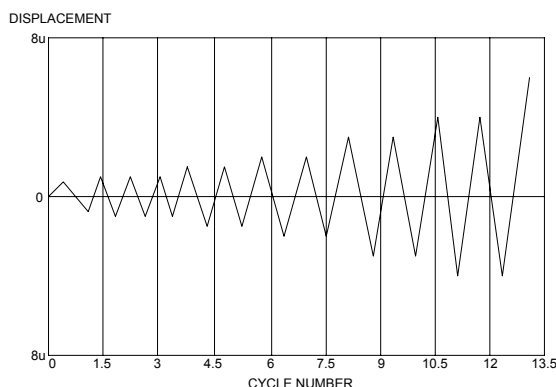
การผลักรูปอาคารแบบวัฏจักร (Cyclic Pushover) (ไพบูลย์ ปัญญาอะโป, 2552) มีหลักการโดยการกำหนด ลักษณะการเคลื่อนที่ไป-กลับแบบสลับทิศโดยเป็นความสัมพันธ์ระหว่างรอบการผลึกและค่าการเคลื่อนที่ของ ยอดอาคาร (displacement history) เมื่ออาคารถูกผลึกให้เคลื่อนที่ไปจนสุดระยะที่กำหนดในแต่ละรอบ ก็จะถูก ผลึกให้เคลื่อนที่กลับในทิศทางตรงกันข้าม เป็นไปตามการกำหนดค่าการเคลื่อนที่ของยอดอาคาร รูปแบบการ เคลื่อนที่ ที่ใช้ในงานวิจัยมีดังนี้

- 4.1 การเคลื่อนที่ตามแบบทดสอบในห้องปฏิบัติการ (Laboratory-Test-like-Displacement History) ดังแสดงในตาราง 1 และภาพประกอบ 1 ดังนี้

ตาราง 1 ค่าการผลึกให้อาคารเคลื่อนที่ไปในแต่ละรอบ

จำนวนรอบ	1	3	2	2	2	2	ผลึกไปถึง
การเคลื่อนที่	0.75μ	μ	1.5μ	2μ	3μ	4μ	6μ

โดยที่ μ คือค่าความเหนียวของโครงสร้าง



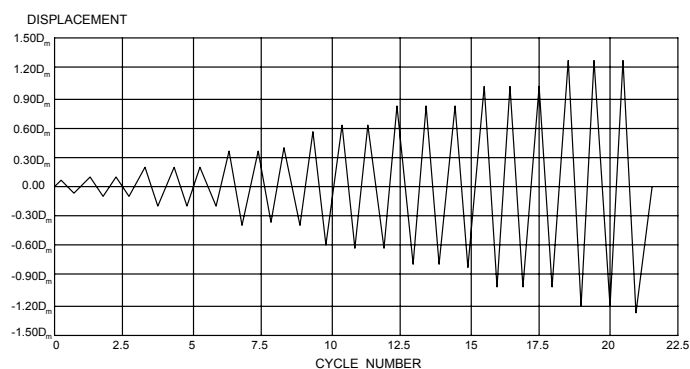
ภาพประกอบ 1 การเคลื่อนที่ตามแบบทดสอบในห้องปฏิบัติการ

4.2 การเคลื่อนที่แบบ ISO Displacement ดังแสดงในตาราง 2 และภาพประกอบ 2 ดังนี้

ตาราง 2 ค่าการผลักดันให้อาคารเคลื่อนที่ไปในแต่ละรอบ

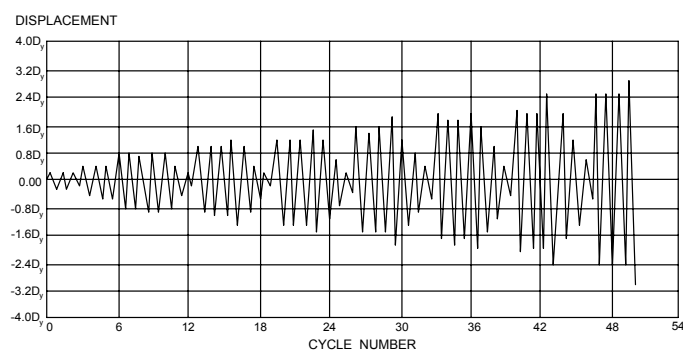
จำนวนรอบ	1	2	3	3	3	3	3	3
การเคลื่อนที่	$0.06D_m$	$0.09D_m$	$0.18D_m$	$0.42D_m$	$0.60D_m$	$0.78D_m$	$1.02D_m$	$1.26D_m$

โดยที่ D_m คือค่าการเคลื่อนที่สูงสุดที่ยอดอาคาร



ภาพประกอบ 2 การเคลื่อนที่แบบ ISO Displacement

4.3 การเคลื่อนที่แบบ SPD Displacement ดังแสดงในภาพประกอบ 3 ดังนี้



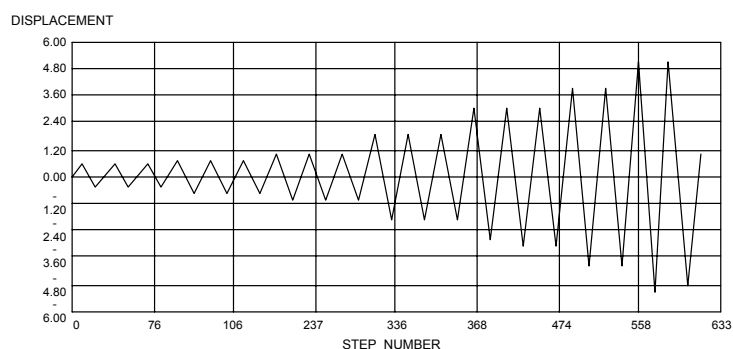
ภาพประกอบ 3 การเคลื่อนที่แบบ SPD Displacement

4.4 การเคลื่อนที่แบบ ATC-24 Displacement ดังแสดงในตาราง 3 และภาพประกอบ 4 ดังนี้

ตาราง 3 ค่าการผลักให้อาคารเคลื่อนที่ไปในแต่ละรอบ

จำนวนรอบ	3	3	3	3	3	2	2
การเคลื่อนที่	$0.48D_y$	$0.72D_y$	$0.96D_y$	$1.92D_y$	$3.0D_y$	$4.08D_y$	$5.04D_y$

โดยที่ D_y คือค่าการเคลื่อนที่ที่พิกัดยึดหุ่น



ภาพประกอบ 4 การเคลื่อนที่แบบ ATC-24 Displacement

5. อาคารที่ใช้ในการวิเคราะห์

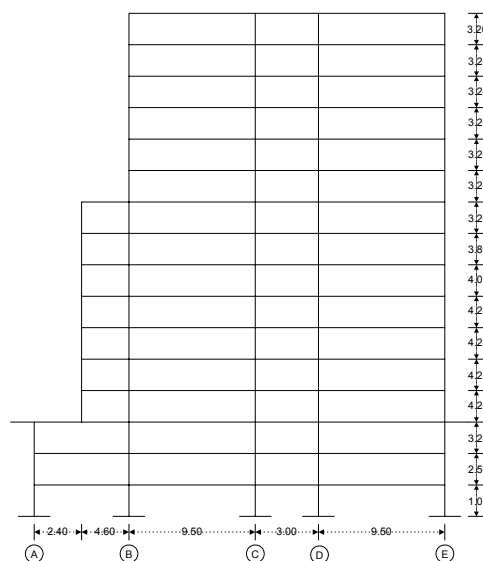
ในงานวิจัยนี้ได้เลือกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 14 ชั้น ซึ่งมีชั้นใต้ดิน 2 ชั้น ระบบพื้น-เสา (Slab-Column Structure) โดยมีได้ออกแบบให้ด้านทานแรงแผ่นดินไหว ซึ่งเป็นอาคารเรียนของสถานศึกษาแห่งหนึ่งในเขตกรุงเทพมหานครมาเป็นกรณีศึกษา โดยมีรายละเอียดที่สำคัญดังนี้

ก. พังอาคารมีขนาด 110.70x29.00 เมตร ความสูงทั้งหมด 50.50 เมตร ภายในอาคารใช้อิฐมอญเป็นกันเป็นห้องเรียน

ข. พื้นอาคารตั้งแต่พื้นชั้นใต้ดินถึงพื้นชั้นสองเป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 32 ซม. และตั้งแต่พื้นชั้นที่ 3-14 เป็นแผ่นพื้นไร้คานท้องเรียบคอนกรีตอัดแรงหนา 25 ซม.

