

การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพรอยร่องเท้าแฝงจากคราบเลือดบนผ้าต่างชนิดกัน ด้วยเทคนิคลูโคมาลาไคท์กรีน และลูมินอล

A Comparative Study on Efficiency of Latent Shoeprint Transferred Bloodstain on Various Fabrics with the Leucomalachite Green and Luminol Techniques

ณัฐตา วรเดช^{1*}, พัชรา สินลอยมา²

Yatita Woradech^{1*}, Patchara Sinloyma²

¹ คณะนิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ

² Faculty of Forensic Science, Royal Police Cadet Academy

*Corresponding author; E-mail: yatitasc@gmail.com

Received: 22 April 2020 /Revised: 05 Jun 2020 /Accepted: 03 July 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพรอยร่องเท้าแฝงจากคราบเลือดบนผ้า 15 ชนิด ได้แก่ ผ้าฝ้ายสีขาว ผ้าฝ้ายสีดำ ผ้าฝ้ายลวดลาย ผ้าโพลีเอสเตอร์สีขาว ผ้าโพลีเอสเตอร์สีดำ ผ้าโพลีเอสเตอร์ลวดลาย ผ้าป่านสีขาว ผ้าป่านสีดำ ผ้าป่านลวดลาย ผ้าลินินสีขาว ผ้าลินินสีดำ ผ้าลินินลวดลาย ผ้าไหมสีขาว ผ้าไหมสีดำ และผ้าไหมลวดลาย ตัวอย่างเลือดที่ใช้ในการทดลองในระดับความเข้มข้นเลือดสุกรอัตราส่วน 1:10, 1:100 และ 1:1,000 โดยการใช้สารลูโคมาลาไคท์กรีน และลูมินอล ทำการตรวจหลังจากประทับรอยร่องเท้าแฝงที่เวลา 1 สัปดาห์ โดยวิเคราะห์ผลคะแนนจากการปรากฏขึ้นของรอยคราบเลือดที่ได้จากการถ่ายภาพ และสถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การทดสอบที (t-test) และสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-way ANOVA) ผลการวิจัยพบว่า การตรวจเก็บรอยร่องเท้าแฝงโดยเทคนิคลูมินอลให้ประสิทธิภาพของรอยร่องเท้าแฝงดีกว่าการใช้เทคนิคลูโคมาลาไคท์กรีน และความเข้มข้นเลือดในอัตราส่วน 1:10 สามารถตรวจรอยร่องเท้าแฝงได้ประสิทธิภาพดีที่สุด ความเข้มข้นเลือดอัตราส่วน 1:100 ได้ประสิทธิภาพของรอยร่องเท้าแฝงระดับปานกลาง และอัตราส่วน 1:1000 ประสิทธิภาพของรอยร่องเท้าแฝงอยู่ในระดับต่ำ เมื่อทดสอบสมมติฐานทั้ง 3 ปัจจัย พบว่าชนิดของผ้า เทคนิคการทดสอบ และความเข้มข้นเลือดที่ใช้ในการตรวจ มีผลต่อประสิทธิภาพรอยร่องเท้าแฝง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 จากผลดังกล่าวจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำเทคนิคลูโคมาลาไคท์กรีน และเทคนิคลูมินอลในระดับความเข้มข้นเลือดต่างกัน ไปประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบหารอยร่องเท้าแฝงบนผ้าต่อไป

คำสำคัญ : รอยร่องเท้าแฝง คราบเลือด ลูโคมาลาไคท์กรีน ลูมินอล

Abstract

The research objectives are to study and compare the efficiency of latent blood shoeprint detection under 15 different fabrics: white cotton, black cotton, pattern design cotton, white polyester, black polyester, pattern design polyester, white ramie, black ramie, pattern design ramie, white linen, black linen, pattern design linen, white silk, black silk and pattern design silk. Samples for the experiment were prepared with Lucomalachite Green and Luminol technique under ratio of pig blood solution as 1:10, 1:100 and 1:1000. Tested shoeprints were examined after 1 week and then collected by photographing to compare the quality of the shoeprint images. Statistical data analysis was carried out using the mean, standard deviation (S.D.) t-test and Two way ANOVA analysis of Variance. The results of this research demonstrated that the shoeprint collected from Luminol technique showed better quality those collected using Lucomalachite Green. Blood sample with ratio 1:10 provided the best quality for shoeprint detection whereas the blood ratio of 1:100 and 1:1000 showed medium and low qualities, respectively, for all tested fabric samples. From the research examination, all 3 factors which were fabric type, chemiluminescence reagent and blood concentration, were significantly effected to the efficiency of latent shoeprint at the significance level of 0.05. From these results, it is possibility to apply this procedure for detection the footprint on the fabrics in the future.

Keywords: Blood, Shoeprint, Leucomalachite Green, Luminol

บทนำ

เนื่องด้วยในสถานการณ์ปัจจุบัน ประเทศไทยมีสถานการณ์อาชญากรรมเกิดขึ้นมากมายทั่วประเทศ [1] อีกทั้งสภาพสังคมปัจจุบันมีคดีที่เกี่ยวข้องกับเด็กสตรี การศึกษา เศรษฐกิจ สังคม ทำให้เกิดปัญหาที่กระทบต่อชีวิตและความเป็นอยู่ที่ดีของประชาชน เกิดปัญหาอาชญากรรม เช่น คดีทำร้ายร่างกาย คดีลักทรัพย์ คดีข่มขืนกระทำชำเรา เมื่อมีเหตุเกิดขึ้นประชาชนต้องแจ้งความที่สถานีตำรวจ ตำรวจต้องอำนวยความสะดวกให้ผู้เสียหาย ซึ่งต้องมีการสืบสวนและพิสูจน์หลักฐาน ดังนั้นงานด้านนิติวิทยาศาสตร์จึงมีความสำคัญในการพิสูจน์หลักฐานเพื่อสืบสวนหาตัวคนร้ายมาลงโทษตาม

กระบวนการยุติธรรม ในการก่อคดีต่างๆ ผู้ที่กระทำ ความผิดมักทิ้งร่องรอยหลักฐานไว้ในสถานที่เกิดเหตุเสมอ ได้แก่ เส้นผม อสุจิ เลือด รอยนิ้วมือ รอยเท้า รอยรองเท้า ฝ่า ไม้ กระดาษ เป็นต้น ซึ่งแต่ละพยานหลักฐานต่างมีวิธีการตรวจพิสูจน์ที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดและประเภทของวัตถุพยาน จากที่กล่าวมาข้างต้นนี้ วัตถุพยานที่สำคัญอย่างหนึ่งที่พบได้ในสถานที่เกิดเหตุคือ รอยรองเท้าแฝงและคราบเลือด ซึ่งสามารถยืนยันเพื่อหาตัวผู้กระทำผิด ผู้เกี่ยวข้องกับการกระทำผิดได้ ตัวอย่าง ชาว อาชญา กรรม ปี 2558 [2] ซึ่ง เป็นการหา พยานหลักฐานจากคราบเลือดบนรอยรองเท้าแฝงจากคดี แกะรอยลายเท้าบนคราบเลือดจับขาดกรงสังหารเอ็นจีโอ

ตำรวจนครบาลลุมพินี ตำรวจกองพิสูจน์หลักฐาน พร้อมทีมแพทย์จากสถาบันนิติเวชวิทยา เข้าตรวจสอบที่เกิดเหตุพบว่า ผู้ตายมีรอยแผลที่ลำคอ ที่อ่างล่างหน้าภายในห้องน้ำพบร่องรอยการล้างคราบเลือด ส่วนที่พื้นห้องน้ำพบรอยเท้าเหยียบบนคราบเลือดโดยมีลายเท้าปรากฏชัดเจน ตำรวจพิสูจน์หลักฐาน จึงใช้กระบวนการทางนิติวิทยาศาสตร์ในการจัดเก็บลายเท้า กระทั่งพบผู้ต้องสงสัย และเก็บตัวอย่าง ดีเอ็นเอ พร้อมทั้งพิมพ์ลายนิ้วมือและพิมพ์รอยเท้าเพื่อนำไปตรวจเทียบกับรอยเท้าที่พบบนคราบเลือดในห้องเกิดเหตุด้วยหลักฐานที่ได้จากการตรวจสอบตามหลักนิติวิทยาศาสตร์ พบว่ารอยเท้าในที่เกิดเหตุตรงกับผู้ต้องสงสัยทั้งหมด [3] ความสำคัญต่อวัตถุพยานที่เป็นรอยประทับพื้นรองเท้าเทียบกับวัตถุพยานที่เป็นสารพันธุกรรม (DNA) และรอยลายนิ้วมือ ซึ่งวัตถุพยานรอยประทับพื้นรองเท้าสามารถนำไปเปรียบเทียบกับรอยประทับพื้นรองเท้าที่ตรวจพบกับรอยประทับพื้นรองเท้าของผู้ต้องสงสัย หากปรากฏว่าไม่ตรงกันก็จะตัดวัตถุพยานที่ไม่ใช่ออกได้ทันที [4] การเก็บรอยรองเท้าแฝงในสถานที่เกิดเหตุ ต้องสร้างระบบฐานข้อมูลรอยรองเท้าแฝงที่สามารถอ้างอิงรูปแบบของรอยรองเท้าแฝงได้หลายรูปแบบเพื่อช่วยให้สามารถจำแนกรอยขึ้นตามที่เป็นจริงอยู่ที่พื้นได้เท้า ซึ่งหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ถือว่ามีความน่าเชื่อถือมากในกระบวนการยุติธรรม ในทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ มีการตรวจสอบคราบเลือดได้หลายวิธีที่เชื่อถือได้ในการค้นหาคราบเลือดแฝง และการพิสูจน์ยืนยัน เช่น การตรวจคราบเลือดด้วยวิธี Tetramethylbenzidine, Blurstar, Fluorescence, Luminol [5] จากผลการศึกษาการตรวจคราบโลหิตของมนุษย์ด้วยวิธีนอพลาลีน ลูมินอล และฟลูออเรสซิน บนพื้นรองเท้าชนิดต่าง ๆ สรุปได้ว่าการตรวจคราบเลือดด้วยวิธี Luminol สามารถตรวจพบได้บน

พื้นรองเท้าทุกชนิดและตรวจพบอัตราส่วนเลือดเฉลี่ยจากมากที่สุด คือ 1:50,000 โดยปริมาตร ภายหลังจากหยดโลหิตทิ้งไว้นาน 8 สัปดาห์ ซึ่งตรวจพบมากกว่าวิธี Phenolphalein และวิธี Fluorescein ดังนั้น Luminol เป็นวิธีที่มีประโยชน์สำหรับสถานที่เกิดเหตุในที่มืดหรือพื้นผิวที่ถูกล้างคราบเลือดออกเพื่ออำพรางคดีและพื้นผิวที่กลมกลืนกับพื้นผิววัตถุที่พบในที่เกิดเหตุ นอกจากนี้โอกาสที่เกิดการปนเปื้อนจากสารอื่นได้น้อย [6] ลูมินอลถูกนำมาทดสอบคราบเลือดครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ.1937 โดย Specht ต่อมาในปี ค.ศ.1951 ได้นำลูมินอล มาผสมกับโซเดียมคาร์บอเนต โซเดียมเปอร์บอเรต และน้ำกลั่นในการตรวจคราบเลือด แต่พบว่าไม่เสถียร เมื่อนำมาผสมกับสารทั้ง 2 ชนิด ในปี ค.ศ. 1966 Weber จึงนำสูตรของ Grodsky มาปรับปรุง โดยนำโซเดียมเปอร์บอเรต มาใช้กับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) พบว่ามีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ ดังนั้นสูตรของ Weber จึงเป็นที่นิยมใช้ในการทดสอบโลหิตมากที่สุดถึงปัจจุบัน [7] การตรวจหาคราบเลือดมีหลายวิธีและเทคนิค โดยแต่ละวิธีจะเลือกใช้ตามความเหมาะสมของพื้นผิววัตถุ ซึ่งพื้นผิวผ้าก็ถือเป็นอีกหนึ่งวัตถุที่น่าสนใจ ที่มักพบหลงเหลืออยู่ในสถานที่เกิดเหตุ เนื่องจากบางครั้งเมื่อคนร้ายเข้าไปในสถานที่เกิดเหตุ มักจะเหยียบย่ำบนผ้าโดยเจตนาหรือไม่เจตนาและทิ้งรอยรองเท้าแฝงไว้ จากความก้าวหน้าทางนิติวิทยาศาสตร์ [8] การศึกษาวิจัยเรื่องการวิเคราะห์เส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ในงานทางนิติวิทยาศาสตร์ โดย Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) เพื่อวิเคราะห์เส้นใยในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ โดยใช้ผ้าฝ้าย เส้นใยขนุน ผ้าป่าน ผ้าลินิน ผ้าชีฟอง นำตัวอย่างมาวิเคราะห์ พบว่าหมู่ฟังก์ชันที่ปรากฏใน Spectrum สามารถจำแนกและแบ่งเส้นใยออกได้ 3 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็นเส้นใยธรรมชาติที่ได้จากพืช คือ เส้นใยฝ้าย ป่าน ขุน

และลินิน ซึ่ง Spectrum ที่ได้มีลักษณะใกล้เคียงกับ เซลลูโลส กลุ่มที่สองคือ ผ้าไหม ซึ่งแสดงถึงเส้นใยธรรมชาติที่ได้จากสัตว์ ในกลุ่มสุดท้ายเป็นตัวอย่างที่ทำจากใยสังเคราะห์ ผ้ากลุ่มนี้คือ ผ้าชีฟอง ผ้าไซลอน และผ้าเครปชาติน นอกจากนี้ Farrugia [9] ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของรอยร่องเท้าที่เปื้อนเลือดด้วยการใช้เทคนิค Leucocrystal Violet เทคนิค Leucomalachite เทคนิค Fluorescein และเทคนิค Luminol ผลงานวิจัยระบุว่าปรากฏรอยร่องเท้าแฝงที่เปื้อนเลือดบนวัสดุผ้าสีอ่อน เมื่อทดสอบด้วยเทคนิค Leucocrystal Violet วิธี Leucomalachite green เทคนิค Fluorescein และเทคนิค Luminol และบนผ้าสีเข้ม ผ้ายีนส์ และหนัง สามารถมองเห็นรอยร่องเท้าแฝงได้เมื่อใช้เทคนิค Fluorescent เท่านั้น

จากงานวิจัยดังกล่าวในขั้นตอนการตรวจคราบเลือด อาจศึกษาบนพื้นผิวผ้าบางชนิดเท่านั้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะทำการศึกษาการใช้เทคนิคลูโคมาลาไคท์กรีน (Lucomalachite Green Techniques) และเทคนิคลูมินอล (Luminol Techniques) โดยศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพรอยร่องเท้าแฝงจากคราบเลือดบนผ้าต่างชนิดกัน เนื่องจากวิธีการตรวจดังกล่าวแสดงผลการทดสอบคราบเลือดได้อย่างมีประสิทธิภาพ เตรียมได้สะดวกรวดเร็วและแม่นยำ และเหมาะสำหรับการตรวจสถานที่เกิดเหตุที่เป็นบริเวณกว้างๆ นอกจากนี้งานวิจัยดังกล่าวจะส่งผลให้เกิดประโยชน์ต่องานด้านนิติวิทยาศาสตร์ได้ต่อไป

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ ผ้า จำนวน 15 ชนิด ได้แก่ 1) ผ้าฝ้ายสีขาว 2) ผ้าฝ้ายสีดำ 3) ผ้าฝ้ายลวดลาย 4) ผ้าโพลีเอสเตอร์สีขาว 5) ผ้า

โพลีเอสเตอร์สีดำ 6) ผ้าโพลีเอสเตอร์ลวดลาย 7) ผ้าป่าน สีขาว 8) ผ้าป่านสีดำ 9) ผ้าป่านลวดลาย 10) ผ้าลินินสีขาว 11) ผ้าลินินสีดำ 12) ผ้าลินินลวดลาย 13) ผ้าไหมสีขาว 14) ผ้าไหมสีดำ และ 15) ผ้าไหมลวดลาย

2. สารเคมีที่ใช้ในการทดลองนี้ ได้แก่ Leucomalachite Green, Luminol, Acetic Acid, Sodium Perborate, Sodium Hydroxide และ 3% Hydrogen peroxide

วิธีการทดลอง

1. เตรียมตัวอย่างผ้าโดยตัดชิ้นตัวอย่าง ขนาด กว้าง 18 เซนติเมตร ยาว 34 เซนติเมตร ตัดฉลาก ผ้าชนิดใด และใช้วิธีใด ในการเก็บตัวอย่างรอยร่องเท้าแฝง

2. เตรียมสารเคมี ลูโคมาลาไคท์กรีน โดยชั่งสารเคมีลูโคมาลาไคท์กรีน 0.2 กรัม โดยใช้เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง จากนั้นนำมาละลายในเมทิลแอลกอฮอล์ ปริมาณ 67 มิลลิลิตร คนให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน เติมน้ำกรดแอซีติก (Acetic Acid) 33 มิลลิลิตร และโซเดียมเปอร์บอเรต ปริมาตร 0.67 กรัม และใช้เครื่องกวนแม่เหล็กจนกระทั่งละลายอย่างสมบูรณ์ จากนั้นนำมาใส่ขวดแก้วเก็บใส่ขวดแก้วสีขาว เก็บไว้ที่ตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศา และเตรียมสารเคมีลูมินอล ซึ่งสารเคมี ลูมินอล 0.25 กรัม และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide) 2.5 กรัมละลายด้วยน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 3% (Hydrogen Peroxide 3%) ในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร จะได้สารเคมีลูมินอล เก็บใส่ขวดแก้วสีขาว เก็บไว้ที่ตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศา

3. เตรียมตัวอย่างเลือดหมูสดโดยใส่หลอดที่มีสารกันเลือดแข็ง (Ethylene Diamine Tetra Acetic Acid) เพื่อกันเลือดแข็งตัว บันทึกวันและเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่าง นำไปเก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศา โดยเฉาะจาก

เลือดในอัตราส่วน 1:10, 1:100, 1:1000 โดยปริมาตร ดังแสดงใน Figure 1

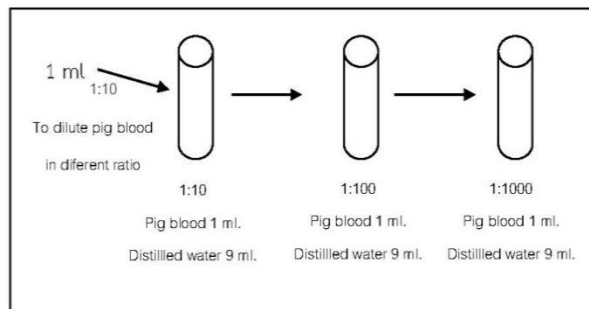


Figure 1. How to dilute pig blood in different ratio.

4. ประทับรอยรองเท้าแฝง ดังแสดงใน Figure 2 ลงบนพื้นผิวผ้าในอัตราส่วนคราบเลือด 1:10, 1:100 และ 1:1000 ตามลำดับ โดยการประทับรอยรองเท้าแฝงลงบนพื้นผิวผ้าที่อยู่บนเครื่องชั่งให้น้ำหนักเท้า 1 กิโลกรัม เท่ากันทุกครั้ง ซ้ำจำนวน 3 ครั้ง โดยแต่ละครั้งวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์



Figure 2. Pattern of Shoeprint used in the experiment

5. หลังจากประทับรอยรองเท้าแฝงลงบนพื้นผิวผ้าที่อยู่บนเครื่องชั่งให้น้ำหนักเท้า 1 กิโลกรัม เท่ากันทุกครั้ง ซ้ำจำนวน 3 ครั้ง แล้วนำพื้นผิวผ้ามาตรวจวัดคราบเลือดด้วยเทคนิคลูมาลาโคท์กรีนและลูมินอล โดยการ

ฉีดพ่นให้สม่ำเสมอบนพื้นผิวผ้า เพื่อสังเกตการณ์ในการเกิดปฏิกิริยาการปรากฏขึ้นของรอยรองเท้าแฝงและการเกิดปฏิกิริยาการเรืองแสง โดยใช้กล้องถ่ายรูป Cannon SX500 is ในการถ่ายภาพ และให้บันทึกข้อมูลบนตารางบันทึกผล

6. นำภาพที่บันทึกได้มาบันทึกข้อมูลให้เกณฑ์คะแนน เพื่อเป็นการระบุประสิทธิภาพการตรวจคราบเลือดรอยรองเท้าแฝง โดยใช้เครื่องมือทางสถิติในการทดสอบงานวิจัยคือโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS สถิติที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การทดสอบที และสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง

7. กำหนดเกณฑ์การเปรียบเทียบประสิทธิภาพรอยรองเท้าแฝงจากคราบเลือดบนผ้าต่างชนิดจำนวน 15 ชนิด ในระดับความเข้มข้นอัตราส่วน 1:10, 1:100 และ 1:1000 ด้วยเทคนิคลูมาลาโคท์กรีน และลูมินอล ด้วยการให้คะแนนจากภาพถ่าย

Table 1. Scoring system for shoeprint evaluation

Score	Meaning
4	Excellent efficiency is seeing the shoeprint very clearly. It's beable to confirm desing of the Shoeprint.
3	Well efficiency is seeing the shoeprint clearly It's be able to confirm desing of the shoeprint.
2	Fairly efficiency is seeing the shoeprint in Some part.
1	Low Efficiency is seeing.
0	Not to appear the Shoeprint,

ผลการศึกษา

1. ผลการศึกษาการปรากฏขึ้นของรอยรองเท้าแฝง โดยการใช้การประทับรอยรองเท้าแบบนิ้วทั้ง 15 ชนิด ในอัตราส่วนความเข้มข้น 1:10, 1:100 และ 1:1000 ตามลำดับ จากนั้นทำการตรวจรอยรองเท้าแฝงด้วยเทคนิคโคมาลาไคท์กรีน และลูมินอล โดยการฉีดพ่นลงบนพื้นผิว และกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนผลการทดลองจากภาพถ่าย การศึกษาพบว่าเทคนิคลูมินอลมีประสิทธิภาพ รอยรองเท้าแฝงดีกว่าเทคนิคโคมาลาไคท์กรีน และความเข้มข้นเลือดในอัตราส่วน 1:10 สามารถตรวจสอบประสิทธิภาพของรอยรองเท้าแฝงได้ดีที่สุด ความเข้มข้นเลือดในอัตราส่วน 1:100 จะได้ประสิทธิภาพรอยรองเท้าแฝงระดับปานกลาง และความเข้มข้นเลือดในอัตราส่วน 1:1000 ประสิทธิภาพของรอยรองเท้าแฝงอยู่ในระดับต่ำ ดังแสดงใน Figure 2-16

1.1 ผ้าฝ้ายสีขาว พบว่าเทคนิคโคมาลาไคท์กรีน และเทคนิคลูมินอล ในระดับความเข้มข้น 1:10 ปรากฏประสิทธิภาพของรอยรองเท้าแฝงดีมาก สามารถตรวจพิสูจน์

เปรียบเทียบกับเพื่อยืนยันลวดลายพื้นรองเท้าได้ดังแสดงใน Figure

Ratio of Pig blood	Before blood testing		After blood testing	
	Lucomalachite green	Luminol	Lucomalachite green	Luminol
solution 1:10				
solution 1:100				
solution 1:1000				

Figure 3. Pictures and quality of shoeprints on the White cotton by using the two techniques in different ratios of the pig blood solution.

1.2 ผ้าฝ้ายสีดำ พบว่าเทคนิคลูมินอล ในระดับความเข้มข้นเลือดอัตราส่วน 1:10 มีประสิทธิภาพในการตรวจรอยรองเท้าแฝงดีมาก มองเห็นรอยรองเท้าแฝงชัดเจน สามารถตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบกับเพื่อยืนยันลวดลายพื้นรองเท้าได้ ดังแสดงใน Figure 4

Ratio of Pig blood	Before blood testing		After blood testing	
	Lucomalachite green	Luminol	Lucomalachite green	Luminol
solution 1:10				
solution 1:100				
solution 1:1000				

Figure 4. Pictures and quality of shoeprints on the black cotton by using the two techniques in different ratios of the pig blood solution.

1.3 ผ้าฝ้ายลวดลาย พบว่าเทคนิคลูมินอลในระดับความเข้มข้นเลือดอัตราส่วน 1:10 มีประสิทธิภาพในการตรวจรอยรองเท้าแฝงดีมาก ดังแสดงใน Figure 5

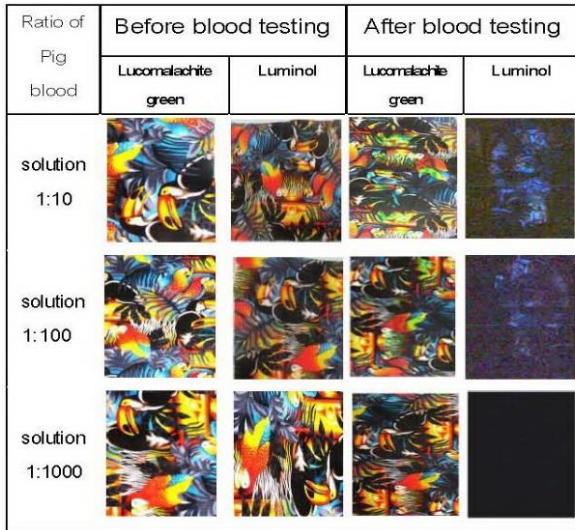


Figure 5. Images and qualities of shoeprints on the pattern design cotton by using the two techniques in different ratios of the pig blood solution.

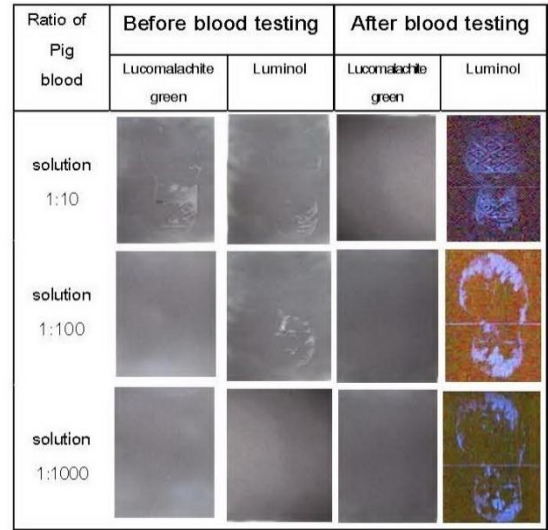


Figure 7. Images and qualities of shoeprints on the black polyester by using the two techniques in different ratios of the pig blood solution

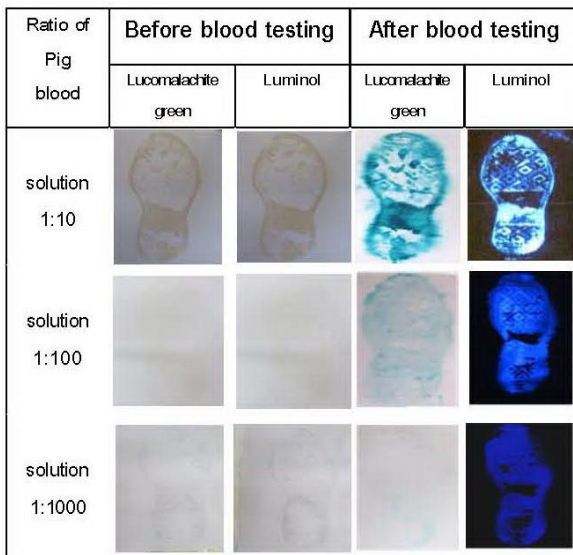


Figure 6. Images and qualities of shoeprints on the white polyester by using the two techniques in different ratios of the pig blood solution

1.4 ผ้าโพลีเอสเตอร์สีขาว พบว่าเทคนิคลูโคมาลาไคท์กรีนและเทคนิคลูมินอล ในระดับความเข้มข้น 1:10 ปรากฏประสิทธิภาพของรอยรองเท้าแฝงดีมาก สามารถตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบเพื่อยืนยันลวดลายพื้นรองเท้าได้ ดังแสดงใน Figure 6

1.5 ผ้าโพลีเอสเตอร์สีดำ พบว่าเทคนิคลูมินอล ในระดับความเข้มข้นเลือดอัตราส่วน 1 :10 มีประสิทธิภาพในการตรวจรอยรองเท้าแฝงดีมาก มองเห็นรอยรองเท้าแฝงชัดเจน สามารถตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบเพื่อยืนยันลวดลายพื้นรองเท้าได้ ดังแสดงใน Figure 7

1.6 ผ้าโพลีเอสเตอร์ลวดลาย พบว่าเทคนิคลูโคมาลาไคท์กรีนและเทคนิคลูมินอล ในระดับความเข้มข้น 1 :10 ปรากฏประสิทธิภาพของรอยรองเท้าแฝงดีมาก สามารถตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบเพื่อยืนยันลวดลายพื้นรองเท้าได้ ดังแสดงใน Figure 8

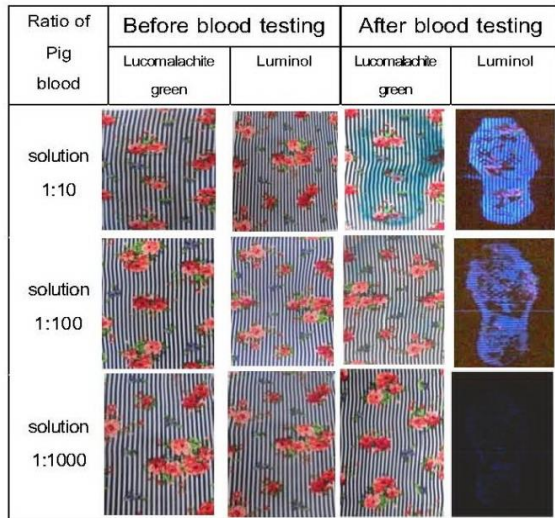


Figure 8. Images and qualities of shoeprints on the pattern design polyester by using the two techniques in different ratios of the pig blood solution

1.7 ผ้าลินินสีขาว พบว่า เทคนิคลูมินอล ในระดับความเข้มข้นเลือดอัตราส่วน 1 :10 มีประสิทธิภาพในการตรวจรอยรองเท้าแฝงดีมาก มองเห็นรอยรองเท้าแฝงชัดเจน สามารถตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบเพื่อยืนยันลวดลายพื้นรองเท้าได้ ดังแสดงใน Figure 9

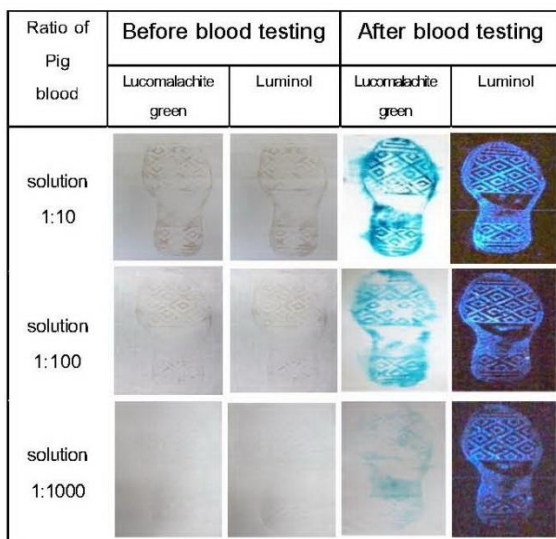


Figure 9. Images and qualities of shoeprints on the white linen by using the two techniques in different ratios of the pig blood solution

1.8 ผ้าลินินสีดำ พบว่า เทคนิคลูมินอลในระดับความเข้มข้นเลือดอัตราส่วน 1:10 มีประสิทธิภาพในการตรวจรอยรองเท้าแฝงดีมาก ดังแสดงใน Figure 10

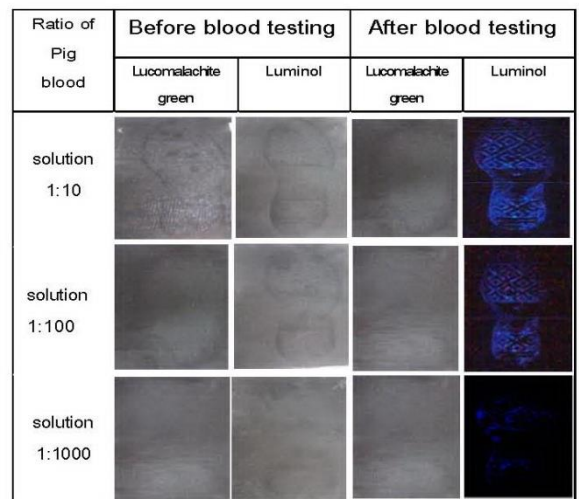


Figure 10. Images and qualities of shoeprints on the black linen by using the two techniques in different ratios of the pig blood solution

1.9 ผ้าลินินลวดลาย พบว่าเทคนิคลูโคมาลาไคท์ กรีนและเทคนิคลูมินอล ในระดับความเข้มข้น 1 :10 ปรากฏประสิทธิภาพของรอยรองเท้าแฝงดีมาก สามารถตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบเพื่อยืนยันลวดลายพื้นรองเท้าได้ ดังแสดงใน Figure 11

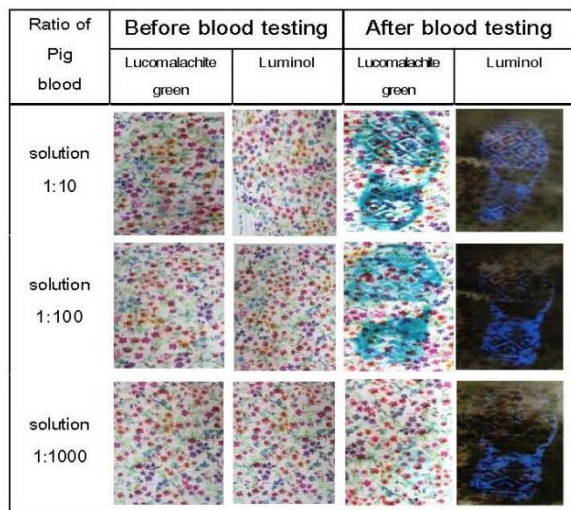


Figure 11. Images and qualities of shoeprints on the pattern design linen by using the two techniques in different ratios of the pig blood solution

1.10 ผ้าป่านสีขาวย พบว่า เทคนิคลูมินอล ในระดับความเข้มข้นเลือดอัตราส่วน 1 :10 มีประสิทธิภาพในการตรวจรอยรองเท้าแฝงดีมาก มองเห็นรอยรองเท้าแฝงชัดเจน สามารถตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบเพื่อยืนยันลวดลายพื้นรองเท้าได้ ดังแสดงใน Figure 12

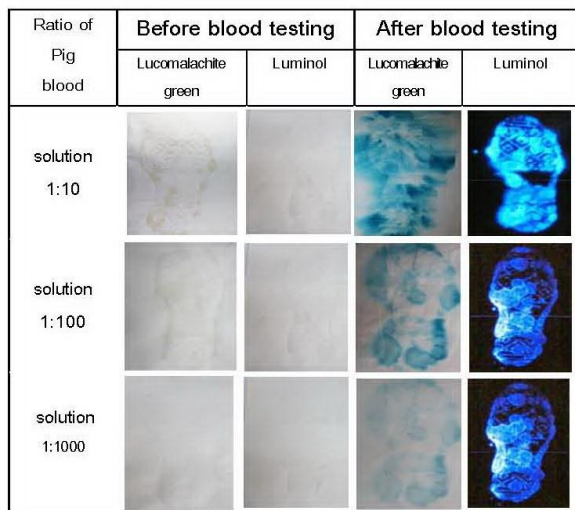


Figure 12. Pictures and quality of shoeprints on the white ramie by using the two techniques in different ratios of the pig blood solution

1.11 ผ้าป่านสีดำ พบว่าเทคนิคลูมินอลในระดับความเข้มข้นเลือดอัตราส่วน 1:10 มีประสิทธิภาพในการตรวจรอยรองเท้าแฝงดีมาก ดังแสดงใน Figure 13

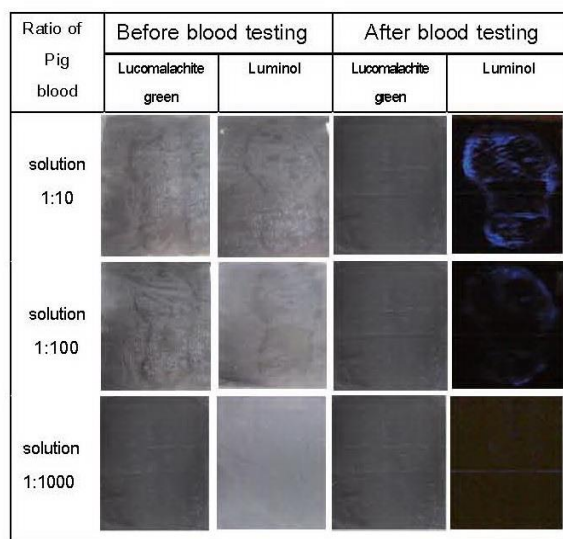


Figure 13. Images and qualities of shoeprints on the black ramie by using the two techniques in different ratios of the pig blood solution

1.12 ผ้าป่านลวดลาย พบว่าเทคนิคลูโคมาลาไท์กรีนและเทคนิคลูมินอล ในระดับความเข้มข้น 1 :10 ปรากฏประสิทธิภาพของรอยรองเท้าแฝงดีมาก สามารถตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบเพื่อยืนยันลวดลายพื้นรองเท้าได้ ดังแสดงใน Figure 14

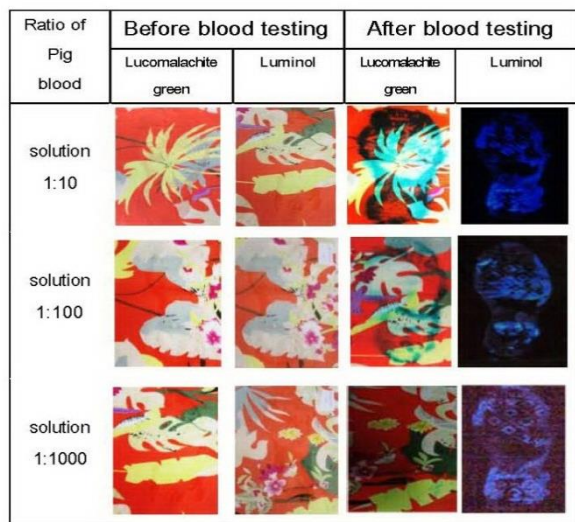


Figure 14. Images and qualities of shoeprints on the pattern design ramie by using the two techniques in different ratios of the pig blood solution

1.13 ผ้าไหมสีขาวย พบว่าเทคนิค ลูโคมาลาไคท์กรีน และเทคนิคลูมินอล ในระดับความเข้มข้น 1:10 ปรากฏประสิทธิภาพของรอยรองเท้าแฝงดีมาก สามารถตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบเพื่อยืนยันลวดลายพื้นรองเท้าได้ ดังแสดงใน Figure 15

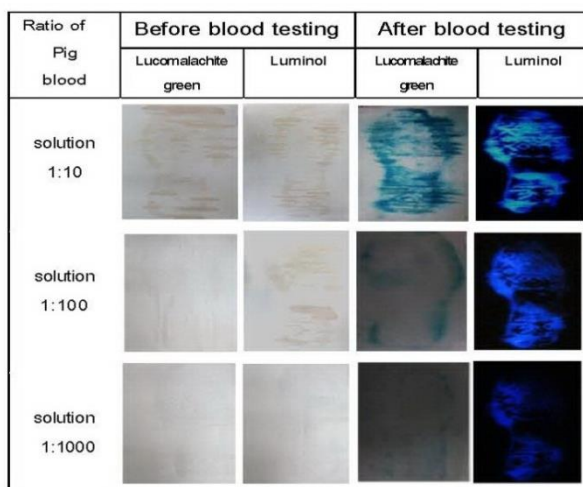


Figure 15. Images and qualities of shoeprints on the white silk by using the two techniques in different ratios of the pig blood solution

1.14 ผ้าไหมสีดำ พบว่า เทคนิคลูมินอล ในระดับความเข้มข้นเลือดอัตราส่วน 1 :10 มีประสิทธิภาพในการตรวจรอยรองเท้าแฝงดีมาก มองเห็นรอยรองเท้าแฝงชัดเจน สามารถตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบเพื่อยืนยันลวดลายพื้นรองเท้าได้ ดังแสดงใน Figure 16

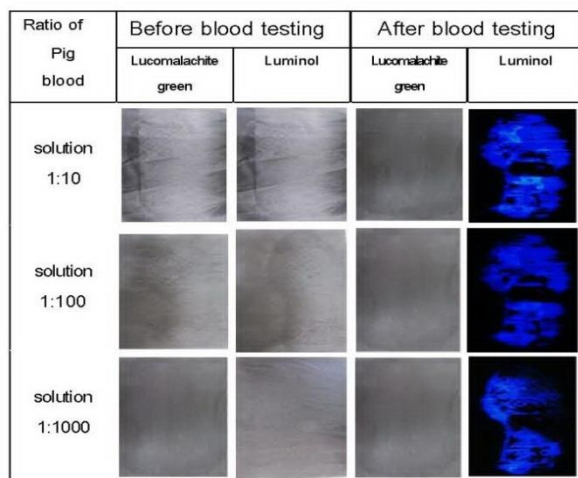


Figure 16. Images and qualities of shoeprints on the black silk by using the two techniques in different ratios of the pig blood solution

1.15 ผ้าไหมลวดลาย พบว่า เทคนิคลูมินอล ในระดับความเข้มข้นเลือดอัตราส่วน 1:10 ประสิทธิภาพในการตรวจรอยรองเท้าแฝงดีมาก สามารถตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบเพื่อยืนยันลวดลายพื้นรองเท้าได้ดังแสดงใน Figure 17

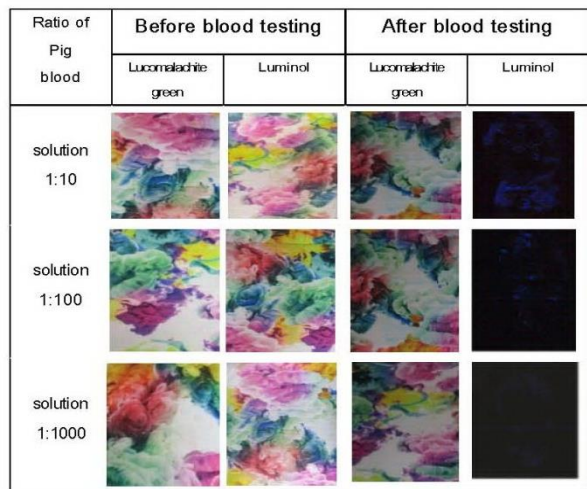


Figure 17. Images and qualities of shoeprints on the pattern design silk by using the two techniques in different ratios of the pig blood solution

2. ผลการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของรอยรองเท้าแฝงบนผ้าต่างชนิดกัน 15 ชนิด โดยเทคนิคการตรวจแตกต่างกัน และความเข้มข้นเลือดอัตราส่วนต่างกันหลังประทับรอยรองเท้าแฝง

2.1 ผลการตรวจเปรียบเทียบประสิทธิภาพของรอยรองเท้าแฝงด้วยเทคนิคแตกต่างกัน

การศึกษาผลการตรวจเปรียบเทียบประสิทธิภาพของรอยรองเท้าแฝงด้วยเทคนิคลูโคมาลาไคท์กรีน และเทคนิคลูมินอล จะทำให้เกิดประสิทธิภาพรอยรองเท้าแฝงในคราบเลือดแตกต่างกัน โดยใช้สถิติ t-test ผลการวิจัยพบว่า เทคนิคลูมินอล ตรวจพบรอยรองเท้าแฝงจากคราบเลือดบนผ้าได้ดีกว่าเทคนิคลูโคมาลาไคท์กรีน โดยเทคนิคลูมินอลมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.56 และเทคนิคลูโคมาลาไคท์กรีนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.42

เมื่อทำการทดสอบสมมติฐาน พบว่า การตรวจเปรียบเทียบประสิทธิภาพของรอยรองเท้าแฝงด้วยเทคนิคที่แตกต่างกัน จะทำให้เกิดประสิทธิภาพรอยรองเท้าแฝง

ในคราบเลือดแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ($t = -4.262$, Sig = 0.000) ดังแสดงใน Table 2

Table 2. Statistical analysis of the shoeprints quality for both technique

Technique to use checking for shoeprint quality.	$\bar{x}$	S.D.	t	Sig.
Lucomalachite green Techniques	1.42	11.54		
Luminol Techniques	2.56	0.92	4.262	0.000*

* Statistically significant difference level of .05

2.2 ผลการศึกษาการตรวจเปรียบเทียบประสิทธิภาพของรอยรองเท้าแฝงที่ระดับความเข้มข้นของเลือดบนผ้าต่างชนิดกัน

การศึกษาผลของการตรวจเปรียบเทียบประสิทธิภาพของรอยรองเท้าแฝง ในระดับความเข้มข้นอัตราส่วน 1:10, 1:100 และ 1:1000 บนผ้าทั้ง 15 ชนิด ด้วยเทคนิคลูโคมาลาไคท์กรีนและเทคนิคลูมินอลซึ่งพบว่า เทคนิคลูมินอลให้ผลดีกว่า ดังแสดงใน Table 3 การตรวจคราบเลือดวิเคราะห์แบบความแปรปรวนสองทาง (Two-Way ANOVA) พบว่า ระดับความเข้มข้นของเลือดที่แตกต่างกันจะปรากฏประสิทธิภาพรอยรองเท้าแฝงจากคราบเลือดที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 หมายความว่า ระดับความเข้มข้นของเลือด มีผลต่อประสิทธิภาพของรอยรองเท้าแฝงที่ปรากฏขึ้น ดังแสดงใน Table 3 และ Table 4

ผ้าฝ้ายสีขาว ในระดับความเข้มข้นของเลือด 1:10 จะปรากฏรอยรองเท้าแฝงได้ดีกว่าที่ระดับความเข้มข้นเลือดระดับอื่น มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.00 แสดงว่า ผ้า

ฝ่าย สีขาว ทำให้เกิดประสิทธิภาพของรอยรองเท้าแฝงดี
มาก มองเห็นรายละเอียดรอยรองเท้าแฝงชัดเจน สามารถ
ตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบเพื่อยืนยันลวดลายพื้นรองเท้าได้

ผ้าฝ้ายลวดลาย ที่ในระดับความเข้มข้นของ
เลือด 1:10 จะปรากฏรอยร่องเท้าแฝงได้ดีกว่าที่ระดับ
ความเข้มข้นเลือดระดับอื่น มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.44 แสดง
ว่า ผ้าฝ้ายลวดลายทำให้เกิดประสิทธิภาพของรอยร่องเท้า
แฝงดี สามารถตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบเพื่อยืนยัน
ลวดลายพื้นร่องเท้าได้

ผ้าฝ้ายสีดำ ในระดับความเข้มข้นของเลือด 1:1000 จะปรากฏรอยรองเท้าแฝงได้ดีกว่าที่ระดับความเข้มข้นเลือดระดับอื่น มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.00 แสดงว่า ผ้าฝ้ายสีดำทำให้เกิดประสิทธิภาพของรอยรองเท้าแฝงดี มองเห็นรายละเอียดรอยรองเท้าแฝง สามารถตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบเพื่อยืนยันลวดลายพื้นรองเท้าได้

ผ้าโพลีเอสเตอร์สีขาว ในระดับความเข้มข้นของ
เลือด 1:1000 จะปรากฏรอยร่องเท้าแฝงได้ดีกว่า ที่ระดับ
ความเข้มข้นเลือดระดับอื่น มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.72 แสดง
ว่า โพลีเอสเตอร์สีขาว ทำให้เกิดประสิทธิภาพของรอย
ร่องเท้าแฝงพอใช้ มองเห็นรายละเอียดรอยร่องเท้าแฝง
บางส่วน

ผ้าโพลีเอสเตอร์ลวดลาย ในระดับความเข้มข้น
ของเลื่อต 1:10 จะปรากฏรอยรองเท้าแฝงได้ดีกว่าที่ระดับ
ความเข้มข้นเลื่อตระดับอื่น มีเฉลี่ยเท่ากับ 4.00 แสดงว่า
ผ้าโพลีเอสเตอร์ลวดลาย ทำให้เกิดประสิทธิภาพของรอย
รองเท้าแฝงดีมาก มองเห็นรายละเอียดรอยรองเท้าแฝง
ชัดเจน สามารถตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบเพื่อยืนยัน
ลวดลายพื้นรองเท้าได้

ผ้าโพลีเอสเตอร์สีดำ ในระดับความเข้มข้นของ
เลือด 1:10 จะปรากฏรอยรองเท้าแฝงได้ดีกว่าที่ระดับ
ความเข้มข้นเลือดระดับอื่น มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.06 แสดง

ว่าผ้าโพลีเอสเตอร์สีดำ ทำให้เกิดประสิทธิภาพของรอย
รองเท้าแฝงดี มองเห็นรายละเอียดรอยรองเท้าแฝง
สามารถตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบเพื่อยืนยันลวดลายพื้น
รองเท้าได้

ผ้าป่านสีขาว ในระดับความเข้มข้นของเลือด 1:1000 จะปรากฏรอยร่องเท้าแฝงได้ดีกว่าที่ระดับความเข้มข้นเลือดระดับอื่น มีเฉลี่ยเท่ากับ 3.33 แสดงว่า ผ้าป่านสีขาว ทำให้เกิดประสิทธิภาพของรอยร่องเท้าแฝงดี มองเห็นรายละเอียดรอยร่องเท้าแฝง

ผ้าป่านลวดลาย ในระดับความเข้มข้นของเลือด 1:1000 จะปรากฏรอยรองเท้าแฝงได้ดีกว่า ที่ระดับความเข้มข้นเลือดระดับอื่น มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.06 แสดงว่า ผ้าป่านลวดลาย ทำให้เกิดประสิทธิภาพของรอยรองเท้าแฝงพอใช้ มองเห็นรายละเอียดรอยรองเท้าแฝงบางส่วน

ผ้าป่านสีดำ ในระดับความเข้มข้นของเลือด 1:10 จะปรากฏรอยร่องเท้าแฝงได้ดีกว่าที่ระดับความเข้มข้นเลือดระดับอื่น มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.00 แสดงว่าป่านสีดำ ทำให้เกิดประสิทธิภาพของรอยร่องเท้าแฝงดีมาก มองเห็นรายละเอียดรอยร่องเท้าแฝงชัดเจน สามารถตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบเพื่อยืนยันลวดลายพื้นรองเท้าได้

ผ้าลินินสีขาว ในระดับความเข้มข้นของเลือด
1:10 จะปรากฏรอยร่องเท้าแฝงได้ดีกว่าที่ระดับความ
เข้มข้นเลือดระดับอื่น มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.22 แสดงว่า ผ้า
ลินินสีขาว ทำให้เกิดประสิทธิภาพของรอยร่องเท้าแฝงดี
มองเห็นรายละเอียดรอยร่องเท้าแฝง สามารถตรวจพิสูจน์
เปรียบเทียบเพื่อยืนยันลวดลายพื้นรองเท้าได้

ผ้าลินินลวดลาย ในระดับความเข้มขึ้นของเลือด
1:1000 จะปรากฏรอยรองเท้าแฝงได้ดีกว่าที่ระดับความ
เข้มขึ้นเลือดระดับอื่น มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.17 แสดงว่า ผ้า
ลินินลวดลาย ทำให้เกิดประสิทธิภาพของรอยรองเท้าแฝง
ดี มองเห็นรายละเอียดของรอยรองเท้าแฝง

ผ้าลินินสีดำ ที่ในระดับความเข้มข้นของเลือด 1:10 จะปรากฏรอยรองเท้าแฝงได้ดีกว่าที่ระดับความเข้มข้นเลือดระดับอื่น มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.83 แสดงว่า ลินินสีดำ ทำให้เกิดประสิทธิภาพของรอยรองเท้าแฝงพอใช้ มองเห็นรายละเอียดรอยรองเท้าแฝงบางส่วน

ผ้าไหมสีขาวย ในระดับความเข้มข้นของเลือด 1:10 จะปรากฏรอยรองเท้าแฝงได้ดีกว่าที่ระดับความเข้มข้นเลือดระดับอื่น มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.83 แสดงว่า ผ้าไหมสีขาว ทำให้เกิดประสิทธิภาพของรอยรองเท้าแฝงดี มองเห็นรายละเอียดรอยรองเท้าแฝง สามารถตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบเพื่อยืนยันลวดลายพื้นรองเท้าได้

ผ้าไหมลวดลาย ในระดับความเข้มข้นของเลือด 1:10 จะปรากฏรอยรองเท้าแฝงได้ดีกว่าที่ระดับความเข้มข้นเลือดระดับอื่น มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.78 แสดงว่า ผ้าไหมลวดลาย ทำให้เกิดประสิทธิภาพของรอยรองเท้าแฝงพอใช้ มองเห็นรายละเอียดรอยรองเท้าแฝงบางส่วน

ผ้าไหมสีดำ ในระดับความเข้มข้นของเลือด 1:1000 จะปรากฏรอยรองเท้าแฝงได้ดีกว่าที่ระดับความเข้มข้นเลือดระดับอื่น มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.17 แสดงว่า ผ้าไหมสีดำ ทำให้เกิดประสิทธิภาพของรอยรองเท้าแฝงดี มองเห็นรายละเอียดรอยรองเท้าแฝง

Table 3. The obtained results of shoeprint image quality in different concentrations of pig blood solution from 15 different fabrics using luminol technique

The 15 different fabrics	The ratio of pig blood solution		S.D.
1. White cotton	1 : 10	4.00	0.00
	1 : 100	3.83	0.24
	1 : 1000	2.50	0.71
2. Black cotton	1 : 10	0.83	1.18

3. Pattern design cotton	1 : 100	1.11	1.29
	1 : 1000	3.00	0.94
	1 : 10	3.44	0.81
4. White polyester	1 : 100	1.50	2.12
	1 : 1000	1.00	1.41
	1 : 10	1.17	0.71
5. Black polyester	1 : 100	1.00	1.41
	1 : 1000	1.72	1.29
	1 : 10	3.06	1.14
6. Pattern design polyester	1 : 100	1.50	2.12
	1 : 1000	1.00	1.41
	1 : 10	4.00	0.47
7. White ramie	1 : 100	3.33	1.18
	1 : 1000	1.83	1.41
	1 : 10	1.00	1.41
8. Black ramie	1 : 100	1.17	3.33
	1 : 1000	3.33	0.00
	1 : 10	4.00	0.00
9. Pattern design ramie	1 : 100	3.67	0.00
	1 : 1000	2.00	0.00
	1 : 10	1.83	0.00
10. White line	1 : 100	1.00	0.47
	1 : 1000	2.06	1.18
	1 : 10	3.22	0.96
11. White line	1 : 100	1.50	2.12
	1 : 1000	1.00	1.41
	1 : 10	2.83	1.21
12. Pattern design line	1 : 100	1.00	0.00
	1 : 1000	2.33	1.21
	1 : 10	0.50	0.71
13. white silk	1 : 100	1.00	1.26
	1 : 1000	3.17	0.71
	1 : 10	3.83	0.24
14. Black silk	1 : 100	3.17	0.71
	1 : 1000	1.33	0.94
	1 : 10	0.50	0.71
	1 : 100	0.94	1.16
	1 : 1000	3.17	0.24

15. Pattern design silk	1 : 10	2.78	1.28
	1 : 100	1.33	1.89
	1 : 1000	1.00	1.41

เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง พบว่า ชนิดของผ้าที่แตกต่างกันจะปรากฏประสิทธิภาพรอยรองเท้าแฝงจากคราบเลือดที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 หมายความว่า ชนิดผ้ามีผลต่อประสิทธิภาพของรอยรองเท้าแฝงเมื่อตรวจด้วยเทคนิคลูโคมาลาโคไท์กรีนและเทคนิคลูมินอล ($F = 3.632$, $Sig. = 0.000$) ดังแสดงใน Table 4

ระดับความเข้มข้นของเลือดที่แตกต่างกันจะปรากฏประสิทธิภาพรอยรองเท้าแฝงจากคราบเลือดที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 หมายความว่า ระดับความเข้มข้นของเลือดมีผลต่อประสิทธิภาพของรอยรองเท้าแฝงเมื่อตรวจด้วยเทคนิคลูโคมาลาโคไท์กรีนและเทคนิคลูมินอล ($F=15.147$, $Sig.=0.000$) ดังแสดงใน Table 4

เมื่อทำการตรวจสอบระดับปฏิสัมพันธ์ระหว่างชนิดของผ้าและระดับความเข้มข้นของเลือด พบว่า ค่า $F = 0.301$ และ $Sig. = 0.999$ แสดงว่า ไม่มีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างชนิดของผ้าและระดับความเข้มข้นของเลือดที่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพของรอยรองเท้าแฝงที่ปรากฏขึ้นด้วยเทคนิคลูโคมาลาโคไท์กรีนและเทคนิค ลูมินอล ดังแสดงใน Table 4

Table 4. Analysis was compiled Two way ANOVA from checking for the quality of shoeprints from the pig blood on the fabrics that difference ratio of the pig blood solution by Lucomalachite Green and Luminol Technique.

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	3.884 ^a	44	2.588	2.035	.010

Intercept	357.338	1	357.338	281.014	.000*
Kind of fabrics	64.662	14	4.619	3.632	.000*
Ratio of pig blood solution	38.521	2	19.260	15.147	.000*
Kind of fabrics *	10.701	28	.382	.301	.999
Ratio of pig blood solution					
Error	57.222	45	1.272		
Total	528.444	90			
Corrected Total	171.106	89			

a. R Squared = .666 (Adjusted R Squared = .339)

อภิปรายผล

จากการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพรอยรองเท้าแฝงจากคราบเลือดบนผ้า 15 ชนิด พบว่าการตรวจเก็บรอยรองเท้าแฝงโดยเทคนิคลูมินอลให้ประสิทธิภาพของรอยรองเท้าแฝงดีกว่าการใช้เทคนิค ลูโคมาลาโคไท์กรีน และความเข้มข้นเลือดในอัตราส่วน 1:10 สามารถตรวจรอยรองเท้าแฝงได้ประสิทธิภาพดีที่สุด สามารถนำไปตรวจพิสูจน์เปรียบเทียบลวดลายพื้นรองเท้าได้ ความเข้มข้นเลือดอัตราส่วน 1:100 จะได้ประสิทธิภาพของรอยรองเท้าแฝงระดับปานกลาง ส่วนความเข้มข้นเลือดอัตราส่วน 1:1000 ประสิทธิภาพของรอยรองเท้าแฝงอยู่ในระดับต่ำ

เมื่อทดสอบสมมุติฐานทั้ง 3 ปัจจัยพบว่า ชนิดของผ้าที่แตกต่างกันจะปรากฏประสิทธิภาพรอยรองเท้าแฝงจากคราบเลือดที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 หมายความว่า ชนิดผ้ามีผลต่อประสิทธิภาพของรอยรองเท้าแฝง [7] การตรวจหาคราบเลือดบนพื้นผิวที่มีรูพรุน ถือว่ามีบทบาทที่สำคัญต่อการตรวจทางเคมี ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจหาคราบเลือด ชนิดบนของความ

เข้มข้นเลือดที่ใช้ในการตรวจรอยรองเท้าแฝงที่แตกต่างกันจะปรากฏประสิทธิภาพรอยรองเท้าแฝงจากคราบเลือดที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 หมายความว่าระดับความเข้มข้นของเลือดมีผลต่อประสิทธิภาพของรอยรองเท้าแฝง [10] ระยะเวลาในการเรืองแสงของสาร ลูมินอล นั้นแปรผันตรงกับความเข้มข้นของเลือดที่ถูกเจือจาง และชนิดของเทคนิคการทดสอบการตรวจเปรียบเทียบประสิทธิภาพของรอยรองเท้าแฝงด้วยเทคนิคที่แตกต่างกัน จะทำให้เกิดประสิทธิภาพรอยรองเท้าแฝงในคราบเลือดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

การตรวจเก็บรอยรองเท้าแฝงบนผ้าทั้ง 15 ชนิด ในผ้าฝ้ายสีขาว ผ้าโพลีเอสเตอร์สีขาว ผ้าป่านสีขาว ผ้าลินินสีขาว และผ้าไหมสีขาว สามารถทำการตรวจเก็บรอยรองเท้าแฝงให้ประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ดีที่สุด ส่วนผ้าฝ้ายลวดลาย ผ้าโพลีเอสเตอร์ลวดลาย ผ้าป่านลวดลาย ผ้าลินินลวดลาย และผ้าไหมลวดลาย สามารถนำเก็บรอยรองเท้าแฝงที่ให้ประสิทธิภาพปานกลาง และผ้าฝ้ายสีดำ ผ้าโพลีเอสเตอร์สีดำ ผ้าป่านสีดำ ผ้าลินินสีดำ และผ้าไหมสีดำ ประสิทธิภาพของรอยรองเท้าแฝงอยู่ในระดับต่ำ และการทดสอบด้วยเทคนิคลูโคมาลาโคห์กรีน จะทำให้มองเห็นคราบเลือดบนผ้าสีเข้มจากภาพถ่ายน้อยหรืออาจจะไม่ปรากฏเห็น อาจเป็นเพราะมีสีคล้ายกับเลือดมากที่สุดจึงอาจดูดกลืนสีใกล้เคียงเลือดมากที่สุด ดังนั้นเทคนิคลูโคมาลาโคห์กรีน จึงไม่มีประสิทธิภาพในการทดสอบด้วยพื้นผิวที่มีลักษณะสีเข้ม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Farrugia [9] ทำการศึกษาประสิทธิภาพของรอยรองเท้าที่เปื้อนเลือดด้วยวิธี Leucocrystal violet เทคนิคลูโคมาลาโคห์กรีน เทคนิคฟลูออเรสเซนต์ และเทคนิคลูมินอล ผลการทดลองพบว่าผลการปรากฏรอยรองเท้าแฝงที่เปื้อนเลือดบนวัสดุผ้าสีอ่อนสามารถตรวจพบได้ อย่างไรก็ตาม การใช้เทคนิคลูมินอลในการตรวจหาคราบเลือดบนผ้า

มีประสิทธิภาพดีกว่าเทคนิคลูโคมาลาโคห์กรีน และจะมองเห็นบนผ้าชนิดใดก็ได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของผ้า

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาและคณาจารย์ คณะนิติวิทยาศาสตร์จากโรงเรียนนายร้อยตำรวจ และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการคณะนิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ ซึ่งมีส่วนช่วยเหลือในวิทยานิพนธ์ ให้ประสบความสำเร็จได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. รุจนา กิตติ พรหมอนุมัติ. 2554. การพัฒนางานด้านสืบสวนของกองกำกับการสืบสวนสอบสวน 3 กองบังคับการสืบสวนสอบสวน ตำรวจภูธรภาค 9. สารนิพนธ์ปริญญารัฐประศาสนศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชารัฐประศาสนศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
2. คมชัดลึก ออนไลน์. 2558. แกะรอยลายเท้าบนคราบเลือด จับฆาตกรสังหารเอ็นจีโอ. เข้าถึงเมื่อ 20 พฤษภาคม 2562. เข้าถึงได้จาก <https://www.komchadluek.net/news/crime/204574>
3. สุภาภรณ์ ทาสม. 2558. การจัดเก็บข้อมูลลักษณะรูปแบบรองเท้าที่มีจำหน่ายในตลาด อำเภอเมืองจังหวัดเชียงใหม่ เพื่อการจำแนกประเภทรอยพื้นรองเท้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขานิติวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
4. สมภพ เองสมบูรณ์. 2551. การตรวจสถานที่เกิดเหตุเบื้องต้น. นครปฐม: โรงเรียนนายร้อยตำรวจ.
5. จุฑามาศ ยี่มนุ่น. 2560. การตรวจคราบโลหิตของมนุษย์ด้วยวิธีฟีนอล์ฟทาลีน ลูมินอลและ ฟลูออเรสเซนต์ บนพื้นรองเท้าชนิดต่างๆ. วารสารวิทยาศาสตร์แห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี. 14(2):1-11

6. สวรรส ปุริมโน. 2555. การตรวจวัดคราบโลหิตโดยวิธีฟีนอล์ฟทาลีน เตตระเมทิลเบซีดีน ลูมินอล และบลูสตาร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
7. วราภรณ์ สมบุษ. 2562. ปฏิสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับวิธีการทำความสะอาดคราบเลือดที่มีผลต่อการตรวจหาคราบเลือดด้วยวิธี Luminol และ Bluestar. *วารสารวิทยาศาสตร์แห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี*.16(1):55-68
8. จารุวรรณ อัมพฤกษ์. 2555. การวิเคราะห์เส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ในงานทางนิติวิทยาศาสตร์ โดย Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT – IR). วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
9. Farrugia, Kevin J. et al. 2011. “Chemical enhancement of footwear impressions in blood on fabric — Part 2:Peroxidase reagents.” *Science and Justice*. 51, pp. 110-121.
10. อาริษา ศรีดวงใจ เกษศิริรินทร์ เอกสินธิ์กุล และ วีรชัย พุทธวงศ์, “การสังเคราะห์ลูมินอลในการตรวจสอบร่องรอยของเลือด,” ใน รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ครั้งที่ 1 “นวัตกรรมสร้างสรรค์ ศาสตร์พระราชาสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน ไทยแลนด์ 4.0”, วันที่ 13 กรกฎาคม 2563 , ณ ห้องประชุมกันเกรา ชั้น 3 ศูนย์ฝึกประสบการณ์วิชาชีพราชภัฏกรีนวิว มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรวิทยาดัต, หน้า 414.

การศึกษาการคงอยู่ของลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตร ที่แช่น้ำโดยวิธี Small Particle Reagent และ Perma blue

The Study in the Existence of Latent Fingerprints on 9 mm Bullet after Immersing in Water using Small Particle Reagent and Perma Blue Techniques

มนต์ทิพย์ ประเสริฐพรศักดิ์^{1*}, พัชรา สินลอยมา²

Montip Prasertpornsak^{1*}, Patchara Sinloyma²

^{1,2} คณะนิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ

^{1,2} Faculty of Forensic Science, Royal Police Cadet Academy

*Corresponding author; E-mail: bell_meepooh9@hotmail.com

Received: 20 May 2020 /Revised: 08 July 2020 /Accepted: 08 July 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการคงอยู่ของลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตร ที่แช่น้ำ ด้วยวิธี Small Particle Reagent และ Perma blue เป็นการวิจัยเชิงทดลอง กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ ลูกกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตร จำนวน 42 นัด ทำการทดลองโดยการหาลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตร ที่แช่น้ำ ในระยะเวลาที่แตกต่างกัน คือ ทันทันที, 3, 6, 9, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง จากการวิจัยนี้ สรุปได้ว่า วิธีการตรวจรอยลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตร ที่แช่น้ำ ด้วยวิธี Small Particle Reagent ให้คุณภาพของรอยลายนิ้วมือแฝง ได้ดีกว่าวิธี Perma blue ผลคะแนนคุณภาพรอยลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตร ด้วยวิธี Small Particle Reagent และ Perma blue แต่ละช่วงเวลาภายหลังจากนำกระสุนปืนขึ้นจากน้ำ พบว่า ช่วงเวลาที่ดีที่สุดที่ตรวจพบรอยลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืน ขนาด 9 มิลลิเมตร คือ ช่วงเวลา 3 ชั่วโมง ส่วนวิธี Perma blue คุณภาพรอยลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตร อยู่ในระดับต่ำที่สุดในทุกช่วงเวลาภายหลังจากนำกระสุนปืนขึ้นจากน้ำ และเมื่อจำแนกตามวิธีการตรวจ พบว่าวิธีการตรวจรอยลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตร ด้วยวิธี Small Particle Reagent ให้ลายนิ้วมือแฝงที่มีคุณภาพมากกว่าวิธี Perma blue อีกทั้ง การปรากฏของลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืนจาก 2 วิธีตามการเปลี่ยนแปลงของระยะเวลาที่แช่น้ำไม่แตกต่างกัน

คำสำคัญ : ลายนิ้วมือแฝง กระสุนปืน Small Particle Reagent Perma blue

Abstract

The research aimed to investigate the existence of latent fingerprints on a 9 mm bullet that was immersed in water by using the Small Particle Reagent and Perma blue. is an experimental research. The samples in were 42 bullets of 9 mm that were analyzed to find out the latent fingerprints. The experimental time for water immersion was different, which consisted of immediately, 3, 6, 9, 12, 24 and 48-hours. It could be noted that the Small Particle Reagent provided the better quality of latent fingerprint than the Perma blue. The findings summarized that the best quality time in inspection of latent fingerprint on 9mm bullet after water immersion by using the Small Particle Reagent and Perma blue was the 3-hour. Generally the quality of the latent fingerprint on 9 mm bullets from Perma blue technique was low at all time differences after taking out of the water. When classified according to the examination methods. it was found that the Small Particle Reagent provided better result in latent fingerprint than the Perma blue. Also the appearance of latent fingerprint on 9 mm bullet by time differences of water immersion was not different.

Keywords: Latent Fingerprint, Bullet, Small Particle Reagent, Perma Blu

บทนำ

การพิสูจน์เอกลักษณ์บุคคลในคดีอาชญากรรมต่าง ๆ ในปัจจุบันนั้น เป็นการพิสูจน์ เพื่อยืนยันตัวผู้กระทำความผิด และสามารถเชื่อมโยงผู้กระทำความผิดเข้ากับอาชญากรรมที่เกิดขึ้นได้ อันจะส่งผลให้ผู้กระทำผิดต้องได้รับโทษตามกฎหมาย ซึ่งต้องใช้พยานหลักฐานที่น่าเชื่อถือทางวิทยาศาสตร์ในการยืนยันตัวบุคคล อีกทั้งการนำผู้กระทำความผิดมาดำเนินคดีจะต้องอาศัยพยานหลักฐานที่เชื่อถือได้ และจะต้องพิสูจน์ว่าผู้ต้องหาได้กระทำความผิดจริง ดังนั้นจึงมีการนำกระบวนการทางนิติวิทยาศาสตร์ มาใช้ในการรวบรวมพยานหลักฐาน โดยการพิสูจน์เอกลักษณ์บุคคล เป็นการพิสูจน์เพื่อยืนยันตัวผู้กระทำความผิด และสามารถเชื่อมโยงผู้กระทำความผิดเข้ากับอาชญากรรมที่เกิดขึ้นได้ ให้ต้องรับโทษตามกฎหมาย ในปัจจุบันพยานหลักฐานที่สำคัญ ด้านนิติ

วิทยาศาสตร์อย่างหนึ่ง ที่มีบทบาทสำคัญ อย่างมากในกระบวนการยุติธรรม คือ รอยลายนิ้วมือ เนื่องจากลายนิ้วมือของแต่ละบุคคลนั้นจะไม่ซ้ำกัน ลายนิ้วมือจะเริ่มสร้างขึ้นตั้งแต่เป็นตัวอ่อน ในระหว่างเดือนที่ 3 และ 4 ของการตั้งครรภ์ เมื่อคลอดออกมาเป็นทารก และร่างกายเจริญเติบโตขึ้น จะมีเพียงขนาดเท่านั้น ที่จะมีการเปลี่ยนแปลง [1] ซึ่งแต่ละบุคคล จะมีลักษณะเฉพาะพิเศษแตกต่างกันออกไป รอยลายนิ้วมือแฝงจึงจัดเป็นพยานหลักฐานยืนยัน ตัวบุคคลได้แน่นอนที่สุด โดยทั่วไปวัตถุพยานหรือพยานหลักฐาน ในสถานที่เกิดเหตุ หรือพยานหลักฐานที่พบในผู้ต้องสงสัยเกิดจากการ ที่บุคคลหรือกลุ่มบุคคลเข้ามาในสถานที่เกิดเหตุ และทิ้งร่องรอยบางสิ่งบางอย่างไว้ในสถานที่เกิดเหตุ และสัมผัสหรือเก็บบางสิ่งบางอย่างออกไปจากสถานที่เกิดเหตุ นั้น เป็นไปตามหลักการที่ว่าด้วยการแลกเปลี่ยนมวลสาร หรือสสาร

คือ หลักการแลกเปลี่ยนของโลคาร์ด (Locard's Principle of Exchange) เมื่อใดก็ตามที่วัตถุสองสิ่งมาสัมผัสซึ่งกันและกัน มวลสารหรือสสารจากสิ่งหนึ่งจะถูกย้ายมาอยู่สิ่งที่สอง และมวลสารหรือสสาร จากสิ่งที่สองก็จะถูกย้ายมาสู่สิ่งหนึ่ง [2]

การก่ออาชญากรรมในปัจจุบันมีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งยังมีการใช้อาวุธร้ายแรงในการก่อเหตุ เช่น อาวุธปืน ซึ่งมีปรากฏให้เห็น ในกรณีที่มีคนร้ายก่ออาชญากรรมด้วยอาวุธปืน ใช้ปืนก่อเหตุยิงในที่ต่าง ๆ อันเป็นการกระทำที่ประสอ์ต่อชีวิตผู้อื่นที่ดี การประสอ์ให้ได้ว่าซึ่งทรัพย์สินของผู้อื่นก็หรือการข่มขืนใจผู้อื่นให้กลัว จนกระทั่งยอมกระทำในสิ่งที่ข่มขู่ก็ตาม ปัจจุบันมีเหตุคนร้ายก่ออาชญากรรมด้วยอาวุธปืน ใช้ปืนก่อเหตุยิงในที่ต่าง ๆ มักมีเหตุรุนแรงจากการใช้อาวุธปืนมาอย่างต่อเนื่อง จนกลายเป็นคดีใหญ่ในหลาย ๆ คดี ซึ่งทำให้เกิดคดีสะเทือนขวัญต่อประชาชน และเสียหายเป็นวงกว้าง สิ่งเหล่านี้มักมี ให้เห็นตามสื่อทางโทรทัศน์ หรือข่าวจากหน้าหนังสือพิมพ์ ในชีวิตประจำวัน เนื่องมาจากการที่ประชาชนสามารถเข้าถึงอาวุธปืนได้ง่ายมากเกินไป เช่น เมื่อวันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2563 มีผู้ก่อเหตุใช้อาวุธปืนสังครามกราดยิงผู้บริสุทธิ์ได้รับบาดเจ็บ และเสียชีวิตหลายรายที่ห้างเทอร์มินอล 21 จังหวัดนครราชสีมา [3]

หลังจากผู้กระทำความผิดก่อเหตุขึ้น ผู้กระทำความผิดมักจะทำลายพยานหลักฐาน สำคัญ คืออาวุธที่ใช้ในการก่อเหตุความผิด โดยการนำอาวุธที่ใช้ในการก่อเหตุทิ้งลงในน้ำ เพื่อหลีกเลี่ยงความผิด ตัวอย่างเช่น คดีเมื่อวันที่ 20 พฤศจิกายน 2562 มีคนร้ายก่อเหตุใช้อาวุธปืนยิงผู้ได้รับบาดเจ็บ และหลบหนีไป ที่จังหวัดชัยนาท ต่อมาผู้ก่อเหตุได้เข้ามาขอตัว และให้การว่า อาวุธปืนที่ใช้ในการก่อเหตุ ได้นำอาวุธปืนโยนทิ้งลงแม่น้ำท่าจีน [4] หรือ คดีเมื่อวันที่ 23 มีนาคม 2563 มีเหตุกลุ่มวัยรุ่นสองกลุ่ม

รวมกันเกือบ 20 คน ทะเลาะวิวาท และอาวุธปืนยิงใส่กัน จนทำให้ชายวัย 19 ปี ได้รับบาดเจ็บ ภายในอำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ ต่อมาเจ้าหน้าที่ชุดสืบสวนได้จับกุมเยาวชนผู้ก่อเหตุ อายุ 17 ปี ไปชี้จุดที่นำอาวุธปืนที่ใช้ก่อเหตุไปโยนทิ้งในบ่อเลี้ยงปลาขนาดใหญ่กว่า 30 ไร่ จึงพบอาวุธปืนปากกาไทยประดิษฐ์ ขนาด .38 ซึ่งจมอยู่ในน้ำภายในบ่อเลี้ยงปลา เจ้าหน้าที่จึงยึดไว้เป็นหลักฐาน [5] ซึ่งโดยทั่วไปการเก็บพยานหลักฐานจากอาวุธปืนมักจะเก็บหลักฐานโดยการตรวจเปรียบเทียบลูกกระสุนปืน และปลอกกระสุนปืน ว่าใช้ยิงมาจากอาวุธปืนที่ดองสงสัยหรือไม่ สิ่งที่ยุ้ยสนใจศึกษา คือ ในขั้นตอนการบรรจุกระสุนปืน ผู้กระทำความผิดจะต้องใช้มือหยิบกระสุนปืนเพื่อดันกระสุนปืนลงในแม็กกาซีน หากมีกระสุนหลงเหลืออยู่ในปืน กระสุนที่ใส่เข้าไปจะยังคงมีรอยลายนิ้วมือหลงเหลืออยู่บนกระสุนปืนที่จมน้ำนั้นหรือไม่

จากการศึกษาเรื่องกระสุนปืน ผู้วิจัยจะเลือกใช้ลูกกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตร ในการทดลองการศึกษาการคงอยู่ของลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืนที่แช่น้ำ ซึ่งมักพบว่าถูกใช้ในการกระทำความผิด และหาซื้อได้ง่าย

จากงานวิจัยของ สกลกฤษณ์ เอกจักรวาล. (2546) ได้ทำการเปรียบเทียบระยะเวลาที่สามารถตรวจพบรอยลายนิ้วมือแฝงบนปลอกกระสุนปืนออโตเมติกประเภททองเหลือง ขนาด 9 และ 11 มิลลิเมตร โดยใช้วิธีการ Black powder , Super glue, Perma blue และ Gun blueing และ พบว่าวิธี Perma blue เป็นวิธีการหารอยลายนิ้วมือ ได้มีประสิทธิภาพและชัดเจนที่สุด [6]

Rohatgi และคณะ.(2014) ได้ศึกษาเกี่ยวกับ Small particle reagent ที่มีองค์ประกอบของสาร Zinc carbonate hydroxide monohydrate, Crystal violet dye และ Detergent ที่มีจำหน่ายทั่วไปบนแผ่นกระจกกระเบื้องเซรามิค และแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ โดยเข้วัตถุ

ลงในน้ำสะอาดและน้ำไม่สะอาด และเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ที่เวลาที่ต่าง ๆ กัน จากการวิจัยพบว่า ความคมชัดของรอยลายนิ้วมือแฝงมีความคมชัดลดลง เมื่อวัตถุตัวอย่างถูกแช่ในน้ำเป็นเวลานาน ยังพบอีกว่า รอยลายนิ้วมือแฝงที่ถูกจุ่มไว้ในน้ำสะอาดสามารถตรวจพบรอยลายนิ้วมือแฝงที่มีความคมชัดได้ดีกว่าในน้ำสกปรก ซึ่งอาจเป็นผลมาจากในน้ำสกปรก แผ่นอลูมิเนียมฟอยด์เกิดการออกซิไดซ์ ทำให้มองเห็นรอยลายนิ้วมือแฝงไม่ชัดเจน และเกิดจากสารอินทรีย์ เกลือ และสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่อยู่ในน้ำสกปรก อาจไปรบกวนผลของรอยลายนิ้วมือแฝงที่จะปรากฏขึ้น ยังพบว่าวิธีดังกล่าวยังสามารถหารอยลายนิ้วมือได้บนพื้นผิวที่แห้งเช่นกัน ใช้วัสดุที่มีความคุ้มค่ากับราคา และใช้ได้ง่าย รวมไปถึงการเลือกใช้ Basic zinc carbonate ซึ่งมีอันตรายแก่ผู้ใช้น้อยกว่า Molybdenum(IV)

Richa Rohatgi และ A.K. Kapoor (2015) ได้ศึกษาเกี่ยวกับ ได้ศึกษาเกี่ยวกับ Small particle reagent ที่ใช้ Zinc carbonate ร่วมกับ Fuchsin dye และ Detergent ที่มีจำหน่ายทั่วไป เปรียบเทียบกับการใช้ Crystal violet dye ได้ทำการทดลองบนพื้นผิวที่ไม่มีรูพรุนเป็นเวลา 45 วัน พบว่า สีย้อมทั้งสองชนิดสามารถใช้หา รอยลายนิ้วมือที่มีคุณภาพและชัดเจนทั้งคู่

Matej Trapecar.(2012) ได้ศึกษาการตรวจเก็บ รอยลายนิ้วมือแฝงบนพื้นผิวที่เป็นกระจกและโลหะที่แช่อยู่ในน้ำ สำหรับพื้นผิวที่เป็นกระจก ทำการเก็บ รอยลายนิ้วมือแฝงที่ช่วงเวลา 1, 24, 48 และ 168 ชั่วโมง โดยใช้เทคนิค SPR, CA และ Powder Silver Special ส่วนตัวอย่างที่เป็นโลหะ ทำการทดลองที่ช่วงเวลา 4, 28, 48 และ 168 ชั่วโมง และใช้เทคนิค CA และ SPR ในการตรวจเก็บ ผลที่ได้บันทึกด้วยกล้อง Canon EOS 5D จากผลการทดลองพบว่า บนพื้นผิวที่เป็นกระจกและโลหะ

สารเคมีที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการตรวจเก็บ รอยลายนิ้วมือแฝงคือ CA ตามด้วย SPR และ Powder Silver Special

จากงานวิจัยของนุชนาฏ จารุรัตนวิบูลย์ (2562) ที่ได้ตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงบนอาวุธมีดที่จมน้ำโดยใช้ Small Particle Reagent และ Super Glue [7] ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการคงอยู่ของ รอยลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตรที่แช่น้ำ โดยวิธี Small Particle Reagent และ Perma blue เนื่องจากวิธี Small Particle Reagent เป็นวิธีที่เร็ว และง่ายสำหรับการตรวจหารอยลายนิ้วมือบนวัตถุพื้นผิวเปียก ไม่มีรูพรุน [8] และเพื่อศึกษาระยะเวลาที่ลายนิ้วมือแฝงปรากฏบนกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตรที่แช่น้ำในระยะเวลาที่แตกต่างกันเพื่อต้องการทราบถึงวิธีการ ที่จะทำให้ลายนิ้วมือแฝงปรากฏบนกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตรที่แช่น้ำได้

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ กระสุนปืน นิกเกิลสีเงินขนาด 9 มิลลิเมตร ยี่ห้อ Bullet Master จำนวน 42 นัด ซึ่งกระสุนที่นำมาใช้เป็นกระสุนใหม่ เช็ดทำความสะอาดก่อนนำมาทำการทดลองนำตัวอย่างจากแม่น้ำท่าจีน กล้องพลาสติกขนาดใหญ่ เครื่องชั่งระบบดิจิทัล ทศนิยม 2 ตำแหน่ง ปากคีบพลาสติก (สำหรับคีบกระสุนปืน) สำลี แอลกอฮอล์(สำหรับทำความสะอาดกระสุนปืน) หน้ากากอนามัย ถุงมือ ปีกเกอร์ กระบอฉีดน้ำ โทรศัพท์มือถือ Motorola One Marcro (ใช้สำหรับถ่ายภาพ) เหตุที่ผู้วิจัยเลือกใช้กล้องจากโทรศัพท์มือถือ เนื่องจากปัจจุบันโทรศัพท์มือถือได้พัฒนาเรื่องกล้องให้ใกล้เคียงกับกล้องถ่ายรูปมากขึ้น พัฒนาให้ตัวกล้องมีความคมชัด ถ่ายในที่มืดได้ คุณภาพของภาพดีขึ้น ความ

ละเอียดของรูปมากขึ้น พกพาสะดวก สามารถใช้ถ่ายภาพ วัตถุพยานในสถานที่เกิดเหตุได้ทันที

2. สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ Small Particle Reagent ที่มีองค์ประกอบของสาร Zinc Carbonate Hydroxide Minohydrate, Crystal Violet Dye และ Detergent ที่มีจำหน่ายทั่วไป สีดำ ยี่ห้อ SIRCHIE 1 ขวด และ Perma blue ยี่ห้อ BIRCHWOOD CASEY จำนวน 1 ขวด ที่มีจำหน่ายทั่วไป

3. สถานที่ในการทดลองครั้งนี้ คือ ห้องตรวจ วัตถุพยานทางชีววิทยา โรงเรียนนายร้อยตำรวจ

วิธีการทดลอง

1. ทำความสะอาดกระสุนปืนตัวอย่าง โดยการใส่ สาลิซูปแอลกอฮอล์เช็ดให้ทั่ว แล้วทิ้งไว้ให้แห้ง จากนั้นจึงทำการประทับรอยลายนิ้วมือด้วยแรงกด 500 กรัม นาน 5 วินาที บนเครื่องซึ่งระบบดิจิตอล ทศนิยม 2 ตำแหน่ง จากนั้นจึงมือ ขึ้นเพื่อป้องกัน การทำลายรอยลายนิ้วมือที่ได้กดประทับไว้ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการล้างมือด้วยสบู่ที่อุณหภูมิห้อง แล้วรอ ประมาณ 10 นาที ก่อนที่จะทำการประทับลายนิ้วมือ

2. ผู้วิจัยนำกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตร จำนวน 42 นัด ที่ทำการประทับลายนิ้วมือแล้ว แห้งในกล่องพลาสติก ที่เตรียมน้ำตัวอย่างไว้ โดยตักน้ำจากแม่น้ำ ท่าจีนบริเวณ หลังโรงแรมสามพรานภิรมย์ ตำบลสามพราน อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม มาใช้ในการทดลอง

3. นำกระสุนปืนจำนวน 6 นัด ของแต่ละ ช่วงเวลาขึ้นจากน้ำ ณ เวลาทันที, 3, 6, 9, 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ ทำการตรวจหาลายนิ้วมือแฝงด้วย วิธี Small Particle Reagent โดยการฉีดพ่น Small Particle Reagent ลงบนกระสุนปืนที่มีรอยลายนิ้วมือแฝง และฉีดล้างด้วยน้ำสะอาด แล้วบันทึกผลและถ่ายภาพ ใน ขณะเดียวกันวิธี Perma blue เมื่อนำกระสุนปืนขึ้นจาก

น้ำ ทิ้งไว้ให้แห้งในอุณหภูมิห้อง ก่อนนำกระสุนปืนมาจุ่ม ลงในน้ำยา Perma blue ทำการบันทึกผลและถ่ายภาพ

4. นำภาพถ่ายลายนิ้วมือแฝงที่ได้จาก ข้อ 3 ไป นับจุดลักษณะพิเศษ (Minutiae Point) ด้วยเครื่อง AFIS โดยส่งตรวจกลุ่มงานตรวจลายนิ้วมือแฝงศูนย์ตรวจพิสูจน์ หลักฐาน 7 จากนั้นนำผลการตรวจหาจุดลักษณะพิเศษ จากนั้นทำการวิเคราะห์คุณภาพของรอยลายนิ้วมือแฝงที่ ปรากฏขึ้น โดยนำผลการตรวจหาจำนวนจุดลักษณะพิเศษ มาแบ่งเป็น 5 ระดับ ตามเกณฑ์ในตารางที่ 1 จากนั้นนำมา วิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้หลักสถิติ โดย สถิติที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ 1) การทดสอบ t-test เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของรอยลายนิ้วมือแฝง ที่ปรากฏ ขึ้นด้วยวิธี Small Particle Reagent และวิธี Perma Blue และ 2) การวิเคราะห์ความแปรปรวน แบบทางเดียว (One-Way ANOVA) เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของรอย ลายนิ้วมือแฝงที่ปรากฏขึ้นในช่วงระยะเวลาที่แตกต่างกัน

Table 1. Fingerprint quality scale

Grade	Quality of Latent Fingerprint
5	Excellent (43.3-54 point)
4	Good (32.5-43.2 point)
3	Fair (21.7-32.4 point)
2	Poor (10.9-21.6 point)
1	Bad (0.0-10.8 point)

การวิเคราะห์คุณภาพของรอยลายนิ้วมือแฝง ใน การศึกษาครั้งนี้จะใช้เกณฑ์การนับจุดลักษณะพิเศษ บนรอย ลายนิ้วมือ ด้วยเครื่อง AFIS ในระบบการตรวจสอบลาย พิมพ์นิ้วมืออัตโนมัติ (AFIS) นั้น เป็นการนำเทคโนโลยี คอมพิวเตอร์มาใช้ในการตรวจสอบลายพิมพ์นิ้วมือ โดยที่ ระบบจะมี Software สำหรับอ่าน และคำนวณ ค่า

ความสัมพันธ์ของจุดลักษณะพิเศษ (Minutiae) ของลายพิมพ์นิ้วมือที่นำเข้าตรวจสอบกับฐานข้อมูล แล้วคำนวณค่าความสัมพันธ์ของจุดลักษณะสำคัญพิเศษ (Minutiae) ต่างๆ ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้ ผู้วิจัยนำผลการตรวจหาจุดลักษณะพิเศษ (Minutiae) กลุ่มงานตรวจลายนิ้วมือแฝง ศูนย์ตรวจพิสูจน์หลักฐาน 7 นำมาเปรียบเทียบคุณภาพของลายนิ้วมือแฝง ในการทดลองครั้งนี้เท่านั้น

ผลการวิจัย

ผลการศึกษาคุณภาพรอยลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตรที่แช่น้ำ ด้วยวิธี Small Particle Reagent และวิธี Perma blue แต่ละช่วงเวลา ภายหลังจากนำกระสุนปืนขึ้นจากน้ำดังแสดงในตารางที่ 2

จากตารางที่ 2 พบว่า วิธี Small Particle Reagent ช่วงเวลาที่ดีที่สุดที่ตรวจพบรอยลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืน ขนาด 9 มิลลิเมตร คือ ช่วงเวลา 3 ชั่วโมง ได้คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 27.33 มีคุณภาพอยู่ในระดับปานกลาง (Figure 1) รองลงมา มีคุณภาพอยู่ในระดับต่ำ ได้แก่ ช่วงเวลา 6 ชั่วโมง ได้คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 16.00 และช่วงเวลา 9 ชั่วโมง ได้คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 12.67



Figure 1. Latent fingerprints that appear on a 9 mm bullet by Small Particle Reagent over 3 hours.

