

การลดสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องในกระบวนการทาสีผนังภายนอก บนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์

บรรณา บัณฑิต สุจินต์ ธงถาวรสุวรรณ และ วิบูลย์ ตั้งวัชรธรรมกุล*

บทคัดย่อ

แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ถูกนำมาใช้ในงานก่อสร้างอาคารมากขึ้นเพื่อลดระยะเวลาและควบคุมคุณภาพงานก่อสร้างให้เป็นไปตามมาตรฐาน อย่างไรก็ตามแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ถูกทาสีแล้วมักพบการแตกร้าวบนชั้นสี ซึ่งเป็นข้อบกพร่องที่ไม่สามารถยอมรับได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อลดผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทสีแตกร้าวในกระบวนการทาสีบนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ จากการศึกษาพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดรอยแตกบนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ทาสี คือ ความชื้นของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ ความโค้งงอของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ และความหนาของชั้นสีที่ทาบนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ เมื่อทำการหาสภาวะในการทาสีที่ก่อให้เกิดรอยแตกต่ำที่สุดภายใต้เงื่อนไขที่เป็นไปได้ในกระบวนการผลิต พบว่ากระบวนการทาสีต้องถูกควบคุมให้มีความชื้นของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ 11.5%RH ความโค้งงอของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ 0 มม. และความหนาของชั้นสีจริงที่ทาบนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ 3 มม. ด้วยการใช้สภาวะดังกล่าวส่งผลให้สัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทสีแตกร้าวบนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ลดลงจาก 4.84% เป็น 1.17%

คำสำคัญ : แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์, กระบวนการทาสี, การก่อสร้าง, ผลิตภัณฑ์บกพร่อง, การหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด

Defect Reduction in Painting of Exterior Wall Panel on Fiber Cement Board

Buncha Buathuan Sujin Tongthavornsuwan and Viboon Tangwarodomnukun*

Abstract

Fiber cement board has been increasingly used in the building construction in order to reduce the construction time and to control the building quality according to the required standard. However, the color cracking of painted fiber cement board is usually found in the production, and it is totally unacceptable. Hence, this research aims at decreasing the defective products due to the color cracking in the painting of fiber cement board. According to the study, the humidity of fiber cement, bending of fiber cement panel and thickness of top coat were the main factors affecting the color cracking on the painted fiber cement panel. By optimizing the painting process under the manufacturing constraints, the color cracking can be minimized when the humidity of fiber cements was 11.5 %RH, the warp of fiber cement was 0 mm and the thickness of top coat was 3 mm. With the use of this optimum condition, the proportion of defective products due to color cracking can be reduced from 4.84% to 1.17%.

Keywords: Fiber cement panel, Painting process, Construction, Defective product, Optimization

Department of Production Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi (KMUTT)

* Corresponding author, E-mail: viboon.tan@kmutt.ac.th Received 4 June 2015, Accepted 28 March 2016

1. บทนำ

การก่อสร้างอาคารในปัจจุบันมีการแข่งขันที่สูงมากขึ้น ทั้งการแข่งขันในด้านรูปปลักษณ์ภายนอก การประหยัดพลังงาน [1] การควบคุมเวลาในการก่อสร้างให้แล้วเสร็จตามเป้าหมายเพื่อให้สามารถส่งมอบงานได้ทันตามกำหนด และการควบคุมคุณภาพของงานให้ได้ตามมาตรฐาน ปัญหาเรื่องการก่อสร้างที่หน้างานส่วนใหญ่มักเกี่ยวข้องกับ การควบคุมเวลาในการก่อสร้างให้เสร็จตามเป้าหมาย ปัญหาเรื่องชิ้นงานที่ไม่ได้คุณภาพอันเนื่องมาจากการใช้วัสดุที่ไม่ได้มาตรฐาน อีกทั้งปัจจัยเรื่องปัญหาแรงงานที่ดำเนินงานไม่ตรงตามแผนที่กำหนดและจำนวนช่างฝีมือที่มีความรู้ความสามารถเฉพาะด้านมีจำนวนไม่เพียงพอ ทั้งหมดนี้ล้วนเป็นสาเหตุที่ทำให้การส่งมอบงานล่าช้าและไม่ได้คุณภาพ ส่งผลให้เกิดการแก้ไขซ่อมแซมงานอยู่บ่อยครั้ง

ในปัจจุบันนี้ อุตสาหกรรมการผลิตวัสดุก่อสร้างได้พยายามผลักดันให้มีการผลิตและเตรียมชิ้นงานจากโรงงานอุตสาหกรรมก่อนจะนำไปประกอบเป็นอาคารที่หน้างานเพื่อเป็นการลดเวลาการทำงานที่หน้างานและควบคุมคุณภาพของชิ้นงานรวมถึงไปถึงอาคารที่กำลังก่อสร้างให้ได้ตามมาตรฐาน การผลิตบ้านแบบ โมดูลาร์ (Modular) เป็นนวัตกรรมใหม่ในประเทศไทยที่มีการสร้างบ้านด้วยโครงสร้างเหล็กและติดตั้งชิ้นส่วนต่างๆ ของบ้าน เช่น ผนังภายนอก ผนังภายใน หน้าต่าง แผ่นพื้น แผ่นฝ้า ระบบไฟฟ้า และระบบประปามาจากโรงงานอุตสาหกรรม ส่งผลให้การทำงานที่หน้างานสามารถควบคุมคุณภาพของงานโดยรวมได้