ค. เสาในแนวแกนที่ใช้พิจารณาในการวิเคราะห์นี้ มีขนาด 0.80x0.80 ม. โดยมีการเสริมเหล็กแตกต่างกัน

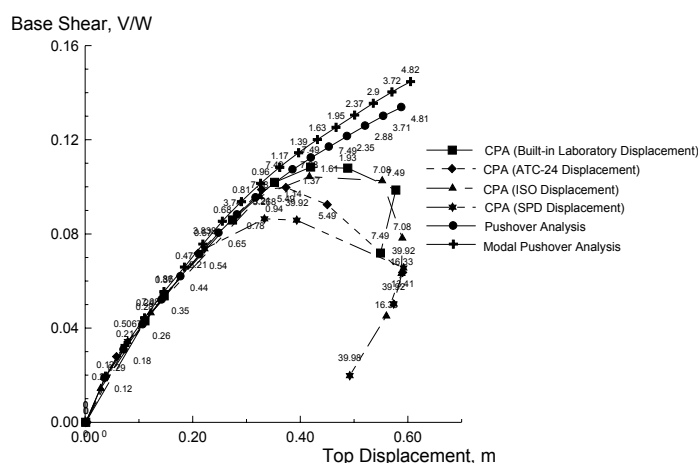
ง. คอนกรีตมีค่ากำลังอัดประลัย 320 กก./ตร.ซม. ระบบพื้นเป็นแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงโดยใช้เส้นลวดเหล็ก 7-Wire Strand เกรด 270 ø 12.7 มม. โดยมีค่าคุณสมบัติของเหล็กเสริมดังนี้ คือ กำลังแรงดึงที่จุดครากมีค่า 4,000 กก./ตร.ซม.



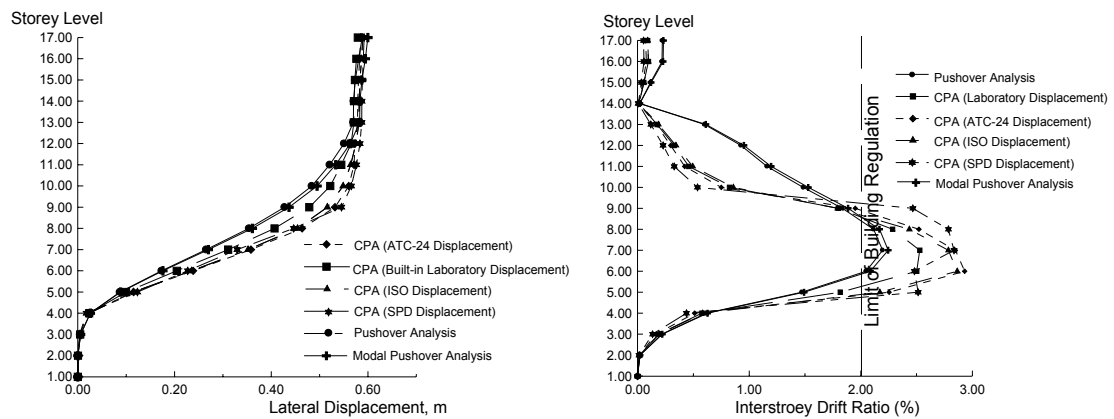
ภาพประกอบ 5 แบบจำลองโครงสร้างอาคาร 2 มิติ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้

6. ผลการวิเคราะห์

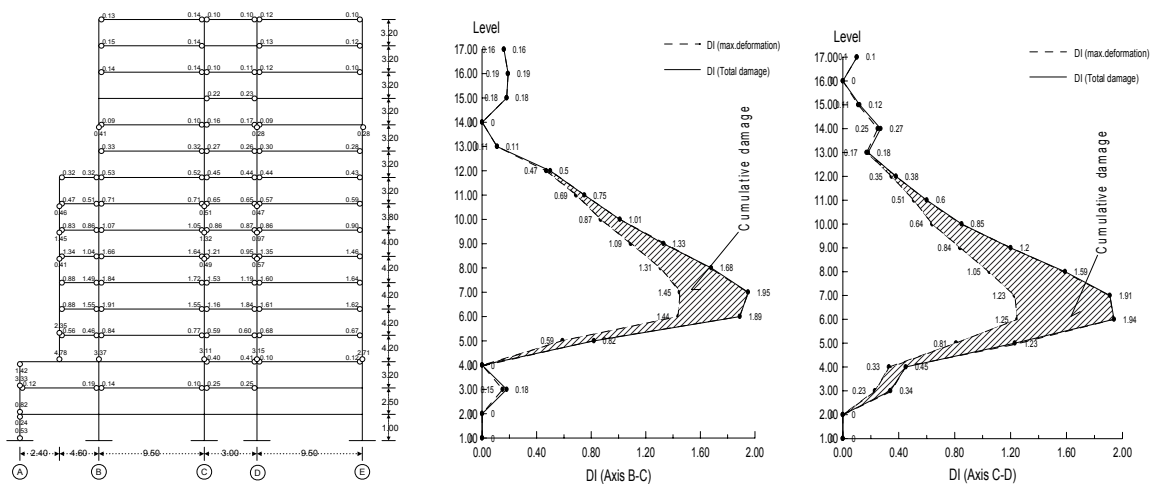
ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม RUAUMOKO (Carr, 2006) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนที่ฐาน และการเคลื่อนตัวของอาคารดังรูปที่ 6 พบว่า เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างกราฟที่ได้ จะเห็นว่า ค่าแรงเฉือนที่ฐานที่ได้จากวิธี CPA มีการตกของแรงที่ปลายเส้นกราฟ เนื่องจากแรงที่กระทำแบบไปและกลับต่อโครงสร้าง ส่งผลทำให้กำลังต้านทานของโครงสร้างอาคารลดลง และค่าระดับความเสียหายที่ได้จากวิธี CPA มีค่าสูงกว่าการ ผลักแบบปกติ (Pushover) และวิธี MPA เนื่องจากการสะสมของค่าความเสียหายของโครงสร้างที่เกิดจากแรงกระทำแบบไปและกลับต่อโครงสร้าง



