

# ผลของพารามิเตอร์ที่มีต่อสมรรถนะการส่งกำลังไฟฟ้าไร้สาย

## Influence Parameters on Performance of Wireless Power Transfer

เกรียงศักดิ์ ปันทะนะ<sup>1</sup> ภาณุพงศ์ นรรัตน์<sup>2</sup> และเอกชัย ชัยดี<sup>3\*</sup>

Kriangsak Panthana<sup>1</sup> Panupong Norrarat<sup>2</sup> and Ekkachai Chaidee<sup>3\*</sup>

<sup>1,2</sup> สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย

<sup>3</sup> สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย

<sup>1,2</sup> Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Lanna Chinagrai

<sup>3</sup> Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Lanna Chinagrai

\* Corresponding author e-mail: ekkachai@rmutl.ac.th, Ekkachai.ch799@gmail.com

### บทคัดย่อ

การออกแบบวงจรส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายจำเป็นต้องเข้าใจผลของพารามิเตอร์ของวงจร ที่มีผลต่อการส่งกำลังงานไฟฟ้า การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการส่งกำลังไฟฟ้าไร้สาย ได้ทำการวิเคราะห์ห้วงจรสมมูลทางไฟฟ้าเพื่อแสดง พารามิเตอร์ที่มีผลต่อสมรรถนะการส่งกำลังงานไฟฟ้า ออกแบบวงจรส่งกำลังไฟฟ้าไร้สาย โดยใช้วงจรขับอินเวอร์เตอร์แบบเต็มคลื่น เพิ่มกำลังไฟฟ้าโดยใช้หม้อแปลงเฟอร์ไรต์ ออกแบบขดส่ง และขดรับกำลังงานจากการพันบนแกนอากาศ และพันบนแกนเฟอร์ไรต์ เพื่อ เลือกรูปแบบแกน และการพันที่เหมาะสม ทดสอบส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายเพื่อแสดงผลของพารามิเตอร์แต่ละตัว ผลการศึกษาพบว่า 1) รูปแบบการพันโดยใช้แกนอากาศเมื่อปรับค่าความถี่เรโซแนนซ์ที่เหมาะสมสามารถให้กำลังไฟฟ้าขาออกมากกว่าการพันบนแกนเฟอร์ไรต์ 2) ความเหนี่ยวนำรวมลดลงตามการเพิ่มขึ้นของระยะห่างของขดตัวนำทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรเปลี่ยนแปลงตามมีผลต่อ กำลังไฟฟ้าขาออกและประสิทธิภาพ 3) การปรับค่าความถี่ตามการเปลี่ยนแปลงของระยะห่างของขดตัวนำสามารถเพิ่มกำลังไฟฟ้าขา ออกได้ เนื่องจากเป็นการชดเชยค่าความเหนี่ยวนำรวม 4) กำลังไฟฟ้าขาออกแปรผันตามแรงดันไฟฟ้าขาเข้า อย่างไรก็ตามอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์ในวงจรอินเวอร์เตอร์ควรออกแบบให้สามารถทนพิกัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าสูงได้ ผลการศึกษาสามารถนำไปใช้ในการ ออกแบบวงจรส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายพิกัดกำลังสูง และศึกษาในเชิงลึกได้ต่อไป

**คำสำคัญ:** การส่งกำลังไฟฟ้าไร้สาย, อินเวอร์เตอร์แบบเต็มคลื่น, หม้อแปลงเฟอร์ไรต์, ความถี่เรโซแนนซ์

### Abstract

To design of wireless power transfer, influence parameters on performance of power transfer should be known. The objective of this study is a study of influence factors on performance of wireless power transfer. Equivalent circuit of wireless power transfer was analyzed in order to reveal the influence parameters on performance of wireless power transfer. Wireless power transfer circuit was designed driving by full bridge inverter. To increase power, Ferrite Transformer are used. Transmitter and receiver coils with air and ferrite core were designed that using to choose optimization of core and coils. Power transfer was performed to present effect of the influence parameters. From the study results found that 1) Output power from adjustment optimal resonance frequency obtaining from using air core more than ferrite core. 2) Mutual inductance decreasing according to increasing of distance between coils causes increasing of impedance directly impact on the output power and efficiency. 3) Adjustment frequency according to changing of distance can increase the out power that is compensation the mutual inductance. 4) Output power very with input voltage however electronic equipment in inverter circuit should be designed to endure high voltage and current. The study results can be used to design high power wireless power transfer and to deep study.

**Keywords:** Wireless Power Transfer, Full Bridge Inverter, Ferrite Transformer, Resonance Frequency.

## บทนำ

การส่งกำลังไฟฟ้าไร้สาย คือ เทคโนโลยีที่สามารถส่งกำลังไฟฟ้าได้โดยไม่ต้องใช้สายตัวนำ ใช้สนามแม่เหล็กความถี่สูงในสภาวะรีโซแนนซ์คล้องระหว่างขดตัวนำด้านส่งและด้านรับกำลังงานผ่านตัวกลางอากาศ

การประยุกต์ใช้งานทำได้หลายลักษณะ เช่น ประจุแบตเตอรี่ให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดเล็ก (F. Muavi et al, 2012) รถยนต์ไฟฟ้า (S. Jeong et al, 2015) ลดอันตรายจากการสัมผัสสายตัวนำ และสารเคมีจากแบตเตอรี่โดยตรง ใช้กับงานทางการแพทย์ในการส่งกำลังไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ที่ปลูกฝังในร่างกายมนุษย์โดยไม่ต้องผ่าตัดใหม่ (J.C. Lin et al, 2013) เป็นต้น

ลักษณะกำลังไฟฟ้าขาออกและประสิทธิภาพของวงจรส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายมีการเพิ่มขึ้นก่อนหน้านั้นจึงลดลงอย่างรวดเร็วตามการเพิ่มขึ้นของระยะห่างระหว่างขดตัวนำ (H. Jiang et al, 2013) ความสูญเสียส่วนใหญ่ เกิดขึ้นเนื่องจากใช้ตัวกลางอากาศ ฟลักซ์แม่เหล็กส่วนใหญ่เป็นฟลักซ์รั่วไหล ทำให้กำลังไฟฟ้าขาออกมีค่าต่ำ

จากรายงานการวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการเพิ่มกำลังไฟฟ้าขาออก และประสิทธิภาพ แบ่งได้ 3 กลุ่มหลัก คือ 1) การปรับค่าความถี่ เพื่อชดเชยความเหนี่ยวนำร่วม ทำได้ง่าย ให้อัตราการเพิ่มขึ้นของกำลังไฟฟ้าขาออกไม่มาก (N. Y. Kim et al, 2012), (A. P. Sample et al, 2011), (Y. Zhang et al, 2014) 2) การปรับค่าอิมพีแดนซ์ เพื่อชดเชยความเหนี่ยวนำร่วม เป็นวิธีที่มีความซับซ้อนแต่ให้กำลังไฟฟ้าขาออกเพิ่มขึ้นมาก (Y. Lim et al, 2014), (T. C. Beh et al, 2013), (A. Ong et al, 2014) 3) การออกแบบการพันขดส่งและขดรับกำลังงานร่วมกับการใช้แกนเฟอร์ไรต์ เพื่อเพิ่มความเหนี่ยวนำของขดตัวนำ (J. Kim et al, 2013), (H. Kim et al, 2016)

จากการวิเคราะห์วงจรสมมูลทางไฟฟ้าของวงจรส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายเพื่อหาสมรรถนะการส่ง

กำลังไฟฟ้าขาออกและประสิทธิภาพ พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อกำลังไฟฟ้าขาออก คือ ความเหนี่ยวนำของขดตัวนำ ความเหนี่ยวนำร่วม ความถี่ใช้งาน แรงดันไฟฟ้าขาเข้า และความต้านทานของโหลด

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษา ผลของพารามิเตอร์ของวงจรส่งกำลังไฟฟ้าไร้สาย ที่มีผลต่อสมรรถนะการส่งกำลังไฟฟ้าไร้สาย และนำเสนอวิธีการเพิ่มกำลังไฟฟ้าขาออกโดยการปรับค่าความถี่ร่วมกับการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าขาเข้าวงจร จากการเพิ่มหม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์เข้าไปในวงจรส่งกำลังไฟฟ้าไร้สาย

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของพารามิเตอร์ของวงจรส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายที่มีต่อสมรรถนะการส่งกำลังไฟฟ้าไร้สาย
2. เพื่อพัฒนาวงจรส่งกำลังไฟฟ้าไร้สาย

## แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 1. วงจรในสภาวะรีโซแนนซ์

วงจรในสภาวะรีโซแนนซ์ อิมพีแดนซ์ของระบบเหลือเพียงความต้านทานเพียงอย่างเดียว กระแสสามารถไหลผ่านวงจรได้มาก ความถี่รีโซแนนซ์ หาได้จากสมการ ดังต่อไปนี้

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

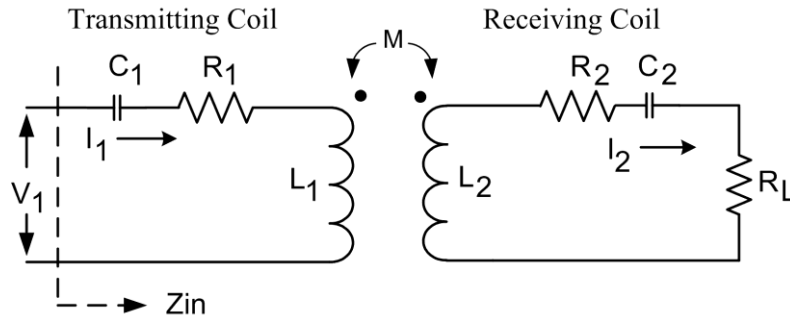
### 2. การส่งกำลังไฟฟ้าสูงสุด

เมื่ออิมพีแดนซ์ของโหลดสมดุลกับอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่าย ในสภาวะนี้ สามารถส่งกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด

## วิธีการวิจัย

### 1. การวิเคราะห์วงจรสมมูลทางไฟฟ้า

ใช้วงจรสมมูลของหม้อแปลงแกนอากาศต่ออนุกรมกับคาปาซิเตอร์แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 วงจรสมมูลการส่งกำลังไฟฟ้าไร้สาย

เมื่อ  $V_1$  คือแรงดันไฟฟ้าขาเข้าวงจร  $C_1$ ,  $C_2$  คือ คาปาซิแตนซ์ภายนอกต่อเข้ากับวงจรเพื่อทำให้เกิดสภาวะรีโซแนนซ์  $R_1$ ,  $R_2$  คือความต้านทาน  $L_1$ ,  $L_2$  คือความเหนี่ยวนำของขดตัวนำทางด้านส่งและด้านรับกำลังงาน  $R_L$  คือ ความต้านทานไฟฟ้าของโหลด  $R_L$  คือ ความเหนี่ยวนำร่วม และ  $Z_{in}$  คือ อิมพีแดนซ์ของวงจร จากวงจรภาพที่ 1 ใช้สมการแรงดันเคอร์ชอฟฟ์ (KVL) หาสมการแรงดันทั้งสองด้านของวงจร แสดงตามสมการที่ (2)

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_1 & j\omega M_{12} \\ j\omega M_{12} & Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

แก้สมการหาค่ากระแส  $I_1$  และ  $I_2$  จากนั้นจึงหาสมการกำลังไฟฟ้าขาเข้า ขาออก และประสิทธิภาพ ได้ตามสมการที่ (3) – (5) ดังนี้

$$P_{in} = V_1 I_1 = \frac{Z_2 V_1^2}{Z_1 Z_2 + \omega^2 M^2} \quad (3)$$

$$P_{out} = I_2^2 R_L = \frac{\omega^2 M^2 V_1^2 R_L}{[Z_1 Z_2 + \omega^2 M^2]^2} \quad (4)$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{\omega^2 M^2 R_L}{Z_2 [Z_1 Z_2 + \omega^2 M^2]} \quad (5)$$

$$Z_{in} = Z_1 + \frac{(\omega M)^2}{Z_2} \quad (6)$$

$$\text{เมื่อ } Z_1 = R_1 + j\omega L_1 + \frac{1}{j\omega C_1}$$

$$Z_2 = (R_2 + R_L) + j\left(\omega L_2 + \frac{1}{\omega C_2}\right), \quad \omega = 2\pi f$$

$$M = k\sqrt{L_1 L_2} \quad (7)$$

โดยที่  $k$  ในสมการที่ (7) คือ Coefficient of Coupling มีรูปสมการเป็นฟังก์ชันของระยะทางดังนี้ (S. Y. R. Hui et al, 2014), (J.O. Mur-Miranda et al, 2010)

$$k = \frac{1}{\left[1 + 2^{2/3} \left(d / \sqrt{r_1 r_2}\right)^2\right]^{3/2}} \quad (8)$$

เมื่อ  $r_1$ ,  $r_2$  คือรัศมีขดตัวนำ และ  $d$  คือ ระยะห่างระหว่างขดตัวนำ ด้านส่ง และด้านรับกำลังงาน

## 2. การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะการส่งกำลังไฟฟ้าไร้สาย

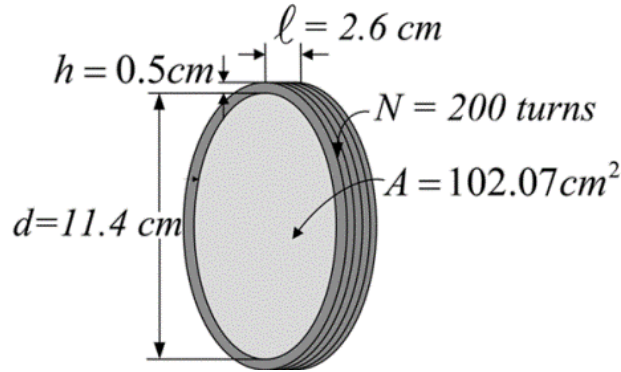
พิจารณาจากสมการกำลังไฟฟ้าขาออก ในสมการที่ (4) พบว่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อกำลังไฟฟ้าขาออก มีหลายตัว การศึกษานี้ให้ความสำคัญที่ความเหนี่ยวนำ ( $L_1$ ,  $L_2$ ) ความถี่รีโซแนนซ์ ( $f_r$ ) ความเหนี่ยวนำร่วม ( $M$ ) และแรงดันไฟฟ้าขาเข้า ( $V_1$ ) จากพารามิเตอร์ดังกล่าวจึงได้แนวทางการเพิ่มกำลังไฟฟ้าขาออกดังนี้

### 2.1 การเพิ่มความเหนี่ยวนำจากการพันและแกนเฟอร์ไรต์

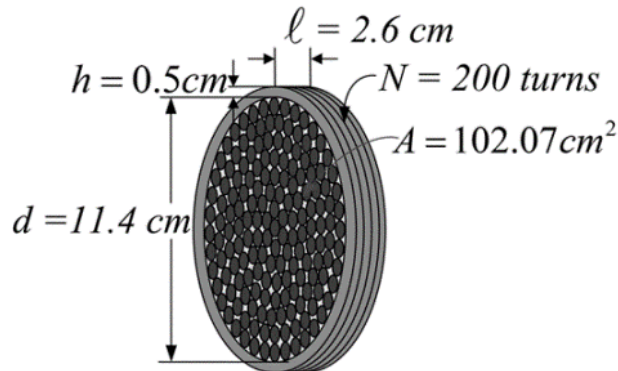
พิจารณาสมการความเหนี่ยวนำของขดตัวนำตามสมการที่ (9) การเพิ่มค่าความเหนี่ยวนำสามารถทำได้โดยการเพิ่มจำนวนขด ( $N$ ) ค่าความซึมซาบสัมพัทธ์ ( $\mu_r$ ) พื้นที่หน้าตัดของแกน ( $A$ ) และการลดความยาวทางเดินเฉลี่ยของฟลักซ์แม่เหล็ก ( $\ell$ )

$$L = \frac{N^2 \mu A}{\ell} = \frac{N^2 \mu_r \mu_0 A}{\ell} \quad (9)$$

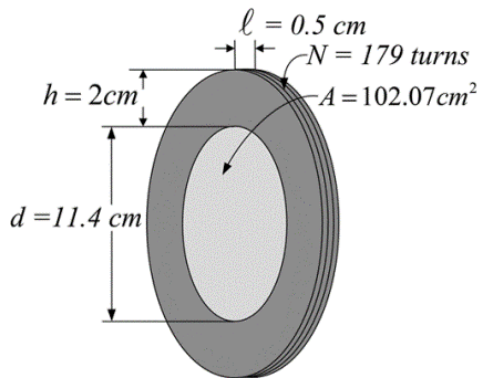
จึงได้ออกแบบขดตัวนำ 3 ลักษณะแสดงดังภาพที่ 2 ดังนี้



(ก) การพันแบบที่ 1 พันบนแกนอากาศ



(ข) การพันแบบที่ 2 เพิ่มความซึมซาบโดยใช้แกนเฟอร์ไรต์ผง



(ค) การพันแบบที่ 3 ลดความยาวทางเดินฟลักซ์แม่เหล็ก

ภาพที่ 2 ลักษณะการพันขดตัวนำ 3 แบบ

พิจารณาภาพที่ 2 การพันแบบที่ 1 พันบนแกนอากาศแบบปกติ การพันแบบที่ 2 เป็นการเพิ่มความซึมซาบโดยใช้แกนเฟอร์ไรต์แบบแท่ง เนื่องจากสามารถหาได้ตามท้องตลาด ส่วนการพันแบบที่ 3 ลดความยาวเส้นทางเดินฟลักซ์แม่เหล็กให้น้อยลงแต่มีผลทำให้พื้นที่หน้าตัดของแกนน้อยลง ในลักษณะการพันขดตัวนำทั้ง 3 แบบนี้ได้ทำการทดสอบ

เปรียบเทียบกับ เพื่อดูลักษณะกำลังไฟฟ้าขาออกและประสิทธิภาพ ซึ่งได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 15-16 เพื่อเลือกรูปแบบที่ดีที่สุด โดยที่ลักษณะการพันแต่ละแบบมีผลทำให้ความเหนี่ยวนำในสมการที่ (9) เปลี่ยนแปลง โดยมีค่าพารามิเตอร์ของการพันขดตัวนำทั้ง 3 แบบแสดงในตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ของขดตัวนำทั้ง 3 แบบ

รูปแบบที่		L (mH)	C (nF)	R (Ω)	ขนาดของขดลวด (AWG)
1	ขดส่ง	6.82	4.7	3.41	22
	ขดรับ	6.96	4.7	3.41	22
2	ขดส่ง	10.3	4.7	3.48	22
	ขดรับ	10.23	4.7	3.47	22
3	ขดส่ง	6.02	4.7	3.45	22
	ขดรับ	7.9	4.7	3.43	22

ในการเปรียบเทียบรูปแบบการพันทั้ง 3 แบบนั้น กำหนดให้พารามิเตอร์ R และ C มีขนาดเท่ากัน แต่ L ไม่สามารถควบคุมได้เนื่องจากการพันแต่ละแบบให้ค่าความเหนี่ยวนำไม่เท่ากัน

## 2.2 การปรับความถี่โซแนนซ์

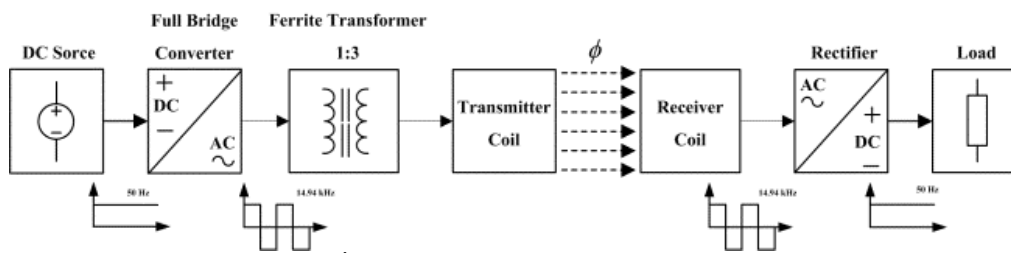
พิจารณาสมการที่ (4)-(8) เห็นได้ว่าเมื่อระยะห่างระหว่างขดตัวนำเปลี่ยนแปลงมีผลทำให้ความเหนี่ยวนำรวมเปลี่ยน ทำให้อิมพีแดนซ์ของวงจรเปลี่ยนแปลงตาม ซึ่งมีผลโดยตรงต่อกำลังไฟฟ้าขาออกและประสิทธิภาพ อธิบายได้โดยตามหลักการส่งกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum power transfer) ดังนั้นเมื่อพิจารณาเทอม  $(\omega M)^2$  ในสมการที่ (6) การชดเชยการเปลี่ยนแปลงของความ

เหนี่ยวนำรวม ( $M$ ) สามารถทำได้โดยการปรับค่าความถี่

## 2.3 การเพิ่มแรงดันขาเข้าโดยใช้หม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์

กำลังไฟฟ้าขาออกตามสมการที่ (4) แปรผันกับแรงดันไฟฟ้าขาเข้ายกกำลังสอง ดังนั้นการเพิ่มหม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์เข้าไปในวงจรจึงสามารถเพิ่มกำลังขาออกของวงจรได้ หรืออาจมองว่าเป็นการปรับค่าตัวแปร  $V_1$  นั้นเอง การที่เลือกใช้หม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์นั้นเนื่องจากสามารถตอบสนองย่านความถี่สูงได้ดีกว่าหม้อแปลงแกนเหล็ก อย่างไรก็ตามขีดของหม้อแปลงขึ้นอยู่กับขนาดของแกนเฟอร์ไรต์

### 3. การออกแบบวงจรส่งกำลังไฟฟ้าไร้สาย



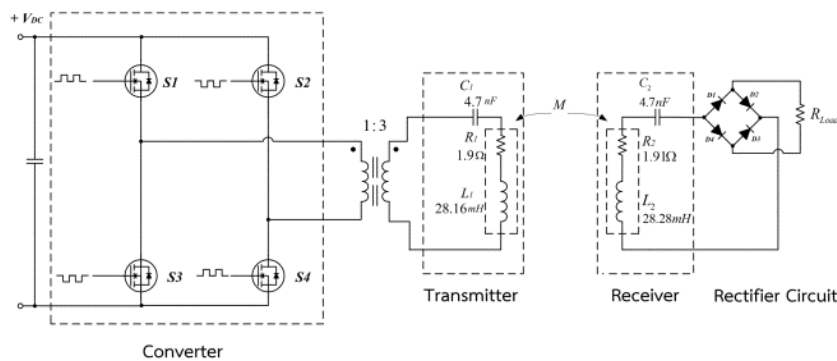
ภาพที่ 5 องค์ประกอบวงจรส่งกำลังไฟฟ้าไร้สาย

ออกแบบวงจรส่งกำลังไฟฟ้าไร้สาย มีส่วนประกอบหลักคือ แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง คอนเวอร์เตอร์แบบเต็มคลื่น (Full bridge converter) หม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์ ขดส่งและรับกำลังงาน

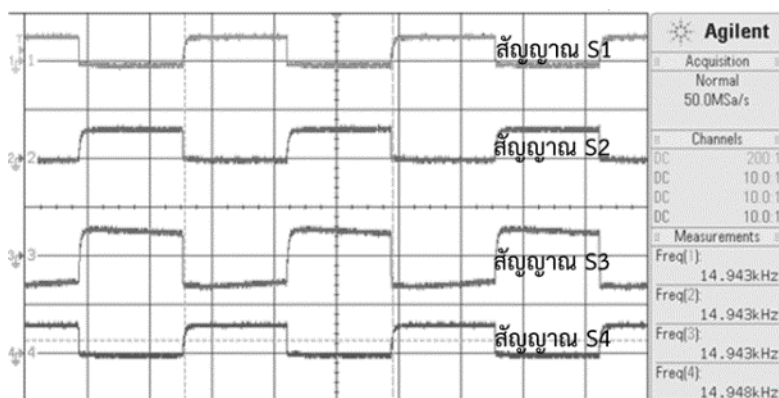
#### 3.1 อินเวอร์เตอร์แบบเต็มคลื่น (full bridge converter)

วงจรอินเวอร์เตอร์แบบ เต็มคลื่น สามารถปรับค่า ความถี่ได้สูงสุด 750 กิโลเฮิร์ต แสดงวงจร ดังรูป

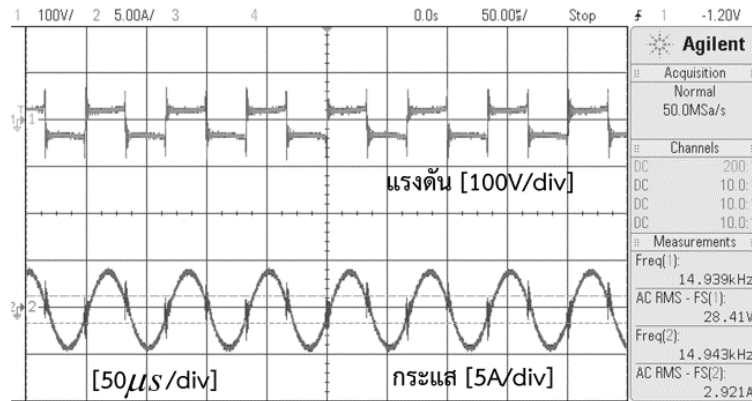
ที่ 3 ทำการทดลองจ่ายโหลดขนาด 160 โอห์ม (25วัตต์) ใช้แรงดันอินพุตกระแสตรง 10 โวลต์ ที่ความถี่รีโซแนนซ์ 14.94 กิโลเฮิร์ต ระยะห่างระหว่างขดส่งกำลังงานและขดรับกำลังงาน 21 เซนติเมตร ได้ลักษณะสัญญาณแรงดัน และกระแสด้านขดรับและขดส่งกำลังงาน แสดงดังภาพที่ 5



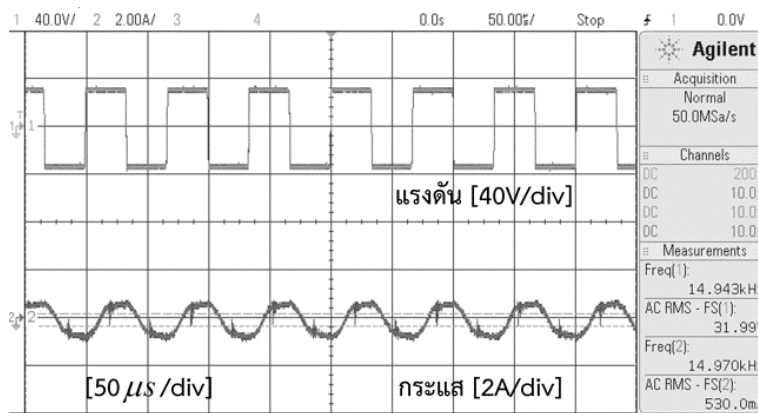
ภาพที่ 3 วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเต็มคลื่น



ภาพที่ 4 สัญญาณป้อนเข้าขาเกตของมอสเฟต



(ก) แรงดัน และกระแส ด้านขาเข้าขดส่งกำลังงาน



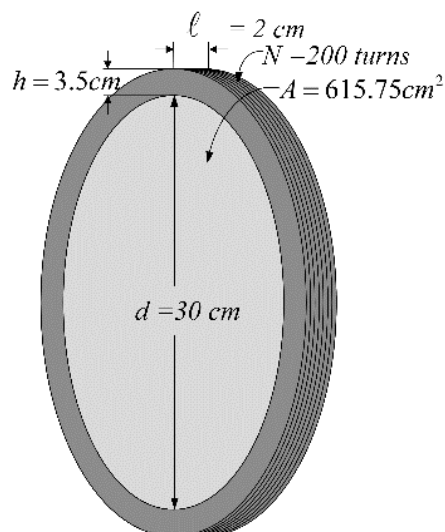
(ข) แรงดัน และกระแส ด้านขาออกขดรับกำลังงาน

ภาพที่ 5 สัญญาณขาเข้า และขาออก ขดส่ง และขดรับกำลังงานขณะจ่ายโหลด

จากภาพที่ 4 คือ สัญญาณที่จ่ายให้กับมอเตอร์ ทำหน้าที่เป็นสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ สวิตช์ S1 และ S4 ทำงานพร้อมกัน เช่นเดียวกับสวิตช์ S2 และ S3 ก็

จะทำงานพร้อมกัน ทำให้ได้สัญญาณขาออก อินเวอร์เตอร์เป็นแบบ เต็มรูปคลื่น

### 3.2 การออกแบบขดตัวนำ



ภาพที่ 6 ขดส่ง และขดรับกำลังงานพันบนแกนอากาศ

**ขั้นตอนที่ 1** จากการทดสอบเปรียบเทียบรูปแบบของขดตัวนำทั้ง 3 ลักษณะแสดงดังรูปที่ 2 แล้วจึงเลือกรูปแบบที่ดีที่สุดในการส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายคือการพันแบบที่ 1 พันบนแกนอากาศแบบปกติและการออกแบบพารามิเตอร์ ได้กำหนดขนาดของขดส่ง และขดรับกำลังงานก่อนซึ่งกำหนดขนาดไว้ดังรูปที่ 6 จากนั้นจึงพันขดส่ง และขดรับกำลังงานตามจำนวนรอบที่กำหนดไว้ โดยใช้ขดลวดทองแดงขนาด 16 AWG ค่าความเหนี่ยวนำที่ได้ในตารางที่ 2 นั้นได้มาจากเครื่องวัด R L C ยี่ห้อ GWINSTEK รุ่น

LCR-916(100kHz) นอกจากนี้แล้วยังสามารถคำนวณค่าความเหนี่ยวนำได้โดยใช้สมการที่ (10)

$$L = \frac{r^2 \times N^2}{9r + 10l} \quad (10)$$

**ขั้นตอนที่ 2** เมื่อได้ค่าความเหนี่ยวนำของขดตัวนำแล้ว จึงกำหนดค่าตัวเก็บประจุที่จะนำมาต่อร่วมเข้าในวงจร แล้วนำมาคำนวณหาค่าความถี่รีโซแนนซ์ของวงจร ได้ค่าพารามิเตอร์ของขดตัวนำแสดงในตารางที่ 2 ดังนี้

**ตารางที่ 2** พารามิเตอร์ของขดส่ง และรับกำลังงาน

	L (mH)	C(nF)	R(Ω)	F(kHz)
ขดส่ง	24.16	4.7	1.90	14.94
ขดรับ	24.28	4.7	1.91	14.94

### 3.2 หม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์

ออกแบบหม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์ สำหรับเพิ่มแรงดันด้วยอัตราส่วน 1/3 ใช้ขดลวดทองแดงเบอร์ 16 AWG พันด้านปฐมภูมิจำนวน 10 รอบ และด้านทุติยภูมิ 30 รอบ

#### 4. การทดลองส่งกำลังไฟฟ้าไร้สาย

##### 4.1 ทดสอบผลของตัวกลางที่มีต่อสมรรถนะการส่งกำลังไฟฟ้าไร้สาย

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลการใช้ขดส่งและขดรับกำลังงาน แบบพันบนแกนอากาศและพันบนแกนเฟอร์ไรต์ เจ็อนไซการทดสอบจ่ายโหลดขนาด 1.2 กิโลโอห์ม (25 วัตต์) ใช้แรงดันกระแสตรงขาเข้าคงที่ 10 โวลต์ ความถี่คงที่ 28.66 กิโลเฮิร์ต จากนั้นจึงทดสอบปรับความถี่

##### 4.2 ทดสอบส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายกรณีความถี่คงที่ และปรับความถี่

การทดลองนี้จ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 50 โวลต์ คงที่ตลอดการทดลอง ใช้ความถี่คงที่ 14.94 กิโลเฮิร์ต ระยะห่างระหว่างขดรับ และขดส่งกำลังงาน 0-30 เซนติเมตร จ่ายกำลังงานให้กับโหลด

ความต้านทาน 286 โอห์ม (120 วัตต์) จากนั้นจึงทำการทดสอบปรับค่าความถี่ ทำการวัดค่ากระแส และแรงดันไฟฟ้าแต่ละส่วนของวงจร เพื่อใช้คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าขาออก และประสิทธิภาพ

##### 4.3 ทดสอบหาพิกัดการส่งกำลังงานไฟฟ้าไร้สายโดยการเพิ่มโหลด

การทดลองนี้ เพิ่มแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขาเข้าครั้งละ 10 โวลต์ ใช้ความถี่ 14.94 กิโลเฮิร์ต ระยะห่างระหว่างขดส่งและขดรับกำลังงาน 21 เซนติเมตร จ่ายกำลังงานให้กับโหลดความต้านทาน 37.8 โอห์ม (100 วัตต์) จากนั้นจึงทำการเพิ่มโหลดและวัดค่ากระแส และแรงดันไฟฟ้าแต่ละส่วนของวงจร เพื่อใช้คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าขาออกและประสิทธิภาพการส่งกำลังงาน

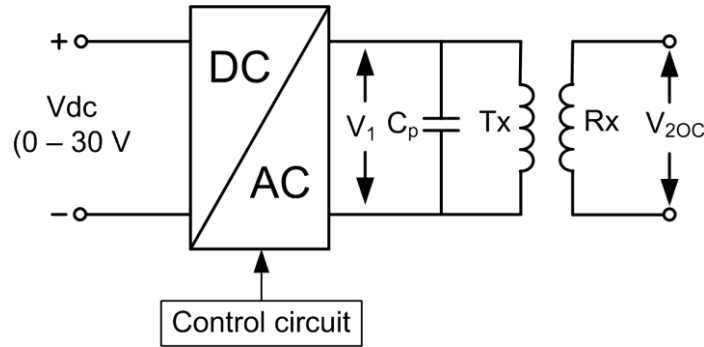
##### 4.4 ทดสอบหาความเหนี่ยวนำร่วมในวงจรส่งกำลังงานไฟฟ้าไร้สาย

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อหาค่าความเหนี่ยวนำร่วม ( $M$ ) จากการทดสอบใช้สำหรับเปรียบเทียบกับความเหนี่ยวนำร่วมจากการจำลอง