จากตารางที่ 2 พบว่า วิธี Perma blue ช่วงเวลาที่ดีที่สุดที่ตรวจพบรอยลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืน ขนาด 9 มิลลิเมตร คือ ช่วงเวลา 3 ชั่วโมง ได้คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 8.00 มีคุณภาพอยู่ในระดับต่ำที่สุด (Figure 2) ซึ่งคุณภาพรอยลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตร อยู่ในระดับต่ำที่สุดในทุกช่วงเวลาภายหลังจากนำกระสุนปืนขึ้นจากน้ำ



Figure 2. Latent fingerprints that appear on a 9 mm bullet by Perma blue over 3 hours.

Table. 2 The quality of latent fingerprint obtained from a bullets that were immersed in water and Kept the latent fingerprint by Small Particle Reagent and Perma blue

Time after impression	Small Particle Reagent			Mean	Grade	Quality of Latent Fingerprint	Perma blue			Mean	Grade	Quality of Latent Fingerprint
	T1	T2	T3				T1	T2	T3			
Immediately	3	16	8	9.00	1	Bad	3	3	0	2.00	1	Bad
3 Hour	29	26	27	27.33	3	Fair	9	7	8	8.00	1	Bad
6 Hour	16	25	7	16.00	2	poor	2	4	6	4.00	1	Bad
9 Hour	15	16	7	12.67	2	poor	2	0	4	2.00	1	Bad
12 Hour	12	3	6	7.00	1	Bad	1	0	4	1.67	1	Bad
24 Hour	8	3	0	3.67	1	Bad	0	0	0	0.00	1	Bad
48 Hour	0	1	0	0.33	1	Bad	0	0	0	0.00	1	Bad

จากการเปรียบเทียบการคงอยู่ของลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตร ภายหลังจากการแช่น้ำจำแนกตามวิธีการตรวจและช่วงระยะเวลาการแช่น้ำ จำแนกตามวิธีการตรวจ วิธี Small Particle Reagent และวิธี Perma blue มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05 ($t = 2.350$, Sig. = 0.045)

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบคุณภาพ ทั้ง 2 วิธี พบว่า วิธี Small Particle Reagent ($\bar{X}=10.85$, S.D.= 8.97) มีคุณภาพมากกว่าวิธี Perma blue ($\bar{X}=2.52$, S.D.= 2.78)

เมื่อทำการเปรียบเทียบการคงอยู่ของลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตร ภายหลังจากการแช่น้ำ จำแนกตามช่วงระยะเวลาการแช่น้ำ พบว่า ช่วงระยะเวลาการปรากฏขึ้นของลายนิ้วมือแฝง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($F = 0.939$, Sig. = 0.523)

อภิปรายผลการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาการคงอยู่ของลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตร ที่แช่น้ำ โดยตักน้ำจากแม่น้ำท่าจีนมาทำการทดลองในกล่องพลาสติกขนาดใหญ่ และนำกระสุนปืนที่ประทับลายนิ้วมือแล้ว จำนวน 42 นัด แช่ลงในกล่องพลาสติกที่เตรียมน้ำตัวอย่างไว้ โดยไม่ให้กระสุนปืนสัมผัสกัน และทำการตรวจเก็บลายนิ้วมือด้วยวิธี Small Particle Reagent และวิธี Perma blue ตามกำหนดช่วงระยะเวลาในช่วงเวลา ทันทันที, 3, 6, 9, 12, 24 และ 48 ชั่วโมงตามลำดับ ผลการศึกษารูปได้ดังนี้

1. ผลการศึกษาคุณภาพรอยลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตร ด้วยวิธี Small Particle Reagent แต่ละช่วงเวลาภายหลังจากนำกระสุนปืนขึ้นจากน้ำ พบว่า มีการปรากฏของรอยลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืนในทุกช่วงเวลา แต่วิธีที่ตรวจพบรอยลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตร ที่ดีที่สุดคือ ช่วงเวลา

3 ชั่วโมง เนื่องจาก วิธี Small Particle Reagent สามารถใช้ตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงบนวัตถุพื้นผิวเปียกไม่มีรูพรุนได้ ส่วนช่วงเวลา 24 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมง ตรวจพบรอยลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตรในระดับต่ำมาก เนื่องจาก ลายนิ้วมือที่มองไม่เห็นบนวัตถุเกิดจากสารที่ซึบถ่ายออกจากต่อมเหงื่อต่อมไขมัน และไขมันจากเนื้อเยื่อผิวหนัง สารที่ซึบถ่ายออกมาจะถ่ายเทมาที่ผิวของวัตถุที่นิ้วมือจับต้องเป็นรอยลายนิ้วมือ ดังนั้นวัตถุผิวเรียบจะติดลายนิ้วมือได้ดี สารที่ซึบถ่ายออกมาจากต่อมเหงื่อ มีค่า pH เป็นกลาง ประกอบไปด้วย กรดไขมัน วิตามิน ซึ่งในคุณภาพและปริมาณของสารที่ซึบถ่ายออกมาจากต่อมไขมัน จะแตกต่างกันไปในแต่ละบุคคล และปริมาณของสารที่ซึบ ออกมาจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และสภาพจิตใจ [7] หากระยะเวลาที่กระสุนปืนที่มีรอยลายนิ้วมือแฝงติดอยู่จมอยู่ในน้ำนานขึ้น คุณภาพของรอยลายนิ้วมือแฝง ที่ปรากฏขึ้นจะลดลง เพราะว่าการตรวจเก็บรอยลายนิ้วมือแฝงด้วยวิธี Small Particle Reagent นั้น จะทำปฏิกิริยากับไขมันในเหงื่อ ซึ่งหากว่ากระสุนปืนที่มีรอยลายนิ้วมือแฝงติดอยู่ถูกแช่อยู่ในน้ำเป็นเวลานาน ไขมันในเหงื่อของรอยลายนิ้วมือแฝงก็จะค่อย ๆ ถูกชะล้างไป อีกทั้งน้ำที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นน้ำจากแม่น้ำ ซึ่งจะมีสารแขวนลอยต่าง ๆ ที่อาจจะมาติดบนกระสุนปืน ตัวอย่างและส่งผลต่อการตรวจเก็บรอยลายนิ้วมือแฝงได้ ผลการวิจัยดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ ศิริรัตน์ เทียงเจริญธรรม ที่ได้ศึกษาวิจัยเรื่อง การปรากฏขึ้นของลายนิ้วมือแฝงบนวัตถุที่จมน้ำในน้ำธรรมชาติ โดยใช้ Small Particle Reagent (SPR) และผงฝุ่นดำ พบว่าการตรวจเก็บด้วยเทคนิค SPR กับตัวอย่างที่แช่อยู่ในน้ำทั้ง 4 คือ น้ำประป่าน้ำบาดาล น้ำจากแม่น้ำ และน้ำทะเล เห็นได้ว่า ตัวอย่าง ที่แช่อยู่ในน้ำทั้ง 4 ชนิด นาน 1 วัน และ 7 วัน รอยลายนิ้วมือแฝงที่ตรวจเก็บได้มีคุณภาพดี ใช้ตรวจ

เปรียบเทียบยืนยันตัวบุคคลได้ แต่เมื่อแช่อยู่ในน้ำนาน รอยลายนิ้วมือแฝงที่ได้ จะมีคุณภาพต่ำลง มองเห็นรอยลายเส้นน้อยมาก ไม่สามารถใช้ตรวจเปรียบเทียบเพื่อยืนยันตัวบุคคลได้ [10]

2. ผลการศึกษาคุณภาพรอยลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตร ด้วยวิธี Perma blue แต่ละช่วงเวลาภายหลังจากนำกระสุนปืนขึ้นจากน้ำ พบว่าช่วงเวลา que ตรวจพบรอยลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตร ที่ดีที่สุดคือ ช่วงเวลา 3 ชั่วโมง และพบว่าหากระยะเวลาที่กระสุนปืนที่มีรอยลายนิ้วมือแฝงติดอยู่จมอยู่ในน้ำนานขึ้น คุณภาพของรอยลายนิ้วมือแฝงที่ปรากฏขึ้นจะลดลง เนื่องจากการตรวจเก็บรอยลายนิ้วมือแฝงด้วยวิธี Perma blue เป็นวิธีการนำกระสุนปืนที่มีรอยลายนิ้วมือแฝงติดอยู่จุ่มลงในสารเคมี Perma blue ที่มีคุณสมบัติเป็นกรด ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับพื้นผิวของกระสุนปืนที่เป็นโลหะ ทำให้ผิวของโลหะเกิดสี แต่ในส่วนผิวโลหะของกระสุนปืนบริเวณที่มีรอยลายนิ้วมือแฝงอยู่นั้นจะมีสารที่เกิดจากนิ้วมือติดอยู่ในลักษณะเหมือนฟิล์มบาง ๆ เคลือบพื้นผิวบริเวณนั้นอยู่ ทำให้สารเคมี Perma blue ทำปฏิกิริยากับผิวโลหะที่มีรอยลายนิ้วมือแฝงติดอยู่ช้ากว่าบริเวณผิวโลหะที่ไม่มีรอยลายนิ้วมือแฝงติดอยู่จึงเกิดเป็นพื้นผิวที่มีสีแตกต่างกัน [9] ปรากฏขึ้นให้เห็นเป็นรอยลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืน ซึ่งหากว่ากระสุนปืนที่มีรอยลายนิ้วมือแฝงติดอยู่ถูกแช่อยู่ในน้ำเป็นเวลานาน ไขมันในเหงื่อของรอยลายนิ้วมือแฝงก็จะค่อย ๆ ถูกชะล้างไป ทำให้สารที่เกิดจากนิ้วมือที่เคลือบพื้นผิวโลหะของกระสุนปืนก็จะบางลง ความแตกต่างในการทำปฏิกิริยาของสารเคมี Perma Blue ก็จะไม่แตกต่างกัน

3. จากการเปรียบเทียบการคงอยู่ของลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตร ภายหลังจากการแช่น้ำ จำแนกตามวิธีการตรวจ พบว่า วิธีการตรวจรอย

ลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตร ด้วยวิธี Small Particle Reagent และวิธี Perma blue มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($t = 2.350$, $\text{Sig.} = 0.045$) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบคุณภาพลายนิ้วมือแฝงทั้ง 2 วิธี พบว่า วิธี Small Particle Reagent ให้ลายนิ้วมือแฝงที่มีคุณภาพมากกว่าวิธี Perma blue เนื่องจาก อนุภาคของ Small Particle Reagent จะไปเกาะติดกับลายนิ้วมือแฝงที่เป็นสารประกอบพวกไขมันทำให้ลายนิ้วมือปรากฏชัดเจนขึ้น ซึ่งผลที่ได้จะขึ้นอยู่กับปริมาณของสารที่ขับออกมาจากต่อมไขมันที่เหลืทิ้งไว้จากนิ้วมือ [10] และเป็นวิธีการที่สามารถทำให้ลายนิ้วมือปรากฏชัดเจนได้บนวัสดุพื้นผิวเปียกทำให้ลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืนที่ปรากฏขึ้น มีคุณภาพของลายนิ้วมือดีกว่าวิธี Perma blue นอกจากนี้ยังพบว่า การปรากฏของลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืนจาก 2 วิธีตามการเปลี่ยนแปลงของระยะเวลาที่แช่น้ำไม่แตกต่างกัน

สรุปผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาคุณภาพรอยลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตร ด้วยวิธี Small Particle Reagent และ Perma blue แต่ละช่วงเวลากายหลังจากนำกระสุนปืนขึ้นจากน้ำ

1.1 ผลคะแนนคุณภาพรอยลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตร ด้วยวิธี Small Particle Reagent แต่ละช่วงเวลากายหลังจากนำกระสุนปืนขึ้นจากน้ำ พบว่า ช่วงเวลาที่ตรวจพบรอยลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตร ที่ดีที่สุด คือ ช่วงเวลา 3 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 27.33 มีคุณภาพอยู่ในระดับปานกลาง และช่วงเวลาที่ตรวจพบรอยลายนิ้วมือที่มีคุณภาพต่ำที่สุด คือ 48 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.33

1.2 ผลการศึกษาคุณภาพรอยลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตร ด้วยวิธี Perma blue แต่ละช่วงเวลากายหลังจากนำกระสุนปืนขึ้นจากน้ำ พบว่า โดยภาพรวมคุณภาพรอยลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตร ด้วยวิธี Perma blue อยู่ในระดับต่ำที่สุดในทุกช่วงเวลา อย่างไรก็ตาม ในช่วงเวลา 3 ชั่วโมง มีการตรวจพบคุณภาพรอยลายนิ้วมือแฝงดีกว่าช่วงเวลาอื่น ๆ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.00

2. การเปรียบเทียบการคงอยู่ของลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตร กายหลังจากการแช่น้ำ จำแนกตามวิธีการตรวจและช่วงเวลากายการแช่น้ำ

2.1 การเปรียบเทียบการคงอยู่ของลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตร กายหลังจากการแช่น้ำ จำแนกตามวิธีการตรวจ พบว่า วิธีการตรวจรอยลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตร ด้วยวิธี Small Particle Reagent และวิธี Perma blue มีความแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบคุณภาพทั้ง 2 วิธี พบว่า วิธี Small Particle Reagent มีคุณภาพมากกว่าวิธี Perma blue โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.85 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 8.97 ในขณะที่ Perma blue มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.52 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.78

2.2 การเปรียบเทียบการคงอยู่ของลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืนขนาด 9 มิลลิเมตร กายหลังจากการแช่น้ำ จำแนกตามช่วงเวลากายการแช่น้ำ พบว่า ช่วงระยะเวลาการปรากฏขึ้นของลายนิ้วมือแฝง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05 ($F = 0.939$, $\text{Sig.} = 0.523$)

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1.1 ในการถ่ายภาพ ควรพิจารณาถึงการถ่ายภาพอย่างละเอียดให้ได้มุมมอง องค์ประกอบ เทคนิคการเพิ่มความคมชัดของลายนิ้วมือ แผลจากภาพถ่ายที่สามารถทำให้ภาพลายนิ้วมือแฝงเห็นชัดเจนมากขึ้น เพื่อให้ได้คุณภาพของภาพถ่าย ซึ่งจะง่ายต่อการนำไปตรวจพิสูจน์ลายนิ้วมือแฝง

1.2 การประทับลายนิ้วมือบนกระสุนปืน อาจเป็นปัจจัยทำให้ลายนิ้วมือที่ปรากฏมีคุณภาพต่ำ เนื่องด้วยแรงกด และระยะเวลาที่กด ก่อนนำไปทำการทดลอง

1.3 ในการวิจัยครั้งนี้วิธี Small Particle Reagent เป็นวิธีที่ตรวจหาลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืนที่แม่นยำได้ดีที่สุด ภายหลังจากการแช่น้ำไม่เกิน 3 ชั่วโมง สามารถนำไปใช้ในงานตรวจตรวจพิสูจน์ เพื่อหาตัวผู้กระทำความผิดในคดีอาชญากรรมได้

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรทำการศึกษาวิจัยในแหล่งน้ำที่หลากหลาย เนื่องจากแหล่งน้ำแต่ละที่อาจมีปัจจัยทางกายภาพแตกต่างกัน เช่น น้ำคลอง น้ำทะเล เป็นต้น และหาระยะเวลาการตรวจเก็บลายนิ้วมือแฝงที่เหมาะสม เพื่อให้ได้รอยลายนิ้วมือแฝงที่มีคุณภาพดี นำไปใช้ในการตรวจพิสูจน์หลักฐานได้

2.2 ควรทำการทดลอง การตรวจหาความคงอยู่ของลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืนที่จมน้ำด้วยวิธีการอื่นๆ เช่น บัดผงฝุ่นวิธีซูเปอร์กลู เป็นต้น

2.3 ควรทำการศึกษาการคงอยู่ของลายนิ้วมือแฝงบนกระสุนปืน ตามสภาพจริงของแหล่งน้ำที่อาจพบอาวุธปืนจมน้ำอยู่ เช่น ในแม่น้ำ น้ำคลอง น้ำทะเล ที่มีดินตะกอน โคลน กรวด หวาย เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความกรุณาจาก ศาสตราจารย์ พลตำรวจตรีหญิง ดร.พัชรา สินลอยมา ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่ให้ความช่วยเหลือ และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัย รวมทั้ง รองศาสตราจารย์ ดร.สุณีย์ กัลยาจิตร์ และ ร้อยตำรวจเอก ดร.ปริญญา สีสานนท์ ที่ให้คำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไข ทำให้งานวิจัยนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. พิรุณ อนุกุล. 2558. การตรวจหาลายนิ้วมือแฝงบนวัสดุของกลางในคดีเพลิงไหม้ Small Particle Reagent (SPR) วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.
2. วสันต์ พานิช และคณะ. 2556. คู่มือสิทธิมนุษยชนนิติวิทยาศาสตร์ และนิติเวชศาสตร์สำหรับทนายความ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์เดือนตุลาคม
3. ไทยรัฐออนไลน์. 2563. “เหตุกราดยิงโคราชมีเจ็บเพิ่มทั้งเจ้าหน้าที่ – ประชาชน” 9 กุมภาพันธ์. 2563 04:08 น. เข้าถึงได้จาก <https://www.thairath.co.th/news/local/northeast/1767241> เข้าถึงเมื่อ 4 มีนาคม 2563
4. สำนักข่าวไอเอ็นเอ็นออนไลน์. 2562. “หนุ่มชายนาทโหด ควักปืนยิง 2 หญิง – ญาติพามอบตัว” เข้าถึงเมื่อ 4 มีนาคม 2563 เข้าถึงได้จาก https://www.innnews.co.th/crime/news_53815/

5. 77 ข่าวเด็ดออนไลน์. 2563. “รวบแล้วสองโจรมือยิงหัว
คู่กรณีเจ็บสาหัสย่านสำโรงได้ เจ้าตัวอ้างถูกล้อมจึง
ใช้ปืนยิงเปิดทางหนี” เข้าถึงเมื่อ 4 มีนาคม 2563
เข้าถึงได้จาก
<https://www.77kaoded.com/news/diawkongsin/1459783>
6. สกกลกฤษณ์ เอกจักรวาล. 2554. การเปรียบเทียบ
ระยะเวลาที่สามารถตรวจพบ รอยนิ้วมือแฝงบนปลดอก
กระสุนปืนอโตเมติกประเภทของเครื่อง ขนาด 9
และ 11 มิลลิเมตร.วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร
มหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ คณะ
วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.
7. นุชนาฏ จารุรัตน์วิบูลย์. 2562. การตรวจหารอย
ลายนิ้วมือแฝงบนอาวุธมีดที่ จมน้ำโดยใช้ Small
Particle Reagent และ Super Glue วารสาร
วิชาการอาชีวศึกษาและนิติวิทยาศาสตร์ โรงเรียน
นายร้อยตำรวจ, 5(1). 28 – 141
8. มณีรัตน์ นวลกุล และ เกษศิรินทร์ เอกสินธิ์กุล.
2560. การตรวจหารอยลายนิ้วมือแฝงบนวัตถุพื้นผิว
เปียกไม่มีรูพรุนด้วย Small Particle Reagent โดยใช้
นาโนซึ่งค้่ออกไซด์บนวัตถุพื้นผิวไม่มีรูพรุน. *Verdian
E-Journal, Science and Technology Silpakorn
University. 4:51-68*
9. พล.ต.อ.อรรถพล แซ่มสุวรรณวงศ์. 2546. วัตถุ
พยานประเภทลายนิ้วมือ ฝ่ามือ ฝ่าเท้า และการตรวจ
พิสูจน์. นิติวิทยาศาสตร์ 2 เพื่อการสืบสวนสอบสวน.
กรุงเทพฯ: บริษัท ทีซีพี พรินติ้ง จำกัด.
11. ศิริรัตน์ เทียงเถียรธรรม. 2556. การปรากฏขึ้น
ของลายนิ้วมือแฝงบนวัตถุที่จมน้ำ
ธรรมชาติโดยใช้ Small Particle Reagent และ
ผงปูนดำ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ตู้ฟักไข่ต้นทุนต่ำสำหรับชุมชน

Low Cost Egg Incubator for Communities

ยุธนา ศรีอุดม^{1*}, สังคม สัพโส², อนูรัตน์ เทวตา³, ยุธนา มุลกลาง⁴, ซินเนีย รัตภี⁵ และ เอกณัฐ กระจำรังธิมาพร⁶

Yuttana Sriudom^{1*}, Sangkom Supaso², Anurat Tewata³, Yuttana Mulkrang⁴, Zinnia Ratipat⁵ and Eakanat Karjangthimaporn⁶

^{1, 2, 3}สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก จังหวัดตาก 63000

⁴สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก จังหวัดตาก 63000

⁵สาขาวิชาการจัดการ คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก จังหวัดตาก 63000

⁶สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

^{1, 2, 3}Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology LannaTak, Tak province, 63000

⁴Department of Electronic Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology LannaTak, Tak province, 63000

⁵Department of Industrial Management, Faculty of Business Administration and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology LannaTak, Tak province, 63000

⁶Pilot Plant Development and Training Institute Department, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, 10140

*Corresponding author; E-mail: Yuttana.Sriudom@gmail.com

Received: 30 April 2020 /Revised: 10 June 2020 /Accepted: 30 July 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องฟักไข่ต้นทุนต่ำสำหรับนำไปปรับใช้ฟักไข่ไก่ ไข่เป็ด และไข่นกกระทาในชุมชนบ้านหินไค้ ตำบลตากตก อำเภอเมือง จังหวัดตาก โดยตู้ฟักไข่จะต้องมีการควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นให้เหมาะสมกับชนิดของไข่ที่ฟัก ซึ่งในการออกแบบตู้ฟักไข่จะให้ความร้อนด้วยหลอดไฟขนาด 60 วัตต์ จำนวน 2 หลอด ทำการควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นด้วย DHT22 โดยใส่ถาดน้ำเพื่อสร้างความชื้นที่ชั้นล่างสุดของตู้ฟัก และควบคุมความชื้นด้วยพัดลมระบายอากาศด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ตู้ฟักไข่ที่ทำการออกแบบมีขนาด 50x60x75 เซนติเมตร สามารถวางไข่ได้ 3 ชั้น โดยแต่ละชั้นสามารถบรรจุไข่ได้ 50 ฟอง รวม 150 ฟอง ผลจากการทดสอบ ฟักไข่ไก่ จำนวน 30 ฟอง พบว่า สามารถฟักไข่ออกเป็นลูกเจี๊ยบ ได้ 24 ตัว คิดเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ ตู้ฟักไข่สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในตู้ฟัก โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 36-38 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ประมาณ 58-60 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: ตู้ฟักไข่ ชุมชน ต้นทุนต่ำ ไข่ไก่

Abstract

This research aimed to design and construct a low cost incubator to apply for chicken, duck and quail egg incubations in Hinkow village community, Taktok sub district, Muang district, Tak province. Temperature and humidity are important factor for egg hatching, it is necessary to control both of them and humidity in incubator for hatching each type of eggs. Two 60 Watts incandescent lamp bulbs were used as heater in this incubator. Temperature and humidity were controlled by DHT22. A water tray was placed at the bottom of the incubator to increase air humidity. A ventilation fan controlled by micro controller was used to release air for decreasing air humidity. The incubator was designed with the size of 60 cm x 50 cm x 75 cm. It was able to hatch 3 trays of eggs. Each tray contained 50 eggs. So, it was able to hatch total 150 eggs for each time. From the result of testing with 30 eggs, it was able to hatch 24 chicks or 80% of eggs. It was able to control incubator temperature in a range of 36-38 °C and relative humidity in a range of 58-60%.

Keywords: Incubator, Community, Low cost, Chicken egg

บทนำ

อุตสาหกรรมไก่แช่แข็งและแปรรูปของไทยในปี 2561-2563 มีแนวโน้มเติบโตตามความต้องการบริโภคที่เพิ่มขึ้นตามตลาดส่งออกที่คาดว่าจะเติบโตแรงขึ้น อันสืบเนื่องจาก 1) ประเทศคู่ค้าทยอยยกเลิกมาตรการระงับนำเข้าไก่แช่แข็งจากไทยอย่างต่อเนื่อง 2) การขยายตลาดส่งออกใหม่ ๆ เพิ่มขึ้นในภูมิภาคเอเชียและตะวันออกกลาง และ 3) พบการแพร่ระบาดของโรคไข้หวัดนกในหลายประเทศจึงเป็นโอกาสของไทยในการส่งออกไก่แช่แข็งและแปรรูปเพิ่มขึ้น [1] การเลี้ยงไก่เป็นอาชีพที่คนไทยนิยมมากพอสมควรแต่ในการลงทุนเลี้ยงไก่ต้องใช้งบประมาณค่อนข้างสูงสำหรับค่าอุปกรณ์ต่าง ๆ และการดูแลรักษาการเลี้ยงไก่แบบปล่อยให้มีการฟักไข่ตามธรรมชาตินั้นมีความกระทบต่อผลผลิตเป็นอย่างมาก เช่น แม่ไก่ไข่ออกมาแล้วไม่ยอมฟักไข่เอง หรือปัญหาการไข่ไม่พร้อมกัน แย่งกันกก ไข่

ซ้อนรังกัน ไม่มีการจิกไข่ทำให้ไข่ตายหรือเจริญเติบโตได้ไม่สมบูรณ์ เป็นต้น เนื่องจากปัจจัยที่สำคัญคือสภาพแวดล้อมภูมิอากาศและความชื้นไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไข่ ทำให้ผลผลิตที่ได้ออกมาน้อยจึงเป็นผลทำให้ในปัจจุบันมีนักวิจัยหลายท่านทำการคิดค้นการฟักไข่โดยไม่ต้องอาศัยแม่ไก่ [2] โดยอาศัยเทคโนโลยีการฟักไข่โดยใช้ตู้ฟักไข่แทน ยกตัวอย่างเช่น อัสมี ลือมาลีนิ ลิติฟา สมานพิทักษ์ และสุลกีพลี กาชอ [3] ได้ทำการศึกษาและออกแบบตู้ควบคุมอุณหภูมิการฟักไข่ไก่แบบกลับไข่อัตโนมัติ โดยตู้ที่ทำการออกแบบมีขนาด 53 x 63 x 83 เซนติเมตร ความหนา 10 มิลลิเมตร คุมด้วยฉนวน (โฟม) กันความร้อนภายในระหว่างไม้อัดสองแผ่น แล้วทำการติดตั้งเครื่องควบคุมอุณหภูมิและเครื่องกลับไข่อัตโนมัติ ทำการเจาะรูด้านบนซ้าย ขวา และติดตั้งพัดลมเพื่อระบายอากาศ ให้ความร้อนภายในตู้โดยการติดตั้งหลอดไฟ

และให้ความชื้นภายในตู้ โดยการติดตั้งเครื่องทำหมอก
ควัน จากการทดสอบดูควบคุมอุณหภูมิในการฟักไข่
แบบกลับไข่ไก่อัตโนมัติ โดยทำการวัดอุณหภูมิทุกๆ
5 ชั่วโมง พบว่า อุณหภูมิภายในตู้ฟักไข่แบบกลับไข่
อัตโนมัติมีอุณหภูมิที่เหมาะสมเฉลี่ยอยู่ที่ 37.5°C
อุณหภูมิแวดล้อม มีค่าใกล้เคียงกันทุกช่วงเวลาใน
ระหว่าง 30 ถึง 31.7°C และความชื้นสัมพัทธ์มีค่า
ใกล้เคียงกันทุกช่วงเวลาในระหว่าง 50.8 - 53.2%
แสงธิดา แสงดาวเรือง และคณะ [4] ได้ทำการเพิ่ม
ประสิทธิภาพการผลิตไก่พื้นเมือง โดยการใช้ตู้ฟักเทียบ
กับการให้แม่ไก่ฟักไข่ และผลของการเลี้ยงโดยขังไก่ไว้ใน
คอกให้ได้รับอาหารไก่ไข่สำเร็จรูปเปรียบเทียบกับ
การปล่อยให้ไก่หาอาหารเองตามธรรมชาติ เสริมด้วย
รำและปลายข้าว โดยทำการศึกษาในฟาร์มเกษตรกร
จำนวน 14 ราย ซึ่งมี 2 ราย ใช้ตู้ฟักไฟฟ้า ในขณะที่ราย
อื่นปล่อยให้แม่ไก่ฟักไข่เองตามธรรมชาติ จากการ
รวบรวมข้อมูล 1 ปี พบว่าการฟักด้วยตู้ฟักมีลูกไก่เกิด
เฉลี่ย 6.3 ตัว/ชุดหรือเท่ากับมีอัตราการฟักออกเป็นตัว
56.2 เปอร์เซ็นต์ ของไข่ฟักทั้งหมด โดยเป็นไข่ไม่มีเชื้อ
และเชื้อตายรวมกับไข่ตายโคมเท่ากับ 9.9 และ 34.1
เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับการให้แม่ไก่
ฟัก พบว่าในการใช้ตู้ฟักใช้เวลาในแต่ละรอบการผลิต
ลดลง 20 วัน (24 vs. 44 วัน) ด้วยเหตุนี้ใน 1 ปี โดย
เฉลี่ยแม่ไก่แต่ละตัวจะสามารถผลิตลูกไก่ได้เพิ่มขึ้นจาก
8.4 เป็น 15.0 ชุด คิดเป็นจำนวนลูกไก่ที่เพิ่มขึ้นปีละ 31
ตัว/แม่ หรือเท่ากับเพิ่มขึ้น 48 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงควร
ส่งเสริมให้มีการใช้ตู้ฟักอย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น
สำหรับการให้อาหารไก่ไข่มีผลทำให้จำนวนไข่และ
ลูกไก่ที่เกิดต่อชุดมากกว่า (11.5 vs. 10.6 ฟอง/ชุด และ
6.4 vs. 5.7 ตัว/ชุด) รวมทั้งยังใช้เวลาระหว่างรอบการ
ให้ไข่ (ช่วงจับแม่ไก่จุ่มน้ำ ผสมพันธุ์ จนถึงวางไข่รอบ

ใหม่) น้อยกว่าการปล่อยให้หาอาหารเองตามธรรมชาติ
ซึ่งเสริมเฉพาะปลายข้าวและรำอย่างมีนัยสำคัญ (7.2
vs. 8.3 วัน เมื่อนับจากหยุดจุ่มน้ำ หรือ 12.9 vs. 13.7
วันเมื่อนับจากลูกไก่เกิด ตามลำดับ) ผลผลิตลูกไก่ที่ได้
ต่อปีจึงเพิ่มขึ้นจาก 85.5 เป็น 96.0 ตัวต่อแม่ โดยการ
สูญเสียน้ำหนักตัวของแม่ไก่ในระหว่างการให้ไข่และ
น้ำหนักไข่ส่วนใหญ่ของทั้ง 2 กลุ่มไม่แตกต่างกัน
อย่างไรก็ตามพบว่า การเลี้ยงด้วยอาหารไก่ไข่ ทำให้
ต้นทุนการผลิตลูกไก่เฉลี่ยเมื่อคำนวณเฉพาะค่าอาหาร
เพิ่มขึ้นจาก 0.77 เป็น 2.78 บาทต่อตัว แสดงว่าการ
ปล่อยให้ไก่คุ้ยเขี่ยอาหารกินเองแล้วเสริมด้วยอาหาร
พื้นบ้านเป็นวิธีที่ประหยัดต้นทุนการผลิตได้ดีที่สุด
ทวีศักดิ์ เข้มพิลา และพุทธรบวร ลาเอ็น [5] ศึกษาและ
พัฒนาตู้ฟักไข่ในกระถางสำหรับเกษตรกรรายย่อย โดย
ใช้ตู้ฟักไข่ที่มีรูปแบบการกระจายลมที่แตกต่างกัน
พบว่า รูปแบบการกระจายลมที่แตกต่างกัน ภายในตู้
ฟักไข่มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การฟักออกเป็นตัวของไข่ใน
กระถางไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยการฟักไข่ในกระถาง
ภายในตู้ฟักไข่ที่มีกระแสลมหมุนวนภายในตู้ มีการฟัก
ออกเป็นตัวมากที่สุดเท่ากับ 58.5% และการฟักไข่ใน
กระถางภายในตู้ฟักไข่ที่มีกระแสลมเคลื่อนที่ผ่านไข่ใน
แนวระดับผสมอากาศภายนอก 50% มีการฟักออกเป็น
ตัวน้อยที่สุดเท่ากับ 55.2% อุณหภูมิและความชื้น
สัมพัทธ์อากาศภายในตู้ฟักไข่พบว่า การฟักไข่ใน
กระถางในตู้ฟักไข่ที่มีกระแสลมหมุนวนภายในตู้มีการ
เปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์อากาศ
ภายในตู้ฟักไข่น้อยที่สุดตลอดช่วงเวลาอายุการฟัก คือ
อุณหภูมิอยู่ประมาณ 36 - 37°C และความชื้นสัมพัทธ์
อากาศภายในตู้ฟักไข่อยู่ในระดับที่ต้องการคือ
ประมาณ 70% ในช่วง 16 วันแรกของการฟัก ส่วนการ
ฟักไข่ในกระถางในตู้ฟักไข่ที่มีกระแสลมเคลื่อนที่ผ่านไข่

ในแนวระดับผสมอากาศภายนอก 50% มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ อากาศภายในตู้พักไข่มากที่สุดตลอดช่วงเวลาอายุการพัก คือ อุณหภูมิอยู่ประมาณ 35-37 °C และความชื้นสัมพัทธ์ อากาศภายในตู้พักไข่อยู่ประมาณ 59-69% ในช่วง 16 วันแรกของการพักไข่ อำนวย เลี้ยวธารากุล และคณะ [6] ได้ทำการศึกษาถึงอัตราการผสมติดและอัตราการฟักออกจากไข่ไก่ประจําทางดำเชิงใหม่ที่พักโดยใช้ตู้พักไข่ไก่พื้นเมืองกรมปศุสัตว์ ใช้ไข่พักที่ได้จากการผสมเทียมไก่จำนวน 152,023 ฟองแยกเป็นไข่ไก่พันธุ์แท้จำนวน 41,170 ฟอง และลูกผสมจำนวน 110,853 ฟอง ผลการศึกษาพบว่าอัตราการผสมติดและอัตราการฟักออกจากไข่เข้าฟัก ของไก่พันธุ์แท้และลูกผสมไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) แต่อัตราการฟักออกจากไข่มีเชื้อของไก่พันธุ์แท้ต่ำกว่า ($P<0.05$) ไก่ลูกผสม โดยมีค่าเท่ากับ 84.79 ± 0.63 และ 87.62 ± 0.49 % ตามลำดับ การให้ผลผลิตไข่เดือนที่สี่ มีอัตราการผสมติดสูงสุดเท่ากับ 92.31 ± 0.99 % ซึ่งสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) กับเดือนที่เหลือของการให้ไข่โดยจากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นเป็นการทำวิจัยภายในพื้นที่ปฏิบัติการซึ่งยังไม่พบการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์จริง ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำผลการวิจัยที่สืบค้นมาประยุกต์ออกแบบและนำเทคโนโลยีที่ได้ไปขยายผลสู่ชุมชนกลุ่มเป้าหมายที่มีความต้องการใช้เทคโนโลยีตู้พักไข่ โดยเฉพาะชุมชนบ้านหินไค้วซึ่งเป็นชุมชนหนึ่งที่ประกอบอาชีพเลี้ยงสัตว์โดยเฉพาะไก่พื้นบ้าน เป็ด และ นกกระทา โดยการเลี้ยงไก่พื้นบ้าน เป็ด จะใช้การขยายพันธุ์ด้วยวิธีธรรมชาติ ส่วนนกกระทาจะใช้วิธีการซื้อลูกพันธุ์นกกระทาจากภายนอกชุมชนมาเพาะเลี้ยงจนกระทั่งนกกระทาให้ไข่และหมดอายุการให้ไข่ ก็จะทำการซื้อลูกพันธุ์นกกระทามาเพาะเลี้ยงอีกที หากนำตู้

พักไข่มาใช้ทดแทนการขยายพันธุ์ด้วยวิธีธรรมชาติ ก็จะเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาดังกล่าว ข้างต้นได้

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างตู้พักไข่ต้นทุนต่ำ รวมไปถึงการถ่ายทอดเทคโนโลยีการพักไข่ให้กับคนในชุมชนบ้านหินไค้ว ตำบลตากตก อำเภอบ้านตาก ให้มีความรู้ความสามารถในการนำตู้พักไข่มาใช้ขยายพันธุ์ไก่พื้นบ้าน เป็ด และนกกระทาได้ด้วยตนเอง อีกทั้งยังเป็นการสร้างรายได้จากการเพาะเลี้ยงไก่พื้นบ้าน และเป็ด เพื่อจำหน่ายทั้งภายใน และภายนอกชุมชน และยังสามารลดรายจ่ายจากการที่ผู้ประกอบการเลี้ยงนกกระทาจะต้องซื้อพันธุ์นกกระทาจากภายนอกชุมชนได้อีกทางหนึ่ง

วิธีการวิจัย

1. ทฤษฎีการพักไข่ [7] ปัจจัยสำคัญในการพักไข่ ประกอบด้วย

1.1 อุณหภูมิ (Temperature) อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการพักไข่ อุณหภูมิพักที่เหมาะสมแบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ ระยะ 18 วันแรกจะใช้อุณหภูมิประมาณ 37.5-37.8°C และในระยะ 3 วันหลังใช้อุณหภูมิประมาณ 37.2-37.5 °C

1.2 ความชื้น (Humidity) ในระหว่างการเจริญของตัวอ่อนจำเป็นต้องได้รับความชื้นที่เหมาะสมประกอบไปด้วย ในช่วง 19 วันแรกของการพัก ไข่ต้องการความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 60% แต่ในช่วง 3 วันสุดท้ายของการพัก ไข่พักจะต้องการความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 70- 75% เพื่อให้ลูกไก่สามารถเจาะเข้าไปในช่องอากาศได้สะดวกและช่วยให้ขนฟูหลังจากฟักออกแล้ว

1.3 อากาศและการถ่ายเทอากาศในตู้ฟัก (Ventilation) ปริมาณอากาศและอัตราการไหลเวียนของอากาศในตู้ฟักที่เหมาะสมนั้น ในระยะแรกของการฟักการแลกเปลี่ยนก๊าซเกิดขึ้นน้อยแต่การแลกเปลี่ยนจะมากขึ้นเมื่อลูกไก่มีการเจริญมากขึ้น โดยไข่ 100 ฟอง ต้องการออกซิเจนประมาณ 4.5 ลูกบาศก์ฟุต/วัน และปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาประมาณ 2.5 ลูกบาศก์ฟุต/วัน ต้องการการระบายอากาศเพื่อช่วยรักษาความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในอากาศที่บริสุทธิ์มีค่าประมาณ 20% ซึ่งถ้าความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนลดลงเหลือ 17% จะมีผลให้อัตราการฟักออกลดลง ส่วนความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสม คือ 0.4% ถ้าความเข้มข้นเพิ่มขึ้นถึง 2% จะมีผลทำให้ตัวอ่อนตายได้ และถ้าสูงขึ้นจนถึง 5% ตัวอ่อนภายในไข่จะตายหมด

1.4 การวางไข่ในตู้ฟัก (Egg positioning) จะต้องวางเอาด้านป้านขึ้น ซึ่งจะให้ผลดี และจากการทดลองวางไข่ฟักโดยเอาด้านแหลมขึ้น จะทำให้การฟักออกลดลงประมาณ 10%

1.5 การกลับไข่ฟัก (Egg turning) ตู้ฟักที่มีอุปกรณ์สำหรับกลับไข่อัตโนมัติ ควรกลับไข่ทุก ๆ ชั่วโมง การกลับไข่เป็นสิ่งที่จำเป็นมากสำหรับการฟักไข่ในระยะแรก ๆ และจะหยุดกลับไข่ใน 3 วันสุดท้าย การกลับไข่บ่อยครั้งเกินไป ไม่มีผลทำให้การฟักออกสูงขึ้น โดย มุมของการกลับไข่ที่เหมาะสมคือ มุม 45 องศาจากแนวตั้งกลับไปมา การใช้มุมกลับไข่ในระดับอื่นจะมีผลทำให้ผลการฟักออก

อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

ผู้วิจัยได้ออกแบบ และสร้างตู้ฟักไข่ ขนาด 50 x 60 x 75 เซนติเมตร ดังแสดงใน Figure 1 สามารถวางไข่ได้ 3 ชั้น โดยแต่ละชั้นสามารถบรรจุไข่ได้ 50

ฟอง รวม 150 ฟอง โดยมีต้นทุนในการสร้างตู้ฟักไข่ประมาณ 3,852 บาท ดังแสดงใน Table1 มีการควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นให้เหมาะสมกับชนิดของไข่ที่ฟัก ซึ่งในการออกแบบตู้ฟักไข่จะให้ความร้อนด้วยหลอดไฟขนาด 60 วัตต์ จำนวน 2 หลอด ทำการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น DHT22 โดยใส่ถาดน้ำเพื่อสร้างความชื้นที่ชั้นล่างสุดของตู้ฟัก และควบคุมความชื้นด้วยพัดลมระบายอากาศด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยช่วงเวลาในการทดสอบฟักไข่ จำนวน 21 วันหลังจากทำการทดสอบเครื่องฟักไข่จนกระทั่งเชื่อมั่นได้ว่าเครื่องฟักไข่มีประสิทธิภาพที่ดี จึงทำการส่งเสริมและสนับสนุนให้คนในชุมชนบ้านหินไค้ว ได้นำไปใช้ในการฟักไข่ต่อไป โดยอุปกรณ์ในการทดสอบประกอบไปด้วย วัสดุและต้นทุนสำหรับทำตู้ฟักไข่ ดังแสดงใน Table 1

Table1. Materials and cost of incubator

Materials	Cost (บาท)
1. A plate of 15 mm thickness plywood (size)	650
2. Two 60 Watts incandescent lamp	60
3. Temperature and humidity control unit	1,900
4. Tree chicken egg trays of 30 eggs	27
5. Plastic tray	30
6. Birth tray	15
7. Insulation	125
8. A plate of 8 mm thickness acrylic sheet	120
9. A bar of aluminum angle (6 m length)	250
10. Screws and nuts	175
11. Electric wires and electric cable device	150
12. Wages	350
Total	3,852

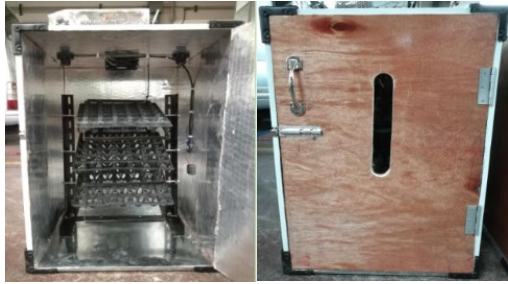


Figure1. An Electric Incubator was designed and construction for hatching chicken eggs.

อุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลประกอบไปด้วย

1. สายเทอร์โมคัปเปิล ยี่ห้อ OMEGA ชนิด K สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิ โดยมีความแม่นยำ $\pm 1^\circ\text{C}$
2. เครื่องบันทึกอุณหภูมิ ยี่ห้อ Lutron TM-1947SD4 ช่องสัญญาณ ความแม่นยำ 0.1°C
3. เครื่องวัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบเต้าเสียบยี่ห้อ Ziglint ช่วงแรงดันไฟฟ้ากว้าง: 230V - 250V
4. เครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้น ยี่ห้อ UNI-T (UT330C IP67) ช่วงการวัดอุณหภูมิ -40°C - 80°C และ ช่วงการวัดความชื้น 0 - 100% RH

ไดอะแกรมอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดและเก็บข้อมูลการทดสอบตู้ฟักไข่ ดังแสดงใน Figure 2

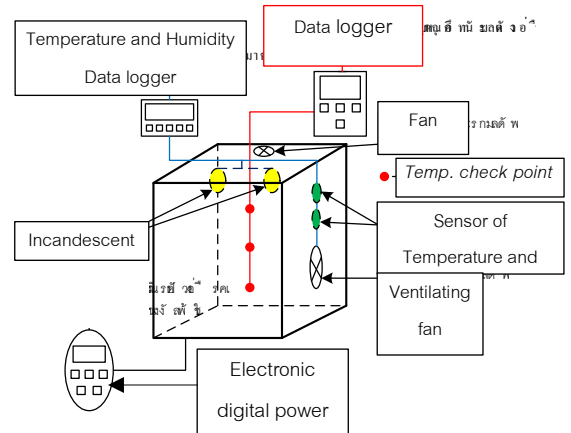


Figure 2. Diagram for egg incubator

ขั้นตอนการทดสอบ

ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและจัดทำตู้ฟักไข่ต้นแบบ เพื่อทำการทดสอบฟักไข่สายพันธุ์ไก่เล็กฮอร์น โดยทดสอบฟักไข่ จำนวน 21 วัน ทำการทดสอบที่สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาตาก โดยขั้นตอนในการทดสอบ ประกอบไปด้วย

1. จัดบันทึกจำนวนไข่เข้าฟักทั้งหมด จำนวนไข่มีเชื้อ เพอร์เซ็นต์การฟักไข่ เพอร์เซ็นต์เชื้อตาย เพอร์เซ็นต์การตายโคม และจำนวนลูกไก่แรกเกิด
2. รูปแบบการจัดวางไข่ผู้วิจัยได้จัดวางไข่ในถาดไข่ ขนาด 30 ฟอง โดยวางไข่ในถาด ๆ ละ 10 ฟอง จำนวน 3 ชั้น ดังแสดงใน Figure 3

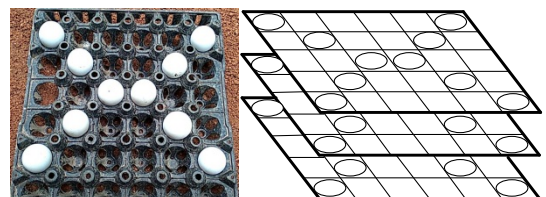


Figure 3. Pattern of egg position in hatching tray

3. ติดตั้งอุปกรณ์และบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น โดยบันทึกทุก ๆ 10 วินาที และทำการบันทึกปริมาณการใช้ไฟฟ้าตลอดช่วงเวลาของการฟักไข่

4. ทำการปรับอุณหภูมิ และความชื้น ตามช่วงเวลาของการฟักไข่ ได้แก่ ระยะที่ 1 ช่วงระหว่างวันที่ 1-18 ของการฟัก อุณหภูมิในตู้ฟัก และความชื้นสัมพัทธ์ อยู่ระหว่าง $37.5-38.0^{\circ}\text{C}$ และ 60-65% ตามลำดับระยะที่ 2 ช่วงระหว่างวันที่ 19-21 ของการฟัก ในระยะนี้ อุณหภูมิจะลดต่ำลงเล็กน้อย อุณหภูมิในตู้ฟัก และความชื้นสัมพัทธ์ อยู่ระหว่าง $36-37^{\circ}\text{C}$ และ 70-75% ตามลำดับ และทำการกลับไข่ด้วยตัวเองทุก ๆ 3 ชั่วโมง

5. การส่องไข่เพื่อดูการพัฒนาของตัวอ่อนจะมีการส่องไข่ที่อายุการฟัก 7, 14 และ 18 วัน โดยมีรายละเอียดดังนี้

- การส่องไข่ที่อายุการฟัก 7 วัน เพื่อตรวจสอบไข่มีชีวิต
- การส่องไข่ที่อายุการฟัก 14 วัน เพื่อตรวจสอบไข่มีชีวิต
- การส่องไข่ที่อายุการฟัก 18 วัน เพื่อตรวจสอบไข่ตาย

6. หลังจากทำการทดสอบฟักไข่ และวิเคราะห์ผลแล้วเสร็จ จะทำการนำตู้ฟักไข่ไปส่งเสริมผ่านกระบวนการอบรมเชิงปฏิบัติการการใช้งานตู้ฟักไข่ให้กับคนในชุมชนบ้านหินไค้ ได้ทดลองฟักไข่ในพื้นที่ชุมชนต่อไปและหลังจากฝึกอบรมจะทำการประเมินผลโดยใช้มาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) 5 ระดับดังนี้

- 5 หมายถึง ระดับความพึงพอใจมากที่สุด
- 4 หมายถึง ระดับความพึงพอใจมาก
- 3 หมายถึง ระดับความพึงพอใจปานกลาง

2 หมายถึง ระดับความพึงพอใจน้อย

1 หมายถึง ระดับความพึงพอใจน้อยที่สุด

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการออกแบบและจัดทำตู้ฟักไข่ต้นทุนต่ำ และทำการทดลองฟักไข่สายพันธุ์ไก่เล็กฮอร์น จำนวน 30 ฟอง โดยทดสอบ 21 วัน และมีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมทั้งสิ้น 16.8 kWh ซึ่งผลจากการทดสอบ ประกอบไปด้วย

1. ผลของอุณหภูมิภายในและภายนอกตู้ฟักไข่

จากการทดสอบบันทึกข้อมูลอุณหภูมิภายในและภายนอกตู้ฟักไข่ โดยทำการบันทึกข้อมูลตั้งแต่ 8.00 น. ถึง 18.00 น. เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลสำหรับวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในและภายนอกตู้ฟักไข่ ดังแสดงใน Figure 7

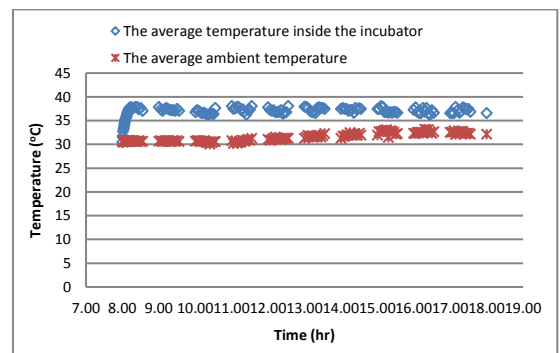


Figure 7. The relationship between the average temperatures and hatching time

จาก Figure 7 พบว่า เมื่อเริ่มเปิดระบบทำงาน ในเวลา 8.00 น. ตู้ฟักไข่จะมีอุณหภูมิเริ่มต้นภายใน เท่ากับ 30.7°C และจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเมื่อ

เวลาเปลี่ยนไปเนื่องจากการสะสมความร้อนจากหลอดไฟภายในตู้ฟักไข่ จนกระทั่งอุณหภูมิภายในตู้ฟักไข่เพิ่มขึ้นถึง 37.8°C โดยใช้เวลาประมาณ 20-22 นาที หลังจากนั้นอุณหภูมิภายในตู้ฟักไข่จะถูกควบคุมให้มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง $36.7-37.8^{\circ}\text{C}$ โดยอุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้ฟักไข่ ตั้งแต่เริ่มเปิดระบบจนกระทั่งถึงเวลา 18.00 น. มีค่าเท่ากับ 36.9°C ซึ่งผลจากการทดสอบ เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ สมใจ อารยวัฒน์ และคณะ [8] ที่ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องฟักไข่ไก่อัตโนมัติ โดยงานวิจัยดังกล่าว ใช้เวลาตั้งแต่เริ่มเปิดระบบจนกระทั่งได้อุณหภูมิที่ต้องการ คือ 37.5°C ใช้เวลา 28 นาที ซึ่งใช้เวลานานกว่าเนื่องจากอุณหภูมิเริ่มต้นในการทดสอบมีค่าต่ำกว่า แต่เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้ฟักไข่จะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ วิสิทธิ์ ลุ่มชะเนาว์ และ ณัฐวุฒิ พจนปริญญญา [9] พัฒนาเครื่องฟักไข่สำหรับการตรวจหาตัวอ่อนในไข่ไก่ พบว่า เวลาที่ใช้ตั้งแต่เปิดระบบจนกระทั่งได้อุณหภูมิที่ต้องการ คือ 37.8°C ใช้เวลาโดย เฉลี่ย 13 นาที ซึ่งจะใช้เวลาเร็วกว่า เนื่องจากงานวิจัยนี้ให้ความร้อนด้วยการใช้ขดลวดความร้อนทำให้เวลาที่ใช้น้อยกว่า ซึ่งอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเริ่มต้นที่เวลา 8.00 น. จะมีค่าเท่ากับ 30.7°C และจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเวลาเปลี่ยนไป โดยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยตั้งแต่เวลา 8.00 น. ถึงเวลา 18.00 น. มีค่าเท่ากับ 31.4°C ซึ่งจากการทดสอบตู้ฟักไข่โดยใช้อุปกรณ์ในการควบคุมอุณหภูมิ (DHT22) ภายในตู้ฟักไข่ เครื่องควบคุมสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตามความเหมาะสมกับการฟักไข่ได้เป็นอย่างดี

2. ผลของความชื้นภายในตู้ฟักไข่ ดังแสดงใน

Figure 8

จากการทดสอบบันทึกข้อมูลภายในตู้ฟักไข่ โดยทำการบันทึกข้อมูลตั้งแต่ 8.00-18.00 น. เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลสำหรับวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความชื้นภายในตู้ฟักไข่ ดังแสดงใน Figure 8

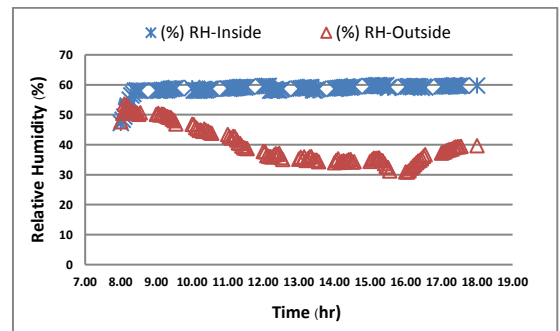


Figure 8. The relationship between relative humidities (inside and outside the incubator) and hatching time

จาก Figure 8 พบว่า เมื่อเริ่มเปิดระบบทำงานในเวลา 8.00 น. ตู้ฟักไข่จะความชื้นสัมพัทธ์เริ่มต้นภายใน และภายนอกตู้ฟัก เท่ากับ 47.3 % และ 47.7% ตามลำดับ โดยความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้ฟักจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเวลาเปลี่ยนไปเนื่องจากได้รับความร้อนขึ้นจากถาดน้ำที่อยู่ภายในตู้ฟัก ซึ่งความชื้นภายในตู้ฟักจะเพิ่มขึ้นจาก 47.3% จนกระทั่งความชื้นสัมพัทธ์ เป็น 60% ใช้เวลาประมาณ 25-30 นาที หลังจากนั้นความชื้นภายในตู้ฟักไข่จะถูกควบคุมด้วยชุดควบคุมความชื้น (DHT22) ให้มีค่าอยู่ระหว่าง 58-60 % ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย ตั้งแต่เวลา 8.00 น. ถึงเวลา 18.00 น. มีค่าเท่ากับ 58.3% ซึ่งผลจากการทดสอบการควบคุมความชื้นภายในตู้ฟักไข่ จะมีค่าใกล้เคียงกับ

งานวิจัยของ สมใจ อารยวัฒน์ และคณะ [8] ที่ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องฟักไข่ไก่อัตโนมัติ โดยงานวิจัยดังกล่าวมีความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้ฟักโดยเฉลี่ย เท่ากับ 60.68% และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ วิสิทธิ์ ลุ่มชะเนาว์ และ ณัฐวุฒิ พจน์ปริญญา [9] พัฒนาเครื่องฟักไข่สำหรับการตรวจหาตัวอ่อนในไข่ไก่พบว่า ระบบสามารถสามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 65 - 69% โดยงานวิจัยทั้ง 2 เรื่องจะมีความชื้นสัมพัทธ์ใกล้เคียงกันกับงานของผู้วิจัย ในส่วนของความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกตู้ฟัก จะมีค่าแปรผันไปตามเวลาขึ้นอยู่กับปริมาณไอน้ำที่สะสมอยู่ในอากาศ โดยความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกตู้ฟักไข่ โดยเฉลี่ยตั้งแต่ 8.00 -18.00 น. จะมีความชื้นสัมพัทธ์ เท่ากับ 40.4% ซึ่งจากการทดสอบตู้ฟักไข่โดยใช้อุปกรณ์ในการควบคุมความชื้นภายในตู้ฟักไข่ เครื่องควบคุมความชื้นสามารถควบคุมความชื้นได้ตามความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อไข่ได้เป็นอย่างดี

3. ผลของจำนวนไข่เข้าฟัก จำนวนไข่มีเชื้อเปอร์เซ็นต์การฟักไข่ เปอร์เซ็นต์เชื้อตาย เปอร์เซ็นต์การตายโคม และจำนวนลูกไก่แรกเกิดดังแสดงในTable 2และ Figure 9

Table 2. Incubation test results by using the incubator

Amount of eggs hatched	Amount of fertile eggs	Amount of dead germ eggs	Amount of dead embryo eggs	Amount of hatched eggs from eggs
30	28	3	1	24
100%	93%	10%	3.3%	80%

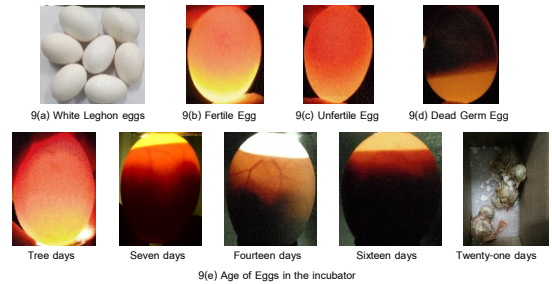


Figure 9(a)-9(e). Example of eggs used for hatching in an incubator

4. ผลการอบรมเชิงปฏิบัติการถ่ายทอดเทคโนโลยีตู้ฟักไข่ให้กับคนในชุมชนบ้านหินไค้ว และผลการประเมินความพึงพอใจต่อการดำเนินการจัดกิจกรรม โดยมีผู้เข้ารับการฝึกอบรมจำนวน 15 คน ดังแสดงใน Figure10 และ Table 3



Figure10. Training workshop on using incubator for communities

ผลการประเมินความพึงพอใจต่อการดำเนินการกิจกรรมการอบรมเชิงปฏิบัติการการใช้ตู้ฟักไข่ โดยผลการประเมิน พบว่า คะแนนการประเมินความพึงพอใจด้านความรู้ความเข้าใจ ได้คะแนนสูงสุด คือ 4.46 รองลงมา คือ ด้านสถานที่/ ระยะเวลา/ อาหาร ได้คะแนน 4.33 ส่วนการประเมินด้านการนำความรู้ไปใช้ มีคะแนนต่ำสุด คือ 4.16

สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาแนวทางการออกแบบและสร้างเครื่องฟักไข่ต้นทุนต่ำสำหรับฟักไข่ไก่ ไข่เป็ด และ

ไข่นกกระทาในชุมชนบ้านหินไคว่ ตำบลตากตก อำเภอเมือง จังหวัดตาก โดยตู้ฟักไข่จะต้องมีการควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นให้เหมาะสมกับชนิดของไข่ที่ฟัก ซึ่งในการออกแบบตู้ฟักไข่จะให้ความร้อนด้วยหลอดไฟขนาด 60 วัตต์ จำนวน 2 หลอด ทำการควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นด้วย DHT22 โดยใส่ถาดน้ำเพื่อสร้างความชื้นที่ชั้นล่างสุดของตู้ฟัก และควบคุมความชื้นด้วยพัดลมระบายอากาศด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ตู้ฟักไข่ที่ทำการออกแบบมีขนาด 50 x 60 x 75 เซนติเมตร สามารถวางถาดไข่ได้ 3 ชั้น โดยแต่ละชั้นสามารถบรรจุไข่ได้ 50 ฟอง รวม 150 ฟอง ซึ่งมีต้นทุนในการผลิตตู้ฟักไข่ เท่ากับ 3,852 บาท ผลจากการทดสอบ ฟักไข่ไก่ จำนวน 30 ฟอง เป็นเวลาทั้งสิ้น 21 วัน พบว่า สามารถฟักไข่ออกเป็นลูกเจี๊ยบ ได้ 24 ตัว คิดเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ ตู้ฟักไข่สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในตู้ฟัก โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 36 – 38 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ประมาณ 58 – 60 เปอร์เซ็นต์ และมีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมทั้งสิ้น 16.8 kWh หลังจากการทดลองฟักไข่จนได้ผลการทดลองที่ดีแล้ว จึงทำการขยายผลการดำเนินงานสู่กลุ่มชุมชนเป้าหมายอันได้แก่ กลุ่มชุมชนบ้านหินไคว่ โดยฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการการใช้ตู้ฟักไข่ ซึ่งมีผู้เข้ารับการอบรม จำนวน 15 คน ซึ่งผลการประเมินความพึงพอใจในการฝึกอบรม พบว่า คะแนนการประเมินความพึงพอใจด้านความรู้ความเข้าใจ ได้คะแนนสูงสุด คือ 4.46 ส่วนการประเมินด้านการนำความรู้ไปใช้ มีคะแนนต่ำสุด คือ 4.16

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน (สทช.) ที่ให้งบประมาณสนับสนุนการทำวิจัยใน

ครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาวิทยาลัทยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่เอื้อเพื่ออุปกรณ์และสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. เชษฐชูดา เชื้อสุวรรณ. 2557. อุตุสหากรรมไก่แม่แห้งและแปรรูป [Online]. เข้าถึงได้จาก: https://www.krungsri.com/bank/getmedia/aec17abe-4a8d-4e4f-8d38-815bd58cf1c6/IO_Chicken_180621_TH_EX.aspx. สืบค้นเมื่อวันที่ 1 ตุลาคม 2561.
2. วรวิทย์ วณิชชาภิชาติ. 2537. ไข่และการฟักไข่. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์วังเขียว.
3. อัสม๊ะ ลือมาลีโอนิ ลติฟา สมานพิทักษ์ และ ชุลกิพลี กาชอ. 2560. การศึกษาและออกแบบตู้ควบคุมอุณหภูมิในการฟักไข่ไก่แบบกลับไข่อัตโนมัติ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มจร. 2(1): 39-49.
4. แสงธิดา แสงดาวเรือง และคณะ. 2548. การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไก่พื้นเมือง การใช้ตู้ฟักไข่รวมทั้งการให้และไม่ให้อาหารไก่ไข่, การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43. 314-322.
5. ทวีศักดิ์ เข้มพิลา และพุทธรบวร ลาอั่น. 2547. การศึกษาและพัฒนาตู้ฟักไข่นกกระทาสำหรับเกษตรกรรายย่อย. วิทยานิพนธ์ หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.

6. อำนวย เลี้ยวธารากุล และคณะ. 2556. สมรรถภาพการฟักไข่ไก่ประดู่หางดำเชียงใหม่ โดยใช้ตู้ฟักไข่ไก่พื้นเมืองกรมปศุสัตว์. แก่นเกษตร 41 ฉบับพิเศษ 1: 420-423.
7. ประภากร ธาราฉาย. 2560. วิชาการผลิตสัตว์ปีก. เอกสารประกอบการเรียนการสอน. เข้าถึงได้จาก : http://www.as.mju.ac.th/E-Book/t_prapakorn.aspx. สืบค้นเมื่อ 10 ตุลาคม 2561.
8. สมใจ อารยวัฒน์ ชิตติพนธ์ ขุนใหญ่ และ ประภัสสร ทนาศร. 2560. เครื่องฟักไข่ไก่อัตโนมัติ, การประชุมวิชาการครูศาสตร์ อุดสาหกรรมระดับชาติ ครั้งที่ 10. 329-333.
9. เอกชัย สิงห์เดช ธวัช สุริวงษ์ สมชาย เจียจิตต์ สวัสดิ์ และ ประพิธาร์ ธนารักษ์. 2557. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทางานของตู้ฟักไข่แบบขดลวดความร้อนและแบบเทอร์โมอิเล็กทริก, วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ฉบับพิเศษ การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์วิจัย ครั้งที่ 6. 271- 276.

คุณสมบัติการกำบังรังสีแกมมา ของอิฐมวลเบาที่ผสมเถ้าแกลบบดละเอียด

Gamma Ray Shielding Properties of Lightweight Aggregates Concrete that Mixtures with Ground Rice Husk Ash (LACRA)

กิตติศักดิ์ ศรีวงศ์ษา^{1,2,*} กานต์พิชชา สมวิริยะพิบูลย์² ธนบูรณ์ ริมดุสิต² ธีรดา ธีรภาพสกุลวงษ์³ นิติพัฒน์ ธงศ์วรรณ²

มาริสสา ทองแก้ว² ไพโรจน์ ผาสวรรณี² สุนันทศักดิ์ ระวีวงศ์และจุมพล ขอบข้า⁴

Kittisak Sriwongsa^{1,2,*} Kanpitcha Somwiriaphibul² Thanaboon Rimdusit² Teerada Teerapapsakunwong²

Nitipat Thongtuswattana² Marissa Thongkaew² Pairaj Pasuwan² Sunantasak Ravangvong³ and Chumphon Khobkham⁴

¹ ผู้รับผิดชอบหลักสูตรฟิสิกส์ศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม 73000

² โรงเรียนสาธิต คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม 73000

³ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี เพชรบุรี 76000

⁴ สำนักวิชาศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10460

¹ Lecturers responsible for Bachelor of Education Program in Physics, Faculty of Education, Silpakorn University, Nakhon Pathom, 73000, Thailand

² The demonstration school of Silpakorn University, Nakhon Pathom, 73000, Thailand

³ Division of Science and Technology, Faculty of Science and Technilogy, Phetchaburi Rajabhat University, Phetchaburi, 76000, Thailand

⁴ General Education Affair Thonburi University, 10160, Thailand

*Corresponding author; E-mail: Sriwongsa_k@silpakorn.edu

Received: 05 May 2020 /Revised: 01 July 2020 /Accepted: 30 July 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติการกำบังรังสีแกมมา ของอิฐมวลเบาที่ผสมเถ้าแกลบบดละเอียด (Lightweight aggregates concrete blended with ground rice husk ash (LACRA)) 4 ตัวอย่าง ในช่วงพลังงานตั้งแต่ 224.92 keV ถึง 662.00 keV วิเคราะห์ตัวอย่าง โดยใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF) และหาคุณสมบัติการกำบังรังสีแกมมา โดยใช้โปรแกรม WinXCOM ผลการวิจัยพบว่า อิฐมวลเบาตัวอย่างที่ 1 (อิฐมวลเบาที่ไม่ผสมเถ้าแกลบบดละเอียด) มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล ค่าเส้นทางอิสระเฉลี่ย ค่าความหนาครึ่งค่า และเลขอะตอมยังผล ต่ำกว่าตัวอย่างอิฐมวลเบาที่ผสมเถ้าแกลบบดละเอียดในอัตราส่วนต่างๆ อย่างไรก็ตาม อิฐมวลเบาที่ผสมเถ้าแกลบบดละเอียดมีแนวโน้มของความหนาแน่นลดลงตามอัตราส่วนผสมของเถ้าแกลบบดละเอียด ซึ่งส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการกำบังรังสีลดลง แต่อย่างไรก็ตามจากการวิจัยครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าในช่วงพลังงาน 224.92 keV ถึง 662.00 keV อิฐมวลเบาที่ผสมเถ้าแกลบบดละเอียดสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานเพื่อทำเป็นผนังกำบังรังสีได้ แต่ต้องพิจารณาความหนาจากค่าความหนาครึ่งค่าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำบังรังสี

คำสำคัญ : อิฐมวลเบา สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล ค่าความหนาครึ่งค่า ค่าเส้นทางอิสระเฉลี่ย

Abstract

This research aims to study the attribute of shielding gamma-ray of lightweight aggregates concrete blended with ground rice husk ash (LACRA) for 4 examples in the energy range 224.92 keV to 662.00 keV. Analyzed by X-ray fluorescent technology (XRF) and WinXCOM program. The result showed that the LACRA1 (Lightweight concrete without ground rice husk ash 1) has better the mass attenuation coefficient (μ_m), mean free path (MFP), half-value layer (HVL), effective electron number (Z_{eff}), effective electron density (N_{el}) than the others. However, they tended to decrease the density according to the ratio of ground rice husk ash which resulting in the effectiveness of shielding radiation decreasing. This research indicates the that energy range 224.92 keV to 662 keV, the LACRA can apply to make as shielding radiation wall However, it is need to consider the thickness form half-value layer (HVL) to improve the shielding radiation effective.

Keywords: Rice husk ash, Mass attenuation coefficient, Half-value layer, Mean free path

บทนำ

รังสีแกมมา เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าพลังงานสูง ไม่มีมวลและประจุ จึงทำให้มีอำนาจทะลุทะลวงสูง ด้วยคุณสมบัตินี้ ทางแพทย์จึงนำรังสีแกมมาใช้ในการรักษาและวินิจฉัยโรค [1] เช่น ทำลายเซลล์มะเร็ง และศึกษาการทำงานของต่อมไทรอยด์ เป็นต้น ในทางอุตสาหกรรมเกษตร ใช้รังสีแกมมาอาบผลผลิตทางการเกษตร ให้ปราศจากแมลง และเก็บไว้ได้นาน อย่างไรก็ตาม รังสีแกมมามีโทษส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกับดีเอ็นเอ ทำให้เกิดหน่วยพันธุกรรมที่เปลี่ยนแปลงไป ด้วยเหตุนี้การทำงานในห้องปฏิบัติการที่มีรังสีแกมมา จึงจำเป็นต้องมีชุดสวมใส่ และมีวัสดุที่ใช้กำบังรังสี วัสดุที่ใช้ในการกำบังรังสีประเภทนี้ คือ แผ่นตะกั่วหนา หรือกำแพงคอนกรีต เป็นต้น

จากหลักการทั่วไปในการส่งผ่านรังสีแกมมาผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุใดๆ จะทำให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างรังสีแกมมากับวัสดุ อันตรกิริยาที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับพลังงาน โดยอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นนั้น ได้แก่ การกระเจิงแบบโคฮีเลนต์ การกระเจิงแบบอินโคฮีเลนต์ การดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริก และปฏิกิริยานิวเคลียดส์ัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล สัมพันธ์กับโอกาสที่จะเกิดอันตรกิริยาในรูปแบบต่างๆ ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพในการกำบังรังสี นอกจากนี้ยังมีตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องของคุณสมบัติในการกำบังรังสี ได้แก่ เลขอะตอมยังผล ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนยังผล ค่าความหนาครึ่งค่า และค่าเส้นทางอิสระเฉลี่ย งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติตัวแปรต่างๆ ดังอ้างอิง [2-9]

อิฐมวลเบา เป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้ในการก่อสร้างเป็นผนังของห้อง เนื่องจากมีน้ำหนักเบา เป็น

จนวน และกันความร้อนได้ดี ส่วนประกอบหลักของอิฐมวลเบา ได้แก่ ทราย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนขาว น้ำ ยิปซัม และผงอลูมิเนียม [10-12] เป็นต้น

แกลบ (Rice husk) คือ สิ่งที่เหลือทิ้งที่ได้จากกระบวนการสีข้าวเปลือกซึ่งทำให้เกิดเศษของเปลือกข้าวออกมา แกลบประกอบด้วยสารอินทรีย์ และซิลิกา ปริมาณสารอินทรีย์จะประกอบด้วยธาตุคาร์บอนประมาณ 51% ออกซิเจน 42% ส่วนที่เหลือจะเป็นไฮโดรเจน และไนโตรเจน ส่วนซิลิกาจะพบมากบริเวณผิวนอกของแกลบจึงทำให้แกลบมีความแข็งแรงสูง การนำแกลบมาผสมคอนกรีตทรายงานไว้ในอ้างอิง [13-14]

องค์ประกอบของธาตุที่ได้จากแกลบที่สามารถกำบังรังสีได้ คือ Si, K, Na, Ca, Fe, P และ S ซึ่งต่างก็เป็นธาตุที่มีเลขอะตอมสูง [15] ส่งผลให้มีโอกาสในการเกิดอันตรกิริยาสูงตามไปด้วย ทำให้สามารถกำบังรังสีได้ดี ดังนั้นคณะผู้จัดทำวิจัย จึงมีความสนใจที่จะนำอิฐมวลเบามาผสมกับแกลบบดละเอียด ในอัตราส่วนต่างๆ แล้วหาคุณสมบัติในการกำบังรังสี โดยทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของธาตุ ค่าความเค้น และคุณสมบัติในการกำบังรังสี

วัตถุประสงค์ในการศึกษา

เพื่อศึกษาคุณสมบัติการกำบังรังสีแกมมา ของอิฐมวลเบาที่ผสมแกลบ 4 ตัวอย่าง ในช่วงพลังงานตั้งแต่ 224.92 keV ถึง 662 keV

วิธีการศึกษา

1. วิธีการสร้างอิฐมวลเบา

ในการสร้างอิฐมวลเบาผสมแกลบบดละเอียด ได้ออกแบบ 4 ตัวอย่าง โดยแต่ละตัวอย่าง มีอัตราส่วนผสม ดังตารางต่อไปนี้

Table 1. Showed ratio of ingredients of LACRA

Material	LACRA	LACRA	LACRA	LACRA
	1	2	3	4
	Content	Content	Content	Content
	(%)	(%)	(%)	(%)
Portland-cement	30	25	20	15
Rice husk ash	0	5	10	15
Sand	50	50	50	50
Ca (OH) ₂	9	9	9	9
Gypsum	9	9	9	9
Ca (ClO) ₂	2	2	2	2

Figure 1 แสดงตัวอย่างอิฐมวลเบาผสมแกลบบดละเอียด ทั้ง 4 ตัวอย่าง



Figure 1 Show examples of mixture of LACRA

2. วิธีหาค่าความหนาแน่น

หาความหนาแน่นโดยพิจารณาจากความหนาแน่นสัมพัทธ์เมื่อเทียบกับน้ำ ดังสมการ

$$\rho_{Ex} = \frac{W_{air}}{W_{air} - W_{water}} \times \rho_{water} \quad (1)$$

ρ_{Ex} หมายถึง ความหนาแน่นของตัวอย่างอิฐมวลเบาผสมเถ้าแกลบบดละเอียด (g/cm^3)
 ρ_{water} หมายถึง ความหนาแน่นของน้ำ (g/cm^3)
 W_{air} หมายถึง น้ำหนักของอิฐมวลเบาผสมเถ้าแกลบบดละเอียดที่ชั่งในอากาศ (g) และ W_{water} หมายถึง น้ำหนักของอิฐมวลเบาผสมเถ้าแกลบบดละเอียดที่ชั่งในน้ำ โดยใช้อุปกรณ์ดัง Figure 2



Figure 2 Show density scales

3. วิธีการหองค์ประกอบทางเคมีของอิฐมวลเบาผสมแกลบบดละเอียดในสัดส่วนร้อยละ น้ำหนักขององค์ประกอบ

นำตัวอย่างอิฐมวลเบาที่ผสมเถ้าแกลบบดละเอียดทั้ง 4 ตัวอย่างมาบดให้ละเอียด แล้วนำมั่งที่

ได้จากทั้ง 4 ตัวอย่างไปวิเคราะห์ โดยใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ ดัง Figure 3



Figure 3 Show X-ray fluorescence (XRF)

4. วิธีการวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่อคุณสมบัติการกำบังรังสีแกมมา ของอิฐมวลเบาที่ผสมเถ้าแกลบบดละเอียด

นำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ในข้อที่ 3 มาวิเคราะห์หาตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่อคุณสมบัติการกำบังรังสีแกมมา ของอิฐมวลเบาที่ผสมเถ้าแกลบบดละเอียด ซึ่งได้แก่ สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล เลขอะตอมยังผล ความหนาแน่นของอิฐมวลเบายังผล ค่าความหนาแน่นจริงค่า และค่าเส้นทางอิสระเฉลี่ยคำนวณโดยใช้โปรแกรม WinXCOM

5. วิธีการวิเคราะห์หาค่าความเค้น ของอิฐมวลเบาที่ผสมเถ้าแกลบบดละเอียด

หาค่าความเค้นโดยนำของอิฐมวลเบาที่ผสมเถ้าแกลบบดละเอียด 4 ตัวอย่าง ขนาด $5 \times 5 \times 5$ นิ้ว ไปวัดหาค่าความเค้น โดยใช้เครื่องทดสอบยูนิเวอร์แซล หรือ เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal testing machine) ดัง Figure 4



Figure 4 Universal testing machine

ผลการศึกษา

ความหนาแน่นของอิฐมวลเบาที่ผสมเถ้าแกลบ
บดละเอียด 4 ตัวอย่าง แสดงใน Table 2

Table 2. The density of LACRA.