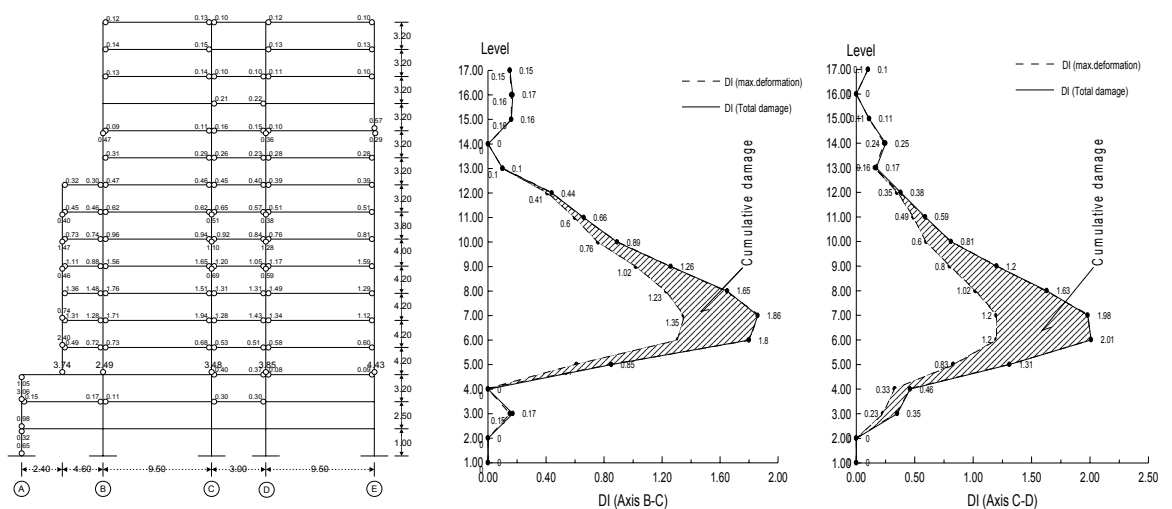
ภาพประกอบ 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนที่ฐานและการเคลื่อนตัวของอาคาร



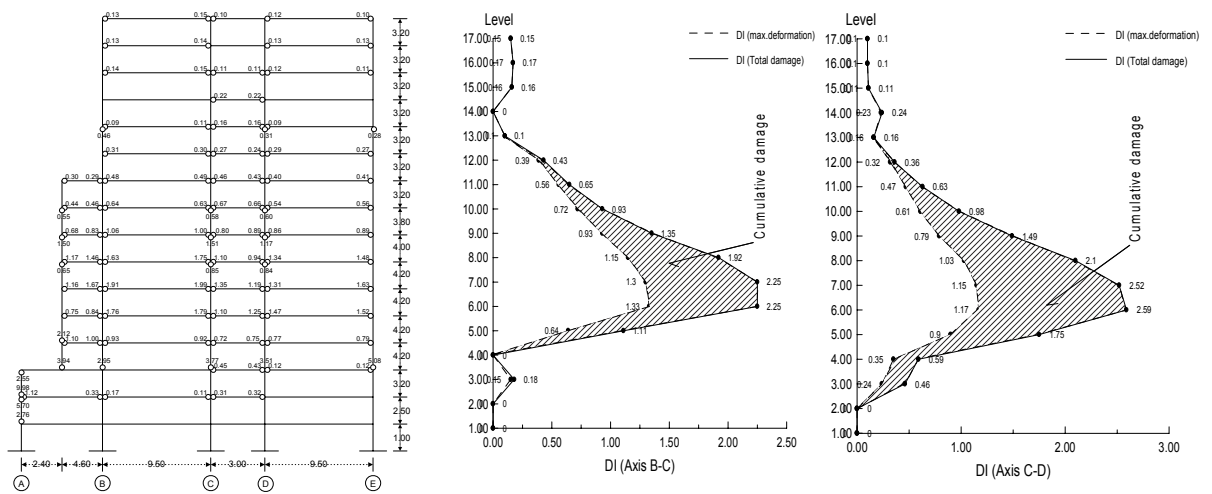
ภาพประกอบ 7 กราฟแสดงการเคลื่อนที่ของชั้นและการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น



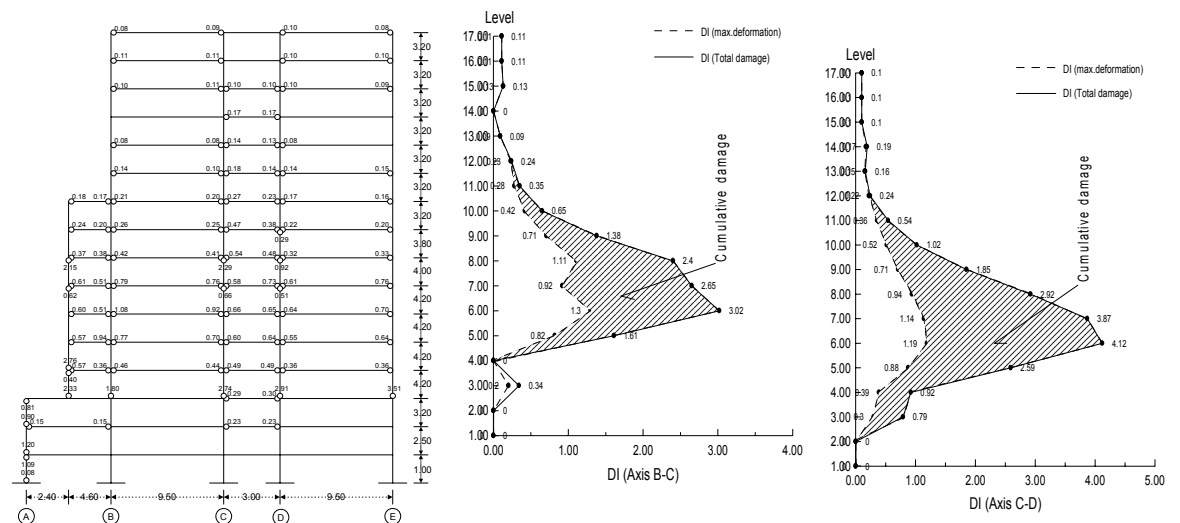
ภาพประกอบ 8 การเกิดข้อหมุนพลาสติกและดัชนีความเสียหายโดยวิธี CPA ของการเคลื่อนที่แบบ Laboratory-Test-like-Displacement History



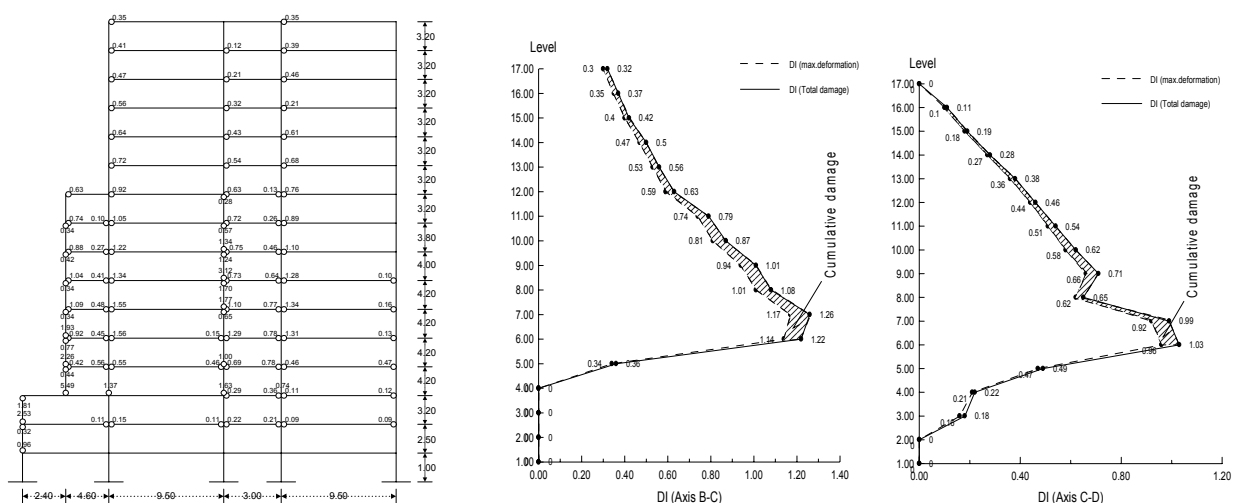
ภาพประกอบ 9 การเกิดข้อหมุนพลาสติกและดัชนีความเสียหายโดยวิธี CPA ของการเคลื่อนที่แบบ ATC