ด้วยสมการ การทดสอบโดยใช้วิธีอัตราส่วนแรงดัน  
ขณะเปิดวงจรตามวงจรการทดสอบแสดงดังรูปที่ 7  
จากนั้นจึงคำนวณโดยใช้สมการที่ (11) (A. Dalal et

al, 2015), ( T.P. Ezhil Reena Joy et al, 2014)  
ดังนี้



ภาพที่ 7 วงจรทดสอบหาค่าความเหนี่ยวนำรวม

$$M = \frac{V_{2OC}}{V_1} L_1 \quad (11)$$

$V_1$  คือ แรงดันขาเข้าขดส่งกำลังงาน  $V_{2OC}$  คือ  
แรงดันขาออกขดส่งกำลังงานขณะเปิดวงจร และ  $L_1$   
คือความเหนี่ยวนำขดส่งกำลังงาน และความจุไฟฟ้า  
( $C_p$ ) สำหรับทำให้วงจรทำงานในสภาวะรีโซแนนซ์  
สามารถต่อได้ทั้งอนุกรมและขนานมีสมการสัมพันธ์  
กับความถี่และความเหนี่ยวนำดังนี้

$$C_p = \frac{1}{\omega^2 L_1} \quad (12)$$

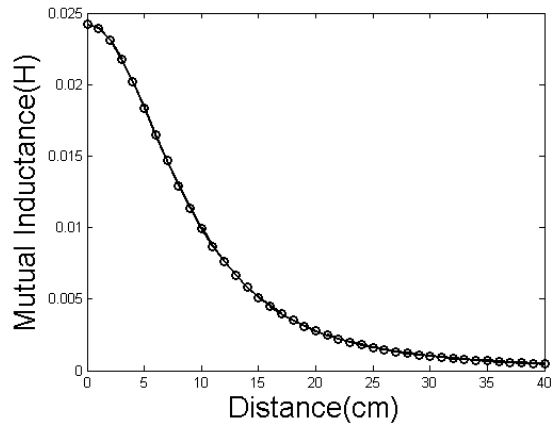
ทดสอบหาค่าความเหนี่ยวนำโดยจ่ายแรงดันไฟฟ้า  
กระแสตรง 25 โวลต์ ค่าพารามิเตอร์ของจรส่ง  
กำลังไฟฟ้าไร้สาย แสดงในตารางที่ 1 เลื่อนขดรับ  
กำลังงานห่างออกจากขดส่งกำลังงาน 0-30  
เซนติเมตร ทำการบันทึกค่าแรงดันขณะเปิดวงจรทั้ง

สองด้านของวงจรนำค่าที่ได้คำนวณหาความ  
เหนี่ยวนำรวมตามสมการที่ (11)

## ผลการวิจัย

### 1. ผลการจำลอง

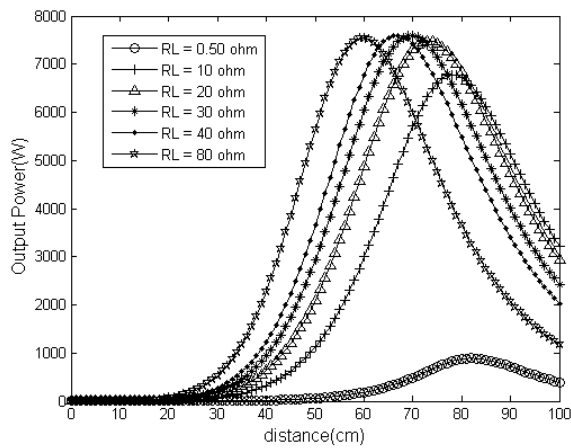
ใช้ค่าพารามิเตอร์ของขดส่ง และรับกำลังงาน  
แสดงในตารางที่ 1 แทนค่าลงในสมการตามที่ได้  
พิสูจน์มา ได้กราฟความเหนี่ยวนำรวมแสดงดังภาพที่  
8 กำลังไฟฟ้าขาออก และประสิทธิภาพที่โหลด  
ต่างกัน แสดงดังภาพที่ 9-10 อิมพีแดนซ์ของวงจรที่  
ความถี่ต่างกันแสดงในภาพที่ 11 กำลังไฟฟ้าขาออก  
และประสิทธิภาพเมื่อปรับค่าความถี่แสดงดังภาพที่  
12-13 และกำลังไฟฟ้าขาออกเมื่อทำการปรับค่า  
แรงดันขาเข้าดังภาพที่ 14 ดังนี้



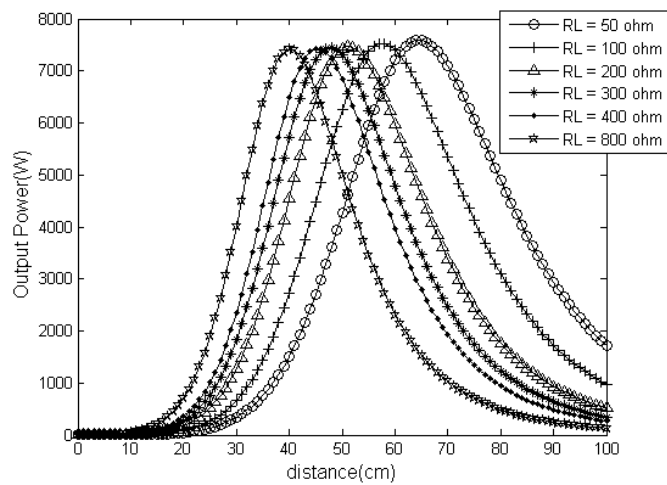
ภาพที่ 8 ความเหนี่ยวนำร่วม ( $M$ )

จากภาพที่ 8 ความเหนี่ยวนำร่วม ( $M$ ) ลดลงตามการเพิ่มขึ้นของระยะห่างระหว่างขดตัวนำ เนื่องจาก Coefficient of coupling ลดลงตาม

ระยะห่างนั่นเอง ซึ่งมีผลต่อกำลังไฟฟ้าขาออก และประสิทธิภาพ โดยตรง

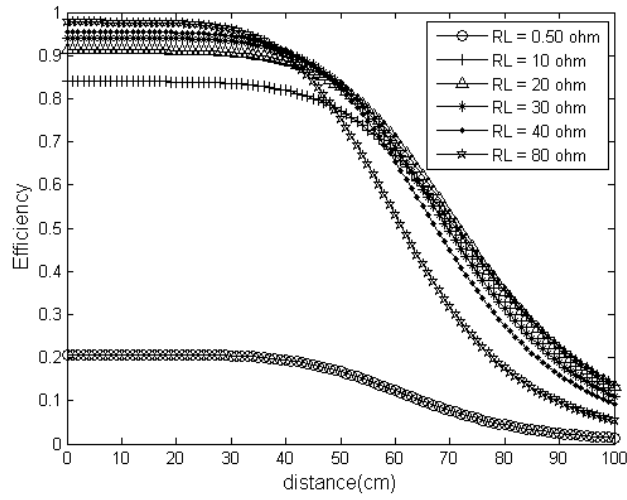


(ก) กำลังไฟฟ้าขาออกที่โหลดต่างกัน

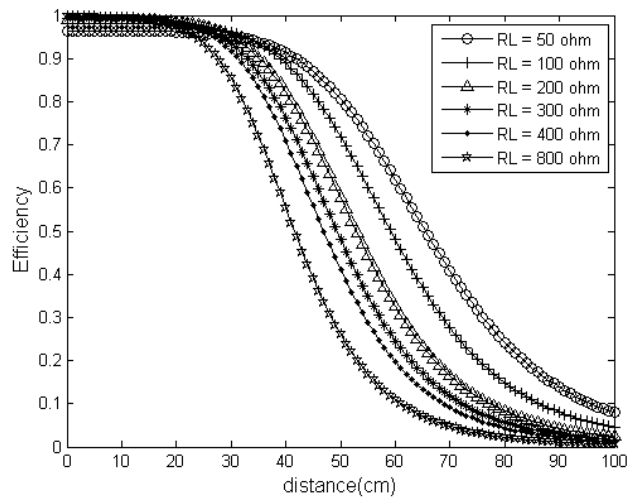


(ข) กำลังไฟฟ้าขาออกเมื่อโหลดเพิ่มขึ้น

ภาพที่ 9 กำลังไฟฟ้าขาออกที่โหลดต่างกัน



(ก) ประสิทธิภาพที่โหลดต่างกัน

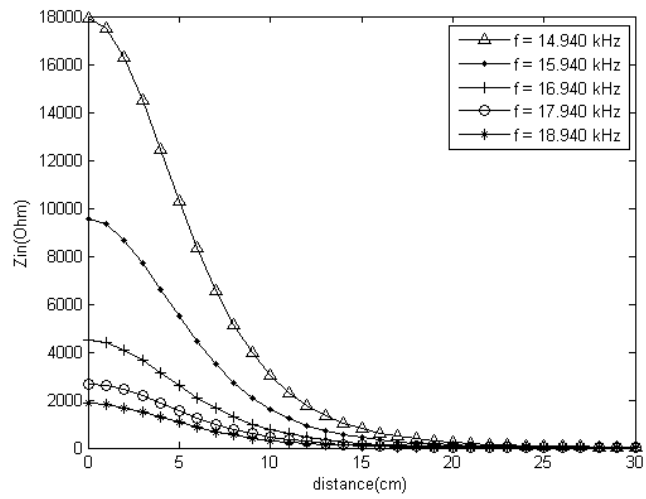


(ข) ประสิทธิภาพเมื่อโหลดเพิ่มขึ้น

ภาพที่ 10 ประสิทธิภาพกับระยะห่างระหว่างขดตัวนำที่โหลดต่างกัน

กราฟกำลังไฟฟ้าขาออก และประสิทธิภาพตามรูปที่ 9 - 10 ได้จากการแทนค่าพารามิเตอร์ในตารางที่ 1 แทนลงในสมการกำลังไฟฟ้าขาออก และประสิทธิภาพ โดยกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าขาเข้า 250 โวลต์ เปลี่ยนค่าโหลดให้มีขนาดต่างกัน พบว่าขนาด

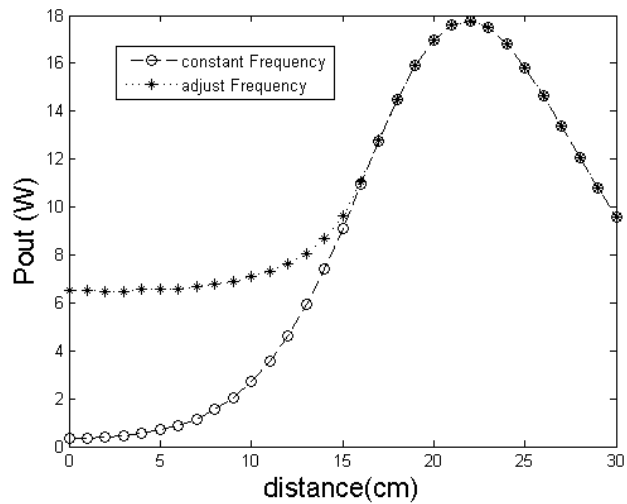
ของโหลดมีผลต่อค่าอิมพีแดนซ์ของระบบส่งผลให้ลักษณะของกราฟแตกต่างกันออกไป จุดที่เห็นได้ชัดคือ ตำแหน่งการเกิดจุดสูงสุดของกราฟกำลังไฟฟ้าขาออกเกิดขึ้นในตำแหน่งต่างกัน



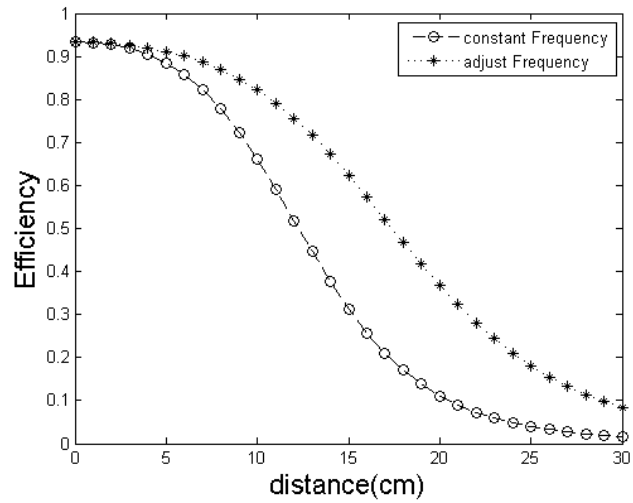
ภาพที่ 11 อิมพีแดนซ์ของวงจรที่ความถี่ต่างกัน

พิจารณาภาพที่ 11 ประกอบกับสมการที่ (3) ถึง (8) พบว่าความถี่ และความเหนี่ยวนำรวม มีผลต่อค่าอิมพีแดนซ์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของค่า

อิมพีแดนซ์จะส่งผลให้กำลังไฟฟ้าขาออก และประสิทธิภาพเปลี่ยนไปตามหลักการส่งกำลังงานไฟฟ้าสูงสุด



ภาพที่ 12 ผลการจำลองกำลังไฟฟ้าขาออกในกรณีความถี่คงที่และปรับความถี่ตามระยะห่างขดตัวนำ

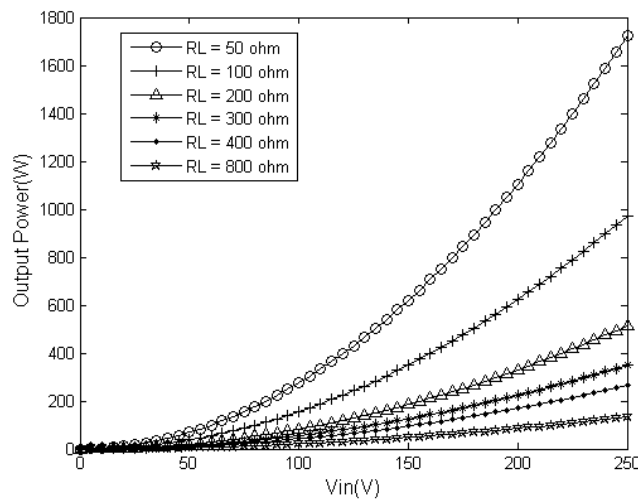


ภาพที่ 13 ผลการจำลองประสิทธิภาพในกรณี

ความถี่คงที่และปรับความถี่ตามระยะห่างขดตัวนำ จากภาพที่ 12 และ 13 ลักษณะกำลังงาน ไฟฟ้าขาออก และประสิทธิภาพ เมื่อระยะห่าง ระหว่างขดส่ง และขดรับกำลังงาน (d) เปลี่ยนแปลง ทำให้ค่า Coefficient of Coupling ( $k$ ) เปลี่ยนแปลงไปด้วย จึงทำให้ค่าความเหนี่ยวนำรวม ( $M$ ) เปลี่ยนตาม มีผลทำให้ความถี่

รีโซแนนซ์แต่ละระยะห่างต่างกันออกไป การปรับค่าความถี่จึงเป็นการชดเชยผลการเปลี่ยนแปลง ดังกล่าว (เอกชัย ชัยดี และคณะ, 2559)

ลักษณะกราฟรูปที่ 14 แสดงให้เห็นว่า กำลังไฟฟ้าขาออกเพิ่มขึ้น ตามการเพิ่มขึ้นของ แรงดันไฟฟ้าขาเข้า



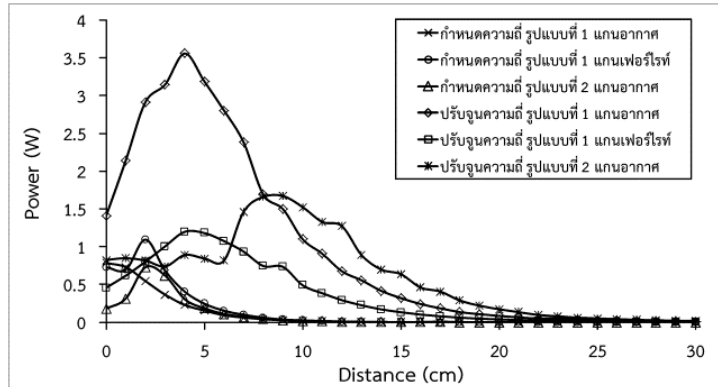
ภาพที่ 14 กำลังไฟฟ้าขาออก และแรงดันไฟฟ้าขาเข้า ที่โหลดต่างกัน

## 2. ผลการทดลอง

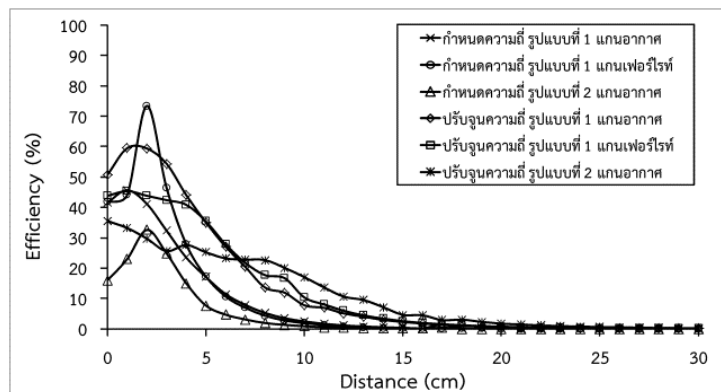
### 2.1 การทดลองที่ 1 ทดสอบผลของตัวกลางที่ใช้ในการเดินฟลักซ์แม่เหล็ก

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อ ศึกษาผลของตัวกลางที่ใช้เป็นเส้นทางเดินแม่เหล็ก ระหว่างแกน

อากาศกับแกนเฟอร์ไรต์ โดยใช้ความถี่คงที่และการปรับความถี่ ของวงจร จ่ายโหลดขนาด 1.2 กิโลโอห์ม (25 วัตต์) ใช้แรงดันกระแสตรงขาเข้าคงที่ 10 โวลต์ ความถี่คงที่ 28.66 กิโลเฮิร์ต จากนั้นจึงทดสอบปรับความถี่



ภาพที่ 15 กำลังงานขาออก ที่ความถี่คงที่ และปรับความถี่ตามระยะห่างของขดตัวนำ

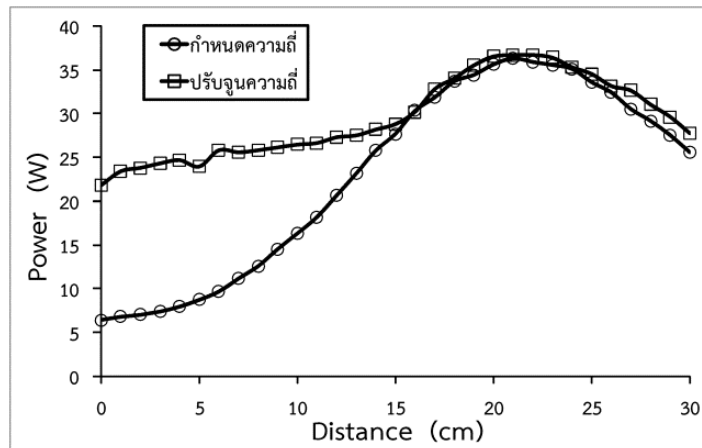


ภาพที่ 16 ประสิทธิภาพ ที่ความถี่คงที่และปรับความถี่ตามระยะห่างของขดตัวนำ

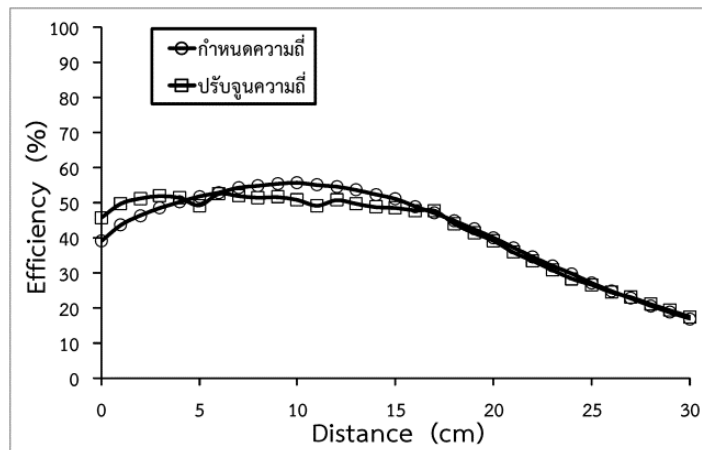
ผลการทดสอบตามรูปที่ 15-16 พบว่ารูปแบบที่ 1 แกนอากาศแบบปรับความถี่ให้กำลังไฟฟ้าขาออกสูงสุด 3.56 วัตต์ ที่ระยะ 4 เซนติเมตร ที่ตำแหน่งเดียวกันมีค่าประสิทธิภาพ 44.04 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่รูปแบบที่ 1 แกนเฟอร์ไรต์ ให้ประสิทธิภาพสูงที่สุด 73.44 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะ 2 เซนติเมตร ที่ตำแหน่งเดียวกันได้กำลังไฟฟ้าขาออก 1.09 วัตต์

### 2.2 การทดลองที่ 2 การทดสอบส่งกำลังกำลัง ไฟฟ้าไร้สาย กรณีความถี่คงที่และปรับความถี่

ใช้ขดส่ง และขดรับกำลังงานพันบนแกนอากาศ ตามที่ได้ออกแบบแสดงดังรูปที่ 6 มีค่าพารามิเตอร์แสดงในตารางที่ 1 เนื่องจากเป็นรูปแบบที่ให้กำลังไฟฟ้าขาออกดีที่สุดจากการทดลองที่ 1 การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาหาระยะทางการส่งกำลังงานไฟฟ้าสูงสุดและมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยจะใช้ความถี่รีโซแนนซ์คงที่และการปรับความถี่



ภาพที่ 17 กำลังงานไฟฟ้าขาออก ในกรณีความถี่คงที่ และปรับจูนความถี่

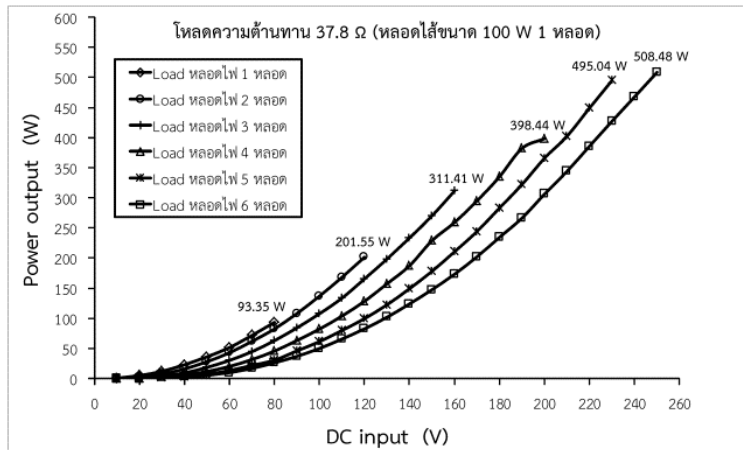


ภาพที่ 18 ประสิทธิภาพ กรณีความถี่คงที่ และปรับจูนความถี่

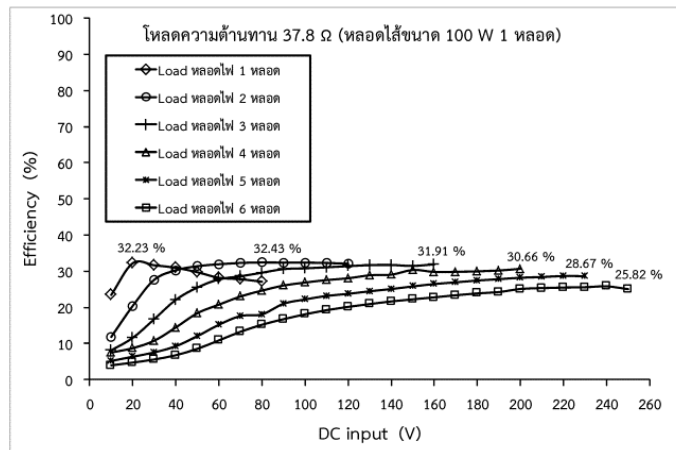
จากกราฟภาพที่ 17-18 พบว่า กำลังไฟฟ้าขาออกกรณีปรับค่าความถี่มีค่าเพิ่มขึ้น 2.21 เฮอร์เซ็นต์ ที่ระยะ 22 เซนติเมตร ในขณะที่ประสิทธิภาพลดลง 3.27 เฮอร์เซ็นต์ ที่ระยะเดียวกัน

### 2.3 การทดลองที่ 3 ทดสอบพิกัดการส่งกำลัง ไฟฟ้าไร้สาย

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อหาพิกัดกำลังไฟฟ้าขาออกของวงจรส่งกำลังไฟฟ้าไร้สาย ทำการทดสอบเพิ่มโหลดให้กับวงจร และทำการเพิ่มแรงดันขาเข้าจนกระทั่งวงจรไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าเพิ่มได้ ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 19 ดังนี้



(ก) กำลังไฟฟ้าขาออก จากการเพิ่มโหลด



(ข) ประสิทธิภาพ จากการเพิ่มโหลด

ภาพที่ 19 กำลังไฟฟ้าขาออก และประสิทธิภาพจากการทดสอบเพิ่มโหลดที่ระยะ 21 เซนติเมตร

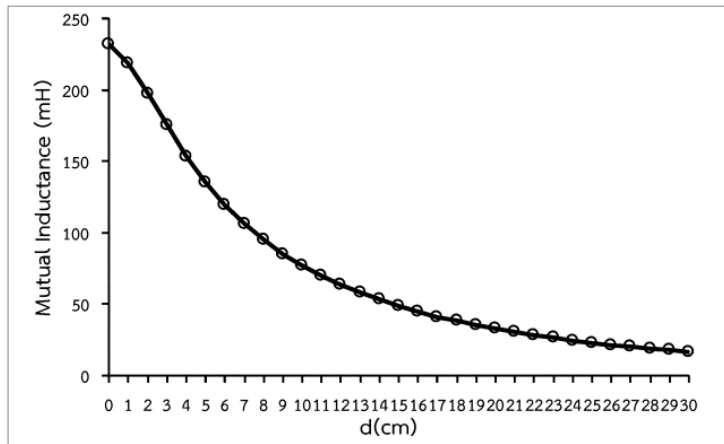
จากการทดลองการส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายโดยการเพิ่มโหลดความต้านทาน 37.8 โอห์ม (โหลดใส่ขนาด 100 วัตต์) พบว่า โหลดมีผลต่อการส่งกำลังไฟฟ้าแบบไร้สาย ระบบสามารถส่งกำลังงานไฟฟ้าได้สูงสุด 508.48 วัตต์ ที่ระยะทาง 21 เซนติเมตร ใช้ความถี่เรโซแนนซ์ 14.94 กิโลเฮิร์ต จ่าย

แรงดันอินพุตเท่ากับ 250 โวลต์ ให้ประสิทธิภาพการส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายทั้งระบบ 25.04 เปอร์เซ็นต์

#### 2.4 การทดลองหาค่าความเหนี่ยวนำร่วม

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะของความเหนี่ยวนำร่วม เมื่อระยะห่างระหว่างขดตัวนำเปลี่ยนแปลง

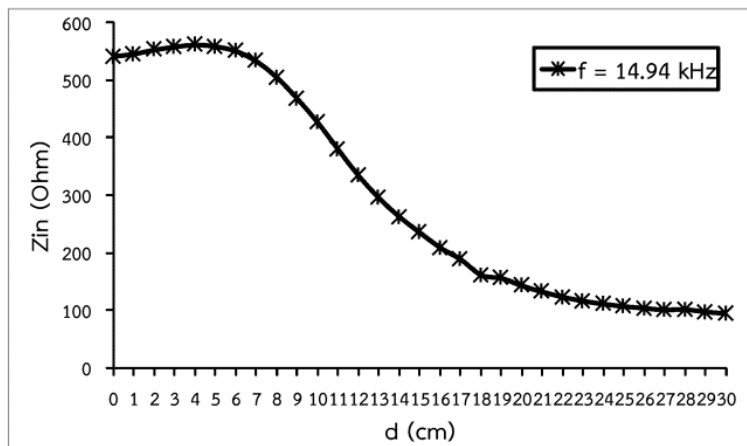




ภาพที่ 20 ความเหนี่ยวนำร่วมระหว่างขดส่ง และขดรับกำลังงาน

จากกราฟรูปที่ 20 ค่าความเหนี่ยวนำร่วม ( $M$ ) ลดลงตามการเพิ่มขึ้นของระยะห่างระหว่างขดตัวนำ เนื่องจากอัตราการคล้องของสนามแม่เหล็ก หรือ แสดงในรูปค่า Coefficient of coupling ( $k$ ) เปลี่ยนแปลง

การเปลี่ยนของความเหนี่ยวนำร่วมมีผลต่ออิมพีแดนซ์ พิจารณาตามสมการที่ 6 การเปลี่ยนแปลงกล่าวมีผลต่อสมรรถนะการส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายโดยตรง



ภาพที่ 21 ลักษณะของอิมพีแดนซ์กับระยะห่างระหว่างขดส่งและขดรับกำลังงาน

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าอิมพีแดนซ์แสดงดังรูปที่ 21 ได้จากการทดสอบโดยใช้พารามิเตอร์ขดตัวนำที่ได้ออกแบบไว้ตามรูปที่ 6 ค่าพารามิเตอร์ในตารางที่ 1 ทำการประมาณการค่าอิมพีแดนซ์โดยใช้อัตราส่วนระหว่างแรงดัน และกระแสไฟฟ้าสลับ ด้านขาเข้าของวงจร

### อภิปรายผลการวิจัย

การทดสอบผลของตัวกลางที่ใช้ในการเดินฟลักซ์แม่เหล็ก พบว่า กรณีใช้ความถี่ที่ขดตัวนำพันบนแกนเฟอร์ไรต์ใช้ค่ากำลังไฟฟ้าขาออกมากกว่าขดตัวนำพันบนแกนอากาศ แต่เมื่อทำการปรับความถี่พบว่าขดตัวนำพันบนแกนอากาศกลับให้ค่า

กำลังไฟฟ้าขาออกมากกว่า นั้นแสดงว่าความถี่ มีผลต่อการส่งกำลังไฟฟ้าไร้สาย

จากการทดลองส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายกรณีคงที่ ความถี่และปรับความถี่ตามการเปลี่ยนแปลงของระยะห่างระหว่างขดตัวนำ พบว่าเมื่อระยะห่างเปลี่ยนแปลงทำให้ความเหนี่ยวนำรวมเปลี่ยนตาม มีผลทำให้ความถี่รีโซแนนซ์แต่ละระยะไม่เท่ากัน ดังนั้นการปรับค่าความถี่จึงเป็นการชดเชยผลการเปลี่ยนแปลงความเหนี่ยวนำรวม สามารถทำให้วงจรส่งกำลังไฟฟ้าได้มากขึ้นเมื่อเทียบกับกรณีใช้ความถี่คงที่

การทดสอบหาพิกัดการส่งกำลังไฟฟ้าไร้สาย พบว่า กำลังไฟฟ้าขาออกเพิ่มขึ้นตามแรงดันไฟฟ้าขาเข้า อย่างไรก็ตามพบว่าวงจรสามารถส่งกำลังไฟฟ้าได้มากที่สุด 508 วัตต์ ที่ระดับแรงดัน 250 โวลต์ ไม่สามารถส่งกำลังไฟฟ้าได้มากกว่านี้เนื่องจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในวงจรอินเวอร์เตอร์ไม่สามารถทนแรงดันและกระแสที่สูงได้

จากการทดสอบหาค่าความเหนี่ยวนำรวม พบว่าผลการทดสอบสอดคล้องกับผลการจำลองโดยใช้สมการ แสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะห่างระหว่างขดตัวนำเปลี่ยนแปลงทำให้อัตราส่วนการคล้องสนามแม่เหล็กระหว่างขดตัวนำด้านส่งและด้านรับลดลง ทำให้ความเหนี่ยวนำรวมเปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้อิมพีแดนซ์ของวงจรเปลี่ยนแปลงตาม ส่งผลต่อสมรรถนะการส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายโดยตรง

## สรุป

การวิจัยในครั้งนี้ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะของวงจรส่งกำลังไฟฟ้าไร้สาย ได้ทำการวิเคราะห์ห้วงจรสมมูลทางไฟฟ้า พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการส่งกำลังไฟฟ้าไร้สาย โดยพิจารณาจากสมการที่ (4) คือ 1)ความต้านทานของโหลด 2)ความเหนี่ยวนำรวม และอิมพีแดนซ์ 3)ความถี่ 4)แรงดันไฟฟ้าขาเข้า ได้ทำการจำลองตามสมการเพื่อดู

ผลของพารามิเตอร์ดังกล่าว ได้ออกแบบและสร้างวงจรส่งกำลังไฟฟ้าไร้สาย โดยการเลือกรูปแบบการพันและการใช้แกนที่เหมาะสม ใช้เทคนิคการปรับจูนความถี่ และเพิ่มหม้อแปลงเพอร์ไรต์ทางด้านวงจรขาเข้า

วงจรส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายที่ได้ออกแบบมีองค์ประกอบหลัก คือ อินเวอร์เตอร์แบบเต็มคลื่น หม้อแปลงเพอร์ไรต์สำหรับเพิ่มกำลังไฟฟ้า ออกแบบขดตัวนำด้านส่ง และรับกำลังงาน โดยเลือกรูปแบบการพันที่ให้กำลังไฟฟ้าขาออกสูงสุด ทำการทดสอบส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายเพื่อแสดงผลของพารามิเตอร์ดังกล่าว จากผลการศึกษาพบว่าพารามิเตอร์แต่ตัวมีผลต่อสมรรถนะการส่งกำลังงานไฟฟ้าไร้สายดังนี้

### 1. ความต้านทานของโหลด

ความต้านทานของโหลดมีผลต่อค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรส่งกำลังไฟฟ้าไร้สาย พิจารณาได้ตามสมการที่ (6) ซึ่งค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรมีผลต่อการส่งกำลังไฟฟ้าขาออก เป็นไปตามหลักการ การส่งกำลังไฟฟ้าสูงสุด

ผลการจำลองจากกราฟกำลังไฟฟ้าขาออก และประสิทธิภาพตามรูปที่ 9-10 ได้จากการแทนค่าพารามิเตอร์ในตารางที่ 2 แทนลงในสมการกำลังไฟฟ้าขาออก และประสิทธิภาพ โดยกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าขาเข้า 250 โวลต์ เปลี่ยนค่าโหลดให้มีขนาดต่างกัน พบว่าขนาดของโหลดมีผลต่อค่าอิมพีแดนซ์ของระบบส่งผลให้ลักษณะของกราฟแตกต่างกันออกไป จุดที่เห็นได้ชัด คือ ตำแหน่งการเกิดจุดสูงสุดของกราฟกำลังไฟฟ้าขาออกเกิดขึ้นในตำแหน่งต่างกัน

### 2. ความเหนี่ยวนำรวม และอิมพีแดนซ์

ความเหนี่ยวนำรวมเปลี่ยนแปลงตามระยะห่างระหว่างขดตัวนำ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้อิมพีแดนซ์ของวงจรส่งกำลังไฟฟ้าไร้สายเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย พิจารณาได้ตามสมการที่ (6) ซึ่งค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรมีผลต่อการส่งกำลังไฟฟ้าขาออก เป็นไปตามหลักการ การส่งกำลังไฟฟ้าสูงสุด

### 3. ความถี่

การปรับค่าความถี่ตามระยะห่างระหว่างขดตัวนำเป็นเทคนิคการชดเชยการเปลี่ยนแปลงของความเหนี่ยวนำร่วม การเปลี่ยนแปลงของความเหนี่ยวนำร่วมมีผลทำให้ความถี่รีโซแนนซ์แต่ละระยะห่างต่างกันออกไป การปรับค่าความถี่จึงเป็นการชดเชยผลการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว

การปรับค่าความถี่เพื่อชดเชยการเปลี่ยนแปลงของความเหนี่ยวนำร่วมมีผลทำให้ค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนแปลงตามส่งผลต่อการส่งกำลังไฟฟ้าขาออกโดยตรง (เอกชัย ชัยดี และคณะ, 2559)

### 4. แรงดันไฟฟ้าขาเข้า

กำลังไฟฟ้าขาออกแปรผันตรงกับแรงดันไฟฟ้าขาเข้ายกกำลังสอง พิจารณาได้ตามสมการที่ (4) เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าขาเข้าสามารถทำให้กำลังไฟฟ้าขาออกมีค่าเพิ่มขึ้นตาม อย่างไรก็ตามการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าขาเข้าทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในวงจรอินเวอร์เตอร์ต้องรับภาระมากขึ้นทำให้มีโอกาสเสียหายได้ง่าย จากกราฟรูปที่ 14 แสดงให้เห็นว่ากำลังไฟฟ้าขาออกเพิ่มขึ้น ตามการเพิ่มขึ้นของแรงดันไฟฟ้าขาเข้าซึ่งมีผลโดยตรงต่อการส่งกำลังไฟฟ้าไร้สาย

### กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ ทูสนับสนุนการวิจัยจากโครงการยกระดับปริญญาโทเป็นงานวิจัยตีพิมพ์ งานสร้างสรรค์ และงานบริการวิชาการสู่ชุมชน (HRS) ปี 2558 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ล้านนา

### เอกสารอ้างอิง

เอกชัย ชัยดี, สุกัลย์ ยะอู่, เอกพจน์ ยศแก้ว และ อนนท์ นานอิน. (2559). **ผลกระทบทางความถี่ที่มีต่อสมรรถนะการส่งกำลังไฟฟ้าไร้สาย.** วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ปีที่ 26 (ฉบับที่ 2), 173-182.