แผ่นผนังภายนอกหรือ Exterior Wall ประเภททาสีเป็นส่วนประกอบหนึ่งที่สำคัญของการผลิตบ้าน โมดูลาร์จากโรงงานอุตสาหกรรม จากข้อมูลของบริษัท

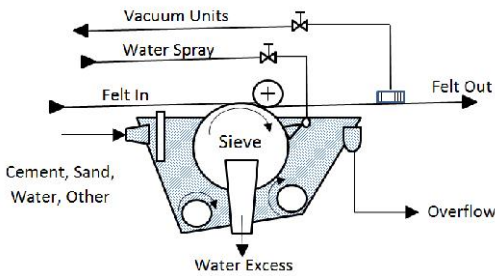
กรณีศึกษาที่ทำการผลิตแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์สำหรับใช้เป็นผนังภายนอก พบว่ากระบวนการทาสีผนังภายนอกเริ่มตั้งแต่การเตรียมแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ การทาสีรองพื้น (Primer) และการทาสีจริง (Top Coat) เพื่อให้ได้สีและลวดลายตามที่ต้องการ [2] การทาสีผนังภายนอกนี้ นอกจากจะเพื่อให้เกิดความสวยงามแล้ว ยังมีผลในเรื่องการประหยัดพลังงานของอาคารอีกด้วย [3, 4] อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันพบว่าปัญหาด้านการแตกร้าวของชั้นสีจริงที่ทำการทาสีบนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์มีสัดส่วนข้อบกพร่องเป็นจำนวนมาก ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการผลิตของบริษัทกรณีศึกษามากที่สุด งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อลดสัดส่วนผลิตภัณฑ์ข้อบกพร่องชนิดสีแตกร้าวในกระบวนการทาสีบนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ด้วยวิธีการทดลองทางสถิติเชิงแฟกทอเรียล ผลการศึกษาที่ได้จากงานวิจัยนี้ นอกจากจะช่วยลดจำนวนผลิตภัณฑ์ข้อบกพร่องในการทาสีแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์แล้วยังทำให้ทราบถึงปัจจัยและสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อการแตกร้าว ซึ่งจะเป็ประโยชน์ต่อการออกแบบและควบคุมกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2. การผลิตแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์และปัญหาที่เกิดขึ้น

2.1 กระบวนการผลิตแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์

การผลิตแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์เป็นการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยมีส่วนผสมของวัตถุดิบต่างๆ เช่น ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เส้นใยเซลลูโลส ทรายซิลิกา และน้ำ เป็นต้น กระบวนการผสมอาศัยการกรองส่วนผสมต่างๆ ในถึงส่วนผสมผ่านการกดแช่อยู่ในส่วนผสมและผลักดันวัตถุดิบมาติดกับตะแกรงลวด

ประกอบกับแรงดูดดึงทำให้ลูกตะแกรงหมุนพา ส่วนผสมไปติดกับผ้าสักหลาด ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ระบบการกรองส่วนผสมผ่านตะแกรงลวด

เพื่อให้ได้ชั้นความหนาของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ตามต้องการ กระบวนการขึ้นรูปจะอาศัยการม้วนลูกกลิ้งหรือใช้อุปกรณ์ม้วนทำความหนา หากต้องการความหนามากก็จะทำการม้วนหลายรอบ เมื่อได้ความหนาของแผ่นงานตามต้องการแล้ว ชั้นงานจะถูกนำไปบอบไอน้ำเพื่อไล่ความชื้นและตัดเป็นแผ่น [5] แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์จะถูกนำไปยึดกับโครงเหล็กด้วยตะปูเพื่อเสริมความแข็งแรงก่อนจะถูกส่งไปยังกระบวนการทาสีต่อไป

2.2 กระบวนการทาสีบนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์

ก่อนเริ่มกระบวนการทาสีบนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์จำเป็นต้องมีการเตรียมแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ให้อยู่ในสภาพพื้นผิวที่เรียบไม่ขรุขระหรือไม่มีผิวที่หยาบลึกพร้อมสำหรับการทาสีด้วยกระบวนการขัดพื้นผิวโดยใช้กระดาษทรายเบอร์ 400 ให้ทั่วทั้งแผ่น หลังจากนั้นทำการเป่าลมบนผิวชั้นงานเพื่อไล่ผงฝุ่นที่เกิดจากการขัดออกไปก่อนทำการทาสีรองพื้น (Primer) บนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ โดยสีรองพื้นที่ใช้ในการทาควรมีคุณสมบัติเป็น โพลีเมอร์เพื่อช่วยเพิ่มความสามารถใน