ภาพประกอบ 10 การเกิดข้อหมุนพลาสติกและดัชนีความเสียหายโดยวิธี CPA ของการเคลื่อนที่แบบ ISO



ภาพประกอบ 11 การเกิดข้อหมุนพลาสติกและดัชนีความเสียหายโดยวิธี CPA ของการเคลื่อนที่แบบ SPD



ภาพประกอบ 12 การเกิดข้อหมุนพลาสติกและดัชนีความเสียหายโดยวิธี MPA

เมื่อพิจารณาเฉพาะผลการวิเคราะห์ที่ได้จากวิธี CPA ในรูปที่ 6 พบว่า ค่าแรงเฉือนที่ฐานที่ได้จากการเคลื่อนที่แบบ SPD Displacement มีการตกของแรงมากที่สุดและสอดคล้องกับค่าระดับความเสียหายที่มากที่สุดด้วย เมื่อเทียบกับทุกรูปแบบการเคลื่อนที่ เนื่องจากรูปแบบการเคลื่อนที่ทางด้านข้างแบบ SPD Displacement นั้นมีความถี่ของจำนวนการเคลื่อนที่ที่มากกว่า และค่าการเคลื่อนที่ไปและกลับในช่วงท้ายมีค่าที่สูงมากติดๆ กัน

เมื่อพิจารณาค่าดัชนีความเสียหายที่ข้อหมุนพลาสติก (Plastic hinge) ในรูปที่ 8-12 ซึ่งเป็นค่าดัชนีความเสียหายเมื่อโครงสร้างเคลื่อนตัวไปสูงสุดพบว่า มีข้อหมุนพลาสติกเกิดขึ้นทั้งเสาและปลายช่วงคานเสมือนและระดับความเสียหายเกิดขึ้นในระดับชั้นล่างมากกว่าชั้นบน ซึ่งระดับความเสียหายรุนแรงมาก พบในพื้นที่ชั้นที่ 6-8 และในเสาชั้นที่ 3-5 มีค่าดัชนีความเสียหายมากกว่า 1.00 ขึ้นไปเป็นระดับความเสียหายรุนแรง ซึ่งไม่อาจซ่อมแซมได้ในระดับชั้นเหล่านี้

เมื่อพิจารณาแยกส่วนความเสียหายของโครงสร้างจากการ โกงตัวและความเสียหายสะสมจากพฤติกรรมรับแรงแบบวัฏจักรของอาคารพบว่า ค่าความเสียหายที่เพิ่มขึ้นจากความเสียหายสะสม (cumulative damage, ส่วนที่แรง) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในระดับชั้นที่ 5-8 เนื่องจากผลของค่าความเสียหายสะสมของโครงสร้างอาคารจากพลังงานที่ดูดซับในโครงสร้างอันเป็นผลมาจากวิธีการผลักแบบวัฏจักร

เมื่อเปรียบเทียบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเคลื่อนที่ในแต่ละชั้น ค่าอัตราส่วนการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นต่อความสูงของชั้น และจำนวนชั้น ดังแสดงในรูปที่ 7 พบว่า ค่าการเคลื่อนที่ของชั้นจากวิธี MPA ให้ค่าน้อยกว่าวิธี CPA ในทุกรูปแบบการเคลื่อนที่ สำหรับการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น ผลจากวิธี CPA ให้ค่าที่มากในระดับชั้นที่ 1-9 ในขณะที่ ผลจากวิธี MPA ให้ค่าที่มากในระดับชั้นที่ 10-17 ผลการคำนวณนี้สอดคล้องกับการเกิดข้อหมุนพลาสติกและดัชนีความเสียหายเมื่อคำนวณด้วยวิธีทั้งสองนี้

7. สรุป

1. รูปแบบการเคลื่อนที่ทางด้านข้างที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีการผลักแบบวัฏจักรมีผลต่อกำลังต้านทานแผ่นดินไหวและค่าระดับความเสียหายของอาคาร
2. ผลการผลักอาคารด้วยวิธีการผลักแบบวัฏจักรให้ค่าระดับความเสียหายที่มากกว่าการผลักอาคารแบบปกติ เนื่องจากค่าความเสียหายที่เพิ่มขึ้นจากความเสียหายสะสมในองค์อาคาร มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน
3. เมื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมระหว่างการวิเคราะห์ด้วยวิธี CPA กับวิธี MPA และ Pushover แบบเดิมพบว่า ค่าการเคลื่อนที่ของชั้นจากวิธี MPA และ Pushover แบบเดิม ให้ค่าน้อยกว่า วิธี CPA สำหรับค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงสุด ผลจากวิธี CPA ให้ค่าที่มากกว่าในช่วงชั้นล่าง แต่กลับให้ค่าที่น้อยกว่าในช่วงชั้นบน

8. รายการอ้างอิง

ไพญญ์ ปัญญาอะโป, 2552. “กำลังต้านทานแผ่นดินไหวของอาคารโดยวิธีการผลักแบบวัฏจักร.” เอกสาร

ประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 14, พฤษภาคม.

เป็นหนึ่งใน วานิชชัย และสืบพงษ์ เกียรติวิศาลชัย, 2544. “การประเมินความสามารถต้านทานแผ่นดินไหว

ของอาคารคอนกรีต.” เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 7, พฤษภาคม.

Applied Technology Council, 1996. **Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings (Report No. ATC-40)**. California.

Carr, A.J., 2006. **Ruamoko User Manual**. New Zealand : University of Canterbury.

Chopra, A. K. and Goel, R. K., 2002. "A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings." **Earthquake Engineering and Structural Dynamics**. 31 : 561–582.

ระบบคลังข้อมูลสำหรับธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ของธนาคาร

DATA WAREHOUSE FOR REAL ESTATE BUSINESS

INTELLIGENCE IN BANK

ปานิสรา วัชรสินธุ¹ประสงค์ ปราณีตพลกรัง²

หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail : ¹ panisa.watcharasin@scb.co.th, ² prasong.pr@spu.ac.th

บทคัดย่อ

ในองค์กรธุรกิจของธนาคาร การที่ลูกค้ามาขอสินเชื่อโครงการเกี่ยวกับอสังหาริมทรัพย์และได้ผ่านการอนุมัติสินเชื่อตามวงเงินอนุมัติของธนาคารนั้น ทางธนาคารไม่เคยติดตามผลความก้าวหน้าของโครงการที่ลูกค้ามาขอสินเชื่ออย่างใกล้ชิด ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดลูกหนี้ที่มีปัญหาได้

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้จัดทำระบบคลังข้อมูลสำหรับธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ โดยที่ทำการออกสำรวจผลการดำเนินงานของโครงการหลังจากที่ธนาคารได้ทำการอนุมัติสินเชื่อให้กับลูกค้า และเก็บรวบรวมข้อมูลไว้เป็นฐานข้อมูลเดียวกัน พร้อมทั้งนำข้อมูลที่รวบรวมมาว่าลูกค้ามียอดขายโครงการเป็นอย่างไรบ้าง ทั้งนี้เพื่อติดตามคุณภาพคล่องของลูกหนี้และป้องกันการเกิดปัญหาลูกหนี้ที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้ และใช้ในการประกอบการพิจารณาการอนุมัติสินเชื่อให้กับลูกค้าในการขอสินเชื่อเพิ่มในครั้งต่อไป ผลที่ได้จากการพัฒนาระบบคลังข้อมูลสำหรับธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ จะเป็นตัวจัดเก็บข้อมูลและประมวลผลให้เป็นฐานข้อมูลเดียวกันเพื่อออกเป็นรูปแบบรายงานที่ซับซ้อนและวิเคราะห์หาคำตอบในเชิงพยากรณ์ในรูปแบบรายงานต่างๆ ซึ่งทำให้การติดตามลูกหนี้สามารถทำได้ง่ายขึ้นจากรายงานดังกล่าว

คำสำคัญ : คลังข้อมูล ธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ หนี้ที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้

ABSTRACT

In lending sector, there's no tracking mechanism for real estate project. After banks approved loans, they never follow up the project progress which can cause Non-Performing Loan. However, this study will resolve the risk by creating the intelligent tracking system for real estate only.