- A. Dalal, T.P. Ezhil Reena Joy and P. Kumar. (2015). Mutual Inductance Computation Method for Coils of Different Geometries and Misalignments. Power & Energy Society General Meeting 2015. IEEE. 1-5.
- T.P. Ezhil Reena Joy, A. Dalal and P. Kumar. (2014). Accurate Computation of Mutual Inductance of Two Air Core Squar Coils with Lateral and Angular Misalignments in a Flat Planar Surface. IEEE Trans. Magn., vol.50 (no.1).
- A. Ong, J. P.K. Sampath, G. F. H. Tan Yenkheng, D. M. Vilathgamuwa and N. X. Bac. (2014). Analysis of impedance matched circuit for wireless power transfer. In **Industrial Electronics Society, IECON 2014-40<sup>th</sup> Annual Conference of the IEEE.** 2965-2970.
- A. P. Sample, D. A. Meyer and J. R. Smith. (2011, February). Analysis, experimental results, and range adaptation of magnetically coupled resonators for wireless power transfer. **IEEE Transactions on Industrial Electronics,** vol. 58 (no. 2), 544-554.
- F. Muavi, M. Edington and W. Eberle. (2012). Wireless power transfer: A survey of EV bettery charging technologies. **Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE).** 1804 - 1810.
- H. Jiang, J. Zhang, D.Lan, K.K. Chao, S.Liou, H. Shahnasser, R.Fechter, S.Hirose, M.Harrison and S.Roy. (2013). A Low-Frequency Versatile Wireless Power Transfer Technology for Biomedical Implants. **IEEE Trans. Biomed. Circuits Syst.** vol. 7 (no. 4), 526-535.

- H. Kim, C. Song, D.-H. Kim, D. H. Jung, I.-M. Kim, Y.-I. Kim, J. Kim, S. Ahn and J. Kim. (2016, February). Coil Design and Measurements of Automotive Magnetic Resonant Wireless Charging System for High-Efficiency and Low Magnetic Field Leakage. *Microwave Theory and Techniques. IEEE Transactions on.* Volume: 64 (Issue: 2), 383-400.
- J. Kim, S. Kong, H. Kim, I-S. Suh, N. P. Suh, D-H. Cho, J. Kim and S. Ahn. (2013) Coil Design and Shielding Methods for a Magnetic Resonant Wireless Power Transfer System. *Proceeding of the IEEE.* Volume: 101 (Issue: 6), (pp.1332-1342).
- J.C. Lin. (2013). Wireless Power Transfer for Mobile Applications and Health Effects. *IEEE Antennas Propagat. Mag.*, vol. 55 (no. 2), 250-253.
- J.O. Mur-Miranda, G. Fantì, Y.Feng, K. Omanakuttan, R. Ongie, A. Setjoadi and N. Sharpe. (2010). Wireless Power Transfer using weakly coupled magneto static resonators. In *Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE).* IEEE, 4179-4186.
- N. Y. Kim, K. Y. Kim and C. W. Kim. (2012). Automated frequency tracking system for efficient mid-range magnetic resonance wireless power transfer. *Microwave and Optical Technology Letters.* vol. 54 (no. 6), 1423-1426.
- S. Jeong, Y. Jes Jang and D. Kum. (2015). Economic Analysis of the Dynamic Charging Electric Vehicle. *IEEE Trans. Power Electron.* vol. 30 (no. 11), 6368 -6377).
- S. Y. R. Hui, W. Zhong and C. K. Lee. (2014, September). A critical review of recent progress in mid-range wireless power transfer. *IEEE Transactions on Power Electronics.* Vol. 29 (no. 9), 4500-4511.
- T. C. Beh, M. Kato, T. Imura, S. Oh and Y. Hori. (2013, September). Automated impedance matching system for robust wireless power transfer via magnetic resonance coupling. *IEEE Transactions on Industrial Electronics.* vol.60 (no. 9), 3689-3698.
- T. C. Beh, T. Imura, M. Kato and Y. Hori. (2010). Basic study of improving efficiency of wireless power transfer via magnetic resonance coupling based on impedance matching. In *Industrial Electronics (ISIE), IEEE International Symposium,* 2011-2016.
- Y. Lim, S. Lim and J. Park. (2014, August). An adaptive impedance-matching network based on a novel capacitor Matrix for wireless power transfer. *IEEE Transaction on Power Electronics.* vol.29 (no.8).
- Y. Zhang and Z. Zhao. (2014, March). Frequency-splitting analysis of two-coil resonant wireless power transfer. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters.* vol.13, 400-402.
- Y. Zhang, Z. Zhao and K. Chen. (2014). Frequency-splitting analysis of four-coil resonant wireless power transfer. *IEEE Transactions on Industry Applications,* vol.50 (no. 4), 2436-2445.
- เอกชัย ชัยดี, สุภัลย์ ยะอู่, เอกพจน์ ยศแก้ว และ อนนท์ นำอิน. (พ.ศ.-ส.ศ. 2559). ผลกระทบทางความถี่ที่มีต่อสมรรถนะการส่งกำลังไฟฟ้าไร้สาย. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.* ปีที่ 26 (ฉบับที่ 2), 173-182.

# การศึกษาควบคุมและป้องกันอันตรายในพนักงานที่ปฏิบัติงานกับเครื่องจักรขึ้นรูป

## The Study of Control and Prevention among Operating Molding Machine Workers

ชลลดา พละราช<sup>1\*</sup>, วัชรภรณ์ วงศ์สกุลการุญจน์<sup>2</sup>, พชรกมล กลั่นบุศย์<sup>3</sup>,  
และชนชนก ชาวโพธิ์หลวง<sup>4</sup>

Chonlada Palarach<sup>1\*</sup>, Watcharaporn Wongsakoonkan<sup>2</sup>, Patcharakamon Klunbut<sup>3</sup>,  
and Chonchanok Choawpholuang<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> สาขาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

<sup>1,2,3,4</sup> Department of Occupational Health and Safety, Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat

\* Corresponding author E-mail: chonlada.palarach@gmail.com

### บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อ 1.) จัดลำดับความสำคัญของปัญหาในโรงงาน 2.) นำมาตรการควบคุมและป้องกันอันตรายมาใช้ในพื้นที่ที่มีปัญหา 3.) ประเมินประสิทธิภาพของมาตรการด้านความปลอดภัย ผลจากการจัดลำดับความสำคัญของปัญหาด้านอาชีวอนามัยในโรงงานที่ต้องได้รับการแก้ไขเป็นอันดับที่ 1 คืออุบัติเหตุจากการปฏิบัติงานกับเครื่องจักร จึงได้มีการนำมาตรการควบคุมและป้องกันอันตรายมาใช้ ได้แก่ การอบรมให้ความรู้เรื่องความปลอดภัยในการปฏิบัติงานกับเครื่องจักรขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ และติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากเครื่องจักร และมีการประเมินประสิทธิภาพของมาตรการควบคุมและป้องกันความปลอดภัยโดยให้พนักงานทำแบบวัดความรู้ก่อน-หลังการอบรม ทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากเครื่องจักร และติดตามการเกิดอุบัติเหตุจากการทำงานกับเครื่องจักรเป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่าพนักงานมีคะแนนความรู้ก่อนและหลังการอบรมเฉลี่ย  $4.91 \pm 0.90$  และ  $8.85 \pm 0.70$  คะแนน ตามลำดับ และคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังการอบรมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) จากการติดตามการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากเครื่องจักรก่อนปฏิบัติงานพบว่าอุปกรณ์สามารถใช้งานได้ทุกครั้ง และพนักงานไม่มีการเกิดอุบัติเหตุจากการทำงานกับเครื่องจักรขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ดังนั้นมาตรการควบคุมและป้องกันอันตรายสามารถป้องกันพนักงานจากเครื่องจักรขึ้นรูปได้ อย่างไรก็ตามการเกิดอุบัติเหตุมีปัจจัยอื่นที่มีผลอีก เช่น ปัจจัยส่วนบุคคล ซึ่งอาจนำมาใช้ในการพิจารณาว่าหากนำมาตรการควบคุมและป้องกันอันตรายไปใช้ในพื้นที่อื่น

**คำสำคัญ:** การจัดลำดับความสำคัญของปัญหา การป้องกันอันตราย เครื่องจักรขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

## Abstract

The aims of this study were to 1) set the priority problem in industrial plant, 2) apply the hazard control and prevention program in a workplace, 3) evaluate the effectiveness of the control and prevention program. From the priority problem setting, the results show that accident from molding machine is the problem which should be resolved. The accident from molding machine operating was under controlled by the control and prevention program including safety training for workers who operated molding machine and installed safety guard on molding machine. The effectiveness of safety control and prevention program was evaluated by estimated mean scores from knowledge questionnaire. Safety guard was tested and worker accidental rate was collected for 30 days after installation. The results showed that the average score of pre and post-test were  $4.91 \pm 0.90$  and  $8.85 \pm 0.70$  respectively and the mean scores of pre and post-test was significantly different ( $p < 0.05$ ). The safety guard on molding machine worked effectively. The accident was not occurred within 30 days after administering the safety control and prevention program. Therefore, the program can prevent the accident during the operation of molding machine. However, there are many other factors which may cause the accident such as personal factor and different environmental workplace, to adopt this program to other plant should be strictly concerned.

**Keywords:** problem priority setting, safety guard, molding machine

## บทนำ

โรงงานอุตสาหกรรมในยุคปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีที่ทันสมัยเข้ามาใช้เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าทั้งในแง่ปริมาณและคุณภาพ เมื่อมีการใช้เครื่องจักรมากขึ้นอันตรายอันตรายที่แอบแฝงก็มากตามด้วยซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากสภาพความพร้อมใช้งานของเครื่องมือ ข้อจำกัดด้านความรู้และความสามารถของผู้ปฏิบัติงานที่ ความประมาทของผู้ปฏิบัติงาน เป็นต้น จากสถิติการเกิดอุบัติเหตุจากการทำงานกับเครื่องจักรของสำนักกองทุนเงินทดแทน ปี พ.ศ. 2557 มีพนักงานที่ประสบอุบัติเหตุจำนวน 13,399 คน (13.37%) โดยมีตั้งแต่บาดเจ็บเล็กน้อย สูญเสียอวัยวะ ทูพพลภาพ และเสียชีวิต (1)

โรงงานผลิตแม่พิมพ์ แผนกขึ้นรูปผลิตแห่งหนึ่ง มีเครื่องจักรขึ้นรูปชิ้นงาน จำนวน 24 เครื่อง ในกระบวนการพนักงานต้องเข้าไปปฏิบัติงานภายในเครื่องจักรโดยยืนอยู่ระหว่างกลางของแป้นพิมพ์ทั้งสองข้างเพื่อใส่ชิ้นส่วนประกอบและเก็บชิ้นงาน จากลักษณะการทำงานดังกล่าวพนักงานมีความเสี่ยงต่อการถูกเครื่องจักรทั้งสองด้านหนีบเข้าหากัน จาก

ข้อมูลการเกิดอุบัติเหตุที่ผ่าน พบว่ามีพนักงานถูกเครื่องจักรหนีบขณะนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ และเปลี่ยนแม่พิมพ์ และเกิดจากความประมาทของพนักงาน

การตระหนักถึงความสำคัญของความปลอดภัยในการทำงานเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากหากเกิดอันตรายขึ้นแล้วจะส่งผลกระทบต่อตนเอง ครอบครัว สถานประกอบการ และบางครั้งขยายไปยังพื้นที่โดยรอบโรงงาน ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อควบคุมและป้องกันอันตรายในพื้นที่จุดเสี่ยงที่สุดของโรงงานผลิตแม่พิมพ์ โดยใช้วิธีการจัดลำดับความสำคัญของปัญหาในโรงงานเพื่อทราบประเด็นที่ต้องแก้ไข หลังจากนั้นจะมีการนำมาตรการควบคุมและป้องกันที่เหมาะสมมาใช้แก้ปัญหา ตามด้วยการประเมินผลของมาตรการควบคุมและป้องกันอันตราย

## วัตถุประสงค์

การศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อ 1.) จัดลำดับความสำคัญของปัญหาในโรงงานผลิตแม่พิมพ์ 2.) นำมาตรการควบคุมและป้องกันอันตรายมาใช้ในพื้นที่ที่มี

ความสำคัญต้องแก้ปัญหาอันดับแรก 3.) ประเมินประสิทธิภาพของมาตรการด้านความปลอดภัย

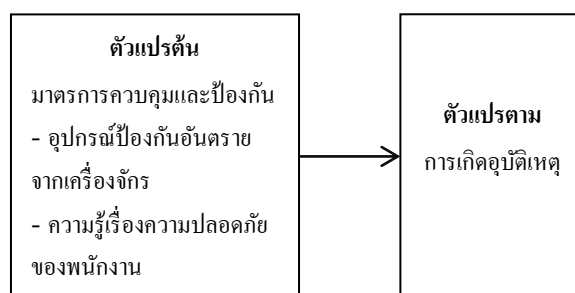
### แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีโดมิโนของการเกิดอุบัติเหตุ ของ H.W. Heinrich ได้อธิบายสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุเสมือนโดมิโน 5 ตัวเรียงกัน ได้แก่ 1.) ภูมิหลังหรือสภาพแวดล้อมทางสังคมของบุคคล (Social Environment or Background) 2.) ความบกพร่องของบุคคล (Defects of Person) 3.) การกระทำและ/หรือสภาพการณ์ที่ไม่ปลอดภัย (Unsafe Acts/Unsafe Conditions) 4.) อุบัติเหตุ (Accident) และ 5.) การบาดเจ็บหรือความสูญเสีย (Injury/Damages) เมื่อโดมิโนตัวที่หนึ่งล้มตัวที่อยู่ถัดไปก็จะล้มตามไปด้วย วิธีการป้องกันการเกิดอุบัติเหตุที่สามารถทำได้โดยการกำจัดโดมิโนตัวที่ 3 การกระทำและสภาพการณ์ที่ไม่ปลอดภัย เพื่อป้องกันไม่ให้โดมิโนตัวที่เหลือล้มซึ่งจะทำให้เกิดการบาดเจ็บและความสูญเสียตามมา สำหรับการกำจัดโดมิโนตัวที่

3 สามารถนำมาเป็นแนวทางในการปฏิบัติในโรงงานอุตสาหกรรมในลักษณะการอบรมให้ความรู้ในการปฏิบัติงานแก่พนักงาน การปรับเปลี่ยนสภาพการทำงานที่เป็นอันตราย เช่น การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากเครื่องจักร (2,3)

หลักการควบคุมและป้องกันอันตรายตามหลักสุขศาสตร์อุตสาหกรรมได้แบ่งออกเป็น 3 วิธี ได้แก่ 1.) การควบคุมและป้องกันอันตรายที่แหล่งกำเนิด (source) เช่น การแยกกระบวนการผลิตที่เป็นอันตรายออกไป การเปลี่ยนกระบวนการผลิต การใช้สารเคมีที่มีความเป็นพิษน้อยแทนสารที่มีความเป็นพิษมาก เป็นต้น 2.) การควบคุมและป้องกันอันตรายที่ทางผ่าน (path) ได้แก่ การใช้ระบบระบายอากาศแบบทั่วไป การทำความสะอาดพื้นที่ปฏิบัติงาน การเพิ่มระยะห่างระหว่างผู้ปฏิบัติงานและเครื่องจักร เป็นต้น และ 3.) การควบคุมและป้องกันอันตรายที่ตัวบุคคล (receiver) ได้แก่ การอบรมให้ความรู้แก่ผู้ปฏิบัติงาน (4)

### กรอบแนวคิดในการวิจัย



### วิธีการวิจัย

1. การจัดลำดับความสำคัญของปัญหา

การจัดลำดับความสำคัญของปัญหาโดยประยุกต์จากหลักการของ จอห์น แชนลอน ซึ่งพิจารณาจากขนาดของปัญหา ความรุนแรงของปัญหา โอกาสที่จะเกิดปัญหา และความเป็นไปได้ในการแก้ปัญหา สำหรับเกณฑ์การให้คะแนนจะอยู่ในช่วง 1-4 คะแนน

ผลกระทบหรือผลเสียจะมากขึ้นตามคะแนน ในการจัดลำดับความสำคัญของปัญหาหาได้จากการนำคะแนนขนาดของปัญหาคูณค่าน้ำหนัก + คะแนนความรุนแรงของปัญหาคูณค่าน้ำหนัก + คะแนนโอกาสที่จะเกิดปัญหาคูณค่าน้ำหนัก + คะแนนความเป็นไปได้ในการแก้ปัญหาคูณค่าน้ำหนัก ประเด็น

ปัญหาใดที่มีคะแนนรวมมากที่สุดหมายความว่ามีความสำคัญมากต้องได้รับการแก้ไขเป็นอันดับแรก

2. มาตรการควบคุมและป้องกันอันตรายจากเครื่องจักร

การศึกษานี้มีมาตรการควบคุมและป้องกันอันตราย 2 วิธี ได้แก่ การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันอันตราย และการอบรมให้ความรู้เรื่องความปลอดภัยในการทำงานกับเครื่องจักร โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.1 การออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากเครื่องจักร

2.1.1 วิศวกรรมการระหว่างแม่พิมพ์ เพื่อกำหนดระยะปลอดภัย

2.1.2 จัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ เช่น เหล็กเพลาลูกกลิ้ง น็อต เป็นต้น และประกอบอุปกรณ์เข้าด้วยกัน

2.1.3 ติดตั้งอุปกรณ์เข้ากับเครื่องจักรให้มีความแข็งแรงต่อการใช้งาน

2.1.4 ทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์โดยใช้แรงดันลมว่าทำให้แท่งเหล็กสามารถเคลื่อนที่ได้ตามต้องการหรือไม่ และทดสอบว่าแท่งเหล็กสามารถรับแรงค้ำในระยะเวลาปลอดภัยได้หรือไม่

2.2 การอบรมให้ความรู้ด้านความปลอดภัยแก่พนักงาน

การอบรมพนักงาน จำนวน 34 คน เพื่อให้ความรู้เกี่ยวกับการปฏิบัติงานกับเครื่องจักรให้ถูกต้องตามขั้นตอนเพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อพนักงาน

3. การประเมินประสิทธิภาพของมาตรการควบคุมและป้องกันอันตรายจากเครื่องจักร

3.1 การประเมินคะแนนความรู้เรื่องความปลอดภัยในการปฏิบัติงานกับเครื่องจักร

ประเมินโดยให้พนักงานทำแบบทดสอบความรู้ในการปฏิบัติงานให้เกิดความปลอดภัยก่อนการอบรมจำนวน 10 ข้อ หลังการอบรมจะให้พนักงานทำแบบทดสอบอีกครั้งเพื่อประเมินเพื่อประเมินว่าพนักงานมีความเข้าใจในขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง คะแนนก่อน-หลังการอบรมจะนำไปทดสอบความแตกต่างทางสถิติด้วย Pair t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95

3.2 ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากเครื่องจักรทุกครั้งก่อนเริ่มใช้งาน และติดตามผลการเกิดอุบัติเหตุของพนักงานที่ปฏิบัติงานกับเครื่องจักรระยะเวลา 30 วัน

### ผลการวิจัย

1. การจัดลำดับความสำคัญของปัญหา

จากการจัดลำดับความสำคัญของปัญหาภายในโรงงาน พบว่าปัญหาที่มีความสำคัญเป็นอันดับ 1 คือ อุบัติเหตุจากการทำงานกับเครื่องจักร (28 คะแนน) โดยมีคะแนนขนาดของปัญหา ความรุนแรงของปัญหา โอกาสที่จะเกิดปัญหา และความเป็นไปได้ในการแก้ปัญหา เป็น 6, 12, 4 และ 6 คะแนน ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ลำดับความสำคัญของปัญหาในโรงงาน

ลำดับความสำคัญของปัญหา	ปัญหา	รวมคะแนน
1	อุบัติเหตุจากการทำงานกับเครื่องจักร	28
2	อุบัติเหตุจากการถูกไอน้ำร้อนจากเครื่องจักร	26
3	ความร้อนจากเครื่องจักร	25
4	เสียงดังจากเครื่องจักร	23
5	อุบัติเหตุจากการชน กระแทก	21
6	อุบัติเหตุจากการถูกมีดตัดเตอร์บาด	19
7	อุบัติเหตุจากของตกใส่	19
8	อุบัติเหตุจากการชนย้าย	19



2. การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากเครื่องจักร

ระบบการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากเครื่องจักร เป็นระบบนิวเมติกส์ โดยมีกลไกการทำงานคือเมื่อประตูแม่พิมพ์เปิดออก ตัวอุปกรณ์ป้องกันจะเลื่อนออกจากฐานไปกั้นค้ำที่ขอบของเครื่องจักร และเมื่อประตูของเครื่องจักรปิด ตัวอุปกรณ์จะเลื่อนกลับมาที่ฐานเหมือนเดิมเพื่อเปิดทางให้เครื่องจักรสามารถเลื่อนปิดได้

ก่อนที่พนักงานจะปฏิบัติงานจริงจะมีการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจาก

เครื่องจักรก่อนทุกครั้งโดยมีขั้นตอนดังนี้ 1.) กดปุ่ม Emergency 2.) เปิดประตูเครื่องจักรออก 3.) สังเกตตัวอุปกรณ์ป้องกันอันตรายว่าเลื่อนออกจากฐานเพื่อไปทำหน้าที่ค้ำยันเครื่องจักรไม่ให้ปิดเข้ามาได้หรือไม่ 4.) ปิดประตูเครื่องจักร และ 5.) สังเกตว่าตัวอุปกรณ์สามารถเลื่อนกลับมาตำแหน่งเดิมหรือไม่ ผลจากการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ระยะเวลา 30 วัน พบว่าอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากเครื่องจักรสามารถทำงานได้ปกติทุกครั้ง



ภาพที่ 1 เครื่องจักรที่ยังไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันอันตราย



ภาพที่ 2 เครื่องจักรที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันอันตราย

3. การให้ความรู้ด้านความปลอดภัยแก่พนักงาน

จากการอบรมเรื่องความปลอดภัยในการปฏิบัติงานกับเครื่องจักรให้แก่พนักงานแผนกขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ จำนวน 34 คน และมีการประเมินความรู้ของพนักงานโดยใช้แบบวัดความรู้ด้านความปลอดภัย

ก่อนและหลังการอบรม พบว่า ก่อนและหลังการอบรมพนักงานมีคะแนนเฉลี่ย  $4.91 \pm 0.90$  และ  $8.85 \pm 0.70$  คะแนน ตามลำดับ เมื่อทดสอบความแตกต่างทางสถิติด้วย Pair t-test พบว่าก่อนและหลังการอบรมพนักงานมีคะแนนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.005$ )

ตารางที่ 2 คะแนนก่อน-หลังการอบรมของพนักงาน

	ต่ำสุด-สูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	p-value
ก่อนอบรม	3 - 6	4.91	0.90	0.000*
หลังอบรม	8-10	8.85	0.70	

\* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 ( $p < 0.005$ )

จากการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากเครื่องจักรทุกครั้งก่อนเริ่มใช้งานพบว่าอุปกรณ์สามารถทำงานได้ปกติและสามารถป้องกันอันตรายให้แก่พนักงานได้ทุกครั้ง และการติดตามผลการเกิดอุบัติเหตุของพนักงานที่ปฏิบัติงานกับเครื่องจักรระยะเวลา 30 วัน พบว่าพนักงานไม่ได้รับอุบัติเหตุหรือการบาดเจ็บในระหว่างการปฏิบัติงานกับเครื่องจักรขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

### อภิปรายผลการวิจัย

มาตรการควบคุมและป้องกันอันตรายจากเครื่องจักรขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ซึ่งประกอบด้วย การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากเครื่องจักรและการให้ความรู้ด้านความปลอดภัยแก่พนักงาน จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ป้องกันอันตรายสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และหลังจากการอบรมพนักงานมีความรู้ในการปฏิบัติงานให้เกิดความปลอดภัยมากขึ้น จากการติดตามการเกิดอุบัติเหตุของพนักงานระยะเวลา 1 เดือน ไม่พบการเกิดอุบัติเหตุจากเครื่องจักร ดังนั้นมาตรการควบคุมและป้องกันอันตรายจากเครื่องจักรสามารถป้องกันการเกิดอุบัติเหตุได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากเครื่องจักรถือเป็นการแก้ไขที่ต้นเหตุซึ่งเป็นไปตามหลักการของวิทยาศาสตร์อุตสาหกรรมที่ถือเป็นการควบคุมและป้องกันที่มีประสิทธิภาพที่สุด และตามทฤษฎีโดมิโนของการเกิด

อุบัติเหตุ การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากเครื่องจักรซึ่งเปรียบเสมือนเป็นการกำจัดโดมิโนตัวที่ 3 คือ สภาพการที่ไม่ปลอดภัยนั้นก็คือสภาพของเครื่องจักรที่ยังไม่มีความปลอดภัยต่อการใช้งาน นอกจากนี้ยังมีการให้ความรู้เรื่องความปลอดภัยแก่พนักงานควบคู่ไปด้วย จึงยิ่งส่งเสริมให้มาตรการมีประสิทธิภาพมากขึ้นอีก

### สรุป

ผลจากการศึกษาพบว่ามาตรการควบคุมและป้องกันอันตรายจากเครื่องจักรกล่าวคือการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันอันตรายจากเครื่องจักรควบคู่กับการอบรมให้ความรู้เรื่องความปลอดภัยในการปฏิบัติงานแก่พนักงาน มีประสิทธิภาพที่สามารถป้องกันอันตรายให้กับพนักงานในระดับหนึ่ง กรณีการนำมาตรการดังกล่าวไปใช้ในโรงงานอื่นหรือแผนกอื่นอาจจะยังไม่เหมาะสม เนื่องจากมีสภาวะบางอย่างที่ไม่เหมือนกัน เช่น ความสามารถในการรับรู้ข้อมูลของแต่ละคนมีความแตกต่างกัน ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมการทำงานที่เปลี่ยนไป ดังนั้นอาจจะต้องมีการศึกษาปัจจัยเหล่านี้เพิ่มเติมด้วย

### ข้อเสนอแนะ

การศึกษาต่อไปควรเพิ่มระยะเวลาในการติดตามการเกิดอุบัติเหตุให้นานขึ้น และพัฒนาอุปกรณ์ป้องกันอันตรายเพื่อลดแรงกระแทกจากเครื่องจักรขึ้นรูป

## เอกสารอ้างอิง

สืบค้น, จาก <http://www.sso.go.th/wpr/uploads/uploadImages/file/AnnualReportBook2557.pdf>.

พรพิมล กองทิพย์. (2545). **สุขศาสตร์อุตสาหกรรม**

**ตระหนัก ประเมิน ควบคุม**. พิมพ์ครั้งที่ 2.

กรุงเทพฯ : นำอักษรการพิมพ์.

วิทยา อยู่สุข. (2552). **อาชีวอนามัย และความปลอดภัย**.

พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : หจก. เบสท์กราฟฟิค

เพรส.

สำนักงานกองทุนเงินทดแทน. (2557). **รายงานประจำปี 2557**. [ออนไลน์].

อนามัย (ธีรวิโรจน์) เทศกะทีก. (2553). **อาชีวอนามัย**

**และความปลอดภัย**. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ :

โอเดียนสโตร์.

การศึกษาปัญหาอาชีพอนามัยและความปลอดภัยของเกษตรกรพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช  
กรณีศึกษา: ตำบลชีน้ำร้าย อำเภออินทร์บุรี จังหวัดสิงห์บุรี  
The Problems of Occupational Health and Safety in Agricultural  
Sprayer Workers Case Study: Cheenamrai Sub District,  
Inburi District, Singburi Province

วัชรารณณ์ วงศ์สกุลกาญจน์<sup>1\*</sup> และบุษยา จูงาม<sup>2</sup>  
Watcharaporn Wongsakoonkan<sup>1\*</sup> and Busaya Ju-ngam<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> หลักสูตรอาชีพอนามัยและความปลอดภัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์  
ในพระบรมราชูปถัมภ์

<sup>1,2</sup> Department of Occupational Health and Safety Faculty of Science and Technology  
Valaya Alongkorn Rajabhat University

\*Corresponding author E-mail: watcharaporn@vru.ac.th

## บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัญหาอาชีพอนามัยและความปลอดภัยด้านสารเคมีของเกษตรกรพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ประชากรที่ใช้ในการศึกษา คือ เกษตรกรพ่นสารเคมีในตำบลชีน้ำร้าย อำเภออินทร์บุรี จังหวัดสิงห์บุรี ที่ยินยอมเข้าร่วมการวิจัยจำนวน 53 ราย เครื่องมือที่ใช้เป็นแบบสัมภาษณ์ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 เป็นแบบสัมภาษณ์ข้อมูลส่วนบุคคล ส่วนที่ 2 เป็นแบบสัมภาษณ์พฤติกรรมความปลอดภัยของเกษตรกรพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ร่วมกับการตรวจหาระดับเอนไซม์โคลีนเอสเตอเรสในเลือดของเกษตรกร วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ผลการวิจัยพบว่า ผลการประเมินการปฏิบัติตนขณะทำงานของเกษตรกรพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชมีระดับร้อยละ 75.5 ผลการตรวจวัดระดับเอนไซม์โคลีนเอสเตอเรสในเลือดของเกษตรกรพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ส่วนใหญ่อยู่ในระดับมีความเสี่ยง จำนวน 41 คน ร้อยละ 77.4 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งนี้ หน่วยงานภาครัฐและหน่วยงานอื่นที่เกี่ยวข้องควรให้ความรู้เกี่ยวกับการใช้สารเคมีในการกำจัดศัตรูพืชและรณรงค์ให้เกษตรกรหันไปใช้สารสกัดจากธรรมชาติซึ่งจะปลอดภัยกับสุขภาพและสิ่งแวดล้อม

**คำสำคัญ:** อาชีพอนามัยและความปลอดภัย, เกษตรกรพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช

## Abstract

The objectives of the research was to study problems of Occupational Health and Safety in agricultural sprayer workers. The population was 53 sprayer workers in Cheenamrai sub district, Inburi district, Singburi province. The self - administered included personal data and safety behavior of agricultural sprayer workers and blood samples were collected for analysis of the cholinesterase level in blood. The collected data was analyzed by using descriptive statistic. The averages scores of pesticide using behavior were good level (75.5%). The result of cholinesterase level in blood showed that most of Agricultural sprayer workers have a risk cholinesterase activity, 41 cases (77.4%). The recommendation from this study is that the involved governmental officials and other officials should cooperate in disseminating other knowledge about of agricultural chemicals use and encourage farmers to use natural extracts which could be used safely to health and environment.