Material	Density (g/cm ³)
LACRA1	1.4465
LACRA2	1.3616
LACRA3	1.2284
LACRA4	1.2080

จาก Table 2 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตรา
ส่วนผสมที่เป็นเถ้าแกลบบดละเอียดกับอิฐมวลเบา
ส่งผลทำให้อิฐมวลเบาผสมเถ้าแกลบบดละเอียดมี
ความหนาแน่นลดลง ผลการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่า
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีอิทธิพลต่อความหนาแน่นของ
4 ตัวอย่าง ผลที่ได้สะท้อนให้เห็นว่า LACRA1 มี
น้ำหนักมากกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างไรก็ตามตัวอย่างที่ 3
และ 4 แสดงค่าความหนาแน่นที่ใกล้เคียงกันมาก

Table 3. The chemical compositions of LACRA in
wt.% fraction of elements

Wt. (%)	LACRA1	LACRA2	LACRA3	LACRA4
Si	22.389	24.496	26.403	32.768
Cl	4.427	3.770	4.545	5.049
Ca	33.345	35.063	36.137	39.988
Fe	36.034	34.120	29.949	19.499
Cu	1.919	1.779	1.604	1.641
Zn	1.886	0.773	1.362	1.060

จาก Table 3 แสดงให้เห็นว่า Wt. (%) ของธาตุ
ซิลิกอน (Si) เพิ่มขึ้น เนื่องจากมีอัตราส่วนผสมของเถ้า
แกลบบดละเอียดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามอัตราส่วนผสม
ของเถ้าแกลบบดละเอียดที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ Wt. (%)
ของธาตุเหล็ก (Fe) ลดลง ในกรณีธาตุอื่นๆ LACRA ทุก
ตัวอย่าง มีค่า Wt. (%) ที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งวัสดุที่สามารถ
กำบังรังสีได้ดีต้องมีเลขอะตอม และความหนาแน่นสูง
จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบของธาตุ
หลักของอิฐมวลเบาทั้ง 4 ก้อน คือ Si, Ca และ Fe ซึ่งมี
เลขอะตอมที่สูง และมีองค์ประกอบของธาตุที่
เหมาะสมในการกำบังรังสี [15]

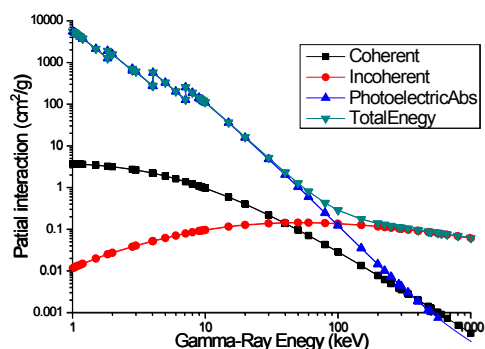


Figure 5. The partial interaction of LACRA1

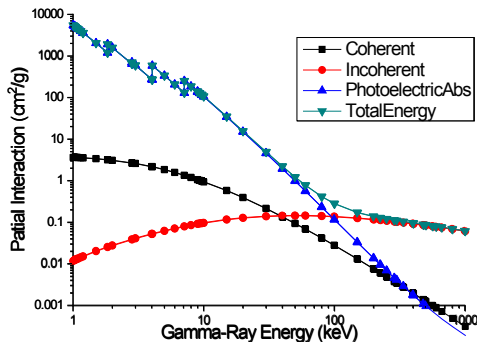


Figure 6. The partial interaction of LACRA 2

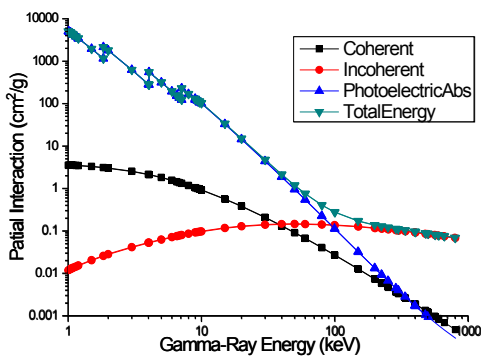


Figure 7. The partial interaction of LACRA3

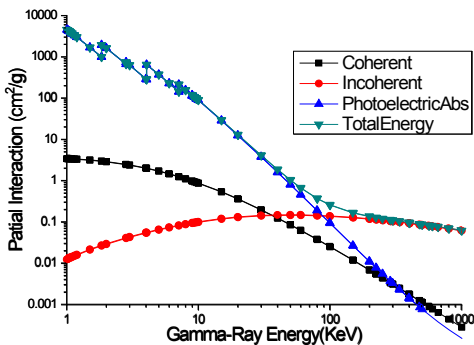


Figure 8. The partial interaction of LACRA 4

จาก Figure 5-8 แสดงให้เห็นว่าในช่วงพลังงานรังสีแกมมา น้อยกว่า 100 keV อันตรกิริยาหลัก คือ อันตรกิริยาดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริก และในช่วงพลังงาน 101 keV ถึง 662 keV อันตรกิริยาหลัก คือ การกระเจิง

แบบอินโคฮีเลนต์ โดยที่อิทธิพลเบาผสมแกลบบดละเอียดทั้ง 4 ตัวอย่าง แสดงแนวโน้มอันตรกิริยาย่อยคล้ายกัน ดังนั้น ในช่วงพลังงาน 224.92 keV ถึง 662 keV อันตรกิริยาหลักที่เกิดขึ้น คือ การกระเจิงแบบอินโคฮีเลนต์ (การกระเจิงคอมป์ตัน)

Table 4. The mass attenuation coefficient of LACRA in the energy range 224.92-662.00 keV.

The mass attenuation coefficient				
Energy (keV)	(cm ² /g)			
	LACRA 1	LACRA 2	LACRA 3	LACRA 4
224.92	0.129	0.128	0.128	0.127
251.63	0.121	0.121	0.120	0.120
288.39	0.112	0.112	0.112	0.112
337.72	0.104	0.104	0.104	0.104
401.76	0.096	0.096	0.098	0.096
479.90	0.088	0.088	0.088	0.088
564.09	0.082	0.082	0.082	0.082
662.00	0.076	0.076	0.076	0.077

จาก Table 4 แสดงให้เห็นว่าอิทธิพลเบาผสมแกลบบดละเอียด ทั้ง 4 ตัวอย่าง มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลที่ใกล้เคียงกันมาก ผลจากการทดลองสะท้อนให้เห็นว่าอิทธิพลเบาผสมแกลบบดละเอียดทั้ง 4 ตัวอย่าง มีโอกาสในการเกิดอันตรกิริยาที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งส่งผลให้มีโอกาสในการกำบังรังสีที่ใกล้เคียงกันในช่วงพลังงานรังสีแกมมา 224.92 keV ถึง 662.00 keV อันตรกิริยาหลักที่เกิดขึ้นในช่วงพลังงานที่ศึกษานี้ ได้แก่ อันตรกิริยาโฟโตอิเล็กทริก การกระเจิงแบบอินโคฮีเลนต์ และการกระเจิงแบบคอมป์ตัน

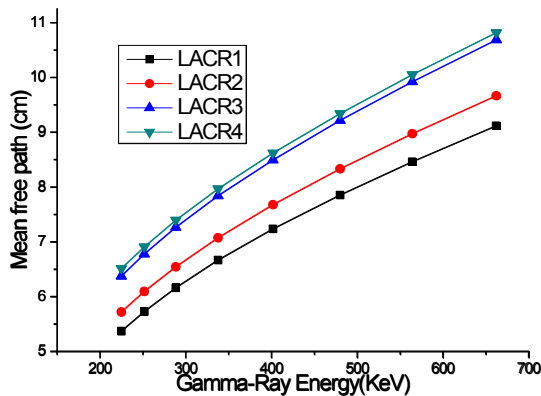


Figure 9. Mean free path of LACRA

จาก Figure 9 แสดงให้เห็นว่า LACRA1 มีค่าเส้นทางอิสระเฉลี่ยน้อยกว่าตัวอย่างอื่นๆ เนื่องจากมี Wt. (%) ของธาตุเหล็ก (Fe) มากกว่าตัวอย่างอื่นๆ ส่งผลให้มีโอกาสในการเกิดอันตรกิริยามากกว่าตัวอย่างอื่นๆ ในช่วงพลังงานนี้ ซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลใน Table 7 แต่อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตตัวอย่างที่ 3 และ 4 มีค่าเส้นทางอิสระเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกันมาก ซึ่งส่งผลทำให้มีโอกาสในการเกิดอันตรกิริยาที่ใกล้เคียงกัน

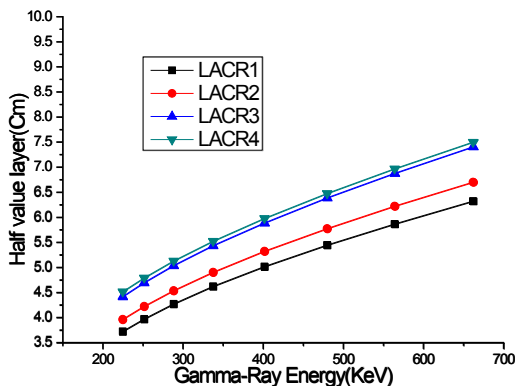


Figure 10. Half value layer of LACRA

จาก Figure 8 แสดงให้เห็นว่า LACRA1 มีค่าความหนาครั้งค่าน้อยกว่าตัวอย่างอื่นๆ สอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลใน Table 4 และค่าเส้นทางอิสระเฉลี่ยจาก Figure 9 ผลที่ได้สามารถนำไปวิเคราะห์หาค่าความหนาของอิฐมวลเบาผสมแกลบบดละเอียดเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานสร้างผนังกั้นรังสีจากแหล่งกำเนิดรังสีในช่วงพลังงานต่างๆ ได้

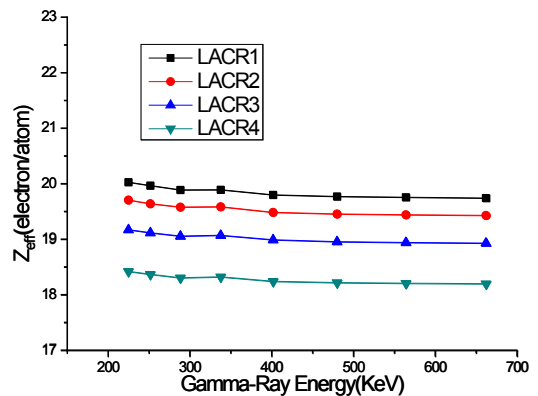


Figure 11. Z_{eff} of LACRA

จาก Figure 11 แสดงให้เห็นว่า LACRA1 มีเลขอะตอมยังผลสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ สอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลใน Table 7 ค่าเส้นทางอิสระเฉลี่ยใน Figure 9 และค่าความหนาครั้งค่านใน

Figure 10

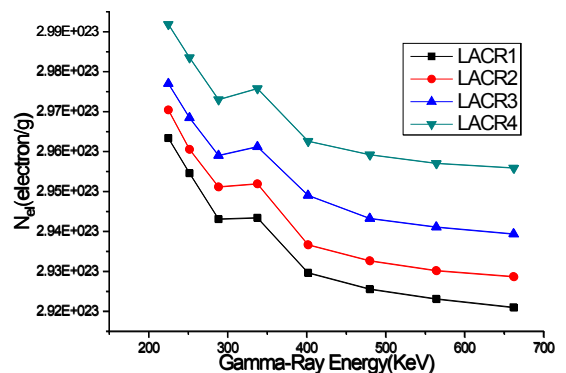


Figure 12. N_{el} of LACRA

จาก Figure 12 แสดงให้เห็นว่า LACRA4 มีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนยังผลสูงกว่าของตัวอย่างอื่นๆ ในช่วงพลังงานนี้ อย่างไรก็ตามอิทธิพลเบาผสมเข้าเกลบบดละเอียดแสดงแนวโน้มว่ามีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนยังผลลดลงเมื่อพลังงานรังสีแกมมาเพิ่มมากขึ้น

Table 5. The stress of LACRA

Material		Load (N)	Stress (N/cm ²)
LACRA1	Peak	12085.0	83.923
	Break	9137.0	63.451
LACRA2	Peak	10382.1	72.098
	Break	8215.3	57.051
LACRA3	Peak	5633.5	39.122
	Break	4284.7	29.755
LACRA4	Peak	4846.2	33.654
	Break	3656.0	25.389

จาก Table 5 พบว่าถ้าเพิ่มอัตราส่วนเข้าเกลบบดละเอียดทำให้อิทธิพลเบาผสมเข้าเกลบบดละเอียดตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามผลที่ได้ทำให้อิทธิพลเบาผสมเข้าเกลบบดละเอียดและเมื่อเทียบค่าความเค้นที่จุดสูงสุดพบว่าอิทธิพลเบาผสมเข้าเกลบบดละเอียดทั้ง 4 ตัวอย่าง มีค่าในช่วงที่สามารถนำไปก่อสร้างเป็นผนังเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในห้องที่มีรังสีได้ [16]

สรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาคุณสมบัติในการกำบังรังสีแกมมาของอิทธิพลเบาผสมเข้าเกลบบดละเอียด 4 ตัวอย่าง ในช่วงพลังงาน 224.92 keV ถึง 662.00 keV ผลจากการวิจัยพบว่า อิทธิพลเบาตัวอย่าง

ที่ 1 มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล ค่าเส้นทางอิสระเฉลี่ย ค่าความหนาแน่นค่า และเลขอะตอมยังผลดีกว่าตัวอย่างอิทธิพลเบาตัวอย่างอื่นๆ อย่างไรก็ตามจากผลการวิจัยครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าอิทธิพลเบาผสมเข้าเกลบบดละเอียดทั้ง 4 ตัวอย่าง มีค่าตัวแปรที่สำคัญต่อการกำบังรังสีที่ใกล้เคียงกันมาก และมีค่าความเค้นลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมเข้าเกลบบดละเอียด อย่างไรก็ตามค่าความเค้นที่วัดได้อยู่ในช่วงที่สามารถนำไปก่อสร้างเป็นผนังได้ ทำให้สามารถสรุปได้ว่า อิทธิพลเบาผสมเข้าเกลบบด 4 ตัวอย่างนี้ สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานเพื่อทำเป็นผนังกำบังรังสีได้ในช่วงพลังงานที่ศึกษานี้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม และภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่อำนวยความสะดวกเกี่ยวกับเครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทดสอบหาประสิทธิภาพในการกำบังรังสี และทดสอบหาค่าความเค้นในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- 1 Meisinger, Q.C., Stahl, C.M., Andre, M.P., Kinney, T.B., Newton, I.G. 2016. Radiation protection for the fluoroscopy operator and staff. *Am. J. Roentgenol.* 207: 745-754.
- 2 Limkitjaroenporn, P., Kaewkhaoa, J., Chewpraditkul, W. and Limsuwan, P. 2012. Mass Attenuation Coefficient and Effective Atomic Number of Ag/Cu/Zn Alloy at Different Photon Energy by Compton Scattering

- Technique. *Procedia Engineering*, vol.32: 847-854.
- 3 Önder, P., Tursucu, A., Demir, D. and Gürol, A. 2012. Studies on mass attenuation coefficient, effective atomic number and electron density of some thermoluminescent dosimetric compounds. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, vol.292: 1-10.
- 4 Bonnin, A., Duvauchelle, P., Kaftandjian, V. and Ponard, P. 2014. Concept of effective atomic number and effective mass density in dual-energy X-ray computed tomography. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, vol.318: 223-231.
- 5 Akman, F., Durak, R., Turhan, M. F. and Kaçal, M.R. 2015. Studies on effective atomic numbers, electron densities from mass attenuation coefficients near the K edge in some samarium compounds. *Applied Radiation and Isotopes*, vol.101: 107-113.
- 6 Lama, L. S. D., Soares, L. D. H., Antoniassi, M. and Poletti, M. E. 2015. Effective atomic numbers for materials of medical interest at low photon energy using the Rayleigh to Compton scattering ratio. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, vol.784: 597-601.
- 7 Kumar, A. 2016. Studies on effective atomic numbers and electron densities of nucleobases in DNA. *Radiation Physics and Chemistry*, vol.127: 48-55.
- 8 Issa, S. A. M. 2016. Effective atomic number and mass attenuation coefficient of PbO-BaO-B₂O₃ glass system. *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 120: 33-37.
- 9 Chaiphaksa, W., Limkitjaroenporn, P., Kim, H.J., Kaewkhao, J. 2016. The mass attenuation coefficients, effective atomic numbers and effective electron densities for GAGG:Ce and CaMoO₄ scintillators. *Progress in Nuclear Energy*, vol.92: 48-53.
- 10 Rossignolo, J.A., Agnesini, M.V.C., Morais, J.A. 2003. Properties of high-performance LWAC for precast structures with Brazilian lightweight aggregates. *Cem. Concr. Compos.* 25: 77-82.
- 11 Ke, Y., Ortola, S., Beaucour, A.L., Dumontet, H. 2010. Identification of microstructural characteristics in lightweight aggregate concretes by micromechanical modelling including the interfacial transition zone (ITZ). *Cem.Concr.Res.*40: 1590-1600.
- 12 Yoon, J., Kim, J., Hwang, Y., Shin, D. 2015. Lightweight concrete produced using a two stage casting process. *Materials(Basel)*.8: 1384-1397.
- 13 Chabannes, M., Bénézet, J.-C., Clerc, L., Garcia-Diaz, L. 2014. Use of raw rice husk as natural aggregate in a lightweight insulating concrete: An innovative application.

- Construction and Building Materials*.70: 428-438.
- 14 Chabi, E., Lecomte, A., Adjovi, E.C., Dieye, A., Merlin, A. 2018. Mix design method for plant aggregates concrete: Example of the rice husk. *Construction and Building Materials*.174: 233-243.
- 15 Mukhtar O. A., Shamsad A., Salah U. Al-Dulaijan , Mohammed M., and Akhtar A. N. 2019. Radiation shielding performance of heavy-weight concrete mixtures. *Construction and Building Materials*. 224: 284-291
- 16 ขวลิต อ้อเจริญ และ รชพล อินทิพย์. 2559. การศึกษากำลังรับแรงอัดของอิฐก่อภายใต้แรงในระนาบแบบ 2 ทิศทาง: ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

การจัดการความปลอดภัยของห้องปฏิบัติการตามมาตรฐาน ESPReL กรณีศึกษา ห้องปฏิบัติการไมโครเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

Laboratory Safety management in Accordance with ESPReL Standards: A case Study of Microtechnique Laboratory, Faculty of Science and Technology, Phetchaburi Rajabhat University

ปริศนา พันธงาม^{1*} มัลลิกา ปัญญาคะโป² และ อุมารัตน์ สันติสุขเกษม³

Prisana Phanngam^{1*} Mallika Panyakapo² and Umarat Santisukkasaem³

¹นักศึกษาปริญญาโท ²รองศาสตราจารย์ และ ³อาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

¹Master student, ²Associate professor and ³Lecturer, Department Environmental Science, Faculty of Science,
Silpakorn University

*Corresponding author; E-mail: prisana.pha@gmail.com

Received: 09 June 2020 /Revised: 16 July 2020 /Accepted: 25 August 2020

บทคัดย่อ

ความปลอดภัยของห้องปฏิบัติการมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อผู้ปฏิบัติงานทุกคน ดังนั้นสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติจึงได้กำหนดแนวทางการจัดการความปลอดภัยตามมาตรฐาน ESPReL ซึ่งประกอบด้วย 7 องค์ประกอบ ได้แก่ 1) การบริหารระบบการจัดการความปลอดภัย 2) ระบบการจัดการสารเคมี 3) ระบบการจัดการของเสีย 4) ลักษณะทางกายภาพของห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์และเครื่องมือ 5) ระบบป้องกันและแก้ไขภัยอันตราย 6) การให้ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ และ 7) การจัดการข้อมูลและเอกสาร ห้องปฏิบัติการไมโครเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ได้ดำเนินการจัดการด้านความปลอดภัยของห้องปฏิบัติการตามแนวทางนี้ ผลการดำเนินการพบว่าการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้ง 7 องค์ประกอบ โดยตอนเริ่มโครงการในเดือนกันยายน พ.ศ. 2562 มีคะแนนรวมเพียงร้อยละ 22.3 และเมื่อสิ้นสุดโครงการในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 มีคะแนนรวมเท่ากับร้อยละ 87.0 โดยเมื่อพิจารณาคะแนนในแต่ละองค์ประกอบ พบว่า ร้อยละของคะแนนขององค์ประกอบที่ 7 การจัดการข้อมูลและเอกสาร มีคะแนนสูงสุดร้อยละ 100 เนื่องจากเป็นองค์ประกอบที่จัดการได้ง่ายและสามารถจัดทำและรวบรวมเอกสารได้พร้อม ๆ กับการดำเนินงานยกระดับขององค์ประกอบอื่น ๆ และในองค์ประกอบที่ 3 ระบบการจัดการของเสีย มีคะแนนร้อยละ 82.5 ซึ่งมีคะแนนน้อยที่สุด เพราะในองค์ประกอบนี้ยังมีข้อจำกัดในการส่งบำบัดและกำจัดของเสียของห้องปฏิบัติการ เนื่องจากต้องใช้งบประมาณและแผนงานในระยะยาวในการบริหารจัดการเพื่อ

รอส่งทำจัดต่อไป อย่างไรก็ตามองค์ประกอบนี้มีคะแนนเพิ่มขึ้นมากเนื่องจากการดำเนินงานตามแผนงานระยะสั้น เช่น ด้านการจัดการข้อมูล ของเสีย การเก็บของเสีย และการลดการเกิดของเสีย

คำสำคัญ : การจัดการความปลอดภัยห้องปฏิบัติการ มาตรฐาน ESPReL ห้องปฏิบัติการไมโครเทคนิค

Abstract

Laboratory safety is very important for all laboratory staffs and students. Therefore, the National Research Council of Thailand has established safety management guidelines in accordance with the ESPReL standard, which consists of 7 components as follows: (1) system administration of safety management, (2) chemical management systems, (3) waste management system, (4) physical characteristics of the laboratory equipment and tools, (5) hazard prevention and correction system, (6) providing basic knowledge about laboratory safety and (7) data and document management. The microtechnique laboratory, Faculty of Science and Technology, Phetchaburi Rajabhat University has implemented the safety management in accordance with this approach. The results showed the significant improvement of all components. At the beginning of the project in September 2019, the total score is 22.3 percent whereas at the end of the project in February 2020, the total score is 87.0 percent. When considering in each component, the score of the 7th component: data and document management; has reached the full score of 100 percent as it is an easy to manage element and the documents can be prepared and compiled simultaneously with the enhancement operations of the 1st-6th components. However, the 3rd component has the least score of 82.5 percent due to the limitations of laboratory waste delivery, treatment and disposal which the additional budget and long-term management plan and need. However the score of this component is significantly increased because of the short-term implementations such as management of waste data, waste collection and waste minimization.

Keywords: ESPReL standards, Laboratory safety management, Microtechnique laboratory

บทนำ

มาตรฐานความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ มักเกี่ยวข้องกับการจัดการด้านสารเคมี การกำจัดของเหลือ ลักษณะทางกายภาพของห้องปฏิบัติการรวมถึง สิ่งอื่นใดที่ส่งผลถึงความปลอดภัยด้านสุขภาพของผู้ปฏิบัติงาน [1] ประเทศไทยมีสถาบันการศึกษา ทั้งภาครัฐและเอกชนที่มีห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ ที่มีการดำเนินกิจกรรมด้านการศึกษา วิจัย และการบริการวิชาการด้านวิทยาศาสตร์ที่ใช้ อุปกรณ์ เครื่องมือวิทยาศาสตร์ และสารเคมี ซึ่งก่อให้เกิดอันตราย และเสี่ยงต่อความปลอดภัยของ อาจารย์ นักศึกษา ผู้รับบริการ รวมทั้งพนักงานทำความสะอาด ในห้องปฏิบัติการเหล่านั้น มีการใช้ สารเคมีหลากหลายชนิด สารเคมีบางชนิด เช่น สาร ก่อมะเร็ง สารกัดกร่อน สารเป็นพิษ สารไวไฟ สาร ออกซิไดซ์ วัตถุระเบิด สารที่ไวต่อปฏิกิริยา สารในรูป เปอรออกไซด์ เป็นสารที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ ที่เกิดจากกิจกรรมการวิจัยในระดับความรุนแรง ที่แตกต่างกันไป [2] ดังนั้น สำนักงานคณะกรรมการ วิจัยแห่งชาติ จึงสนับสนุนให้มีการดำเนินงานโครงการ ยกระดับความปลอดภัยห้องปฏิบัติการวิจัยใน ประเทศไทย (Enhancement of Safety Practice of Research Laboratory in Thailand ; ESPReL) โดย กำหนดแนวทางการจัดการความปลอดภัยตาม มาตรฐาน ESPReL 7 องค์ประกอบ ได้แก่ 1) การ บริหารระบบการจัดการความปลอดภัย 2) ระบบการ จัดการสารเคมี 3) ระบบการจัดการของเสีย 4) ลักษณะทางกายภาพของห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์และ เครื่องมือ 5) ระบบป้องกันและแก้ไขภัยอันตราย 6) การให้ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับความปลอดภัยใน

ห้องปฏิบัติการ และ 7) การจัดการข้อมูลและเอกสาร [3]

ห้องปฏิบัติการไมโครเทคนิค สาขาวิชา ชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ดำเนินกิจกรรมการ จัดการเรียนการสอน การวิจัยของนักศึกษานักวิทยาศาสตร์ และอาจารย์ ในด้านพฤกษศาสตร์ และสัตววิทยาตามขั้นตอนของเทคนิคการทำสไลด์ ถาวรพืช และสัตว์ โดยใช้เทคนิคพาราฟิน รวมทั้งการ ใช้วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือพิเศษทางด้านไมโคร เทคนิค ส่งผลให้มีโอกาสเสี่ยงให้เกิดอันตรายจากการ ใช้สารเคมีอันตราย เครื่องมือต่าง ๆ ในการปฏิบัติงาน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจและประเมิน สถานภาพความปลอดภัยของห้องปฏิบัติการตาม มาตรฐาน ESPReL ประเมินความเสี่ยงของ ห้องปฏิบัติการ และจัดการความปลอดภัยของ ห้องปฏิบัติการให้สอดคล้องตามมาตรฐาน ESPReL ทำให้ทราบถึงผลการประเมินสถานภาพความ ปลอดภัยของห้องปฏิบัติการ แนวทางและ กระบวนการจัดการความปลอดภัย สามารถยกระดับ ความปลอดภัยห้องปฏิบัติการให้สอดคล้องตาม มาตรฐาน ESPReL จนส่งผลให้เกิดความปลอดภัย ต่อนักศึกษา อาจารย์ นักวิทยาศาสตร์ได้

วิธีการดำเนินงาน

1) ห้องปฏิบัติการไมโครเทคนิค

ห้องปฏิบัติการไมโครเทคนิค (ศว 413) ตั้งอยู่ ที่ชั้น 4 อาคารศูนย์วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี อาคารมี 4 ชั้น มีอายุ การใช้งานมากกว่า 25 ปี สภาพภายนอกค่อนข้าง

เก่าและทรุดโทรม ห้องปฏิบัติการดังกล่าวมีขนาด 21 ตารางเมตร เดิมเป็นห้องที่ใช้สำหรับจัดเก็บวัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่ชำรุดและไม่ได้ใช้งาน ต่อมาเมื่อ ปี พ.ศ. 2558 ได้ ก่อตั้ง ห้องปฏิบัติการไมโครเทคนิค เพื่อใช้ในการจัดการเรียนการสอนในรายวิชาฟิสิกส์ศาสตร์ สัตววิทยา ดำเนินกิจกรรมการวิจัย และการบริการวิชาการ เพื่อศึกษาสรีรวิทยา และสัณฐานวิทยาของพืชและสัตว์ ทั้งนี้การสำรวจห้องปฏิบัติการมาประเมินคะแนนความปลอดภัยโดยใช้ ESPReL Checklist ตาม มอก. 2677-2558 ทั้ง 7 องค์ประกอบ จำนวน 162 ข้อ (กองมาตรฐานการวิจัย สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ, 2558) และวางแผนการดำเนินงานโดยกำหนดความถี่ในการตรวจประเมินตามแผนงานอย่างต่อเนื่องทุก 1-2 เดือน โดยตั้งเป้าหมายเพื่อยกระดับความปลอดภัยตั้งแต่ระดับขั้นพื้นฐาน ที่ผ่านการประเมินสถานภาพ ความปลอดภัย ESPReL Checklist ขั้น พื้น ฐาน จำนวน 137 ข้อ จากทั้งหมด 162 ข้อ มุ่งสู่ระดับต้นแบบที่มีการยกระดับความปลอดภัยอย่างมีกระบวนการและผลผลิตที่เป็นรูปธรรม ทั้ง 7 องค์ประกอบ หรือองค์ประกอบเฉพาะด้าน โดยประเมินผ่านความปลอดภัยขั้นพื้นฐานขององค์ประกอบนั้น ๆ ซึ่งผลการประเมินจะมีระดับคะแนนเท่ากับหรือมากกว่าร้อยละ 80 แผนผังห้องแสดงดัง Figure 1 และรูปถ่ายห้องปฏิบัติการก่อนการยกระดับความปลอดภัยซึ่งไม่สะอาดและไม่เป็นระเบียบเรียบร้อยแสดงดัง Figure 2

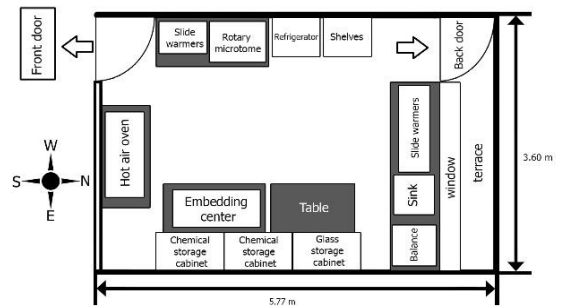


Figure 1. Microtechnique laboratory layout



Figure 2. (A) The front of microtechnique laboratory prior to the management, (B) The balcony of microtechnique laboratory prior to the implementation and (C) The interior of microtechnique laboratory prior to the implementation

2) ขั้นตอนการดำเนินงาน ประกอบด้วย

2.1) ลงทะเบียนห้องปฏิบัติการในเว็บไซต์ของกองมาตรฐานการวิจัย สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ URL: esprel.labsafety.nrct.go.th

2.2) ทำการสำรวจห้องปฏิบัติการก่อนดำเนินการยกระดับความปลอดภัย เพื่อประเมินคะแนนเริ่มต้นตาม ESPReL Checklist version 2015 ทั้ง 7 องค์ประกอบ โดย Checklist ตาม มอก.2677-2558 มีทั้งหมด 162 ข้อ

2.3) นำประเด็นต่าง ๆ ตาม ESPReL Checklist มาประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี What if analysis [4] เพื่อจัดลำดับความสำคัญ และวางแผนการจัดการยกระดับความปลอดภัยของห้องปฏิบัติการ

2.4) ดำเนินการยกระดับความปลอดภัยตามแผน และทำการประเมินตนเองในเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2562 และ กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 เพื่อทราบความก้าวหน้าของการดำเนินการ

2.5) รับการตรวจประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิจากศูนย์บริหารความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน (COSHEM) มหาวิทยาลัยมหิดล สรุปคะแนนและแนวทางพัฒนาห้องปฏิบัติการ

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การดำเนินงานยกระดับความปลอดภัยของห้องปฏิบัติการไมโครเทคนิคเริ่มตั้งแต่เดือนกันยายนพ.ศ. 2562 จนถึง เดือนกุมภาพันธ์ 2563 โดยผลการดำเนินงานทั้ง 7 องค์ประกอบ มีดังนี้

องค์ประกอบที่ 1 การบริหารระบบการจัดการ

ก่อนการยกระดับความปลอดภัยของห้องปฏิบัติการพบว่านโยบายด้านความปลอดภัยครอบคลุมในระดับมหาวิทยาลัย ระดับคณะ แต่ไม่ครอบคลุมในระดับภาควิชาและห้องปฏิบัติการ ไม่มีแผนงานด้านความปลอดภัยในระดับห้องปฏิบัติการ ไม่มีโครงสร้างการบริหารจัดการด้านความปลอดภัย และไม่มีการกำหนดผู้รับผิดชอบดูแลด้านความปลอดภัยในด้านต่าง ๆ ตามมาตรฐาน ESPReL

การดำเนินการยกระดับความปลอดภัย ส่งผลให้ร้อยละของคะแนนของห้องปฏิบัติการ ในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 เพิ่มขึ้น เนื่องจากได้มีการจัดการเกี่ยวกับระบบการจัดการด้านความปลอดภัย การจัดทำนโยบาย การจัดทำแผนงานด้านความปลอดภัยครอบคลุมในระดับคณะ ภาควิชา และห้องปฏิบัติการ มีโครงสร้างการบริหารจัดการ และกำหนดผู้รับผิดชอบดูแลด้านความปลอดภัย ทั้งนี้พบว่าคะแนนการประเมินส่วนที่ขาดหายไป เกิดจากการที่ห้องปฏิบัติการยังขาดประเด็นด้านการมีแผนงานด้านความปลอดภัยที่ครอบคลุมในระดับมหาวิทยาลัย ร้อยละของคะแนนองค์ประกอบที่ 1 แสดงดัง Figure 3

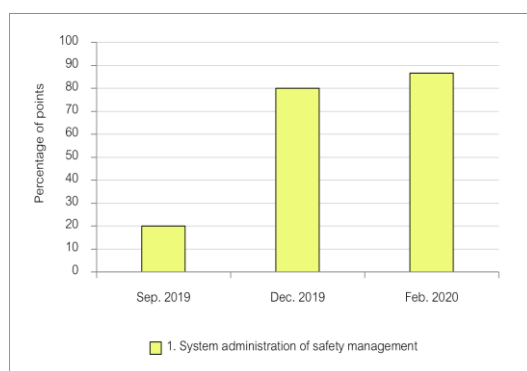


Figure 3. The percentage of laboratory scores according to the 1st component

องค์ประกอบที่ 2 ระบบการจัดการสารเคมี

องค์ประกอบที่ 2 ระบบการจัดการสารเคมี ตามที่ห้องปฏิบัติการมีการใช้สารเคมีหลายชนิดตามวัตถุประสงค์ของการดำเนินกิจกรรมการเรียนการสอน การวิจัย ของห้องปฏิบัติการ ความปลอดภัยของการใช้สารจึงได้รับการตระหนักในแวดวงของผู้ที่เกี่ยวข้อง เช่น การวิเคราะห์โดยใช้ระบบ Exploratory Factor

Analysis (EFA) ของ Abbas et al. [5] รวมถึง การศึกษาโดยการออกแบบสอบถามในประเด็นที่ เกี่ยวข้อง [6, 7, 8] องค์ประกอบนี้ประกอบด้วย 3 ข้อ ย่อย ได้แก่ 2.1 การจัดการข้อมูลสารเคมี 2.2 การ จัดเก็บสารเคมี 2.3 การเคลื่อนย้ายสารเคมี ก่อนการ จัดการความปลอดภัยของห้องปฏิบัติการ ห้องปฏิบัติการไม่มีการบันทึกข้อมูลสารเคมี ไม่มี หลักเกณฑ์ในการจัดเก็บสารเคมีที่ถูกต้อง เช่น ไม่แยก ความเข้ากันไม่ได้ของสารต่าง ๆ จัดวางสารเคมี ของแข็งปนกับของเหลว และไม่มีภาชนะรองรับ จัด วางสารเคมีประเภทกรดไว้ได้อย่างล้มมือ ดัง Figure 4



Figure 4. (A) The untidiness and mismanagement of chemical storage, (B) The storage of liquid and solid chemical together, (C) The storage of acid chemical under the sink and (D) The storage of liquid chemical without tray (before the implementation)

การดำเนินการยกระดับความปลอดภัย ส่งผลให้ร้อยละของคะแนนของห้องปฏิบัติการ ใน เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 เพิ่มขึ้น เนื่องจากได้มีการ จัดทำสารบบสารเคมี เก็บสารเคมีของแข็งแยกออก จากของเหลว และการแยกกลุ่มของสารตามความเข้า

กันไม่ได้ (Incompatibility chart) [18] จัดทำข้อมูล รายชื่อสารเคมี ชื่อผู้รับผิดชอบดูแลตู้และสัญลักษณ์ ความเป็นอันตรายหน้าตู้เก็บสารเคมีในการ เคลื่อนย้ายสารเคมี มีการจัดซื้ออุปกรณ์ป้องกัน ส่วนบุคคล (PPE) ที่เหมาะสมและเพียงพอต่อ ผู้ใช้งาน โดยการใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลเพื่อ ป้องกันตัวเองเมื่อทำงานกับสารเคมีอันตราย ตัวอย่าง ทัวไปของอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล ได้แก่ เสื้อกาวน์, รองเท้านิรภัย, ถุงมือนิรภัย, แว่นตานิรภัย, หน้ากาก ป้องกันใบหน้ารวมทั้งจัดซื้อภาชนะรองรับ (secondary retainer) วัสดุดูดซับ และวัสดุกัน กระแทก [3] ดัง Figure 5



Figure 5. (A) Putting up the safety sign on the chemical storage cabinet, (B) Trays for corrosive chemical storage, (C) List of chemical and responsible person and (D) Use of chemical and adsorbents tray during external transportation (after the implementation)

ทั้งนี้ยังพบว่า ยังมีคะแนนการประเมินส่วนที่ขาด หายไป เนื่องจากขาดประเด็นด้านการจัดการข้อมูล สารเคมี ที่มีการใช้ประโยชน์จากข้อมูลเพื่อการบริหาร

จัดการในการแบ่งปันสารเคมี ร้อยละของคะแนนองค์ประกอบที่ 2 แสดงดัง Figure 6

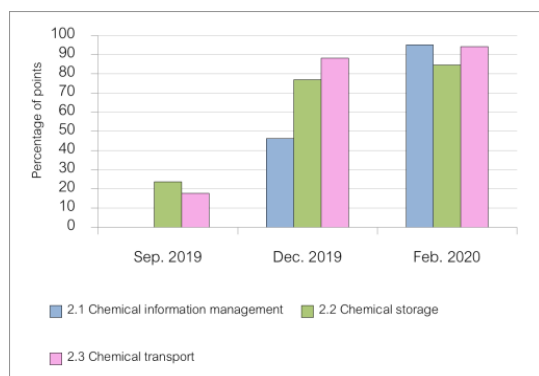


Figure 6. The percentage of laboratory scores according to the 2nd component

องค์ประกอบที่ 3 ระบบการจัดการของเสีย

ผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมจากของเสียที่เกิดจากห้องปฏิบัติการในรูปของเป็นกรด โลหะหนัก สารละลายและผลิตภัณฑ์ที่ได้ ที่มีต่อสภาพแวดล้อม เป็นสิ่งที่ต้องผู้เกี่ยวข้องพึงตระหนักมาโดยตลอด [9] ดังแสดงให้เห็นว่าแต่ละแห่งมีมาตรการ/คู่มือ (Guideline) ในการจัดการสารเคมีในห้องปฏิบัติการ [8] [10, 11, 12] องค์ประกอบที่ 3 นี้ประกอบด้วย 4 ข้อย่อย ได้แก่ 3.1 การจัดการข้อมูลของเสีย 3.2 การเก็บของเสีย 3.3 การลดการเกิดของเสีย 3.4 การบำบัดและกำจัดของเสีย ก่อนดำเนินการยกระดับความปลอดภัยของห้องปฏิบัติการ ไม่มีการบันทึกและรายงานข้อมูลของเสีย ไม่มีการแยกของเสียอันตรายออกจากของเสียทั่วไป และจัดเก็บของเสียไวไฟใกล้ปลั๊กไฟ เป็นต้น นอกจากนี้ มักจะพบว่า ผู้ปฏิบัติงานทั้งสารเคมีของเสียโดยตรงกับอ่างล้างมือ และยังไม่มีการส่งของเสียไปกำจัดกับบริษัทที่รับกำจัดดัง Figure 7



Figure 7. The waste container and waste storage area (before the implementation)

การดำเนินการยกระดับความปลอดภัยห้องปฏิบัติการได้มีการสำรวจและบันทึกข้อมูลของเสียทั้งหมดภายในห้องปฏิบัติการ มีการประเมินความเสี่ยงจากอันตรายของของเสีย รายงานข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้น ตลอดจนการจัดเตรียมงบประมาณในการกำจัด แต่เนื่องจากห้องปฏิบัติการยังไม่มีกึ่งกำจัดของเสียกับบริษัทรับกำจัด ดังนั้นจึงดำเนินการจัดเก็บของเสียไว้ในห้องปฏิบัติการ แต่อยู่ในเกณฑ์ของข้อกำหนดในการจัดเก็บของเสียที่เหมาะสม ซึ่งใช้เกณฑ์การจัดจำแนกกลุ่มของเสียของห้องปฏิบัติการ [13] และวางแผนการรวบรวมของเสียเพื่อรอส่งกำจัดต่อไป ทำการติดฉลากของเสีย บ้ายจุดวาง และจัดให้มีพื้นที่จัดวางของเสียที่แน่นอนดัง Figure 8 และทำสัญลักษณ์พื้นที่จัดวางของเสีย ด้วยแถบสีแดง และมีการกำจัดของเสีย (disposal) อย่างปลอดภัยตามหลัก 3Rs [14] ด้วยการลดการเกิดของเสีย เช่น การเตรียมสารละลายคงสภาพเนื้อเยื่อ Formaldehyde Acetic Acid ในปริมาณที่เหมาะสม และการนำสารละลายหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ เช่น Formalin, Acetic acid, สีย้อมซาฟรานิน, สีย้อมฟาสกรีน,

Alcohol (50-95 %) และ Paraplast เป็นต้น ร้อยละของคะแนนองค์ประกอบที่ 3 แสดงใน Figure 9



Figure 8. The appropriate waste container specifically for flammable chemical and stored away from heat, fire sources and flame (after the implementation)

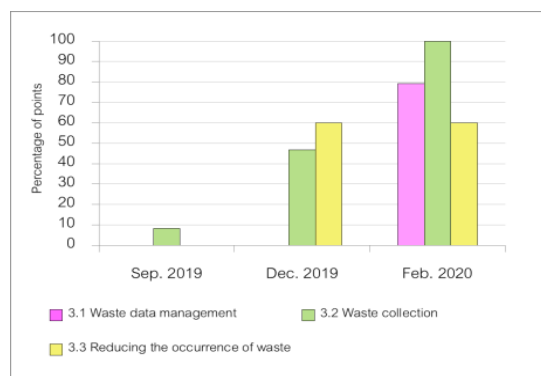


Figure 9. The percentage of laboratory scores according to 3rd component

องค์ประกอบที่ 4 ลักษณะทางกายภาพของห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์และเครื่องมือ

การสำรวจและตรวจสอบในด้านลักษณะทางกายภาพของอาคารและห้องปฏิบัติการ ซึ่งถือว่าเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ องค์ประกอบหนึ่งในองค์ประกอบของความปลอดภัยของห้องปฏิบัติการทั้ง 7 ด้าน ตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน

ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมระบบการจัดการด้านความปลอดภัยของห้องปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องกับสารเคมี มอก. 2677 [15] องค์ประกอบนี้ประกอบด้วย 7 ข้อย่อย ได้แก่ 4.1 งานสถาปัตยกรรม 4.2 งานสถาปัตยกรรมภายใน 4.3 งานวิศวกรรมโครงสร้าง 4.4 งานวิศวกรรมไฟฟ้า 4.5 งานวิศวกรรมสุขาภิบาลและสิ่งแวดล้อม 4.6 งานวิศวกรรมระบบระบายอากาศและปรับอากาศ 4.7 งานระบบฉุกเฉินและระบบติดต่อสื่อสาร ก่อนทำการยกระดับความปลอดภัย ภายในห้องปฏิบัติการพบรอยแตกร้าวบริเวณผนัง ฝ้าเพดานชำรุด ลูกบิดประตูชำรุด เนื่องจากอาคารเก่า มีอายุการใช้งานมากกว่า 25 ปี ใช้อุปกรณ์สายไฟฟ้า เต้ารับ เต้าเสียบ ที่ยังไม่ได้มาตรฐาน มีการต่อสายพ่วงซึ่งใช้งานเกิน 8 ชม. ตามข้อกำหนดของมาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) สวิตช์ไฟชำรุด ประตูมีการติดสติ๊กเกอร์ทึบแสง ทำให้ไม่มีช่องสำหรับมองจากภายนอก (vision panel) ไม่มีระบบแยกระบบน้ำทิ้งทั่วไปกับระบบน้ำทิ้งปนเปื้อนสารเคมีออกจากกัน ไม่มีป้ายชื่อห้องปฏิบัติการ และข้อมูลสำหรับติดต่อสื่อสารของห้องปฏิบัติการในกรณีภาวะฉุกเฉิน ไม่มีระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ด้วยมือ และไม่มีถังดับเพลิงเคลื่อนที่ติดตั้งภายในห้องปฏิบัติการ และภายนอกห้องปฏิบัติการ จะมีการติดตั้งถังดับเพลิงแบบเคลื่อนที่ แต่ก็อยู่สูงเกินกว่าระดับที่มาตรฐานกำหนด (มาตรฐาน : การติดตั้งเครื่องดับเพลิง จะต้องติดตั้งอยู่ในบริเวณที่สามารถมองเห็นได้ชัดเจนและสามารถหยิบฉวยเพื่อนำไปใช้ ในการดับเพลิงได้โดยสะดวก ต้องไม่เกิน 150 เซนติเมตรจากพื้นถึงคันบีบ) และขาดการตรวจสอบลักษณะทาง