This tracking system will start after loan has been approved by collecting the project progress information to database on 3-months basis. Then, compare this data to the sale volume in order to track their liquidity, prevent Non-Performing Loan and importantly be used in future loan approval process. Moreover,

this intelligent system can be used as a predictable device as well. Therefore, it will be easier to track customers after using this system.

KEYWORDS : Data warehouse, Business intelligence, Non-performing loan

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีที่หลากหลายก่อให้เกิดความสนใจ และนิยมนำมาพัฒนา เพื่อใช้งานร่วมกับระบบงานขององค์กรที่มีอยู่ในปัจจุบัน คือระบบธุรกิจอัจฉริยะ (Business Intelligence – BI) ซึ่งเป็นกลุ่มของซอฟต์แวร์ที่ประกอบด้วยเครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การนำข้อมูลมาจัดทำรายงาน การนำข้อมูลมาจัดทำกราฟเพื่อนำเสนอ และการกำหนดสิทธิ์ในการเข้าถึงข้อมูล โดยสามารถออกแบบให้เหมาะสมกับมุมมองการทางธุรกิจ เพื่อช่วยให้ผู้บริหารระดับสูงในองค์กรได้รับข้อมูลตรงตามความต้องการทันต่อสถานการณ์ และสามารถทำการตัดสินใจเชิงธุรกิจได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิผล ส่งผลให้องค์กรมีความได้เปรียบในการแข่งขันเชิงธุรกิจ ระบบธุรกิจอัจฉริยะ จึงถูกนำไปใช้งานในธุรกิจหลายสาขา เช่น การเงิน-การธนาคาร อุตสาหกรรมการผลิต ภาครัฐบาล การขายสินค้า การค้าปลีก เป็นต้น

ประเด็นที่น่าสนใจคือ องค์กรธุรกิจส่วนใหญ่มักประสบปัญหาความล่าช้าในโครงการพัฒนาระบบธุรกิจอัจฉริยะ อันเนื่องมาจากหลายสาเหตุ เช่น การที่แหล่งข้อมูลมาจากหลายแหล่ง การนำข้อมูลที่ไม่มีความถูกต้องตรงกันมาใช้งานร่วมกัน การที่ผู้พัฒนาระบบไม่มีความเข้าใจในธุรกิจ ทำให้ไม่สามารถออกแบบโมเดลทางธุรกิจ (Business Model) ได้อย่างถูกต้อง หรือการที่ผู้ใช้งานไม่ทราบรูปแบบรายงานที่สามารถใช้งานได้จากระบบธุรกิจอัจฉริยะ ฯลฯ ส่งผลให้ต้นทุนในการพัฒนาสูงกว่าที่ควร และองค์กรส่วนใหญ่ต้องเสียโอกาสไปกับปัญหาที่ได้กล่าวมา

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อทำการรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการสำรวจในโครงการของลูกค้าธนาคาร เพื่อจัดทำคลังข้อมูลสำหรับธุรกิจอัจฉริยะประเภทอสังหาริมทรัพย์
2. เพื่อจัดทำระบบติดตามความก้าวหน้าหรือผลการดำเนินงานของโครงการหลังจากที่ธนาคารได้ทำการอนุมัติสินเชื่อให้กับลูกค้าให้ทราบถึงประสิทธิภาพในการขายอสังหาริมทรัพย์
3. เพื่อสร้างระบบติดตามคุณภาพคล่องของลูกค้าและป้องกันการเกิดปัญหาหนี้ที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้

3. ความสำคัญของการพัฒนาระบบใหม่

จากสภาพเศรษฐกิจปัจจุบันที่ยังไม่ชัดเจนว่าฟื้นภาวะวิกฤตธุรกิจหลายประเภท จึงยังต้องการ การวิเคราะห์วางแผน และตัดสินใจอย่างถูกต้องรวดเร็ว เพื่อช่วยให้ธุรกิจสามารถดำเนินไปได้ ดังนั้นข้อมูลจึงเป็นปัจจัยสำคัญยิ่งต่อการดำเนินการนั้น การใช้ข้อมูลเป็นเครื่องมือสำคัญในการตัดสินใจการลงทุนทางธุรกิจและวางแผนกลยุทธ์ทางการตลาดเพื่อแข่งขันกับคู่แข่งทางการค้า ฉะนั้นก็อาจกล่าวได้ว่าการมีข้อมูลมากทำให้มีโอกาสและมีชัยชนะเหนือคู่แข่งในระดับหนึ่ง แต่ถ้ามองในทางกลับกัน การมีข้อมูลจำนวนมากแต่ขาดการจัดเรียงให้เป็นระบบยุ่งยากใน

การเข้าถึงและสืบค้น ธุรกิจอาจต้องเสียค่าใช้จ่ายจำนวนมหาศาลในการเก็บรักษาข้อมูลเหล่านั้นไว้โดยไม่จำเป็น เพราะไม่ได้รับประโยชน์จากข้อมูลที่มี นอกจากนี้หากมีการนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผิดพลาดอาจจะก่อให้เกิดผลเสียหายได้ ซึ่งเป็นการสูญเสียโอกาสทางธุรกิจไป เพราะฉะนั้นในยุคที่ผู้บริหารมีความต้องการใช้ข้อมูลเพื่อการตัดสินใจมากขึ้น การจัดระบบระเบียบข้อมูล เพื่อนำเสนอข้อมูลที่มีคุณค่าและผ่านการกลั่นกรองแล้วแก่ผู้บริหาร เพื่อใช้ในการตัดสินใจให้ทันต่อเหตุการณ์จึงเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง

4. กรอบแนวคิดในการพัฒนา

ระบบคลังข้อมูลสำหรับธุรกิจอัจฉริยะประเภทอสังหาริมทรัพย์ จะให้บริการสรุปข้อมูลเพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพในการขายอสังหาริมทรัพย์ของลูกค้าธนาคาร ซึ่งข้อมูลจากระบบคลังข้อมูลสำหรับธุรกิจอัจฉริยะประเภทอสังหาริมทรัพย์นั้นสามารถนำไปใช้ในการสนับสนุนการดำเนินธุรกิจของธนาคาร หรืออาจนำข้อมูลต่างๆ ไปใช้ในการสนับสนุนการปล่อยสินเชื่อของธนาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถแข่งขันได้ในเชิงธุรกิจ อีกทั้งระบบจะช่วยให้เรื่องของการลดเวลาการทำงานและลดจำนวนบุคลากรในการจัดทำรายงานสรุปข้อมูลเพื่อดูประสิทธิภาพในการขายของลูกค้าธนาคาร เพื่อจัดส่งให้กับผู้บริหารหรือผู้รับผิดชอบงานในด้านต่างๆ ในแต่ละช่วงเวลาได้เป็นอย่างดี

5. ขอบเขตของการพัฒนา

1. การเชื่อมต่อกับข้อมูลต้นทาง (Data Source)
2. การออกแบบคลังข้อมูล (Data Warehouse)
3. การออกแบบโมเดลทางธุรกิจ (Business Model)
4. การสร้างรายงานสนับสนุนผู้บริหาร
5. การกำหนดความมั่นคงปลอดภัยในการเข้าถึงข้อมูลรายงาน

6. ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบของข้อมูลที่ยังไม่ประมวลผล (Flat Files) ที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก สามารถโหลดเก็บลงเข้าสู่ระบบคลังข้อมูลและหาความสัมพันธ์ของข้อมูลได้ ทำให้ลดจำนวนฐานข้อมูลที่จัดเก็บให้เหลือเพียงฐานข้อมูลเดียว ง่ายต่อการดูแลและการจัดการฐานข้อมูลของธนาคาร
2. ข้อมูลที่นำเสนอสามารถแสดงได้หลายรูปแบบ เปลี่ยนแปลงได้ตามความต้องการของผู้บริหาร
3. สามารถแสดงผลข้อมูลที่ซับซ้อนและสามารถหาคำตอบในเชิงพยากรณ์ได้
4. ผู้บริหารสามารถเรียกใช้ข้อมูลที่ต้องการได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยข้อมูลเชิงบริหารนี้จะสามารถช่วยลดปัญหาที่เกิดจากการใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลปฏิบัติการ (Operational Database) ซึ่งเป็นการเก็บข้อมูลในระบบในรูปแบบวันต่อวัน (Transaction System) จึงไม่อยู่ในรูปแบบที่เป็นประโยชน์ต่อผู้บริหาร
5. สามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาการอนุมัติสินเชื่อให้กับลูกค้าในการขอสินเชื่อเพิ่ม

7. แนวคิด ทฤษฎี และ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในโครงการนี้ได้เลือกใช้ Extract Transform and Load (ETL) มาเป็นแนวคิดในการทำระบบในครั้งนี้ เครื่องมือ ETL ช่วยในการถ่ายทอดข้อมูลในระบบ Business Intelligence โดยการรวบรวมข้อมูลจากแหล่งข้อมูลต่างๆ Denormalizing Data การสรุปข้อมูล ฯลฯ ทั้งนี้เครื่องมือ ETL ที่นำเสนอคือ Oracle Warehouse Builder ซึ่งเป็นเครื่องมือในการออกแบบและการติดตั้ง Business Intelligence Applications ระบบคลังข้อมูล (Data Warehouse) และตลาดข้อมูล (Data Mart) Warehouse Builder ทำให้ผู้ใช้สามารถออกแบบ Business Intelligence Application ของตนเองได้ตั้งแต่ต้นจนเสร็จสิ้น การออกแบบ Dimension การออกแบบกระบวนการ ETL การดึงข้อมูลจากแหล่งต่างๆ การทำรายงาน Extensive Metadata และการเชื่อมโยงกับ Oracle Discoverer Oracle Workflow และ Oracle Enterprise Manager องค์ประกอบทั้งหมดนี้ทำให้ Business Intelligence Solution ทำงานเชื่อมโยงกับ Warehouse Builder ได้

8. การวิเคราะห์และออกแบบระบบ

การวิเคราะห์และออกแบบระบบมีกระบวนการการทำงาน แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

1. การโหลดข้อมูลเข้า Staging Area เป็นการโหลด Text File หรือ CSV Files เข้าสู่ Staging Table สามารถแบ่งวิธีการโหลดตามประเภทของข้อมูลได้ดังนี้

1.1 ข้อมูล Lookup/Parameter Data เนื่องจากข้อมูลที่เป็น Lookup/Parameter Data ที่มาจากระบบ Front End System รวมถึงข้อมูลจาก Non Computer จะไม่มีการส่ง Control File มาให้ ดังนั้นระบบจะไม่มีกระบวนการ System Reconcile ก่อนที่จะโหลดข้อมูลเข้าสู่ Staging Table เพื่อนำไปประมวลผลหา Surrogate Key ต่อไป

1.2 ข้อมูล Master Data คือข้อมูล Transaction Data ที่ต้องการนำมาทำเป็น Master Table เช่น ข้อมูลผลการดำเนินการของโครงการ ข้อมูลประเภทนี้จะผ่านกระบวนการ System Reconcile เพื่อตรวจสอบจำนวน Record ที่มีทั้งหมดใน File กับ Control File ว่ามีจำนวน Record เท่ากันหรือไม่ ก่อนที่จะมีการ Load ข้อมูลเข้าสู่ Staging Area และนำไปประมวลผลหา Surrogate Key ต่อไป

1.3 ข้อมูล Transaction Data จะมีการตรวจสอบข้อมูลผ่านกระบวนการ System Reconcile เพื่อตรวจสอบจำนวน Record ที่มีทั้งหมดใน File กับ Control File ว่ามีจำนวน Record เท่ากันหรือไม่ ก่อนที่จะมีการ Load ข้อมูลเข้าสู่ Staging Area

2. การโหลดข้อมูลเข้า Operation Data Storage Area (ODS Area) สามารถแบ่งวิธีการประมวลผลข้อมูล และโหลดเข้าสู่ ODS Area ได้ตามประเภทของข้อมูลดังนี้

2.1 ข้อมูล Lookup/Parameter Data และ Master Data จะมีการสร้าง Surrogate Key เพื่อนำไปสร้างเป็น Dimension Table จัดเก็บใน Data Mart ต่อไป

2.2 ข้อมูล Transaction Data เมื่อผ่านการตรวจสอบความถูกต้อง (System Reconcile) เรียบร้อยแล้ว ข้อมูลจะถูกนำมาประมวลผล (Calculate and Transform) และจัดเก็บใน ODS Area โดยข้อมูลที่อยู่บน ODS Area จะประกอบไปด้วยข้อมูลที่เป็น Historical Data Current Data และ Temp Data

3. การโหลดข้อมูลเข้า Data Mart คือ ข้อมูลที่อยู่บน Operation Data Storage Area จะถูกประมวลผลตาม Business Requirement และจัดเก็บให้อยู่ในรูปแบบ View Aggregated Table Fact Table และ Dimension เพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ผ่าน BI Tool ต่อไป

อธิบายภาพรวมของ ETL DESIGN

จากการวิเคราะห์ความต้องการระบบ ซึ่งข้อมูลต้นทางเป็นข้อมูลผลการดำเนินงาน โครงการของลูกค้า ซึ่งทาง Outsource เป็นผู้จัดเตรียมข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบของ Text File และ CSV File โดยสามารถจำแนกข้อมูลได้ดังนี้

1. ข้อมูล Text File และ CSV File ในส่วนที่เป็นข้อมูล Lookup โดย Format ของข้อมูลจะกันด้วยเครื่องหมาย | ข้อมูลประเภทนี้เป็น Files ที่ได้รับมาจาก User ที่เกี่ยวข้อง
2. ข้อมูล Text CSV File ในส่วนที่เป็นข้อมูล Fact Table โดย Files ข้อมูลประเภทนี้เป็น Files ที่ถูกสร้างโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Microsoft Excel และถูกบันทึกให้อยู่ในรูปแบบ CSV (Pipe Separated Value) Files ข้อมูลประเภทนี้เป็น Files ที่ได้รับมาจาก User ที่เกี่ยวข้อง