**Keywords:** Occupational Health and Safety, Agricultural sprayer workers

## บทนำ

การสัมผัสสารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพทั้งเฉียบพลันและเรื้อรังสามารถเข้าสู่ร่างกายได้หลายทางทั้งการสัมผัสทางผิวหนัง การสูดหายใจและการรับประทานอาหารและน้ำดื่มที่มีสารเคมีปนเปื้อน ซึ่งพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ไม่ปลอดภัยนั้นทำให้เกษตรกรมีความเสี่ยงจากการได้รับอันตรายจากสารเคมีเพิ่มขึ้นสำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม (2557)

ลักษณะทางเศรษฐกิจของประชาชน ตำบล ชีน้ำราย อำเภอลำลูกเกด จังหวัดสิงห์บุรี ประชาชนส่วนใหญ่ทำอาชีพเกษตรกรรม โดยมีพื้นที่ทั้งหมด จำนวน 21,099 ไร่ โดยแบ่งเป็นพื้นที่ทำการเกษตรประเภททำนา จำนวน 12,450 ไร่ รองลงมาคือ ทำสวน จำนวน 580 ไร่ ทำไร่ จำนวน 360 ไร่ และอื่นๆ จำนวน 90 ไร่ ส่วนที่เหลือเป็นพื้นที่อยู่อาศัย จำนวน 6,200 ไร่ ข้อมูลการปลูกข้าวนาปีและนาปล้งของเกษตรกร ตำบลชีน้ำรายใน พ.ศ. 2555 - 2556 พบว่า การปลูกข้าวนาปี จำนวน 140 ครัวเรือน เกษตรกรส่วนใหญ่มีการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชโดยไม่มี การป้องกันอันตรายจากสารเคมีอย่างถูกต้อง สำนักงานเกษตรอำเภอลำลูกเกด (2557)

ผู้วิจัยจึงเห็นความสำคัญในการศึกษาปัญหาอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในด้านสารเคมี โดยเฉพาะกลุ่มเกษตรกรผู้ฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ซึ่งเป็นผู้สัมผัสความเสี่ยงเป็นอันดับแรก เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในการประกอบอาชีพของเกษตรกรพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชอย่างยั่งยืน ลดการเกิดโรคและการเจ็บป่วยอันเกิดจากการประกอบอาชีพเกษตรกรรมต่อไป

## วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาปัญหาอาชีวอนามัยและความปลอดภัยด้านสารเคมีของเกษตรกรพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ตำบล ชีน้ำราย อำเภอลำลูกเกด จังหวัดสิงห์บุรี

## แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### การรับสัมผัสสารเคมี

ปัตพงษ์ เกษสมบุรณ์ (2546) ศึกษาอันตรายที่เกิดจากการรับสัมผัสสารเคมีพบว่า ขึ้นอยู่กับขนาดของการรับสัมผัส ความถี่ของการรับสัมผัส และระยะเวลาที่รับสัมผัส ซึ่งสารเคมีเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง คือ ทางปาก ทางหายใจ และทางผิวหนัง และเกิดผลไม่พึงประสงค์ต่อสุขภาพ 2 แบบ คือ

1. พิษเฉียบพลัน คือ การได้รับพิษในปริมาณที่สูงมากในระยะเวลาน้อยแล้วส่งผลให้เกิดอาการเฉียบพลันขึ้น อาการแสดงได้แก่ อาการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดเกร็งหายใจขัดแน่นหน้าอก น้ำลายไหล ผิดปกติ หนึ่งตากระตุก ระบายเคือง ผื่นแดง กล้ามเนื้ออ่อนแรง เหนื่อยง่าย หัวใจเต้นช้า เวียนศีรษะ ปวดศีรษะ มือสั่น กล้ามเนื้อกระตุก เดินโซเซ ชัก หมดสติ และหากได้รับในปริมาณมากอาจทำให้เสียชีวิต ลักษณะของอาการแสดงจะแตกต่างกันไปตามชนิดของสารเคมี

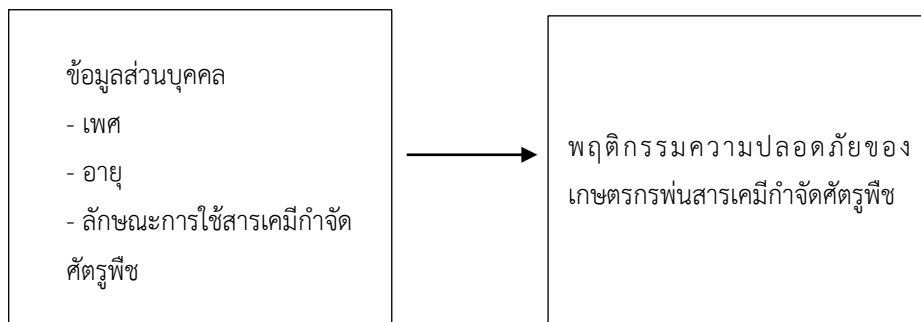
2. พิษเรื้อรังหรือการเกิดพิษในระยะยาว คือ ความเป็นพิษจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่เข้าสู่ร่างกายคนหรือสัตว์ภายหลังจากรับสารเคมีเข้าไปในระยะหนึ่งหรือช่วงเวลาหนึ่ง แต่ระดับความเป็นพิษในเลือดไม่สูงพอที่จะทำให้เกิดพิษแบบเฉียบพลัน หรือการที่พิษของสารเคมีอยู่ในร่างกายโดยไม่ถูกเปลี่ยนหรือถูกขับออกจากร่างกาย แต่ถูกเก็บสะสมในชั้นไขมัน และอวัยวะอื่นๆ ในร่างกาย เช่น ตับ, ไต,สมอง จนกระทั่งร่างกายไม่สามารถทำงานได้ปกติ ปาลีรัฐ อักษณศรี (2548) พิษของสารเคมีจึงทำให้เกิดการเจ็บป่วย บางครั้งสารเคมีเหล่านี้จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลง

โครงสร้างการแบ่งตัวและการเจริญเติบโตของเซลล์ ซึ่งเป็นสาเหตุของเกิดมะเร็งในอวัยวะต่างๆ หรือถ่ายทอดทางพันธุกรรมไปยังทารกในครรภ์จึงทำให้เด็กเกิดความผิดปกติหรือพิการได้

### ความเป็นพิษของสารเคมีมีผลต่อสุขภาพของเกษตรกร

สุนิสา ถาน้อย, ธงชัย หน่อแก้วและเสมอ ถาน้อย (2550) พบว่า ความเป็นพิษที่ได้จากสารเคมีทางการกำจัดศัตรูพืชนั้นส่วนมากเกิดจากการที่สารเคมีกำจัดศัตรูพืชนั้น เกิดจากการที่เกษตรกรทำหกรดตัวและเสื้อผ้าระหว่างผสมสารเคมี การปลิวฟุ้งกระจายระหว่างฉีดพ่น และการเก็บผลผลิต สารเคมีเหล่านี้จะผ่านผิวหนังเข้าสู่ร่างกาย และการหายใจ รวมถึงการเข้าสู่ปากทั้งโดยตั้งใจและไม่ตั้งใจ เช่น การสูบบุหรี่ ขณะพ่นสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชเป็นสาเหตุที่ทำให้ DNA ของเกษตรกรถูกทำลาย สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชจะผ่านเข้าสู่ร่างกายของเกษตรกรทุกรายภายหลังการฉีดพ่น ระยะเวลาในการสะสมหรือกำจัดออกจากร่างกายจะแตกต่างกันตามชนิดของประกอบของสารเคมีแต่ละชนิด

### กรอบแนวคิดในการทำวิจัย



### วิธีการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการศึกษา คือ เกษตรกรพ่นสารเคมีในตำบลชินน้ำราย อำเภออินทร์บุรี จังหวัดสิงห์บุรี ที่ยินยอมเข้าร่วมการวิจัยจำนวน 53 ราย

เครื่องมือที่ใช้เป็นแบบสัมภาษณ์ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 เป็นแบบสัมภาษณ์ข้อมูลส่วนบุคคล

ส่วนที่ 2 แบบสัมภาษณ์พฤติกรรมความปลอดภัยของเกษตรกรพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ร่วมกับการตรวจหาระดับเอนไซม์โคลีนเอสเตอเรสในเลือดของเกษตรกร

ข้อมูลพฤติกรรมความปลอดภัยมี 14 ข้อ คำถามเป็นแบบให้เลือกตอบ ประเมินพฤติกรรมโดยพิจารณาจากคะแนน ดังนี้

“ใช่ทุกครั้ง” หมายถึง เมื่อมีเหตุการณ์ตามข้อความ ผู้ตอบมีพฤติกรรมตามข้อความนั้นๆ ทุกครั้ง ได้คะแนน 3 คะแนน

“ใช่เป็นบางครั้ง” หมายถึง เมื่อมีเหตุการณ์ตามข้อความ ผู้ตอบมีพฤติกรรมตามข้อความนั้นๆ บางครั้ง ได้คะแนน 2 คะแนน

“ไม่ใช่” หมายถึง เมื่อมีเหตุการณ์ตามข้อความ ผู้ตอบไม่เคยมีพฤติกรรมตามข้อความนั้นๆ เลยได้คะแนน 1 คะแนน

เกณฑ์การตัดสินแบ่งระดับคะแนนใช้แบบอิงเกณฑ์ของ Bloom et al (1971) ดังนี้

คะแนนเท่ากับหรือมากกว่าร้อยละ 80 มีพฤติกรรมระดับดี

คะแนนตั้งแต่ร้อยละ 60-79 มีพฤติกรรมระดับปานกลาง

คะแนนน้อยกว่าร้อยละ 60 มีพฤติกรรมระดับไม่ดี

ประชุมประชาคมเพื่อชี้แจงวัตถุประสงค์และการดำเนินการวิจัยแบบมีส่วนร่วม รวมถึงสร้างการมีส่วนร่วมในการออกแบบเครื่องมือและวิธีการในการเก็บรวบรวมข้อมูล จากนั้นสัมภาษณ์ภาวะสุขภาพเจ็บป่วยจากการทำงานและพฤติกรรมความปลอดภัยของเกษตรกรพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ประเมินความเสี่ยงการสัมผัสสารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชโดยการตรวจหาระดับเอนไซม์โคลีนเอสเตอเรสในเลือดของเกษตรกร ซึ่งได้รับความร่วมมือจากโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบลในการเก็บรวบรวมข้อมูลในเรื่องระดับเอนไซม์โคลีนเอสเตอเรส วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้เพื่อสรุป

ลักษณะและระดับความเสี่ยงของปัญหาอาชีวอนามัยและความปลอดภัยของเกษตรกรพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช โดยใช้ค่าเฉลี่ย ร้อยละและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผู้วิจัยดำเนินการสร้างเครื่องมือซึ่งเป็นแบบสัมภาษณ์โดยอาศัยข้อมูลจากเอกสาร ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เมื่อสร้างเครื่องมือเสร็จได้ตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา คือ สามารถวัดในสิ่งที่ต้องการวัด โดยการให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ตรวจสอบและการคำนวณหาค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบสัมภาษณ์ (IOC) โดยได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.75 และได้นำไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คน ซึ่งเป็นเกษตรกรจังหวัดพระนครศรีอยุธยาซึ่งมีลักษณะการทำงานและ สภาพแวดล้อมคล้ายคลึงกับกลุ่มตัวอย่างที่ทำการวิจัย เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคเท่ากับ 0.76

## ผลการวิจัย

ข้อมูลทั่วไปของเกษตรกรพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ตำบลชีน้ำร้าย อำเภออินทร์บุรี จังหวัดสิงห์บุรี จำนวน 53 คน พบว่าเป็นเพศชาย ร้อยละ 69.8 เพศหญิงร้อยละ 30.2 อายุเฉลี่ย 49 ปี (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 9.5)

การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช พบว่า ลักษณะการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช ส่วนใหญ่มีลักษณะงาน 2 ลักษณะขึ้นไป เป็นผู้ฉีดพ่นสารเคมีร่วมกับการผสมสารเคมี ร้อยละ 41.5 รองลงมา เป็นผู้ฉีดพ่นเองหรือรับจ้างฉีดพ่นร้อยละ 26.4

พฤติกรรมความปลอดภัยของเกษตรกรพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชอยู่ในระดับดี ส่วนใหญ่ใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชทุกครั้งร้อยละ 84.9 ไม่ใช้ถังบรรจุสารเคมีที่รั่วซึมหรือปิดไม่สนิททุกครั้งร้อยละ 94.3 ส่วนใหญ่ไม่ได้รับสัมผัสสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในขณะที่ทำงานร้อยละ 90.6 เสื้อผ้าไม่เปียกชุ่มสารเคมีกำจัดศัตรูพืช

ร้อยละ 56.6 มีอาการผื่นคันหลังจากการใช้สารเคมี  
กำจัดศัตรูพืชเป็นบางครั้งร้อยละ 47.2 ไม่สูบบุหรี่/ยา  
เส้นร้อยละ 86.8 รับประทานอาหาร/ดื่มน้ำในบริเวณ  
ที่ทำงานทุกครั้งร้อยละ 71.7 ไม่ดื่มเหล้า/เบียร์/  
เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ในบริเวณที่ทำงานร้อยละ 90.3  
อ่านฉลากที่ภาชนะบรรจุทุกครั้งร้อยละ 94.3 สวมถุง  
มือยางป้องกันสารเคมีทุกครั้งร้อยละ 66.0 สวมใส่

รองเท้าบูทหรือรองเท้าที่ปิดมิดชิดกันสารเคมีทุกครั้ง  
ร้อยละ 88.6 ล้างมือทุกครั้งก่อนพักทานอาหารหรือ  
ดื่มน้ำร้อยละ 86.8 หลังเลิกการฉีดพ่นเปลี่ยนเสื้อผ้าที่  
เปื้อนสารเคมีทันที ณ จุดทำงานบางครั้งร้อยละ 52.8  
เมื่อเสื้อผ้าเปียกชุ่มสารเคมีไม่ได้อาบน้ำทำความสะอาด  
ร่างกายหลังเลิกงานทันที ณ บริเวณที่ทำงาน  
ร้อยละ 84.9 ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พฤติกรรมความปลอดภัยของเกษตรกรพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช

พฤติกรรม กรรมความปลอดภัย	ไม่ใช่		ใช่เป็นบางครั้ง		ใช่ทุกครั้ง	
	จำ นวน (คน)	ร้อย ละ	จำ นวน (คน)	ร้อย ละ	จำ นวน (คน)	ร้อย ละ
ใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชในการฉีดพ่น	0	0.0	8	15.1	45	84.9
ใช้ถังบรรจุสารเคมีที่รั่วซึม หรือปิดไม่สนิท	50	94.3	3	5.7	0	0.0
ได้รับสัมผัสสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในขณะที่ทำงาน	48	90.6	5	9.4	0	0.0
ขณะทำงานเสื้อผ้าเปียกชุ่มสารเคมีกำจัดศัตรูพืช	30	56.6	20	37.7	3	5.7
มีอาการผื่นคันหลังจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช	15	28.3	25	47.2	13	24.5
ขณะทำงานท่านสูบบุหรี่/ยาเส้น	46	86.8	4	7.5	3	5.7
รับประทานอาหาร/ดื่มน้ำในบริเวณที่ทำงาน	2	3.8	13	24.5	38	71.7
ดื่มเหล้า/เบียร์/เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ในบริเวณที่ทำงาน	50	94.3	3	5.7	0	0.0
อ่านฉลากที่ภาชนะบรรจุ	1	1.9	2	3.8	50	94.3
สวมถุงมือยางป้องกันสารเคมี	3	5.7	15	28.3	35	66.0
สวมใส่รองเท้าบูทหรือรองเท้าที่ปิดมิดชิดกันสารเคมี	3	5.7	3	5.7	47	88.6
ล้างมือทุกครั้งก่อนพักทานอาหารหรือดื่มน้ำ	0	0.0	7	13.2	46	86.8
หลังเลิกการฉีดพ่นเปลี่ยนเสื้อผ้าที่เปื้อนสารเคมีทันที ณ จุดทำงาน	25	47.2	28	52.8	0	0.0
เมื่อเสื้อผ้าเปียกชุ่มสารเคมี อาบน้ำทำความสะอาด ร่างกายหลังเลิกงานทันที ณ บริเวณที่ทำงาน	45	84.9	8	15.1	0	0.0

จากผลการศึกษาดังกล่าว เมื่อวิเคราะห์และแบ่ง  
ระดับพฤติกรรมในการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชของ  
กลุ่มตัวอย่าง ปรากฏว่า กลุ่มตัวอย่างที่ทำการศึกษ  
ส่วนใหญ่มีพฤติกรรมความปลอดภัยระดับดี คิดเป็น

ร้อยละ 75.5 รองลงมาในกลุ่มตัวอย่างมีการปฏิบัติตน  
ปานกลาง และปฏิบัติตนไม่ดี มีเพียงร้อยละ 21.8  
และร้อยละ 2.7 ตามลำดับ ดังตารางที่ 2



**ตารางที่ 2** พฤติกรรมความปลอดภัยในการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชจำแนกตามระดับ

พฤติกรรมความปลอดภัย	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ระดับดี	40	75.5
ระดับปานกลาง	12	22.6
ระดับไม่ดี	1	1.9
<b>รวม</b>	<b>53</b>	<b>100.0</b>

ผลการตรวจวัดระดับเอนไซม์โคลีนเอสเตอเรสในเลือด ของเกษตรกรพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชจำนวน 53 คน พบว่า มีความเสี่ยงร้อยละ 77.4 ซึ่ง

อาจส่งผลให้เกิดอาการผิดปกติต่อร่างกายเกษตรกรได้ หากไม่ได้รับการดูแล ดังตารางที่ 3

**ตารางที่ 3** ผลการตรวจวัดระดับเอนไซม์โคลีนเอสเตอเรสในเลือดของเกษตรกรพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช

ผลการวัดระดับเอนไซม์โคลีนเอสเตอเรส	แปลความหมาย	จำนวน (คน)	ร้อยละ
น้อยกว่า 75 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร	ไม่ปลอดภัย	8	15.1
มากกว่าหรือเท่ากับ 75 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร	มีความเสี่ยง	41	77.4
มากกว่าหรือเท่ากับ 87.5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร	ปลอดภัย	2	3.8
มากกว่าหรือเท่ากับ 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร	ปกติ	2	3.8

**อภิปรายผลการวิจัย**

จากการสัมภาษณ์เกษตรกรพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ตำบลชีน้ำร้าย อำเภออินทร์บุรี จังหวัดสิงห์บุรี จำนวน 53 คน ข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลที่สะท้อนให้เห็นถึงปัญหาด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในเกษตรกรพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช จากการศึกษาจากการประเมินพฤติกรรมความปลอดภัยในการทำงานของตนเองโดยเกษตรกรพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชนั้น จะเห็นได้ว่า เกษตรกรส่วนใหญ่ประเมินพฤติกรรมความปลอดภัยในการทำงานของตนอยู่ในระดับดี แต่อาจไม่ได้ตระหนักเรื่องความปลอดภัยในการปฏิบัติตามที่ประเมิน ซึ่งอาจเป็นเพราะความไม่สนใจ ไม่ใส่ใจในการป้องกันตนเองจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ผลการตรวจวัดระดับ

เอนไซม์โคลีนเอสเตอเรสในเลือด มีความเสี่ยงร้อยละ 77.4 ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดอาการผิดปกติต่อร่างกายเกษตรกรได้หากไม่ได้รับการดูแล

จากการศึกษาพบว่า พฤติกรรมความปลอดภัยในขณะที่ทำงานอยู่ในระดับดี แต่เมื่อประเมินผลจากการตรวจวัดระดับเอนไซม์โคลีนเอสเตอเรสในเลือดพบว่า ระดับเอนไซม์โคลีนเอสเตอเรสในเลือดของเกษตรกรพ่นสารเคมีอยู่ในระดับเสี่ยง ซึ่งไม่มีความสอดคล้องกันระหว่างผลการประเมินพฤติกรรมความปลอดภัยและผลการตรวจวัดระดับเอนไซม์โคลีนเอสเตอเรสในเลือด โดยผลจากการศึกษานั้นมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ กิตติพันธ์ ยงฮะ (2554) ที่ทำการศึกษาเรื่อง ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับระดับเอนไซม์โคลีนเอสเตอเรส ในเกษตรกรพื้นที่อำเภอท่า

ใหม่ จังหวัดจันทบุรี พบว่า ความถี่ในการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช และพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชไม่มีความสัมพันธ์กับระดับเอนไซม์โคลีนเอสเตอเรส

## สรุป

การวิจัยเรื่อง ปัญหาอาชีวอนามัยและความปลอดภัยของเกษตรกรพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชกรณีศึกษา: ตำบลชิ่งน้ำร้าย อำเภออินทร์บุรี จังหวัดสิงห์บุรี ดำเนินการศึกษาระดับความเสี่ยงด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยด้านสารเคมีของเกษตรกรพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช เพื่อยืนยันถึงสถานะปัญหาและผลกระทบด้านสารเคมีของเกษตรกรพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช เพื่อยืนยันถึงสถานะปัญหาและผลกระทบด้านสารเคมีของเกษตรกรพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ตำบลชิ่งน้ำร้าย จังหวัดสิงห์บุรี จากการศึกษาสรุปได้ว่า ปัญหาอาชีวอนามัยและความปลอดภัยที่พบในเกษตรกรพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชส่วนใหญ่ที่ประเมินจากพฤติกรรมความปลอดภัยจะเป็นเรื่อง การใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชทุกครั้งที่ในการทำนาและการรับประทานอาหาร/ดื่มน้ำในบริเวณที่ทำงานซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้ทำให้ตรวจผลระดับเอนไซม์โคลีนเอสเตอเรสในเลือดที่อยู่ในระดับเสี่ยงมากที่สุด รองลงมาคือระดับไม่ปลอดภัย เนื่องจากการออกไปฉีดพ่นสารเคมีแต่ละครั้งต้องการทำงานให้เสร็จเร็วและได้จำนวนแปลงที่ฉีดพ่นมาก จึงทำให้ต้องนำอาหารและน้ำดื่มไปกินในบริเวณที่ปฏิบัติงาน ซึ่งเป็นปัญหาด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยของเกษตรกรพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ที่ตำบลชิ่งน้ำร้าย อำเภออินทร์บุรี จังหวัดสิงห์บุรี ดังนั้นจึงจำเป็นต้องแก้ไขปัญหานี้ อันจะนำไปสู่การลดลงของการมีระดับเอนไซม์โคลีนเอสเตอเรสในเลือดและคุณภาพชีวิตที่ดีของเกษตรกรพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืช

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งนี้ หน่วยงานภาครัฐและหน่วยงานอื่นที่เกี่ยวข้องควรให้ความรู้เกี่ยวกับการใช้สารเคมีในการกำจัดศัตรูพืชและรณรงค์ให้เกษตรกรหันไปใช้สารสกัดจากธรรมชาติซึ่งจะปลอดภัยกับสุขภาพและสิ่งแวดล้อม

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณนักพัฒนาชุมชนองค์การบริหารส่วนตำบลชิ่งน้ำร้าย นักวิชาการสาธารณสุขโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบลชิ่งน้ำร้ายที่มีส่วนร่วมในการดำเนินงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีและเกษตรกรพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่ให้ความร่วมมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นอย่างดี

## เอกสารอ้างอิง

- กิตติพันธุ์ ยงฮะ. (2554). ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับระดับเอนไซม์โคลีนเอสเตอเรส ในเกษตรกรพื้นที่อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี. มหาวิทยาลัยบูรพา.
- ปาลีรัฐ อักษรศรี. (2547). พฤติกรรมตระหนักของเกษตรกรถึงพิษภัยอันตรายจากการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชในการเพาะปลูกพริกพันธุ์หัวเรือตำบลหัวเรือ อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี. มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ปัตพงษ์ เกษสมบูรณ์. (2546). การรับสัมผัสสารเคมี. สืบค้นจาก [http://www.smj.ejnal.com/e-journal/showdetail/?show\\_detail=T&art\\_id=1638](http://www.smj.ejnal.com/e-journal/showdetail/?show_detail=T&art_id=1638).

ศิริณี อินทรหนองไผ่. (2549). **กระบวนการเรียนรู้  
ของชุมชนแบบมีส่วนร่วมในการลดพฤติกรรม  
เสี่ยงจากการใช้สารเคมีในการทำเกษตรกรรม.**  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

สุนิสา ถาน้อย, ธงชัย หน่อแก้ว และเสมอ ถาน้อย.  
(2550). การตรวจวัดสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่พบใน  
ปีสสาวะของเกษตรกรสวนผักที่ใช้สารเคมีในการ  
เพาะปลูก ในเขตตำบลบึงพระ อำเภอเมือง  
จังหวัดพิษณุโลก. **วารสารวิจัยเพื่อพัฒนาชุมชน.**  
1(1), 23 -37.

สำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม.

(2557). **ผลกระทบต่อสุขภาพจากสารเคมี กำจัด  
ศัตรูพืช.** สืบค้นจาก [http://envocc.ddc.moph.  
go.th/contents/view/106](http://envocc.ddc.moph.go.th/contents/view/106).

สำนักงานเกษตรอำเภออินทร์บุรี. (2557). **ข้อมูลสถิติ  
แสดงการประกอบกิจกรรมภาคเกษตร ตำบลชีน้ำ  
ร้าย.** สืบค้นจาก [http://inburi.singburi.  
doae.go.th/soo/chenamray/ch5.pdf](http://inburi.singburi.doae.go.th/soo/chenamray/ch5.pdf).

Bloom,BS.et al. (1971). **Hand book on  
formative and summative evaluation of  
student learning.** New york: McGraw Hill.

การรับรู้ของพนักงานต่อสัญลักษณ์เตือนอันตรายและเครื่องหมายเกี่ยวกับความปลอดภัยของพนักงานในโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง  
ในนิคมอุตสาหกรรมนวนคร  
Workers' Perception with Safety Signs: A Workplace Case Study  
in Nava Nakorn Industrial Estate

พชรกมล กลั่นบุศย์<sup>1\*</sup>, วัชรภรณ์ วงศ์สกุลกาญจน์<sup>2</sup>, ชลลดา พละราช<sup>3</sup> และกฤษณา อรุณรัตน์<sup>4</sup>  
Patcharakamon Klunbut<sup>1\*</sup>, Watcharaporn Wongsakoonkan<sup>2</sup>, Chonlada Palarach<sup>3</sup>  
and Krisana Aroonrat<sup>4</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาอนามัยและความปลอดภัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

<sup>1</sup> Department of Occupational Health and Safety, Faculty of Science and Technology,  
Valaya Alongkorn Rajabhat the Royal Patronage

\*Corresponding author E-mail: patcharakamon.klu@gmail.com

## บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับการรับรู้ต่อเครื่องหมายความปลอดภัยของพนักงานและเพื่อเปรียบเทียบการรับรู้ต่อเครื่องหมายความปลอดภัยทั้งก่อนและหลังการดำเนินการโปรแกรมปรับปรุงเครื่องหมายความปลอดภัย โดยกลุ่มตัวอย่างที่ศึกษา คือพนักงานฝ่ายผลิต โรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่งในนิคมอุตสาหกรรม นวนคร จำนวน 167 คน เครื่องมือที่ใช้ คือแบบทดสอบความรู้ สถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล คือค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการหาความสัมพันธ์ทางสถิติด้วย Pair T-test พบว่าระดับการรับรู้สัญลักษณ์เตือนอันตรายและเครื่องหมายเกี่ยวกับความปลอดภัยของพนักงานของพนักงานหลังดำเนินการปรับปรุงแก้ไขส่วนใหญ่อยู่ในระดับดีมาก (ร้อยละ 80) และการรับรู้ต่อเครื่องหมายความปลอดภัยของพนักงานเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนและหลังดำเนินการจัดโปรแกรมปรับปรุงเครื่องหมายความปลอดภัยในกระบวนการผลิต พบว่าจากการวิเคราะห์ด้วย Pair t-test กลุ่มตัวอย่างมีคะแนนการรับรู้เฉลี่ย 9.47 คะแนน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.70 ซึ่งเพิ่มขึ้นจากก่อนการอบรมที่มีคะแนนการรับรู้เพียง 2.47 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.83 ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p < 0.05$ ) ดังนั้นในการดำเนินการแก้ไขปรับปรุงสภาพแวดล้อมในการทำงาน นายจ้างควรพิจารณาในเรื่องการอบรมให้ความรู้แก่พนักงานด้วย เพื่อให้พนักงานสามารถทำงานได้อย่างปลอดภัย

**คำสำคัญ:** การรับรู้ สัญลักษณ์เตือนอันตรายและเครื่องหมายเกี่ยวกับความปลอดภัย นิคมอุตสาหกรรมนวนคร

## Abstract

This study was aim to investigate the level of workers' perception with safety signs and to compare between level of workers' perception after launched improvement program. The sample in this study was consisted of 167 workers in production department. The data was collected by using examination to test the perception. Statistic such as frequency, percentage, standard deviation and pair t-test were used in this study. The result was indicated that after launched improvement program, most of workers (80 %) were in high level of perception and the result of pair t-test showed that mean score of workers' perception was 9.47,s.d. was 0.70 which increased from before launched improvement program. Thus, in term to improve the environment in workplace training must be considered.

**Keywords:** perception, safety sign, Nava Nakorn Industrial Estate

## บทนำ

การเติบโตของเศรษฐกิจโลกส่งผลให้เกิดการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมโดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศที่กำลังพัฒนาดังเช่นประเทศไทยที่ซึ่งได้รับอิทธิพลดังกล่าวด้วยเช่นกัน ดังนั้น เพื่อให้ประเทศไทยสามารถแข่งขันกับนานาประเทศได้อย่างทัดเทียมจึงได้มีการเพิ่มขึ้นของตลาดแรงงานเพื่อเข้ามาขับเคลื่อนกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรมให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อเข้ามาช่วยในการพัฒนาภาคอุตสาหกรรมด้วย เพื่อให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของประชากรในปัจจุบันได้ (East Asia Pacific Economic Update, 2016) ซึ่งจากประเด็นความต้องการนายจ้างที่ต้องแรงงานเข้าในภาคอุตสาหกรรมในจำนวนมาก เพื่อให้สามารถเพิ่มกระบวนการผลิตที่เพียงพอต่อความต้องการของประชากรได้นั้น ทำให้การดูแลสุขภาพอนามัยและความปลอดภัย รวมทั้งสภาพแวดล้อมในการทำงานแรงงานนั้น นายจ้างยังไม่เพียงพอและเหมาะสมจึงทำให้พบว่าในภาคอุตสาหกรรมมีจำนวนแรงงานที่ประสบอุบัติเหตุหรือได้รับอันตรายจากการทำงานและเกิดเป็นโรคจากการทำงานอันเนื่องมาจากการละเลยของนายจ้างเป็นจำนวนมาก จากผลการรายงานของการรายงานของสำนักงานประกันสังคม

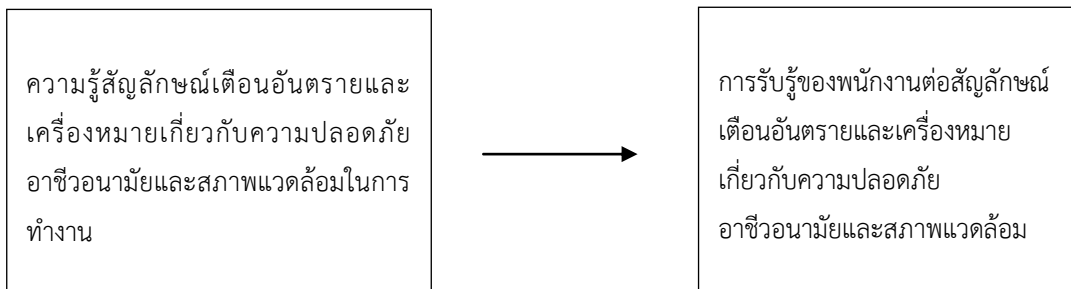
(สำนักงานประกันสังคม, 2558) พบว่า ในปี 2557 มีจำนวนแรงงานประสบอันตรายหรือเจ็บป่วยจากการทำงานทั้งสิ้น 100,234 ราย และจากตัวเลขของจำนวนผู้ประสบอันตรายจากการทำงานหรือเป็นโรคจากการทำงาน ที่จะเห็นได้ว่าเป็นจำนวนที่ค่อนข้างสูงซึ่งทางภาครัฐมิได้เพิกเฉยต่อประเด็นปัญหาดังกล่าว จึงได้มีการออกพระราชบัญญัติความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2554 (กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, 2554) ขึ้นซึ่งภายใต้พรบ.ฉบับนี้ได้มีการบังคับให้นายจ้างมีหน้าที่จัดและดูแลสถานที่ประกอบกิจการและลูกจ้างให้มีสภาพการทำงานและสภาพแวดล้อมในการทำงานที่ปลอดภัยและถูกสุขลักษณะ รวมทั้งส่งเสริมสนับสนุนการปฏิบัติงานของลูกจ้างมิให้ได้รับอันตรายต่อชีวิต ร่างกาย จิตใจและสุขภาพอนามัย อย่างไรก็ตาม และถึงแม้ว่าภาครัฐจะได้มีการออกกฎหมายบังคับและพยายามผลักดันให้เกิดการปฏิบัติอย่างเคร่งครัดแล้วนั้น แต่จากรายงานในข้างต้นจะพบว่าจำนวนของแรงงานผู้ประสบอันตรายจากการทำงานหรือเป็นโรคจากการทำงานนั้นมีจำนวนค่อนข้างสูง ทั้งนี้เมื่อนำสถิติจากรายงานประกันสังคม (สำนักงานประกันสังคม, 2558) ดังกล่าวมาพิจารณา สามารถจำแนกได้ดังต่อไปนี้โดย สาเหตุของการเกิดอันตราย

หรือเจ็บป่วยจากการทำงาน 3 อันดับแรก คือ อันตรายจากวัตถุหรือสิ่งของ อันตรายจากเครื่องจักร และอันตรายจากเครื่องมือหรืออุปกรณ์ ทั้งนี้ อัตราการเกิดอุบัติเหตุจากการวัตถุหรือสิ่งของ เครื่องจักร และเครื่องมือหรืออุปกรณ์เท่ากับ 440.13 รายต่อพัน ราย 133.67 รายต่อ พันรายและ 130.34 ตามลำดับ

นอกจากนี้ จากการศึกษาจากข้อมูลรายงานสถิติ อุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่งใน นิคมอุตสาหกรรมนวนครตลอดปี 2558 ที่ผ่านมา พบว่ามีจำนวนแรงงานที่เกิดอุบัติเหตุหรือได้รับ อันตรายจากการทำงานกับเครื่องจักรจำนวน 10 ราย ซึ่งถือว่าเป็นจำนวนที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับปี 2557 ที่มีแรงงานได้เกิดอุบัติเหตุหรือได้รับอันตรายจากการ

ทำงานกับเครื่องจักรจำนวน 6 ราย ดังนั้นจาก ประเด็นที่กล่าวไปนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการ ดำเนินการศึกษาในเรื่อง การรับรู้ของพนักงานต่อ สัญลักษณ์เตือนอันตรายและเครื่องหมายเกี่ยวกับ ความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมใน การทำงานในโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่งในนิคม อุตสาหกรรมนวนคร เพื่อดำเนินการแก้ไขหรือ ปรับปรุงสภาพแวดล้อมในการทำงานให้ปลอดภัยและ เหมาะสมสำหรับแรงงานทำงานได้อย่างปลอดภัยและ ปราศจากความเสี่ยงต่อชีวิตและทรัพย์สิน

### กรอบแนวคิด



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิด

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาระดับการรับรู้ของพนักงานต่อ สัญลักษณ์เตือนอันตรายและเครื่องหมายเกี่ยวกับ ความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมใน การทำงาน
2. เพื่อเปรียบเทียบการรับรู้ของพนักงานต่อ สัญลักษณ์เตือนอันตรายและเครื่องหมายเกี่ยวกับ ความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมใน การทำงานของโครงการการปรับปรุง

### แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. แนวคิดเกี่ยวกับการรับรู้ ชิฟแมน และ คานุกได้ให้ความหมายของการ รับรู้ (Perception) ว่า การรับรู้ หมายถึง กระบวนการที่บุคคลแต่ละคนมีการเลือกประมวณและ ตีความหมายเกี่ยวกับตัวกระตุ้นออกมาให้ความหมาย และได้ภาพของโลกที่มีเนื้อหา (Schiffman and Kanuk, 2000)

เซอร์ฮอร์น ฮันท์ และออสบอน อธิบายถึง กระบวนการรับรู้ไว้ว่าการรับรู้เป็น กระบวนการทาง

จิตวิทยาเบื้องต้น ในการตีความสิ่งเร้าที่ได้สัมผัสต่างๆ เพื่อสร้างประสบการณ์ที่มี

ความสำคัญสำหรับผู้รับรู้การรับรู้เป็นสิ่งที่ทำให้ปัจเจกบุคคลมีความแตกต่างกัน ไม่มีบุคคลใด ที่จะมีการรับรู้ที่เหมือนกับบุคคลอื่นที่เดียว เพราะเมื่อบุคคล

ได้รับสิ่งเร้าหรือสิ่งรับรู้ก็จะประมวล สิ่งรับรู้นั้นเป็นประสบการณ์ที่มีความหมายเฉพาะตัวเอง (Schermerhorn, J. R., Hunt, J. G., and Osborn, R. N., 1982)



Information Input

Individual Action

ภาพที่ 1 แสดงแผนภูมิกระบวนการรับรู้ตามทัศนะของเชอร์ฮอร์น ฮันท์ และออสบอน

ที่มา Schermerhorn, J. R., Hunt, J. G., and Osborn, R. N. (1982). Managing Organizational Behavior. New York : John Wiley and Sons Inc.