การยึดเกาะและปกปิดรอยแตกขนาดเล็กบนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ การทาสีกระทำด้วยการใช้แปรงทาสีชนิดขนสั้นความยาว 6 มม. ทำการทำให้ทั่วแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์จำนวน 1 รอบ ทั้งด้านผิวหน้าแผ่นและบริเวณขอบของแผ่น หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้แห้ง 3 ชั่วโมงครึ่งก่อนนำไปฉาบปิดรอยหัวตะปูและรอยแตกร้าวขนาดเล็กต่างๆ ด้วยวัสดุ Nail Putty [6] อย่างไรก็ตามถ้ารอยแตกมีความยาวเกิน 10 ซม. แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์นี้จะถือว่าเป็นของเสีย และไม่ถูกนำไปทาสีจริงในขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนสุดท้ายคือการทาสีจริง (Top Coat) บนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ซึ่งจะทำการทาสีด้วยลูกกลิ้งขนาดความยาวขนแปรง 13 มม. หลังจากทาสีรอบแรกเสร็จ สีจะถูกปล่อยให้แห้ง 1 ชั่วโมง จากนั้นชั้นงานจะถูกทาสีซ้ำอีก 1 รอบให้ทั่วทั้งแผ่นเพื่อให้เกิดลวดลายและปล่อยให้สีแห้งตัว 12 ชั่วโมง ก่อนที่จะถูกตรวจสอบด้วยวิธีการสัมผัสพื้นผิวชั้นงานด้วยปลายนิ้ว ชั้นงานที่แห้งตัวแล้วเนื้อสีต้องแห้งสนิทไม่ติดปลายนิ้วมือจึงจะสามารถนำไปใช้งานในสถานถัดไปได้

2.3 ปัญหาผลิตภัณฑ์บกพร่องบนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ชนิดทาสี

2.3.1 ข้อมูลผลิตภัณฑ์บกพร่อง

จากข้อมูลผลิตภัณฑ์บกพร่องที่เกิดขึ้นบนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ความหนา 12 มม. ชนิดทาสี ของบริษัท ภูมิศึกษา พบว่าตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2557 ถึงเดือนสิงหาคม 2557 มีจำนวนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์เสียหาย 498 แผ่นจากจำนวนการผลิตทั้งหมด 8,057 แผ่นหรือคิดเป็นสัดส่วน 6.18% ของยอดการผลิตทั้งหมด ปัญหาผลิตภัณฑ์บกพร่องที่เกิดขึ้นบนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์

ชนิดทาสีพบว่า มี 5 สาเหตุหลัก คือ ปัญหาการชนกระแทก ปัญหาสีไม่สม่ำเสมอ ปัญหาสีแตกร้าว ปัญหาสีบวมพอง และปัญหาขนาดแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่นำมาใช้ผิดขนาด โดยมีสัดส่วนที่เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการทาสีจำนวน 390 แผ่น จาก 8,057 แผ่น หรือคิดเป็น 4.84% จากข้อมูลที่ได้เก็บได้นั้นพบว่า ปัญหาการแตกร้าวของชั้นสีเป็นปัญหาที่มีปริมาณสัดส่วนมากที่สุดถึง 259 แผ่น จากจำนวน 489 แผ่น คิดเป็น 52% ของสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องทั้งหมดดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องที่เกิดบนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ขนาด 12 มม. ชนิดทาสี

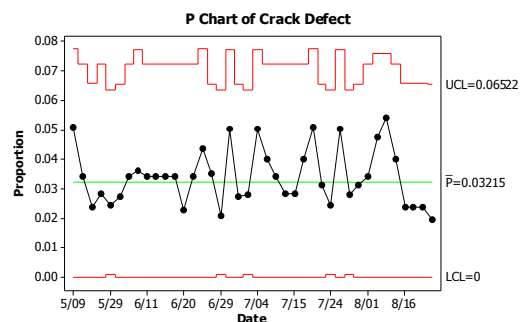
ปัญหา	จำนวนชิ้นงานบกพร่อง	ร้อยละสัดส่วนชิ้นงานบกพร่อง
1.ชนกระแทก	69	0.86
2.สีไม่สม่ำเสมอ*	99	1.23
3.สีแตกร้าว*	259	3.21
4.สีบวม*	32	0.40
5.ขนาดผิด	39	0.48
รวม	498	6.18

ยอดการผลิตรวม 8,057 แผ่น

*ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการทาสี คิดเป็นสัดส่วน 4.84%

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติ [7] ดังแสดงในรูปที่ 2 พบว่าข้อมูลที่ได้เก็บได้นั้นอยู่ภายใต้ช่วงควบคุม $\pm 3\sigma$ ของขอบเขตความเชื่อมั่นบน (UCL) และขอบเขตความเชื่อมั่นล่าง (LCL) รวมทั้งข้อมูลมีการกระจายตัวแบบสุ่มจึงสรุปได้ว่าการเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องมีเสถียรภาพเพียงพอต่อการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการวิเคราะห์กระบวนการผลิตแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ชนิดทาสีพบว่า การแตกร้าวของชั้นสีพบได้ใน 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน และขั้นตอนการนำแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ไปใช้งานบนสายการประกอบผนังภายนอก เมื่อพิจารณาข้อมูลความเสียหายที่เกิดขึ้นพบว่า ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ชนิดทาสีมีจำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องมากถึง 231 แผ่น หรือคิดเป็นสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องทั้งหมด 89.19% จากผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทสีแตกร้าวทั้งหมด 259 แผ่น ซึ่งดังแสดงในตารางที่ 2 ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่การลดปัญหาสีแตกร้าวบนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่เกิดจากขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานเป็นหลัก



Tests performed with unequal sample sizes

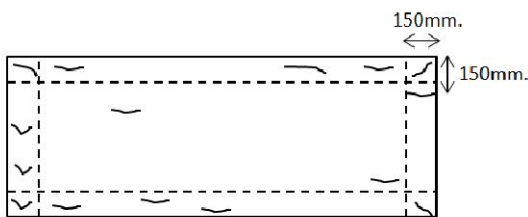
รูปที่ 2 การวิเคราะห์เสถียรภาพของข้อมูลผลิตภัณฑ์บกพร่อง

ตารางที่ 2 ขั้นตอนที่พบปัญหาผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทสีแตกร้าวบนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์

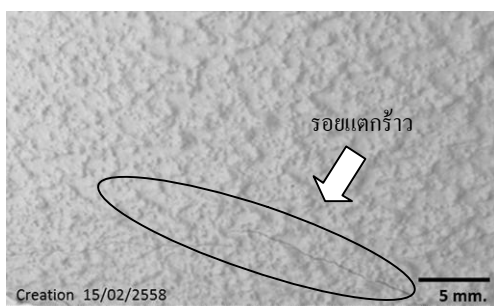
ขั้นตอน	ชิ้นงานบกพร่อง	ร้อยละสัดส่วนชิ้นงานบกพร่อง
1. เตรียมชิ้นงาน	231	89.19
2. นำชิ้นงานไปใช้งาน	28	10.81
รวม	259	100

2.3.2 ลักษณะของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น

จากลักษณะการแตกร้าวของชั้นสีบนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ในกระบวนการเตรียมชิ้นงานพบว่าลักษณะการแตกร้าวของผลิตภัณฑ์บักพร่องจะเกิดการแตกร้าวที่ชั้นสีบนสุดหรือชั้นสีจริง (Top Coat) โดยแนวการแตกร้าวจะเกิดขึ้นกับความยาวของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ และมีขนาดการแตกร้าวโดยเฉลี่ยประมาณ 30-50 มม. ตำแหน่งรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณขอบแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์โดยรอบเป็นหลัก ตัวอย่างลักษณะรอยแตกร้าวแสดงในรูปที่ 3 และ 4



รูปที่ 3 ตำแหน่งที่เกิดการแตกร้าวบนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์

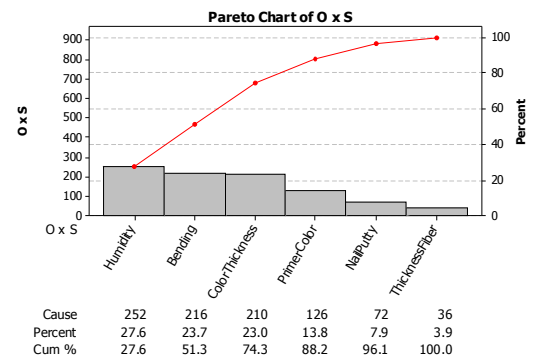


รูปที่ 4 ลักษณะการแตกร้าวของสีจริงบนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ชนิดทาสี

2.3.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดผลิตภัณฑ์บักพร่อง

จากการวิเคราะห์สภาพปัญหาที่เกิดขึ้นโดยใช้การวิเคราะห์ข้อบกพร่องของผลกระทบ หรือ Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) [5, 7] ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่าปัจจัยที่เป็นสาเหตุหลักที่ส่งผลต่อการเกิดผลิตภัณฑ์บักพร่องประเภทสีแตกร้าวบนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ คือ ความชื้นบนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ ความโค้งงอของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ และความหนาสีจริงที่ทาบนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ ผลการวิเคราะห์นี้พบว่ามี ความสอดคล้องกับการศึกษาของ ชีระศักดิ์ [8] ซึ่งพบว่าความชื้นที่เกิดจากการดูดซึมน้ำของวัสดุเป็นปัจจัยหนึ่ง ที่ส่งผลต่อการสึกหรอและการแตกร้าวของวัสดุด้วยเช่นกัน

นอกจากนี้เมื่อทำการวิเคราะห์ร่วมกับวิศวกรฝ่ายผลิต วิศวกรประกันคุณภาพ วิศวกรออกแบบผลิตภัณฑ์ และพนักงานผลิตผู้ปฏิบัติงานประจำโดยใช้แผนภูมิพาเรโต ดังแสดงในรูปที่ 5 พบว่าคะแนนรวมของทั้ง 3 ปัจจัยแรกมีเปอร์เซ็นต์รวมกันถึง 74.3% ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงพิจารณาปัจจัยด้านความชื้น ความโค้งงอ และความหนาของสีจริงเป็นหลัก เพื่อศึกษาผลกระทบต่อสัดส่วนผลิตภัณฑ์บักพร่องอันเนื่องมาจากสีแตกร้าวของสีบนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์



รูปที่ 5 แผนภูมิพาเรโตวิเคราะห์สาเหตุของปัจจัย

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ข้อมูลลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) ของการเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทสีแตกร้าว [5, 7]

กระบวนการ	แนวโน้มของผลกระทบข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น	ความรุนแรง (S)	แนวโน้มของสาเหตุที่เป็นไปได้	โอกาสการเกิด (O)	การควบคุมในปัจจุบัน	การตรวจจับ (D)	RPN
การเตรียมแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์			1. ความชื้นบนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์มากเกินไป	6	ตรวจสอบทุกพลาตที่ส่งมาจาก Supplier	7	252
			2. ความโค้งงอของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์	5	ตรวจสอบทุกพลาตที่ส่งมาจาก Supplier	7	216
การทำสีรองพื้น	แผ่นผนังภายนอกสีแตกร้าวไม่สามารถนำไปใช้ในการประกอบได้เข้ากับชนิดได้	6	3. ปริมาณสีรองพื้นที่ทาไม่กระจายทั่วผิวหน้า	3	ตรวจสอบทุก 10 แผ่น	7	126
การอุดหัวตะปู			4. การอุดหัวตะปูไม่เหมาะสม	3	ตรวจสอบทุก 10 แผ่น	4	72
การทำสีจริง			5. ความหนาของสีที่ทาไม่เพียงพอและไม่กระจายทั่วผิวหน้า	6	ตรวจสอบทุก 10 แผ่น	6	216
	6. ความยาวของขนแปรงที่ใช้ทาสีไม่เหมาะสม	3	ตรวจสอบทุก 3 วัน	2	36		

ที่มา: การวิเคราะห์ FMEA ผ่านการระดมสมองร่วมกับ วิศวกรฝ่ายคุณภาพ วิศวกรฝ่ายออกแบบผลิตภัณฑ์ และพนักงานผลิตที่ปฏิบัติงานทาสีแผ่นผนังภายนอก ในบริษัทกรณีศึกษา

3. ระเบียบวิธีวิจัย

เพื่อลดสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทสีแตกร้าวของการผลิตแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ การศึกษาถึงผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ในกระบวนการทาสีต่อสัดส่วนของเสียอันเนื่องมาจากการแตกร้าวของสีจึงถูกพิจารณาในงานวิจัยนี้ ขั้นตอนการดำเนินงานประกอบไปด้วย การกำหนดขอบเขตของปัจจัยที่ใช้ใน

การทดลอง การออกแบบการทดลอง การทำการทดลอง พร้อมเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลอง

3.1 ขอบเขตของปัจจัยที่พิจารณาในการทดลอง

ขอบเขตของปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยที่ถูกพิจารณาในงานวิจัยนี้เป็นไปตามค่าควบคุมจากผู้ส่งมอบวัตถุดิบและตามมาตรฐานการทำงานในกระบวนการทาสี โดยความชื้นของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ควรมีค่า 11.5%RH ถึง

12.5%RH ความโค้งของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ 0 มม. ถึง 3 มม. และความหนาของชั้นสีจริงที่ 1.5 มม. ถึง 3 มม. ในงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการทดลองด้วยการทดลองเชิงสถิติเชิงเฟคทอเรียลแบบ 2^3 ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่พิจารณาในการทดลอง

ปัจจัย(หน่วย)	ระดับต่ำ	ระดับสูง
1. ความชื้น (%RH)	11.5	12.5
2. ความโค้งของชั้นงาน (มม.)	0	3
3. ความหนาชั้นสีจริง (มม.)	1.5	3

3.2 การเตรียมชิ้นงานในการทดลอง

จากการเก็บข้อมูลผลิตภัณฑ์แผ่นผนังภายนอกชนิดทาสีตั้งแต่เดือน พฤษภาคม 2557 ถึงเดือน สิงหาคม 2557 พบว่ามีสัดส่วนของผลิตภัณฑ์บกพร่องอยู่ที่ 0.03215 และมีสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทสีแตกร้าวของประชากรอีกกลุ่มที่ต้องการตรวจนับเท่ากับ 0.058031 โดยกำหนดค่าความผิดพลาดชนิดที่ 1 (α) ไว้ที่ 0.05 และกำหนดค่าความผิดพลาดชนิดที่ 2 (β) ไว้ไม่เกิน 0.20 ซึ่งเป็นค่าที่ทางบริษัทเคมีศึกษายอมรับได้ ดังนั้นขนาดของตัวอย่างที่ต้องใช้ในการทดลองควรมีจำนวนมากกว่าหรือเท่ากับ 1,008 แผ่น เพื่อให้มีค่าอำนาจแห่งการตรวจสอบ (Power of Test) มากกว่า 0.80

เนื่องจากแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ผู้ส่งมอบวัตถุดิบให้กับบริษัทเคมีศึกษาเพื่อใช้ในกระบวนการทาสีนั้น มีขนาดกว้าง 1200 มม. ยาว 3000 มม. ประกอบกับตำแหน่งที่เกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องอันเนื่องมาจากสีแตกร้าวมักเกิดขึ้นบริเวณขอบของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์

ที่ระยะ 150 มม. โดยรอบ ดังแสดงในรูปที่ 3 ดังนั้นในการศึกษานี้จึงทำการแบ่งแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ออกเป็นขนาดกว้าง 150 มม. ยาว 150 มม. เพื่อจำลองลักษณะทางกายภาพของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ใช้ในการทดลองให้มีลักษณะเดียวกันกับขอบของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ โดยแผ่นตัวอย่างจะถูกตัดจากมาจากขอบของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ขนาดใหญ่โดยรอบ นอกจากนี้บริเวณที่เกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทสีแตกร้าวไม่ได้เกิดทั่วทั้งแผ่นแต่เกิดเพียงจุดใดจุดหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นการเตรียมแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ให้มีขนาดเล็ก เพื่อให้การตรวจสอบความบกพร่องประเภทสีแตกร้าวและสะดวกลงในการนำชิ้นงานไปทำการวิเคราะห์ผลอีกด้วย ชิ้นงานแต่ละชิ้นที่ใช้ในการทดลองถูกทาสีในลักษณะเช่นเดียวกันกับการทาสีแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ขนาดจริง หากชิ้นงานใดพบรอยแตกร้าวภายหลังกระบวนการทาสีจะถูกลบเป็นชิ้นงานบกพร่อง

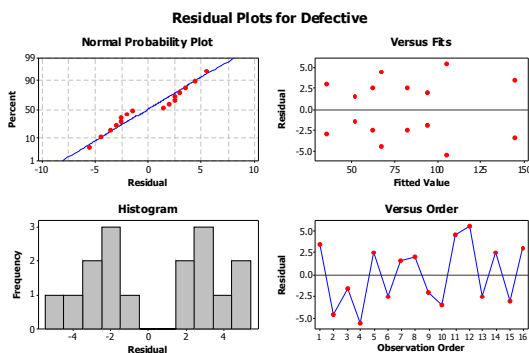
4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ปัจจัยที่พิจารณาในงานวิจัยนี้มี 3 ปัจจัย คือ ความชื้นของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ ความโค้งของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ และความหนาของชั้นสีจริงที่ทาบนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ การตรวจสอบการแตกร้าวของสีบนชิ้นงานเป็นแบบยอมรับ (Accept) และไม่ยอมรับ (Reject) ด้วยพนักงาน ผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 5 โดยจำนวนชิ้นงานทดสอบในแต่ละเงื่อนไขเท่ากับ 1,008 แผ่น ผลที่ได้เหล่านี้ถูกนำมาวิเคราะห์คุณภาพดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งพบว่าข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์มีความเป็นปกติของข้อมูล มีความเป็นอิสระของข้อมูล และมีเสถียรภาพของความแปรปรวน

ตารางที่ 5 ผลการทดลอง

A (mm)	B (%RH)	C (mm)	จำนวนชิ้นงาน บกพร่อง
0	11.5	1.5	72
3	11.5	1.5	100
0	12.5	1.5	92
3	12.5	1.5	141
0	11.5	3	39
3	11.5	3	60
0	12.5	3	54
3	12.5	3	80
0	11.5	1.5	63
3	11.5	1.5	111
0	12.5	1.5	96
3	12.5	1.5	148
0	11.5	3	33
3	11.5	3	65
0	12.5	3	51
3	12.5	3	85

A คือ ความโค้งงอ B คือ ความชื้น C คือ ความหนาของสิ่งจริง



รูปที่ 6 การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลผลิตภัณฑ์บกพร่อง

เมื่อทำการการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของผลการทดลองที่ได้ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าเท่ากับ 98.90% และค่า R^2 (adj) เท่ากับ 97.94% ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองอยู่ในระดับที่ดีและสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์อิทธิพลของค่าตัวแปรตอบสนองได้

จากกราฟ Normal Probability Plot ในรูปที่ 6 ข้อมูลที่ได้มีการเรียงตัวใกล้เคียงตรงแสดงให้เห็นถึงความเป็นปกติของข้อมูล สำหรับกราฟ Residual Versus Fitted Value แสดงให้เห็นว่าข้อมูลที่ทำการเก็บมานั้นมีเสถียรภาพโดยข้อมูลจะกระจายตัวสม่ำเสมอรอบเส้นตรงแนวนอนที่ 0.0 และจากการทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูลในกราฟ Residual Versus Order พบว่าข้อมูลไม่มีจุดใดตกนอกเส้นสูงสุดและเส้นต่ำสุด อีกทั้งมีการกระจายตัวสมมาตรรอบค่ากลาง ลักษณะเช่นนี้แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นอิสระของข้อมูล จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดลองเชิงแฟลททอเรียลนี้ แสดงให้เห็นว่า อิทธิพลของปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัยหลักมีค่า P-Value < 0.05 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าทั้ง 3 ปัจจัย คือ ความชื้น ความโค้งงอของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ และความหนาของสิ่งจริงที่ทาบนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ ส่งผลต่อการเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทสีแตกร้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติดังแสดงในตารางที่ 6 นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาอิทธิพลของปัจจัยร่วม พบว่าความโค้งงอของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์และความความชื้นของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์มีค่า P-Value > 0.05 จึงสรุปได้ว่าอิทธิพลร่วมของทั้ง 2 ปัจจัย ไม่มีผลต่อการเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทสีแตกร้าว

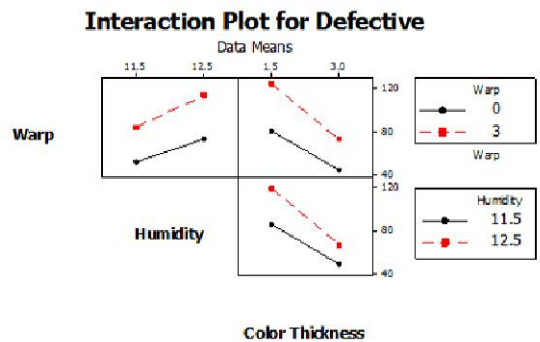
ตารางที่ 6 ระดับความมีนัยสำคัญ (P-Value) ที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

ปัจจัย	P-Value
Constant	0.000
A	0.000
B	0.000
C	0.000
A*B	0.131
A*C	0.010
B*C	0.016
A*B*C	0.372

A คือ ความโค้งงอ B คือ ความชื้น C คือ ความหนาของสีจริง

จากรูปที่ 7 เมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่างความชื้นและความโค้งงอของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์พบว่าแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่มีความชื้นและความโค้งงอระดับต่ำจะส่งผลให้เกิดการแตกร้าวของสีที่น้อยที่สุด เมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่างความโค้งงอของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์และความหนาของสีพบว่าความโค้งงอที่ระดับต่ำและความหนาของสีระดับสูงจะพบการแตกร้าวของสีที่น้อยที่สุด และเมื่อพิจารณาความชื้นและความหนาของสีที่ทราบแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์จะพบว่าการแตกร้าวของสีจะเกิดขึ้นที่ความชื้นที่ระดับต่ำและความหนาของสีที่ระดับสูง ดังนั้น ค่าเฉลี่ยความชื้นที่มีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดการแตกร้าวของชั้นสีจริงที่มากขึ้น เนื่องจากวัสดุประเภทไฟเบอร์ซีเมนต์มีความสามารถในการดูดซับความชื้นที่ดี ทำให้แผ่นที่มีความชื้นมากมีลักษณะพื้นผิวบวมพองและเปื่อยยุ่ยได้ง่าย เมื่อนำแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่มีสภาพผิวหน้าดังกล่าวไปใช้ในกระบวนการทาสี จึง

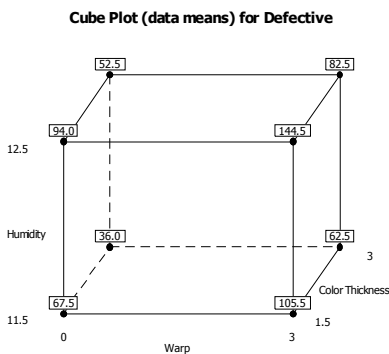
ทำให้การยึดเกาะของสีกับแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ไม่แข็งแรงเพียงพอ ส่งผลให้เกิดการแตกร้าวของสีได้ในที่สุด สำหรับปัจจัยด้านความโค้งงอของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ พบว่า แผ่นที่มีความโค้งงอมากมีแนวโน้มที่จะเกิดการแตกร้าวของชั้นสีจริงมากขึ้น เนื่องจากความเค้นที่สะสมตัวในแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่มีความโค้งงอมีโอกาสที่แผ่นจะเกิดการคลายตัวหลังจากสีแห้งตัวและเซตตัวแล้ว ซึ่งส่งผลให้ชั้นสีเกิดการแตกร้าวจากการคลายตัวของพื้นผิวได้ในที่สุด นอกจากนี้ความหนาของชั้นสีจริงที่มีความหนาน้อยยังมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดการแตกร้าวของชั้นสีได้เช่นกัน เนื่องจากในบริเวณชั้นสีที่มีความบาง มีการจับตัวกันของเนื้อสีที่ไม่แข็งแรงเท่ากับบริเวณชั้นสีที่หนากว่า เมื่อแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์เกิดการยึดหดตัวจากความเค้นภายในแผ่น ทำให้ในบริเวณที่มีชั้นสีบางเกิดการแตกร้าวในที่สุด



รูปที่ 7 ค่าเฉลี่ยของปัจจัยร่วมของผลิตภัณฑ์บกพร่องในแต่ละปัจจัยที่พิจารณา

ค่าเฉลี่ยของปัจจัยร่วมผลิตภัณฑ์บกพร่องสามารถเขียนในรูปของ Cube plot ได้ดังแสดงในรูปที่ 8 จากรูปพบว่า สถานะการทาสีที่ก่อให้เกิดสัดส่วนผลิตภัณฑ์

บทพร่องน้อยที่สุดคือความชื้นบนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ 11.5%RH ความโค้งงอของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ 0 มม. และความหนาของสีจริงที่ทาบนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ 3 มม. จากสภาวะดังกล่าวสามารถสังเกตได้ว่า ความโค้งงอของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ 0 มม. นั้นเป็นระดับปัจจัยที่ไม่มีค่าเพื่อและยากต่อการควบคุมในการตรวจรับแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์จากผู้ส่งมอบสินค้า อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองที่ได้นี้ ได้สะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญของการควบคุมความโค้งงอของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์และผลกระทบต่อ การแตกร้าวของชั้นสีภายหลังกระบวนการทาสี เกณฑ์การตรวจรับแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ในเรื่องความโค้งงอของแผ่น และอาจรวมไปถึงกระบวนการผลิตแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ไม่ก่อให้เกิดความโค้งงอจึงเป็นประเด็นที่ควรถูกพิจารณาต่อไป



รูปที่ 8 Cube Plot ปัจจัยร่วมของผลิตภัณฑ์บกพร่องในแต่ละปัจจัย

เมื่อทำการวิเคราะห์การถดถอยของปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย ต่อสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทสีแตกร้าว

สามารถเขียนความสัมพันธ์ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$P = - 0.446 + 0.019A + 0.047B + 0.091C - 0.0035AC - 0.0096BC \tag{1}$$

โดยที่ P, A, B และ C คือ สัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่อง ความโค้งงอของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ (มม.) ความชื้นของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ Humidity (%RH) และ ความหนาของสีจริงที่ทาบนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ (มม.) ตามลำดับ

5. การเปรียบเทียบและยืนยันผลการทดลอง

เมื่อทำการเปรียบเทียบสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทสีแตกร้าว พบว่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องก่อนทำการปรับปรุงคือ 4.84% ในขณะที่หลังการปรับปรุงสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องลดลงเหลือเพียง 1.17% นอกจากนี้ เมื่อทำการทดสอบสมมติฐานทางสถิติของค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง พบว่า ภายหลังจากการปรับปรุงมีผลทำให้สัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทสีแตกร้าวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

จากผลการศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการทาสีแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ควรมีความชื้นที่ 11.5%RH ความโค้งงอของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ 0 มม. และความหนาของชั้นสีที่ 3 มม. เมื่อแทนค่าระดับปัจจัยเหล่านี้ลงในสมการที่ 1 พบว่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องที่ได้ คือ 0.0363 หรือ 3.63% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับสัดส่วน

ผลิตภัณฑ์บกพร่องที่เกิดขึ้นจริง 0.0387 หรือ 3.87% (ของเสีย 39 แผ่นจากจำนวน 1,008 แผ่น)

นอกจากนี้ เพื่อเป็นการยืนยันผลการศึกษาก็ได้ การติดตามผลหลังการปรับปรุงค่าปัจจัยในกระบวนการทาสีบนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ในระยะเวลา 3 เดือน จึงถูกพิจารณาในงานวิจัยนี้ด้วย โดยก่อนทำการปรับปรุงกระบวนการทาสี พบว่า มีชิ้นงานบกพร่องที่เกิดจากกระบวนการทาสีจำนวน 390 แผ่น จากปริมาณการผลิตทั้งหมด 8,057 แผ่น คิดเป็นสัดส่วนชิ้นงานบกพร่องเท่ากับ 0.0484 หรือคิดเป็น 4.84% เมื่อทำการปรับปรุงสถานะที่ใช้ในการทาสี พบว่า จำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องลดลงเหลือ 83 แผ่น จากจำนวนการผลิตทั้งหมด 7,103 แผ่น หรือมีสัดส่วนชิ้นงานบกพร่องเท่ากับ 0.0117 หรือคิดเป็น 1.17%

6. สรุปผล

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อลดสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องอันเนื่องมาจากการแตกร้าวของชั้นสีจริงที่เกิดขึ้นบนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ชนิดทาสี จากการทดลองพบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อการแตกร้าวของสีบนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ คือ ความชื้นบนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ ความโค้งงอของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ และความหนาของสีจริงที่ทาบนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ โดยระดับปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการแตกร้าวของสีน้อยที่สุด คือ ความชื้นบนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ 11.5%RH ความโค้งงอของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ 0 มม. และความหนาของสีจริงที่ 3 มม. เมื่อนำผลที่ได้ไปปรับปรุงในกระบวนการผลิตพบว่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทสีแตกร้าวที่เกิดขึ้นจาก

กระบวนการทาสีบนแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ลดลงจาก 4.84% เป็น 1.17%

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Puwanan, P. Mahathanatawee, C. Tongpin, D. Mongkholsawat, K. Rodchanakanan and A. Hudakorn, “A Study and Design of Insulating Concrete Forms for Energy Efficient House Construction and Industrialized Production”, Silpakorn University Journal 31(1), 2011, pp. 7-14. (in Thai)
- [2] C. Yukongsombut, “Defect Reduction in Painting Car’s Body”, Master Thesis, Faculty of Engineering, King Mongkut’s University of Technology Thonburi, Bangkok, 2010. (in Thai)
- [3] R. Wongmahasiri and S. Vejakit, “Energy Conservation in Single House due to The Effect of Paint Color: Case Bangkok”, Arch Journal 18, 2014, pp. 154-164. (in Thai)
- [4] W. Chaiyosburana, W. Rakwichian, S. Vaivudh and N. Ketjoy, “Optimizing High Solar Reflective Paint to Reduce Heat Gain in Building”, International Journal of Renewable Energy 8(1), 2013.
- [5] C. Nuallunt, “Defect Reduction in Fiber Cement Process”, Master Thesis, Faculty of Engineering, King Mongkut’s University of Technology Thonburi, Bangkok, 2014. (in Thai)

- [6] K. Lordsin “A Case Study of a Crack Problem and Remedies in Light-Weight Brick Walls”, The Journal of Industrial Technology 6(1), 2010, pp. 28-32. (in Thai)
- [7] S. Ouppabongse, “Reduction of Defects in the Manufacture of PET Plastic Packaging”, Master Thesis, Faculty of Engineering, King Mongkut’s University of Technology Thonburi, Bangkok, 2010. (in Thai)
- [8] T. Markpin, S. Kittiperakorn, A. Kongkeaw and R. Muangsuk, “Wear Behavior of Wood / PVC Composite for Wood like Flooring Products”, The Journal of Industrial Technology 7(2), 2011, pp. 31-38. (in Thai)