การทำงานของ ETL จะถูกแบ่งเป็น Process และจะทำงานตามลำดับ ดังนี้

1. Job Schedule Process Flow: Job Schedule จะถูกประมวลผลตามที่ได้ตั้งเวลา เพื่อ Run Process Flow ตามลำดับของโปรแกรมที่ได้ทำการพัฒนา
2. System Reconcile and Load Data: โดยระบบจะทำการ System Reconcile ระหว่าง Data File และ Control File (External Table) และทำการ Load ข้อมูลเข้า Staging Area
3. ODS Process ระบบจะทำการประมวลผลในแต่ละ Module โดยจะมีทั้งในส่วนของการเพิ่มเติมของ Gap ข้อมูล และการจัดเก็บข้อมูลแบบ History
4. Dimension Process ระบบจะทำการประมวลผลในส่วนของ Module Dimension โดยการสร้าง Dimension มีขั้นตอนในการทำงานดังต่อไปนี้
 - 4.1 ขั้นตอนที่ 1 โดยเริ่มจากการนำเข้าข้อมูล Look Up Data ที่เป็น Text File และ CSV File เข้าในส่วนที่เป็น Staging Area ซึ่งมีฐานข้อมูลที่เป็น Temporary Area รองรับ โดยมีลักษณะการจัดเก็บเป็น T/I (ทำการลบข้อมูลเก่าก่อน แล้วจึงเก็บข้อมูลใหม่)
 - 4.2 นำข้อมูลที่ได้จาก Temporary Area ทำการ Mapping (โดยการ Mapping ประกอบด้วย การ Integrate Convert Aggregation Re-Format และ Function อื่นๆ) โดยมีลักษณะการจัดเก็บเป็น T/I (ทำการลบข้อมูลเก่าก่อน แล้วจึงเก็บข้อมูลใหม่)
 - 4.3 โดยข้อมูลที่ผ่านการ Mapping แล้วเกิดข้อมูล Mismatch หรือเกิดข้อผิดพลาด จะทำการจัดเก็บในส่วนที่เป็น Error Log โดยมีลักษณะการจัดเก็บเป็น I (ทำการ Insert) เพื่อทำการตรวจสอบหาข้อผิดพลาดในการนำเข้าข้อมูล
 - 4.4 นำข้อมูลที่ได้การ Mapping Load เข้าสู่ Dimension Table โดยมีลักษณะการจัดเก็บเป็น U/I (ทำการ Update ถ้าพบข้อมูลเก่า และ ทำการ Insert กรณีที่เป็นข้อมูลใหม่)

5. Fact Process : ระบบจะทำการประมวลผลในการนำข้อมูล Table Transaction มา Validate กับ Table Dimension และทำการ Pre-Summarize เพื่อที่จะโหลดข้อมูลเข้า Fact Table โดยการสร้าง Dimension มีขั้นตอนในการทำงานดังต่อไปนี้

5.1 โดยเริ่มจากการนำข้อมูล Look up Data ที่เป็น CSV File เข้าในส่วนที่เป็น Staging Area ซึ่งมีฐานข้อมูลที่เป็น Temporary Area รองรับ โดยมีลักษณะการจัดเก็บเป็น T/I (ทำการลบข้อมูลเก่าก่อน แล้วจึงเก็บข้อมูลใหม่)

5.2 นำข้อมูลที่ได้จาก Temporary Area ทำการ Mapping (โดยการ Mapping ประกอบด้วย การ Integrate Convert Aggregation Re-Format และ Function อื่นๆ) โดยมีลักษณะการจัดเก็บเป็น T/I (ทำการลบข้อมูลเก่าก่อน แล้วจึงเก็บข้อมูลใหม่)

5.3 โดยข้อมูลที่ผ่านการ Mapping แล้วเกิดข้อมูล Mismatch หรือเกิดข้อผิดพลาด จะทำการจัดเก็บในส่วนที่เป็น Error Log โดยมีลักษณะการจัดเก็บเป็น I (ทำการ Insert) เพื่อทำการตรวจสอบหาข้อผิดพลาดในการนำเข้าของข้อมูล

5.4 นำข้อมูลที่ได้การ Mapping Area ทำการ Mapping & Join กับ Dimension ที่ได้ในส่วนการสร้าง Dimension Table เพื่อสร้างความสัมพันธ์ของข้อมูล โดยมีลักษณะการจัดเก็บเป็น T/I (ทำการลบข้อมูลเก่าก่อน แล้วจึงเก็บข้อมูลใหม่)

5.5 นำข้อมูลที่ได้การ Mapping Load เข้าสู่ Data Mart Area ซึ่งได้ทำการออกแบบเป็น Star Schema Model โดยมีลักษณะการจัดเก็บเป็น U/I (ทำการ Update ถ้าพบข้อมูลเก่า และ ทำการ Insert กรณีที่เป็นข้อมูลใหม่)

5.6 นำข้อมูลในแต่ละ Data Mart ที่อยู่ในรูปแบบ Star Schema Model เข้าสู่กระบวนการสร้าง Multidimension OLAP โดยจะมีการจัดเตรียมข้อมูลอยู่ในรูปแบบ Pre-Summarize เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและความรวดเร็วในการตอบสนองความต้องการของผู้ใช้

5.7 เป็นการเชื่อมโยงข้อมูลที่อยู่ในรูป Multidimension ในการนำเสนอผลของข้อมูลที่ได้ในรูปแบบรายงาน กราฟ (เป็นระบบงานที่ใช้ในการจัดการความปลอดภัยและกำหนดของผู้ใช้)

6. EDW Output Process ระบบจะทำการประมวลผลข้อมูลในแต่ละ Module เพื่อให้ได้ Cube หรือ Output ในแต่ละ Module

9. ส่วนของการใช้งาน BI Tool ของผู้ใช้

Discoverer Plus คือ เครื่องมือวิเคราะห์ข้อมูล (Business Intelligence) แบบครบวงจรที่ทำงานบนอินเทอร์เน็ต สามารถเรียกใช้ข้อมูล โดยนำมาสร้างเป็นรายงานในรูปแบบต่างๆ ซึ่งใช้งานง่ายและมีฟังก์ชันหลากหลายเพื่อรองรับการวิเคราะห์ข้อมูล ช่วยในการตัดสินใจและวิเคราะห์สถานการณ์เมื่อผู้ใช้งานต้องการทราบถึงวิธีการต่างๆ ดังนี้

- สร้างรายงานใหม่หรือ เรียกใช้รายงานที่มีอยู่เพื่อค้นหาข้อมูลที่น่าสนใจ
- จัดรูปแบบข้อมูลให้ตรงกับความต้องการของผู้ใช้
- วิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการต่างๆ และใช้ข้อมูลร่วมกับผู้อื่นๆ

วิธีการใช้งานโปรแกรมเพื่อเข้าไปดูรายงานต่างๆ สามารถทำได้ดังต่อไปนี้

1. เปิดโปรแกรม Internet Explorer

2. เข้าสู่โปรแกรมโดยผ่านเว็บไซต์ (<http://192.168.1.39:8081/index.html>) ดังภาพประกอบ 1 เพื่อทำการ

กรอกค่า User Name และ Password เพื่อเข้าสู่ระบบงาน



ภาพประกอบ 1 แสดงหน้าจอ Log In เข้าใช้งานระบบ

10. สรุปผลการวิจัย

1. ข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบของ Flat Files ที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก สามารถโหลดเก็บลงเข้าสู่ระบบคลังข้อมูล และหาความสัมพันธ์ของข้อมูลได้ ทำให้ลดจำนวนฐานข้อมูลที่จัดเก็บให้เหลือเพียงฐานข้อมูลเดียว ง่ายต่อการดูแลและการจัดการฐานข้อมูลของธนาคาร