ดังนั้นจากความหมายดังกล่าว กระบวนการทางความคิดและจิตใจของมนุษย์นั้นเป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นถึงความรู้ ความเข้าใจและและความรู้สึก ซึ่งเป็นผลจากกระบวนการรับรู้ต่อสิ่งเร้าที่มนุษย์สัมผัส อย่างไรก็ตามความแตกต่างของมนุษย์ในเรื่องของปัจจัยส่วนบุคคลรวมทั้งประสบการณ์ที่ผ่านมา จะมีผลทำให้มนุษย์แต่ละคนมีการรับรู้ที่แตกต่างกัน ซึ่งการรับรู้จะส่งผลต่อพฤติกรรมและการแสดงออกของมนุษย์ต่อสิ่งเร้าด้วย

2. แนวคิดเกี่ยวกับความปลอดภัย

มาสโลว์ กล่าวว่าไว้ว่าความปรารถนาของมนุษย์นั้นติดตัวมาตั้งแต่กำเนิดและความปรารถนาเหล่านี้จะเรียงลำดับชั้นความต้องการของมนุษย์ ซึ่งมาสโลว์ได้เรียงลำดับความต้องการมนุษย์จากขั้นต้นไปสู่ความต้องการสูงสุดดังนี้ (สุรชัย ตรีศิลานันท์, 2552)

1. ความต้องการทางด้านสรีรวิทยา (Physiological Needs)

2. ความต้องการความปลอดภัย (Safety Needs)

3. ความต้องการความรักและความเป็นเจ้าของ (Love and belongingness Needs)

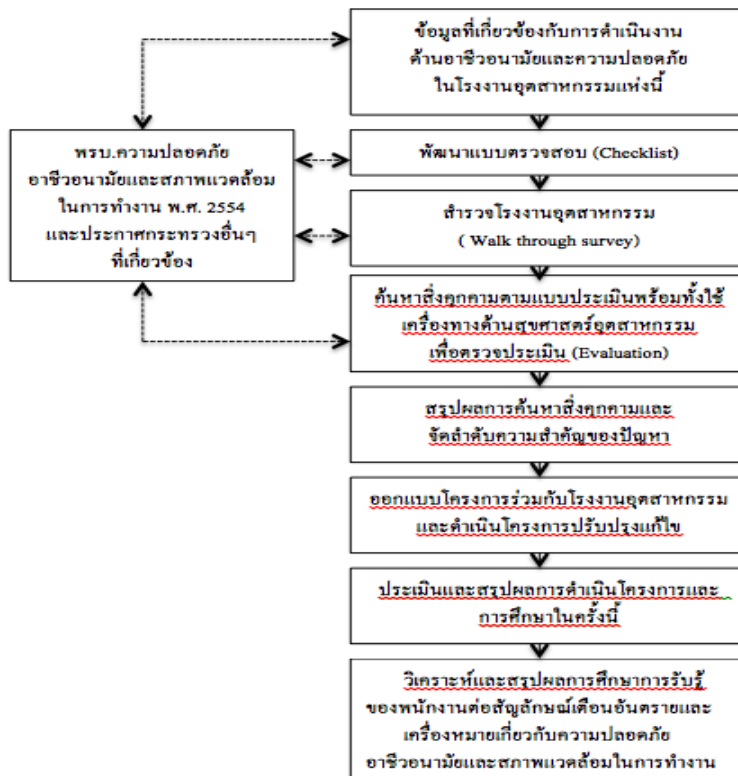
4. ความต้องการความเคารพนับถือ (Esteem Needs)

5. ความต้องการประจักษ์ตน (Self-actualization Needs)

และเมื่อพิจารณาความต้องการที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัย มาสโลว์ ได้อธิบายไว้ดังนี้คือ 2. ความต้องการความปลอดภัย เมื่อความต้องการทางสรีรวิทยาของบุคคลได้รับ ความพึงพอใจอย่างมีความสัมพันธ์ บุคคลจะถูกจูงใจด้วยความต้องการความปลอดภัย ซึ่ง ประกอบด้วยความปลอดภัยทางร่างกาย ความอบอุ่นใจ ความมั่นคงการพึ่งพาอาศัยผู้อื่น การปกป้องและเสรีภาพจากแรงกดดัน เกี่ยวกับการคุกคามต่างๆ เช่น ความเจ็บ ป่วย ความวิตก กังวล อันตราย และการจลาจล ตลอดจนความต้องการกฎหมาย คำสั่งและโครงสร้างที่แน่นอน ความต้องการความปลอดภัย แตกต่างจากความต้องการทางสรีรวิทยา คือความปลอดภัยไม่สามารถทำให้เกิดความพึงพอใจมากเกินไป ดังนั้นจากทฤษฎีดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่า ความปลอดภัยของชีวิต ถือว่าเป็นความต้องการพื้นฐานที่มนุษย์ทุกพึงให้เกิดขึ้นกับตนเอง เพื่อให้สามารถมีชีวิตอยู่ในสังคมได้อย่าง ปกติสุข

## วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการในครั้งนี้มีวิธีการวิจัยโดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังต่อไปนี้ (รูปที่ 2)



ส่วนที่ 1 มีวิธีการศึกษาคือ ผู้ศึกษาจะดำเนินการเก็บข้อมูลการดำเนินงานด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในโรงงานอุตสาหกรรมแห่งนี้ทั้งหมด คือ สถิติการเกิดอุบัติเหตุ สถิติการตรวจสุขภาพประจำปีของพนักงาน ผลการตรวจวัดสภาพแวดล้อมในการทำงานในโรงงานอุตสาหกรรมแห่งนี้ และข้อมูลอื่นๆที่เกี่ยวข้อง การวิเคราะห์ข้อมูลการดำเนินงานด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในโรงงานอุตสาหกรรมแห่งนี้ ทำโดยเปรียบเทียบกับกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับอาชีวอนามัยและความปลอดภัย และดำเนินการสร้างแบบฟอร์มการสำรวจ (Checklist) เพื่อนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการสำรวจ (Walk Through Survey) ในโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อค้นหาสิ่งตกคามที่คาดว่าจะ

เป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของผู้ปฏิบัติงาน โดยการใช้อำนาจตามวิธีของภาควิชาบริหารสาธารณสุข คณะสาธารณสุขศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดล (บุญชัย ภาละกาล, 2556) ซึ่งจะใช้อำนาจประกอบ องค์ประกอบทั้ง 4 ที่นำมาพิจารณา ได้แก่ ขนาดของปัญหา ความรุนแรงของปัญหา ความยากง่ายในการแก้ปัญหา ความตระหนักของผู้ได้รับผลกระทบต่อปัญหา หลังจากนั้นได้ดำเนินการนำไปเสนอต่อผู้บริหารของโรงงานอุตสาหกรรมในส่วนงานโครงการที่ดำเนินการ



ขึ้นเพื่อแก้ไขและปรับปรุงสภาพแวดล้อมในการทำงานต่อไปทั้งนี้เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลในส่วนแรก คือกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับอาชีวอนามัยและความปลอดภัยและแบบฟอร์มการสำรวจ (Checklist) ส่วนที่ 2 จะดำเนินการศึกษาดังนี้

ขอบเขตของการศึกษาคือพนักงานในฝ่ายกระบวนการผลิตจำนวนทั้งสิ้น 167 คน เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ข้อสอบทดสอบการรับรู้ของพนักงานต่อสัญลักษณ์เตือนอันตรายและเครื่องหมายเกี่ยวกับความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน ในส่วนของการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้ศึกษาได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปประมวลผลทางสถิติใน ทั้งนี้ในการวิจัยในครั้งนี้ได้กำหนดระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติไว้ที่ระดับ 0.05 ในเชิงพรรณนา ได้แก่ ความถี่ (frequency) ร้อยละ (percentage) และค่าเฉลี่ย (mean) และในการเปรียบเทียบระบบการรับรู้ของพนักงานต่อสัญลักษณ์เตือนอันตรายและเครื่องหมายเกี่ยวกับความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานก่อนและหลังดำเนินโครงการ ซึ่งสถิติที่ใช้ คือ Pair T-test ในการทดสอบรูปที่ 3 วิธีการดำเนินการศึกษา

## ผลการวิจัย

1. ผลการวิเคราะห์หาอันตรายหรือสิ่งคุกคามที่อาจมีผลต่อสุขภาพของลูกจ้างพบว่า มี ในโรงงานอุตสาหกรรมแห่งนี้มีสิ่งคุกคามที่คาดว่าอาจจะมีผลต่อสุขของแรงงาน ดังนี้คือ เสียงดังเกินเกณฑ์มาตรฐานในบริเวณกระบวนการผลิต แสงสว่างไม่เพียงพอในบริเวณอาคารสำนักงาน และการอุบัติเหตุจากการทำงานกับเครื่องจักร เมื่อดำเนินการจัดลำดับความสำคัญหลักเกณฑ์ที่กล่าวไว้ในข้างต้น พบว่า ปัญหาที่สามารถนำมาดำเนินโครงการในครั้งนี้คือปัญหาการเกิดอุบัติเหตุจากการทำงานเครื่องจักร ซึ่งจากประเด็นดังกล่าว คณะผู้ศึกษาได้มีการดำเนินการวางแผนร่วมกับเจ้าหน้าที่ของโรงงานอุตสาหกรรม

เพื่อให้เป็นไปตามกฎหมายที่เกี่ยวข้องโดยดำเนินการติดสัญลักษณ์เตือนอันตรายและเครื่องหมายเกี่ยวกับความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานที่จุดที่มีความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุของแรงงาน อาทิ เครื่องจักร หรือเขตที่มีความอันตรายรวมทั้งสภาพแวดล้อมในการทำงานที่อาจทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของพนักงานได้ ซึ่งเป็นไปตามมาตราที่ 17 ซึ่งมีการกำหนดให้นายจ้างต้องมีการติดประกาศสัญลักษณ์เตือนอันตรายและเครื่องหมายเกี่ยวกับความปลอดภัย (กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน, 2554)

2. เมื่อดำเนินการปรับปรุงแก้ไขติดสัญลักษณ์เตือนอันตรายและเครื่องหมายเกี่ยวกับความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานซึ่งจากการสำรวจและประเมินความเสี่ยงพบว่าต้องมีการปรับปรุงจำนวน 416 จุดซึ่งผู้ศึกษาได้ดำเนินการปรับปรุงแก้ไขทั้งสิ้น 416 จุด ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 100

3. ผู้ศึกษาได้ดำเนินการอบรมพนักงานในกระบวนการผลิตได้มีการทดสอบการรับรู้ของพนักงานกลุ่มดังกล่าว โดยการใช้แบบทดสอบความรู้จำนวน 10 ข้อ ซึ่งจะเป็นการทดสอบการรับรู้ของพนักงานก่อนและหลังอบรมให้ความรู้ ทั้งนี้จำนวนพนักงานในการบวนการผลิตมี 167 คน ได้ดำเนินการอบรมความรู้ให้กับพนักงานทั้งสิ้น 167 คน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ ระดับการรับรู้ของพนักงานต่อสัญลักษณ์เตือนอันตรายและเครื่องหมายเกี่ยวกับความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน ก่อนการอบรมให้ความรู้ ส่วนใหญ่ร้อยละ 48 อยู่ในระดับน้อย (0-2 คะแนน) และ ร้อยละ 47 อยู่ในระดับพอใช้ (3-5 คะแนน) และร้อยละ 5 อยู่ในระดับดี (6-8 คะแนน) ทั้งนี้หลังการอบรมให้ความรู้พบว่า ส่วนใหญ่พนักงานร้อยละ 97 มีการรับรู้อยู่ในระดับดีมาก (9-10 คะแนน) และร้อยละ 3 มีการรับรู้อยู่ในระดับดี (6-8 คะแนน)

4. เปรียบเทียบการรับรู้ของพนักงานต่อสัญลักษณ์เตือนอันตรายและเครื่องหมายเกี่ยวกับ

ความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานของโปรแกรมปรับปรุง พบว่า ความแตกต่างของคะแนนการรับรู้ก่อนหลังจากการอบรมให้ความรู้เรื่องสัญลักษณ์เตือนอันตรายและเครื่องหมายเกี่ยวกับความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน จากการวิเคราะห์ด้วย Pair t-test กลุ่มตัวอย่างมีคะแนนการรับรู้เฉลี่ย 9.47 คะแนน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.70 ซึ่งเพิ่มขึ้นจากก่อนการอบรมที่มีคะแนนการรับรู้เพียง 2.47 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.83 ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $p < 0.05$ )

### อภิปรายผลการวิจัย

การรับรู้ของพนักงานต่อสัญลักษณ์เตือนอันตรายและเครื่องหมายเกี่ยวกับความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน เมื่อพิจารณาจากผลการวิเคราะห์จะพบว่า เมื่อพนักงานได้ดำเนินโครงการปรับปรุงแก้ไขดังกล่าวและได้รับการอบรมให้ความรู้เพื่อให้สามารถเข้าใจและสามารถนำความรู้ไปใช้ได้อย่างถูกต้องเหมาะสมนั้น พนักงานมีระดับของการรับรู้อยู่ในระดับดีมาก ซึ่งเนื่องการอบรมให้ความรู้เป็นวิธีการที่สำคัญที่จะส่งเสริมให้พนักงานมีความรู้และตระหนักถึงความสำคัญของการทำงานได้อย่างปลอดภัยนั้นต้องมีความเข้าใจต่อสัญลักษณ์เตือนอันตรายและเครื่องหมายเกี่ยวกับความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานได้อย่างถูกต้อง เมื่อเข้าใจได้อย่างถูกต้องจะนำไปสู่การปฏิบัติงานได้อย่างปลอดภัย ทั้งนี้ในการอบรมให้ความรู้ในหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยนั้น จะเป็นหัวข้อที่พนักงานให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก เพราะความปลอดภัยจะมีผลโดยตรงต่อสุขภาพอนามัยของพนักงานซึ่งจะเป็นตามสอดคล้องกับการผลศึกษาวิจัยในเรื่องความสัมพันธ์ของการรับรู้ระบบความปลอดภัยและพฤติกรรมการทำงานอย่าง

ปลอดภัยในการทำงานของบริษัทในอุตสาหกรรมธุรกิจอุปกรณ์การเกษตร ซึ่งผลการศึกษาพบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (อนุสรณ์ นิรุติธรรมธรา, 2549)

### สรุป

จากการศึกษานี้สามารถสรุปผลได้ว่าการดำเนินการปรับปรุงแก้ไขสภาพแวดล้อมในการทำงานให้กับพนักงาน ในกิจกรรมหนึ่งที่นายจ้างควรดำเนินการทุกครั้ง คือการอบรมให้ความรู้กับพนักงาน เนื่องจากพนักงานเป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งที่จะสามารถช่วยในการป้องกันอันตรายจากการทำงานได้อย่างเหมาะสม ดังนั้นเมื่อมีการอบรมที่เกี่ยวข้องกับการปลอดภัยที่เหมาะสม ให้กับพนักงาน พนักงานสามารถรับรู้และเข้าใจในประเด็นต่างๆได้ และสามารถไปใช้ในการปฏิบัติตนเอง ซึ่งหากเมื่อพนักงานมีสุขภาพอนามัยที่ดี และอยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมในการทำงานที่ปลอดภัยและเหมาะสม จะสามารถทำให้ผลผลิตจากสถานประกอบการแห่งนี้ดีขึ้น ทั้งยังเป็นการลดค่าใช้จ่ายที่สิ้นเปลืองเนื่องจากสภาพแวดล้อมในการทำงานที่ไม่เหมาะสมอีกด้วย

### ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาเฉพาะการรับรู้ของพนักงานต่อสัญลักษณ์เตือนอันตรายและเครื่องหมายเกี่ยวกับความปลอดภัยอาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานเท่านั้น ดังนั้น ในการศึกษาในครั้งต่อไป ควรมีศึกษาปัจจัยอื่นๆ เพื่อให้สามารถนำมาใช้ในการพิจารณาจัดโครงการเพื่อส่งเสริมความปลอดภัยในการทำงานของพนักงานต่อไป

## กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความกรุณาจากบุคคลและหน่วยงานต่างๆและมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์ ที่ให้ความร่วมมือในดำเนินการศึกษา การจัดเก็บข้อมูลเพื่อ ใช้ประกอบการศึกษาค้นคว้าและวิจัย จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

## เอกสารอ้างอิง

กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน. (2554). ประกาศ

กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงานเรื่อง  
สัญลักษณ์เตือนอันตราย เครื่องหมายเกี่ยวกับ  
ความปลอดภัย อาชีวอนามัย และ  
สภาพแวดล้อมในการทำงาน และข้อความ  
แสดงสิทธิและหน้าที่ของนายจ้างและลูกจ้าง  
พ.ศ. 2554. สืบค้นจาก <http://www.fio.co.th/p/document/safetyfio/law2-3.pdf>.

กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน. (2554).

พระราชบัญญัติ ความปลอดภัย อาชีวอนามัย  
และสภาพแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2554.  
สืบค้นจาก <http://www.oshthai.org/images/PDF/2014/10/osh-ct.b.e.2554.pdf>.

บุญชัย ภาละกาล. (2556). การจัดลำดับความสำคัญ

ของปัญหา ในกระบวนการดำเนินงานอนามัย  
ชุมชน บทเรียนในการนำทฤษฎีสู่การฝึก  
ภาคปฏิบัติของนักศึกษาพยาบาลในชุมชน.  
สืบค้นจาก <https://www.tci-thaijo.org/index.php/tnaph/article/viewFile/18314/16113>.

สำนักงานประกันสังคม. (2558). รายงานประจำปี

2558 กองทุนเงินทดแทน. สืบค้นจาก  
<http://www.sso.go.th/wpr/uploads/uploadsImages/file/AnnualReportBook2557.pdf>.  
สุรัชย์ ตรีศิลานันท์. (2552). ปัจจัยที่มีผลต่อการ  
รับรู้การจัดการความปลอดภัยของพนักงาน  
โรงงาน อุตสาหกรรมพลาสติกในจังหวัด  
นครราชสีมา. สืบค้นจาก <http://sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bitstream/123456789/3759/2/Fulltext.pdf>.

อนุสรณ์ นิรุติธรรมธรา. (2549). การรับรู้ระบบความปลอดภัยและพฤติกรรมการทำงานอย่างปลอดภัยในการทำงานของบริษัทในอุตสาหกรรมธุรกิจอุปกรณ์การเกษตร. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาจิตวิทยาอุตสาหกรรมและองค์การ. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกริก.

East Asia Pacific Economic Update, (2016).

**Growing Challenges.** Available :  
<http://www.worldbank.org/en/region/eap/publication/east-asia-pacific-economic-update>.

Schermerhorn, J. R., Hunt, J. G., and Osborn, R. N. (1982). **Managing Organizational Behavior.** New York: John Wiley and Sons Inc.

Schiffman and Kanuk. (2000). **Customer Behavior – Psychology Aspects.** New Jersey: Prentice-Hall.

การศึกษาผลของสารสกัดเมล็ดพริกไทยและใบสาบเสือในการกำจัดปลวก  
Effect of the Extracts of Piper nigrum seeds, and Chromolaena odorata  
(L.) R.M.King Leaves on Termites Controlling

จิราภรณ์ ช่วงบัญญัติ<sup>1\*</sup> และ อภิวัฒน์ คำใจใส<sup>2</sup>  
Jiraporn Chuangbunyat<sup>1\*</sup> and Apiwat Khamjaisai<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่

<sup>1,2</sup> Rajamangala University of Technology Lanna Chiang Mai

\* Corresponding author e-mail: jitik22@gmail.com

### บทคัดย่อ

จากการศึกษาผลของสารสกัดน้ำและเอทานอลของเมล็ดพริกไทยและใบสาบเสือ ในการกำจัดปลวกโดยเทียบกับกลุ่มควบคุม พบว่า สารสกัดเอทานอลที่มีฤทธิ์ในการกำจัดปลวกดีที่สุดคือ สารสกัดเมล็ดพริกไทยความเข้มข้น 30 mg/mL โดยมีฤทธิ์กำจัดปลวกได้ถึง 100% ส่วนสารสกัดน้ำที่มีฤทธิ์ในการกำจัดปลวกสูงที่สุดคือ สารสกัดใบสาบเสือที่ความเข้มข้น 30 mg/mL ซึ่งสามารถกำจัดปลวกได้ถึง 70% โดยการทดลองนี้ใช้เวลาทั้งสิ้น 24 ชั่วโมงในการทดสอบฤทธิ์ของสารสกัด

**คำสำคัญ:** การกำจัดปลวก เมล็ดพริกไทย ใบสาบเสือ

### Abstract

This research was to study about termite controlling of water and ethanol extract of Piper nigrum seeds and Chromolaena odorata (L.) R.M.King leaves comparing with the control. It was found that 30 mg/mL ethanol extract of Piper nigrum seeds was the most active extract with 100% mortality. However water extract of Chromolaena odorata (L.) R.M.King leaves owned the highest activity with 70% mortality at 30 mg/mL concentration. The experiments were observed at 24 hr for the activity test.

**Keywords:** termites controlling, Piper nigrum seeds, Chromolaena odorata (L.) R.M.King leaves

### บทนำ

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันปัญหาเรื่องปลวกกินบ้านยังคงมีอยู่อย่างต่อเนื่อง และทวีความรุนแรงขึ้นเรื่อย ๆ โดยปลวกสามารถสร้างความเสียหายให้กับบ้านเรือนโดยสิ้นเชิงได้ในระยะเวลา 3-5 ปี ทั้งนี้เนื่องมาจากการขยายพื้นที่อยู่อาศัยของมนุษย์นั่นเอง ที่ทำให้เกิดการทำลายระบบนิเวศน์ที่สมบูรณ์ของปลวก การปลูกสร้างบ้านเรือนที่พังกอาศัยของมนุษย์

จะไปลดพื้นที่อยู่อาศัยและพื้นที่หากินของปลวก (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2548)

เมื่อได้รับความเดือดร้อนจากการถูกปลวกทำลายบ้านเรือน การหาวิธีการกำจัดปลวกจึงตามมา วิธีที่นิยมใช้ในการกำจัดปลวกเนื่องจากใช้แล้วได้ผลดีทันตาเห็น ก็คือการใช้สารเคมีกำจัดแมลงซึ่งเป็นวัตถุที่มีความเป็นพิษสูงสามารถทำอันตรายกับคนและสิ่งมีชีวิตทั่วไปได้ ระดับความเป็นพิษของสารเคมีเหล่านี้เมื่อนำมาทดสอบกับสัตว์ทดลองประเภทสัตว์

เลี้ยงลูกด้วยนม เช่น หนูหรือกระต่าย พบว่ามีค่า LD 50 (Lethal Dose 50) ต่ำ แสดงถึงความเป็นพิษที่สูงมาก นั่นเอง กระทรวงสาธารณสุข กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ และสำนักคณะกรรมการอาหารและยาร่วมมือกันเป็นผู้รับผิดชอบ กำกับควบคุมในด้านมาตรฐานคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์กำจัดแมลงต่างๆ สำหรับสารกำจัดปลวกซึ่งเป็นสารเคมีที่มีอันตรายมาก หากใช้ผิดวิธีจะก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้เองและบุคคลอื่น ๆ ได้ จึงมีบริษัทที่ให้บริการกำจัดปลวกโดยเฉพาะ แต่ยังมีผู้บริโภคจำนวนมากที่ซื้อสารกำจัดปลวกมาใช้เอง หากสารนั้นเป็นสารเคมีที่มีความเป็นพิษสูงก็อาจก่อให้เกิดอันตรายถึงแก่ชีวิตได้ (กองเครื่องสำอางและวัตถุอันตราย กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข, 2549)

ต่อมาเริ่มมีการพัฒนาการใช้สารสกัดจากพืชซึ่งเป็นสารธรรมชาติไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์เลี้ยง ในประเทศไทยของเราก็มีการศึกษาสารสกัดจากพืชสมุนไพร เช่น หางไหล ตะไคร้หอม ข่า ขมิ้นชัน หัวแห้วหมู พริกขี้หนู เมล็ดงา เมล็ดพริกไทย และใบสาบเสือ พบว่าเป็นสมุนไพรที่ปลวกไม่สามารถสร้างกลไกในการย่อยสลายสารสำคัญจากพืชเหล่านี้ได้ สารสำคัญจากพืชเหล่านี้มีผลในการควบคุมประชากรปลวกโดยกลไกที่แตกต่างกัน ตั้งแต่การยับยั้งการเจริญเติบโตของตัวอ่อน การวางไข่ การกินอาหาร ตลอดจนถึงการลดการพัฒนาการของจุลินทรีย์ในลำไส้ปลวก ซึ่งมีผลโดยตรงต่อความอยู่รอดและการทำลายของปลวก ทำให้มีการควบคุมประชากรของปลวก โดยลดขบวนการย่อยอาหาร

ทำลายจุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร หยุดการลอกคราบของตัวอ่อน ทำให้ตัวอ่อนไม่เจริญเติบโต ลดการฟักไข่ของนางพญา (บริษัทเพาเวอร์เพสท์กรุป จำกัด, 2553)

ทั้งเมล็ดพริกไทยและใบสาบเสือเป็นพืชสมุนไพรที่มีอยู่และหาได้ทั่วไปในท้องถิ่น พืชทั้งสองชนิดนี้จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจนำมาทดสอบฤทธิ์ในการป้องกันหรือกำจัดปลวก หากสารสกัดจากพืชทั้งสองชนิดนี้มีฤทธิ์ในการป้องกันหรือกำจัดปลวกที่มีประสิทธิภาพดีแล้ว จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อไปในอนาคต

พริกไทย (ชื่อวิทยาศาสตร์: *Piper nigrum*) เป็นพืชมีผลเป็นพวงเม็ดขนาดเล็ก และเป็นเครื่องเทศที่ให้รสเผ็ดร้อน สามารถนำมาทำพริกไทยแห้งเป็นเครื่องปรุงรสสำหรับอาหาร ซึ่งถ้าทำแห้งทั้งเปลือกจะได้พริกไทยดำเนื่องจากผนังของเปลือกเป็นสีดำปนอยู่ ส่วนพริกไทยขาวได้จากการลอกเปลือกออกก่อนทำเป็นผง

พริกไทย เป็นต้นไม้ประเภทไม้เลื้อย มีความสูงประมาณ 5 เมตร ลักษณะของลำต้นเป็นข้อๆ เป็นต้นไม้ที่มีอายุยืน ระบบรากของต้นพริกไทยจะมีเกิดบริเวณข้อตามลำต้นเป็นรากเล็กๆจะเป็นรากที่ช่วยยึดเกาะ และมีรากที่อยู่ในดินขนาดใหญ่ประมาณ 3-6 ราก แต่ละรากจะมีรากฝอย ลักษณะใบจะมีสีเขียวสด ใบใหญ่คล้ายใบโพ ดอกของพริกไทยจะมีขนาดเล็ก จะออกช่อตามข้อเป็นพวง เมล็ดจะมีลักษณะกลมติดกันเป็นพวง (Pundit Purksametanan, 2556)



ภาพที่ 1 เมล็ดพริกไทย

สาบเสือ เป็นไม้ล้มลุก แตกกิ่งก้านสาขา  
มากมายจนดูเป็นทรงพุ่ม ลำต้นและกิ่งก้านปกคลุม  
ด้วยขนอ่อนนุ่ม ก้านและใบเมื่อขยี้จะมีกลิ่นแรงคล้าย  
สาบเสือ มีลำต้น สูง 1-2 เมตร ใบเดี่ยวออกจากลำ  
ต้น ที่ข้อ แบบตรงกันข้าม รูปรีค่อนข้างเป็น  
สามเหลี่ยมขอบใบ หยัก ปลายใบแหลม ฐานใบกว้าง  
เรียวสอบเข้าหากัน สีเขียวอ่อน เส้นใบเห็นชัดเจน 3

เส้น มีขนปกคลุม ผิวใบทั้งสองด้าน ดอกเป็นช่อ สี  
ขาวหรือฟ้าอมม่วง ดอกย่อย 10-35 ดอก ดอกวง  
นอกบานก่อน กลีบดอก หลอมรวมกันเป็นหลอด ผล  
ขนาดเล็ก รูปร่างเป็น ห้า เหลี่ยมสีน้ำตาลหรือดำ มี  
หนามแข็งบนเส้นของผล ส่วน ปลายผลมีขนสีขาว  
ช่วยพยุงให้ผลและเมล็ดปลิวตามลม



ภาพที่ 2 ใบสาบเสือ

ประโยชน์ของใบสาบเสือที่ทราบกันดีคือ ช่วย  
แก้ผมหงอก ทำให้ผมดกดำ ด้วยการใช้ใบสาบเสือ  
นำมาตำแล้วใช้หมักผมเป็นประจำ ไม่นานจะทำให้  
ให้เส้นผมดกดำขึ้น (นายสวีสอง, 2555)

### วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบฤทธิ์ในการกำจัด  
ปลวกของสารสกัดเมล็ดพริกไทยและใบสาบเสือที่  
ความเข้มข้นต่างๆ

## แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองเกี่ยวกับการกำจัดปลวกโดยใช้สารสกัดสมุนไพร ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ เนื่องจากแต่เดิมมีการใช้สารเคมีในการกำจัดปลวกกันอย่างกว้างขวาง สารเคมีเหล่านี้เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและตัวมนุษย์เอง การสลายตัวก็เป็นไปได้ยากทำให้มีการปนเปื้อนอยู่ทั่วไปในระบบนิเวศทั่วโลก จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการค้นคว้าหาสารที่มาจากธรรมชาติซึ่งเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและไม่เป็นพิษต่อมนุษย์ สมุนไพรที่ใช้ในการทดลองนี้คือ เมล็ดพริกไทยและใบสบาดเสือ ซึ่งเคยมีผู้ทำการวิจัยแล้วว่า มีสารสำคัญที่มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของปลวก

พืชสมุนไพรไทยที่หาได้ง่ายและถูกนำมาใช้ประโยชน์มากมายในชีวิตประจำวันมาเป็นเวลานานแล้ว คือ เมล็ดพริกไทยและใบสบาดเสือก็เป็นพืชที่ถูกพบว่ามีฤทธิ์ในการทำลายปลวก

สาร piperine ในพริกไทยออกฤทธิ์เป็นสารฆ่าแมลง (insecticide) ออกฤทธิ์ฆ่าแมลงวันบ้าน (houseflies) ได้สูงกว่าไพเรทรัม (pyrethrum) (Merck, 2016) เมล็ดพริกไทยลิบและเปลือกที่ถูกขูดสีออกมาในขบวนการเปลี่ยนพริกไทยดำให้เป็นพริกไทยขาว สามารถนำมาใช้ในการป้องกันกำจัดปลวก (นันทวัน นุญยะประภัสร์, 2546) และสาร piperine ยังออกฤทธิ์ไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ cytochrome P-450, UDP-glucuronyl transferase และ hepatic arylhydro carbon hydroxylase ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายสารพิษที่เข้าสู่ร่างกายในตับ (Atal C K et al, 1985)

เนื่องจากในใบสบาดเสือนั้นมีสารสำคัญ คือ ฟินีนิ คูมาริน เนบโธควิโนน ลิโมนีน ยูฟาทอล ลูฟีออล ฟาโวน คาไดอิน และแคมเฟอร์ จึงทำให้ใบสบาดเสือนั้นมีฤทธิ์ในการกำจัดปลวก ไล่แมลง ฆ่าแมลงได้ (สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร, 2015)

สำหรับการทดลองนี้จะเป็นการทดสอบฤทธิ์กำจัดปลวกของสารสกัดสมุนไพรดังกล่าวโดยใช้ตัวทำละลายสองชนิดได้แก่ น้ำ และเอทานอล

## วิธีการวิจัย

1. การเตรียมสารสกัดเมล็ดไทยและใบสบาดเสือ

1.1 วิธีการสกัดเมล็ดพริกไทยและใบสบาดเสือดด้วยน้ำกลั่น นำเมล็ดพริกไทยสดและใบสบาดเสือดอย่างละ 400 กรัม มาบดด้วยเครื่องปั่นละเอียด นำมาใส่ถุงที่ทำจากผ้าขาวบางและแช่ในน้ำกลั่น ปริมาตร 1.5 ลิตร ทิ้งไว้ 3 วัน โดยมีการคนสารเป็นระยะ ๆ อย่างสม่ำเสมอ

1.2 กรองสารละลายที่ได้จากการแช่พืชทั้งสองชนิดด้วยกระดาษกรอง (No.1 Whatman) ระเหยน้ำออกด้วยเครื่องกลั่นระเหยสุญญากาศ (vacuum evaporator) ที่อุณหภูมิ 45 °C เก็บสารสกัดที่ได้ใส่ขวดเก็บตัวอย่างสีชา เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C เพื่อนำไปทดสอบฤทธิ์ต่อไป

1.3 ทำการสกัดเมล็ดพริกไทยและใบสบาดเสือดด้วยเอทานอลเข้มข้น 95% โดยทำเช่นเดียวกับข้อ 4.1.1- 4.1.3 แต่เปลี่ยนจากน้ำกลั่นเป็นเอทานอลเข้มข้น 95% แทน

2. การทดสอบฤทธิ์ของสารสกัดในการกำจัดปลวก

2.1 นำสารละลายน้ำที่ได้จากการกรองมาบรรจุใส่กระบอกฉีด และนำสารละลายเอทานอลที่ได้ไปทำการกลั่นแยกตัวทำละลายออกไป ก่อนจะนำสารสกัดเอทานอลที่ได้มาละลายในเอทานอลอีกครั้ง แล้วบรรจุใส่กระบอกฉีด

2.2 นำปลวกมาเลี้ยงในภาชนะที่เหมาะสม แล้วแยกปลวกออกไปทดสอบด้วยสารละลายที่สกัดได้แต่ละชนิด

2.3 ทำการฉีดพ่นสารสกัดไปที่ไม่ซึ่งเป็นอาหารของปลวกก่อนจะนำไปให้กับกลุ่มตัวอย่างปลวกชุดที่ 1 โดยทำตัวอย่างละสามซ้ำ ใช้ปลวกแต่ละชุดทดลองเป็นจำนวน 10 ตัว

2.4 สำหรับชุดควบคุม จะทำการทดลอง เช่นเดียวกับข้อ 4 และ 5 แต่ใช้น้ำกลั่นและเอทานอล แทนสารสกัด