กายภาพของห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์และเครื่องมือที่เป็นรูปธรรม ดัง Figure 10

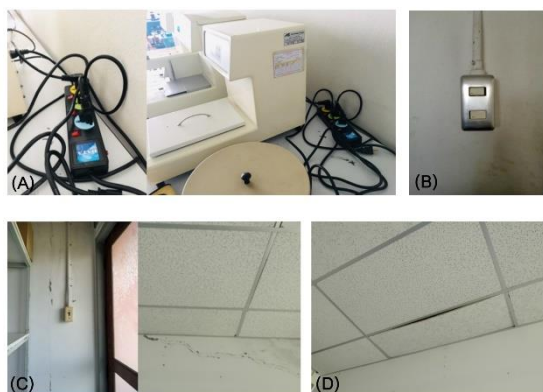


Figure 10. (A) Non standard wiring, plugs, sockets and use extension cord for over 8 hours, (B) Damaged electrical switch, (C) Damaged wall and (D) Damaged ceiling (before implementation)

การดำเนินการยกระดับความปลอดภัยห้องปฏิบัติการได้มีการซ่อมลูกบิดประตูใหม่ จัดซื้อเต้ารับเต้าเสียบตรงตามมาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) ทำการลอกสติกเกอร์ที่บนหน้าประตูห้องปฏิบัติการ และติดเพียงบางส่วนโดยเว้นช่องให้มีช่องสำหรับมองจากภายนอก (vision panel) ได้เพื่อสามารถมองเห็นอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นจากการปฏิบัติงานเพียงลำพัง สามารถช่วยเหลือได้อย่างรวดเร็ว [3] จัดทำป้ายชื่อห้อง แผนผังแสดงตำแหน่งและเส้นทางหนีไฟ ข้อมูลสำหรับติดต่อสื่อสารและตำแหน่งที่ตั้งอุปกรณ์ฉุกเฉินของห้องปฏิบัติการ จัดซื้อขวดสเปรย์ดับชนิดโฟมติดตั้งไว้ภายในห้องปฏิบัติการ และแก้ไขการติดตั้งถังดับเพลิงแบบเคลื่อนที่บริเวณนอกห้องปฏิบัติการให้อยู่ในระดับที่มาตรฐานกำหนด

(มาตรฐาน : ไม่เกิน 150 เซนติเมตร จากพื้นถึงคันบีบ) อ้างอิงตามมาตรฐานการป้องกันอัคคีภัย วสท. 3002-51 และตามกฎกระทรวงฉบับที่ 33 (พ.ศ. 2535) ฉบับที่ 39 (พ.ศ. 2537) ฉบับที่ 47 (พ.ศ. 2540) และฉบับที่ 55 (พ.ศ.2543) ดัง Figure 11



Figure 11. (A) Vision panel door, (B) Layout showing important information, (C) Portable foam fire extinguisher, (D) External hand fire alarm system and (E) Install fire extinguisher at less than 150 cm height from floor to discharge lever (after the implementation)

เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์และเครื่องมือ เป็นองค์ประกอบที่อาจทำให้สมบูรณ์ได้ยาก เพราะอาคารมีอายุการใช้งานมายาวนาน จึงมีความเสื่อมโทรมตามสภาพการใช้งาน ดังนั้นแนวปฏิบัติบางข้ออาจยังไม่สามารถดำเนินการได้ เช่น การติดตั้งแสงสว่างฉุกเฉินภายในห้องปฏิบัติการ การแยกน้ำทิ้งทั่วไปกับน้ำทิ้งปนเปื้อนสารเคมี เป็นต้น โดยได้มีการกำหนดงานที่ยังไม่สามารถดำเนินการเป็นแผนงานระยะยาว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ฉัตรชัย วิริยะไกรกุล [16] ที่กล่าวว่า ต้องใช้งบประมาณและเวลา

ในการทำงานค่อนข้างมาก ต้องมีการวางแผนเพื่อจัดสรรงบประมาณจากทางคณะและดำเนินการจัดจ้างบริษัทรับเหมาก่อสร้าง เข้ามาดำเนินการปรับปรุง เช่น การปรับปรุงและติดตั้งระบบสุขาภิบาล และสิ่งแวดล้อม ร้อยละของคะแนนตามองค์ประกอบที่ 4 แสดงใน Figure 12

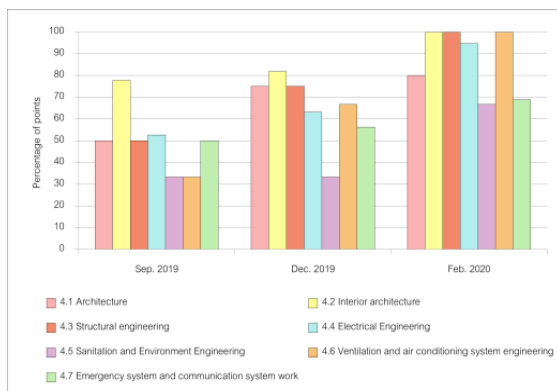


Figure 12. The percentage of laboratory scores according to the 4th component

องค์ประกอบที่ 5 ระบบการป้องกันและแก้ไขภัยอันตราย

จากความสำคัญของการเตรียมความพร้อมเพื่อตอบสนองต่อเหตุการณ์ที่ไม่คาดคิด [12] องค์ประกอบนี้ประกอบด้วย 3 ข้อย่อย ได้แก่ 5.1 การบริหารความเสี่ยง 5.2 การเตรียมความพร้อม/ตอบโต้เหตุภาวะฉุกเฉิน 5.3 ข้อปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยโดยทั่วไป ก่อนดำเนินการยกระดับความปลอดภัยห้องปฏิบัติการ ไม่มีระเบียบ ไม่มีสัดส่วนและไม่เหมาะสมในการปฏิบัติงาน ยังไม่มีการจัดทำการบริหารความเสี่ยง ไม่มีอุปกรณ์สำหรับตอบโต้เหตุฉุกเฉิน ขาดอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล (Personal Protective Equipments, PPE) ไม่มีป้ายแนะนำ/แนวปฏิบัติหรือเอกสารคู่มือที่ชัดเจน และ มีการจัดวาง

อุปกรณ์เครื่องมือ และสารเคมีปนกันทั้งบนโต๊ะปฏิบัติการและชั้นวางของ ดัง Figure 13



Figure 13. (A) Untidy and inappropriate working area in the laboratory and (B) Storage of equipment, tools and chemicals together both on the laboratory bench and shelf (before the implementation)

การดำเนินการยกระดับความปลอดภัยได้ประเมินความเสี่ยง (Risk assessment) และจำแนกประเภทอันตรายในห้องปฏิบัติการ (ACHIL) [17] ในระดับบุคคล และห้องปฏิบัติการ ผลการประเมินความเสี่ยง พบว่าประเด็นที่มีความเสี่ยงสูงมาก ได้แก่ ไม่มีการแยกเก็บสารเคมีตามสมบัติการเข้ากันไม่ได้ของสารเคมี ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของจินดาวลย์ เพ็ชรสูงเนิน และคณะ [18] วางขวดสารเคมีได้วางล้างมือ จัดเก็บสารไวไฟในระดับที่ต่ำและไม่จัดไว้ในตู้ที่เหมาะสม เก็บกรดไว้ใกล้กับตัวทำลายอินทรีย์ เช่น Alcohol ชนิดต่าง ๆ และ Ether ไม่มีเอกสารข้อมูลความปลอดภัย (Safety Data

Sheet , SDS) ไม่มีพื้นที่จัดเก็บของเสียที่แน่นอน และ
ไม่บำบัดของเสียก่อนทิ้ง ไม่มีการแสดงข้อมูลผังพื้น
ตำแหน่งเส้นทางหนีไฟและอุปกรณ์ฉุกเฉิน และยังไม่
มีการสื่อสารความเสี่ยง และประเด็นที่มีความเสี่ยงสูง
ได้แก่ ไม่เก็บสารเคมีของแข็งแยกออกจากของเหลว
ไม่ระบุข้อมูลรายชื่อสารเคมี ชื่อผู้รับผิดชอบดูแลตู้
และสัญลักษณ์ความเป็นอันตราย ไม่ติดฉลากภาชนะ
บรรจุของเสีย พบรอยแตกรั่วบริเวณผนัง
ห้องปฏิบัติการ ไม่มีแนวปฏิบัติด้าน ความ
ปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นจึงมีการจัดการ
ความเสี่ยง (Risk treatment) ได้แก่ จัดทำคู่มือ/แนว
ปฏิบัติ การสอน และการแนะนำแก่ผู้ปฏิบัติงาน และ
มีการสื่อสารความเสี่ยงด้วยวิธีและรูปแบบต่าง ๆ
ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Omidvari [19]
และ Finster [12] ที่กล่าวว่า การสื่อสารความเสี่ยง
(Risk communication) เป็นขั้นตอนที่องค์กรต้อง
ถ่ายทอดข้อมูลให้ประชาชนรับทราบโดยผ่าน
การสื่อสารรูปแบบต่าง ๆ เช่น การติดป้ายสัญลักษณ์
อ้างอิงตามระบบ GHS (Globally Harmonised
System for Classification and labeling of
Chemicals) และระบบการจัดกลุ่มสารเคมี การติด
ฉลาก และการแสดงรายละเอียดบนเอกสารข้อมูล
ความปลอดภัย (SDS) ระบุจุดอันตรายและพื้นที่เสี่ยง
[20] โดยพื้นที่ทำงานที่มีความเสี่ยงสูงซึ่งแสดงด้วย
แถบกาวยาสีเหลือง จนถึงสูงมากแสดงด้วยแถบกาวยาสี
แดง จัดซื้อและติดตั้งชุดขูดล้างตาแบบฉุกเฉิน
เวชภัณฑ์ ชุดอุปกรณ์สำหรับสารเคมีหกทั่วไหล
อุปกรณ์ทำความสะอาด ติดป้ายบอกตำแหน่งที่จัด
วางอุปกรณ์พร้อมตอบโต้ภาวะฉุกเฉินเสมอ ดัง

Figure 14 และร้อยละของคะแนนตามองค์ประกอบที่
5 แสดงใน Figure 15



Figure 14. (A) Identification of working area:
yellow tape for high risk area and red tape
for extreme risk area, (B) Eye wash equipment
and inspection, (C) The provision and putting up
sign of location of chemical spill cleanup kits
and (D) Putting up of several signs
(after the implementation)

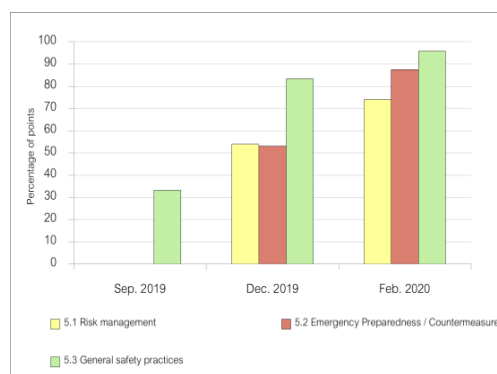


Figure 15. The percentage of laboratory scores
according to the 5th component

องค์ประกอบที่ 6 การให้ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับ ด้านความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ

ถึงแม้องค์กรหรือหน่วยงานจะมีระบบการบริหารจัดการอย่างดี แต่หากบุคคลในองค์กรหรือหน่วยงานขาดความรู้และทักษะ ขาดความตระหนัก และเพิกเฉยแล้ว จะก่อให้เกิดอันตรายและความเสียหายต่าง ๆ ได้ [21] ก่อนการดำเนินการยกระดับความปลอดภัยห้องปฏิบัติการ ไม่มีการให้ความรู้ด้านความปลอดภัยกับผู้ปฏิบัติงานอย่างเป็นรูปธรรม จากการประเมินความเสี่ยงในเดือนกันยายน พ.ศ. 2562 ซึ่งเป็นช่วงเริ่ม โครงการ ครอบคลุมระดับห้องปฏิบัติการ พบว่า มีระดับคะแนนความเสี่ยงปานกลาง และเมื่อทำการประเมินความเสี่ยงครอบคลุมผู้ปฏิบัติงาน พบว่า นักศึกษามีระดับความเสี่ยงปานกลาง นักวิทยาศาสตร์ และอาจารย์ มีระดับความเสี่ยงต่ำ จึงนำไปสู่การกำหนดมาตรการ ดังนี้ สำหรับระดับความเสี่ยงปานกลาง จะนำไปสู่การจัดทำแผนและมาตรการควบคุมความเสี่ยง การดำเนินการยกระดับความปลอดภัย ขั้นแรกได้ทำการรวบรวมความรู้ที่สอดคล้องกับ ความปลอดภัยของห้องปฏิบัติการที่เหมาะสมสำหรับผู้ปฏิบัติงานในระดับ นักศึกษา อาจารย์ และพนักงานทำความสะอาด แล้วจึงทำการอบรมคนแต่ละกลุ่ม ตัวอย่างความรู้ที่อบรมสำหรับนักศึกษา ได้แก่ อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล เอกสารข้อมูลความปลอดภัย (SDS) ป้ายสัญลักษณ์ด้านความปลอดภัย ตัวอย่างความรู้ที่อบรมสำหรับพนักงานทำความสะอาด ได้แก่ การป้องกันและตอบโต้ภาวะฉุกเฉิน อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล การให้ความรู้แก่ผู้ปฏิบัติงาน แสดงใน Figure

16 ร้อยละของคะแนนตามองค์ประกอบที่ 6 แสดงใน

Figure 17



Figure 16. (A) Providing knowledge on safety to the students and (B) Providing knowledge on safety to the cleaner

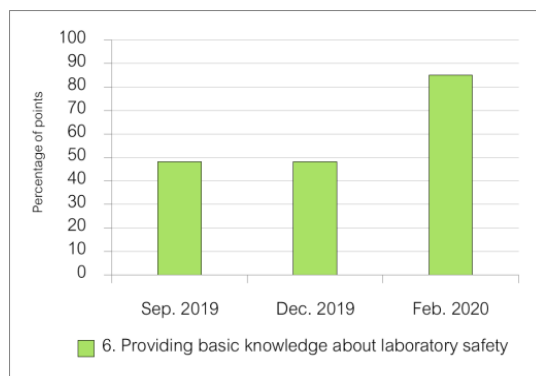


Figure 17. The percentage of laboratory scores according to the 6th component

องค์ประกอบที่ 7 การจัดการข้อมูลและเอกสาร

ข้อมูลและเอกสารด้านความปลอดภัยสามารถใช้เป็นหลักฐานบันทึกที่สามารถส่งงานต่อกันได้หากมีการเปลี่ยนผู้รับผิดชอบ และเป็นการต่อยอดของความรู้ในทางปฏิบัติ ให้การพัฒนาความปลอดภัยเป็นไปได้อย่างต่อเนื่องและยั่งยืน [21] ก่อนทำการยกระดับความปลอดภัย ห้องปฏิบัติการนี้ มีเพียงระเบียบการปฏิบัติทั่วไป มีคู่มือการใช้งาน

เครื่องมือและการจัดการความปลอดภัย แต่ขาดประสิทธิภาพ ไม่มีเอกสารที่เป็นแนวปฏิบัติ (Standard Operating Procedure, SOP) ไม่มีการควบคุมเอกสารและการปรับปรุงเอกสารที่เป็นปัจจุบัน

การดำเนินการยกระดับความปลอดภัย ห้องปฏิบัติการมีการปรับปรุงเอกสารให้เป็นปัจจุบัน มีจัดใส่แฟ้มที่เฉพาะ และชั้นวางอย่างเป็นระเบียบและระบบ จัดวางเอกสารข้อมูลความปลอดภัย (SDS) รายงานอุบัติเหตุและเอกสารแนวปฏิบัติ (SOP) ให้อยู่ในบริเวณที่ผู้ปฏิบัติงานสามารถเข้าถึงได้ พร้อมทั้งติดป้ายบอกตำแหน่ง ดัง Figure 18 ร้อยละของคะแนนตามองค์ประกอบที่ 7 แสดงใน Figure 19



Figure 18. The systematic document collection (after the implementation)

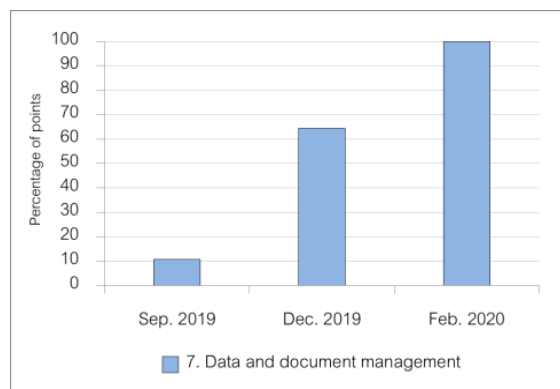


Figure 19. The percentage of laboratory scores according to the 7th component

สรุปผล

ห้องปฏิบัติการที่ใช้เป็นกรณีศึกษาได้รับการยกระดับความปลอดภัยตั้งแต่เดือนกันยายน พ.ศ. 2562 เป็นต้นมา ก่อนการยกระดับมีคะแนนรวมร้อยละ 22.3 เท่านั้น และเมื่อพิจารณาคะแนนในแต่ละองค์ประกอบพบว่าร้อยละของคะแนนขององค์ประกอบที่ 4 มีคะแนนร้อยละ 51.3 ซึ่งเป็นคะแนนสูงสุด เพราะหน่วยงานมีแผนงานในการบริหารจัดการ ซ่อมบำรุงอาคาร ประจำงบประมาณ และในองค์ประกอบที่ 3 มีคะแนนร้อยละ 3.5 มีคะแนนน้อยที่สุด เนื่องจากไม่เคยมีมาตรการใด ๆ ในการจัดการของเสียมาก่อน

ภายหลังการยกระดับพบว่ามีการพัฒนากระบวนการจัดการความปลอดภัยที่สอดคล้องตามมาตรฐาน ESPrEL ทั้ง 7 องค์ประกอบ โดยมีผลของการยกระดับความปลอดภัยอย่างต่อเนื่องและเพิ่มมากขึ้นในแต่ละเดือน โดยในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 มีคะแนนรวมของทุกองค์ประกอบร้อยละ 87.0 เมื่อพิจารณาคะแนนในแต่ละองค์ประกอบพบว่าองค์ประกอบที่ 7 มีคะแนนร้อยละ 100 ซึ่งเป็นคะแนนสูงสุด เนื่องจากเป็นองค์ประกอบที่มีการดำเนินงานควบคู่ไปกับการดำเนินงานยกระดับขององค์ประกอบที่ 1-6 ในขณะที่องค์ประกอบที่ 3 มีคะแนนรวมน้อยสุดอยู่ที่ร้อยละ 82.5 เพราะยังมีข้อจำกัดในการส่งบำบัดและกำจัดของเสียของห้องปฏิบัติการ เนื่องจากสารเคมีจากการเรียนการสอนยังมีปริมาณน้อย จึงต้องจัดเก็บรวบรวมไว้ภายในห้องปฏิบัติการตามข้อกำหนดในการจัดเก็บของเสียของบริษัทไรเชเคิลเอ็นจิเนียริง [13] เพื่อให้ได้ปริมาณเพียงพอที่จะส่งไปบำบัด ร้อยละของคะแนนของแต่ละองค์ประกอบ

แสดงใน Table 1 และร้อยละของคะแนนรวมทั้ง 7 องค์ประกอบแสดงใน Figure 20

Table 1: Percentage of scores for each component

Element	Sep. 2019	Dec. 2019	Feb. 2020
1	20.0	80.0*	89.7
2	13.0	67.3	90.0
3	3.5**	27.0**	82.5**
4	51.3*	66.3	86.0
5	12.3	64.6	85.4
6	48.1	48.1	85.2
7	10.7	64.3	100.0*
รวม	22.3	59.9	87.0

* Maximum

** Minimum

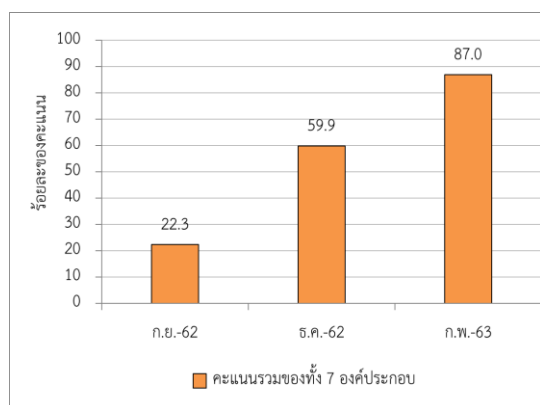


Figure 20. Percentage of scores of all components at different duration of laboratory safety enhancement

ข้อจำกัดของการดำเนินการยกระดับความปลอดภัยห้องปฏิบัติการนี้ได้แก่

- ข้อจำกัดด้านงบประมาณ ได้แก่ การจัดซื้อจัดหาครุภัณฑ์ใหม่ และติดตั้งโต๊ะปฏิบัติการที่ได้มาตรฐาน การออกแบบและติดตั้งท่อระบายน้ำที่แยกระบบน้ำทิ้งทั่วไปกับระบบน้ำทิ้งปนเปื้อนสารเคมีออกจากกัน
- บุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับห้องปฏิบัติการยังขาดการมีส่วนร่วมและความตระหนักในการดำเนินการด้านความปลอดภัย

ดังนั้นจึงควรมีการดำเนินการต่อไปอย่างเป็นระบบตั้งแต่กระบวนการวางแผน (Plan) เช่น การลงมือทำ (Do) การตรวจสอบ (Check) และการพัฒนาปรับปรุง (Act) ซึ่งเป็นวงจรอย่างต่อเนื่องและเป็นรูปธรรม จนส่งผลให้ห้องปฏิบัติการมีความปลอดภัยมากขึ้นตามมาตรฐาน ESPReL

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณสาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่ได้สนับสนุนในการจัดทำงานวิจัยนี้ ขอขอบพระคุณคณาจารย์ เจ้าหน้าที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้คำแนะนำและคอยช่วยเหลือในการจัดทำงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณครอบครัว คุณพ่อ คุณแม่ น้องชาย ที่ได้ให้กำลังใจ สนับสนุนให้การทำงานวิจัยนี้สำเร็จไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. Shrivastava, S.K. 2017. SAFETY PROCEDURES IN SCIENCE LABORATORY. *International Journal of Engineering & Scientific Research*. 5: 53-64.

2. The American Chemical Society's Committee on Chemical Safety. Identifying and Evaluating Hazards in Research Laboratories. [online] available:file:///C:/Users/user/Downloads/identifying-and-evaluating-hazards-in-research-laboratories.pdf. 2019.
3. ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม และของเสียอันตรายจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. แนวปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <http://esprel.labsafety.nrct.go.th/files/ESPreL-Book1.pdf>. 2562.
4. นันทวรรณ จินากุล, ดวงใจ จันทรัตน์ และ รักษิณีย์ คำมานิตย์. 2560. การบ่งชี้อันตรายและ ประเมินความเสี่ยงในห้องปฏิบัติการทางชีวภาพ. *วารสารการแพทย์บูรพา*. 4: 20-34.
5. Abbas, M., Zakaria, A., Balkhyour, M., Kashif, M. 2016. Chemical Safety in Academic Laboratories: An Exploratory Factor Analysis of Safe Work Practices & Facilities in a University. *Journal of Safety Studies*. 2: 1-14.
6. Anza, M., Bibiso, M., Kuma, B., Osuman, K. 2016. Investigation of Laboratory and Chemical Safety in Wolaita Sodo University, Ethiopia. *Chemistry and Materials Research*. 8: 23-33.
7. Al-Zyoud, W., Qunies, A.M., Walters, A.U.C. Jalsa, N.K. 2019. Perceptions of Chemical Safety in Laboratories. *Safety Journal*. 5: 1-18.
8. Kandel, K.P., Bhakta, B., Giri, N.B. 2017. Status of chemistry lab safety in Nepal. *PLoS ONE Journal*. 12: 1-10.
9. Nascimento, E.d.S and Filho, A.T. 2010. Chemical waste risk reduction and environmental impact generated by laboratory activities in research and teaching institutions. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*. 46: 187-198.
10. Kalpana, V. N., Prabhu, D.S., Vinodhini, S., V, D. 2016. Biomedical waste and its management. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*. 8: 670-676.
11. Stuart, R.B. and McEwen, L.R. 2016. The Safety "Use Case": Co-Developing Chemical Information Management and Laboratory Safety Skills. *Journal of Chemical Education*. 93: 516-526.
12. Finster, D.C. Safety in Academic Chemistry Laboratories. [online] available:file:///C:/Users/user/Downloads/safety-in-academic-chemistry-laboratories-students.pdf. 2017.
13. บริษัทรีไซเคิลเอ็นจีเนียริง จำกัด. คู่มือการจัดการของเสียจากห้องปฏิบัติการ. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <http://www.recycleengineering.com/assets/file/Lab-Waste-management-guidelines.pdf>. 2562.

14. นันทวรรณ จินากุล. 2561. การประเมินความเสี่ยงด้านระบบการจัดการของเสียอันตรายจากสารเคมีในห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา. *บูรพาเวชสาร*. 5: 36-51.
15. ฉัตรชัย วิริยะไกรกุล. 2560. การสำรวจประเมินองค์ประกอบด้านลักษณะทางกายภาพของอาคารที่เกี่ยวข้องกับระบบการจัดการความปลอดภัย: อาคารมหามงกุฎ (รหัสอาคาร: SCI25) คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. *วารสารวิชาการสถาปัตยกรรมศาสตร์*. 66: 19-36.
16. ฉัตรชัย วิริยะไกรกุล. 2562. การจัดทำเกณฑ์การพิจารณาค่ากยภาพห้องปฏิบัติการวิจัยปลอดภัยในประเทศไทย. *วารสารวิชาการสถาปัตยกรรมศาสตร์*. 68: 35-54.
17. Jean-Luc, M., Kirstin, F., Thierry, M. 2011. Safety Management and Risk Assessment in Chemical Laboratories. *CHIMIA International Journal for Chemistry*. 9: 734-737.
18. จินดาวัลย์ เพ็ชรสูงเนิน สาริณี ลิพันธ์ สุราณี นันทวรรณ จินากุล, ดวงใจ จันทรัตน์ และ รัชฉิณีย์ คำมานิตย์. 2559. การบ่งชี้อันตรายห้องปฏิบัติการเคมี: กรณีศึกษาห้องปฏิบัติการเคมีอุตสาหกรรม. *วารสารวิจัย มสศ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 9: 21-34.
19. Omidvari, M., Mansouri, N. & Nouri, J. 2015. A pattern of fire risk assessment and emergency management in educational center laboratories. *Safety Science*. 73: 34-42.
20. Yarahmadi, R., Moridi, P., Roumiani, Y. 2016. Health, safety and environmental risk management in laboratory fields. *Medical Journal of the Islamic Republic of Iran (MJIRI) Iran University of Medical Sciences*. -30: 1-9.
21. ฉัตรชัย วิริยะไกรกุล. 2558. การพัฒนาตัวอย่างห้องปฏิบัติการวิจัยปลอดภัยในประเทศไทย. *วารสารวิชาการสถาปัตยกรรมศาสตร์*. 64: 33-46.

รูปแบบความสัมพันธ์ของการทำวิทยาศาสตร์ข้อมูล ต่อการจัดการความสัมพันธ์ นักศึกษา

The Relationship Model of Data Science Technic for Student Relationship Management

เปรมประชา ดรชัย¹ ปิติ ธรรมบุญ²และ รุกกิ้น เหลาหา³

Prempracha Dornchai¹ and Piti Thammanoon² and Rukthin Laoha³

¹สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

²สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ศึกษา คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

³คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

¹ Faculty of Engineer, Rajabhat Maha Sarakham University

² Faculty of Education, Rajabhat Maha Sarakham University

³ Faculty of Science and Technology, Rajabhat Maha Sarakham University

*Corresponding author; E-mail: Ruktin094@gmail.com

Received: 11 March 2020 /Revised: 07 April 2020 /Accepted: 08 September 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ออกแบบรูปแบบความสัมพันธ์ของการทำวิทยาศาสตร์ข้อมูล ต่อการจัดการความสัมพันธ์นักศึกษา และ (2) เพื่อประเมินความเหมาะสมของรูปแบบความสัมพันธ์ที่พัฒนาขึ้น โดยงานวิจัยนี้มีขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัย 3 ขั้นตอนคือวิเคราะห์และศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง การออกแบบรูปแบบฯ และสร้างเครื่องมือแบบประเมินความเหมาะสมของรูปแบบ กลุ่มตัวอย่าง คือผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ด้วยวิธีเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยคือ แบบประเมินความเหมาะสมของรูปแบบ สถิติที่ใช้ในการวิจัย คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า (1) รูปแบบความสัมพันธ์ของการทำวิทยาศาสตร์ข้อมูล ต่อการจัดการความสัมพันธ์นักศึกษา ประกอบด้วย 4 มิติทางด้านการจัดการความสัมพันธ์และ 7 เทคนิคด้านวิทยาศาสตร์ข้อมูล (2) ผลประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่านทำการประเมินแล้วมีความคิดเห็นว่ารอบแนวคิดที่พัฒนานั้นในภาพรวมมีความเหมาะสมระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.46, S.D. = 1.35)

คำสำคัญ: วิทยาศาสตร์ข้อมูล การจัดการความสัมพันธ์นักศึกษา

Abstract

The purposes of this research were (1) to develop the relationship of data science technic model in student relationship management and (2) to evaluate the relationship model developed. The research consisted of 3 stages. There were analysis and literature review, learning model design and the model tool evaluation creation. The Sample were 5 experts selected by purposive sampling. Data collection tools were the system and the assessment of appropriate model with 5-level rating scale. The statistics used in data analysis were means and standard deviation. The results showed that (1) There was to develop the relationship of data science technic model in student relationship management that was divided into four dimension of SRM and seven data science technique. (2) Evaluation of five experts indicated that an overview of developed instruction model was the very appropriate ($\bar{X}$ = 4.46, S.D. = 1.35)

Keywords: Data science, Student relationship management

บทนำ

ในสภาวะการแข่งขันที่เข้มข้นขององค์กรทางธุรกิจในยุคปัจจุบัน วิธีการบริหารความสัมพันธ์ลูกค้า (Customer relationship managements: CRM) [1] ได้นำมาใช้เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพในกระบวนการดำเนินงาน และความพึงพอใจของลูกค้า [2] ซึ่งการบริหารความสัมพันธ์ลูกค้าให้ประสบความสำเร็จและมีประสิทธิภาพนั้น เทคโนโลยีสารสนเทศ ได้เข้ามาเป็นส่วนที่สำคัญ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมตามบริบทของการบริหารความสัมพันธ์ลูกค้า เช่น การใช้อินเทอร์เน็ตเพื่อเสริมธุรกิจหลัก การจัดการลูกค้าสัมพันธ์อิเล็กทรอนิกส์ ตัวอย่างเช่น จดหมายอิเล็กทรอนิกส์ (E-mail) การบริการข้อความสนทนา (Text chat) [3] หรืออาจจะผสมผสานอยู่ ระบบวางแผนทรัพยากรองค์กร การใช้สื่อสังคมออนไลน์ (Social media) [4] การใช้การประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่

(Big data and data mining) [5] ระบบโครงข่ายในการเก็บบัญชีธุรกรรมออนไลน์ (Blockchain) [6] การประมวลผลแบบแบ่งปันทรัพยากรผ่านเครือข่าย (Cloud computing) [7] หรือ แม้กระทั่งการใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (Internet of things) [8] ล้วนเป็นเทคโนโลยีที่ความสนใจในปัจจุบันการบริหารความสัมพันธ์ลูกค้าแม้เป็นเรื่องที่ถูกกล่าวถึงมานาน [9] แต่ยังคงขาดการให้คำจำกัดความหรือความหมายที่ชัดเจน [10] เนื่องจากแต่ละองค์กรเองนั้นจะต้องพัฒนาระบบการบริหารความสัมพันธ์ลูกค้าที่เป็นของตัวเอง ตามลักษณะ หรือวัตถุประสงค์ขององค์กรนั้น ๆ แตกต่างกันไป แต่มีความหมายที่เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปของการบริหารความสัมพันธ์ลูกค้าที่กล่าวว่า “เป็นกระบวนการที่ผลักดันยอดขาย การรักษาลูกค้าไว้เพื่อผลกำไรขององค์กร” [11]

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่า แม้การบริหารความสัมพันธ์ลูกค้า จะได้รับการกล่าวถึงและเป็นที่ยอมรับมานาน ในองค์กรทางด้านธุรกิจที่แสวงผลกำไร [2] แต่ในสถาบันทางการศึกษาระดับอุดมศึกษา (Higher education institutions: HEI) ยังขาดการกล่าวถึง และนำการบริหารความสัมพันธ์ลูกค้ามาใช้ อย่างจริงจัง แต่เนื่องด้วยการแข่งขันที่เข้มข้นของสถาบันทางการศึกษาในปัจจุบัน [12] ส่งผลให้สถาบันทางการศึกษาต้องปรับตัวและพัฒนาประสิทธิภาพในการดำเนินงานบริหารเพื่อรักษาลูกค้าซึ่งก็คือผู้เรียน ให้คงอยู่และดึงดูดต่อผู้เรียนในอนาคต ส่งผลให้แนวคิดด้านการบริหารความสัมพันธ์ลูกค้าได้ถูกนำมาปรับใช้ ในสถาบันอุดมศึกษาและเรียกว่า “การบริหารความสัมพันธ์ผู้เรียน (Student relationship managements: SRM)” [1][13]

คำว่า “วิทยาศาสตร์ข้อมูล” กำลังเป็นที่นิยมพร้อมกับคำว่า “ข้อมูลขนาดใหญ่ (Big data)” และกำลังได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางในแวดวงวิชาการและอุตสาหกรรม [14] จะเห็นได้จากสถาบันวิจัยและองค์กรด้านข้อมูลใหม่ๆ ได้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง เช่น หลักสูตรทางการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์ข้อมูลของหลายมหาวิทยาลัยชั้นนำทั้ง

ไทยและต่างประเทศตัวอย่างเช่น [15] Columbia university institute for data sciences and engineering, New York university center for data science, The university of California at Berkeley เป็นต้น Harvard business review ได้กล่าวไว้ว่าอาชีพนักวิทยาศาสตร์ข้อมูลคือ “งานที่น่าสนใจที่สุดในศตวรรษที่ 21”

วิทยาศาสตร์ข้อมูลเริ่มถูกกล่าวถึง และเขียนขึ้นมาครั้งแรกในปี 1962 จาก บทความของ Tukey เรื่อง The future of data analysis [16] ได้อธิบายถึงแนวทางการวิเคราะห์ข้อมูลว่าโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะเข้ามามีความสำคัญอย่างไรในอนาคต Forbes ได้สรุปที่ไปที่มาของ วิทยาศาสตร์ข้อมูลในบทความเรื่อง A very short history of data science [17] ทำให้สามารถสรุปความหมายได้ว่า วิทยาศาสตร์ข้อมูลคือ “กระบวนการประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่ด้วยวิธีการทางวิทยาศาสตร์ไม่ว่าจะเป็นศาสตร์ทาง คณิตศาสตร์ สถิติ วิทยาการคอมพิวเตอร์ เพื่อค้นหาหรือสกัดความรู้หรือสารสนเทศที่ซ่อนอยู่เพื่อตอบสนองต่อความต้องการขององค์กร” ซึ่งวิธีการวิทยาศาสตร์ข้อมูลจำเป็นต้องมีทักษะความรู้ในหลากหลายแขนงดัง Figure 1

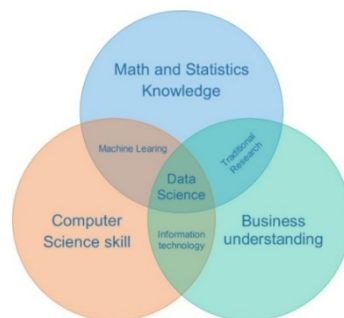


Figure 1. Skill and knowledge for data science [20]

จาก Figure 1 สามารถอธิบายได้ว่าทักษะที่จำเป็นในการทำวิทยาศาสตร์ข้อมูลประกอบด้วย คณิตศาสตร์ และสถิติ วิทยาการคอมพิวเตอร์และความเชี่ยวชาญ หรือการเข้าใจในกระบวนการทำงาน (business understanding)

ต่อมาในปี 1996 Fayyad, Piatetsky-Shapiro และ Smyth [18] ได้นำเสนอแนวคิดเกี่ยวกับ วิทยาศาสตร์ข้อมูลในงานวิจัย “Data mining to knowledge discovery in databases” และได้กล่าวถึงการใช้ เทคนิคทางด้านการทำเหมืองข้อมูล (Data mining) มาใช้ในการทำวิทยาศาสตร์ข้อมูล ผู้วิจัยจะขออธิบายวิธีการวิทยาศาสตร์ข้อมูลผ่านทาง เทคนิคของเหมืองข้อมูลต่อไป

จากการศึกษา บทความวิจัยจะพบว่าในการจัดการความสัมพันธ์นักศึกษาและเทคนิค วิทยาศาสตร์ข้อมูลมีความสัมพันธ์กันในหลายด้าน คณะผู้วิจัยจึงได้พัฒนารูปแบบความสัมพันธ์ของการทำวิทยาศาสตร์ข้อมูลต่อการจัดการความสัมพันธ์ นักศึกษาเพื่อให้เห็นภาพที่ชัดเจนขึ้นต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ออกแบบรูปแบบความสัมพันธ์ของการทำ วิทยาศาสตร์ข้อมูล ต่อการจัดการความสัมพันธ์ นักศึกษา
2. เพื่อประเมินความเหมาะสมรูปแบบความสัมพันธ์ของการทำวิทยาศาสตร์ข้อมูล ต่อการจัดการ ความสัมพันธ์นักศึกษา

วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากรคือ ผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาการ จัดการ วิทยาการคอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีสารสนเทศ

กลุ่มตัวอย่างคือ ผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาการ จัดการ วิทยาการคอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีสารสนเทศ จำนวน 5 ท่าน ได้จากการเลือกแบบเจาะจง โดยเป็น ผู้ที่มีประสบการณ์ในด้านที่เกี่ยวข้องไม่น้อยกว่า 5 ปี

ตัวแปรต้น คือรูปแบบความสัมพันธ์ของการ ทำวิทยาศาสตร์ข้อมูลต่อการจัดการความสัมพันธ์ นักศึกษา

ตัวแปรตาม คือผลการประเมินความ เหมาะสม

ขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัย

- 1) ศึกษาค้นคว้าข้อมูล รวบรวมเอกสาร ทบทวน ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 2) สังเคราะห์ แนวคิด เทคนิค กระบวนการ จาก เอกสาร ทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 3) พัฒนารูปแบบความสัมพันธ์ของการทำ วิทยาศาสตร์ข้อมูลต่อการจัดการความสัมพันธ์ นักศึกษา
- 4) สร้างแบบประเมินความเหมาะสมของรูปแบบ ความสัมพันธ์ของการทำวิทยาศาสตร์ข้อมูลต่อการ จัดการความสัมพันธ์นักศึกษา
- 5) ผู้เชี่ยวชาญประเมินความเหมาะสมของ
- 6) ปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะ และสรุปผล

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาพบว่า การบริหารความสัมพันธ์ นักศึกษาและการทำเหมืองข้อมูล และได้แบ่งมิติของการ บริหารความสัมพันธ์ไว้ 4 มิติ คือ

- 1) การระบุกลุ่มเป้าหมาย (Student identification)

- 2) การดึงดูดกลุ่มเป้าหมาย (Student attraction)
- 3) การรักษานักศึกษา (Student retention)
- 4) การสร้างและพัฒนากลุ่มเป้าหมาย (Student development)

และได้เสนอเทคนิคในการทำเหมืองข้อมูลที่ถูกนำมาใช้ในการบริหารความสัมพันธ์ลูกค้าทั้ง 4 มิติและกล่าวถึงในงานวิจัยต่าง ๆ ทั้งหมด 7 เทคนิคได้แก่

- (1) Association, (2) Classification,
- (3) Clustering, (4) Forecasting,
- (5) Regression, (6) Sequence discovery
- (7) Visualization

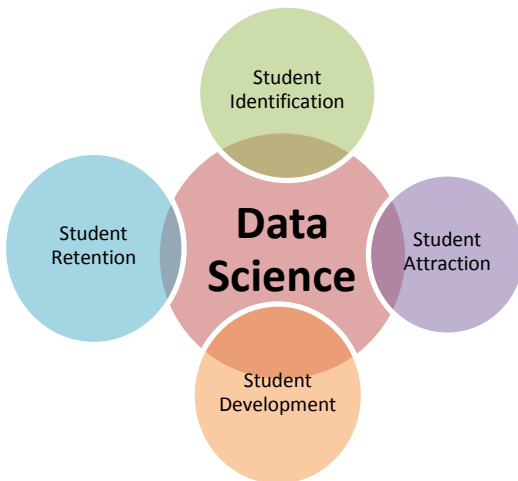


Figure 2. 4 dimension of student relationship management

ทั้งนี้ผู้วิจัยจะยกตัวอย่างการนำเทคนิคการทำเหมืองข้อมูลมาใช้ในการบริหารความสัมพันธ์ผู้เรียนในสถาบันอุดมศึกษา ทั้งหมด 2 เทคนิคที่ถูกกล่าวถึงมากที่สุด [19] [20] คือ (1) Classification (2) Clustering เพื่อแสดงให้เห็นถึงวิธีการบูรณาการนำไปใช้ต่อไป