2. สามารถนำข้อมูลที่ได้ผ่านกระบวนการทำ ETL นำไปสร้างข้อมูลหลายมิติได้ (OLAP Cube) โดยใช้เทคโนโลยี ROLAP - Relational On-Line Analytical Process

3. สามารถนำข้อมูลจากโครงสร้างข้อมูลหลายมิติ (OLAP Cube) มาสร้างเป็นรายงานต่างๆ โดยใช้เครื่องมือ Business Intelligence Tool ในการจัดทำสร้างรายงานได้และเมื่อมีข้อมูลในคลังข้อมูลครบถ้วนแล้ว ก็สามารถนำมาแสดงผลได้อย่างไม่มีปัญหาโดยผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลหรือดูรายงานผ่าน Web Browser และสามารถเปลี่ยนมุมมองในการดูรายงานได้หลากหลายรูปแบบ

4. สามารถประมวลผลโปรแกรมที่ได้ทำการพัฒนาตามลำดับได้ โดยสามารถทำงานแบบอัตโนมัติตามเวลาที่ได้กำหนด (Run Job Schedule Process Flow)

11. อภิปรายผลการวิจัย

การอภิปรายจะนำเสนอในมุมมองของการออกแบบฐานข้อมูล และเครื่องมือในการทำรายงาน ดังนี้

ในการออกแบบฐานข้อมูล เป็นการออกแบบกระบวนการ Extraction-Transformation-Loading (ETL) ประกอบด้วย การดึงข้อมูล การแปลงรูปแบบ และการจัดเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูลของระบบคลังข้อมูล การรวบรวมข้อมูลจากแหล่งข้อมูลต่างกันให้อยู่ในรูปแบบเดียวกันทำให้ข้อมูลไม่เกิดการซ้ำซ้อนกัน และเก็บลงฐานข้อมูลที่ได้ออกแบบไว้ สามารถเรียกใช้ข้อมูลง่ายขึ้น เพื่อนำไปวิเคราะห์เชิงธุรกิจต่อไปได้

เครื่องมือในการทำรายงาน Oracle Discoverer Plus เป็นเครื่องมือในการสอบถามข้อมูล การรายงาน การวิเคราะห์ และการเผยแพร่ข้อมูลบนเว็บ ผู้ใช้สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ตามต้องการเพื่อช่วยในการตัดสินใจ โดยการนำเสนอข้อมูล ในเชิงธุรกิจ ผู้ใช้งานสามารถจัดทำรายงานต่าง ๆ โดยการเปิด Subject ที่เน้นด้านธุรกิจ ในรูปของไฟล์ และไฟล์เตอร์ ต่าง ๆ ทำการย้ายรายการที่คัดเลือกไปยัง Worksheet ได้ นอกจากนี้การจัดลำดับ ความสำคัญ รายการที่คำนวณแล้ว คำจำกัดความ คำสั่งในการเรียงลำดับ หรือ การใช้งานที่ซับซ้อนอื่นๆ การทำงาน Discoverer Plus ยังช่วยใน การคำนวณ การตั้งเงื่อนไข ทั้งนี้ยังรองรับการใช้งานขั้นสูงแม้สำหรับ ผู้ใช้งานใหม่ที่ยังไม่คุ้นเคยกับระบบ

12. ปัญหาและอุปสรรคในการทำวิจัย

1. ปัญหาด้านข้อมูลในการนำข้อมูลที่ไดจากการสำรวจ Copy File ไปวางไว้ใน Path ที่กำหนดไม่ทันเวลา ในการประมวลผลของระบบ
2. ปัญหาด้านโครงสร้างข้อมูลของ Flat File เนื่องจากมีโครงสร้างหรือรูปแบบของข้อมูลที่ไม่เหมือนกัน จึงต้องทำความเข้าใจในการใช้มาตรฐานเดียวกัน จึงจะโหลดข้อมูลได้อย่างสมบูรณ์และถูกต้อง
3. ปัญหาด้านฮาร์ดแวร์ และเครือข่ายคอมพิวเตอร์ของธนาคาร เนื่องจากระบบต้องการทรัพยากรของ ฮาร์ดแวร์ ที่สูงและเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่ดี แต่งบประมาณในแต่ละปีมีอยู่อย่างจำกัด จึงต้องพัฒนาเครื่อง เซิร์ฟเวอร์แบบธรรมดาที่มีทรัพยากรน้อย ทำให้ประสิทธิภาพของระบบงานไม่ดีเท่าที่ควร
4. ปัญหาด้านบุคลากรในการใช้เครื่องมือในการพัฒนาระบบ เนื่องจากบุคลากรมีความรู้ความสามารถ ในการใช้เครื่องมือที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นต้องใช้เวลาในการศึกษาเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาระบบ

13. ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงระบบคลังข้อมูล มีดังนี้

1. ควรพัฒนาความสามารถในการรองรับกับระบบอื่นๆ ที่ธนาคารมีอยู่ในปัจจุบัน เช่น Core Bank System เป็นต้น
2. ควรพัฒนาระบบให้รองรับข้อมูลจากภายนอกประเภทอื่น ๆ เช่น SQL Database Oracle Database DB2 Database เป็นต้น
3. ควรทำการขยายการทำงานของระบบ ให้ครอบคลุมระบบที่น่าสนใจในการวิเคราะห์นอกเหนือจาก การวิเคราะห์การขาย

ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยในครั้งต่อไป

1. เพิ่มรายละเอียดของตัววัด (Measurement) เพื่อสนับสนุน และรองรับการวิเคราะห์ข้อมูลทางธุรกิจของ ธนาคารมากขึ้น
2. การสำรวจผลการดำเนินการของโครงการที่อนุมัติสินเชื่อให้กับลูกค้า ควรเก็บเป็นฐานข้อมูล ซึ่งในการอนุมัติสินเชื่อในครั้งต่อไปควรมีหลักเกณฑ์ในสัญญาว่าที่ผ่านมามียอดขายไม่ต่ำกว่าเท่าไร ในการยื่น เอกสารหลักฐานยอดขายในโครงการมาประกอบด้วย จึงจะมาพิจารณาในการอนุมัติสินเชื่อได้ โดยไม่ต้องจ้างคน ภายนอกออกสำรวจทำให้สิ้นเปลืองงบประมาณของธนาคาร

3. นำข้อมูลประเภท Text File ที่ไม่มีการจัดเก็บในรูปแบบของฐานข้อมูลมาจัดเก็บเป็นฐานข้อมูลเพื่อสะดวกในการนำไปใช้

14. รายการอ้างอิง

กฤษณะ ไวยมัย, 2549. **Data Warehousing and Data Mining**. กรุงเทพมหานคร : คลังข้อมูลและการทำเหมืองข้อมูล.

กิตติพงษ์ กลมกล่อม, 2546. **การออกแบบและพัฒนาคลังข้อมูล (Data Warehouse)**. กรุงเทพมหานคร : บริษัท เคทีพี คอมพิวเตอร์ แอนด์ คอนซัลท์ จำกัด.

สมชาติ รุ่งเรืองสรการ และคณะ, 2544. **การพัฒนาคลังข้อมูลเพื่อประกันคุณภาพการศึกษา**. กรณีศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ยุทธพงษ์ ชัยพัฒน์, 2544. **คลังข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์**. ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เทคโนโลยีสารสนเทศ ภาคพิเศษ) สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Ralph Kimball, Margy Ross, 2002. **The Data Warehouse Toolkit**. 2nd ed. New York : John Wiley & Sons Publishing Company.