2.5 สังเกตและนับจำนวนปลวกที่ตายลง ทั้งหมด ในกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม (control) เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง บันทึกผลที่ได้

2.6 นำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ตายของกลุ่ม ตัวอย่างเทียบกับกลุ่มควบคุม เพื่อเปรียบเทียบ

ประสิทธิภาพการกำจัดปลวกของสารสกัดที่ได้ ทั้งหมด

### ผลการวิจัย

เมื่อทำการสกัดสารจากเมล็ดพริกไทยและใบสาบเสือโดยใช้ตัวทำละลายสองชนิดคือ น้ำกลั่นและเอทานอล ได้ปริมาณสารสกัดคิดเป็นร้อยละผลผลิต ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 1 ปริมาณสารสกัดเมล็ดพริกไทย และใบสาบเสือ โดยการใช้ น้ำและเอทานอลเป็นตัวทำละลาย

ตัวอย่างพืช	น้ำ			เอทานอล		
	นน.พืชสด	นน.สารสกัด	คิดเป็น %	นน.พืชสด	นน.สารสกัด	คิดเป็น %
เมล็ดพริกไทย	400	16.02	4.01	400	14.56	3.64
ใบสาบเสือ	400	33.66	8.42	400	28.81	7.20

จากการทดลองพบว่า ปลวกที่ได้รับอาหารซึ่งถูกฉีดพ่นโดยสารสกัดน้ำและเอทานอลของเมล็ดพริกไทยและใบสาบเสือไว้ก่อนแล้ว เมื่อเวลาผ่านไปครบ 24 ชั่วโมง ผลการนับจำนวนปลวกที่เสียชีวิตแสดงดังตารางที่ 5.2 ซึ่งจะเห็นได้ว่า สารสกัดเอทานอลจากเมล็ดพริกไทยความเข้มข้น 30 มก./มล. มีฤทธิ์ในการกำจัดปลวกสูงมากโดยกำจัดได้ทั้งหมด 100% ซึ่งดีกว่าสารสกัดเอทานอลของใบสาบเสือที่ความเข้มข้นเดียวกันที่สามารถกำจัดปลวกได้แค่

47% และประสิทธิภาพจะลดลงเมื่อความเข้มข้นถูกเจือจางลง

สำหรับสารสกัดน้ำนั้นพบว่าสารสกัดของใบสาบเสือความเข้มข้น 30 มก./มล.มีประสิทธิภาพในการกำจัดปลวกได้ดีที่สุดถึง 70% ขณะที่สารสกัดน้ำของเมล็ดพริกไทยที่ความเข้มข้นเดียวกันสามารถกำจัดปลวกได้เพียง 53% และประสิทธิภาพจะลดลงเมื่อความเข้มข้นถูกเจือจางลง

ตารางที่ 2 ผลของสารสกัด (extract) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ต่ออัตราการตายของปลวกที่เวลา 24 ชั่วโมง

สารสกัดที่ความเข้มข้นต่างๆ (มก./มล.)		จำนวนปลวกที่ตาย (ตัว)				คิดเป็น %
		1	2	3	เฉลี่ย	
เมล็ดพริกไทย (น้ำ)	7.5	1	2	1	1.3	13±0.07
	15	3	3	4	3.3	33±0.07
	30	4	6	6	5.3	53±0.27
เมล็ดพริกไทย (เอทานอล)	7.5	2	1	2	1.7	17±0.07
	15	6	5	5	5.3	53±0.07
	30	10	10	10	10	100
ใบสาบเสือ (น้ำ)	7.5	1	3	2	2	20±0.20
	15	2	4	4	3.3	33±0.27
	30	7	8	6	7	70±0.20



ใบสาบเสือ(เอทานอล)	7.5	0	2	1	1	10±0.20
	15	2	2	2	2	20
	30	5	4	5	4.7	47±0.07
น้ำ (กลุ่ม control)		0	0	0	0	0
เอทานอล (กลุ่ม control)		0	0	0	0	0

## อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการทดลองที่ได้พบว่า สารสกัดเอทานอลจากเมล็ดพริกไทยซึ่งใช้ชนิดพ่นเคลือบอาหารของปลวก มีประสิทธิภาพในการกำจัดปลวกได้ดีมาก อาจมีความเป็นไปได้ว่าสารออกฤทธิ์ที่สำคัญตัวนั้นคือ piperine ในพริกไทยซึ่งมีเคยมีรายงานแล้วว่าเป็นสารที่มีฤทธิ์เป็นสารฆ่าแมลง (insecticide) ได้เป็นอย่างดี (Merck, 2016)

สำหรับสารสกัดน้ำจากใบสาบเสือนั้นพบว่ามีฤทธิ์ในการกำจัดปลวกได้เช่นกัน โดยมีประสิทธิภาพต่ำกว่าสารสกัดเอทานอลของเมล็ดพริกไทยเล็กน้อย ได้เคยมีรายงานว่าใบสาบเสือนั้นมีสารสำคัญคือ ฟีนิน คูมาริน เนบโธควิโนน ลิโมนีน ยูพาทอล ลูพ็อล ฟาโวน คาไดอิน และแคมเฟอร์ จึงทำให้ใบสาบเสือนั้นมีฤทธิ์เป็นสารกำจัดแมลงต่างๆ รวมทั้งปลวกได้ (สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร, 2015)

อย่างไรก็ตาม เพื่อเป็นการพิสูจน์ว่าสารออกฤทธิ์ในสารสกัดที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดปลวกที่แท้จริงคือสารใด ควรมีการนำสารสกัดที่ได้ไปทำบริสุทธิ์ยิ่งขึ้น เพื่อแยกองค์ประกอบทางเคมี แล้วนำไปตรวจหาเอกลักษณ์โครงสร้างของสารที่เป็นองค์ประกอบหลักด้วยเทคนิคทางเคมีวิเคราะห์ต่อไป

## สรุป

จากงานวิจัยนี้ทำให้เกิดแนวความคิดต่าง ๆ ดังนี้

1) การนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากธรรมชาติมาใช้ในการกำจัดปลวกศัตรูที่ทำความเสียหายกับบ้านเรือน รวมไปถึงความเสียหายของเศรษฐกิจประเทศ

โดยรวมได้ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้นี้ไม่เป็นอันตรายกับมนุษย์และสัตว์เลี้ยงเหมือนกับสารฆ่าแมลงที่มีขายทั่วไปในท้องตลาด

2) การทดลองนี้เป็นการใช้สารสกัดพืชมืดพ่นไปที่อาหารของปลวก ดังนั้นจึงอยู่ในขั้นตอนทั้งการป้องกันและกำจัดปลวก ซึ่งการป้องกันย่อมดีกว่าการแก้ไข

3) วิธีการสกัดและการนำไปใช้สามารถนำไปปรับเปลี่ยนเพื่อประยุกต์ใช้กับครัวเรือนต่างๆ ได้โดยง่าย เมล็ดพริกไทยและใบสาบเสือก็เป็นพืชที่สามารถหาได้ง่ายทั่วไปในประเทศ

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้จะไม่สามารถดำเนินการจนเสร็จสิ้นได้เลย ถ้าปราศจากการสนับสนุนด้านทุนวิจัยสถานที่ และเครื่องมืออำนวยความสะดวกจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ ตลอดจนถึงบุคลากรผู้ร่วมงานในแผนกวิทยาศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ จึงใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

## เอกสารอ้างอิง

กองเครื่องสำอางและวัตถุอันตราย. กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. กระทรวงสาธารณสุข. (2549).

การใช้สารเคมีกำจัดแมลงในบ้านเรือน. สืบค้น 2 กุมภาพันธ์ 2558, จาก <http://webdb.dmsc.moph.go.th/hazardous/mainpage.asp>.

นันทวัน บุญยะประภัศร. (2546). การพัฒนาการกำจัดปลวกจากวัสดุเหลือใช้. กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

นายสีสอง. (2555). **สาบเสือใบห้ามเลือด**. สืบค้น  
จาก [http://www.komchadluek.net/news/  
agricultural/131936](http://www.komchadluek.net/news/agricultural/131936).

บริษัทเพาเวอร์เพสต์กรุ๊ปจำกัด. (2553). **สมุนไพร  
กำจัดปลวก เพื่อความปลอดภัยต่อชีวิต**. สืบค้น  
20 มีนาคม 2558, จาก [http://www.power  
pestgroup.com/index.php?lay=show&ac=  
article&id=326704&Ntype=3](http://www.powerpestgroup.com/index.php?lay=show&ac=article&id=326704&Ntype=3).

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2548). **นักวิจัย มก.  
คิดค้นสมุนไพรกำจัดปลวกได้สำเร็จ**. สืบค้นเมื่อ 2  
กุมภาพันธ์ 2558, จาก [http://pr.ku.ac.th/pr\\_  
news/research/html/2548/233-2548.htm](http://pr.ku.ac.th/pr_news/research/html/2548/233-2548.htm).

สำนักวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร. **สาร  
สกัดจากพืชเพื่อควบคุมศัตรูพืช**. สืบค้นเมื่อ  
28 พฤษภาคม 2558, จาก [http://www.doa.go.  
th/pibai/pibai/n11/v\\_11-jan/kayaipon.html](http://www.doa.go.th/pibai/pibai/n11/v_11-jan/kayaipon.html).

Atal C K et al. (1985). Biochemical basis of  
enhanced drug bioavailability by piperine-  
evidence is apotent inhibitor of drug  
metabolism. **Pharmacol Exp Ther**,  
232-258.

Merck. (2016). **Piperine**. Available from  
[http://www.merckmillipore.com/TH/en/p  
roduct/Piperine,MDA\\_CHEM-821036](http://www.merckmillipore.com/TH/en/product/Piperine,MDA_CHEM-821036).  
(2015, March 20<sup>th</sup>)

Pundit Purksametan. (2556). **พริกไทย**.  
สืบค้นเมื่อ 2 กุมภาพันธ์ 2558, จาก  
[https://www.gotoknow.org /posts/516672](https://www.gotoknow.org/posts/516672).

แบบจำลองอันดับเอ็นสำหรับการทำนายประสิทธิภาพของซิงค์(II)  
คลอไรด์ในการสังเคราะห์พอลิ(ε-ไพลอน-คาโพรแลกโตน)  
n-Order Reaction Model for Predicting the Efficiency of Zinc(II)  
Chloride in the Synthesis of Poly (ε-Caprolactone)

วานิช หลิมวานิช<sup>1\*</sup>, พุฒินันท์ มีเผ่าพันธ์<sup>2</sup>, นาวิ กังวาลย์<sup>3</sup> และ วินิตา บุญโยดม<sup>4</sup>  
Wanich Limwanich<sup>1\*</sup>, Puttinan Meepowpan<sup>2</sup>, Nawee Kungwan<sup>3</sup> and Winita Punyodom<sup>4</sup>

<sup>1</sup> คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

<sup>2,3,4</sup> ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 239 ถนนห้วยแก้ว ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200

<sup>1</sup> Faculty of Sciences and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna,

<sup>2,3,4</sup> Department of Chemistry, Faculty of Science, Chiang Mai University

\*Corresponding author e-mail: wanich.lim@gmail.com

## บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้คณะวิจัยได้ทำการศึกษาดังประสิทธิภาพของซิงค์(II) คลอไรด์ (ZnCl<sub>2</sub>) ในการริเริ่มพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวง (ROP) ของε-ไพลอน-คาโพรแลกโตน (ε-CL) โดยใช้เทคนิคคอน-ไอโซเทอร์มอลดิฟเฟอเรนเชียลแกนนิงคลอริเมตรี (DSC) และการทำโมเดลฟิตตั้ง จากผลการทดลองพบว่าซิงค์(II) คลอไรด์สามารถริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของ ε-CL ได้และพบกราฟของการคายความร้อนในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 160-280 °C ที่อัตราการให้ความร้อน 10 °C/min จากการทำโมเดลฟิตตั้งโดยใช้แบบจำลองอันดับเอ็น ( $f(\alpha) = (1-\alpha)^n$ ; n = 0.1-1.0) พบว่าค่าของมอนอเมอร์คอนเวอร์ชัน (α) ที่ได้จากสมการอัตราอันดับที่ 0.5 ( $d\alpha/dt = A \exp(-E_a/RT)(1-\alpha)^{0.5}$ ) ได้ผลใกล้เคียงกับการทดลองมากที่สุดและสามารถทำนายการเกิดพอลิเมอไรเซชันของ ε-CL ที่อัตราการให้ความร้อน 5 15 และ 20 °C/min ได้ จากข้อมูลที่ได้จากการจำลองพบว่าปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นและสิ้นสุดได้เร็วขึ้นเมื่อใช้อัตราการให้ความร้อนสูง และอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการให้ความร้อน นอกจากนี้ค่าพลังงานก่อกัมมันต์ (E<sub>a</sub>) และค่าคงที่ความถี่ของการชน (A) สามารถหาได้จากวิธีไอโซคอนเวอร์ชันนอลของคิสซิงเงอร์-อาคาฮิระ-ซุโนเส (KAS) และมีค่าเฉลี่ยของ E<sub>a</sub> และ A เท่ากับ 73.7 kJ/mol และ  $4.7 \times 10^7 \text{ s}^{-1}$  ตามลำดับ

**คำสำคัญ:** พอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวง, ดีเอสซี, ε-ไพลอน-คาโพรแลกโตน, ซิงค์(II) คลอไรด์, โมเดลฟิตตั้ง

## Abstract

In this work, the study of the initiating efficiency of zinc(II) chloride (ZnCl<sub>2</sub>) in ring-opening polymerization (ROP) of ε-caprolactone (ε-CL) was carried out on the non-isothermal differential scanning calorimetry (DSC) and model fitting techniques. The results showed that ZnCl<sub>2</sub> could initiate the polymerization of ε-CL and the polymerization exotherm was observed around 160-280 °C at a heating rate of 10 °C/min. From model fitting by n-order reaction model ( $f(\alpha) = (1-\alpha)^n$ ; n = 0.1-1.0), it was found that the monomer conversion (α) obtained from 0.5 order rate equation ( $d\alpha/dt = A \exp(-E_a/RT)(1-\alpha)^{0.5}$ ) was in agreement with the experimental results. Furthermore, it could be used to predict the polymerization of ε-CL at the heating rates of 5, 15 and 20 °C/min. From fitting results, the polymerization occurred and completed faster at high heating rate and the polymerization rate increased with increasing heating rate. Moreover, the activation energy (E<sub>a</sub>) and frequency factor (A) were determined from Kissinger-Akahira-Sunose (KAS) isoconversional method. The average values of E<sub>a</sub> and A were 73.6 kJ/mol and  $4.7 \times 10^7 \text{ s}^{-1}$ , respectively.

**Keywords:** Ring-opening polymerization, DSC, ε-Caprolactone, Zinc(II) chloride, Model fitting, Kinetics

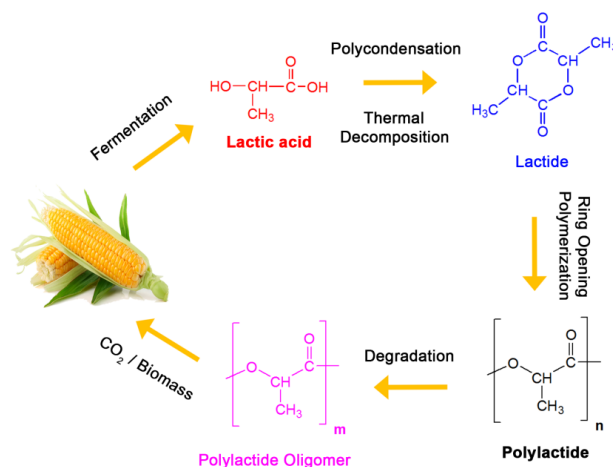
## บทนำ

ในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ทั่วโลกได้ให้ความสนใจพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เช่น พอลิแลกไทด์และพอลิคาโพรแลกโตน พอลิเมอร์เหล่านี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายไม่ว่าจะเป็น พอลิเมอร์ทางการแพทย์ หรือ ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ (Albertsson และ Varma, 2003; Marini, 2010; Ikada และ Tsuji, 2000) เป็นต้น คุณสมบัติที่จำเป็นสำหรับพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพมีดังต่อไปนี้(Sisson และคณะ, 2011)

1. ไม่เป็นพิษ เพื่อลดการต่อต้านจากร่างกายมนุษย์
2. ต้องมีระยะเวลาในการสลายตัวที่เหมาะสม
3. ต้องมีคุณสมบัติเชิงกลที่เหมาะสม
4. เมื่อสลายตัวแล้วต้องไม่ปลดปล่อยสารที่เป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม กระบวนการสังเคราะห์และการสลายตัวของพอลิแลกไทด์ได้แสดงไว้ในรูปที่ 1 (Gupta, 2007) จากรูปจะเห็นได้ว่ากระบวนการเตรียมพอลิแลกไทด์เริ่มจากการนำข้าวโพดมาทำการหมักเพื่อให้ได้กรดแลคติก ซึ่งจะถูกใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์หมอนอเมอร์แลกไทด์ จากนั้นเมื่อทำพอลิเมอร์โรเซชันแบบเปิดวง (ROP) ของแลกไทด์จะได้พอลิแลกไทด์ออกมา ซึ่งพอลิแลกไทด์สามารถย่อยสลายได้กลายเป็นสายโซ่ที่สั้นลงและสุดท้ายจะเปลี่ยนเป็นสารชีวมวลและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวไม่ก่อให้เกิดสารที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม

โดยทั่วไปแล้วคุณสมบัติต่างๆของพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพเหล่านี้สามารถควบคุมได้โดยการควบคุมโครงสร้างย่อยของพอลิเมอร์ผ่านปฏิกิริยาสังเคราะห์ (Albertsson และ Varma, 2003; Stridberg และคณะ, 2002) ระบบริเริ่มปฏิกิริยาที่เป็นที่นิยมใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ คือ ระบบทิน(II) ออกโทเทท ( $\text{Sn}(\text{Oct})_2$ ) ซึ่งเป็นระบบริเริ่มที่ให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาสูง และสามารถใช้ในการผลิตพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงได้ (Storey และคณะ, 2002) แต่อย่างไรก็ตามพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์จากระบบริเริ่มนี้จะยังคงมีทิน หรือ ดีบุก (Sn) หลงเหลืออยู่ซึ่งมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องกำจัดโลหะชนิดนี้ออกจากพอลิเมอร์ก่อนนำไปใช้งาน เนื่องจากมีความเป็นพิษต่อร่างกายมนุษย์และสิ่งแวดล้อม (Stjernedalและคณะ, 2007)

ระบบริเริ่มที่มีองค์ประกอบของสังกะสี (Zn) เป็นที่สนใจของนักวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ทั่วโลก เนื่องจากมีความเป็นพิษต่ำและราคาไม่แพง Pandey (Pandey, 2014) ได้รายงานถึงการสังเคราะห์โพรลีนต (zinc prolinat,  $\text{Zn}(\text{Pro})_2$ ) เป็นตัวริเริ่ม ROP ของแอล- และ ดี-แลกไทด์ (L- and D-lactide) (LL และ DL) ระบบดังกล่าวสามารถใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยจำนวน ( $M_n$ ) < 5,100 และพบว่า  $\text{Zn}(\text{Pro})_2$  ไม่ก่อให้เกิด racemization ของพอลิแลกไทด์



ภาพที่ 1 กระบวนการสังเคราะห์และการย่อยสลายของพอลิแลกไทด์ปรับปรุงจากงานวิจัยของ Gupta (Gupta, 2007)

Huang และคณะ (Huang และคณะ, 2007) ได้รายงานถึงการสังเคราะห์ซิงค์อัลลิลออกไซด์ (zinc allyloxide) ที่มีความระเคาะระกะสูง เพื่อใช้เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพสำหรับ ROP ของ เอปไซลอน-คาโพรแลกโทน (E-CL) และ LL และพบว่าระบบริเริ่มปฏิกิริยานี้สามารถใช้สังเคราะห์พอลิเมอร์ที่มี  $M_n < 39,100$  มากไปกว่านั้น Zn 1 อะตอมสามารถผลิตสายโซ่พอลิเมอร์ได้ 20 สาย และปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีลักษณะแบบ living ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักโมเลกุลเมื่อความเข้มข้นของตัวริเริ่มลดลง

Abbina และ Du (Abbina และ Du, 2014) ได้นำเสนอการเตรียมไอโซแทกติก พอลิ(ราเซมิก-แลกไทด์) โดยใช้ตัวริเริ่มในกลุ่มสารเชิงซ้อนของ chiral zinc amido-oxazolinates พบว่าตัวริเริ่มนี้มีความว่องไว และสามารถสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่มีค่า  $M_n < 59,200$  มากไปกว่านั้นพอลิเมอร์ที่ได้มีความจำเพาะเจาะจงสูง ตัวริเริ่มนี้สามารถควบคุมสเตอริโอเคมีของพอลิเมอร์ ทำให้พอลิเมอร์มีโครงสร้างแบบไอโซแทกติก (isotactic) ซึ่งมีความเป็นระเบียบสูง ส่งผลให้จุดหลอมเหลวมีค่าสูงถึง  $214^\circ\text{C}$

Gowda และ Chakraborty (Gowda และ Chakraborty, 2010) ได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพของซิงค์อะซิเตท (Zinc acetate,  $\text{Zn}(\text{OAc})_2$ ) ในพอลิเมอไรเซชันของไซคลิกเอสเทอร์ต่างๆ ได้แก่ ราเซมิก-แลกไทด์ (rac-LA), LL, E-CL และ เดลตา-วาเลโรแลกโทน (D-VL) โดยใช้ไอโซ-โพรพานอล (iPrOH) และ เบนซิลแอลกอฮอล์ (BnOH) เป็นตัวริเริ่ม จากผลการทดลองพบว่าระบบริเริ่มนี้สามารถใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลและร้อยละผลผลิตที่สูงได้ และให้พอลิเมอร์ที่มีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลที่แคบ จากการศึกษาจลนพลศาสตร์พบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของไซคลิกเอสเทอร์ต่างๆกับ  $\text{Zn}(\text{OAc})_2$  เป็นดังนี้  $\text{D-VL} > \text{LL} > \text{E-CL} > \text{rac-LA}$

Obuah และคณะ (Obuah และคณะ, 2015) ได้นำเสนอเกี่ยวกับการสังเคราะห์พอลิ(เอปไซลอน-คาโพรแลกโทน) (PCL) โดยใช้สารกลุ่มเฟอร์โรซีนิลไพราโซลซิงค์(II) เบนโซเอท ((Ferrocenylpyrazolyl) zinc(II) benzoates) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา คณะผู้วิจัยได้สังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาในกลุ่มนี้ขึ้นมาหลายตัว และพบว่าระบบนี้สามารถใช้สังเคราะห์พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ( $< 7080$ ) และค่าการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลค่อนข้างกว้างซึ่งสัมพันธ์กับความเป็นอเล็กโทรไฟล์ที่แรงของ Zn จากการศึกษาจลนพลศาสตร์พบว่าปฏิกิริยาเป็นอันดับหนึ่งเทียมและอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น สารเชิงซ้อนของ Zn ที่มีเอมีนเป็นลิแกนด์จะให้พอลิเมอร์ที่มีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลสูงที่สุด

ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงได้พยายามค้นหาระบบริเริ่มอื่นๆที่มีความว่องไวและปราศจาก Sn ในโครงสร้างโดยคณะผู้วิจัยพบว่าระบบของซิงค์(II) คลอไรด์ ( $\text{ZnCl}_2$ ) มีความน่าสนใจ ตัวริเริ่มระบบนี้สามารถละลายได้หมดในมอนอเมอร์ซึ่งทำให้ไม่มีความคลาดเคลื่อนของความเข้มข้นที่ใช้ มากไปกว่านั้นจะทำการศึกษาถึงพฤติกรรมของ  $\text{ZnCl}_2$  ในพอลิเมอไรเซชันของ E-CL โดยทั่วไปแล้วการที่จะเข้าใจถึงพฤติกรรมของตัวริเริ่มปฏิกิริยาจะต้องทำการศึกษาข้อมูลทางจลนพลศาสตร์ ข้อมูลที่ได้จะทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของตัวริเริ่มได้

การศึกษาจลนพลศาสตร์ของพอลิเมอไรเซชันแบบเปิดวง (ROP) ของไซคลิกเอสเทอร์สามารถทำได้อย่างรวดเร็วโดยใช้เทคนิค differential scanning calorimetry (DSC) (Sedush และคณะ, 2015; Mazzaro และคณะ, 2008) ในปัจจุบัน Limwanich และคณะ (Limwanich และคณะ, 2015) ได้รายงานถึงการศึกษาจลนพลศาสตร์และอุณหพลศาสตร์ของ ROP ของ E-CL ที่ริเริ่มโดยตัวริเริ่มไตร-เอ็น-บิวทิลทินเอ็นบิวทอกไซด์ ( $\text{nBu}_3\text{SnOnBu}$ ) โดยเทคนิค DSC คณะผู้วิจัยพบว่าเทคนิค DSC เป็นเทคนิคที่มีความ

สะดวก รวดเร็ว ในการศึกษาพฤติกรรมของตัวริเริ่มปฏิกิริยา และสามารถหาค่าตัวแปรทางจลนพลศาสตร์ได้อย่างรวดเร็ว Zhang และคณะ (Zhang และคณะ, 2012) ได้รายงานการใช้เทคนิค DSC และการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันระหว่างอีพอกซีเรซิน กับ ซัลเฟอร์ คณะผู้วิจัยพบว่าผลการทดลองที่ได้จากแบบจำลองอันดับเอนมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองที่ได้จาก DSC มากไปกว่านั้น Li และคณะ (Li และคณะ, 2008) ได้ศึกษาจลนพลศาสตร์ของ ROP ของ  $\epsilon$ -CL ที่ริเริ่มโดยตัวริเริ่ม  $Ti[O(CH_2)_4OCH=CH_2]$  โดยใช้เทคนิค DSC คณะผู้วิจัยพบว่าค่าพลังงานก่อกัมมันต์ ( $E_a$ ) ลดลงเมื่อความเข้มข้นของตัวริเริ่มเพิ่มขึ้น และคณะผู้วิจัยใช้แบบจำลองอันดับหนึ่งในการฟิตติ้งกับผลการทดลองจาก DSC และพบว่าแบบจำลองสามารถอธิบายระบบพอลิเมอไรเซชันได้ตั้งแต่มอนอเมอร์คอนเวอร์ชัน  $> 0.2$  จากการทบทวนวรรณกรรมจึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาข้อมูลทางจลนพลศาสตร์เพื่อให้เข้าใจถึงพฤติกรรมการริเริ่มปฏิกิริยาของตัวริเริ่ม รวมถึงข้อมูลที่ได้ยังมีประโยชน์ต่อการออกแบบสถานะที่ใช้ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาถึงประสิทธิภาพของ  $ZnCl_2$  ใน ROP ของ  $\epsilon$ -CL โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางจลนพลศาสตร์ที่ได้จากเทคนิคนอน-ไอโซเทอร์มอล และจะทำการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการอธิบายและเปรียบเทียบตัวแปรทางจลนพลศาสตร์ที่ได้โดยอาศัยแบบจำลองอันดับเอน

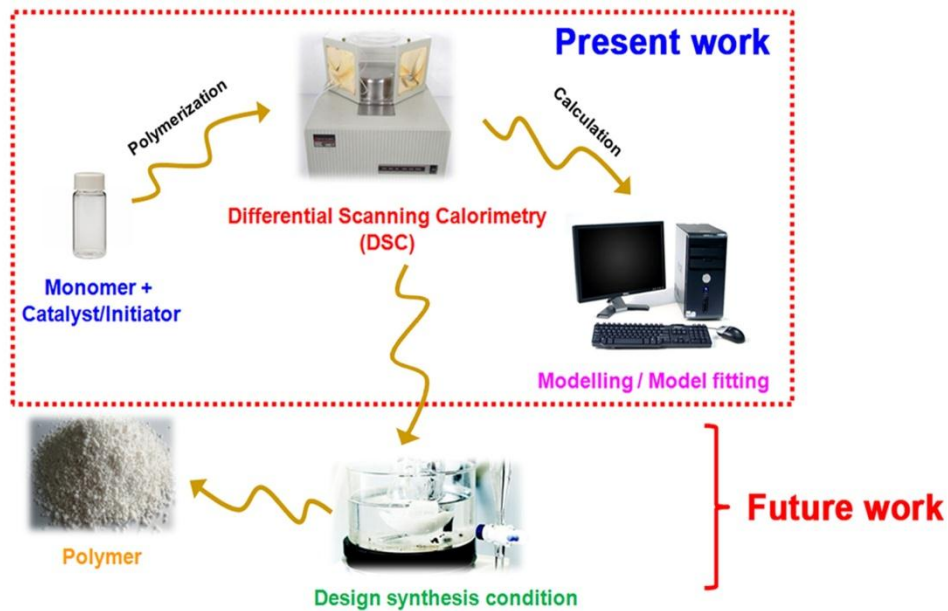
## วิธีการวิจัย

เอปไซลอน- คาโพรแลกโตน ( $\epsilon$ -CL, Sigma 97.0%) จะถูกทำให้บริสุทธิ์โดยการกลั่นภายใต้สภาวะสุญญากาศก่อนใช้งานเป็นมอนอเมอร์ ซิงค์(II) คลอไรด์ ( $ZnCl_2$ , Sigma  $> 98.0\%$ ) ถูกใช้งานเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาโดยไม่ทำให้บริสุทธิ์ก่อนสำหรับการศึกษาจลนพลศาสตร์โดยเทคนิค DSC (Perkin Elmer DSC-7) เริ่มจากการผสม  $\epsilon$ -CL กับ  $ZnCl_2$  ในขวดผสมสารแล้วทำการกวนเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นทำการชั่งสารตัวอย่างปริมาณ 7-8 mg ลงในภาตอะลูมิเนียมและปิด จากนั้นทำการให้ความร้อนสารตัวอย่างจาก  $20\text{ }^\circ\text{C}$  ถึง  $280\text{ }^\circ\text{C}$  ที่อัตราการให้ความร้อน  $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$  แล้วทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้โดยใช้โปรแกรม Pyris DSC-7 ภาพรวมของงานวิจัยนี้ได้แสดงไว้ในแผนภาพที่ 1

## ผลการวิจัย

โดยทั่วไปสามารถติดตามพอลิเมอไรเซชันที่เกิดขึ้นในสถานะนอน-ไอโซเทอร์มอลโดยใช้เทคนิค DSC โดยอาศัยการติดตามการเปลี่ยนแปลงความร้อนที่คายออกมาจากการเชื่อมต่อ (สร้างพันธะ) กันของมอนอเมอร์ด้วยพันธะโควาเลนต์โดยการดำเนินไปของปฏิกิริยาจะมีความสัมพันธ์กับค่าของมอนอเมอร์คอนเวอร์ชัน ( $\alpha$ ) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ (1)

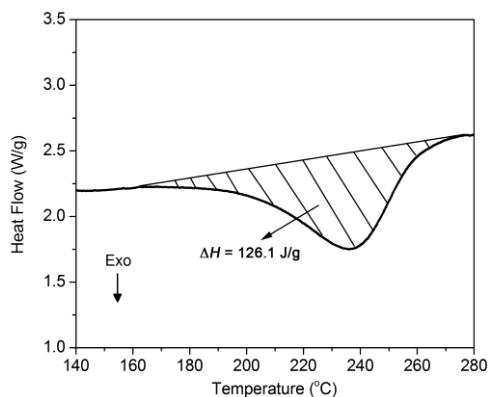
$$\alpha = \frac{\Delta H_t}{\Delta H_p} \quad (1)$$



ภาพที่ 2 ภาพรวมอย่างง่ายของงานวิจัยนี้

โดยที่  $H_c$  และ  $H_p$  คือ ความร้อนที่คายออกมาจากปฏิกิริยา ณ เวลาใดๆ และ ความร้อนที่คายออกมาจากปฏิกิริยาทั้งหมด ตามลำดับ สำหรับ ROP ของไซคลิกเอสเตอร์สามารถตรวจสอบได้จากการคายความร้อนจากกราฟของ DSC กราฟ DSC ของการคายความร้อนจาก ROP ของ  $\epsilon$ -CL กับ 1.0 mol% ของ  $ZnCl_2$  ที่อัตราการให้ความร้อน  $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$  ได้แสดงไว้ในรูปที่ 1 จากผลการทดลองพบว่าปฏิกิริยาเริ่มเกิดที่อุณหภูมิประมาณ  $160\text{ }^\circ\text{C}$  และสิ้นสุดที่  $275\text{ }^\circ\text{C}$  โดยมีค่าความร้อนจากปฏิกิริยา ( $\Delta H_p$ )  $126.1\text{ J/g}$  มากไป

กว่านั้นระบบริเริ่ม  $ZnCl_2$  เป็นระบบที่สามารถละลายในมอนอเมอร์ได้อย่างสมบูรณ์เป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้สามารถควบคุมความเข้มข้นที่แน่นอนได้ จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเวลาผ่านไประบบจะการคายความร้อนมากขึ้นจนถึงจุดต่ำสุดของกราฟ ความร้อนที่คายออกมาจะเริ่มลดลงเนื่องจากมอนอเมอร์จะเชื่อมต่อกันแล้วเปลี่ยนเป็นพอลิเมอร์จึงส่งผลทำให้ความเข้มข้นของมอนอเมอร์ลดลงเมื่อเวลาผ่านไปจึงทำให้ความร้อนที่ได้มีค่าลดลง



ภาพที่ 3 กราฟ DSC ของการคายความร้อนจาก ROP ของ  $\epsilon$ -CL กับ 1.0 mol% ของ  $ZnCl_2$  ที่อัตราการให้ความร้อน  $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$

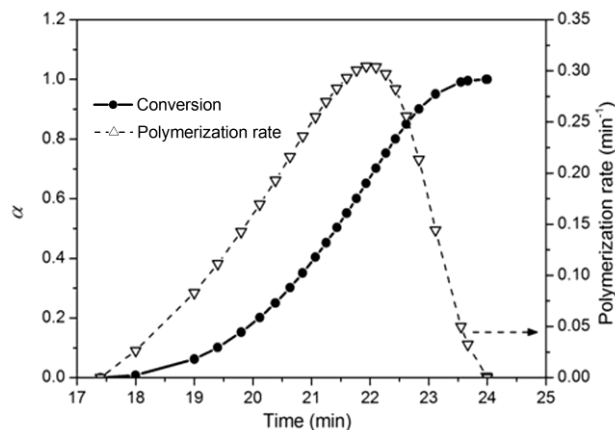
จากข้อมูลทางความร้อนที่ได้จากกราฟ DSC ในรูปที่ 1 สามารถนำไปสู่การคำนวณหาค่ามอนอเมอร์คอนเวอร์ชัน ( $\alpha$ ) ขึ้นโดยใช้ค่าความร้อนที่คายออกมาที่เวลาใดๆ เทียบกับความร้อนจากปฏิกิริยาทั้งหมด (Hernandez และ Richa, 2010) จากค่าของ  $\alpha$  สามารถหาค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยา ( $d\alpha/dt$ ) ได้ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมอนอเมอร์คอนเวอร์ชัน และ อัตราการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันกับ เวลา ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2 โดยทั่วไปแล้วค่าความร้อนที่วัดได้จากเทคนิค DSC จะมีความสัมพันธ์กับมอนอเมอร์คอนเวอร์ชัน (การดำเนินไปของปฏิกิริยา) และอัตราการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นจึงสามารถเขียนสมการอัตราการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันได้ดังสมการที่ (2)

$$\frac{d\alpha}{dt} = K(T)f(\alpha) \quad (2)$$

โดยที่  $K(T)$  คือ ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ขึ้นกับอุณหภูมิ สำหรับเทคนิคคอนไอโซเทอร์มอล DSC ค่าของ  $d\alpha/dt = \beta(d\alpha/dT)$  โดยที่  $\beta$  คือ อัตราการให้ความร้อน ( $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ) เมื่อทำการแทนค่าของ  $K(T)$  ด้วยสมการของ Arrhenius สามารถเขียนสมการอัตราในรูปใหม่ได้ดังสมการที่ (3) (Vyazavkin และคณะ, 2011; Meelua และคณะ, 2012)

$$\beta \frac{d\alpha}{dt} = A \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) f(\alpha) \quad (3)$$

โดยที่  $\beta A E_a$  และ  $f(\alpha)$  คือ อัตราการให้ความร้อน ความถี่ของการชน ค่าคงที่ของแก๊ส พลังงานก่อกัมมันต์ และฟังก์ชันของมอนอเมอร์คอนเวอร์ชันตามลำดับ โดยทั่วไปแล้วค่า  $f(\alpha)$  มีอยู่หลากหลายขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของระบบที่สนใจดังแสดงในตารางที่ 1 (Hernandez และ Richa, 2010)



ภาพที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมอนอเมอร์คอนเวอร์ชัน และ อัตราการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน กับ เวลาสำหรับ ROP ของ  $\epsilon$ -CL กับ 1.0 mol% ของ  $\text{ZnCl}_2$  ที่อัตราการให้ความร้อน  $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$



ตารางที่ 1 ตัวอย่างฟังก์ชันของมอนอเมอร์คอนเวอร์ชันสำหรับปฏิกิริยาที่ถูกกระตุ้นด้วยความร้อน (Hernandez และ Richa, 2010)

ฟังก์ชัน	$f(\alpha)$
Contracting sphere	$3(1-\alpha)^{2/3}$
n-order	$(1-\alpha)^n$
Avrami-Erofeev	$4(1-\alpha)[-\ln(1-\alpha)^{3/4}]$
Mampel (first-order)	$1-\alpha$

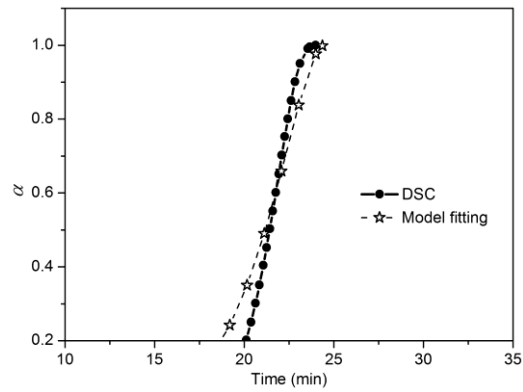
ในงานวิจัยนี้ฟังก์ชันที่ใช้คือ แบบจำลองอันดับเอ็็น (n-order reaction model,  $f(\alpha) = (1-\alpha)^n$ ) ซึ่งเป็นแบบจำลองที่สามารถใช้ในการทำนายการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้ (Zhang และคณะ, 2012) โดยที่จะทำการปรับเปลี่ยนค่าอันดับของปฏิกิริยา (n) ให้มีค่าตั้งแต่ 0.1 ถึง 1.0 โดยทำการแทนค่าฟังก์ชันนี้ลงไปในสมการที่ (2) ได้สมการอัตราใหม่ดังแสดงในสมการที่ (4)

$$\beta \frac{d\alpha}{dt} = A \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) (1-\alpha)^n \quad (4)$$

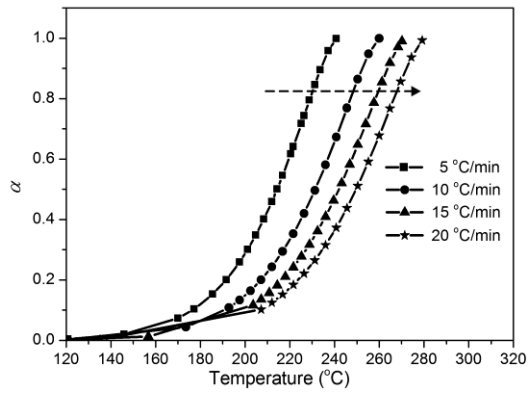
จากข้อมูลทางจลนพลนศาสตร์ที่ได้สามารถนำไปใช้ในการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ทำนายการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้ โดยการปรับค่าตัวแปรทางจลนพลศาสตร์ได้แก่  $A$ ,  $E_a$  และ  $n$  จากผลการทดลองพบว่าสมการอัตราที่เหมาะสมและให้ผลการทำนายที่ใกล้เคียงกับการทดลองมากที่สุดได้แสดงไว้ในสมการที่ (5) และผลจากการทำโมเดลฟิตติ้งได้แสดงไว้ในรูปที่ 3

$$\frac{d\alpha}{dt} = 1.7 \times 10^7 \exp\left(\frac{-7600}{RT}\right) (1-\alpha)^{0.5} \quad (5)$$

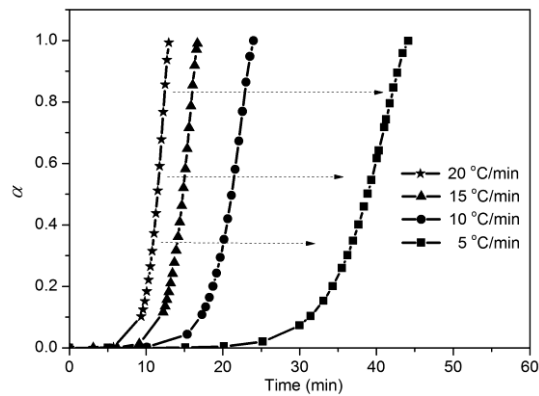
จากผลการทดลองที่ได้จากรูปที่ 3 และจากสมการที่ (5) สามารถนำไปใช้ในการทำนายการเกิดปฏิกิริยาที่อัตราการให้ความร้อนอื่นๆ ได้ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมอนอเมอร์คอนเวอร์ชัน กับ อุณหภูมิ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4 จากผลการทดลองในรูปที่ 4 พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการให้ความร้อนปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงขึ้นซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Limwanich และคณะ (Limwanich และคณะ, 2015) เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจเมื่อทำการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมอนอเมอร์คอนเวอร์ชัน กับ เวลา ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 5 พบว่าเมื่อใช้อัตราการให้ความร้อนที่สูงขึ้นจะทำให้ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเกิดขึ้นและสิ้นสุดได้เร็ว ซึ่งสอดคล้องกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่คำนวณได้จากรูปที่ 6 จากผลการทดลองพบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราการให้ความร้อน



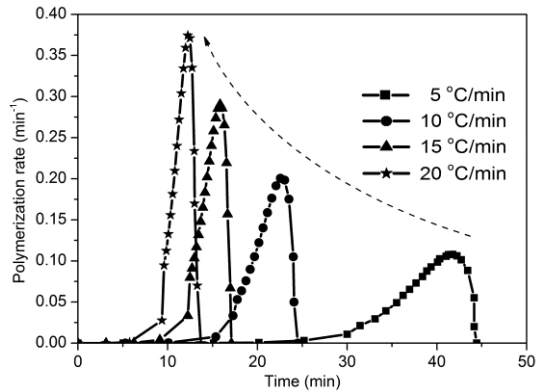
ภาพที่ 5 เปรียบเทียบกราฟที่ได้จากข้อมูลการทดลองด้วยเทคนิค DSC กับการทำโมเดลฟิตติ้ง ด้วยแบบจำลองอันดับเอิน



ภาพที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมอนอเมอร์คอนเวอร์ชัน กับ เวลา สำหรับ ROP ของ **E**-CL กับ 1.0 mol% ของ  $ZnCl_2$  ที่อัตราการให้ความร้อน 5 10 และ 20 °C/min จากการทำโมเดลฟิตติ้ง



ภาพที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมอนอเมอร์คอนเวอร์ชัน กับ เวลา สำหรับ ROP ของ **E**-CL กับ 1.0 mol% ของ  $ZnCl_2$  ที่อัตราการให้ความร้อน 5 10 และ 20 °C/min จากการทำโมเดลฟิตติ้ง

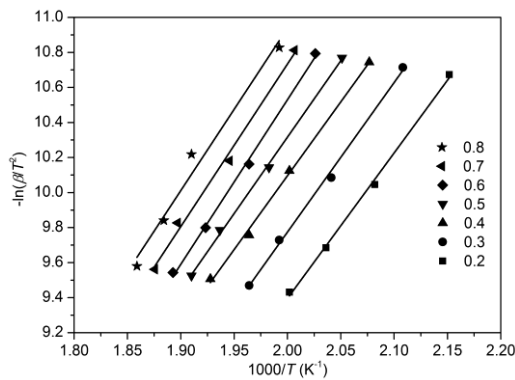


ภาพที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ชั้น กับ เวลา สำหรับ ROP ของ E-CL กับ 1.0 mol% ของ ZnCl<sub>2</sub> ที่อัตราการให้ความร้อน 5 10 15 และ 20 °C/min จากการทำให้โมเดลฟิตติ้ง

จากข้อมูลทางจลนพลศาสตร์ที่ได้สามารถคำนวณค่า  $E_a$  และ  $A$  ได้โดยใช้วิธีไอโซคอนเวอร์ชันนอลของ Kissinger-Akahira-Sunose (KAS) ดังสมการที่ (6) (Akahira และ Sunose, 1971; Kissinger, 1956)

$$\ln \frac{\beta}{T^2} = -\frac{E_a}{RT} + \ln \left( \frac{-RAf'(\alpha)}{E_a} \right) \quad (6)$$

วิธีนี้สามารถใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของ  $E_a$  ที่ระดับต่างๆของการเกิดปฏิกิริยาได้ (Limwanich และคณะ, 2015) ในงานวิจัยนี้จะทำการคำนวณค่า  $E_a$  ในช่วงมอดอร์คอนเวอร์ชันตั้งแต่ 0.2-0.8 โดยค่าของ  $E_a$  และ  $A$  สามารถหาได้จากความชันและจุดตัดของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $\ln(\beta/T^2)$  กับ  $1/T$  ดังแสดงในรูปที่ 7



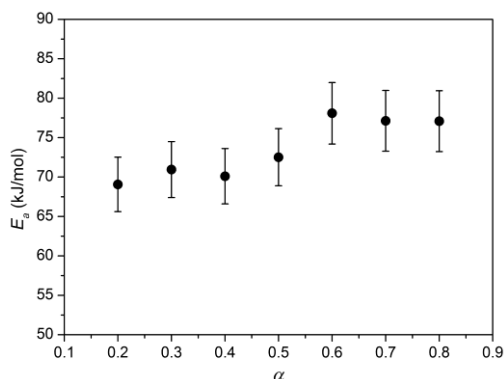
ภาพที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\ln(\beta/T^2)$  กับ  $1000/T$  ที่มอดอร์คอนเวอร์ชันต่างๆ จากการทำให้โมเดลฟิตติ้ง

ตัวอย่างการคำนวณค่าตัวแปรทางจลนพลศาสตร์ที่มอดอร์คอนเวอร์ชัน 0.2 ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 ค่าของ  $E_a$  และ  $A$  ที่มอดอร์คอนเวอร์ชันต่างๆที่ทำได้จากวิธีของ KAS ได้ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 3 จากผลการ

ทดลองค่าเฉลี่ยของ  $E_a$  และ  $A$  มีค่าเท่ากับ 73.7 kJ/mol และ  $4.7 \times 10^7 \text{ s}^{-1}$  ตามลำดับ แนวโน้มของค่า  $E_a$  กับมอดอร์คอนเวอร์ชันได้แสดงไว้ในรูปที่ 8 ค่า  $E_a$  ที่ได้จากวิธีของ KAS มีค่าใกล้เคียงกับการทำให้โมเดลฟิตติ้ง

จากการพิจารณาค่า  $E_a$  และกราฟของการคายความร้อนพบว่าระบบ  $ZnCl_2$  มีความว่องไวใกล้เคียงกับระบบริเริ่มไตรบิวทิลทิน(IV) อัลคอกไซด์ ( $Bu_3SnOR$ ) (Limwanich และคณะ, 2015) ค่า  $E_a$  ที่ได้จากการ

จำลองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอาจเกิดจากการเลื่อนของข้อมูลตามอัตราการให้ความร้อนที่ไม่เป็นไปตามความสัมพันธ์แบบเส้นตรง แต่ภาพรวมของค่า  $E_a$  ถือว่ามีค่าที่ไม่แตกต่างกัน



ภาพที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\ln(\beta/T^2)$  กับ  $1000/T$  ที่มอดนเมอร์คอนเวอร์ชันต่างๆจากการทำโมเดลพิตตั้ง

ตารางที่ 2 ค่าตัวแปรทางจลนพลศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณค่า  $E_a$  ที่มอดนเมอร์คอนเวอร์ชัน 0.2 จากการทำโมเดลพิตตั้ง

$\beta$ ( $^{\circ}C/min$ )	T ( $^{\circ}C$ )	$-\ln(\beta/T^2)$	$1000/T_p$ ( $K^{-1}$ )	$E_a$ (kJ/mol)
5.0	191.6	10.674	2.152	69.1
10.0	207.2	10.046	2.082	
15.0	218.0	9.685	2.036	
20.0	226.4	9.432	2.002	

ตารางที่ 3 ค่าของ  $E_a$  และ A ที่คำนวณได้จาก ROP ของ  $\epsilon$ -CL กับ 1.0 mol% ของ  $ZnCl_2$  ที่มอดนเมอร์คอนเวอร์ชันต่างๆที่ได้จากวิธีของ KAS จากการทำโมเดลพิตตั้ง

$\alpha$	$E_a$ (kJ/mol)	A ( $s^{-1}$ )	$R^2$
0.2	69.06	$1.42 \times 10^7$	0.998
0.3	70.95	$1.79 \times 10^7$	0.997
0.4	70.11	$1.22 \times 10^7$	0.997
0.5	72.51	$2.17 \times 10^7$	0.998
0.6	78.09	$9.03 \times 10^7$	0.998
0.7	77.13	$7.71 \times 10^7$	0.993
0.8	77.09	$9.31 \times 10^7$	0.979

## สรุปผลการทดลอง

ประสิทธิภาพของ  $ZnCl_2$  ในพอลิเมอร์โรเซชันแบบเปิดวงของ  $\epsilon$ -CL ได้ถูกตรวจสอบอย่างรวดเร็วโดยเทคนิคนอน-ไอโซเทอร์มอล DSC และการทำโมเดลฟิตติ้ง จากผลการทดลองพบว่า  $ZnCl_2$  สามารถละลายได้อย่างสมบูรณ์ในมอนอเมอร์ จากข้อมูลทางจลนพลศาสตร์ที่ได้จากเทคนิค DSC สามารถนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ( $d\alpha/dt = 1.7 \times 10^7 \exp(-7600/RT)(1-\alpha)^{0.5}$ ) เพื่อใช้ในการทำนายการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์โรเซชันของ  $\epsilon$ -CL ได้ และพบว่าค่าตัวแปรทางจลนพลศาสตร์ที่คำนวณได้จากแบบจำลองนี้มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองที่ได้จากเทคนิค DSC ผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับพอลิเมอร์โรเซชันของระบบริเริ่ม หรือ มอนอเมอร์ อื่นๆ ได้

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณเงินทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และการสนับสนุนด้านเครื่องมือวิเคราะห์ต่างๆ จาก ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่

## เอกสารอ้างอิง

Albertsson, A. C., Varma, I. K. (2003). Recent developments in ring opening polymerization of lactones for biomedical applications.

**Biomacromolecules.** 4, 1466-1486.

Marini, M. (2010). Preparation of star-shaped polylactic acid drug carrier nanoparticles.

**Materials Sciences and Applications.** 1, 36-38.

Ikada, Y., Tsuji, H. (2000). Biodegradable polyesters for medical and ecological applications. **Macromolecular Rapid Communication.** 21, 117-132.

Sisson, A.L., Schroeter, M., Lendlein, A. (2011). **Hand book of biodegradable polymers: Synthesis, Characterization and Applications.** Germany. Wiley-VCH.

Gupta, A.P., Kumar, V. (2007). New emerging trends in synthetic biodegradable polymers-polylactide: a critique, **European Polymer Journal.** 43, 4053-4074.

Stridberg, K. M., Ryner, M., Albertsson, A. C. (2002). Controlled ring-opening polymerization: polymers with designed macromolecular architecture. **Advance in Polymer Science.** 157, 41-65.

Storey, R. F., Mullen, B. D., Desai, G. S., Sherman, J. W., Tang, C. N. (2002). Soluble tin(II) macroinitiator adducts for the controlled ring-opening polymerization of lactones and cyclic carbonates. **Journal of Polymer Science: Part A: Polymer Chemistry.** 40 (20), 3434-3442.

Stjern Dahl, A., Wistrand, A. F., Albertsson, A. C. (2007). Industrial utilization of tin-initiated resorbable polymers: synthesis on a large scale with a low amount of initiator residue. **Biomacromolecules.** 8(3), 937-940.

Pandey, A.K. (2014). Ring opening polymerization of lactide by using zinc proline catalyst, **Advanced Materials Letters** 5(1) 44-51.

- Huang, B.H., Lin, C.N., Hsueh, M.L., Athar, T., Lin, C.C. (2006). Well-defined sterically hindered zinc aryloxides: excellent catalysts for ring-opening polymerization of  $\epsilon$ -caprolactone and L-lactide. **Polymer**. 47, 6622-6629.
- Abbina, S., Du, G. (2014). Zinc-catalyzed highly isoselective ring opening polymerization of rac-lactide. **ACS Macro Letters**. 3, 689-692.
- Gowda, R.R., Chakraborty, D. (2010). Zinc acetate as a catalyst for the bulk ring opening polymerization of cyclic esters and lactide. **Journal of Molecular Catalysis A: Chemical**. 333, 167-172.
- Obuah, C., Lochee, Y., Jordaan, J.H.L., Otto, D.P., Nyokong, T., Darkwa, J. (2015). (Ferrocenylpyrazolyl)zinc(II) benzoates as catalysts for the ring opening polymerization of  $\epsilon$ -caprolactone. **Polyhedron**. 90, 154-164.
- Sedush, N. G., Chvalun, S. N. (2015). Kinetics and thermodynamics of L-lactide polymerization studied by differential scanning calorimetry. **European Polymer Journal**. 62, 198-203.
- Mazarro, R., Lucas, A., Gracia, I., Rodriguez J.F. (2008). Kinetic study of D,L-lactide and glycolide homopolymerizations by differential scanning calorimetry. **Macromolecular Chemistry and Physics**. 209, 818-24.
- Limwanich, W., Meepowpan, P., Nalampang, K., Kungwan, N., Molloy, R., Punyodom, W. (2015) Kinetics and thermodynamics analysis for ring-opening polymerization of  $\epsilon$ -caprolactone initiated by tributyltin n-butoxide using differential scanning calorimetry. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**. 119(1), 567-579.
- Zhang, G., Cheng, J., Shi, L., Lin, X., Zhang, J. (2012). Study on curing kinetics of diallyl-bearing epoxy resin using sulfur as curing agent. **Thermochimica Acta**. 538, 36-42.
- Li, P., Zerroukhi, A., Chen, J., Chalamet, Y., Jeanmaire, T., Xia, Z. (2008). Kinetics study of  $Ti[O(CH_2)_4OCH=CH_2]_4$  initiated ring-opening polymerization of  $\epsilon$ -caprolactone by differential scanning calorimetry. **Journal of Applied Polymer Science** 110(6) 3990-3998.
- Hernandez, A.R., Richa, A.M. (2010). Ring opening polymerization of  $\epsilon$ -caprolactone initiated by decamolybdate anion: determination of kinetic and thermodynamic parameters by DSC and  $^1H$ -NMR. **Journal of Applied Polymer Science**. 115(4), 2288-2295.
- Vyazovkin, S., Burnham, A.K., Criado, J.M., Perez-Maqueda, L.A., Popescu, C., Sbirrazzuoli, N. (2011). ICTAC kinetics committee recommendations for performing kinetics computations on thermal analysis data. **Thermochimica Acta**. 520, 1-19.
- Meelua, W., Molloy, R., Meepowpan, P., Punyodom, W. (2012). Isoconversional kinetic analysis of ring-opening polymerization of  $\epsilon$ -caprolactone: steric influence of titanium(IV) alkoxides as initiators. **Journal of Polymer Research**. 19, 97-99.

- Limwanich, W., Punyodom, W., Kungwan, N., Meepowpan, P. (2015) DSC kinetics analysis for the synthesis of three-arms poly( $\epsilon$ -caprolactone) Using aluminum tri-sec-butoxide as initiator. **International Journal of Chemical Kinetics**. 47, 734-743.
- Akahira, T., Sunose, T. (1971). Method of determining activation deterioration constant of electrical insulating materials. **Research Report: Chiba Institute of Technology**. 16, 22-33.
- Kissinger, H.E. (1956). Variation of peak temperature with heating rate in differential thermal analysis. **Journal of Research of the National Bureau of Standards**. 57, 217-221.
- Limwanich, W., Khunmanee, S., Kungwan, N., Punyodom, W., Meepowpan, P. (2015). Effect of tributyltin alkoxides chain length on the ring-opening polymerization of  $\epsilon$ -caprolactone: kinetics studies by non-isothermal DSC; **Thermo Chimica Acta**. 599, 1-7.

# เสถียรภาพเชิงเส้นกำกับของโครงข่ายร่างแหระบบประสาทแบบไม่ต่อเนื่องทางเวลา

## Asymptotic Stability of Discrete Time Neural Networks

เกรียงไกร ราชกิจ<sup>1\*</sup>  
Grienggrai Rajchakit<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

<sup>1</sup>Department of Mathematics, Faculty of Science, Maejo University, Chiang Mai 50290, Thailand

\*Corresponding Author. E-mail: kreangkri@mju.ac.th; Tel: 0903177945

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เราได้เงื่อนไขที่เพียงพอของการมีเสถียรภาพเชิงเส้นกำกับของโครงข่ายร่างแหระบบประสาทแบบไม่ต่อเนื่องทางเวลา ในเทอมของอสมการเมทริกซ์ โดยใช้วิธีของไลยาปูนอฟ ผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงในตัวอย่างทางการคำนวณ

**คำสำคัญ:** เสถียรภาพเชิงเส้นกำกับ, โครงข่ายร่างแหระบบประสาทแบบไม่ต่อเนื่องทางเวลา, ไลยาปูนอฟฟังก์ชัน, อสมการเมทริกซ์

### Abstract

In this paper, we obtain some criteria for determining the asymptotic stability of the zero solution of discrete time neural networks in terms of certain matrix inequalities by using a discrete version of the Lyapunov second method. Our results can be well suited for computational purposes.

**Keywords:** Asymptotic stability, Discrete time neural networks, Lyapunov function, Matrix inequalities.

### Introduction

In recent decades, neural networks have been extensively studied in many aspects and successfully applied to many fields such as pattern identifying, voice recognizing, system controlling, signal processing systems, static image treatment, and solving nonlinear algebraic equations, etc. Such applications are based on the existence of equilibrium points, and qualitative properties of systems. In electronic implementation, time delays occur due to some reasons such as circuit integration, switching delays of the amplifiers and communication delays, etc. Therefore,

the study of the asymptotic stability of neural networks with delays is of particular importance to manufacturing high quality microelectronic cellular neural networks.

While stability analysis of continuous-time neural networks can employ the stability theory of differential equations (Wei X P et al. 2005), it is much harder to study the stability of discrete-time neural networks (Gubta MM and Jin L 1996) with time delays (Arik S 2005) or impulses (Liu XZ 2003). The techniques currently available in the literature for discrete-time systems are mostly based on the construction Lyapunov



second method (Infante EF 1981). For Lyapunov second method, it is well known that no general rule exists to guide the construction of a proper Lyapunov function for a given system. In fact, the construction of the Lyapunov function becomes a very difficult task.

In this paper, we consider discrete time neural networks of the form

$$\mathbf{u}(k+1) = -\mathbf{C}\mathbf{u}(k) + \mathbf{A}\mathbf{S}(\mathbf{u}(k)) + \mathbf{B}\mathbf{S}(\mathbf{u}(k-h(k))) + \mathbf{f}, \quad (1)$$

where  $\mathbf{u} \in \Omega \subseteq \mathbf{R}^n$  is the neuron state vector,  $h(k)$  is a continuous function describing the time-varying transmission delay in the network system and satisfies  $0 \leq h(k) \leq h$ ,

$\mathbf{C} = \text{diag}\{c_1, \dots, c_n\}$ ,  $c_i \geq 0$ ,  $i=1,2,\dots,n$  is the relaxation matrix,  $\mathbf{A}, \mathbf{B}$  are  $n \times n$  constant weight matrices,  $\mathbf{f} = (f_1, \dots, f_n) \in \mathbf{R}^n$  is constant external input vector and

$$\mathbf{S}(z) = [s_1(z_1), \dots, s_n(z_n)]^T \text{ with}$$

$s_i \in C^1[\mathbf{R}, (-1, 1)]$  where  $s_i$  is the neuron activations and monotonically increasing for each  $i=1,2,\dots,n$ .

The asymptotic stability of the zero solution of the delay-differential system of neural networks has been developed during the past several years. We refer to monographs by (Burton TA 1993) and (Chua LO and Yang L 1988) and the references cited therein. Much less is known regarding the asymptotic stability of the zero solution of the discrete time neural networks. Therefore, the purpose of this paper is to establish sufficient conditions for the asymptotic stability of the zero solution of (1) in terms of certain matrix inequalities.

## Preliminaries

The following notations will be used throughout the paper.  $\mathbf{R}^+$  denotes the set of all non-negative real numbers;  $\mathbf{Z}^+$  denotes the set of all non-negative integers;  $\mathbf{R}^n$  denotes the  $n$ -dimensional Euclidean space with Euclidean norm  $\|\cdot\|$  and the scalar product between  $x$  and  $y$  is defined by  $x^T y$ ;  $\mathbf{R}^{n \times m}$  denotes the set of all  $(n \times m)$ -matrices; and  $\mathbf{A}^T$  denotes the transpose of the matrix  $\mathbf{A}$ ;

We assume that the neuron activation functions are bounded and satisfy the following hypotheses, respectively:

$$|s_i(r_1) - s_i(r_2)| \leq l_i |r_1 - r_2|, \quad \forall r_1, r_2 \in \mathbf{R}. \quad (2)$$

$$0 \leq \frac{s_i(r_1) - s_i(r_2)}{r_1 - r_2} \leq l_i, \quad \forall r_1, r_2 \in \mathbf{R}. \quad (3)$$

Where  $l_i > 0$  are constants for  $i=1,2,\dots,n$ . By assumptions (2) and (3) we know that the functions  $s_i(\cdot)$  satisfy

$$|s_i(x_i)| \leq l_i |x_i|, \quad i=1,2,\dots,n.$$

And

$$s_i^2(x_i) \leq l_i x_i s_i(x_i), \quad i=1,2,\dots,n \quad (4)$$

Matrix  $\mathbf{Q} \in \mathbf{R}^{n \times n}$  is positive semidefinite ( $\mathbf{Q} \geq 0$ ) if  $x^T \mathbf{Q} x \geq 0$ , for all  $x \in \mathbf{R}^n$ . If  $x^T \mathbf{Q} x > 0$  ( $x^T \mathbf{Q} x < 0$ , resp.) For any  $x \neq 0$ , then  $\mathbf{Q}$  is positive (negative, resp.) definite and denoted by  $\mathbf{Q} > 0$ , ( $\mathbf{Q} < 0$ , resp.). It is easy to verify that  $\mathbf{Q} > 0$ , ( $\mathbf{Q} < 0$ , resp.) if  $\exists \beta > 0: x^T \mathbf{Q} x \geq \beta \|x\|^2, \forall x \in \mathbf{R}^n$ , ( $\exists \beta > 0: x^T \mathbf{Q} x \leq -\beta \|x\|^2, \forall x \in \mathbf{R}^n$ , resp.) .

**Fact 1.** For any positive scalar  $\varepsilon$  and vectors  $x$  and  $y$ , the following inequality holds:

$$x^T y + y^T x \leq \varepsilon x^T x + \varepsilon^{-1} y^T y.$$

**Lemma 2.1** (Callier F and Desoer CA 1992)

The zero solution of difference system is asymptotic stability if there exists a positive definite function  $V(x): \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}^+$  such that

$$\begin{aligned} \exists \beta > 0: \Delta V(x(k)) &= V(x(k+1)) - V(x(k)) \\ &\leq -\beta \|x(k)\|^2, \end{aligned}$$

Along the solution of the system. In the case the above condition holds for all  $x(k) \in V_\delta$ , we say that the zero solution is locally asymptotically stable.

**Lemma 2.2** (Chua LO and Yang L 1988) For any constant symmetric matrix  $M \in \mathbf{R}^{n \times n}$ ,  $M = M^T > 0$  scalar  $s \in \mathbf{Z}^+ \setminus \{0\}$  vector function  $W: [0, s] \rightarrow \mathbf{R}^n$ , we have

$$s \sum_{i=0}^{s-1} (w^T(i) M w(i)) \geq \left( \sum_{i=0}^{s-1} w(i) \right)^T M \left( \sum_{i=0}^{s-1} w(i) \right).$$

## Main Results

In this section, we consider the asymptotic stability of the zero solution  $u^*$  of (1) in terms of certain matrix inequalities. Without loss of generality, we can assume that  $u^* = 0, S(0) = 0$  and  $f = 0$  (for otherwise, we let  $x = u - u^*$  and define  $S(x) = S(x + u^*) - S(u^*)$ ).

The new form of (1) is now given by of the form

$$x(k+1) = -Cx(k) + AS(x(k)) + BS(x(k-h(k))). \quad (5)$$

**Theorem 3.1** The zero solution of the discrete time neural networks (5) is asymptotic stable if there exist symmetric

positive definite matrices  $P, G, W$  and  $L = \text{diag}[l_1, \dots, l_n] > 0$  satisfying the following matrix inequalities:

$$\psi = \begin{pmatrix} (1,1) & 0 & 0 \\ 0 & (2,2) & 0 \\ 0 & 0 & (3,3) \end{pmatrix} < 0, \quad (6)$$

where

$$(1,1) = C^T P C - P + h(k)G + W + \varepsilon A^T P B B^T P A + \varepsilon_1 C^T P B B^T P C + \varepsilon_2 L A^T$$

$$(2,2) = L B^T P B L + \varepsilon_1^{-1} L L + \varepsilon_2^{-1} L L - W, \text{ and}$$

$$(3,3) = -h(k)G.$$

**Proof** Consider the Lyapunov function

$$V = V_1 + V_2 + V_3, \text{ where}$$

$$V_1 = x^T(k) P x(k),$$

$$V_2 = \sum_{i=k-h(k)}^{k-1} (h(k) - k + i) x^T(i) G x(i),$$

$$V_3 = \sum_{i=k-h(k)}^{k-1} x^T(i) W x(i),$$

$P, G$ , and  $W$  being symmetric positive definite solutions of (6). Then difference of  $V$  along trajectory of solution of (5) is given by  $\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2 + \Delta V_3$ ,

Where

$$\begin{aligned} \Delta V_1 &= V_1(x(k+1)) - V_1(x(k)) \\ &= [-Cx(k) + AS(x(k)) + BS(x(k-h(k)))]^T P \\ &= [-Cx(k) + AS(x(k)) + BS(x(k-h(k)))]^T P \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \times[-Cx(k) + AS(x(k)) + BS(x(k-h(k)))] \\
& -x^T(k)Px(k) \\
& = x^T(k)[CPC - P]x(k) \\
& -x^T(k)CPAS(x(k)) - S^T(x(k))A^T PCx(k) \\
& -x^T(k)CPBS(x(k-h(k))) \\
& -S^T(x(k-h(k)))B^T PCx(k) \\
& +S^T(x(k))A^T PBS(x(k-h(k))) \\
& +S^T(x(k-h(k)))B^T PAS(x(k)) \\
& +S^T(x(k))A^T PAS(x(k)) \\
& +S^T(x(k-h(k)))B^T PBS(x(k-h(k)))
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta V_2 &= \Delta \left( \sum_{i=k-h(k)}^{k-1} (h(k)-k+i)x^T(i)Gx(i) \right) \\
&= h(k)x^T(k)Gx(k) - \sum_{i=k-h(k)}^{k-1} x^T(i)Gx(i), \\
\Delta V_3 &= \Delta \left( \sum_{i=k-h(k)}^{k-1} x^T(i)Wx(i) \right) \\
&= x^T(k)Wx(k) - x^T(k-h(k))Wx(k-h(k)),
\end{aligned}$$

(7)

Where (4) and **Fact 1** are utilized in (7), respectively.

Note that

$$\begin{aligned}
& -x^T(k)CPAS(x(k)) \\
& -S^T(x(k))A^T PCx(k) \\
& \leq \varepsilon x^T(k)CPAA^T PCx(k) \\
& +\varepsilon^{-1}S^T(x(k))S(x(k)), \\
& -x^T(k)CPBS(x(k-h(k))) \\
& -S^T(x(k-h(k)))B^T PCx(k) \\
& \leq \varepsilon_1 x^T(k)CPBB^T PCx(k) \\
& +\varepsilon_1^{-1}S^T(x(k-h(k)))S(x(k-h(k))), \\
& S^T(x(k))A^T PBS(x(k-h(k))) \\
& +S^T(x(k-h(k)))B^T PAS(x(k)) \\
& \leq \varepsilon_2 S^T(k)A^T PBB^T PAS(k) \\
& +\varepsilon_2^{-1}S^T(x(k-h(k)))S(x(k-h(k))), \\
& S^T(x(k-h(k)))B^T PBS(x(k-h(k))) \\
& \leq x^T(k-h(k))LB^T PBLx(k-h(k)),
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& S^T(x(k))A^T PAS(x(k)) \\
& \leq x^T(k)LA^T PALx(k),
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \varepsilon_2 S^T(k)A^T PBB^T PAS(k) \\
& \leq \varepsilon_2 x^T(k)LA^T PBB^T PALx(k),
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \varepsilon_1^{-1}S^T(x(k-h(k)))S(x(k-h(k))) \\
& \leq \varepsilon_1^{-1}x^T(k-h(k))LLx(k-h(k)),
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \varepsilon_2^{-1}S^T(x(k-h(k)))S(x(k-h(k))) \\
& \leq \varepsilon_2^{-1}x^T(k-h(k))LLx(k-h(k)),
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \varepsilon^{-1}S^T(x(k))S(x(k)) \\
& \leq \varepsilon^{-1}x^T(k)LLx(k),
\end{aligned}$$

hence

$$\begin{aligned}
\Delta V_1 &\leq x^T(k)[CPC - P]x(k) \\
& +\varepsilon x^T(k)A^T PBB^T PAx(k) \\
& +\varepsilon_1 x^T(k)CPBB^T PCx(k) \\
& +x^T(k-h(k))LB^T PBLx(k-h(k)) \\
& +x^T(k)LA^T PALx(k) \\
& +\varepsilon_2 x^T(k)LA^T PBB^T PALx(k) \\
& +\varepsilon_1^{-1}x^T(k-h(k))LLx(k-h(k)) \\
& +\varepsilon_2^{-1}x^T(k-h(k))LLx(k-h(k)) \\
& +\varepsilon^{-1}x^T(k)LLx(k).
\end{aligned}$$

Then we have

$$\begin{aligned}
\Delta V &\leq x^T(k)[CPC - P + h(k)G + W + \varepsilon A^T PBB^T PA \\
& +\varepsilon_1 CPBB^T PC \\
& +\varepsilon_2 LA^T PBB^T PAL + LA^T PAL \\
& +\varepsilon^{-1}LL]x(k) \\
& +x^T(k-h(k))[LB^T PBL + \varepsilon_1^{-1}LL \\
& +\varepsilon_2^{-1}LL - W]x(k-h(k)) \\
& - \sum_{i=k-h(k)}^{k-1} x^T(i)Gx(i).
\end{aligned}$$

Using **Lemma 2.2**, we obtain

$$\sum_{i=k-h(k)}^{k-1} x^T(i)Gx(i) \geq \left( \frac{1}{h(k)} \sum_{i=k-h(k)}^{k-1} x(i) \right)^T (h(k)G) \left( \frac{1}{h(k)} \sum_{i=k-h(k)}^{k-1} x(i) \right).$$

From the above inequality it follows that:

$$\begin{aligned} \Delta V &\leq x^T(k)[CPC - P + h(k)G + W \\ &+ \varepsilon A^T PBB^T PA + \varepsilon_1 CPBB^T PC \\ &+ \varepsilon_2 LA^T PBB^T PAL + LA^T PAL + \varepsilon^{-1}LL]x(k) \\ &+ x^T(k-h(k))[LB^T PBL + \varepsilon_1^{-1}LL + \varepsilon_2^{-1}LL \\ &- W]x(k-h(k)) \\ &- \left( \frac{1}{h(k)} \sum_{i=k-h(k)}^{k-1} x(i) \right)^T (h(k)G) \left( \frac{1}{h(k)} \sum_{i=k-h(k)}^{k-1} x(i) \right) \\ &= \begin{pmatrix} x^T(k), x^T(k-h(k)), \left( \frac{1}{h(k)} \sum_{i=k-h(k)}^{k-1} x(i) \right)^T \end{pmatrix} \\ &\quad \begin{pmatrix} (1,1) & 0 & 0 \\ 0 & (2,2) & 0 \\ 0 & 0 & (3,3) \end{pmatrix} \\ &\quad \begin{pmatrix} x(k) \\ x(k-h(k)) \\ \left( \frac{1}{h(k)} \sum_{i=k-h(k)}^{k-1} x(i) \right) \end{pmatrix} \\ &= y^T(k)\psi y(k), \end{aligned}$$

where

$$\begin{aligned} (1,1) &= CPC - P + h(k)G + W \\ &+ \varepsilon A^T PBB^T PA + \varepsilon_1 CPBB^T PC \\ &+ \varepsilon_2 LA^T PBB^T PAL + LA^T PAL \\ &+ \varepsilon^{-1}LL, \\ (2,2) &= LB^T PBL + \varepsilon_1^{-1}LL + \varepsilon_2^{-1}LL - W, \\ (3,3) &= -h(k)G, \end{aligned}$$

$$\text{and } y(k) = \begin{pmatrix} x(k) \\ x(k-h(k)) \\ \left( \frac{1}{h(k)} \sum_{i=k-h(k)}^{k-1} x(i) \right) \end{pmatrix}.$$

By the condition (6),  $\Delta V$  is negative definite,

namely there is a number  $\beta > 0$  such that

$$\Delta V(y(k)) \leq -\beta \|y(k)\|^2,$$

and hence, the asymptotic stability of the system

immediately follows from **Lemma 2.1**. This

completes the proof.  $\square$

**Example 3.1** Let us consider a discrete time neural networks (5), given by the system of the form

$$x(k+1) = -Cx(k) + AS(x(k))$$

$$+BS(x(k-h(k))),$$

where the matrices are

$$C = \begin{pmatrix} 0.7365 & 0 \\ 0 & 0.7365 \end{pmatrix},$$

$$A = \begin{pmatrix} -0.7339 & 0.7339 \\ 0.5412 & -0.5412 \end{pmatrix},$$

$$B = \begin{pmatrix} 0.1236 & 0.1236 \\ 0.3214 & 0.3214 \end{pmatrix},$$

$$s_i(x_i) = \frac{2}{\pi} \tan^{-1}(x_i), i = 1, 2$$

$$h(k) = \begin{cases} -2k + 0.2(i+1), & 0.1i \leq k < 0.05(2i+1), \\ 2t - 0.2i, & 0.05(2i+1) \leq k < 0.05(2i+2), \\ i = 0, 1, 2, \dots \end{cases}$$

and  $h = 1$ .

Using the LMI Toolbox in MATLAB, we found

that the LMIs in **Theorem 3.1** are feasible

and

$$P = \begin{pmatrix} 0.1238 & 0.0893 \\ 0.0325 & 0.0325 \end{pmatrix},$$

$$G = \begin{pmatrix} 8.2356 & 1.9658 \\ 1.9658 & 4.2389 \end{pmatrix},$$

$$W = \begin{pmatrix} 0.6325 & 0.1895 \\ 0.1895 & 0.8859 \end{pmatrix},$$

$$L = \begin{pmatrix} 6.2589 & 0 \\ 0 & 0.8965 \end{pmatrix},$$

$$\varepsilon = 0.5, \varepsilon_1 = 0.5, \varepsilon_2 = 0.5$$

are a set of solutions to the LMIs (6).

Therefore, the system is asymptotically

stable.

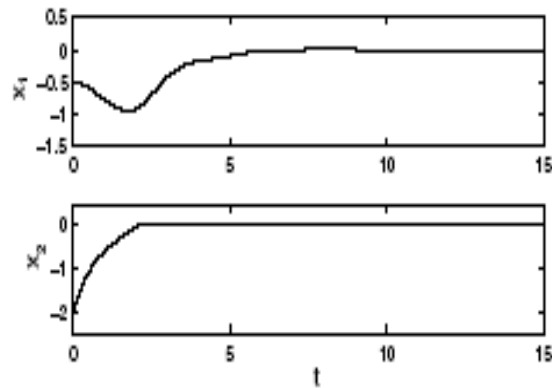


Fig. 1 The convergence dynamics of the system in Example 3.1.

For a given initial condition  $x(\theta) = [-0.5, -2]^T$ , convergence behavior of is shown in Fig. 1. As we can see from this figure, the steady state of discrete time neural networks is indeed asymptotically stable.

## Conclusions

In this paper, based on a discrete analog of the Lyapunov second method, we have established a sufficient condition for the asymptotic stability of discrete time neural networks in terms of certain matrix inequalities. Our results can be well suited for computational purposes.

## References

- Agarwal RP. (1992). **Difference Equations and Inequalities**. Marcel Dekker Inc., New York.
- Arik S (2005), Global Robust Stability Analysis of the Neural Networks with Discrete Time Delays. **Chaos. Solutions & Fractals**. Vol.26(No.5), 1407-1414.
- Burton TA. (1993). Averaged Neural Networks, **Neural Networks**. Vol.6, 677-680.
- Callier F, Desoer CA. (1992). **Linear System Theory**. Hongkong, Springer-Verlag.
- Chua LO, Yang L. (1988). Cellular Neural Networks. **IEEE Trans Circuits System**. Vol.35, 1273-1290.
- Elyadi S, Peterson A. (1990). **Difference Equations**. Academic Press. New York.
- Gu K. (2000). An Integral Inequality in the Stability Problem of Time-Delay Systems, In: **Proc39th IEEE CDC Conf.**, Sydney, Australia, 2805-2810.
- Gubta MM, Jin L. (1996). Globally Asymptotical Stability of Discrete-Time Analog Neural Networks. **IEEE Trans Neural Networks**. Vol.7(No.4), 1024-1031.
- Hale J (1977), **Theory of The Functional Differential Equations**, Springer-Verlag, New York.
- Hu S, Wang J. (2006). Global Stability of a Class of Discrete-Time Recurrent Neural Networks. **IEEE Trans Circuits and Systems-I**. Vol.49(No.8), 1021-1029.

Infante EF. (1981). A Lyapunov Functional for the Matrix Difference-Differential Equation. **Journal of difference Equations**. Vol.35(No.2), 261-264.

Liu XZ, Liu Y, Teo K L. (2003). Stability Analysis of Impulsive Control Systems. **Compute Math Model**. Vol.37, 1357-1370.

Wei X P, Xu J, Zang Q. (2005), New Stability Conditions for Neural Networks with Constant and Variable Delays, **Chaos, Solutions & Fractals**. Vol.26(No.5), 1391-1398.

Ye H (1944), Global Stability and Local Stability of Hopfield Neural Networks with Delay. **Physical Rev**. Vol.50(No.5), 4208-4215.

# ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารสำคัญในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากชาปลีกล้วย

## Antioxidant Activity and Active Compound from Banana Blossom Beverage

ดวงพร อมรเลิศพิศาล<sup>1\*</sup>, รัตนาภรณ์ จันทร์ทิพย์<sup>2</sup> และอุเทน จำใจ<sup>3</sup>  
Doungporn Amornlerdpison<sup>1\*</sup>, Rattanaporn Junthip<sup>2</sup> and Uten Jamjai<sup>3</sup>

<sup>1</sup> คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

<sup>2,3</sup> สหวิทยาการเกษตร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

<sup>1</sup> Faculty of Fisheries Technology and Aquatic Resources, Maejo University, Chiang Mai

<sup>2,3</sup> Agricultural Interdisciplinary, Graduate School, Maejo University, Chiang Mai

\* Corresponding author e-mail: doungpornfishtech@gmail.com

### บทคัดย่อ

ปลีกล้วยถูกพัฒนาเป็นเครื่องดื่มสำเร็จรูปให้มารดาหลังคลอดรับประทานเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำนมสำหรับให้บุตรในการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยใช้วิธีทดสอบฤทธิ์กำจัดอนุมูลอิสระ ABTS<sup>+</sup> และปริมาณกลุ่มสารฟีนอลิกที่เป็นสารสำคัญในชาปลีกล้วย 3 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ชาปลีกล้วย ชาชงชึ่งผสมปลีกล้วย และเครื่องดื่มแบบชงปลีกล้วย ผลการทดลองพบว่า ชาชงปลีกล้วยมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารสำคัญกลุ่มฟีนอลิกที่สูงกว่าชาชงชึ่งผสมปลีกล้วย และเครื่องดื่มแบบชงปลีกล้วย เมื่อเทียบต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ 1 กรัม โดยพบสารฟีนอลิกหลายชนิดในชาชงปลีกล้วย ได้แก่ catechin ในปริมาณสูงถึง 149.69 มก/กก รองลงมาคือ isoquercetin นอกจากนี้ยังพบ gallic acid, quercetin, rutin และ tannic acid จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโครมาโตกราฟี (HPLC) จากผลการทดลองดังกล่าวจึงสรุปได้ว่าผลิตภัณฑ์จากชาปลีกล้วยมีสารสำคัญกลุ่มฟีนอลิกและฤทธิ์ชีวภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าทุกผลิตภัณฑ์ ทั้งในชาชงชึ่งผสมปลีกล้วย และเครื่องดื่มแบบชงสำเร็จ เนื่องจากสารสำคัญในชาชงปลีกล้วยเมื่อนำมาละลายในน้ำร้อนแล้วสามารถละลายในน้ำได้ดีและออกฤทธิ์ชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์จากปลีกล้วยอีก 2 ชนิด ที่มีส่วนผสมอื่นๆ เพิ่มเติม ทำให้สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพมีปริมาณลดลง

**คำสำคัญ:** ปลีกล้วย, กลุ่มสารฟีนอลิก, ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ, เครื่องดื่มสำหรับมารดาให้นมบุตร

### Abstract

Banana blossom was developed as a beverage for postpartum mothers to increase milk supply or breastfeeding. The purposes of this research was to evaluate antioxidant activity using scavenging activity of ABTS<sup>+</sup> radical cation and quantity of phenolic compounds of banana blossom products including, banana blossom in tea bag, banana blossom with ginger in tea bag and powder of banana blossom instant beverage. The results showed that banana blossom packed in tea bag performed higher antioxidant activity and phenolic substances than the others when compared at 1 gram of product. The various forms of phenolic compounds found in banana blossom tea consisting, high amount of catechin (149.69 mg / kg), followed by isoquercetin, gallic acid, quercetin, rutin, and tannic acid evaluated by high performance liquid chromatography (HPLC). The results can be concluded that the banana blossom product in tea bag exhibits potent phenolic compounds and antioxidant activity higher than banana blossom with ginger in tea bag and powder of banana blossom instant beverage. This is because the active ingredients in banana blossom tea can dissolve in hot water and displayed biological effect higher than the other products of banana blossom containing other ingredients which may have an influence on a reduction in biological activity.

**Keywords:** banana blossom, phenolic compounds, antioxidant activity, beverage for breastfeeding

## บทนำ

กล้วยเป็นพืชที่มีการนำเอามาใช้ประโยชน์ได้ตั้งต้นมานับพันปี เนื่องจากมีสรรพคุณในการใช้เป็นยาหรือสมุนไพร จากภูมิปัญญาพื้นบ้านของไทยพบว่ามีการนำปลีหรือช่อดอกของต้นกล้วยมาเป็นอาหารบำรุงนํ้านมของมารดาหลังคลอดและในระหว่างการให้นมบุตร โดยนำปลีมาปรุงเป็นอาหารในรูปแบบต่างๆ เช่น แกงปลี ส้าปลี แกงเลียง เป็นต้น ด้านคุณค่าทางอาหารพบว่าปลีมีธาตุเหล็กที่มีคุณสมบัติในการบำรุงเลือด เนื่องจากมารดามีการสูญเสียเลือดระหว่างการคลอด นอกจากนี้ปลียังมีสารสำคัญกลุ่มฟีนอลิก เช่น แอนโทไซยานิน แคโรทีนอยด์ (Pazmiño-Durán et al., 2001; Ramu et al., 2014; Balwinder et al., 2016) ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ที่มีความสามารถละลายน้ำได้ดี โดยสารต้านอนุมูลอิสระช่วยป้องกันการเกิดโรคเรื้อรังต่างๆ เช่น โรคเกี่ยวกับหลอดเลือดและหัวใจ มะเร็ง เบาหวาน และกระเพาะอาหาร เป็นต้น (Ramu et al., 2014; Balwinder et al., 2016)

จากสภาวะความเปลี่ยนแปลงของลักษณะครอบครัวในปัจจุบันที่ส่วนใหญ่เป็นครอบครัวเดี่ยว มีสมาชิกในครอบครัวเพียงพ่อ แม่ ลูก 1-2 คน อีกทั้งพ่อแม่ต้องทำงานทั้งคู่ ไม่มีเวลาในการเตรียมอาหารรับประทานเอง ชีวิตต้องรีบเร่ง มีเวลาจำกัด อีกทั้งต้องใช้เวลาในการเดินทางเนื่องจากการจราจรที่หนาแน่น ดังนั้นการปรุงอาหารเองจึงมีความลำบากและยุ่งยากมาก การแปรรูปปลีกล้วยมาเป็นเครื่องดื่มสุขภาพสำหรับผู้หญิง จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับคุณแม่ผู้ให้นมบุตร นอกจากนี้มีรายงานการวิจัยในวุ้นนม พบว่าการเพิ่มสารกลุ่มฟีนอลิกในอาหารสามารถช่วยเพิ่มทั้งคุณภาพทางโภชนาการของนํ้านมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Aguiar et al., 2014) บริษัททากูญจนวนรินทร์ จึงได้พัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มปลีกล้วยสำเร็จรูปขึ้นมา 3 รูปแบบ ซึ่งจัดเป็นนวัตกรรมด้านผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่มีจำหน่ายใน

ท้องตลาด และยังเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้หญิงในวัยทำงานที่ต้องการความสะดวกและมีเวลาจำกัดได้เป็นอย่างดี

ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้ คณะผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปริมาณกลุ่มสารฟีนอลิกรวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในชาปลีกล้วย 3 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ชาชงชิงผสมปลีกล้วย ชาปลีกล้วย และเครื่องดื่มแบบชงปลีกล้วย เพื่อนำผลการทดลองไปใช้สนับสนุนประโยชน์ในการบริโภคผลิตภัณฑ์ดังกล่าว

## วิธีทดลอง

### การเตรียมผลิตภัณฑ์จากปลีกล้วย

ได้รับความอนุเคราะห์ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มปลีกล้วยสำเร็จรูป 3 รูปแบบ จากบริษัททากูญจนวนรินทร์ ซึ่งได้ยื่นจดทะเบียนสิทธิบัตรไว้แล้ว

### การวิเคราะห์ปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในชาปลีกล้วย

1. การเตรียมตัวอย่างสารสกัดชา โดยนำชา 1 ชอง (นํ้าหนักชาชง 1 กรัม/1 ชอง และเครื่องดื่มปลีกล้วยแบบชง 10 กรัม/ชอง) ชงในนํ้าร้อนอุณหภูมิ 85-90 องศาเซลเซียส ปริมาตร 250 มิลลิลิตร (มล.) นาน 3 นาที จากนั้นนำชองชาออก นำนํ้าชาที่ได้กรองด้วยกระดาษกรองวัดแมนเบอร์ 1 เพื่อแยกตะกอนละเอียด จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องก่อนนำไปทดสอบ

2. การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกรวม โดยใช้สาร Folin-Ciocalteu ตามวิธีการของ Sachindra et al. (2010) โดยมีขั้นตอนสรุปดังนี้ ผสมสารสกัด 0.2 มล. กับสารละลาย 10% Folin-Ciocalteu 1 มล. และสารละลาย 7.5% sodium carbonate 0.8 มล. ที่ส่วนผสมที่ได้ไว้นาน 1 ชม. ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นวัดค่าดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร คำนวณปริมาณกลุ่มสารประกอบฟีนอลิกโดยเทียบกับสารฟีนอลิกมาตรฐานคือ กรดแกลลิก



(gallic acid) หน่วยวัดเป็นมิลลิกรัมต่อสารตัวอย่าง  
หนัก 1 กรัม

3. การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยใช้วิธี  
ทดสอบฤทธิ์จับอนุมูลอิสระ (Scavenging activity  
of ABTS<sup>+</sup> radical cation) ตามวิธีการของ Re et  
al (1999) โดยมีขั้นตอนสรุปดังนี้ ผสมน้ำยา ABTS  
ลงในหลอดที่มีสารทดสอบหรือน้ำที่ปราศจากประจุ  
ผสมให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 6 นาที จากนั้นวัดค่าดูดกลืน  
แสงที่ 734 นาโนเมตรโดยใช้น้ำเป็น blank ค่ามวล  
ฤทธิ์กำจัดอนุมูล ABTS<sup>+</sup> เป็นร้อยละได้ดังนี้

$$\text{ฤทธิ์กำจัดอนุมูล ABTS (\%)} = \{1 - (A_{734} \text{ sample} / A_{734} \text{ deionized water})\} \times 100$$

เมื่อ  $A_{734} \text{ sample}$  และ  $A_{734} \text{ deionized water}$   
เป็นค่าดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตรของสาร  
ทดสอบและน้ำที่ปราศจากประจุ ตามลำดับ  
เปรียบเทียบความเข้มข้นของสารทดสอบกับความ  
เข้มข้นของ Trolox ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของวิตามินอีที่  
แสดงฤทธิ์เท่ากัน (Trolox equivalent  
antioxidant capacity, TEAC)

4. การวิเคราะห์สารสำคัญด้วยเทคนิคโครมาโต  
กราฟี (HPLC) โดยนำสารสกัดมาหา

องค์ประกอบของสารประกอบกลุ่มฟีนอลิกที่สำคัญ  
ด้วยเทคนิค LC-MS อ้างอิงวิธีวิเคราะห์ของ  
Penarrieta et al. (2007)

### ผลการทดลองและวิจารณ์

สารกลุ่มฟีนอลิก จัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่  
ได้รับจากภายนอก และพบมากในธรรมชาติ ได้แก่  
พืชผัก ผลไม้ ชาเขียว ชาดำ ช็อกโกแลต และไวน์แดง  
 เป็นต้น สารประกอบฟีนอลิกในธรรมชาติ ได้แก่  
กรดฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ แอนโทไซยานิน และแทน  
นิน เป็นต้น ปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิกโดยเฉลี่ยที่คน  
ได้รับต่อวันอยู่ในช่วง 20-1000 มิลลิกรัม สารฟีนอลิก  
เป็นสารที่มีสรรพคุณที่ดีต่อสุขภาพ มีฤทธิ์ต้านอนุมูล  
อิสระ (antioxidant) และสามารถละลายน้ำได้  
(โอบา, 2549) ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จึงทำการ  
วิเคราะห์หาปริมาณสารสำคัญที่ออกฤทธิ์ชีวภาพใน  
ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากปลีทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ชาชงชง  
ผสมปลีกล้วย ชาปลีกล้วย และเครื่องดื่มแบบชงปลี  
กล้วย โดยเปรียบเทียบปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิกที่เป็น  
สารสำคัญและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในเครื่องดื่มจาก  
ปลี 3 ชนิด

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิกของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากปลี 3 ชนิด

สารตัวอย่าง	ปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิก (มก. Gallic acid/ชอง)
1. ชาชงชงผสมปลีกล้วย (plee and ginger)	40.88 ± 2.57
2. ชาปลีกล้วย (plee)	48.38 ± 6.06
3. เครื่องดื่มแบบชงปลีกล้วย (plee instant))	52.64 ± 2.15

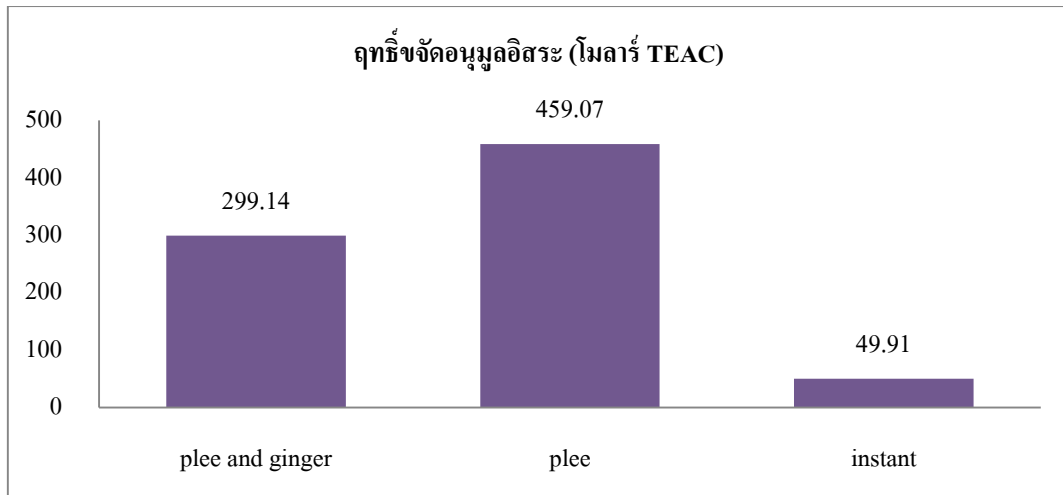
หมายเหตุ : tea 1 ชอง = 1 กรัม, instant 1 ชอง = 10 กรัม, n = 3  
ค่าที่แสดงคือ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตารางที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณ  
สารกลุ่มฟีนอลิกในเครื่องดื่ม 3 ชนิด ที่มีส่วนผสมที่  
สำคัญจากปลีกล้วย โดยผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 1 เป็นชา  
ชงชงผสมปลีกล้วย ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 2 เป็นชา  
ชงจากปลีกล้วย 100% ทั้งสองชนิดใช้วิธีการชงดื่มที่

เหมือนกัน พบว่ามีปริมาณของสารกลุ่มฟีนอลิกที่  
ต่างกันเล็กน้อย โดยชาชงจากปลีกล้วย 100% มี  
ปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิกที่สูงกว่า (เปรียบเทียบ  
ปริมาณสารที่เท่ากันต่อชอง หรือ 1 กรัมต่อชอง)  
ส่วนผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 3 เป็นเครื่องดื่มแบบชงปลี

กล้วย พบปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิกสูงกว่าชาขงทั้ง 2 ชนิดแรก โดยพบปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิกเท่ากับ 52.64 มิลลิกรัมแกลลิกต่อน้ำหนักเครื่องดื่ม 1 ของ (10 กรัม) แต่เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิกที่พบในเครื่องดื่มทั้ง 3 ชนิดต่อหน่วยน้ำหนักที่

เท่ากันคือ 1 กรัม กลับพบว่าชาขงจากปลีกกล้วย 100% จะมีปริมาณสารฟีนอลิกสูงที่สุดต่อหน่วยกรัมของสาร ดังนั้นหากผู้บริโภคต้องการฤทธิ์ชีวภาพสูงสุดในปริมาณ 1 กรัม แนะนำให้ดื่มผลิตภัณฑ์จากชาปลีกกล้วย



ภาพที่ 1 การเปรียบเทียบฤทธิ์ขจัดอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากปลี 3 ชนิด

จากภาพที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบฤทธิ์ขจัดอนุมูลอิสระโดยแสดงเป็นค่าของ TEAC ของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากปลี 3 ชนิด พบว่า ชาขงปลีมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่าอีก 2 ผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเครื่องดื่มปลีและชาขงขิงผสมปลีกกล้วยมีส่วนผสมของสารอื่นๆ ผสมอยู่ด้วย เมื่อเทียบต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ 1 กรัม จึงทำให้มีสารสำคัญที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ชาขง

จากรายงานการศึกษาของสมเดช และคณะ (2546) กล่าวถึงค่า TEAC ในสารสกัดชา (ความเข้มข้น 2 กรัมเปอร์เซ็นต์) ที่เตรียมได้ มีค่า 1.85 mM TEAC ส่วนชาเขียวและชาดำที่ 1 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตรมีค่า 3.78 และ 3.49 mM TEAC ตามลำดับ นอกจากนี้ในไวน์แดงพบว่ามี 16.7 mM TEAC (โอภา, 2550) เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่า TEAC ที่วิเคราะห์ได้จากผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากปลี 3 ชนิด จากการทดลองครั้งนี้ พบว่า เครื่องดื่มจากปลีทั้ง 3

ชนิด มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่สูงมากหากเทียบกับชาเขียวและชาดำ อย่างไรก็ตามวิธีการทดลองมีความแตกต่างกันในรายละเอียดบางขั้นตอน หากต้องการเปรียบเทียบความแรงหรือประสิทธิภาพในการออกฤทธิ์ควรทำการทดลองเพิ่มเติมโดยนำชาเขียวและชาดำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับชาปลีเพิ่มเติมในวิธีการทดลองเดียวกัน

ตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์สารกลุ่มฟีนอลิกที่สำคัญ พบว่าในเครื่องดื่มจากปลีจะพบเพียงสารฟีนอลิกชนิด isoquercetin และ catechin ในปริมาณ 6.27 และ 7.48 มก/กก ตามลำดับ ส่วนในชาขงปลีพบสารฟีนอลิกชนิด catechin ในปริมาณสูงถึง 149.69 มก/กก รองลงมา คือ isoquercetin นอกจากนี้ยังพบ gallic acid, quercetin, rutin และ tannic acid อีกด้วย จากผลการทดลองดังกล่าวทั้งจากตารางที่ 1 และ 2 สรุปได้ว่าผลิตภัณฑ์จากชาปลีกกล้วยมีสารสำคัญกลุ่มฟีนอลิกสูง

กว่าเครื่องต้มแบบขงสำเร็จ โดยมีฤทธิ์ชีวภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าทุกผลิตภัณฑ์จากปลี (รูปที่ 1) ทั้งนี้เนื่องจากในชาขงจากปลีเมื่อละลายในน้ำร้อนแล้วสารสำคัญสามารถละลายในน้ำได้ดีและสามารถ

ออกฤทธิ์ชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์จากปลีอีก 2 ชนิด ที่มีส่วนผสมอื่นๆ ผสมเพิ่มเติม ทำให้ลดการออกฤทธิ์ทางชีวภาพลงได้

ตารางที่ 2 ชนิดสารประกอบฟีนอลิกด้วยเทคนิค LC-MS ของชาขงปลีและเครื่องต้มปลี

Polyphenolic compounds	เครื่องต้มแบบขงปลีกล้วย (มก/กก)	ชาปลีกล้วย (มก/กก)
กรดแกลลิก (Gallic acid)	ND	30.59
ไอโซเคอซีทิน (Isoquercetin)	6.27	101.04
เคอซีทิน (Quercetin)	ND	19.09
รูทีน (Rutin)	ND	42.69
แคททีซิน (Catechin)	<b>7.48</b>	<b>149.69</b>
กรดแทนนิก (Tannic acid)	ND	21.39

ND = ไม่ปรากฏสาร

สาร catechin เป็นสารกลุ่มฟีนอลิกที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ลดการอักเสบ และเพิ่มความสามารถในการจดจำ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง epigallocatechin-3-gallate (EGCG) ที่มีอยู่มากในชา โดย EGCG เป็นแคททีซินชนิดหนึ่ง มีงานวิจัยระบุว่าสารแคททีซินที่พบได้มากในชาเขียวนั้น มีฤทธิ์ช่วยเพิ่มการเผาผลาญพลังงานและไขมันจึงส่งผลต่อการควบคุมน้ำหนักของร่างกาย การดื่มชาเขียวยังช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลและระดับน้ำตาลในเลือด และมีงานวิจัยทางคลินิกพบว่าชาเขียวมีฤทธิ์ต่อต้านการเกิดโรคของหลอดเลือดหัวใจ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับการดื่มชาเขียวมีผลช่วยลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งต่าง ๆ (<http://www.pharmacy.mahidol.ac.th/>) เมื่อเรียงลำดับฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารกลุ่ม catechin จากมากไปน้อย พบว่า EGCG > gallic acid > catechin (โอภา , 2550) ส่วนสารเคอซีทิน (quercetin) และรูทีน (rutin) มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ ลดความดันโลหิตสูง ป้องกันการเกิดโรคหัวใจ และหลอดเลือดหัวใจตีบ ดังนั้นผลิตภัณฑ์เครื่องต้มจากปลีโดยเฉพาะชาปลีที่มีสารสำคัญกลุ่มฟีนอลิกดังที่กล่าวมาจึงน่าจะมีฤทธิ์

ชีวภาพอื่นๆ นอกจากฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วย หากต้องการให้เครื่องต้มปลีกล้วยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่เพิ่มขึ้น ในการผลิตต้องลดอัตราส่วนผสมเดิมอื่นๆ ลง และเพิ่มผงปลีกล้วยที่ผ่านกรรมวิธีทำแห้งแบบเดียวกับที่ใช้ในชาปลีให้สูงขึ้น ผลจากการวิจัยในครั้งนี้เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาด้านคลินิกในมารดาให้นมบุตรในการศึกษาครั้งต่อไป

### เอกสารอ้างอิง

- Aguiar S.C., S.M. Cottica, J.S. Boeing, R.B. Samensari, G.T. Santos, J.V. Visentainer, and L.M. Zeoula. (2014). Effect of feeding phenolic compounds from propolis extracts to dairy cows on milk production, milk fatty acid composition and the antioxidant capacity of milk. *Animal Feed Science and Technology*. 193, 148–154

- Balwinder Singh, Jatinder Pal Singh Amritpal Kaur and Narpinder Singh. (2016). A review bioactive compounds in banana and their associated health benefits. **Food Chemistry**. 206, 1–11.
- Pazmiño-Durán EA, MM Giusti, RE Wrolstad and MBA Glória. (2001). Anthocyanins from banana bracts (*Musa X paradisiaca*) as potential food colorants. **Food Chemistry**. 73 (3), 327–332
- Peñarrieta M, Antonio A., Björn K. and Björn B. (2007). Separation of phenolic compounds from foods by reversed-phase high performance liquid chromatography. **Review Bolivia Quim**. 24(1). La Paz versión On-line ISSN 0250-5460.
- Ramu R, PS Shirahatti, F Zameer, LV Ranganatha and MNN Prasad. (2014). Inhibitory effect of banana (*Musa sp. var. Nanjangud rasa bale*) flower extract and its constituents Umbelliferone and Lupeol on  $\alpha$ -glucosidase, aldose reductase and glycation at multiple stages. **South African Journal of Botany**. 95, 54-63.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. and Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology Medicine**. 26, 1231-7.
- Sachindra, N. M., Airanthi, M. K. W. A., Hosokawa, M. and Miyashita, K. (2010). Radical scavenging and singlet oxygen quenching activity of extracts from Indian seaweeds. **Journal Food Science Technology**. 47, 94-99.
- ธิดารัตน์ จันทร์ดอน. (2557). **ชาเขียว (Green Tea) ตี้อย่างไรให้ได้ประโยชน์**. สำนักงานข้อมูลสมุนไพร คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. สืบค้นจาก <http://www.pharmacy.mahidol.ac.th/th/knowledge/article/>.
- สมเดช ศรีชัยรัตนกุล, อุดมภักดิ์ ชาลสุวรรณ, สะแกวัลย์ อุ๋นใจจิ้น, ชลธิดา เทพหินลับ และคณะ. (2546). **การวิเคราะห์คุณสมบัติต้านออกซิเดชันและจับธาตุเหล็กของสารเคเตซินในใบชาจากโครงการหลวง**. รายงานการประชุมวิชาการผลงานวิจัยของมูลนิธิโครงการหลวง ประจำปี 2546.
- โอภา วัชรคุปต์ ปรีชา บุญจุง จันทนา บุญยะรัตน์ และมาลีรักษ์ อัดต์สินทอง. (2550). **สารต้านอนุมูลอิสระ**. กรุงเทพฯ: นิวไทยมิตรการพิมพ์. 280 น.