1) การจำแนกประเภทข้อมูลการทำนาย (Classification and prediction)

การจำแนกประเภทข้อมูลคือเทคนิคการนำข้อมูลที่มีอยู่แล้วและนำมาสร้างรูปแบบหรือโมเดลเพื่อทำนายโอกาสการเกิดขึ้นอีกในอนาคต ในวิธีการดำเนินการคือ การนำข้อมูลมาสร้างรูปแบบ จากนั้นทำการทดสอบความถูกต้อง เทคนิคการจำแนกประเภทข้อมูลนี้ได้นำไปประยุกต์ใช้ในหลายด้าน เช่น การพยากรณ์กลุ่มลูกค้าทางการตลาดและการวิเคราะห์ทางการแพทย์ การพยากรณ์ยอดขายในอนาคต เป็นต้น และในส่วนจัดการในสถาบันอุดมศึกษาคือ การพยากรณ์นักเรียนที่จะเลือกสมัครเรียนอนาคต เพื่อให้ผู้บริหารสามารถวางแผนกลุ่มเป้าหมายในการทำการตลาดและแนะนำหลักสูตรได้อย่างมีประสิทธิภาพดัง Figure 3



Figure 3. Classification and prediction procedure for student identification

นอกจากนั้นยังมีการนำเทคนิคดังกล่าวนี้มาใช้
ในสถาบันอุดมศึกษาอีกหลายบทความ เช่น

Table1.Research article for classification technic
in higher education

Research Tittle	Authors
1. Utilizing Data Mining Techniques to Forecast Student Academic Achievement of Kasetsart University Laboratory School Kamphaeng Saen Campus Educational Research and Development Center	Seksan Vilailuck, 2015 [21]
2. A Comparison of Decision Tree and Support Vector Machine Techniques for Classifying Students for e-Learning in Information Technology Course	Ployongc and Porrawatpreyakorn, 2013 [22]
3. Classification Model for Selection of Program Studies in Faculty of Information Technology in Rajabhat Maha Sarakham University Using Data Mining Techniques	Jantakun, 2016 [23]

2) การจัดกลุ่มข้อมูล (Data clustering) เป็น
เทคนิคการแบ่งกลุ่มหน่วยข้อมูล หรือเป็นการแบ่งคน
สัตว์ สิ่งของ องค์กร ฯลฯ ออกเป็นกลุ่มย่อยอย่างน้อย
2 กลุ่ม โดยมีหลักเกณฑ์ในการแบ่งดังนี้ “ให้หน่วยที่
อยู่ในกลุ่มเดียวกันมีลักษณะที่สนใจเหมือนกันหรือ
คล้ายกัน แต่หน่วยที่อยู่ต่างกลุ่มกันจะมีลักษณะที่
สนใจต่างกัน” เช่น การจัดกลุ่มนักเรียนออกเป็นกลุ่ม
ย่อยเพื่อศึกษาถึงปัจจัยความต้องการของแต่ละกลุ่ม
เพื่อที่มหาวิทยาลัยจะได้สร้างบริการให้ตรงกับกลุ่ม
ผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ แสดงใน Figure4

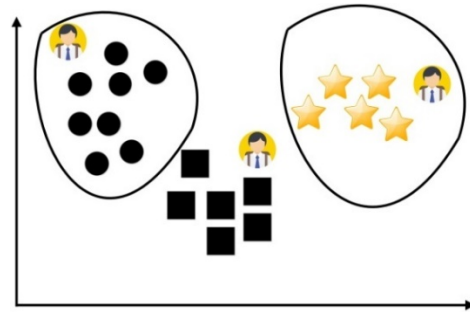


Figure 4. Data clustering of student's factor

นอกจากนั้นยังมีการนำเทคนิคการดังกล่าวนี้
มาใช้ในสถาบันอุดมศึกษาอีกหลายบทความ เช่น

Table2. Research article for data clustering
technic in higher education

Research Tittle	Authors
1. Analysis and Predictions on Students' Behavior Using Decision Trees in Weka Environment	Vasile Paul Bresfelean, 2007 [24]
2. Data Mining of Learning Management System: Case study A Tutor System.	Baker R.S., Inventado P.S., 2014 [25]
3. Educational data mining: A review of the state of the art	Romero, C., & Ventura, S, 2010.[26]

Table3. Evaluate by experts

หัวข้อการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.
1. รูปแบบประกอบด้วย 4 มิติ และ 7 เทคนิค	4.2	1.36
2. ความเหมาะสมของรูปแบบฯ	4.6	1.89
3. การอธิบายความสัมพันธ์ของรูปแบบฯ	4.6	0.81
รวม	4.46	1.35

จากการประเมินความเหมาะสมของรูปแบบฯ
โดยผู้เชี่ยวชาญพบว่าภาพรวมมีความเหมาะสมระดับ
มาก ($\bar{X}$ = 4.46, S.D. = 1.35) ประเด็นที่ได้คะแนน

มากที่สุดคือ ความเหมาะสมของรูปแบบฯ และการอธิบายความสัมพันธ์ของรูปแบบฯ ที่ค่าเฉลี่ย 4.6

สรุป

ด้วยสภาวะการแข่งขันอย่างเข้มข้นของสถาบันอุดมศึกษาในปัจจุบัน ทำให้องค์กรเองต้องเร่งพัฒนาการบริหารจัดการ หรือคุณภาพด้านการเรียนการสอน ทั้งนี้เพื่อสร้างความพึงพอใจแก่ผู้เรียน การบริหารความสัมพันธ์ผู้เรียนและการบริหารวงจรการทำธุรกิจลูกค้า จึงเป็นแนวคิดที่สถาบันอุดมศึกษาเริ่มให้ความสนใจอย่างจริงจัง เนื่องจากเป็นแนวคิดที่องค์กรทางธุรกิจใช้ในการพัฒนาองค์กรมาอย่างช้านาน จากที่ได้กล่าวข้างต้นผู้วิจัยได้นำเสนอ การบริหารความสัมพันธ์ผู้เรียน ด้วยเทคนิควิทยาศาสตร์ ข้อมูลผ่านทางการทำเหมืองข้อมูลที่ได้ถือว่เป็นเทคนิคหนึ่งในวิทยาศาสตร์ข้อมูล ซึ่งผู้วิจัยได้แบ่งมิติการบริหารความสัมพันธ์ผู้เรียนไว้เป็น 4 มิติคือ

- 1) การระบุกลุ่มเป้าหมาย (Student identification)
- 2) การดึงดูดกลุ่มเป้าหมาย (Student attraction)
- 3) การรักษานักศึกษา (Student retention)
- 4) การสร้างและพัฒนากลุ่มเป้าหมาย (Student development)

โดยผู้วิจัยได้นำเสนอแนวทางการนำไปใช้ในสถาบันอุดมศึกษา ไว้ 2 เทคนิค คือ เทคนิค Classification and prediction และ เทคนิค data clustering โดยทั้งสองเทคนิคที่นำเสนอ นั้นผลที่ได้ จะมีความสัมพันธ์กับการบริหารความสัมพันธ์ลูกค้าในมิติ ด้านการระบุลูกค้า การรักษาลูกค้า ตามที่ Cheung และคณะได้นำเสนอไว้ อย่างไรก็ตามแม้การบริหารความสัมพันธ์ลูกค้าจะได้รับการยืนยันแล้วว่า

สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานขององค์กรได้ แต่การที่องค์กรจะประสบความสำเร็จได้นั้น ขึ้นอยู่กับการมีส่วนร่วมของบุคลากรที่เกี่ยวข้อง เนื่องจากแต่ละองค์กรเองนั้น จะต้องพัฒนากระบวนการบริหารความสัมพันธ์ลูกค้าที่เป็นของตัวเอง ตามลักษณะ หรือวัตถุประสงค์นั้น ๆ ขององค์กรแตกต่างกันออกไป

เอกสารอ้างอิง

- 1 Gholami, H., Zameri, M., Saman, M., Sharif, S. And N. Zakuan. 2015. A CRM Strategic Leadership Towards Sustainable Development in Student Relationship Management: SD in Higher Education. *Procedia Manufacturing*. Vol.2 : 51-60.
- 2 Carrington M Mukwas, and Lisa F Seymour. 2016. Customer Relationship Management in IT Service Delivery: A Practitioner-based Inquiry in a Higher Education Institution. *In Proceedings of the Annual Conference of the South African Institute of Computer Scientists and Information Technologists*. Johannesburg: University of Johannesburg.
- 3 เพ็ญพรรณ จารุสาร. 2557. *การบริหารประสบการณ์ลูกค้าของห้องสมุดมหาวิทยาลัยวิจัยไทย*. ปริญญาศิลปศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาบรรณารักษศาสตร์และสารสนเทศศาตรมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- 4 สมานธิ เรื่องสิงห์ และณัฏฐ์ กุลิสร์. 2555. การบริหารงานลูกค้าสัมพันธ์บนสื่อสังคมออนไลน์ของ

- กาแฟสตาร์บัคส์ที่มีความสัมพันธ์อันดีและความ
ภาคีต่อตราสินค้าของผู้บริโภคในพื้นที่
กรุงเทพมหานคร. *วารสารบริหารธุรกิจศรีนครินทรวิ
โรฒ*. ปีที่ 3. 78-95.
- 5 Tzu-Ching Lin. 2553. การประยุกต์ใช้เหมือง
ข้อมูลสำหรับการจัดการลูกค้าสัมพันธ์ใน
อุตสาหกรรมบริการโรงแรม. *วารสารสุทธิปริทัศน์*. ปี
ที่ 24. 7-20.
 - 6 เนื่องวงศ์ ทวยเจริญ. กลไกของ Blockchain ใน
Bitcoin : เทคโนโลยีผสมพฤติกรรมผู้บริโภค
เปลี่ยนโลกได้. [online] available: <http://www.9experttraining.com/articles>. Retrieve: 20
พฤษภาคม 2560.
 - 7 ปณมาภรณ์ ไทยโพธิ์ศรี. 2557. ระบบบริหาร
ความสัมพันธ์นักศึกษาบนคลาวด์คอมพิวเตอร์. *วารสารการอาชีวและเทคนิคศึกษา*. ปีที่ 4. 19-
28.
 - 8 Kamlesh sharma and Suryakanthi. T. 2558.
Smart System: IoT for University. *International
Conference on Green Computing and
Internet of Things (ICGCloT)*. 1586-1593.
 - 9 Rigo, G. E., Pedron, C. D., Caldeira, M., and
Araújo, C. C. S. 2016. CRM ADOPTION IN A
HIGHER EDUCATION INSTITUTION. *Journal
of Information Systems and Technology
Management*. ปีที่ 13. 45-60.
 - 10 Chawiwat Petprasom and Kwunkamol
Donkwa Suranaree. 2010. Impacts of
Customer Relationship Management and
Customer Experience Management on Brand
Equity in the Credit Card Business.
Suranaree Journal of Social Science. ปีที่ 4.
33-47.
 - 11 Anes Hrnjic. 2016. The transformation of
higher education: evaluation of CRM concept
application and its impact on student
satisfaction. *Journal of Eurasian Business
Review*. ปีที่ 7. 53-77.
 - 12 Reiny, I., & Buttle, F. 2007. Strategic,
operational and analytical CRM: attributes
and measures. *Journal of Relationship
Marketing*. ปีที่ 5. 23-42.
 - 13 Javad Mehrabi and Batool Samangoei. 2012.
"Studying Effect of Customer Relationship
Management (CRM) System on Attracting
Customer Satisfaction Case Study: Teacher
Insurance Company in Isfahan Province".
*International Journal of Learning &
Development*. Vol.2 No.1 : 368-375.
 - 14 ภัทร รุจยาชยะกูร. เจาะลึกการสร้างฐานลูกค้า
ใหม่ใน Customer Lifecycle Management.
[online]
available: <http://incquity.com/articles/customer-lifecycle-management>. Retrieve: 10
พฤษภาคม 2560.
 - 15 Cheung, K. W., Kwok, J. T., Law, M. H., and
Tsui, K. C. 2003. Mining customer product
ratings for personalized marketing. *Decision
Support Systems*. ปีที่ 35. 231-243.

- 16 Tukey, John W. 1962. The Future of Data Analysis. *Ann. Math. Statist.* ปีที่ 33. 1-67.
- 17 Grill Press. A Very Short History Of Data Science. [online] available: <https://www.Forbes.com/sites/gilpress/2013/05/28/a-very-short-history-of-data-science/#c7d70ce55cfc>. Retrieve: 12 พฤษภาคม 2560.
- 18 Usama Fayyad, Gregory Piatetsky-Shapiro, and Padhraic Smyth. 1996. From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases. *AI Magazine*. Volume 17. 37-54.
- 19 Chollana Kulsuwan, Anirut Pongklee, and Achariya Issarapaibool. 2013. Effects of Internet Customer Relationship Management on Customer Loyalty of Cosmetics Business in Thailand. *Journal of Humanities and Social Sciences Mahasarakham University*. ปีที่ 36. 182-190.
- 20 Ogunnaike Olaleke Oluseye, Borishade Taiye Tairat and Jeje Olumide Emmanuel. 2557. Customer Relationship Management Approach and Student Satisfaction in Higher Education. *Journal of Competitiveness*. ปีที่ 6. 49-62.
- 21 เสกสรรค์ วิสัยลักษณ์ วิภา เจริญภัณพารักษ์ และ ดวงดาว วิชาดากุล. 2558. Utilizing Data Mining Techniques to Forecast Student Academic Achievement of Kasetsart University Laboratory School Kamphaeng Saen Campus Educational Research and Development Center. *Veridian E-journal Science and Technology Silpakorn University*. Vol. 2 No. 2.
- 22 Ployong N, Porrawatpreyakorn N. 2013. A Comparison of Decision Tree and Support Vector Machine Techniques for Classifying Students for e-Learning in Information Technology Course. NCCIT, Bangkok.
- 23 Juntakun T. 2016. Classification Model for Selection of Program Studies in Faculty of Information Technology in Rajabhat Maha Sarakham University Using Data Mining Techniques. The 9th National Conference on Technical Education, Bangkok.
- 24 Vasile Paul Bresfelean. 2007. Analysis and Predictions on Students' Behavior Using Decision Trees in Weka Environment. *Proceedings of the ITI 2007 29th Int. Conf. on Information Technology Interfaces*, June 25-28, 2007, Cavtat, Croatia.
- 25 Baker R.S., Inventado P.S. 2014. Educational Data Mining and Learning Analytics. In: Larusson J., White B. (eds) *Learning Analytics*. Springer, New York, NY.
- 26 Romero, C., & Ventura, S. 2010. Educational data mining: A review of the state of the art. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part C: Applications and Reviews*, 40(6), 601-618.

การออกแบบและสร้างอุปกรณ์เติมอากาศในน้ำชนิดใบพัดแบบหนามทุเรียนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

Design and Fabrication of Solar Powered Durian Thorns Impeller Aerator in Water with Solar Energy

อุทัย ผ่องรัศมี* เสนีย์ ศิริไชย จักรกฤษณ์ ชันทอง ภาสกร ผ่องรัศมี และ ชวงชัย ชูปวา

Uthai Phongrasamee*, Seney Sirichai, Jakkrit Khanthong, Passakron Phongrasamee
and Chuangchai Chuppava

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

Faculty of Engineering and Industrial Technology, Phetchaburi Rajabhat University

*Corresponding author; E-mail: Uthai_mt@hotmail.com

Received: 29 April 2020 /Revised: 30 July 2020 /Accepted: 18 September 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบอุปกรณ์เติมอากาศในน้ำและปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสมรรถนะอุปกรณ์เติมอากาศในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับบ่อน้ำเสียที่มีพื้นที่ 150 ตารางเมตร มีค่าออกซิเจนในน้ำเฉลี่ย 4.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็นกรด-ด่าง เฉลี่ย 8.67 และค่าสารแขวนลอย เฉลี่ย 171 พีพีเอ็ม ซึ่งใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์เติมอากาศในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ผลการวิจัยพบว่า ด้านการออกแบบทวนมีปริมาตรเฉลี่ย 0.1215 ลูกบาศก์เมตร ใบพัดเป็นแบบหนามทุเรียน มีพื้นที่ผิวรวมเฉลี่ย 10.80 ตารางเมตร ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย 0.35 กิโลวัตต์ชั่วโมง และประสิทธิภาพอุปกรณ์เติมอากาศในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย 63.78 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผลการวิเคราะห์ตัวแปรที่เป็นผลกระทบที่ทำให้เกิดน้ำเสีย วัดค่าออกซิเจนในน้ำเพิ่มขึ้น 38.44 เปอร์เซ็นต์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ลดลง 6.69 เปอร์เซ็นต์ และค่าสารแขวนลอยลดลง 31.58 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของน้ำผิวดิน พบว่าค่าที่วัดได้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำผิวดิน เมื่อพิจารณาจุดคุ้มทุนอุปกรณ์เติมอากาศในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีระยะเวลาคืนทุน 10.40 ปี

คำสำคัญ : ออกซิเจนในน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ ใบพัดหนามทุเรียน

Abstract

The purpose of this research aims to design a water aerator driven by solar energy and study the variable that effect of aerator in water by solar energy's capacity system for wastewater wells area as 150 m². Oxygen, pH and suspension in water was an average 4.50 mg/L, average 8.67 and average 171 ppm., respectively. All four data were used as data for design and fabrication equipment aerator in water with solar energy. The result was found that the buoy's volumetric was as average 0.1215 m³. The durian propeller has an average of 10.80 m². The solar cell was used about an average 0.35 kWh. An aerator device efficiency in water by solar energy has an average surface as 63.78%. After implementation, oxygen in wastewater was increase to 38.44%. The pH was decreased an average as 9.69% and (TDS) was decreased an average as 31.58%. When compared to the standard of inland water quality, it was found that all of variable was standard of inland water. When it was considered the equipment breakeven point of aerator in water by solar energy, the payback period was 10.40 years.

Keywords: Oxygen in water, Solar Energy, Durian Thorns Impeller

บทนำ

ปัญหามลพิษในแหล่งน้ำมีความสำคัญเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีสิ่งปนเปื้อนสารมลพิษจากน้ำเสียในแหล่งกำเนิดต่างๆ เช่น น้ำเสียจากครัวเรือน น้ำเสียจากการเกษตรกรรม น้ำเสียจากภาคอุตสาหกรรมต่างๆ ส่งผลให้คุณภาพของแหล่งน้ำผิวดินซึ่งเป็นแหล่งผลิตน้ำดิบ ในการผลิตน้ำประปาเสื่อมโทรมลง ซึ่งผลต่อน้ำเกิดการเน่าเสีย ซึ่งไม่สามารถนำมาใช้ในการอุปโภคและบริโภคได้ ทำให้แหล่งน้ำผิวดินในประเทศไทยมีปริมาณลดลงมาก เกิดการขาดแคลนแหล่งน้ำเพื่อนำไปใช้ในกิจกรรมต่างๆ ของประชาชน ดังนั้น กรมควบคุมมลพิษในการส่งเสริมให้ชุมชนขนาดเล็กทั่วประเทศ มีระบบบำบัดน้ำเสียที่มี

ประสิทธิภาพเหมาะสำหรับใช้ในการบำบัดน้ำเสียภายในชุมชน หรือภายในหน่วยงานของรัฐหรือภายในหน่วยงานภาคอุตสาหกรรม โดยมุ่งเน้นเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพ มีราคาในการสร้างถูก สะดวกต่อการดำเนินงาน ไม่ซับซ้อนในการควบคุมฯ ดังนั้น พื้นที่ในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี จึงนับเป็นทางเลือกหนึ่งที่ได้ได้รับความสนใจเนื่องจากเป็นหน่วยงานของรัฐ ที่มีหน้าที่ในการผลิตบัณฑิตฯ วิจัย บริการวิชาการ และทำนุบำรุงศิลปวัฒนธรรม ซึ่งมีพื้นที่โดยประมาณ 74,800 ตารางเมตร และมีพื้นที่รองรับการใช้น้ำจากบ้านพัก และอาคารต่างๆ ประมาณ 800 ตารางเมตร โดยเฉพาะบ่อน้ำผิวดินหน้าอาคาร 7 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มี

พื้นที่ประมาณ 150 ตารางเมตร ที่เป็นบ่อน้ำผิวดินที่
รองรับการใช้น้ำของอาคาร 3 อาคาร 7 จากการศึกษ
ข้อมูลเบื้องต้น คุณภาพน้ำในบ่อดังกล่าวมีคุณภาพ
น้ำไม่ได้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำผิวดิน เช่น ค่า

ออกซิเจนในน้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าสาร
แขวนลอย ส่งผลให้บ่อน้ำผิวดินเน่าเสีย มีกลิ่นเหม็น
ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ และส่งผลต่อ
สิ่งแวดล้อมในบริเวณดังกล่าว



Figure 1. Area used in this study

ดังนั้น จึงเห็นควรมีระบบบำบัดน้ำเสียที่มี
พื้นที่ประมาณ 150 ตารางเมตร เพื่อควบคุม
คุณภาพน้ำให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำผิวดิน ซึ่ง
ส่งผลที่ดีต่อสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำและสิ่งแวดล้อม
ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี จึงนำมาสู่การ
ออกแบบระบบอุปกรณ์เติมอากาศในน้ำด้วย
พลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งงานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์
เพื่อออกแบบระบบเติมอากาศในน้ำด้วยพลังงาน
แสงอาทิตย์ และเพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อ
การออกแบบ และจุดคุ้มทุนระบบเติมอากาศด้วย
พลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีขอบเขตที่ศึกษา คือ
ด้านการออกแบบระบบเติมอากาศด้วยพลังงาน
แสงอาทิตย์ และด้านการวิเคราะห์ตัวแปรที่เป็น

ผลกระทบต่อกรออกแบบและจุดคุ้มทุน ระบบเติม
อากาศด้วยด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

วิธีดำเนินการวิจัย

1) ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อแหล่งน้ำเสีย
หน้าอาคาร 7 และหลังอาคาร 3 มีพื้นที่ประมาณ
150 ตารางเมตร พบว่ามีปริมาณก๊าซออกซิเจน
(DO) เฉลี่ย 4.50 mg/L ซึ่งมีปริมาณก๊าซออกซิเจน
ในน้ำต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำผิวดิน 5 mg/L ค่า
ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ได้เฉลี่ย 8.67 พบว่า
ความความเป็นกรด-ด่างในน้ำ มีความเป็นต่าง
ประมาณ 1.46 ซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่าง สูงกว่า
เกณฑ์น้ำผิวดิน ซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่าง

ประมาณ 7.00 และค่าสารแขวนลอย (TDS) พบว่ามีปริมาณ สารแขวนลอยเฉลี่ย 171 ppm. สอดคล้องกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำผิวดิน ซึ่งในการเก็บข้อมูลต่างๆ ใช้ระยะเวลาการเก็บข้อมูล 3 วัน

(10.00-16.00 น.) โดยเก็บข้อมูล วันละ 7 ครั้ง จำนวน 4 จุด แล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ยดังแสดงใน Figure 2



Figure 2. Areas of aerator installation and wastewater collection

2) นวัตกรรมเครื่องกลเติมอากาศให้แก่นักวิจัยได้ศึกษาการประดิษฐ์เครื่องกลเติมอากาศอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (14 ธันวาคม 2531) สำหรับการบำบัดน้ำเสียนั้น มีอยู่ 2 วิธีคือ เป็นการเติมอากาศลงไปใต้ผิวน้ำ แล้วกระจายเป็นฟองเล็กๆ ส่วนอีกวิธีคือ ใช้กังหันน้ำวิดน้ำขึ้นที่สูงแล้วปล่อยตกลงมาเป็นฝอย หรือจะทำเป็นรูปแบบน้ำตก หรือพลังน้ำไหลก็ได้ จึงพระราชทานพระราชดำริแก่เจ้าหน้าที่ของกรมชลประทาน ให้พัฒนาเครื่องกลเติมอากาศแบบภูมิปัญญาไทยทั้งหมดมี 9 รูปแบบ [1] ได้แก่ แบบเป่าอากาศ (RX-1), แบบผิวน้ำหมุนชนิดพุนลอย (RX-2), แบบเป่าอากาศหมุนใต้น้ำ (RX-3), แบบแรงดันใต้น้ำ (RX-4), แบบดูด-อัดอากาศใต้น้ำ (RX-5), แบบตีน้ำอากาศสัมผัส (RX-6), แบบดูดอัดอากาศลงใต้น้ำ (RX-7), แบบจับเกาะจุลินทรีย์ (RX-8) และแบบกระจายน้ำสัมผัสกับอากาศ (RX-9) สำหรับงานวิจัยนี้ จะใช้หลักการออกแบบและสร้าง

อุปกรณ์เติมอากาศในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบเครื่องกลเติมอากาศที่ผิวน้ำหมุนช้าแบบพุนลอย (Chaipattana Aerato, RX-7) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งของพลังงาน เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกผสม (Polycrystalline) [2-3] จำนวน 2 แผง มีกำลังไฟฟ้าสูงสุด 330 W, แรงเคลื่อนไฟฟ้า 37.5 V, และกระแสไฟฟ้า 8.89 A ดังแสดงใน Figure 3



Figure 3. Installing solar cell on the roof

2) ส่วนต้นกำลังใช้มอเตอร์ชนิดกระแสตรง ขนาด 750 W, 18.7 A ที่ความเร็วรอบ 530 rpm (โดยส่งถ่ายกำลังแบบใช้โซ่มีอัตราส่วน 1:4)

3) พ่นลายนํ้า ทำจากวัสดุพลาสติก จำนวน 3 พ่น เพื่อรองรับชุดกังหันแบบหนามทุเรียนและชุดต้นกำลัง

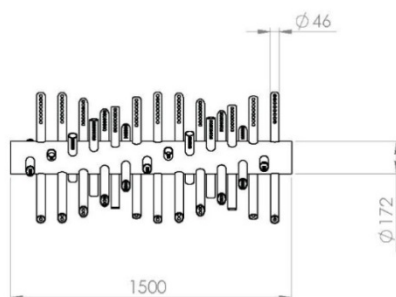
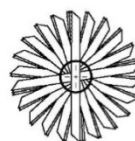
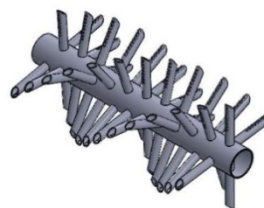


Figure 4. Durian thorn impeller structure



4) ชุดกังหันเดิมออกซิเจนที่ผิวนํ้า จะ ออกแบบเป็นหนามทุเรียน โดยเลือกใช้วัสดุท่อพีอี (Polyethylene, PE) เป็นใบกังหัน จำนวน 54 ใบ [4] ดังแสดงใน Figure 4

5) ตัวแปรที่ศึกษาและเงื่อนไขที่กำหนด

5.1) การศึกษาประสิทธิภาพการเติม ออกซิเจนของอุปกรณ์เติมอากาศในนํ้าด้วย พลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับบ่อนํ้าเสีย บริเวณหน้า อาคาร 7 มีพื้นที่ 150 ตารางเมตร

1) ตัวแปรต้น ได้แก่ ความเข้มรังสี ดวงอาทิตย์ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า อุณหภูมิของสภาวะแวดล้อม และปริมาณก๊าซ ออกซิเจนในบ่อนํ้าเสีย

2) ตัวแปรตาม ได้แก่ ประสิทธิภาพ อุปกรณ์เติมอากาศด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนที่เพิ่มขึ้น ค่าความเป็น กรด-ด่าง และสารแขวนลอยลดลง

6) ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ

6.1) การหาปริมาตรของพ่นที่สามารถ รับนํ้าหนักอุปกรณ์เติมอากาศ

$$mg = \rho g v \quad (1)$$

เมื่อ V = ปริมาตรของพ่น (m^3)

m = น้ำหนักรวมของอุปกรณ์เติมอากาศ (kg)

g = อัตราเร่งแรงดึงดูดของโลก (m/s^2)

ρ = ความหนาแน่นของนํ้า (kg/m^3)

6.2) การหาขนาดของแรงที่กระทำกับใบพัด ใช้ทฤษฎีสัมประสิทธิ์แรงจุด

$$F_{DT} = \frac{1}{2} C_{DT} \rho A V^2 \quad (2)$$

เมื่อ F_{DT} = แรงจุดเนื่องจากความดัน (N)

C_{DT} = สัมประสิทธิ์แรงต้าน (1.00)

ρ = ความหนาแน่นของน้ำ (kg/m^3)

A = พื้นที่ใบพัด (ตารางเมตร)

V = ความเร็วใบพัด (m/s)

6.3) การหาแรงบิดที่เกิดขึ้นกับใบพัด

$$\tau = F_{DT} r \quad (3)$$

เมื่อ τ = แรงบิด (Nm)

r = รัศมีใบพัด (m)

6.4) การหากำลังงานที่ใช้ขับใบพัด

$$P = \frac{2\pi\tau n}{60} \quad (4)$$

เมื่อ P = กำลังงานที่ใช้ขับใบพัด (W)

n = ความเร็วรอบใบพัด (rpm)

6.5) การหาประสิทธิภาพอุปกรณ์เติมอากาศในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \quad (5)$$

เมื่อ η = ประสิทธิภาพอุปกรณ์เติมอากาศในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (%)

P_{out} = กำลังงานที่ได้จากมอเตอร์ (W)

P_{in} = กำลังที่ได้จากความเข้มข้นของแสงอาทิตย์เฉลี่ย (W)

7) การหาปริมาณน้ำเสียภายในบ่อ

$$Q = \left(\frac{1}{2} \times \text{ผลรวมด้านคู่ขนาน} \times \text{ความสูงของน้ำ} \times \text{ความยาวของน้ำ} \right) \quad (6)$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำเสียภายในบ่อ (m^3)

8) การหาประสิทธิภาพการถ่ายเทก๊าซออกซิเจนในน้ำ

$$SAE_T = \frac{(SOTR)Q}{P} \quad (7)$$

เมื่อ SAE_T = ประสิทธิภาพการถ่ายเทก๊าซออกซิเจนในน้ำ (%)

$SOTR$ = อัตราการถ่ายเทออกซิเจน

สภาวะมาตรฐาน (kgO_2/kWh)

P = กำลังงานที่ใช้ขับใบพัด (W)

9) ลำดับขั้นตอนการเก็บข้อมูล

9.1) ชุดทดลองนี้ประกอบไปด้วยแผงโซลาร์เซลล์ จำนวน 2 แผง ซึ่งมีระบบควบคุมแรงหรือเพื่อควบคุมความเร็วของมอเตอร์ตามที่กำหนด และในการทดสอบเก็บข้อมูลจะดำเนินการเก็บข้อมูลทุกๆ 1 ชั่วโมง เริ่มเวลา 9.00 – 16.00 น. (7 ครั้ง) จำนวน 3 วัน

9.2) การเก็บข้อมูลผลการทดลองก่อนเดินอุปกรณ์เติมอากาศในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ได้แก่ ค่า TDS, DO และ pH ตามลำดับ

9.3) การเก็บข้อมูลผลการทดลองหลังเดินอุปกรณ์เติมอากาศในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ได้แก่ ค่า TDS, DO และ pH ตามระยะเวลาทุกๆ 1 ชั่วโมง (7 ครั้ง) ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยทั้ง 3 วัน ดังแสดงใน Figure 5



Figure 5. Equipment installation of oxygen in wastewater wells

Table 1. Initial data before using solar aerator installation

Time (hr)	pH	TDS (ppm)	DO (mg/L)	P _s (W)	P _M (W)
09.00-10.00	8.47	162.00	4.97	345.60	211.00
10.00-11.00	8.36	128.33	5.18	348.32	218.54
11.00-12.00	8.25	121.33	5.40	365.65	241.15
12.00-13.00	8.15	120.33	5.62	372.71	246.80
13.00-14.00	8.06	119.30	5.83	315.53	190.28
14.00-15.00	7.95	118.31	6.04	279.2	146.95
15.00-16.00	7.83	117.00	6.23	220.4	84.78

Note : All data were collected from 3 - 5 April 2019

ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองจะนำมาหาค่าเฉลี่ยและวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ ตามวัตถุประสงค์การวิจัยต่อไป

ผลการวิจัย

การออกแบบระบบเติมอากาศในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับบ่อน้ำเสีย ที่มีพื้นที่ 150

ตารางเมตร เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบและจุดคุ้มทุนต่อการออกแบบระบบเติมอากาศในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1) ด้านการออกแบบระบบเติมอากาศในน้ำ

ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ได้ออกแบบใบพัดแบบหนามทุเรียนมีจำนวนใบพัด 54 ใบ โดยพื้นที่เฉลี่ยรวม

10.80 ตารางเมตร มีจำนวน 3 ฟัน ซึ่งมีปริมาตรเฉลี่ยรวม 0.1215 m^3 ขนาดของเครื่องต้นกำลังใช้มอเตอร์ขนาด 750 W โดยมีการส่งถ่ายกำลังด้วยโซ่ในอัตราทด 4 : 1 ซึ่งมีมวลรวมทั้งหมดของระบบเดิมอากาศในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 54 kg และใช้แผงโซลาร์เซลล์ที่สามารถรับพลังงานแสงอาทิตย์ได้ 660 W (8.85 A)

ผลการวิจัยจากการออกแบบระบบเดิมอากาศในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ได้แรงเคลื่อนไฟฟ้า 36 V กระแสไฟฟ้า 4.70 A เป็นพลังงานให้แก่เครื่องต้นกำลังมอเตอร์ที่ความเร็วรอบ 530 rpm เพื่อหมุนเพลากังหันแบบหนามทุเรียน

2) ด้านปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพระบบเดิมอากาศในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งมีปัจจัยที่จะแสดงความสัมพันธ์ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH), ค่าสารแขวนลอย (Total Dissolved Solids: TDS) และค่าออกซิเจน (O_2) ในบ่อน้ำเสีย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1) การแสดงผลค่าปริมาณออกซิเจน (O_2) ในบ่อน้ำ

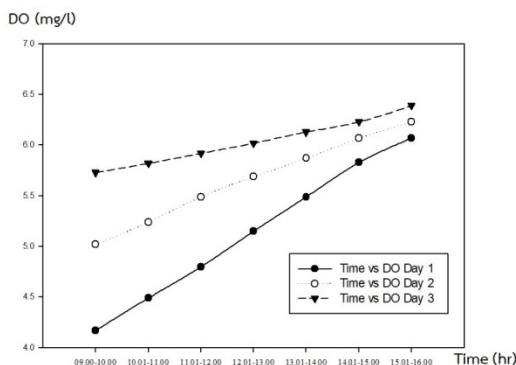


Figure 6. The graph shows the relationship between oxygen values and time.

จาก Figure 6 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ปริมาณก๊าซออกซิเจนในน้ำกับระยะเวลาการเก็บข้อมูล โดยเริ่มเวลาการเก็บข้อมูล 9.00-16.00 น. (7 ครั้ง/วัน) จำนวน 3 วัน โดยใช้อุปกรณ์เดิมอากาศในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับกังหันแบบหนามทุเรียน ที่ความเร็วรอบเฉลี่ย 116 rpm ผลการทดลอง พบว่า เมื่อเวลา 9.00-10.00 น. สามารถวัดปริมาณออกซิเจนในน้ำ ของวันที่ 1-3 ได้ 4.17, 5.20 และ 5.70 mg/L ช่วงเวลา 12.00-13.00 น. วัดค่าปริมาณออกซิเจนในน้ำได้ 5.15, 5.69 และ 6.02 mg/L และช่วงเวลา 15.00-16.00 น. วัดค่าปริมาณออกซิเจนได้ 6.07, 6.23 และ 6.39 mg/L ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์การทำงานของระบบอุปกรณ์เดิมอากาศในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่า ค่าปริมาณออกซิเจนในบ่อน้ำเสีย (DO) มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา รวมทั้งปริมาณของพลังงานที่ได้รับจากแสงอาทิตย์ ต้องมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ระหว่าง $30-35^{\circ}\text{C}$ ซึ่งวัดค่าปริมาณออกซิเจนเฉลี่ยได้ 6.21 mg/L เมื่อเปรียบเทียบกับค่าปริมาณออกซิเจนก่อนการใช้อุปกรณ์เดิมอากาศในน้ำได้ค่าเฉลี่ย 4.50 mg/L และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าปริมาณออกซิเจนในน้ำผิวดินทั่วไปจะมีค่าอยู่ระหว่าง 5-7 mg/L ดังนั้นการออกแบบระบบเดิมอากาศในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์จะมีความเหมาะสมกับปริมาณน้ำในบ่อน้ำเสีย บริเวณหน้าอาคาร 7 ที่มีพื้นที่ 150 ตารางเมตร เท่านั้น ซึ่งส่งผลดีต่อสิ่งมีชีวิตอยู่ในน้ำและสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะเรื่องกลิ่นที่เกิดจากน้ำเสียลดลง

2.2) การแสดงผลค่าปริมาณค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) ในน้ำ

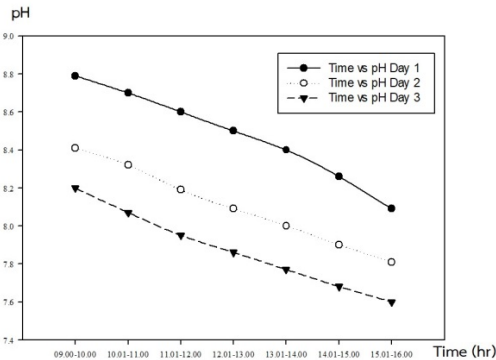


Figure 7. The relationship between water pH and time

จาก Figure 7 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ ปริมาณค่าความเป็นกรด – ด่าง ในน้ำกับระยะเวลา การเก็บข้อมูล โดยเริ่มเวลาการเก็บข้อมูล 9.00-16.00 น.(7 ครั้ง/วัน) จำนวน 3 วัน โดยใช้ อุปกรณ์เติมอากาศในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับกังหันแบบหนามทุเรียน ที่ความเร็วรอบเฉลี่ย 116 rpm ผลการทดลอง พบว่า เมื่อเวลา 9.00-10.00 น. สามารถวัดปริมาณค่าความเป็นกรด – ด่าง ในน้ำ ของวันที่ 1-3 ได้ 8.79, 8.41 และ 8.20 ช่วงเวลา 12.00-13.00 วัดค่าปริมาณค่าความเป็น กรด – ด่างในน้ำได้ 8.50, 8.09 และ 7.86 และ ช่วงเวลา 15.00-16.00 น. วัดค่าปริมาณค่าความเป็น กรด – ด่างได้ 8.09, 7.81 และ 7.60 ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์การออกแบบระบบเติม อากาศในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ใบพัดแบบ หนามทุเรียน พบว่า ปริมาณค่าความเป็นกรด – ด่าง ในบ่อน้ำเสีย (pH) มีปริมาณลดลง (เป็นกลาง) ตาม สัดส่วนระยะเวลา ซึ่งคิดเป็นค่าเฉลี่ยได้ 7.83 และเมื่อ เปรียบเทียบค่าปริมาณความเป็นกรด – ด่าง มาตรฐานน้ำผิวดินอยู่ระหว่าง 6.50-9.00 แล้วค่า

ความเป็นกรด – ด่าง อยู่ในเกณฑ์ [5-6] ดังนั้น น้ำใน บ่อบริเวณด้านหน้าอาคาร 7 สามารถใช้ในการ เพาะปลูกและเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้

2.3) การแสดงค่าสารแขวนลอย (TDS) ในน้ำ

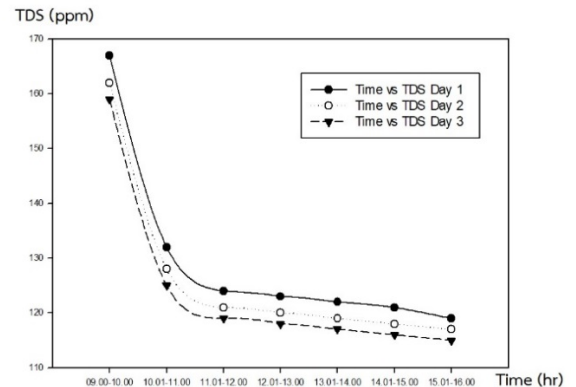


Figure 8. The graph shows the relationship between TDS and time

จาก Figure 8 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่าสารแขวนลอยในน้ำกับระยะเวลา สำหรับ การเก็บข้อมูล โดยเริ่มเวลาการเก็บข้อมูล 9.00-16.00 น. (7 ครั้ง/วัน) จำนวน 3 วัน โดยใช้ อุปกรณ์ เติมอากาศในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับ กังหันแบบหนามทุเรียน ที่ความเร็วรอบเฉลี่ย 116 rpm ผลการทดลอง พบว่า เมื่อเวลา 9.00-10.00 น. สามารถวัดค่าปริมาณสารแขวนลอยในน้ำ ของวันที่ 1 -3 ได้ 167, 162 และ 159 ppm ช่วงเวลา 12.00-13.00 น. วัดค่าปริมาณสารแขวนลอยในน้ำได้ 123, 120 และ 118 ppm และช่วงเวลา 15.00-16.00 น. วัดค่าปริมาณสารแขวนลอยได้ 119, 117 และ 115 ppm ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์การทำงานระบบอุปกรณ์ เติมอากาศในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่า ค่า ปริมาณสารแขวนลอยในน้ำ (TDS) มีปริมาณลดลง

ตามระยะเวลา รวมทั้งปริมาณของพลังงานแสงอาทิตย์ที่รับจากดวงอาทิตย์ ต้องมีอุณหภูมิ 30-35 °C ซึ่งสามารถคิดเป็นค่าเฉลี่ยได้ 119.6 ppm ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณค่าสารแขวนลอยของมาตรฐานน้ำผิวดิน ไม่ควรเกิน 500 ppm เมื่อวิเคราะห์ปริมาณค่าสารแขวนลอยในบ่อน้ำเสียบริเวณหน้าอาคาร 7 มีปริมาณค่าสารแขวนลอยน้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐาน เพราะน้ำที่ปล่อยมาจากอาคารต่างๆ นั้น ถูกแยกในบางส่วนสำหรับส่วนที่เป็นสารแขวนลอย ส่งผลให้ปริมาณค่าสารแขวนลอยมีจำนวนน้อย แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าใช้ระบบอุปกรณ์เติมอากาศในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ยังจะทำให้ปริมาณค่าสารแขวนลอยลดลงตามลำดับ

2.4) การแสดงผลประสิทธิภาพอุปกรณ์เติมอากาศด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

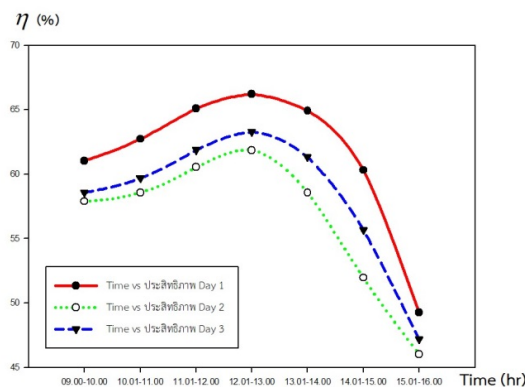


Figure 9. The relationship between the efficiency of aeration equipment in water using solar energy in water and time

จาก Figure 9 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ประสิทธิภาพอุปกรณ์เติมอากาศด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ในน้ำกับระยะเวลา โดยเริ่มเวลาการเก็บข้อมูลเวลา 9.00-16.00 น. (7 ครั้ง/วัน) จำนวน 3 วัน

โดยใช้อุปกรณ์เติมอากาศในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับกังหันแบบนามทุเรียน ที่ความเร็วรอบเฉลี่ย 116 rpm ผลการทดลอง พบว่า อุปกรณ์เติมอากาศในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพในแต่วัน เท่ากับ 66.21%, 61.87% และ 63.28% ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์การทำงานของระบบอุปกรณ์เติมอากาศในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพอุปกรณ์เติมอากาศด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ในน้ำขึ้นอยู่กับปริมาณของพลังงานที่ได้รับจากดวงอาทิตย์เป็นหลัก โดยเฉพาะวันที่ 2 จะพบว่า การทดลองได้ค่าพลังงานต่ำสุด (190.87 kW) เมื่อเทียบกับวันที่ 1 และวันที่ 3 (ของการทดลอง) ส่งผลให้ประสิทธิภาพอุปกรณ์เติมอากาศในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ต่ำ ซึ่งเมื่อคิดค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพอุปกรณ์เติมอากาศในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์จะได้ค่า 63.78%

2.5) การแสดงค่าประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนในน้ำ

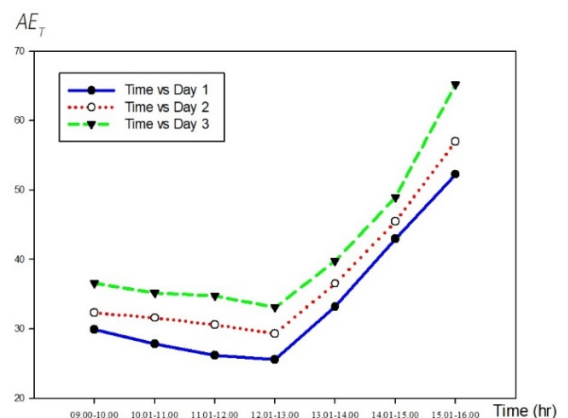


Figure 10. The relationship ship between water oxygen transfer and time

จาก Figure 10 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนในน้ำกับระยะเวลาของแต่ละวัน (3 วัน) ซึ่งในแต่ละวันวัดค่าออกซิเจนทุกๆ หนึ่งชั่วโมง โดยเริ่มเวลาการเก็บข้อมูลเวลา 9.00-16.00 น. (7 ครั้ง/วัน) พบว่า ประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนให้แก่น้ำมีค่าเพิ่มขึ้นในแต่ละวันที่ 52.28%, 57.03% และ 65.24% ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนในน้ำตลอดระยะเวลา 3 วัน มีค่าประสิทธิภาพเฉลี่ย 58.18% ในขณะที่เดียวกันมีปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนในน้ำ เช่น ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ช่วงเวลา 9.00-12.00 น. และ 15.00-16.00 น. และช่วงที่มีค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทออกซิเจนสูงสุด คือ ช่วงเวลา 12.00-13.00 น. ของแต่ละวัน ซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่ 32.7°C นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ ในบ่อน้ำเสียอีก เช่น สภาพของน้ำเสียภายในบ่อ เป็นต้น

2.6) การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนการออกแบบระบบเติมอากาศในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

บ่อน้ำเสียบริเวณหน้าอาคาร 7 มีพื้นที่ประมาณ 150 ตารางเมตร มีปริมาตรน้ำเสีย 266.67 m^3 ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างอุปกรณ์เติมอากาศในน้ำโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 330 W (2 แผง) รวม 660 W เมื่อคิดพลังงานสูงสุดจะได้ $(0.35 \times 10) \times 0.66 = 2.31\text{ kWh}$ ซึ่งการผลิตของพลังงานแผงโซลาร์เซลล์ตลอดทั้งวันจะคิดที่ 80% (20% สูญเสีย) [7] ดังนั้น แผงโซลาร์เซลล์ผลิตพลังงานได้ $2.31 \times 0.8 = 1.85$ หน่วย เมื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้า ค่าพลังงานไฟฟ้าหน่วยละ 3.28 บาท จะประหยัดค่าไฟฟ้าได้ $1.85 \times$

$3.28 \approx 6$ บาท/วัน คิดเป็นเดือนประมาณ 186.2 บาท และ ปีละ 2,235 บาท ส่วนต้นทุนค่าออกแบบและสร้างระบบเติมอากาศในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ประมาณ 23,350 บาท ดังนั้น เมื่อพิจารณาจุดคุ้มทุนระบบเติมอากาศในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ จะเท่ากับ 10.4 ปี ทั้งนี้ยังไม่คำนึงถึงค่าการบำรุงรักษาในระหว่างอุปกรณ์เติมอากาศในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ทำงาน

สรุปผลการวิจัย

การออกแบบระบบเติมอากาศในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้บำบัดน้ำเสีย ที่มีขนาดพื้นที่ 150 ตารางเมตร มีปริมาตรน้ำ 266.67 m^3 ซึ่งเก็บข้อมูลก่อนการใช้อุปกรณ์เติมอากาศในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ได้ดังนี้ ค่าออกซิเจนในน้ำเฉลี่ย 4.50 mg/L ค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำเฉลี่ย 8.67 และค่าสารแขวนลอยเฉลี่ย 171 ppm เมื่อได้ออกแบบระบบการเติมอากาศในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเครื่องต้นกำลัง 1 HP ที่อัตราความเร็วรอบเฉลี่ย 116 rpm ใช้ค่าพลังงานมีความเข้มข้นของแสงเฉลี่ย 350 W เพื่อเติมอากาศให้แก่น้ำ ผลการวิเคราะห์สรุปได้ว่า ตลอดระยะเวลาการเติมอากาศให้น้ำทั้ง 3 วัน สามารถวัดค่าปริมาณออกซิเจนได้เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.3844 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ลดลงร้อยละ 0.00969 และค่าสารแขวนลอยลดลงร้อยละ 0.3158 ผลจากการเติมอากาศให้น้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ส่งผลให้คุณภาพน้ำมีคุณสมบัติดีขึ้นตามตัวแปรที่ศึกษา ข้อค้นพบ จากการวิจัยยังมีปัจจัยบางอย่างไม่สามารถควบคุมได้ พื้นที่ของบ่อน้ำเสียบริเวณที่เป็นส่วนโค้งหรือเว้า ค่าปัจจัยที่ได้กล่าวมาจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อย

กว่าบริเวณติดตั้งอุปกรณ์เติมอากาศในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยค่าความเข้มข้นพลังงานของแสงจากดวงอาทิตย์ที่ได้รับจะไม่คงที่ ส่งผลกระทบต่อตัวแปรที่ศึกษาดังกล่าว

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์การวิจัยได้นั้น ผู้วิจัยต้องขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรีได้ให้ใช้พื้นที่ในการศึกษา ตลอดจนสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือและครุภัณฑ์ทดลอง และขอบคุณนักศึกษาที่ช่วยเก็บข้อมูลผลการทดลองจนทำให้งานวิจัยประสบความสำเร็จทุกประการ

เอกสารอ้างอิง

- 1 เฉลิมเกียรติ นาคา. 2558. *การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องเติมอากาศในน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับเพาะพันธุ์ปลา*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
- 2 Robert Foster, Majid Ghassemi and Alma Cota. 1962. Solar energy. *renewable energy and the environment 1st ed.* NW: CRC. pp 60-66
- 3 Choosakul N., M. Buddhakala, N. Barnthip, A. Muakngam and C. Banglieng. 2011. Application of solar cell for daytime weather study. *Energy procedia*, Vol 9. pp 171-177

- 4 ปรีชา สุขใจ. 2557. *เครื่องเติมอากาศที่ผิวน้ำแบบกังหันขนาดเล็ก*. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- 5 เจียมจิตร ขวัญแก้ว. 2550. *การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักวิจัยและพัฒนากรมชลประทาน. หน้า 52-58
- 6 บรรจง สุขแจ่ม. 2556. *ปรับปรุงเครื่องเติมอากาศผิวน้ำ*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
- 7 กลุ่มอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. 2554. *แนวทางการเติมอากาศเพื่อป้องกันน้ำเน่า*. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2554

การวิเคราะห์กระบวนการผลิตแผ่นยางพารา กรณีศึกษาของบริษัท: สวนหลวงราชไมตรี อ.เมือง จ. จันทบุรี

Analysis of Rubber Sheet of Production Process: A Case Study of Suan Luang Rajamaitri Company, Chanthaburi Province

ปรัชภรณ์ เศรษฐเสถียร^{1*} กฤติยา เกิดผล¹ และพงศธร จันทรตรี²

Pratchaporn Setsathien^{1*} Kittiya Kerdphon¹ and Pongsaton Chantri²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

²สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

¹ Logistics Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi

² Civil Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rambhai Barni Rajabhat University, Chanthaburi

*Corresponding author; E-mail: pratchaporn.s@rbru.ac.th

Received: 08 June 2020 /Revised: 16 July 2020 /Accepted: 18 September 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษากระบวนการผลิตแผ่นยางพาราและเสนอเป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้กับบริษัท สวนหลวงราชไมตรี อ.เมือง จ.จันทบุรี ซึ่งจากการศึกษาและการเก็บรวบรวมข้อมูลของกระบวนการผลิตแผ่นยางพาราด้วยแผนภูมิกระบวนการผลิต ทำให้ทราบว่ามีขั้นตอนในการทำงานทั้งหมด 44 ขั้นตอน ซึ่งสามารถแบ่งขั้นตอนการทำงานได้เป็น 4 ขั้นตอนหลัก จึงนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์การวางแผนผังกระบวนการผลิตของบริษัท ด้วยแผนภูมิกระบวนการไหล พบว่ามี 8 ขั้นตอนย่อยที่ใช้เวลาในการทำงานเกินเวลา ทำให้กระบวนการผลิตแผ่นยางพาราเกิดปัญหาความล่าช้า และพบว่ามี 5 สาเหตุที่ส่งผลทำให้กระบวนการผลิตมีความล่าช้า ได้แก่ ความเมื่อยล้า การรอคอย ระยะทางไกล อุปกรณ์ไม่เหมาะสมกับงาน และแสงสว่างไม่เพียงพอ จึงนำหลักการ ลดความสูญเปล่า มาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตแผ่นยางพารา โดยเสนอให้บริษัททำการเปลี่ยนอุปกรณ์ในการทำงานและปรับเปลี่ยนตำแหน่งการวางผังใหม่ เพื่อลดเวลาในการทำงานและลดระยะทางในการเคลื่อนย้ายวัตถุดิบ

คำสำคัญ : กระบวนการผลิตแผ่นยางพารา, แผนภาพกระบวนการไหล, การปรับปรุงกระบวนการผลิต

Abstract

A purpose of this research is to study a rubber sheet production in order to be as guidelines for the improvement of the rubber sheet production for Suan Luang Ratchamaitri, Muang district, Chanthaburi. The study, based on the data-collection of the rubber sheet production process using the Production Process Chart, found that there are 44 steps, which can be distinguished into 4 main steps. Besides, the data is analyzed by using the Flow Process Charts. Calculation indicates 8 factors that cause the delay in the rubber sheet production process. Moreover, five factors have been found causing the delay in the production process, which are exhaustion, waiting time, remoted distance, inappropriate equipment and insufficient lighting. In addition, the study has brought the principle of ECRS to improve the rubber sheet production, by putting on appropriate equipment and change position, in order to reduce the time of working and reduce distance of moving raw materials.

Keywords: Rubber Sheet Production Processing, Flow Process Chart, The Improvement of Rubber Sheet Production

บทนำ

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจหลักของประเทศไทย มีการผลิตและส่งออกเป็นอันดับหนึ่งของโลก สามารถหารายได้ให้กับประเทศไทยเป็นจำนวนมาก โดยธุรกิจสวนยางพารา ถือเป็นอาชีพหลักของเกษตรกรภาคใต้ ภาคตะวันออก และภาคตะวันออกเฉียงเหนือบางส่วน ซึ่งคนส่วนใหญ่เห็นว่าธุรกิจสวนยางพารามีรายได้ดี จึงได้ประกอบอาชีพนี้มากขึ้น จนในปัจจุบันอาชีพการทำสวนยางพารา กำลังวิกฤตหนักราคายางพาราลดต่ำมาก เนื่องจากปัญหาด้านเศรษฐกิจชะลอตัว การแข่งขันของธุรกิจสูงขึ้น และผลผลิตทางการเกษตรล้นตลาด อุปทาน (ปริมาณผลิต) มีมากกว่าอุปสงค์ (ความต้องการ) จากปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้น ทำให้ผู้ที่ทำธุรกิจสวน

ยางพาราต้องหากกลยุทธ์ต่าง ๆ เช่น ปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ดีขึ้น ลดเวลาและของเสียในกระบวนการผลิต ทำให้ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพเพิ่มมากขึ้น เป็นต้น เพื่อให้ธุรกิจของตัวเองอยู่รอด ในการทำวิจัยจึงมุ่งเน้นในการศึกษาและวิเคราะห์กระบวนการผลิตตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมน้ำยางสดเข้ามาในโรงงานไปจนถึงขั้นตอนการบรรจุผลิตภัณฑ์เพื่อหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาและเสนอแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิต

วิธีการวิจัย

3.1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูล

การศึกษากกระบวนการผลิตแผ่นยางพาราเริ่มตั้งแต่สังเกตการณ์และสอบถามข้อมูลจากขั้นตอน

การเตรียมน้ำยางสดไปจนถึงขั้นตอนการคัดแยกและบรรจุผลิตภัณฑ์ และทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเวลาของกระบวนการผลิตแผ่นยางพารา

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

1) การวิเคราะห์กระบวนการผลิตแผ่นยางพารา นำแผนภูมิกระบวนการไหลและแผนภาพการไหล [1] มาใช้วิเคราะห์รวมกับการวางแผนกระบวนการผลิตของบริษัท เพื่อวิเคราะห์แต่ละขั้นตอนย่อย

2) การคำนวณหาแทคไทม์ (Takt time) เพื่อใช้เป็นตัวกำหนดเวลาในการทำงานของแต่ละขั้นตอนย่อย [2]

3) วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาในกระบวนการผลิตแผ่นยางพารา โดยการนำแผนผังก้างปลา (Cause and effect diagram) มาช่วยในการวิเคราะห์ เพื่อหาสาเหตุที่แท้จริง ที่ส่งผลกระทบต่อทำให้กระบวนการผลิตแผ่นยางพารามีปัญหา

3.3 แนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตแผ่นยางพารา

นำการลดความสูญเสียเปล่าโดยใช้หลักการลดความสูญเสียเปล่า (ECRS) มาปรับปรุงกระบวนการผลิตแผ่นยางพารา เพื่อเสนอเป็นแนวทางให้กับบริษัทได้นำไปใช้

ผลการวิจัย

4.1 ผลการศึกษาและรวบรวมข้อมูล

จากการศึกษากระบวนการผลิตแผ่นยางพาราในเบื้องต้นพบว่า ภายในกระบวนการผลิตแผ่นยางพารามี 5 สาเหตุ ที่ส่งผลทำให้กระบวนการผลิตแผ่นยางพาราเกิดปัญหา ค่าความล่าช้า ได้แก่

ความเมื่อยล้า การรอคอยงาน มีระยะทางไกล อุปกรณ์ที่ใช้ไม่เหมาะสมกับงานที่ทำและแสงสว่างภายในอาคารไม่เพียงพอ ซึ่งในกระบวนการผลิตแผ่นยางพาราสารสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอนหลัก โดยแต่ละงานหลักจะแบ่งเป็นงานย่อย ๆ ดังนี้

1) ขั้นตอนการเตรียมน้ำยางสด แบ่งขั้นตอนย่อยออกเป็น 8 ขั้นตอน ได้แก่ (1) ยกน้ำยางพาราไปชั่ง (2) ชั่งน้ำยางพารา (3) ยกน้ำยางพาราไปกรอง (4) กรองน้ำยางพารา (5) ยกน้ำยางพาราเทลงบ่อรวม (6) เทน้ำยางพาราลงบ่อรวม (7) เติมน้ำเปล่าลงบ่อรวม (8) กวนน้ำยางพาราให้เข้ากัน

2) ขั้นตอนแปรรูปน้ำยางพารา แบ่งขั้นตอนย่อยออกเป็น 17 ขั้นตอน ได้แก่

(1) ปล่อน้ำยางลงตะก (2) หยิบน้ำกรด (3) เติมน้ำกรด (4) กวนน้ำยางพารา (5) ตักฟองน้ำยางออก (6) หยิบแผ่นเสียบ (7) ใส่แผ่นเสียบ (8) พักน้ำยางพาราทิ้งไว้ให้แข็งตัว (9) ถอดแผ่นเสียบ (ยางพารารออยู่ในตะก) (10) ยกยางพาราไว้บนราง (11) เคลื่อนยางพาราไปที่เครื่องอัด (12) บ้อนยางพาราเข้าเครื่องรีด (13) วางยางพาราเพื่อรอไปตาก (14) เคลื่อนยางพาราไปตาก (ยางพารารออยู่ที่แท่นวางยาง) (15) ยกยางตากบนเก๊ะ (16) ลากเก๊ะออกไปตากแดด (17) ตากแดดทิ้งไว้

3) ขั้นตอนการอบแห้งแผ่นยาง แบ่งขั้นตอนย่อยออกเป็น 5 ขั้นตอน ได้แก่

(1) นำแผ่นยางพารามาหน้าโรงอบ (แผ่นยางพารารออยู่ที่จุดตากแดด) (2) หยิบไม้แทรกแผ่นยางพารา (ไม้แทรกรออยู่ข้างโรงอบ) (3) แทรกแผ่นยางพารา (4) นำแผ่นยางพาราเข้าโรงอบ (5) อบแผ่นยางพารา (แผ่นยางพาราอบแห้ง (ADS))

4) ขั้นตอนการคัดแยกและบรรจุผลิตภัณฑ์ แบ่งขั้นตอนย่อยออกเป็น 14 ขั้นตอนได้แก่ (1) นำแผ่นยางออกจากโรงอบไปไว้หน้าโรงงาน (แผ่นยางพาราอยู่ในโรงอบ) (2) นำแผ่นยางออกจากกะ (3) ยกแผ่นยางมาตัดแต่ง (4) ตัดแต่งแผ่นยางพารา (5) แยกประเภทแผ่นยางพารา (6) นำแผ่นยางพาราไปซัง (7) ซังแผ่นยางพารา (8) เคลื่อนแผ่นยางพาราลงถัง (9) นำแผ่นยางพาราลงถัง (10) นำแผ่นยางพาราเข้าเครื่องอัด (11) อัดแผ่นยางพารา (12) เคลื่อนยางพาราไปใส่ถุง (13) ใส่ถุงและปิดผนึกถุง (14) นำไปไว้ในคลัง

จากขั้นตอนต่าง ๆ ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลของเวลาของกระบวนการผลิตแผ่นยางพารา โดยทำการจับเวลาด้วยการอ้างอิงวิธีการ [3] เปิดตาราง Maytag และวิธีพิสัย (Range) เพื่อหาจำนวนครั้งในการจับเวลาที่เหมาะสม

4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

1) การเก็บรวบรวมข้อมูลของเวลาในกระบวนการผลิตแผ่นยางพารา เพื่อให้ได้เวลามาตรฐาน [4] ของแต่ละขั้นตอน จากนั้นนำมาวิเคราะห์กระบวนการผลิตแผ่นยางพารา โดยใช้แผนภูมิกระบวนการไหล เพื่อให้สามารถเห็นภาพรวมของกระบวนการผลิตแผ่นยางพาราได้ชัดเจนยิ่งขึ้น แผนภูมิการไหลของขั้นตอนกระบวนการผลิตแผ่นยางพารา สามารถพิจารณาได้ดัง Table 1-4 และเมื่อ

วิเคราะห์ทั้ง 4 ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการผลิตแผ่นยางพาราสามารถสรุปได้ดัง Table 5

2) ผลการหาค่าแท็คไทม์ โดยที่ในหนึ่งรอบกระบวนการผลิตแผ่นยางพารา พนักงานใช้เวลาในการทำงานรวม 7 ชั่วโมง หรือเท่ากับ 25,200 วินาที จากการเก็บข้อมูลของบริษัทในปี 2561 ทำการขายแผ่นยางพาราไปทั้งหมด 123 ตัน/ปีหรือเท่ากับ 123,000 กิโลกรัม/ปี และในหนึ่งปีพนักงานทำงานไปทั้งหมด 197 วัน เพราะฉะนั้นความต้องการแผ่นยางพาราต่อวันเท่ากับ 624.37 กิโลกรัมต่อวัน ดังนั้นจะได้ ค่าแท็คไทม์ เท่ากับ 40.36 วินาที เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่าง ค่าแท็คไทม์กับเวลาของขั้นตอนย่อยที่ได้จากกระบวนการไหลทั้ง 4 ขั้นตอนหลัก เพื่อพิจารณาว่ามีงานย่อยใดบ้างที่ใช้เวลาในการทำงานเกินกว่า ค่าแท็คไทม์ ยกตัวอย่างเช่น ใน Table 1 การเตรียมน้ำยางสด แบ่งออกเป็น 8 ขั้นตอนย่อยพบว่า ขั้นตอนย่อยที่ 7 การเติมน้ำเปล่าลงบ่อรวมใช้เวลาในการทำงานเกิน ค่าแท็คไทม์ ซึ่งแสดงว่าขั้นตอนย่อยดังกล่าวเป็นสาเหตุทำให้เกิดความล่าช้าในกระบวนการผลิตแผ่นยางพารา เป็นต้น

จากการเปรียบเทียบขั้นตอนในกระบวนการผลิตแผ่นยางพาราทั้งหมด สามารถสรุปขั้นตอนย่อยที่เป็นสาเหตุให้เกิดความล่าช้าในกระบวนการผลิตแผ่นยางพาราได้ดัง Table 6

Table 1. The flow process chart of preparation of field latex

Flow Process chart						
Chart NO. 1 Sheet NO. 1	Summary					
	Activity		Present	Propose	Saving	
Activity : Preparation of field latex Method : Present / Proposes	Operation	○	4	-	-	
	Transport	➡	3	-	-	
	Delay	D	-	-	-	
	Inspection	□	1	-	-	
	Storage	▽	-	-	-	
	Distance (M.)		2.6	-	-	
	Time (Minute)		2.50	-	-	

Process Description	Time (In Second)	Distance (Meter)	Chart Symbols					NO. of Employees (person)
			○	➡	D	□	▽	
1. Lift field latex to weigh	6.05	1.5	○	➡	D	□	▽	2
2. Field latex scale	19.42	-	○	➡	D	■	▽	2
3. Add field latex to filter	03.53	0.8	○	➡	D	□	▽	2
4. Field latex filter	20.19	-	●	➡	D	□	▽	2
5. Lift field latex into the tank	12.52	0.3	○	➡	D	□	▽	2
6. Pour field latex into the tank	21.77	-	●	➡	D	□	▽	2
7. Add water to the tank	41.65	-	●	➡	D	□	▽	1
8. Stir latex together	24.91	-	●	➡	D	□	▽	1
Total	150.04	2.6						

Table 2. The flow process chart of the coagulation of field latex

Flow Process chart								
Chart NO. 2 Sheet NO. 1	Summary							
	Activity		Present	Propose	Saving			
Activity : The coagulation of field latex Method : Present /Proposes	Operation	○	8	-	-			
	Transport	➡	8	-	-			
	Delay	◐	4	-	-			
	Inspection	◻	-	-	-			
	Storage	▽	-	-	-			
	Distance (M.)		23.5	-	-			
	Time (Minute)		1266.35	-	-			
Process Description	Time (In Second)	Distance (Meter)	Chart Symbols					NO. of Employees (person)
1. Letting latex into Takong	26.42	2.2	○	➡	◐	◻	▽	2
2. Pick up acid	15.02	4.6	○	➡	◐	◻	▽	2
3. Add acid	11.93	-	●	➡	◐	◻	▽	
4. Stirring up rubber	28.23	-	●	➡	◐	◻	▽	
5. Scoop out the sponge	14.92	-	●	➡	◐	◻	▽	
6. Pick up the plate	11.32	3.7	○	➡	◐	◻	▽	
7. Insert plate	66.33	-	●	➡	◐	◻	▽	2
8. Leave it in Takong to let the rubber hardens	64,800	-	○	➡	●	◻	▽	
9. Remove the plate	44.92	-	●	➡	◐	◻	▽	2
			○	➡	●	◻	▽	2
10. Put the latex on the grille	16.84	0.8	○	➡	◐	◻	▽	2
11. Move the latex to the rolling machine	14.99	0.5	○	➡	◐	◻	▽	2
12. Feed the latex into the rolling machine	11.24	-	●	➡	◐	◻	▽	2
13. Place the latex	18.38	-	○	➡	●	◻	▽	1
14. Move the latex to dry	60.93	6.7	○	➡	◐	◻	▽	2
			○	➡	●	◻	▽	
15. Raise the latex to dry on top	24.91	2.5	○	➡	◐	◻	▽	2
16. Hand the latex on top	38.14	-	●	➡	◐	◻	▽	2
17. Lift the grill out in the sun	14.37	4	○	➡	◐	◻	▽	2
18. Rest to dry	10,800	-	●	➡	◐	◻	▽	-
Total	75,980.75	23.5						

Table 3. The flow process chart of drying rubber sheet

Flow Process chart					
Chart NO. 3 Sheet NO. 1	Summary				
	Activity		Present	Propose	Saving
Activity : Drying rubber sheet	Operation	○	2	-	-
Method Present /Proposes	Transport	⇒	3	-	-
	Delay	D	2	-	-
	Inspection	□	-	-	-
	Storage	▽	-	-	-
	Distance (M.)		20.1	-	-
	Time (Minute)		5,041.32	-	-

Process Description	Time (In Second)	Distance (Meter)	Chart Symbols					NO. of Employees (person)
			○	⇒	D	□	▽	
1. Bring the rubber sheet in front of the drying room (Rubber sheet waiting at the sun-drying point)	21.65	17	○	⇒	D	□	▽	1 คน
			○	⇒	●	□	▽	1 คน
2. Picked up the wood inserted (Wood inserted beside the drying room)	04.95	1.8	○	⇒	D	□	▽	1 คน
			○	⇒	●	□	▽	1 คน
3. Insert rubber sheet	09.99	-	●	⇒	D	□	▽	1 คน
4. Bringing the rubber sheet into the drying room	42.57	1.3	○	⇒	D	□	▽	1 คน
5. To bake rubber sheet	302,400	-	●	⇒	D	□	▽	-
Total	302,479.16	20.1						

Table 4. The flow process chart of sorting and packing process

Flow Process chart								
Chart NO. 4 Sheet NO. 1		Summary						
		Activity	Present	Propose	Saving			
Activity : Sorting and packing process	Operation		4	-	-			
	Transport		7	-	-			
	Delay		1	-	-			
	Inspection		2	-	-			
	Storage		1	-	-			
	Distance (M.)		31.5	-	-			
	Time (Minute)		5.53	-	-			
Process Description	Time (In Second)	Distance (Meter)	Chart Symbols					NO. of Employees (person)
1. Remove the rubber sheet from the drying room and place it in front of the factory. (Rubber sheet is waiting in the drying room)	77.29	1.3						2
2. Take the rubber sheet out from the grill	19.43	-						2
3. Lift the rubber sheet to trim	07.22	17						2
4. Trim the rubber	13.56	-						2
5. Rubber sheet classification	07.91	0.5						1
6. Take the rubber sheet to weigh	10.20	1						1
7. Weighing rubber sheet	06.66	-						1
8. Move the rubber sheet into the tank	10.55	5.8						1
9. Put the rubber sheet into the tank	62.40	-						1
10. Bring the rubber sheet into the compactor	08.88	0.5						2
11. Compression of rubber sheets	12.77	-						1
12. Moved the rubber wrapped in a bag	07.80	3.4						1
13. Wrap the rubber sheet with a bag.	70.49	-						1
14. Put it in the warehouse	16.80	2						1
Total	331.96	31.5						

Table 5. The rubber sheet production process

Process	Time (In second)	Distance (Meter)	Working Process
1. Preparation of field latex	150.04	2.6	8
2. The coagulation of field latex	75,980.75	23.5	17
3. Drying rubber sheet	302,479.16	20.1	5
4. Sorting and packaging	331.96	31.5	14
Total	378,941.91	75.4	42

Table 6. Sub-step delay

Process	Sub-process
1. Preparation of rubber	- The process of adding water to the tank - Steps to insert the plug
2. Transformation of rubber	- Steps for removing the plug - The process of moving the rubber to dry
3. Baking rubber sheet	- The process of bringing the rubber sheet into the drying room - The process of removing the rubber sheet from the dryer to the factory
4. Sorting and packaging	- The process of lifting the rubber sheet into the tank - The process of wrapping a rubber sheet with a bag

3) ผลการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา จากงานย่อยที่ทำให้เกิดปัญหา ความล่าช้าในกระบวนการผลิตแผ่นยางพารา จึงนำงานย่อยดังกล่าวมาวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่แท้จริงโดยใช้ [5] แผนผังก้างปลา (Cause and Effect Diagram) สามารถสรุปดังแสดงใน Figure 1

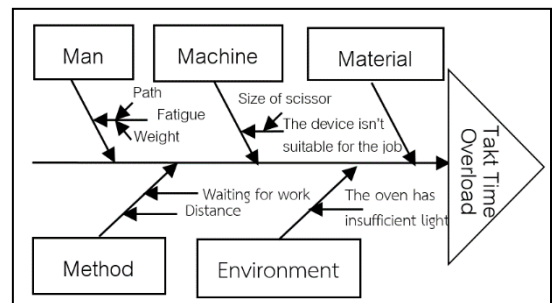


Figure 1. Fishbone diagram of the rubber sheet

4.3 แนวทางการปรับปรุงกระบวนการผลิตแผ่นยางพารา

การลดความสูญเสียเปล่าโดยใช้หลักการ ลดความสูญเสียเปล่า [6] เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงกระบวนการผลิตแผ่นยางพารา สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ขั้นตอนการเตรียมน้ำยางสด

ขั้นตอนการเติมน้ำเปล่าลงบ่อรวม (S) กระบอมีขนาดเล็ก ทำให้ต้องเติมน้ำหลายรอบ จะเห็นได้ว่าอุปกรณ์ที่ใช้ไม่มีความเหมาะสม ทำให้ใช้ระยะเวลาในการทำงานนาน ควรให้มีการปรับเปลี่ยนจากกระบอเป็นถังใส่น้ำขนาดใหญ่สำหรับการใส่น้ำเปล่า

ขั้นตอนการใส่แผ่นเสียบ (R) เกิดจากความเมื่อยล้าของพนักงานเมื่อทำงานเป็นเวลานาน ส่งผลให้เกิดการทำงานล่าช้า ควรให้มีการ

เปลี่ยนตัวพนักงานจากเดิมที่พนักงานหนึ่งคนทำหน้าที่ทั้งยกแผ่นเสียบและใส่แผ่นเสียบ ให้เป็นพนักงานคนหนึ่งคอยยกแผ่นเสียบ แล้วมีพนักงานอีกคนหนึ่งคอยใส่แผ่นเสียบ

2. ขั้นตอนการจับตัวน้ำยางสด

ขั้นตอนการถอดแผ่นเสียบ (S) ควรให้พนักงานชายทำงานในขั้นตอนนี้แทนเพราะพนักงานชายจะมีแรง ที่มากกว่าพนักงานหญิง จะทำให้สามารถดึงแผ่นเสียบออกมาได้ง่ายกว่า

ขั้นตอนการเคลื่อนยางพาราไปตาก (S) ควรให้มีการปรับปรุงเส้นทางในการเคลื่อนย้าย เพื่อให้มีระยะทางในการเคลื่อนย้ายสั้นที่สุด

3. ขั้นตอนการอบแผ่นยางพารา

ขั้นตอนการนำแผ่นยางพาราเข้าโรงอบ (S) ควรให้มีการปรับเปลี่ยนหลังคาโรงอบให้มีการนำหลังคาที่แสงสว่างสามารถเข้าถึงได้มาใช้

ขั้นตอนการนำแผ่นยางออกจากโรงอบไปไว้หน้าโรงงาน (S) ควรให้มีการปรับปรุงเส้นทางในการเคลื่อนย้าย เพื่อลดระยะทางในการเคลื่อนย้าย

4. ขั้นตอนการคัดแยกและบรรจุภัณฑ์

ขั้นตอนการยกแผ่นยางพาราลงถัง (S) พนักงานต้องใช้แรงในการยก ทำให้เกิดความเมื่อยล้าเพื่อให้ขั้นตอนการทำงานเร็วขึ้นควรปรับเปลี่ยนวิธีการโดยใช้รถเข็น มาช่วยเพื่อใช้ในการวางและเคลื่อนย้ายแผ่นยางพาราที่จะนำไปลงถัง

ขั้นตอนการห่อแผ่นยางพาราด้วยถุง (S) ควรปรับเปลี่ยนกรรไกรให้มีขนาดใหญ่ขึ้นจากเดิมเพื่อให้ทำงานได้ง่ายขึ้น

อภิปรายผล

การศึกษาระบบโลจิสติกส์ยางพารา [8] มีการศึกษาแนวทางการพัฒนาห่วงโซ่อุปทานและโลจิสติกส์อุตสาหกรรมยางพารา [9] ได้วิจัยเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตน้ำดื่มด้วยแนวคิดแบบลีน ซึ่งเกิดความสูญเสียเปล่าในการทำงาน จึงได้ใช้เป็นข้อมูลในการศึกษากระบวนการผลิตแผ่นยางพารา เมื่อทำการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการจับเวลา ซึ่งได้นำหลักการคำนวณหาจำนวนครั้งในการจับเวลา และหลักการหาเวลามาตรฐาน (Standard Time) [2] โดยการนำเวลาปกติมาคำนวณร่วมกับเวลาเผื่อ ซึ่งในกรณีที่ที่มีการรอคอยจะไม่คิดเวลาเพื่อรวมเข้าไป ดังนั้นแสดงว่าเวลามาตรฐานของงานยอยนั้น ๆ เท่ากับเวลาปกติไปโดยปริยาย จากนั้นนำข้อมูลเวลามาตรฐานไปใช้ในขั้นตอนยอย โดยเริ่มจากการนำแผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart) [10] ซึ่งได้นำเทคนิคมาใช้ในการวิเคราะห์การวางแผนกระบวนการผลิตของบริษัท ทำให้เห็นเวลาทั้งหมดในขั้นตอนการผลิตยางพารา และความล่าช้าในกระบวนการ นำหลักการคำนวณค่าแท็คไทม์ [2] มาใช้เพื่อกำหนดเวลาในการทำงานของแต่ละขั้นตอนยอย คือ 40.36 วินาที/กิโลกรัม พบว่ามี 8 ขั้นตอนยอยที่ใช้เวลาในการทำงานเกิน ค่าแท็คไทม์ ทำให้กระบวนการผลิตแผ่นยางพาราเกิดปัญหาความล่าช้า และนำแผนผังก้างปลา (Cause and Effect Diagram) มาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นทั้ง 8 ขั้นตอนในกระบวนการผลิตแผ่นยางพารา ข้อดีคือพบว่าสาเหตุของปัญหาที่แท้จริงมาจากระยะเวลาการ

ทำงานเกิดค่าแท็คโหม์ อันได้แก่ ขั้นตอนการเตรียมน้ำยางพาราในการเติมน้ำเปล่าลงบ่อรอ มีการรอคอยเกิดขึ้นจากที่ต้องรอน้ำที่ใสในกระป๋องจากสายยางให้เต็มก่อนจึงทำการเทน้ำลงบ่อรวม เป็นต้น และนำหลักการลดความสูญเปล่ามาเสนอแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตแผ่นยางพาราใหม่ หลักการ ECRS ซึ่งข้อดีของงานวิจัยนี้คือ นำมาใช้เป็นแนวทางในการลดความสูญเปล่าได้ เช่นเดียวกัน [1],[7],[10] เช่น S (Simplify) คือการทำให้ง่ายขึ้น เสนอแนวทางโดยเปลี่ยนจากกระป๋องเป็นถังขนาดใหญ่สำหรับการใส่น้ำ เพื่อลดเวลา ทำการเสนอการปรับลดระยะทางในการขนย้ายวัตถุดิบให้สั้นลง เพื่อลดเวลาในการขนย้าย และ R (Rearrange) คือการจัดเรียงใหม่ เช่น ขั้นตอนการถอดแผ่นเสียบ เสนอวิธีการจัดเรียงพนักงานใหม่ โดยให้พนักงานชายทำงานแทนพนักงานหญิง ทำให้ขั้นตอนการดึงแผ่นเสียบออกมาได้ง่ายกว่า เป็นต้น

สรุปผลการวิจัย

การวิเคราะห์กระบวนการผลิตแผ่นยางพารา กรณีศึกษาสวนหลวงราชไมตรี จังหวัดจันทบุรี วัตถุประสงค์ในการศึกษากระบวนการผลิตแผ่นยางพารา เพื่อศึกษากระบวนการผลิตแผ่นยางพารา วิเคราะห์และเสนอเป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้กับบริษัท กระบวนการผลิตแผ่นยางพารามีขั้นตอนการทำงานทั้งหมด 44 ขั้นตอน ซึ่งสามารถแบ่งขั้นตอนการทำงานได้เป็น 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ ขั้นตอนการเตรียมน้ำยางสด ขั้นตอนแปรรูปน้ำยางพารา ขั้นตอนนำแผ่น

ยางพาราเข้าโรงอบ ขั้นตอนการคัดแยกและบรรจุผลิตภัณฑ์ โดยสามารถวิเคราะห์ปัญหาได้จากแผนภูมิกระบวนการไหล และลดความสูญเปล่า โดยหลักการ ลดความสูญเปล่า ได้ปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ จัดคน รวมถึงเส้นทางการเคลื่อนย้ายให้เหมาะสมมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี และคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี รวมถึงคุณประยุทธ์ บุญศรี ผู้บริหารบริษัท สวนหลวงราชไมตรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ได้เข้าไปทำการศึกษาระบวนการผลิตแผ่นยางพารา และขอขอบคุณ คุณวิทยา แสงดี ผู้จัดการบริษัทที่ให้ข้อมูลของกระบวนการผลิตแผ่นยางพาราเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

1. พงศ์เทพ งามทวีรัตน์ 2557. การวิเคราะห์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต: กรณีศึกษา บริษัทไฮยาเลนซ์ ไทยแลนด์ จำกัด. ปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต คณะบริหารธุรกิจ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 46-52.
2. คมกริช เมืองมูล นัฏฐพร กาแด และ มนินทรา ใจคำปัน. 2559. การศึกษาเวลามาตรฐานในการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก: กรณีศึกษา ห้างหุ้นส่วนจำกัด. เรื่องชนะแพ็คกิ้ง. วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต. 6(1): 107-120.

3. มนตรี ชีวานันท์กุล และอรรถกร เก่งพล. 2556. การพัฒนาโปรแกรมจัดการฐานข้อมูลเพื่อช่วยลดเวลาในการค้นหาข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลและจัดทำรายงาน กรณีศึกษา: บริษัท บรรจู่และส่งออกข้าวสารแห่งหนึ่ง. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
4. จุลลดา จุลพันธ์ และฐปณัฐ วสุนธราสุข. 2553. การศึกษาประสิทธิภาพด้านเวลาของช่างในกระบวนการเปลี่ยนเครื่องยนต์. ปริญญาวิทยาสตาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการบิน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 47-50.
5. เอลวิล สินธารถอง. 2548. การศึกษาปัญหาเพื่อการจัดการระบบการทำงานของบริษัท AM จำกัด ให้มีประสิทธิภาพ. หลักสูตรบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย. 35-37.
6. จักรกฤษณ์ ชัยยะลา 2557. การพัฒนาประสิทธิภาพกระบวนการผลิตกางเกงในโรงงานอุตสาหกรรมเสื้อผ้าสำเร็จรูป กรณีศึกษาบริษัท นอร์ธเทิร์น แอพไทร์ จำกัด", วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง. 7(1). 1-25.
7. ลัดดาวัลย์ นันทจินดา 2559. การประยุกต์ใช้ ECRS กับบริษัทระบบขนส่ง Milk run กรณีศึกษา: บริษัท ABC Transport จำกัด. คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
8. ลัดดาวัลย์ นันทจินดา 2559. การประยุกต์ใช้ ECRS กับบริษัทระบบขนส่ง Milk run กรณีศึกษา: บริษัท ABC Transport จำกัด. คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
9. คลอเคลีย วจนะวิชากร, และปานจิต ศรีสวัสดิ์. 2557. การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตน้ำดื่มด้วยแนวคิดแบบลีน: กรณีศึกษาโรงงานผลิตน้ำดื่มธารทิพย์. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี.
10. วรจัน อิมโพ และคณิศร ภูนิคม. 2560. การปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตด้วยเทคนิคการปรับปรุงงานกรณีศึกษา: โรงงานน้ำดื่มใบไม้เขียว. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
11. เบญญทิพย์ อินทศิริ และวันชัย รัตนวงษ์. 2559. การเพิ่มประสิทธิภาพและมูลค่าของยางพารา กรณีศึกษาตำบลนาเกาะ อำเภอดงขาว จังหวัดนครศรีธรรมราช. วิทยานิพนธ์บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย