# คุณภาพของการหล่อคอนกรีตลวดลายองค์ประกอบสถาปัตยกรรมไทย ด้วยแบบหล่อซิลิโคนและแบบหล่อซีเมนต์

# QUALITY OF CONCRETE DECORATIVE THAI ARCHITECTURAL ELEMENT WITH SILICONE MOLD AND CEMENT MOLD

ฐปนา กล้าตลุมบอน
TAPANA KLATALUMBON

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรม
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2561
KMITL-2018-AR-M-006-044

# คุณภาพของการหล่อคอนกรีตลวดลายองค์ประกอบสถาปัตยกรรมไทย ด้วยแบบหล่อซิลิโคนและแบบหล่อซีเมนต์

# QUALITY OF CONCRETE DECORATIVE THAI ARCHITECTURAL ELEMENT WITH SILICONE MOLD AND CEMENT MOLD

ฐปนา กล้าตลุมบอน
TAPANA KLATALUMBON

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรม
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2561

KMITL-2018-AR-M-006-044

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# QUALITY OF CONCRETE DECORATIVE THAI ARCHITECTURAL ELEMENT WITH SILICONE MOLD AND CEMENT MOLD

TAPANA KLATALUMBON

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ARCHITECTURAL PROGRAM IN ARCHITECTURAL TECHNOLOGY

FACULTY OF ARCHITECTURE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2018

KMITL-2018-AR-M-006-044

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2018

FACULTY 0F ARCHITECTURE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์**
**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**
**ใบรับรองวิทยานิพนธ์**

---

**หัวข้อวิทยานิพนธ์** คุณภาพของการหล่อคอนกรีตลวดลายองค์ประกอบสถาปัตยกรรมไทย ด้วยแบบหล่อซิลิโคนและแบบหล่อซีเมนต์
QUALITY OF CONCRETE DECORATIVE THAI ARCHITECTURAL ELEMENT WITH SILICONE MOLD AND CEMENT MOLD

**นักศึกษา** นายฐปนา กล้าตลุมบอน
**รหัสประจำตัว** 58602026
**ปริญญา** สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
**สาขาวิชา** เทคโนโลยีสถาปัตยกรรม
**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทรงเกียรติ เที้ยธิทรัพย์
**อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมโชค สินนุกูล

| คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ | | ลายมือชื่อ |
|---|---|---|
| รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต | นิตยะ | |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทรงเกียรติ | เที้ยธิทรัพย์ | |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมโชค | สินนุกูล | |
| รองศาสตราจารย์ วรวรรณ | โรจนไพบูลย์ | |
| ดร.ณรงค์ฤทธิ์ | จินต์จันทรวงศ์ | |

**วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ** 27 สิงหาคม 2561
**สถานที่สอบ** คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

**คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์รับรองแล้ว**

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อันธิกา สวัสดิ์ศรี)
**คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์**
**วันที่** 18 **เดือน** สิงหาคม **พ.ศ.** 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | คุณภาพของการหล่อคอนกรีตลวดลายองค์ประกอบสถาปัตยกรรมไทยด้วยแบบหล่อซิลิโคนและแบบหล่อซีเมนต์ |
| นักศึกษา | ฐปนา กล้าตลุมบอน |
| รหัสประจำตัว | 58602026 |
| ปริญญา | สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต |
| สาขาวิชา | เทคโนโลยีสถาปัตยกรรม |
| พ.ศ. | 2561 |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ | ผศ. ดร.ทรงเกียรติ เที้ยธิทรัพย์ |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม | ผศ. ดร.สมโชค สินนุกูล |

## บทคัดย่อ


การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการหล่อคอนกรีตด้วยแบบหล่อซีเมนต์และแบบหล่อซิลิโคน โดยเปรียบเทียบชิ้นงานที่ได้จากการหล่อระหว่างแบบหล่อซีเมนต์และแบบหล่อซิลิโคน ซึ่งมุ่งเน้นศึกษาการหล่อคอนกรีตองค์ประกอบสถาปัตยกรรมไทย โดยใช้ลวดลายประจำยามจากโบสถ์วัดสวนสันติธรรม เป็นต้นแบบ แล้วนำมาปรับลวดลายเพื่อแบ่งเป็นกลุ่มลวดลายทั้งหมด 7 แบบ โดยคงรูปแบบลวดลายในภาพมุมมองบนลงล่าง(Top View) เน้นปรับแบบเฉพาะภาพตัดขวาง(Section View) ซึ่งในการทำแบบหล่อต้องใช้ปูนพลาสเตอร์เป็นวัสดุต้นแบบสำหรับสร้างแบบหล่อซิลิโคน และใช้ขี้ผึ้งเป็นวัสดุต้นแบบสำหรับสร้างแบบหล่อซีเมนต์ หลังจากได้แบบหล่อทั้ง2ชนิด จึงนำมาเทคอนกรีตแบบละ 3 ชิ้นงาน ได้ชิ้นงานทั้งหมด 42 ชิ้นงานนำมาเปรียบเทียบวัดผลด้วยวิธีพินิจ 2 วิธี คือ 1.ผลรวมระยะผิดพลาด(Square Error) 2.ผลต่างพื้นที่ (Area Error)

จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบในการวัดค่าSquare Error กลุ่มทดลองแบบหล่อซีเมนต์ รูปแบบลวดลายที่เสียหายน้อยที่สุด คือ ลักษณะ F,A,E,C,D,G และ B ตามลำดับ และกลุ่มทดลองแบบหล่อซิลิโคน รูปแบบลวดลายที่เสียหายน้อยที่สุด คือ ลักษณะ F,E,B,A,C,Gและ D ตามลำดับ กลุ่มวัดค่าด้วย Area Error กลุ่มทดลองแบบหล่อซีเมนต์ รูปแบบลวดลายที่เสียหายน้อยที่สุด คือ ลักษณะ F,E,A,D,C,G และ B ตามลำดับ และกลุ่มทดลองแบบหล่อซิลิโคน รูปแบบลวดลายที่เสียหายน้อยที่สุด คือ ลักษณะ E,F,CA,B,G และ D ตามลำดับ

ค่าของลักษณะลวดลายแบบ F ด้วยเทคนิคปั้นให้แบน และให้ความลึกลวดลายน้อยกว่าแบบอื่นๆ แสดงให้เห็นว่า เป็นเทคนิคที่ดีที่สุด ที่ทำให้ชิ้นงานจากการหล่อสมบูณ์ที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบชนิดของแบบหล่อ แบบหล่อซีเมนต์มีค่าความเสียหายชิ้นงานมากกว่าแบบหล่อซิลิโคน จึงสรุปได้ว่าแบบหล่อซิลิโคนมีประสิทธิภาพในการหล่อคอนกรีตลวดลายองค์ประกอบสถาปัตยกรรมไทยได้ดีกว่าแบบหล่อซีเมนต์ ซึ่งควรจะมีการศึกษาวิจัยต่อในเรื่องความคุ้มทุน เพราะซิลิโคนมีความยืดหยุ่นเหมือนยาง จำเป็นต้องทำฐานรองรับประกอบกับราคาที่ค่อนข้างสูง และในวิจัยงานนี้ยังไม่มีการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบในเรื่องอายุการใช้งาน ซึ่งผู้วิจัยคิดว่าการศึกษาต่อเพื่อเปรียบเทียบในขั้นตอนการหล่อและต้นทุนการสร้าง เพื่อให้ทราบถึงข้อได้เปรียบเสียเปรียบ ระหว่างแบบหล่อทั้ง2ชนิด จะช่วยให้ช่างไทยเข้าใจและเลือกใช้เทคนิคการหล่อคอนกรีตองค์ประกอบสถาปัตยกรรมไทยได้เหมาะสมมากยิ่งขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| Thesis | Quality of Concrete Decorative Thai Architectural Element with Silicone Mold and Cement Mold |
| Student | Mr.Tapana Klalumbon |
| Student ID | 58602026 |
| Degree | Master of Architecture |
| Program | Architectural Technology |
| Year | 2018 |
| Thesis Advisor | Asst.Prof. Dr.Songkiat Teartisup |
| Thesis Co – Advisor | Asst.Prof. Dr.Somchok Sinnugool. |

## ABSTRACT

The purpose of this reasearch is to study the concrete casting from cement formwork and silicone formwork by comparing between work pieces casted by cement formwork and silicone formwork. The researcher has focused on the study of concrete casting for Thai architectural elements. The design of Prajamyam of the church of Suan Santitham temple has been selected and used as the master work piece for design adjustment. 7 models for molding were produced by adjusting the design of the part of section view while maintaining the original design of top view. Plaster was used as the master material in the making of the silicone formwork, and wax as the master mterial for cement formwork, creating 2 different type of formworks. The cement casting was triplicated for each formwork. Therefore there are 42 work pieces in total. The comparative research was observed according to 2 methods of measure; 1. Square error 2. Area error.

Based on the comparative analysis, in the ‘square error’ measure of the samples of cement formwork, it was found that the less damaged characteristic designs are type F,A,E,C,D,G and B respectively, and for those of silicone formwork are type F,E,B,A,C,G and D respectively. While in the ‘area error‘ estimation, the less damaged ones of cement formwork are type F,E,A,D,C,G and B in sequence, and for those of silicone formwork are E,F,C,A,B,G and D in order.

Given that the characteristic design of type F has been created with bas-relief technique and its depth is low comparing with other designs, it is the best technique for the complete casting. Considering the different types of casting, cement formwork

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

caused more damage to work pieces than silicone formwork. It can be concluded that silicone formwork is more effective than cement formwork in the casting process of Thai architectural elements. It is recommended to study further regarding its cost effectiveness as the silicone is flexible, the supporting base will be required and its cost is quite high. In this research, there is no comparative study regarding lifespan of these 2 types of formwork yet. The researcher believes that further study on the comparative analysis of casting process and costs between these two formworks in order to point out their advantages and disadvantages, will help Thai artists have more understanding and select the technique more effectively to create concrete casting for Thai architectural elements.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ ผศ.ดร. ทรงเกียรติ เที้ยธิทรัพย์ ตั้งแต่รับข้าพเจ้าเข้าเป็นนักศึกษาในหลักสูตรนี้ ให้การอบรมสั่งสอน ตักเตือนและชี้แนะแนวทางทั้งเรื่องการเรียนและการใช้ชีวิต ตั้งแต่วันแรกที่เข้าเรียนจนสามารถทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ. วรวรรณ โรจนไพบูลย์ ,รศ. ดร.ชวลิต นิตยะ และ ดร.ณรงฤทธิ์ จินต์จันทรวงศ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ตลอดจนข้อชี้แนะตั้งแต่เริ่มสอบหัวข้อจนข้าพเจ้าสามารถขึ้นสอบจบและในที่สุดวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้

ขอขอบพระคุณ ผศ. ดร.สมโชค สินนุกุลทรัพย์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาตลอดการเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ตั้งแต่เริ่มสอบหัวข้อ/สอบจบ จนเล่มวิทยานิพนธ์แล้วเสร็จ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ณัฐกฤต สุนทรีรัตน์ (พี่ต้น) ผู้เป็นศิษย์พี่ หัวหน้างาน เป็นครู เป็นลูกพี่ และเป็นผู้ออกแบบโบสถ์สวนสันติธรรม ซึ่งเป็นที่มาตั้งต้นของวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ชูเกียรติ แซ่ตั้ง (พี่มิ๊ง) ผู้เป็นทั้งหัวหน้างาน เป็นครู เป็นลูกพี่ที่ให้แนวทางลูกน้องคนนี้ทั้ง ให้โอกาสได้เรียนต่อ และที่สำคัญยิ่งคือยังให้เงินเดือนครับ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ผศ.ไกรทอง โชติวุฒิพัฒน (อ.ไก่) อาจารย์ท่านแรกที่ให้แนวทางการทำวิจัย คำกล่าวตักเตือน และคำถามว่าเมื่อไหร่จะจบพร้อมกับรอยยิ้ม ที่เตือนสติและเป็นกำลังใจให้นักศึกษาคนนี้ตั้งใจ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ วัชรพงศ์ ประสานเกลียว (อ.อี๊) ที่ให้คำปรึกษา ในแนวหลักการคิดวิเคราะห์โดยเฉพาะแนวทางวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งเป็นมุมมองทางความคิดให้สถาปนิกคนนี้ได้ตระหนัก

ขอขอบพระคุณ คุณธรรมรัตน์ บุญเสนอ(พี่โต้ง)ผจก.ส่วนงานให้คำปรึกษาด้านเทคนิคประจำภาคตะวันออกและอีสต์เทิร์นซีบอร์ด บมจ.ปูนซีเมนต์นครหลวง สุดยอดวิศวกรที่ปรึกษาที่ช่วยให้คำปรึกษาในเรื่องของคอนกรีตให้สามารถเข้าใจได้ง่ายและเห็นถึงเทคนิคมากมาย

ขอขอบพระคุณช่างต้อม และช่างวิชัย ที่อำนวยความสะดวกทุกขั้นตอนของการปั้นขึ้นรูปชิ้นงาน การปรับแต่ง และกระบวนการหล่อคอนกรีต ตลอดจนการให้คำแนะนำจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณรุ่นพี่ รุ่นน้อง เพื่อนร่วมรุ่น พี่โก้ พี่โย ต้น ต่วย ดีเจเพชร ดีเจภูมิ น้อตตี้ ไผ่ อาโป แนน ที่เป็นกำลังใจให้กันและกัน ทั้งเหนื่อย ทั้งสนุกและหัวเราะไปด้วยกันตลอดมา พวกเราส่วนใหญ่ต้องเรียนไปด้วยทำงานไปด้วย มิตรภาพที่ดีช่วยให้พวกเราผ่านช่วงเวลาที่ลำบากมาได้

ขอบขอบคุณเมย์โก๊ะ ที่เป็นกำลังใจให้เสมอและให้ความช่วยเหลือทุกอย่างเมื่อเกิดอุปสรรค

ขอขอบคุณครอบครัว คุณพ่อ คุณแม่ และพี่ชาย ที่เคียงข้างกันเสมอมา

ขอขอบคุณตัวเอง ที่ไม่ผิดสัญญากับตัวเอง และทำจนสำเร็จ

ฐปนา กล้าตลุมบอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า


บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....III

กิตติกรรมประกาศ.....V

สารบัญ.....VI

สารบัญตาราง.....IX

สารบัญรูป.....XII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของงานวิจัย.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....5

1.3 สมมติฐานของการวิจัย.....5

1.4 ขอบเขตงานวิจัย.....5

1.5 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง.....5

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....5

1.7 ขั้นตอนการศึกษา.....7

1.7.1 การศึกษาข้อมูล.....7

1.7.2 ขั้นตอนการออกแบบวิธีวิจัย.....7

1.8 กรอบการวิจัย.....7

1.9 วิธีดำเนินงานวิจัย.....8

1.10 คำจำกัดความที่ใช้ในการศึกษา.....9

บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม.....10

2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับศิลปะงานปูนปั้น.....10

2.2 ข้อมูลเกี่ยวกับลายประจำยาม.....13

2.3 ข้อมูลเกี่ยวกับคอนกรีตและการแตกร้าว.....15

2.4 ข้อมูลเกี่ยวกับการตรวจสอบคอนกรีตด้วยวิธีพินิจ.....21

2.5 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....22

2.6 กรอบข้อมูลจากการทบทวนวรรณกรรม.....24

2.7 การวัดและความผิดพลาด.....25

2.8 หน่วยของการวัด.....27



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.9 การเผาปูน....28

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย....29
3.1 กรอบแนวคิดในการศึกษา....29
3.2 กระบวนการวิจัย....29
3.2.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น....29
3.2.2 การดำเนินการวิจัย....30
3.3 การดำเนินการทดลอง....30
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล....30
3.5 การวัดผลด้วย Square Error และ Area Error....34
3.6 แผนผังการดำเนินการวิจัย....35
3.7 แผงผังแสดงขั้นตอนการดำเนินการทดลอง....36

บทที่ 4 การทดลอง....37
4.1 ขั้นตอนการสร้างแบบหล่อซีเมนต์และแบบหล่อซิลิโคน....37
4.2 ขั้นตอนการหล่อชิ้นงานจากแบบหล่อซีเมนต์และแบบหล่อคอนกรีต....48
4.3 ขั้นตอนการหล่อชิ้นงานด้วยแบบหล่อซิลิโคน....49
4.4 ขั้นตอนการหล่อชิ้นงานด้วยแบบหล่อซีเมนต์....50
4.5 ขั้นตอนการวัดค่าและบันทึกผลด้วย Square Error (Section View)....65
4.6 ขั้นตอนการวัดค่าและบันทึกผลด้วย ผลต่างของพื้นที่ (Section View)....74

บทที่ 5 วิเคราะห์ผล....75

บทที่ 6 สรุปผล ข้อค้นพบ ข้อเสนอแนะ....98
6.1 การศึกษาลักษณะลวดลายประจำยามหล่อด้วยแบบหล่อซีเมนต์และแบบหล่อซิลิโคน....98
6.2 การศึกษาเปรียบเทียบลักษณะชิ้นงานที่ได้จากแบบหล่อซีเมนต์และแบบหล่อซิลิโคน....99
6.3 ข้อค้นพบ....100
6.3.1 ลักษณะของวัสดุที่ใช้ในการสร้างแบบหล่อ....100
6.3.2 เทคนิคในการเร่งเวลาในการถอดชิ้นงานออกจากแบบหล่อ....100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

6.4 ข้อเสนอแนะ....101
6.4.1 ขั้นตอนการถอดแบบ....101
6.4.2 การวัดผลและเปรียบเทียบ....101
6.4.3 ลักษณะขอบชิ้นงาน....101
6.4.4 ระยะเวลา....101
6.4.5 ความชำนาญของช่าง....101
6.4.6 เทคนิคอื่นๆ....102
6.4.7 อายุการใช้งาน....102
6.4.8 น้ำหนักแบบหล่อ....102
บรรณานุกรม....103
ภาคผนวก....105
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์....106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง


ตารางที่ หน้า

1.1 ระยะเวลาในการดำเนินการศึกษา....6

2.1 ภาพลวดลายที่มีแม่ลายประจำยามเป็นองค์ประกอบหลัก....14

2.2 ชนิดของการแตกร้าวคอนกรีต....17

3.1 ลักษณะชิ้นงานลวดลายทั้ง7 แบบ แสดงดัชนีรหัสภาพ A,B,C,D,E,F,G....33

4.1 ลักษณะรูปตัดตามขวางชิ้นงานต้นแบบ....39

4.2 ลักษณะต้นแบบชิ้นงาน 7 แบบ....40

4.3 การทำแบบหล่อซิลิโคนด้วยต้นแบบ 7 แบบ....41

4.4 การทำแบบหล่อซีเมนต์ด้วยต้นแบบปูนพลาสเตอร์....42

4.5 ขั้นตอนการทำแบบหล่อซีเมนต์ด้วยต้นแบบขี้ผึ้ง....45

4.6 ผลของชิ้นงานและแบบหล่อหลังจากถอดแบบ....46

4.7 คุณสมบัติวัสดุชิ้นงานและวัสดุแบบหล่อที่มีผลต่อการทำแบบหล่อ....47

4.8 กลุ่มการทดลอง การหล่อชิ้นงานด้วยแบบหล่อซิลิโคน....49

4.9 กลุ่มการทดลอง การหล่อชิ้นงานด้วยแบบหล่อซิลิโคน....50

4.10 ลักษณะชิ้นงานรูปแบบ A ด้วยแบบหล่อ ซีเมนต์ และชิ้นงานต้นแบบ....51

4.11 ลักษณะชิ้นงานรูปแบบ B ด้วยแบบหล่อ ซีเมนต์ และชิ้นงานต้นแบบ....52

4.12 ลักษณะชิ้นงานรูปแบบ C ด้วยแบบหล่อ ซีเมนต์ และชิ้นงานต้นแบบ....53

4.13 ลักษณะชิ้นงานรูปแบบ D ด้วยแบบหล่อ ซีเมนต์ และชิ้นงานต้นแบบ....54

4.14 ลักษณะชิ้นงานรูปแบบ E ด้วยแบบหล่อ ซีเมนต์ และชิ้นงานต้นแบบ....55

4.15 ลักษณะชิ้นงานรูปแบบ F ด้วยแบบหล่อ ซีเมนต์ และชิ้นงานต้นแบบ....56

4.16 ลักษณะชิ้นงานรูปแบบ G ด้วยแบบหล่อ ซีเมนต์ และชิ้นงานต้นแบบ....57

4.17 ลักษณะชิ้นงานรูปแบบ A ด้วยแบบหล่อ ซิลิโคน และชิ้นงานต้นแบบ....58

4.18 ลักษณะชิ้นงานรูปแบบ B ด้วยแบบหล่อ ซิลิโคน และชิ้นงานต้นแบบ....59

4.19 ลักษณะชิ้นงานรูปแบบ C ด้วยแบบหล่อ ซิลิโคน และชิ้นงานต้นแบบ....60

4.20 ลักษณะชิ้นงานรูปแบบ D ด้วยแบบหล่อ ซิลิโคน และชิ้นงานต้นแบบ....61

4.21 ลักษณะชิ้นงานรูปแบบ E ด้วยแบบหล่อ ซิลิโคน และชิ้นงานต้นแบบ....62

4.22 ลักษณะชิ้นงานรูปแบบ F ด้วยแบบหล่อ ซิลิโคน และชิ้นงานต้นแบบ....63

4.23 ลักษณะชิ้นงานรูปแบบ G ด้วยแบบหล่อ ซิลิโคน และชิ้นงานต้นแบบ....64

4.24 บันทึกผลระยะผิดพลาดกลุ่มทดลอง CA-01 ความถี่ระยะ 0.1 ,0.5 ,0.25 และ 0.125....66

4.25 บันทึกผลระยะผิดพลาดกลุ่มทดลอง CA-02 ความถี่ระยะ 0.1 ,0.5 ,0.25 และ 0.125....68



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.26 บันทึกผลระยะผิดพลาดกลุ่มทดลอง CA-03 ความถี่ระยะ 0.1 ,0.5 ,0.25 และ 0.125.....70

5.1 การเปรียบเทียบลายเส้นเพื่อวัดระยะที่ผิดพลาด ของกลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ A จากแบบหล่อซีเมนต์และซิลิโคน.....76

5.2 การเปรียบเทียบลายเส้นเพื่อวัดระยะที่ผิดพลาด ของกลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ B จากแบบหล่อซีเมนต์และซิลิโคน.....77

5.3 การเปรียบเทียบลายเส้นเพื่อวัดระยะที่ผิดพลาด ของกลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ C จากแบบหล่อซีเมนต์และซิลิโคน.....78

5.4 การเปรียบเทียบลายเส้นเพื่อวัดระยะที่ผิดพลาด ของกลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ D จากแบบหล่อซีเมนต์และซิลิโคน.....79

5.5 การเปรียบเทียบลายเส้นเพื่อวัดระยะที่ผิดพลาด ของกลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ E จากแบบหล่อซีเมนต์และซิลิโคน.....80

5.6 การเปรียบเทียบลายเส้นเพื่อวัดระยะที่ผิดพลาด ของกลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ F จากแบบหล่อซีเมนต์และซิลิโคน.....81

5.7 การเปรียบเทียบลายเส้นเพื่อวัดระยะที่ผิดพลาด ของกลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ G จากแบบหล่อซีเมนต์และซิลิโคน.....82

5.8 การเปรียบเทียบผลต่างค่าพื้นที่ระหว่าง ชิ้นงานจากแบบหล่อและชิ้นงานต้นแบบ กลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ A ด้วยแบบหล่อซิลิโคนและแบบหล่อซีเมนต์.....83

5.9 การเปรียบเทียบผลต่างค่าพื้นที่ระหว่าง ชิ้นงานจากแบบหล่อและชิ้นงานต้นแบบ กลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ B ด้วยแบบหล่อซิลิโคนและแบบหล่อซีเมนต์.....84

5.10 การเปรียบเทียบผลต่างค่าพื้นที่ระหว่าง ชิ้นงานจากแบบหล่อและชิ้นงานต้นแบบ กลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ C ด้วยแบบหล่อซิลิโคนและแบบหล่อซีเมนต์.....85

5.11 การเปรียบเทียบผลต่างค่าพื้นที่ระหว่าง ชิ้นงานจากแบบหล่อและชิ้นงานต้นแบบ กลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ D ด้วยแบบหล่อซิลิโคนและแบบหล่อซีเมนต์.....86

5.12 การเปรียบเทียบผลต่างค่าพื้นที่ระหว่าง ชิ้นงานจากแบบหล่อและชิ้นงานต้นแบบ กลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ E ด้วยแบบหล่อซิลิโคนและแบบหล่อซีเมนต์.....87

5.13 การเปรียบเทียบผลต่างค่าพื้นที่ระหว่าง ชิ้นงานจากแบบหล่อและชิ้นงานต้นแบบ กลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ F ด้วยแบบหล่อซิลิโคนและแบบหล่อซีเมนต์.....88

5.14 การเปรียบเทียบค่าผลต่างค่าพื้นที่ระหว่าง ชิ้นงานจากแบบหล่อและชิ้นงานต้นแบบ กลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ G ด้วยแบบหล่อซิลิโคนและแบบหล่อซีเมนต์.....89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

5.15 บันทึกค่าระยะผิดพลาด (Square Error) ค่าผลต่างของพื้นที่ (Area Error) กลุ่มทดลองแบบ A, B, C, D, E, F และ G.....90

5.16 บันทึกค่าผลรวมระยะผิดพลาด, ค่าผลต่างของพื้นที่ กลุ่มทดลองแบบ A, B, C, D, E, F และ G (โดยเรียงลำดับ จากน้อยไปหามาก แบ่งตามชนิดแบบหล่อ).....94

5.17 การเรียงลำดับค่า Sum Error แบบหล่อทั้ง 2 ชนิด ของทุกลักษณะลวดลาย โดยเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก.....97

6.1 ลำดับของแบบลวดลายจากแบบลวดลายที่มีค่าความเสียหายน้อยไปหามาก.....98

6.2 ผลรวมค่า Square Error และ Area Error เปรียบเทียบแบบหล่อทั้ง 2 ชนิด.....99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1.1 | ชิ้นงานหล่อประจำยามและการแบ่งส่วน | 1 |
| 1.2 | ชิ้นงานหล่อโดยแบบหล่อซีเมนต์ | 2 |
| 1.3 | ชิ้นงานหล่อโดยแบบหล่อซิลิโคน องค์ประกอบโบสถ์วัดสวนสันติธรรม จังหวัดชลบุรี | 3 |
| 1.4 | ชิ้นงานประจำยามหล่อโดยแบบหล่อซิลิโคน โบสถ์วัดสวนสันติธรรม จังหวัดชลบุรี | 4 |
| 1.5 | การออกแบบแบ่งสัดส่วนลายประจำยาม | 4 |
| 1.6 | กรอบการวิจัย | 7 |
| 2.1 | การต่อลายประจำยาม | 13 |
| 2.2 | ลวดลายประจำยามในงานสถาปัตยกรรมไทย | 15 |
| 2.3 | กระบะไม้มาตรฐานใช้ในการตวงปริมาตร หิน ทราย | 21 |
| 2.4 | เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (Vernier Calipers) | 27 |
| 2.5 | การเผาปูน | 28 |
| 3.1 | มุมมองภาพการวัดค่าชิ้นงาน | 31 |
| 3.2 | มุมมองภาพชิ้นงานจากบนลงล่าง | 31 |
| 3.3 | มุมมองภาพชิ้นงานทางด้านข้าง | 32 |
| 3.4 | ตัวอย่างการวิเคราะห์ค่าด้วยวิธี Square Error (Section View) | 34 |
| 3.5 | ตัวอย่างการวิเคราะห์ค่าด้วยวิธี Area Error (Section View) | 34 |
| 4.1 | ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานต้นแบบ | 38 |
| 4.2 | การใช้ต้นแบบชิ้นงานจากแบบหล่อซิลิโคนเพื่อสร้างแบบหล่อซีเมนต์ | 43 |
| 4.3 | การใช้ต้นแบบชิ้นงานขี้ผึ้งเพื่อสร้างแบบหล่อซีเมนต์ | 44 |
| 4.4 | การใช้ต้นแบบชิ้นงานปูนพลาสเตอร์และขี้ผึ้งเพื่อสร้างแบบหล่อซิลิโคนและแบบหล่อ | 44 |
| 4.5 | กลุ่มการทดลอง การหล่อชิ้นงานด้วยแบบหล่อซีเมนต์และแบบหล่อซิลิโคน | 48 |
| 4.6 | การเทียบลายเส้นเพื่อหาระยะความถี่ที่เหมาะสมในการวัดค่าระยะผิดพลาด โดยใช้กลุ่มตัวอย่างทดลอง CA | 65 |
| 4.7 | กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าผลรวม SE และค่าระยะความถี่ กลุ่มทดลอง CA-01 | 72 |
| 4.8 | กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าผลรวม SE และค่าระยะความถี่ กลุ่มทดลอง CA-02 | 72 |
| 4.9 | กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าผลรวม SE และค่าระยะความถี่ กลุ่มทดลอง CA-03 | 72 |
| 4.10 | กราฟเปรียบเทียบทั้ง 3 กลุ่มทดลองที่ระยะความถี่ @0.25 mm | 73 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป (ต่อ)


รูปที่ หน้า

4.11 ตัวอย่างการบันทึกผลต่างของพื้นที่ชิ้นงาน โดยเทียบจากลายเส้นชิ้นงานตั้งต้น และชิ้นงานหล่อ (ภาพตัวอย่างจากกลุ่มการทดลอง CA แบบหล่อซีเมนต์ รูปแบบลวดลายประเภท A).....74

5.1 ตัวอย่างการวิเคราะห์ค่าด้วยวิธี Square Error (Section View).....75

5.2 ตัวอย่างการวิเคราะห์ค่าด้วยวิธี Area Error (Section View).....75

5.3 แผนภูมิผลรวมระยะผิดพลาด แบบหล่อซีเมนต์กลุ่มทดลองแบบ A, B, C, D, E, F และ G....91

5.4 แผนภูมิผลต่างของพื้นที่ แบบหล่อซีเมนต์กลุ่มทดลองแบบ A, B, C, D, E, F และ G.....91

5.5 แผนภูมิผลรวมระยะผิดพลาด แบบหล่อซีเมนต์กลุ่มทดลองแบบ A, B, C, D, E, F และ G....92

5.6 แผนภูมิค่าผลต่างของพื้นที่ แบบหล่อซิลิโคนกลุ่มทดลองแบบ A, B, C, D, E, F และ G.....92

5.7 แผนภูมิค่าผลรวมระยะผิดพลาด แบบหล่อซีเมนต์และแบบหล่อซิลิโคน กลุ่มทดลอง แบบ A, B, C, D, E, F และ G.....93

5.8 แผนภูมิค่าผลต่างของพื้นที่ แบบหล่อซีเมนต์และแบบหล่อซิลิโคน กลุ่มทดลอง แบบ A, B, C, D, E, F และ G.....93

5.9 แผนภูมิค่าผลรวมระยะผิดพลาด (เรียงค่าจากน้อยไปมาก) แบบหล่อ ซีเมนต์และ แบบหล่อซิลิโคน กลุ่มทดลองแบบ A, B, C, D, E, F และ G.....95

5.10 แผนภูมิค่าผลต่างพื้นที่ (เรียงค่าจากน้อยไปมาก) แบบหล่อ ซีเมนต์และ แบบหล่อซิลิโคน กลุ่มทดลองแบบ A, B, C, D, E, F และ G.....96



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของงานวิจัย

ประเทศไทยมี ศิลปวัฒนธรรมที่งดงามหลายแขนง ซึ่งยังดำรงไว้จากอดีตสู่ปัจจุบัน สำหรับงานช่างด้านสถาปัตยกรรมไทย จะเห็นได้ว่าต้องใช้ช่างในหลายแขนงโดยถูกแบ่งหมวดไว้ตั้งแต่โบราณว่าช่างสิบหมู่ ประกอบด้วย 1.ช่างเขียน 2.ช่างปั้น 3.ช่างแกะ 4.ช่างสลัก 5.ช่างหล่อ 6.ช่างกลึง 7.ช่างหุ่น 8.ช่างรัก 9.ช่างบุ 10.ช่างปูน .เชี่ยวชาญตามวิธีและวัสดุที่ต่างกันออกไป เพื่อสร้างสรรค์ให้ เกิดสถาปัตยกรรมไทย ที่เหมาะสมกับการใช้งานและมีความงดงามถูกต้องตามระเบียบแบบแผน[1]

ในสมัยโบราณ งานปูนปั้นหนึ่งในสกุลช่างสิบหมู่ นิยมทำเป็นส่วนประกอบในงานสถาปัตยกรรมไทย ด้วยลักษณะซ้ำๆและความหลากหลาย ศาสนาสถานส่วนใหญ่นิยมก่อสร้างด้วยอิฐ ศิลาแลง และกาวประสานจากธรรมชาติ ทั้งพืชและสัตว์ เหมาะสมกับงานปูนปั้นที่ใช้ในรายละเอียดของการประดับตกแต่ง ประกอบกับวัสดุที่คงทน จึงปรากฏงานปูนปั้นประดับตามโบราณสถานในสมัยต่างๆเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน โดยลวดลายไทยที่ใช้ จะเป็นการบรรจุลายลงบนที่ว่างโดยมีพื้นฐานจากรูปเลขาคณิตทั้ง สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยมและวงกลม[2]

**รูปที่ 1.1** ชิ้นงานหล่อประจำยามและการแบ่งส่วน (ที่มา:ผู้วิจัย)

ในปัจจุบัน ด้วยเทคโนโลยีการก่อสร้างที่พัฒนาทั้งอุปกรณ์ กรรมวิธี และวัสดุ โดยเฉพาะการก่อสร้างด้วยเทคโนโลยี คอนกรีต ที่สามารถหล่อขึ้นรูปตามแบบ ประกอบกับมีความคงทนแข็งแรง เป็นเทคโนโลยีที่แพร่หลายและนิยมใช้กันมากในงานสถาปัตยกรรมยุคปัจจุบัน[3] รวมไปทั้งการดัดแปลงและนำเทคโนโลยีต่างๆมาใช้เพื่อให้การดำเนินการออกแบบและก่อสร้างงานสถาปัตยกรรมไทย ให้เสร็จสมบูรณ์ด้วยดี แตกต่างกับช่างปูนปั้นไทย วิชาชีพที่ช่างสืบทอดจากรุ่นสู่รุ่นกลับลดน้อยลง ส่งผลกระทบให้การสร้างสถาปัตยกรรมไทยมีต้นทุนที่สูงมาก ด้วยค่าแรงที่มากและด้วย

[1] สำนักงานหอสมุดแห่งชาติ (2555:9) ,งานช่างศิลป์ไทย

[2] ศาสตราจารย์ ดร.สันติ เล็กสุขุม. (2553 : 453) พัฒนาการของลายไทย: กระหนกกับเอกลักษณ์ไทย.

[3] จารุณี อินเฉิดฉาย.(2556:67)ภัณฑารักษ์ พิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติ พระนคร.มาลาบูชาคุณ “ชีวิตและผลงานทางวิชาการของศิลปินแห่งชาติ พลอากาศตรี อาวุธ เงินชูกลิ่น.”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียด ความอ่อนช้อยของลวดลายประดับที่ชำรุดไว ยิ่งต้องใช้ต้นทุนทั้งการสร้างและซ่อมบำรุงสูงขึ้นตามไปด้วย เกิดเป็นคำถามตามมามากมายทั้งในการซ่อมบำรุงหรือสร้างใหม่ว่า สถาปัตยกรรมที่มีเอกลักษณ์ความเป็นไทย มีความเหมาะสมและจำเป็นเพียงใดกับเทคโนโลยีการก่อสร้างที่ก้าวหน้าและช่างฝีมือที่ลดน้อยลงในปัจจุบัน

จากประสบการณ์ทำงานและรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นของผู้วิจัยพบว่า กรรมวิธีในการก่อสร้างงานสถาปัตยกรรมไทยด้วยคอนกรีตในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นการผสมผสานระหว่างการปั้นขึ้นรูปเพื่อทำแบบหล่อ และหล่อชิ้นงานด้วยคอนกรีต โดยมีกรรมวิธีการทำแบบหล่อและกรรมวิธีการหล่อคอนกรีตที่ต่างกันไป โดยมากที่พบคือการใช้แบบหล่อซีเมนต์ (พิมพ์โขก) และแบบหล่อซิลิโคน โดยใช้การสืบทอดแบบบอกต่อ โดยยังขาดการรวบรวมข้อมูลและค้นคว้าอย่างมีระบบ

**รูปที่ 1.2** ชิ้นงานหล่อโดยแบบหล่อซีเมนต์ (ที่มา:ผู้วิจัย)

การหล่อพิมพ์เมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบการก่อสร้างระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป (Prefabrication System)ที่เป็นที่นิยมในปัจจุบันแล้ว ระบบชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป(Precast Concrete) มีความสอดคล้องกับการหล่อชิ้นงานองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมไทย คือการหล่อคอนกรีตเป็นชิ้นแล้วจึงนำไปติดตั้ง[4] ซึ่งปัจจัยสำคัญสำหรับการก่อสร้างรูปแบบนี้ คือต้องหล่อชิ้นงานออกมาได้มาตรฐาน มีความเสียหายน้อยที่สุด เพื่อลดต้นทุน เวลา และความสะดวกในการก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[4] เครือซีเมนต์ไทย. (2537:54) ปูนซีเมนต์และการประยุกต์ใช้งาน

**รูปที่ 1.3** ชิ้นงานหล่อโดยแบบหล่อซิลิโคน องค์ประกอบโบสถ์วัดสวนสันติธรรม จังหวัดชลบุรี (ที่มา:ผู้วิจัย)

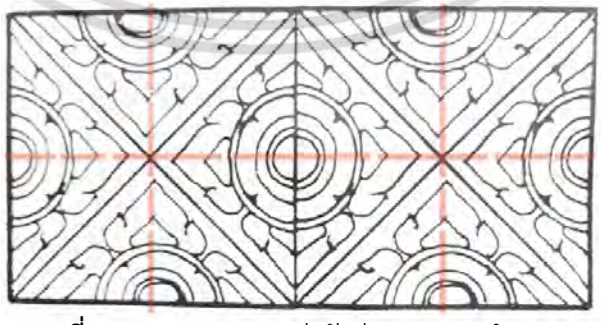
ผู้วิจัยจึงได้ทำการรวบรวมข้อมูลจากการค้นคว้าและประสบการณ์ทำงาน เพื่อทำการศึกษาและเปรียบเทียบ การหล่อคอนกรีต ด้วยพิมพ์โขก(แบบหล่อซีเมนต์)และแบบหล่อซิลิโคน (ขอบเขตการศึกษา ประจำยามพระอุโบสถ วัดสวนสันติธรรม) เพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาการก่อสร้างงานสถาปัตยกรรมไทยด้วยเทคโนโลยีการหล่อคอนกรีต โดยมุ้งเน้นการดำรงไว้ซึ่งเอกลักษณ์งานปูนปั้นของไทย โดยผสมผสานเข้ากับเทคโนโลยีการหล่อคอนกรีตสมัยใหม่อย่างเหมาะสม

วัดสวนสันติธรรม อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี เจ้าอาวาสหลวงพ่อปราโมทย์ ปาโมชโช เป็นวัดป่าสายวปัสสนา โดยสร้างเขตสงฆ์ก่อน แล้วจึงเริ่มสร้างโบสถ์ในช่วงปี 2556 ในช่วงขึ้นงานโครงสร้างได้มีการปรับปรุงแบบเพื่อปรับทรงหลังคาใหม่รวมทั้งเปลี่ยนผู้ออกแบบ ผู้วิจัยจึงได้เข้ามาร่วมงานก่อสร้างในส่วนของการควบคุมประสานงาน และได้พบปัญหาในขั้นตอนการหล่อชิ้นงานโดยกรรมวิธีหล่อด้วยแบบหล่อซีเมนต์ คือชิ้นงานที่ได้มีการแตกบิ่น ช่างปั้นต้องทำการซ่อมและปั้นแต่งความเสียหายที่เกิดจากขั้นตอนการถอดแบบเป็นส่วนใหญ่ เกิดปัญหาสำคัญตามมาคือ ค่าแรงช่างสูงขึ้น และ ชิ้นงานที่เกิดจากการซ่อมแซมมีรอยแตกร้าวและเกรงว่าอายุการใช้งานจะต่ำลง จึงเกิดเป็นแนวคิดว่าจะหล่อชิ้นงานอย่างไร ให้ชิ้นงานที่ได้มีความสมบูรณ์ที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 1.4** ชิ้นงานประจำยามหล่อโดยแบบหล่อซิลิโคน โบสถ์วัดสวนสันติธรรม จังหวัดชลบุรี
(ที่มา:ผู้วิจัย)

ลายประจำยามเป็นลวดลาย ที่มีรูปเป็นดอกไม้ 4 กลีบ วางเป็นระยะ ๆ คั่นลายอื่น[5] เป็นลายที่วางจังหวะไว้เป็นมุมสี่มุม เป็นระยะเหมือนอยู่ยาม มีทิศทางการขยายลายหรือต่อลาย ได้ทั้งแนวราบ แกนตั้ง และแนวทแยง มีทั้งการวางไว้เป็นดอกเดียว (ดอกลอย) หรือมีการนำไปต่อลายกับลายประเภทอื่น ชื่อจะเปลี่ยนไปตามลักษณะ บางครั้งเรียกดอกสี่กลีบ สามารถประดิษฐ์ได้หลายรูปแบบ ใช้เป็นตัวคั่น ตัวห้ามลาย ตัวลายสามารถวางได้ทั้งแบบทแยงมุม และแบบตั้งตามแนวฉาก ด้วยรูปแบบลวดลายประจำยามที่เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส จึงสะดวกในการเลือกมาใช้งาน สามารถแบ่งครึ่งเป็นสามเหลี่ยม (หนึ่งในสอง)หรือแบ่งใช้มุมเดียว(หนึ่งในสี่) ลวดลายประจำยามสามารถพบได้ทั่วไปในทุกองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมไทย ในทุกประเภทอาคารทั้งอาคารพักอาศัย และอาคารศาสนา รวมถึง อาคารราชการและพระบรมมหาราชวัง ด้วยลักษณะความสมมาตรของลวดลายทั้งแนวตั้งฉากและทแยงมุม ประกอบกับเป็นแม่ลายที่สำคัญ จึงนำมาใช้เป็นต้นแบบลวดลายเพื่อการหล่อคอนกรีตในการวิจัยครั้งนี้



**รูปที่ 1.5** การออกแบบแบ่งสัดส่วนลายประจำยาม
(ที่มา: ภาพงานออกแบบโดย รศ.ดร.ภิญโญ สุวรรณคีรี หนังสือลายไทย ชุดสื่อสาระ 6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[5] พจนานุกรม ราชบัณฑิตยสถาน (2554:508)

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาการหล่อคอนกรีตลวดลายประจำยามด้วยแบบหล่อซีเมนต์และแบบหล่อซิลิโคน

1.2.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบลักษณะชิ้นงานที่ได้จากการหล่อระหว่างแบบหล่อซีเมนต์และแบบหล่อซิลิโคน

## 1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 ในอัตราส่วนคอนกรีตเดียวกัน การถอดชิ้นงานออกจากแบบหล่อซิลิโคนจะเกิดความเสียหายน้อยกว่าแบบหล่อคอนกรีต

1.3.2 ต้นแบบชิ้นงาน ที่มีการปรับลักษณะ โดยลดความลึกและลดความแหลมของลวดลายจะได้ชิ้นงานที่เสียหายจากการถอดแบบหล่อน้อยกว่าต้นแบบตั้งต้น

## 1.4 ขอบเขตงานวิจัย

1.4.1 ลายประจำยามพระอุโบสถ วัดสวนสันติธรรม จังหวัดชลบุรี

1.4.2 เปรียบเทียบความเสียหายของชิ้นงานหลังจากถอดแบบหล่อโดยสังเกตจาก รอยบิ่นและการแตกหัก วัดเป็นพื้นที่เพื่อเปรียบเทียบ

## 1.5 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

1.5.1 ตัวแปรต้น
แบบหล่อซีเมนต์ แบบหล่อซิลิโคน

1.5.2 ตัวแปรตาม
ความเสียหายชิ้นงาน

1.5.3 ตัวแปรแทรกซ้อน
ความชื้น อุณหภูมิห้อง แสงแดด

1.5.4 ตัวแปรควบคุม
อัตราส่วนคอนกรีต การจี้คอนกรีตเพื่อไล่ฟองอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้แบบหล่อเพื่อการหล่องานคอนกรีต สถาปัตยกรรมไทย ได้เหมาะสมกับสภาพงาน

1.6.2 เพื่อเป็นแนวทางให้ช่างไทยสามารถเข้าใจและใช้เทคโนโลยีหล่อคอนกรีตได้มากขึ้น

1.6.3 เพื่อเป็นแนวทางในการลดต้นทุนค่าก่อสร้างในการก่อสร้าง งานสถาปัตยกรรมไทย

**ตารางที่ 1.1** ระยะเวลาในการดำเนินการศึกษา

| ขั้นตอน | ต.ค. 59 | พ.ย. 59 | ธ.ค. 59 | ม.ค. 60 | ก.พ. 60 | มี.ค. 60 | ม.ค. 61 | ก.พ. 61 | มี.ค. 61 | เม.ย. 61 | พ.ค. 61 | มิ.ย. 61 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.ศึกษาข้อมูล และทบทวนวรรณกรรม | ← | → | | | | | | | | | | |
| 2.ออกแบบวิธีวิจัย สอบหัวข้อ | | ← | — | → | | | | | | | | |
| 3.ดำเนินการทดลอง | | | | | ← | — | — | → | | | | |
| 4.วิเคราะห์ข้อมูล | | | | | | | ← | — | — | → | | |
| 5.สรุปผลการวิจัย | | | | | | | | | ← | — | → | |
| 6.สอบวิทยานิพนธ์ | | | | | | | | | | | ← | → |
| 7.นำเสนอบทความ | | | | | | | | | | ← | → | |
| หมายเหตุ : การเขียนเล่มวิทยานิพนธ์ทำคู่ขนานพร้อมกันในแต่ละขั้นตอน | | | | | | | | | | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.7 ขั้นตอนการศึกษา

### 1.7.1 การศึกษาข้อมูล

1.7.1.1 ศึกษาข้อมูลกรรมวิธี การหล่อคอนกรีตด้วยแบบหล่อซิลิโคนและแบบหล่อซีเมนต์

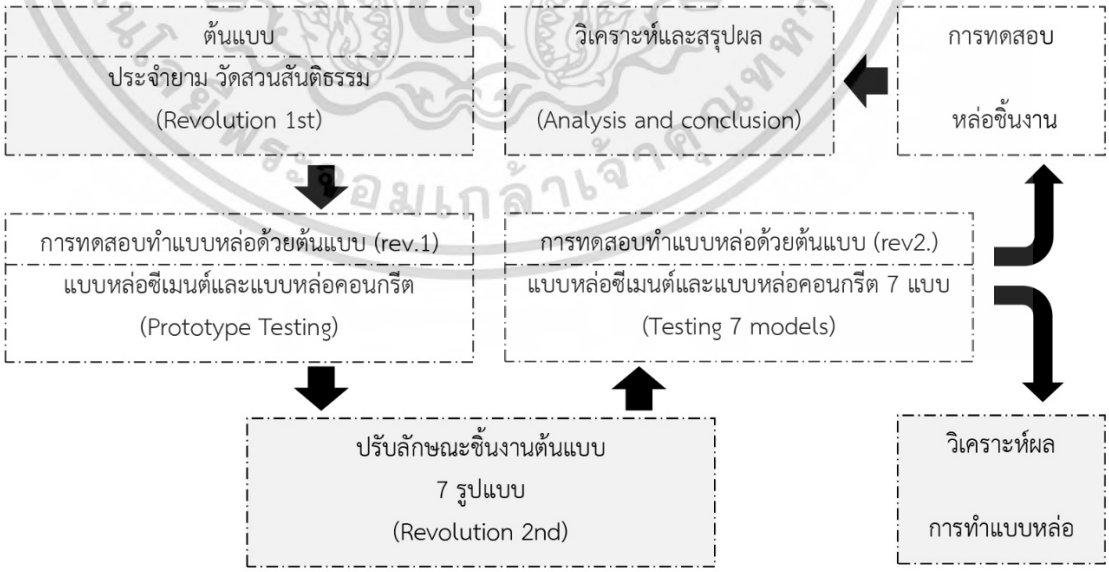
1.7.1.2 ศึกษาการเก็บรวบรวมข้อมูลภาคสนาม สังเกตรูปแบบการทำงานของช่างโดยเก็บข้อมูลการขึ้นรูปต้นแบบ การหล่อแบบคอนกรีต ด้วยพิมพ์โขก(แบบหล่อซีเมนต์) และแบบหล่อซิลิโคน

### 1.7.2 ขั้นตอนการออกแบบวิธีวิจัย

1.7.2.1 การทำแบบหล่อซีเมนต์และแบบหล่อซิลิโคน จากต้นแบบเดียวกัน สำหรับใช้เป็นแบบหล่อคอนกรีต เพื่อเปรียบเทียบความเสียหายของชิ้นงานหลังจากการถอดแบบหล่อ

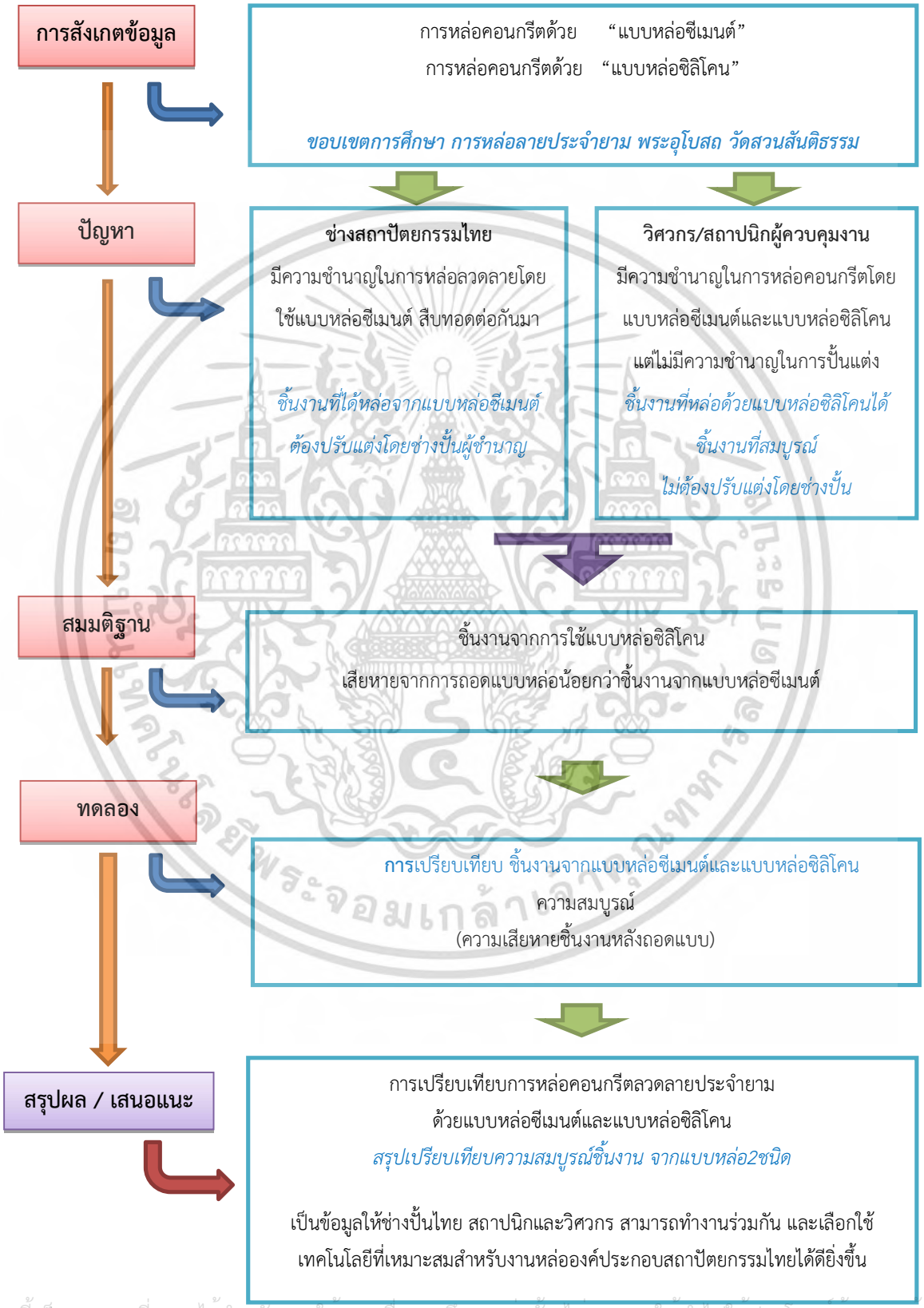
1.7.2.3 การใช้เครื่องมือตรวจวัดค่าในการวิจัย ด้วยมาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย ด้วยการพินิจ มยพ 1501-51 โดยด้วยการจดบันทึก กาถ่ายรูป การวัดค่าเทียบเป็นตัวเลข (ปริมาณตามดและพื้นที่ความเสียหายชิ้นงานเปรียบเทียบร้อยละพื้นที่ความเสียหาย)

## 1.8 กรอบการวิจัย




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.9 วิธีดำเนินงานวิจัย




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.10 คำจำกัดความที่ใช้ในการศึกษา

**แบบหล่อซีเมนต์** แบบหล่อที่ใช้สำหรับหล่อชิ้นงานคอนกรีต โดยทำจากซีเมนต์ ลักษณะแบบหล่อจะมีความแข็งแกร่ง เป็นแบบหล่อชนิดที่ช่างสมัยก่อนนิยมใช้ส้รางแบบหล่อจากแบบปั้นปูนสดปจจุบันนำมาประยุกค์ใช้กับต้นแบบที่ปั้นด้วยดินน้ำมันหรือขี้ผึ้ง

**แบบหล่อซิลิโคน** แบบหล่อที่ใช้สำหรับหล่อชิ้นงานคอนกรีต โดยทำจากยางซิลิโคน ลักษณะวัสดุมีความยืดหยุ่นและเหนียว ตามคุณลักษณะของยาง มีสีขาวโดยมีฐานปูนรองกันการเสียรูปจากความยืดหยุ่น นิยมใช้สำหรับช่างปะติมากรรมสมัยใหม่ และเริ่มนำมาประยุกค์ใช้กับงานสถาปัตยกรรม ในการวิจัยครั้งนี้

**พิมพ์โขก** คือแบบหล่อซีเมนต์ซึ่งใช้เรียกกันในศัพท์ของช่างปั้นสมัยก่อน โดยนิยมสร้างจากต้นแบบด้วยวิธีปั้นปูนสด

**ลายประจำยาม** ลายอย่างหนึ่ง มีรูปเป็นดอกไม้ 4 กลีบ วางเป็นระยะ ๆ คั่นลายอื่น เป็นลายที่วางจังหวะไว้เป็นมุมสี่มุม เป็นระยะเหมือนอยู่ยาม มีทิศทางการขยายลายหรือต่อลาย ได้ทั้งแนวราบแกนตั้ง และแนวทแยง มีทั้งการวางไว้เป็นดอกเดียว (ดอกลอย) หรือมีการนำไปต่อลายกับลายประเภทอื่น ชื่อจะเปลี่ยนไปตามลักษณะ บางครั้งเรียกดอกสี่กลีบ สามารถประดิษฐ์ได้หลายรูปแบบ ใช้เป็นตัวคั่น ตัวห้ามลาย ตัวลายสามารถวางได้ทั้งแบบทแยงมุม และแบบตั้งตามแนวฉาก ด้วยรูปแบบลวดลายประจำยามที่เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส จึงสะดวกในการเลือกมาใช้งาน สามารถแบ่งครึ่งเป็นสามเหลี่ยม

**ปูนตำ** ปูนตำเป็นชื่อเรียกปูนชนิดหนึ่งที่ผ่านกระบวนการตำหรือโขลกมาแล้ว การตำหรือโขลกหรือการบดย้ำด้วยแรงกระแทก เพื่อให้วัตถุที่ผสมลงไป หรือส่วนประกอบปนกัน หรือเข้ากันเป็นอย่างดี บางแห่งเรียกว่า ปูนทิ่มก็มี ครั้นเมื่อนำไปปั้นก็เรียกว่า ปั้นปูนตำ ปั้นปูนโขลก และปั้นปูนทิ่ม หรือบางแห่งเรียกว่าปูนสด เมื่อนำไปปั้นเรียกว่าปูนปั้นสด คือ ตั้งปั้นกันสดๆ จะให้ปูนแห้งไม่ได้ต้องให้สดอยู่เสมอ ดังนั้น ปูนตำจึงเรียกชื่อได้หลายชื่อ เช่น ปูนโขลก ปูนตำ ปูนทิ่ม และปูนสด ซึ่งการวิจัยนี้เลือกใช้ซีเมนต์ทั่วไป ซึ่งสามารถคุมมาตรฐานการหล่อได้ดีกว่า

**Area Error** เป็นการวัดค่าความถูกต้อง โดยเปรียบเทียบกับ ชิ้นงานต้นแบบ หาค่าพื้นที่ ที่แตกต่างกัน โดยชิ้นงานตั้งต้นจะที่มีความสมบูณ์มากกว่าใช้เป็นตัวตั้ง ลบด้วยค่าพื้นที่ของชิ้นงานหล่อ เทคนิคที่ใช้วัด คือการimport รูปเข้า AutoCAD และวาดลายเส้นตามชิ้นงาน หลังจากนั้น นำชิ้นงานทั้ง2 ชิ้นเทียบกันแล้ว Hatch หาค่าพื้นที่ที่แตกต่างกัน

**Square Error** ค่าที่นำมาใช้ ก็คือค่าที่ทำให้ผลรวมของ (ความเบี่ยงเบนออกจากจุดอ้างอิงยกกำลังสอง) มีค่าน้อยที่สุด เป็นศูนย์ได้ยิ่งดี แต่ก็จะไม่น้อยกว่าศูนย์ เพราะค่าที่ยกกำลังสอง ยังไงก็ไม่ติดลบ การที่ยกกำลังสอง เพื่อให้แน่ใจว่า เบี่ยงเบนไปด้านไหนก็ตาม จะกลายเป็นความเสียหาย ทั้งสองฝั่ง ค่าบวกและค่าลบเพราะจะมีค่ามากขึ้นเสมอเมื่อเบี่ยงเบนมากขึ้น ผลรวมของ (ความเบี่ยงเบนออกจากจุดอ้างอิงยกกำลังสอง) มีชื่อเรียกทางสถิติว่า sum squared error

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# การทบทวนวรรณกรรม

ในการศึกษาวิจัยนี้ได้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง โดยได้แบ่งลักษณะเนื้อหาออกเป็น 9 ส่วนหลัก ประกอบด้วย

2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับศิลปะงานปูนปั้น

2.2 ข้อมูลเกี่ยวกับลายประจำยาม

2.3 ข้อมูลเกี่ยวกับคอนกรีตและการแตกร้าว

2.4 ข้อมูลเกี่ยวกับการตรวจสอบคอนกรีตด้วยวิธีพินิจ (วิธีการทดสอบคอนกรีตแบบไม่ทำลาย)

2.5 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6 กรอบข้อมูลจากการทบทวนวรรณกรรม

2.7 การวัดและความผิดพลาด

2.8 หน่วยของการวัด

2.9 การเผาปูน

## 2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับศิลปะงานปูนปั้น

ปูนไม่ใช่ของที่พึ่งเกิดขึ้นใหม่แต่เป็นสิ่งที่มีมาแล้วและสามารถสืบย้อนกลับไปได้หลายศตวรรษ ปูนนั้นมีหลากหลายประเภท และมีชื่อเรียกแต่กต่างกันไป บ้างเรียกตามสี เช่น ปูนขาว ปูนแดง บ้างเรียกตามประเภทของงาน เช่น ปูนก่อ ปูนฉาบ และบ้างเรียกตามการผลิตปูน เช่น ปูนตำ ปูนหมัก เป็นต้น

ในดินแดนที่เป็นประเทศไทยปัจจุบันมนุษย์รู้จักนำปูนมาใช้ในงานก่อสร้างเป็นเวลามากกว่าพันปีแล้ว โดยใช้เป็นวัสดุเชื่อมประสานหินหรืออิฐที่ใช้ในการก่อสร้างให้ติดกัน ปูนที่ใช้คือ “ปูนขาว” (lime) ซึ่งได้จากการเผาวัตถุที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate) เช่น หินปูน หินอ่อน และเปลือกหอย เป็นต้น หากนำปูนขาวไปใช้เป็นวัสดุเชื่อมยึดหินหรืออิฐให้ติดกันเพื่อก่อเป็นผนัง กำแพง หรือเพดานก็จะเรียกว่า “ปูนสอ” (Mortar) แต่ถ้าใช้เป็นวัสดุฉาบหินหรืออิฐจะเรียกว่า “ปูนฉาบ” (plaster) และถ้าใช้ทำเป็นลวดลายหรือปั้นประดับตามอาคารจะเรียกว่า “ปูนปั้น” (stucco) ทั้งนี้ในปูนสอและปูนฉาบจะมีองค์ประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ ปูนขาวและทราย ขณะที่ในปูนปั้นจะมีองค์ประกอบ 4 ส่วน คือ ปูนขาว ทราย เส้นใย และกาว

ร่องรอยการใช้ปูนที่เก่าแก่ที่สุดในประเทศไทยพบในสมัยทวารวดี ราวพุทธศตวรรษที่ 12-16 โดยพบการนำปูนขาวมาใช้งานสถาปัตยกรรมและศิลปกรรมควบคู่ไปกับการใช้ดินเผาอย่างแพร่หลาย ส่วนใหญ่เป็นงานปูนปั้นประดับอยู่ตามฐานของอาคารและเจดีย์ ซึ่งแม้จะอยู่ในสภาพไม่สมบูรณ์ แต่ก็

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยังคงความงดงามและแสดงถึงเอกลักษณ์ของวัฒนธรรมทวารวดีได้อย่างชัดเจน เช่น ภาพปูนปั้นเล่าเรื่องที่ฐานเจดีย์จุลประโทน จังหวัดนครปฐม, ภาพปูนปั้นนักดนตรีหญิงที่โบราณสถานเมืองคูบัว จังหวัดราชบุรี, งานปูนปั้นประดับโบราณสถานที่วัดนครโกษา จังหวัดลพบุรี และงานปูนปั้นประดับโบราณสถานเขาคลังใน เมืองศรีเทพ จังหวัดเพชรบูรณ์ เป็นต้น

ความนิยมการใช้ปูนขาวในงานก่อสร้างยังคงสืบเนื่องเรื่อยมาจนถึงในสมัยรัตนโกสินทร์ เช่น การใช้ปูนเป็นตัวฉาบ และสออิฐในการก่อสร้างหมู่พระที่นั่งพระราชฐานชั้นใน พระบรมมหาราชวัง และการปั้นปูนประดับกระเบื้องพระปรางค์วัดอรุณราชวราราม เป็นต้น

กระทั่งในสมัยรัชกาลที่ 4 จึงเริ่มมีการใช้ปูนซีเมนต์ในการก่อสร้าง โดยเป็นการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ นำเข้าสร้างสิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่ เช่น สะพานพระจอมเกล้าข้ามแม่น้ำเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี ต่อมาในสมัยรัชกาลที่ 5 เริ่มมีการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์นำเข้ามากขึ้น เช่น ใช้เป็นส่วนประกอบของคอนกรีตในการเสริมฐานรากเดิมของพระอุโบสถวัดราชาธิวาส และใช้ทำโครงสร้างอาคารขนาดใหญ่อย่างพระที่นั่งอนันตสมาคม เป็นต้น

กระทั่งในสมัยรัชกาลที่ 6 จึงมีการตั้งโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ขึ้นเป็นครั้งแรกในประเทศไทย เมื่อ พ.ศ. 2456 ปัจจุบันรู้จักกันในชื่อบริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) ทำให้มีการใช้ปูนซีเมนต์ในงานก่อสร้างมากกว่าเดิม เช่น ใช้สร้างพระที่นั่งเทวราชสภารมย์ในพระราชวังพญาไท สร้างหอประชุมโรงเรียนวชิราวุธวิทยาลัย และสร้างสะพานพระพุทธยอดฟ้าข้ามแม่น้ำเจ้าพระยา เป็นต้นกระทั่งได้กลายเป็นที่นิยมใช้ในหมู่ประชาชนในเวลาต่อมา

ปัจจุบันคนไทยนิยมใช้ปูนซีเมนต์ในการก่อสร้างอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นส่วนประกอบสำคัญของคอนกรีตซึ่งใช้เป็นโครงสร้างที่อยู่อาศัย อาคารสำนักงาน และสถาปัตยกรรมอื่นๆ อีกนับไม่ถ้วน ส่วนปูนขาวได้เปลี่ยนบทบาทเป็นวัสดุที่ใช้ในการอนุรักษ์โบราณสถาน เนื่องจากมีความยืดหยุ่นดีกว่าปูนซีเมนต์ หากแต่ก็ยังมีการใช้ในการทำปูนปั้นประดับตามศาสนสถานบางแห่งบ้าง

ว่าด้วยเรื่องปูนปั้น

ปูนปั้นเป็นงานศิลปกรรมประเภทหนึ่งที่ได้จากการใช้ปูนผสมกับวัสดุต่างๆ แล้วปั้นเป็นลวดลายประดับสิ่งก่อสร้างให้เกิดความสวยงาม จากหลักฐานทางโบราณคดีชี้ให้เห็นว่ามนุษย์ในพื้นที่ส่วนต่างๆ ของโลกรู้จักปั้นปูนประดับตกแต่งอาคารและศาสนสถานมาเป็นเวลานานแล้ว ไม่ว่าจะเป็นในอารยธรรมเมโสโปเตเมีย อารยธรรมกรีกอารยธรรมโรมัน และอารยธรรมลุ่มแม่น้ำสินธุ เป็นต้น สำหรับในประเทศไทยมนุษย์รู้จักปั้นปูนประดับอาคารมาอย่างน้อยตั้งแต่สมัยทวารวดี ราวพุทธศตวรรษที่ 12-16 ดังปรากฏหลักฐานปูนปั้นประดับศาสนสถานสมัยทวารวดีตามที่ต่างๆและยังเป็นที่นิยมเรื่อยมาทั้งในล้านนา สุโขทัย อยุธยา และรัตนโกสินทร์

จากข้อมูลการศึกษาปูนปั้นโบราณทำให้ทราบว่า ปูนปั้นแต่ละแห่งมีส่วนผสมแตกต่างกันไป แต่หลักๆ จะประกอบด้วยส่วนผสมสำคัญ 4 ส่วน คือ ปูนขาว ทราย เส้นใยและกาว ส่วนผสมทั้งสี่นี้ช่างโบราณจะนำมาตำหรือโขลกรวมกันให้เป็นเนื้อเดียว และเรียกปูนที่ได้จากขั้นตอนนี้ว่า “ปูนตำ” หรือบางแห่งก็เรียก ปูนโขลก ปูนทิ่ม และปูนสดคุณสมบัติของปูนตำเป็นปูนที่มีความเหนียวและความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แข็งแรง เนื่องจากมีเส้นใย กาว และเม็ดทรายผสมอยู่ หากแต่ก็มีความอ่อนตัวพอที่จะสามารถนำไปปั้นให้เป็นลวดลายต่างๆ ได้ ซึ่งเมื่อปูนที่ปั้นถูกอากาศก็จะทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และกลายสภาพเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีความแข็งแรงอีกครั้งหนึ่ง

ปัจจุบันงานปูนปั้นในประเทศไทยยังคงมีผู้สืบทอดต่อกันมาในแต่ละสกุลช่าง แต่ที่เป็นที่รู้จักกันดีคือปูนปั้นสกุลช่างเพชรบุรีซึ่งสืบทอดต่อมาจากครูพิน อินฟ้าแสง โดยอาจารย์ทองร่วง เอมโอษฐ์ ศิลปินแห่งชาติ กลุ่มช่างเหล่านี้จะมีบทบาททั้งในการซ่อมแซมอนุรักษ์ปูนปั้นโบราณ และการสร้างผลงานใหม่ประดับตามวัดวาอารามต่าง ๆ ลวดลายปูนปั้นที่ได้นอกจากจะแสดงถึงความงดงามและถ่ายทอดเรื่องราวที่ผู้ปั้นต้องการสื่อสารแล้ว ยังสะท้อนถึงภูมิปัญญาที่สืบเนื่องต่อมาซึ่งมีคุณค่าทางวัฒนธรรมอย่างมากด้วย

**สถาบันวิจัยและส่งเสริมศิลปวัฒนธรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี** ทำวิจัยรวบรวมไว้ว่าจุดเริ่มต้นของงานปูนปั้นลวดลายองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมไทย ศิลปะปูนปั้นเป็นเทคนิคการประดับตกแต่งที่ช่างไทยนิยมนำมาใช้ในการตกแต่งลวดลายบนงานสถาปัตยกรรมที่ก่อสร้างด้วยอิฐหรือศิลาแลง มีปรากฏตั้งแต่สมัยทวารวดีและยังคงเป็นที่นิยมสืบต่อกันมาทุกยุคสมัย ดังพบเห็นได้ตามโบราณสถานโดยทั่วไป ซึ่งการปั้นปูนแบ่งออกเป็น 2 วิธีใหญ่ ๆ คือ การปั้นสดหรือการปั้นที่ขึ้นรูปด้วยมือโดยตรง และการอัดปูนลงในแม่พิมพ์เป็นรูปลาย ลายปูนปั้นที่ประดับอยู่ตามโบราณสถานโดยทั่วไปมักอยู่ในสภาพชำรุด เพราะภูมิอากาศ ความชื้น และฝนทำให้หักพังและหลุดร่วงได้ง่าย

**สันติ เล็กสุขุม (2540:19),งานปูนปั้นก่อนสมัยทวารวดี** กล่าวเกี่ยวกับแนวความคิดในรูปแบบลวดลายที่พบในประเทศไทย สำหรับงานปูนปั้นมีระบบแบบแผนในดินแดนไทยมานานกว่าพันปี นับตั้งแต่สมัยทวารวดี ราวพุทธศตวรรษที่ 12 เป็นต้นมา ทั้งที่เป็นพระพุทธรูปเล่าเรื่องชาดก หรือลวดลายเพื่อประดับสถาปัตยกรรม ส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับคติความเชื่อและศาสนา หรือเกี่ยวกับความเชื่อในท้องถิ่น เพื่อประดับตกแต่ง

**ชัชวาล เศรษฐบุตร บรรณาธิการและคณะ(2536:1), ปูนซีเมนต์และการประยุกต์ใช้งานเครือซีเมนต์ไทย** รัชกาลที่ 6 จนถึง รัชกาลที่ 9 งานศิลปกรรมฟื้นฟูอีกครั้งหลังจากที่รัชกาลที่ 6 งานสมัยนี้ใช้เทคนิคของยุโรปเข้ามาเกี่ยวข้อง คือ ปั้นด้วยดินเหนียวแล้วถอดพิมพ์ หล่อปูน หล่อโลหะ จึงมีการตั้งโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ขึ้นเป็นครั้งแรกในประเทศไทย บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน) ทำให้มีการใช้ปูนซีเมนต์ในงานก่อสร้างมากกว่าเดิม เป็นต้นกระทั่งได้กลายเป็นที่นิยมใช้ในหมู่ประชาชนในเวลาต่อมา

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้น ศิลปะปูนปั้นในงานสถาปัตยกรรมไทยมีการสืบถอดและพัฒนาการตามยุคตามสมัย มีการนำเอาวัสดุสมัยใหม่มาใช้เพื่อเพิ่มความคงทนแข็งแรง แต่ยังคงความเป็นเอกลักษณ์ของศิลปะปูนปั้นและความงดงามของลวดลายไทยในงานสถาปัตยกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ข้อมูลเกี่ยวกับลายประจำยาม

**พจนานุกรม ราชบัณฑิตยสถาน (2554)**ลายประจำยามลายอย่างหนึ่ง มีรูปเป็นดอกไม้ 4 กลีบ วางเป็นระยะ ๆ คั่นลายอื่น

ลายประจำยามเป็นลวดลาย ที่มีรูปเป็นดอกไม้ 4 กลีบ วางเป็นระยะ ๆ คั่นลายอื่น เป็นลายที่วางจังหวะไว้เป็นมุมสี่มุม เป็นระยะเหมือนอยู่ยาม มีทิศทางการขยายลายหรือต่อลาย ได้ทั้ง แนวราบ แกนตั้ง และแนวทแยง มีทั้งการวางไว้เป็นดอกเดียว (ดอกลอย) หรือมีการนำไปต่อลายกับลายประเภทอื่น ชื่อจะเปลี่ยนไปตามลักษณะ บางครั้งเรียกดอกสี่กลีบ สามารถประดิษฐ์ได้หลายรูปแบบ ใช้เป็นตัวคั่น ตัวห้ามลาย ตัวลายสามารถวางได้ทั้งแบบทแยงมุม และแบบตั้งตามแนวฉาก ด้วยรูปแบบลวดลายประจำยามที่เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส จึงสะดวกในการเลือกมาใช้งาน สามารถแบ่งครึ่งเป็นสามเหลี่ยม (หนึ่งในสอง)หรือแบ่งใช้มุมเดียว(หนึ่งในสี่) ลวดลายประจำยามสามารถพบได้ทั่วไปในทุกองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมไทย ในทุกประเภทอาคารทั้งอาคารพักอาศัย และอาคารศาสนา รวมถึง อาคารราชการและพระบรมมหาราชวัง ด้วยลักษณะความสมมาตรของลวดลายทั้งแนวตั้งฉากและทแยงมุม ประกอบกับเป็นแม่ลายที่สำคัญ จึงนำมาใช้เป็นต้นแบบลวดลายเพื่อการหล่อคอนกรีตในการวิจัยครั้งนี้

**รูปที่ 2.1** การต่อลายประจำยาม (ที่มา: ภาพงานออกแบบ รศ.ดร. ภิญโญ สุวรรณคีรี)

แม่ลายประจำยามนี้สามารถแตกแขนงออกไปได้อีกมากมาย โดยการใส่ไส้ซ้อนเข้าไป จนดูหรูหรามากขึ้น และรูปทรงยังสามารถ เปลี่ยนจากสี่เหลี่ยมจัตุรัส เป็นสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนได้อีกด้วย ซึ่งทำให้เกิดความงามที่แตกต่างไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.1** ภาพลวดลายที่มีแม่ลายประจำยามเป็นองค์ประกอบหลัก (ที่มา: หนังสือคู่มือลายโพธิ์ ใจอ่อนน้อม ผู้สอนลายไทยโรงเรียนเพาะช่าง, 2465)

| **การต่อลายโดยมีแม่ลายประจำยามเป็นองค์ประกอบหลัก** | |
|---|---|
| **ภาพลาย** | **คำอธิบาย** |
| | ลายรักร้อย ประกอบด้วย ลายประจำยาม และกระจังใบเทศ หรือกระจังตาอ้อยลายรักร้อย ใช้ลายประจำยามเป็นที่ออกลาย เอากระจังใบเทศหรือกระจังตาอ้อยเรียงต่อกันไปทั้งซ้ายและขวาจนถึงที่ๆต้องการ ลายรักร้อยเป็นลายช่วยประกอบกับลายอื่นๆ โดยมากไม่มีใช้เฉพาะตัวของมันเอง ถ้าเป็นลายรักร้อยใหญ่ ใช้วิธีแบ่งตัวเหมือนกระขังใบเทศหรือจะเอาวิธีแบ่งตัวของกระจังหูมาใช้ก็ได้ |
| | ลายหน้ากระดาน ประจำยามก้ามปู ก้ามปู คือมีตัวประจำยามอยู่กลางและมีกนกติดอยู่ทั้งสองข้าง และมีตัวประจำยามคั่น รวมเรียกว่า “ลายประจำยามก้ามปู” เป็นลายที่ใช้ในรูปจำกัด จะต้องมีจังหวะที่เขียนตัวประจำยามและก้ามปูได้พอเหมาะกับเนื้อที่ |
| | ลายหน้ากระดาน ลูกฟักก้ามปู ลูกฟักคือ มีตัวประจำยาม และต่อด้วยกระจังใบเทศทั้งสองข้าง เป็นตัวคั่นระหว่างก้ามปู รวมเรียกว่า “ลายลูกฟักก้ามปู” เป็นลายที่ขยายให้ยาวต่อไปอีก เป็นลายที่ไม่จำกัดเนื้อที่ใช้ได้ตามความพอใจ |
| | ลายก้านแย่ง มีตัวประจำยามคั่นเป็นที่ออกลายและเป็นที่ห้ามลายไปในตัวมันเอง ระหว่างตัวประจำยามมีเถาลายและกนกยอดสลับกัน รวมเรียกว่า “ลายประจำยามก้านแย่ง” เป็นลายที่ขยายเนื้อที่มากกว่าลายประจำยามก้ามปู ลายประจำยามก้านแย่งมีวิธีเขียนหลายอย่าง |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลายประจำยาม จึงเป็นแม่ลายไทยที่มีความสำคัญในการนำไปประกอบลายได้หลากหลาย ทั้งที่ใช้เป็นที่ออกลายและห้ามลาย นิยมประดับอยู่ตามเสา ขอบประตู หน้าต่างของโบสถ์ วิหาร เจดีย์ ปราสาท หรือติดประดับกับเสาบุษบกทั้ง 4 ด้าน ติดประดับอยู่ที่เครื่องสวมหัวประจำอยู่ทั้ง 4 ด้าน จึงเรียกว่า “ประจำยาม” ซึ่งคงเห็นได้ในงานสถาปัตยกรรมไทยปัจจุบันโดยทั่วไป

**รูปที่ 2.2** ลวดลายประจำยามในงานสถาปัตยกรรมไทย (ที่มา:ผู้วิจัย)

## 2.3 ข้อมูลเกี่ยวกับคอนกรีตและการแตกร้าว

### 2.3.1 คอนกรีต

**ชัชวาล เศรษฐบุตร (บรรณาธิการ ปูนซีเมนต์และการประยุกต์ใช้งาน เครือซีเมนต์ไทย )** สิ่งก่อสร้างจำนวนมากสร้างขึ้นจากส่วนผสมของซีเมนต์ หิน ทราย และน้ำ ซึ่งรวมเรียกส่วนผสมนี้ว่า “คอนกรีต” มีการใช้งานเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจากเดิมการก่อสร้างจะใช้ไม้เป็นวัสดุ แต่เนื่องจากหาได้ยากขึ้น ราคาแพง ไม่ทนทาน รับน้ำหนักได้น้อยไม่เหมาะสำหรับการก่อสร้างอาคาร หรือสิ่งก่อสร้างใหญ่ ๆ และที่สำคัญคอนกรีตนั้นสามารถหล่อเป็นรูปร่างต่าง ๆ ตามต้องการได้ จึงสะดวกต่องานก่อสร้างมากกว่า โดยเป็นที่ทราบกันดีว่าคอนกรีตหรืออิฐหินนั้น เป็นวัตถุเปราะที่สามารถทนต่อแรงกดได้สูง

คอนกรีต คือ ส่วนผสมของซีเมนต์ ทราย และหิน หรือซีเมนต์ ทราย และกรวด ตามสัดส่วน แล้วเติมน้ำลงไป เพื่อให้ทำปฏิกิริยากับซีเมนต์กลายเป็นตัวประสาน ยึดทรายกับหิน หรือกรวดเข้าด้วยกันเป็นก้อนแข็ง

**2.3.1.1 สูตรสัดส่วนคอนกรีต** ที่ใช้โดยทั่ว ๆ ไป มี 3 สูตร คือ

1) สูตร 1:2:4 ซึ่งใช้ผสมทำคอนกรีตสามัญทุกชนิด ประกอบด้วย ซีเมนต์ 1 ส่วน : ทราย 2 ส่วน และหินหรือกรวด 4 ส่วน
2) สูตร 1:1.5:3 ใช้สำหรับคอนกรีตที่ต้องการรับแรงสูงเป็นพิเศษ เช่น ตอม่อใต้น้ำ
3) สูตร 1:3:6 เป็นคอนกรีตหยาบ ใช้เทเหนือเสาเข็มเพื่อรองรับฐานราก สัดส่วนนี้เป็นสัดส่วนโดยน้ำหนัก แต่ในทางปฏิบัติทั่วไปแล้วสะดวกที่จะใช้สัดส่วนโดยปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) สูตร 1:4 คือ มอร์ต้า สำหรับงานก่อหรือหล่อชิ้นงานขนาดเล็ก เป็นการใช้ปูนสำเร็จ 4 ส่วนและน้ำ 1 ส่วน (ปูนสำเร็จ คือ ทรายผสมกับซีเมนต์)

**2.3.1.2 การหล่อและบ่มคอนกรีต**

ในการเทคอนกรีตลงแบบ หรือการหล่อคอนกรีต (placing concrete) พื้น เสา คาน หรือผนัง มักนิยมใช้ไม้หรือเหล็กทำเป็นแบบให้ได้ขนาด และรูปร่างที่ต้องการ

ดังได้กล่าวมาแล้วว่า เมื่อผสมซีเมนต์กับน้ำ ซีเมนต์จะคายความร้อนให้กับน้ำ ซึ่งเป็นส่วนผสมของคอนกรีต ถ้าน้ำในคอนกรีตแห้งเร็วเกินไปโดยการซึมหรือระเหย ความร้อนที่คายจากซีเมนต์จะสะสมอยู่ในคอนกรีต ทำให้คอนกรีตแตกหรือร้าวได้ เพื่อไม่ให้คอนกรีตแตกหรือร้าว เนื่องจากน้ำในคอนกรีตแห้งเร็วเกินไป จึงจำเป็นต้องทำให้คอนกรีตชื้นอยู่ อย่างน้อย ๑๕ วัน การรักษาความชื้นในคอนกรีต ให้คงที่อยู่นี้เราเรียกว่า การบ่มคอนกรีต (curing concrete) ปัจจุบันนี้ การบ่มคอนกรีตมักไม่ค่อยได้ทำกัน เพราะซีเมนต์ที่ใช้ผสมคอนกรีตเป็นซีเมนต์ชนิดคายความร้อนต่ำ

**2.3.2 การแตกร้าว**

สาเหตุของการแตกร้าวของปูนมีปัจจัยหลายอย่าง ซึ่งสามารถจำแนกตามเวลาที่เกิดได้เป็น 2 ชนิดหลัก คือ

**2.3.2.1. Structural Crack** (การแตกร้าวหลักจากคอนกรีตแข็งตัว) แบ่งสาเหตุหลักได้ 3 ประการ คือ

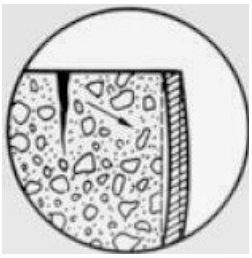
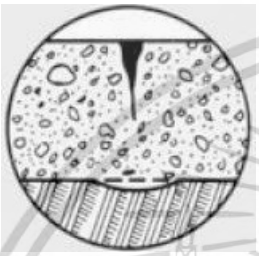
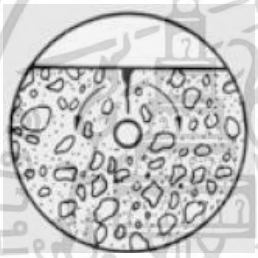
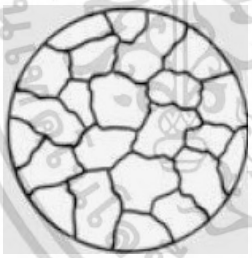
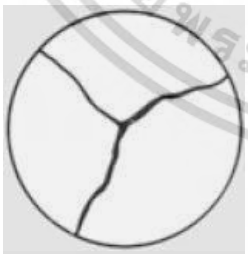
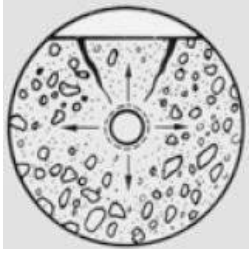
- การออกแบบไม่ถูกต้อง เช่น การคำนวณออกแบบหรือการให้รายละเอียดการเสริมเหล็กไม่ถูกต้อง
- การใช้วัสดุก่อสร้างไม่มีคุณภาพ เช่น ใช้หินผุ หินมีดินปน ทรายสกปรก น้ำสกปรกหรือทำการผสมคอนกรีตไม่ได้สัดส่วนที่ถูกต้อง รวมทั้งการใช้เหล็กเสริมที่เป็นสนิมมาก
- การก่อสร้างไม่ได้มาตรฐาน เช่น การผสม การขนส่ง การเทลงแบบ การหล่อคอนกรีตไม่ดีพอ การถอดค้ำยันก่อนกำหนด ขาดการบ่มที่ดีพอหรือแบบหล่อคอนกรีตโก่งงอ

**2.3.2.2. Non Structural Crack** (การแตกร้าวก่อนคอนกรีตแข็งตัว) แบ่งสาเหตุต่าง ๆ ดังนี้

- การหดตัวของคอนกรีต
- การทรุดตัวของคอนกรีต
- ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.2** ชนิดของการแตกร้าวคอนกรีต (ที่มารูปภาพ :ชัชวาลย์ เศรษฐบุตรและคณะ. ปูนซีเมนต์และการประยุกต์ใช้งาน)

| | |
|---|---|
|  | รอยแตกร้าว ทีเกิดจากแบบโป่ง งอ หรือ เคลื่อนที่เนื่องจากไม้ขยายตัว ตะปูหรือเครื่องยึดเหนี่ยวหลุด แบบไม่แข็งแรงพอ ฯลฯ รอยร้าว เหล่านี้ไม่แสดงแบบที่ชี้บอกลักษณะที่แน่นอน |
|  | รอยแตกร้าวที่เกิดจากพื้นดินข้างล่างไม่แข็งแรงพอยุบตัวลงทำให้คอนกรีตเคลื่อนทรุดลงขณะที่กำลังจะแข็งตัว รอยร้าว เหล่านี้ก็เป็นอีกแบบหนึ่งที่ไม่แสดงแบบที่ชี้ลักษณะของรอยแตกร้าวที่แน่นอน |
|  | รอยแตกร้าวที่อาจเกิดขึ้นเหนือเหล็กเสริมคอนกรีต เมื่อคอนกรีตทรุดตัวลงบนเหล็ก จะป้องกันได้โดยใช้คอนกรีตที่มีการยุบตัวน้อย และทำให้พื้นข้างล่างแข็งแรงพอ |
|  | รอยแตกร้าวลายงาเกิดได้เนื่องจากการบ่มที่ไม่เพียงพอ หรือเกิดจากการใส่ซีเมนต์มากเกินไป หรือเกิดจากการพองตัวของทรายหรือซีเมนต์ที่เผาไม่สุก |
|  | รอยแตกร้าวจากการหดตัวที่เกิดในขณะที่คอนกรีตยังไม่แข็งตัว เนื่องจากคอนกรีตเสียน้ำไปอย่างรวดเร็ว จากการระเหยไปในอากาศหรือถูกพื้นดินแห้งข้างล่างดูดน้ำไป |
|  | รอยแตกร้าวที่เกิดจากสนิมของ เหล็กเสริมคอนกรีตขยายตัว จะป้องกันได้โดยใช้คอนกรีตที่มีส่วนผสมแน่นดี และมีคอนกรีตหุ้มเหล็กอย่างพอเพียง เพื่อป้องกันความชื้นเข้าไปทำให้เหล็กเป็นสนิท |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.3.2.3 ปัจจัยที่ทำให้เกิดการแตกร้าวของคอนกรีต สามารถสรุปได้ดังนี้**

*1) วัตถุดิบและสัดส่วนการผสมคอนกรีต* ได้แก่ วัสดุมวลรวม ปูนซีเมนต์ น้ำ น้ำยาผสมคอนกรีต

- วัสดุมวลรวม ได้แก่ หิน ทราย แร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบ , รูปร่างลักษณะของผิวและส่วนคละของวัสดุมวลรวม มีผลต่อการออกแบบส่วนผสม , สัมประสิทธิ์การนำความร้อน, Drying Shrinkage Stiffness, Creep และความแข็งแรงของคอนกรีต เช่น หิน และทรายที่มีดินเหนียวปนอยู่ด้วย ดินเหนียว จะหดตัวมากกว่าปูนซีเมนต์จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าว
- ปูนซีเมนต์ โดยทั่วไปคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์มากหรือเป็นปูนซีเมนต์ที่มีปริมาณซิลิก้าสูงหรือมีความละเอียดสูง เช่น ปอร์ตแลนด์ ประเภท 3 มีโอกาส ที่จะเกิดการแตกร้าวได้มาก
- น้ำ เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการผสมคอนกรีตเพราะถ้าใช้ปริมาณน้ำมากเกินความจำเป็น ก็มีแนวโน้มที่จะเกิดการแตกร้าวได้มาก และยังทำให้กำลังอัดของคอนกรีตต่ำลงด้วย
- น้ำยาผสมคอนกรีต น้ำยาบางชนิดอาจมีผลทำให้เกิดการแตกร้าวได้ เช่น น้ำยาเร่งการแข็งตัว แต่น้ำยาบางชนิด ก็ช่วยลดการแตกร้าวได้ เช่น น้ำยาหน่วงการก่อตัว

*2) การเทคอนกรีต (Placing)* อัตราการเทและสภาพการทำงานมีผลต่อการแตกร้าวอย่างแน่นอน ซึ่งมักเป็นผลมาจากการเยิ้มของคอนกรีต (Bleeding) น้ำที่ไหลเยิ้มขึ้นมาที่ส่วนบนของคอนกรีต จะทำให้เกิดช่องว่างใต้หิน โดยเฉพาะส่วนที่อยู่ลึก ๆ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการแตกร้าวภายในได้ รวมทั้งการแยกตัวของคอนกรีต อุณหภูมิภายนอก การทรุดตัวไม่เท่ากันของพื้นล่างหรือส่วนที่เป็นแบบรองรับคอนกรีต ก็สามารถทำให้เกิดการแตกร้าวได้เช่นกัน

*3) สภาพการทำงาน* นับเป็นปัจจัยภายนอกที่เข้ามาเกี่ยวข้องในขณะทำงาน

- *อุณหภูมิ (Temperature)* ปกติอัตราการรับกำลังได้ของคอนกรีตจะแปรตามอุณหภูมิ อย่างไรก็ตามอิทธิพลที่สำคัญของอุณหภูมิที่มีต่อคอนกรีต คือ เมื่อคอนกรีตเย็นตัวลงจะหดตัว โดยเฉพาะงานคอนกรีตในอากาศร้อน และงานคอนกรีตปริมาณมาก ๆ (Mass Concrete) พื้นคอนกรีตที่หล่อขณะอากาศเย็นจะเกิดการแตกร้าวน้อยกว่าหล่อขณะอากาศร้อน ลักษณะเช่นนี้จะเกิดกับงานคอนกรีตสำหรับโครงสร้างอื่น ๆ ด้วยเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหานี้ การเทคอนกรีตปริมาณมากๆ จึงมักเทในเวลากลางคืน
- *การสัมผัสกับสภาพรอบข้าง (Exposure)* ลักษณะอากาศที่คอนกรีตสัมผัสมีอิทธิพลอย่างมากต่อการแตกร้าวของคอนกรีต อุณหภูมิและความชื้นที่แตกต่างกันมากในช่วงวัน เป็นผลทำให้เกิดการรั้งภายในของคอนกรีตอย่างมาก (internal Restraint) เพราะการยืดหดตัวของผิว และส่วนที่อยู่ภายในจะไม่เท่ากันทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*4) การบ่มคอนกรีต (Curing) ความชื้นในคอนกรีตเป็นสิ่งสำคัญมาก* ไม่ว่าก่อนหรือหลังการบ่มสำหรับงานพื้น ถ้าคอนกรีตแห้งเร็วเกินไป อัตราการระเหยของน้ำที่ผิวหน้าคอนกรีต อาจจะเร็วกว่าอัตราการเยิ้ม (Bleeding) เมื่อเหตุการณ์เช่นนี้เกิดขึ้น ผิวหน้าของคอนกรีตจะเกิดการหดตัว ทำให้เกิดการแตกร้าวขึ้น การป้องกันสามารถทำได้โดยทำให้แบบหล่อชุ่มน้ำหลีกเลี่ยงการเทคอนกรีตในช่วงที่มีอุณหภูมิสูง บ่มคอนกรีตในทันทีที่ทำได้ พยายามป้องกันลมและแสงแดดขณะเทคอนกรีตเพื่อไม่ให้น้ำในคอนกรีตระเหยเร็วเกินไป

*5) การยึดรั้งตัว (Restraint)* คอนกรีตที่ถูกยึดรั้งไว้ ไม่สามารถเคลื่อนตัวได้ไม่ว่าจะเป็นการยึดรั้งจากฐานรากหรือโครงสร้างใกล้เคียงก็จะทำให้เกิดการแตกร้าวขึ้นได้ การเกิดรอยแตกในแนวดิ่งที่ฐานกำแพงของอาคารถือเป็นเรื่องปกติ ถ้ารอยแตกนั้นไม่ขยายต่อถึงด้านบน ดังนั้นจึงมักพบว่ากำแพงหรือพื้นยาว ที่ไม่มีการตัด Joint มักจะเกิดรอยแตกขึ้นเป็นช่วง ๆ ได้ส่วนกำแพงที่หล่อติดเป็นชิ้นเดียวกันกับโครงสร้าง มีโอกาสที่จะแตกร้าวทั้งในแนวดิ่งและแนวราบ การยึดรั้งก็มักจะเกิดขึ้นเมื่อมีการทรุดไม่เท่ากันของโครงสร้าง

จากที่กล่าวมาแล้วทั้งหมด เห็นได้ว่าสาเหตุการแตกร้าวของคอนกรีตนั้นมีมากมายซึ่งมักจะไม่ได้เกิดจากสาเหตุใดสาเหตุหนึ่งเพียงอย่างเดียว แต่มักจะเกิดจากหลาย ๆ สาเหตุพร้อมกัน

**2.3.4 รูตามดบนผิวคอนกรีต**

**Frequently Asked Questions, PCA เรียบเรียงโดย: ธงชัย เจียมทวีบุญ**

งานก่อสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในปัจจุบัน มีแนวโน้มที่จะเน้นความสวยงามของผิวโครงสร้างคอนกรีต โดยที่ไม่จำเป็นต้องมาตกแต่งภายหลัง ดังนั้นเพื่อความสวยงาม ผิวคอนกรีตจึงต้องเรียบเนียนสวย ไร้รอยตำหนิ แต่ปัจจุบันปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นและกระทบต่อคุณภาพการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมการก่อสร้างนั่นก็คือ ปัญหาผิวคอนกรีตเป็นรูตามด

รูตามด คือ ฟองอากาศขนาดเล็กปรากฏที่ผิวคอนกรีต ฟองอากาศเหล่านี้เกิดจากการเคลื่อนที่ของฟองอากาศในคอนกรีตไปสู่ส่วนที่ติดกับไม้แบบซึ่งมักจะเกิดในแบบแนวดิ่ง ในขณะทำการจี้คอนกรีต แรงสั่นสะเทือนทำให้ปริมาตรคอนกรีตลดลง อากาศและน้ำส่วนเกินในคอนกรีตจะแยกออกมาจากส่วนที่เป็นวัสดุประสาน น้ำจะเคลื่อนตัวไปสู่ด้านบนเนื่องจากความหนาแน่นที่แตกต่างกันและกลายเป็นน้ำเยิ้ม (Bleed water) ที่ผิวด้านบน ส่วนฟองอากาศจะเคลื่อนตัวไปหาจุดสมดุลที่ใกล้ที่สุดที่มีแรงดันอากาศเท่ากัน สำหรับคอนกรีตหล่อในแนวดิ่ง ระยะทางใกล้สุดที่ฟองอากาศจะเคลื่อนตัวไปคือผิวแบบด้านใน รูตามด พบส่วนมากที่ตำแหน่งส่วนบนของโครงสร้าง หรือตำแหน่งที่เป็นมุมฉาก เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่สะสมของฟองอากาศตามแนวสูงของโครงสร้างที่เกิดจากการจี้คอนกรีต โพรงเหล่านี้ส่งผลต่อความสวยงามของโครงสร้างประเภทคอนกรีตเปลือย (ไม่ฉาบผิว)

ปัจจัยที่มีผลมากที่สุดที่เกิดรูตามด มาจากการจี้เขย่าคอนกรีตไม่เพียงพอ โดยทั่วไปการจี้คอนกรีตด้วยแรงสั่นสะเทือนจะทำให้อากาศและน้ำเคลื่อนตัวไปยังผิวคอนกรีตทั้งในทิศทางแนวดิ่งสู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านบนหรือทิศทางแนวขวางสู่ผิวคอนกรีตด้านข้างที่สัมผัสกับแบบหล่อ การจี้เขย่าที่ไม่เพียงพอไม่สามารถขจัดโพรงอากาศเหล่านี้ได้ แต่ถ้าจี้เขย่ามากเกินไปจะทำให้คอนกรีตเกิดการแยกตัวและเกิดการเยิ้มน้ำที่ผิวคอนกรีตได้

อีกปัจจัยที่ก่อให้เกิดรูตามดบนผิวคอนกรีต คือ แบบที่ใช้หล่อคอนกรีต การใช้แบบหล่อที่ไม่ซึมน้ำ(แบบเหล็ก แบบไม้เคลือบโพลิเมอร์) และสารทาผิวแบบ (Form-release agent) ทำให้เกิดรูตามดได้ เนื่องจากทำให้ฟองอากาศเคลื่อนตัวที่ผิวแบบได้ยาก ดังนั้นการใช้สารทาผิวแบบจะต้องปฏิบัติตามข้แนะนำของผู้ผลิต และใช้แบบหล่อที่ทำด้วยวัสดุที่บริษัทผลิตน้ำยาระบุเท่านั้น

ส่วนผสมคอนกรีตก็เป็นอีกปัจจัยที่ก่อให้เกิดรูตามดได้ ส่วนผสมที่เหนียวหรือแข็งกระด้าง ที่จี้เขย่ายากจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อการเกิดรูตามดที่ผิวคอนกรีต

**การป้องกันการเกิดรูตามด**

1. การจี้เขย่าคอนกรีตให้เพียงพอ ในการเทคอนกรีตแต่ละชั้นจะต้องจี้เขย่าคอนกรีตให้เสร็จสมบูรณ์ เมื่อเทชั้นต่อไปการจี้คอนกรีตต้องให้หัวจี้ทะลุไปยังชั้นก่อนหน้านั้น และเขย่าให้ฟองอากาศเคลื่อนออกสู่แบบด้านข้างและผิวคอนกรีตด้านบน

2. การใช้แบบหล่อที่น้ำซึมได้ เมื่อใช้แบบหล่อที่น้ำไม่ซึม เช่น แบบหล่อเหล็ก จะต้องจี้เขย่าคอนกรีตมากกว่าปกติเพื่อไล่ฟองอากาศให้หลุดสู่ผิวคอนกรีต มีการทำวิจัยพบว่าการใช้แบบหล่อที่น้ำซึมได้ สามารถลดจำนวนรูตามดที่ผิวคอนกรีตได้อย่างชัดเจน เนื่องจากฟองอากาศสามารถซึมผ่านแบบสู่บรรยากาศได้ การเลือกใช้ประเภทของน้ำมันทาแบบ (Form-releasing agent) และใช้ปริมาณที่เหมาะสม สามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพผิวคอนกรีตได้

3. ส่วนผสมคอนกรีต การใช้คอนกรีตที่สามารถไหลตัวได้ดีทำให้เทลงแบบได้ง่าย จี้คอนกรีตได้ง่าย ทำให้ลดโอกาสการเกิดรูตามดที่ผิวคอนกรีตได้ คอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีขนาดคละดีทำให้ลดปริมาณมวลรวมละเอียดในส่วนผสม การใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ที่พอเหมาะ การใช้น้ำยาผสมคอนกรีตที่เพิ่มความสามารถการไหลของคอนกรีต ทำให้การจี้เขย่าคอนกรีตทำได้ง่ายขึ้น เหล่านี้ล้วนส่งผลต่อการเกิดรูตามดที่ผิวคอนกรีตน้อยลง ในอุตสาหกรรมคอนกรีต (โดยเฉพาะการหล่อชิ้นส่วนสำเร็จรูป) การใช้ Self-Compacting Concrete (SCC) ทำให้คุณภาพผิวคอนกรีตดีขึ้นอย่างชัดเจน

รูตามดที่ผิวคอนกรีตไม่ส่งผลต่อความทนทานของโครงสร้างคอนกรีต จากการเพิ่มขึ้นของการเทโครงสร้างคอนกรีตที่ไม่ฉาบผิวเป็นผลให้ความสนใจในคุณภาพคอนกรีตเพิ่มมากขึ้น ด้วยการใช้ส่วนผสมคอนกรีตและแบบหล่อที่เหมาะสม การเทและการจี้คอนกรีตที่ได้คุณภาพ การควบคุมงานก่อสร้างที่ดี เหล่านี้สามารถลดการเกิดรูตามดที่ผิวคอนกรีตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

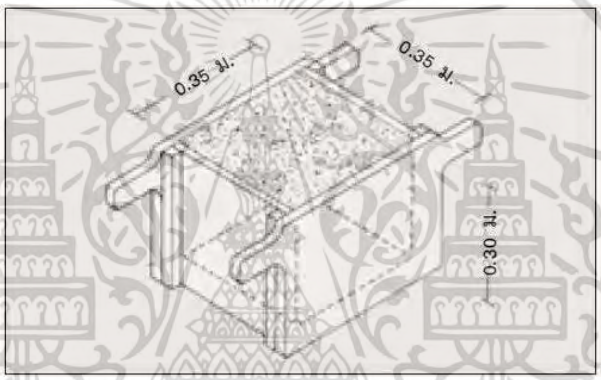
**2.3.5 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตโดยปริมาตร**

*วิธีคำนวณการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ* สำหรับงานก่อสร้างขนาดเล็ก ส่วนใหญ่จะกำหนดสัดส่วนโดยปริมาตร เช่น 1:2:4 อัตราส่วนที่กล่าวถึงนี้ คือ

ปูนซีเมนต์ 1 ส่วน : ทราย 2 ส่วน : หิน 4 ส่วน

ข้อเสนอแนะ

ถ้าผสมคอนกรีตโดยปริมาตร เพื่อให้ได้ปริมาตรที่แน่นและสม่ำเสมอ ควรจัดทำกระบะไม้มาตรฐาน สำหรับตวงส่วนผสม โดยกำหนดให้กระบะไม้นี้มีปริมาตรเท่ากับปริมาตรซีเมนต์ 1 ถุง หรือ 50 กก. ซึ่งกระบะไม้นี้จะมีขนาดกว้าง 0.35 ม. ยาว 0.35 ม. สูง 0.30 ม. ดังรูป




**รูปที่ 2.3** กระบะไม้มาตรฐานใช้ในการตวงปริมาตร หิน ทราย (ที่มารูปภาพ :ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร และคณะ. ปูนซีเมนต์และการประยุกต์ใช้งาน)

## 2.4 ข้อมูลเกี่ยวกับการตรวจสอบคอนกรีตด้วยวิธีพินิจ (วิธีการทดสอบคอนกรีตแบบไม่ทำลาย)

**มยผ.1501-51 มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย** อธิบายไว้ดังนี้

*“การตรวจพินิจ (Visual Inspection)”* หมายถึง การตรวจสอบด้วยตาเปล่า ประกอบกับอุปกรณ์การตรวจสอบพื้นฐาน เช่นไมบรรทัดมาตรวดความกว้างของรอยร้าว โดยไม่มีการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เข้ามาเกี่ยวข้อง

*“ความเสียหาย (Damage)”* หมายถึง การสูญเสียความสามารถทางกลหรือความคงทนของโครงสร้างอันเนื่องมาจากกลไกลต่าง

*“การเสื่อมสภาพ (Deterioration)”* การสูญเสียคุณสมบัติ หรือ การเปลี่ยนแปลงในทางใดทางหนึ่ง ส่งผลกระทบให้โครงสร้างมีพฤติกรรมที่ไม่เหมาะสมกับหน้าที่ของโครงสร้างนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การตรวจพินิจ**

1 การตรวจพินิจเป็นขั้นตอนที่ถือได้ว่าเป็นขั้นตอนสำคัญที่สุดของการตรวจสอบโครงสร้าง การตรวจพินิจโดยผู้ตรวจสอบที่มีประสบการณ์จะให้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะของความเสียหาย หรือ การเสื่อมสภาพของโครงสร้าง

2 เนื่องจากการตรวจพินิจนั้นมีค่าดำเนินการที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับวิธีการตรวจสอบแบบอื่นๆ เช่น การเจาะตัวอย่าง ดังนั้นการตรวจสอบพินิจจึงสามารถดาดำเนินการได้บ่อยกว่าวิธีการตรวจสอบแบบอื่นและมักเป็นขั้นตอนแรกๆในการตรวจสอบสภาพของโครงสร้างคอนกรีต

**หลักการตรวจสอบด้วยวิธีพินิจ**

การตรวจพินิจควรจะเป็นไปตามการวางแผนเบื้องต้นเพื่อให้ได้ข้อมูลตรวจสอบที่มีคุณภาพและความสมบูรณ์สูงสุด ขั้นตอนทั่วไปของการตรวจด้วยวิธีพินิจประกอบด้วย

1 การเดินตรวจสอบเบื้องต้นเพื่อตรวจสภาพโดยทั่วไปและศึกษารูปแบบการใช้งาน

2 การรวบรวมเอกสารที่เกี่ยวกับคอนกรีต เช่น แบบโครงสร้าง วัสดุก่อสร้างที่ใช้ลักษณะแวดล้อม เป็นต้น

3 การวางแผนการตรวจพินิจโดยละเอียด

4 การตีตารางบนผิวคอนกรีตเพื่อใช้อ้างอิงตำแหน่งต่างๆจุดต่างๆ

5 การตรวจพินิจโดยละเอียดและบันทึกผล

*การตรวจพินิจมีข้อจำกัด คือสามารถตรวจสอบได้เฉพาะบริเวณผิวคอนกรีต และไม่สามารถตรวจสอบความเสียหายภายในคอนกรีต*

ด้วยกระบวนการวิจัยออกแบบใช้อัตราส่วนคอนกรีตในอัตราส่วนเดียวกันทุกกลุ่มทดลองและระยะเวลาในการบ่มคอนกรีตที่เท่ากันทุกกลุ่มทดลอง จึงไม่มีความจำเป็นต้องตรวจวัดค่าความเสียหายภายในคอนกรีตหรือค่าการรับแรง และไม่ต้องคำนึงถึงข้อจำกัดของการตรวจด้วยวิธีพินิจ

## 2.5 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

**การถ่ายทอดเทคนิคการก่อสร้างงานสถาปัตยกรรมไทยประเพณีของช่างในบริษัทผู้รับเหมาก่อสร้างไทย**

กรณีศึกษา อาคารนวัตกรรมเฉลิมพระเกียรติ รัชกาลที่ 9 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง บริษัท ส.บุญมีฤทธิ์ วิศวกรรม จำกัด

ผู้วิจัย นาย ภัทราวุธ ศรีคุ้มเก่า กล่าวไว้ถึงปัจจัยในที่มีผลต่อเทคนิคการก่อสร้างในแต่ละระดับดังนี้คือ

- ปัจจัยด้านความชอบส่วนตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปัจจัยด้านครอบครัว
- ปัจจัยด้านเศรษฐกิจ
- ปัจจัยด้านการศึกษา
- ปัจจัยทางสังคม

โดยผู้วิจัยได้กล่าวสรุปไว้ว่าเทคนิคการก่อสร้างงานรูปแบบสถาปัตยกรรมไทยประเพณีเป็นเทคนิคที่เกิดจากภูมิปัญญาของช่างหรือผู้ที่ทำการออกแบบและก่อสร้างที่ได้สั่งสมและถ่ายทอดจากรุ่นศูนย์รุ่นเมื่อมาถึงในปัจจุบันก่อสร้างได้รับการพัฒนา สิ่งที่มีผลกับงานรูปแบบสถาปัตยกรรมไทยประเพณีก็คือวัสดุจากธรรมชาติก็เปลี่ยนมาใช้วัสดุที่สามารถผลิตได้ในอุตสาหกรรมส่งผลให้งานสถาปัตยกรรมมีการเปลี่ยนแปลงประโยชน์ใช้สอยอาคารจะอาคารพละใส่ขนาดเล็กสู่อาคารสาธารณะขนาดใหญ่ เนื่องจากวัสดุในปัจจุบัน สามารถตอบสนองเรื่องงานก่อสร้างได้แต่สิ่งที่ยังคงรูปแบบสถาปัตยกรรมไทยประเพณีไว้ได้ก็คือรูปลักษณ์ องค์ประกอบและสัดส่วนของอาคารซึ่งสิ่งเหล่านี้ยังคงต้องอาศัยความรู้ความสามารถของสถาปนิกผู้ออกแบบและช่างก่อสร้างที่มีความเข้าใจและสามารถประยุกต์เทคนิคการก่อสร้างในอดีตให้เข้ากับวัสดุที่มีในปัจจุบัน

**การทดสอบความคงทนของปูนตำผสมใยแก้ว**

ผู้วิจัย นาย จิรายุทธ์ จัทร์นวล ทำการสรุปรวบรวมไว้เกี่ยวกับ

ข้อมูลปูนตำ

ข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบวัสดุ

ในขั้นตอนการทดลองแบ่งออกเป็น2 ขั้นตอนดังนี้

1.การผลิตปูนตำ

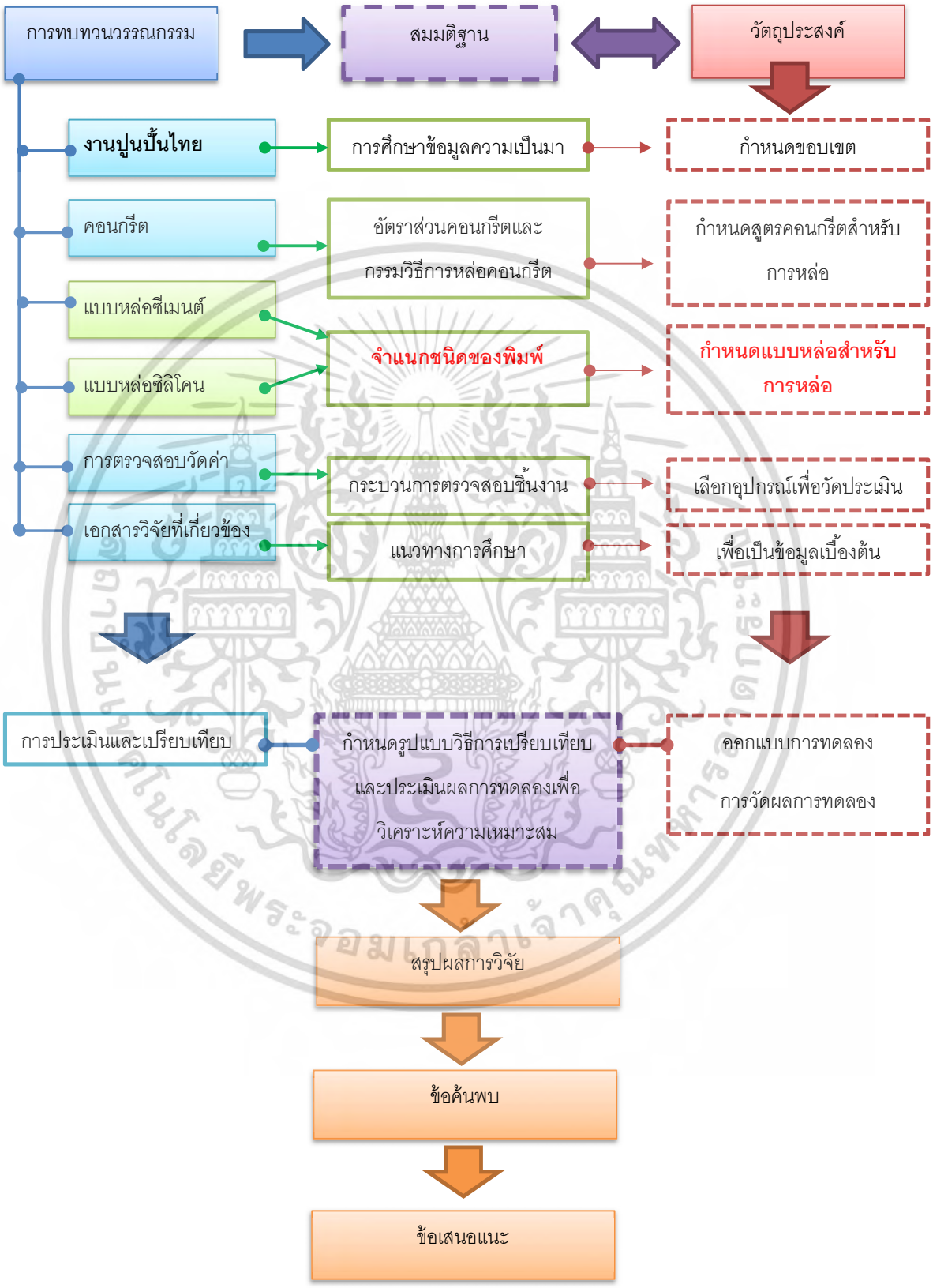
- การกำหนดอัตราส่วน
- การเตรียมอุปกรณ์
- การผลิตปูนตำ

2.การทดสอบ

- การบันทึกภาพถ่ายก่อนการทดลอง
- การวัดค่าสีและความมันวาวก่อนการทดสอบ
- การทดลองชิ้นงานด้วยเครื่อง QUV
- การบันทึกภาพถ่ายหลังการทดลอง
- การวัดค่าสีและความมันวาวหลังการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 กรอบข้อมูลจากการทบทวนวรรณกรรม




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 การวัดและความผิดพลาด

การวัด หมายถึง กระบวนการที่ถูกดำเนินเพื่อให้ได้มาซึ่งค่าขนาดของปริมาณใดๆ ตัวอย่างเช่น มวลหรือความยาว เป็นต้น ซึ่งหน่วยวัดและการวัดนั้นถูกคิดค้นขึ้นโดยมนุษย์ เพื่อใช้เป็นเครื่องมือสำหรับการวัดในงานที่มีรูปแบบหลากหลาย ได้แก่ การนำมาใช้เกี่ยวกับการค้าขายวัตถุดิบหรืออาหาร งานก่อสร้างอาคารต่างๆ และการตัดเย็บเครื่องนุ่งห่มที่จำเป็นต้องคำนึงถึงรูปร่างและขนาด เป็นต้น

ความผิดพลาด (Error) คือ ค่าความแตกต่างของค่าจริงที่ถูกวัดในทางปฏิบัติกับผลที่ได้จากการวัด ซึ่งค่าความผิดพลาดดังกล่าวนี้เป็นค่าที่มีความไม่แน่นอน (Uncertainty) ผู้วัดจึงไม่สามารถได้ค่าความผิดพลาดที่แน่นอนจากกระบวนการวัด

การวัด (Measurement) คือ กระบวนการ “Empirical” ที่ไม่ได้เกิดขึ้นจากทฤษฎีหรือความคิดที่ถูกสร้างขึ้น แต่จะเกิดขึ้นได้โดยการทดลองและการสังเกต เพื่อนำผลที่ได้มาทำการเปรียบเทียบระหว่างค่ามาตรฐานที่ถูกกำหนดไว้กับปริมาณที่ไม่ทราบค่าของตัวแปร ในทางปฏิบัติเครื่องมือวัดไม่สามารถวัดค่าได้ถูกต้องแม่นยำเท่ากับค่าจริง จึงทำให้เกิดค่าความผิดพลาดขึ้นในทุกครั้งของการวัด ซึ่งปัญหาดังกล่าวสามารถทำการแก้ไขเพื่อปรับลดค่าความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นให้ต่ำลงได้ โดยการคำนึงหาสาเหตุของความผิดพลาด และทำความเข้าใจให้ถูกต้องกับหลักการขั้นพื้นฐานของการใช้เครื่องมือในกระบวนการวัด

เครื่องมือวัด (Measuring Tool) คือ เครื่องมือที่ถูกนำมาใช้งานในกระบวนการวัดสำหรับการหาค่าของขนาดหรือระยะในการกำหนดตำแหน่ง โดยเครื่องมือวัดแต่ละชนิดจะมีรูปร่างและลักษณะขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งานในด้านต่างๆกัน ตัวอย่างเช่น การนำไปใช้สำหรับวัดและตรวจสอบขนาดของวัสดุชิ้นงาน ได้แก่ ความหนา ความกว้าง ความยาว ความสูง เป็นต้น

ความผิดพลาดตกค้าง (Residual Errors) คือ ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากสาเหตุที่ไม่แน่นอนในกระบวนการวัด ซึ่งจะเกิดขึ้นเสมอและได้ค่าที่แตกต่างกันเมื่อทำการวัดซ้ำในแต่ละครั้ง จากนั้นผู้วัดจึงจะนำค่าความผิดพลาดมาวิเคราะห์โดยหลักการทางสถิติเพื่อหาค่าที่ได้ต่อไป

ความผิดพลาดเนื่องจากเครื่องวัด (Instrumental Errors) คือ ความผิดพลาดที่มีสาเหตุเกิดจากโครงสร้างระบบกลไกของเครื่องวัดขาดการบำรุงรักษา ทำให้เครื่องวัดเสื่อมประสิทธิภาพและได้ค่าการวัดที่คลาดเคลื่อน ตัวอย่างเช่น การที่เข็มชี้ไม่ตรงตำแหน่งศูนย์ (Zero Position) จากการปรับแต่งที่ผิดพลาด ความฝืดระหว่างฐานรองเดือยกับเดือย รวมทั้งความฝืดจากสปริงก้นหอย (Spiral Spring) ได้แก่ การยืดตัว และการตึงตัวของสปริงก้นหอย เป็นต้น

ค่าความถูกต้อง (Accuracy) คือ ค่าจากการวัดที่มีความใกล้เคียงกับค่าจริง ซึ่งค่าความถูกต้องนี้เป็นค่าที่สามารถบ่งบอกได้ถึงประสิทธิภาพและความสามารถของเครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการวัดได้

เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (Percentage Error) คือ ค่าที่แสดงถึงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างค่าของค่าที่วัดได้กับค่าที่แท้จริง ซึ่งเครื่องมือวัดแต่ละชิ้นจะถูกระบุค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างกัน อีกทั้งค่าดังกล่าวนี้ยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์สำหรับการคำนวณหาค่าความถูกต้อง (Accuracy) ของเครื่องมือวัดได้อีกด้วย

ความคลาดเคลื่อนสถิต (Static error) คือ ผลต่างของค่าแท้จริงกับค่าที่ได้จากการผลทดลอง มักถูกแสดงในรูปแบบของร้อยละหรือเปอร์เซ็นต์ (%) ผู้วัดสามารถดูประสิทธิภาพและความถูกต้องแม่นยำของการวัดได้จากความใกล้เคียงกันระหว่างค่าจริงกับค่าที่ได้ โดยที่ในแต่ละครั้งของกระบวนการวัดจะมีค่าความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเสมอ ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวนี้อาจเป็นสาเหตุของการเกิดความไม่แน่นอน (uncertainty) ผู้วัดจึงควรทำความเข้าใจกับหลักการในการวัดและทำการแก้ไขข้อผิดพลาดเพื่อปรับลดค่าความคลาดเคลื่อนที่จะเกิดขึ้น

ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ (Systematic error) คือ ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากความผิดพลาดของเครื่องมือวัด (instrument) ส่งผลให้การอ่านค่าซ้ำเกิดการคลาดเคลื่อนขึ้น ในบางครั้งความคลาดเคลื่อนเชิงระบบอาจมีชื่อเรียกได้เป็น fixed error หรือ bias error ซึ่งความคลาดเคลื่อนดังกล่าวถูกจัดเป็นความคลาดเคลื่อนสถิต (static error) ที่ผู้มีประสบการณ์ในการวัดสามารถคาดเดาการเปลี่ยนแปลงของค่าที่จะเกิดขึ้นได้ เนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในการวัดแต่ละครั้งมีขนาดเท่าเดิม โดยปัญหาความความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนี้ สามารถลดและแก้ไขค่าได้ด้วยการนำวิธีการปรับแก้มาใช้ในการช่วยปรับลดค่าลง

ความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (Random error) คือ ความคลาดเคลื่อนที่สามารถเกิดขึ้นได้ในหลายกรณี ตัวอย่างเช่น ค่าปริมาณความชื้นและอุณหภูมิในอากาศที่เกิดจากความคลาดเคลื่อนของสิ่งแวดล้อมรอบข้าง รวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าหรือความถี่ เป็นต้น ซึ่งความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มนี้จัดเป็นความคลาดเคลื่อนสถิต (static error) ที่สามารถหาค่าได้จากการใช้หลักการทางสถิติมาคิดคำนวณ และเป็นค่าที่ไม่สามารถคาดเดาความคลาดเคลื่อนได้ล่วงหน้า เนื่องจากเมื่อทำการวัดซ้ำจะได้ค่าที่แตกต่างกันไปในแต่ละครั้ง

ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากผู้วัด (Human error) คือ ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากความผิดพลาดในการคำนวณผล การอ่านค่า รวมไปถึงการบันทึกค่า ซึ่งปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มความรอบคอบ และความระมัดระวังในระหว่างขั้นตอนการวัด และการสร้างความเข้าใจที่ถูกต้องสำหรับหลักการอ่านค่าให้แก่ตัวผู้วัด ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากตัวผู้วัดนี้ ถูกจัดเป็นค่าความคลาดเคลื่อนสถิต (static error)

อัตราร้อยละ(Percentage) คือ รูปแบบการนำเสนอจำนวนใดๆด้วยการใช้เศษส่วน ซึ่งตัวส่วนที่ถูกนำมาใช้จะมีค่าเป็น 100 เสมอ อัตราร้อยละมักถูกใช้สำหรับเปรียบเทียบค่าระหว่างปริมาณสองค่า โดยที่ปริมาณตัวแรกจะเป็นการเปลี่ยนแปลงหรือเป็นส่วนย่อยของปริมาณตัวที่สอง มีสัญลักษณ์ในการใช้งานเป็นเครื่องหมายเปอร์เซ็นต์ “%”ค่าสัมบูรณ์ (Modulus) คือ ค่าบนเส้นจำนวนที่มีระยะห่างจากศูนย์ (0) โดยที่ไม่ว่าจะมีทิศทางไปยังด้านซ้ายหรือด้านขวาของศูนย์ ค่าสัมบูรณ์ที่เกิดจากระยะห่างนั้นจะมีค่าเป็นบวกเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าดริฟท์ (Drift) คือ การที่เครื่องมือวัดถูกใช้งานติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน ทำให้ค่าจริงที่ได้จากการวัดเกิดการเบี่ยงเบนจนเกิดเป็นค่าดริฟท์ขึ้น โดยที่ปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้ด้วยวิธีการปรับเทียบเครื่องมือวัด

ความละเอียดในการวัด (Resolution) คือ ค่าความละเอียดสูงสุดของเครื่องมือที่สามารถวัดออกมาได้ มักเป็นค่าที่ถูกแสดงในรูปแบบร้อยละของช่วงการวัด ตัวอย่างเช่น การใช้เครื่องชั่งน้ำหนักที่สามารถให้ค่าได้สามถึงสี่ตำแหน่ง เป็นต้น

## 2.8 หน่วยของการวัด

การใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (Vernier Calipers) เมื่อต้องการวัดความยาว ความสูง หรือความลึกของวัตถุขนาดไม่ใหญ่มากนัก และต้องการความแม่นยำมากกว่าใช้ไม้บรรทัดหรือไม้เมตร เราจะใช้เวอร์เนียคาลิปเปอร์ เท่ากับ 0.01 มิลลิเมตร แสดงว่าเวอร์เนียร์วัดได้ถึง ทศนิยม 2 ตำแหน่งในหน่วยมิลลิเมตร ในการทดลองจึงใช้ วิธีเทียบScaleในโปรแกรม AutoCAD และวัดด้วยหน่วย 0.00 มิลลิเมตร เปรียบเสมือนการใช้ เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ซึ่งเป็นการวัดทางกายภาพในหน่วยที่เล็กที่สุดที่ตามนุษย์ยังสามารถสังเกตเห็นได้

**รูปที่ 2.4** เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (Vernier Calipers)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.9 การเผาปูน

จากการศึกษาข้อมูลในภาคสนาม เทคนิคสำคัญที่ใช้ คือ “เผาปูน”เป็นศัพท์เฉพาะที่เรียกกันสำหรับช่างในชั้นตอนการบ่มปูน เพื่อเป็นการเร่งเวลาให้ปูนแข็งตัวเร็วขึ้น โดยการนำผงปูนโรยบนผิวของคอนกรีต ทิ้งไว้ประมาณ 15 วินาที จึงปาดออก ผงปูนจะดูดน้ำออกจากคอนกรีต สังเกตได้จากสีผงปูนจากสีเทาอ่อน จะเข้มขึ้น และเป็นผงปูนที่เกาะตัวกันเนื่องจากน้ำที่ดูดออกมาจากคอนกรีต โดยใช้เทคนิค เผาปูนนี้ 3 รอบต่อ 1 ชิ้นงานจะช่วยลดเวลาในการก่อตัวคอนกรีต จาก 12 ชม สามารถถอดชิ้นงานออกจากแบบหล่อได้ภายในเวลา 3 นาที เทคนิคนี้เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา hydration ของคอนกรีตซึ่งส่งผลต่อค่าความสามารถการรับแรง

**รูปที่ 2.5** การเผาปูน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3
# วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง ลักษณะการทอสอบด้วยเครื่องมือปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ ในการศึกษาวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการหล่อคอนกรีตด้วยแม่พิมพ์ซิลิโคนและแม่พิมพ์ซีเมนต์สำหรับการหล่อลวดลายองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมไทย โดยมีการประเมินควบคู่กันทั้งเวลาและความเสียหายของชิ้นงานในการหล่อและถอดพิมพ์ เป็นแนวทางในการเลือกใช้แบบพิมพ์หล่อคอนกรีตในงานก่อสร้าง

## 3.1 กรอบแนวคิดในการศึกษา

การพิจารณาอยู่บนพื้นฐานของแนวคิดจากการทบทวนวรรณกรรมและลงสำรวจภาคสนามนำมารวมรวมและออกแบบรูปแบบการวิจัยเพื่อให้เกิดการสอดคล้องระหว่าง กรรมวิธีช่างปูนปั้น หนึ่งในแขนงช่างสิบหมู่ศิลปะไทยโบราณ และกรรมวิธีมาตรฐานเทคโนโลยีการหล่อคอนกรีตที่พัฒนาในปัจจุบัน เพื่อให้พบประเด็นร่วมและความความแตกต่างในการเลือกใช้แบบหล่อพิมพ์ซีเมนต์และพิมพ์ซิลิโคน เพื่อทำการออกแบบการทดลอง ตรวจสอบวัดค่าเพื่อประเมินชิ้นงาน เก็บข้อมูลแล้วนำมาวิเคราะห์ผลการทดลอง จึงสรุปผลการวิจัย โดยรายละเอียดวิธีการดำเนินการวิจัยมีรายละเอียดขั้นตอนดังต่อไปนี้

## 3.2 กระบวนการวิจัย

### 3.2.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

**ข้อมูลทุติยภูมิ** ศึกษาได้จากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ ได้แก่ หนังสือ เอกสารต่าง ๆ ทางวิชาการ วารสาร บทความ และงานวิจัย รวมไปถึงข้อมูลทางอินเตอร์เน็ตที่สามารถเชื่อถือได้ ซึ่งได้ทำการศึกษา เกี่ยวกับงานลวดลายปูนปั้นในสถาปัตยกรรมไทย การหล่อคอนกรีต การตรวจวัดคุณภาพคอนกรีตการเก็บข้อมูลและการสร้างเครื่องมือในงานวิจัย จากฐานข้อมูลงานวิจัย ดังนี้

- สำนักหอสมุดกลาง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ห้องสมุดคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ข้อมูลปฐมภูมิ** การศึกษาข้อมูลปฐมภูมิเป็นการศึกษาข้อมูลโดยการลงพื้นที่เก็บข้อมูลการใช้แบบหล่อพิมพ์ซีเมนต์และแบบพิมพ์ซิลิโคน สำหรับการหล่อลวดลายองค์ประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาปัตยกรรมไทย การสอบถามช่างสำหรับปัญหาที่พบในการเลือกใช้พิมพ์ทั้ง 2 ชนิด ตั้งแต่ขั้นตอนการทำพิมพ์ การหล่อ การถอดพิมพ์ และการประกอบชิ้นงาน

**3.2.2 การดำเนินการวิจัย**

ผู้วิจัยกำหนดอัตราส่วนคอนกรีต ตามสูตร 1:4 (น้ำ ต่อ ปูนสำเร็จรูป) และหล่อชิ้นงานด้วยแบบหล่อทั้ง 2 ชนิดคือ แบบหล่อซีเมนต์และแบบหล่อซิลิโคน และจากนั้นถ่ายรูปชิ้นงาน เขียนลายเส้นเพื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบด้วยวิธีพินิจ

## 3.3 การดำเนินการทดลอง

ทั้งในประเทศและต่างประเทศตามมาตรฐานการทดสอบวัสดุ วิธีที่แนะนำให้ใช้โดยเฉพาะมาตรฐานจากกรมโยธา คือการตรวจสอบด้วยวิธีพินิจ จะทำให้เห็นภาพรวมของพื้นผิวคอนกรีต ผู้ทำการวิจัยจึงใช้วิธีการตรวจวัดค่าด้วยการถ่ายรูปเพื่อนำมาวิเคราะห์

แบ่งออกเป็น 2 การทดลองดังนี้

3.3.1 การทดสอบการทำแบบหล่อซีเมนต์และแบบหล่อซิลิโคน

3.3.2 การทดสอบหล่อชิ้นงานจากแบบหล่อซีเมนต์และแบบหล่อซิลิโคน

## 3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

เก็บภาพถ่ายจากมุมมองทางตั้ง(plan)เพื่อแสดงลักษณะรูปแบบลวดลาย และมุมมองทางขวาง(section)เพื่อประเมินระยะความลึก(depth)ของลายที่สมบูรณ์ โดยคิดพื้นที่ความเสียหายเป็นร้อยละนำมาทำการเปรียบเทียบชิ้นงานแต่ละชิ้น โดยการแปลงภาพถ่ายเป็นภาพกราฟฟิกด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อประเมินพื้นที่เสียหายได้ชัดเจน

รูปแบบ มุมมอง เพื่อการบันทึกภาพถ่ายและประเมินผล ดังนี้

**3.4.1 มุมมองทางตั้ง (TOP VIEW)**

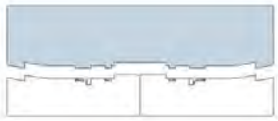
มุมมองภาพจากบนลงล่าง เพื่อแสดงลักษณะลวดลาย

**3.4.2 มุมมองทางนอน (SECTION VIEW)**

มุมมองภาพทางขวาง เพื่อใช้ประเมินความเสียหาย

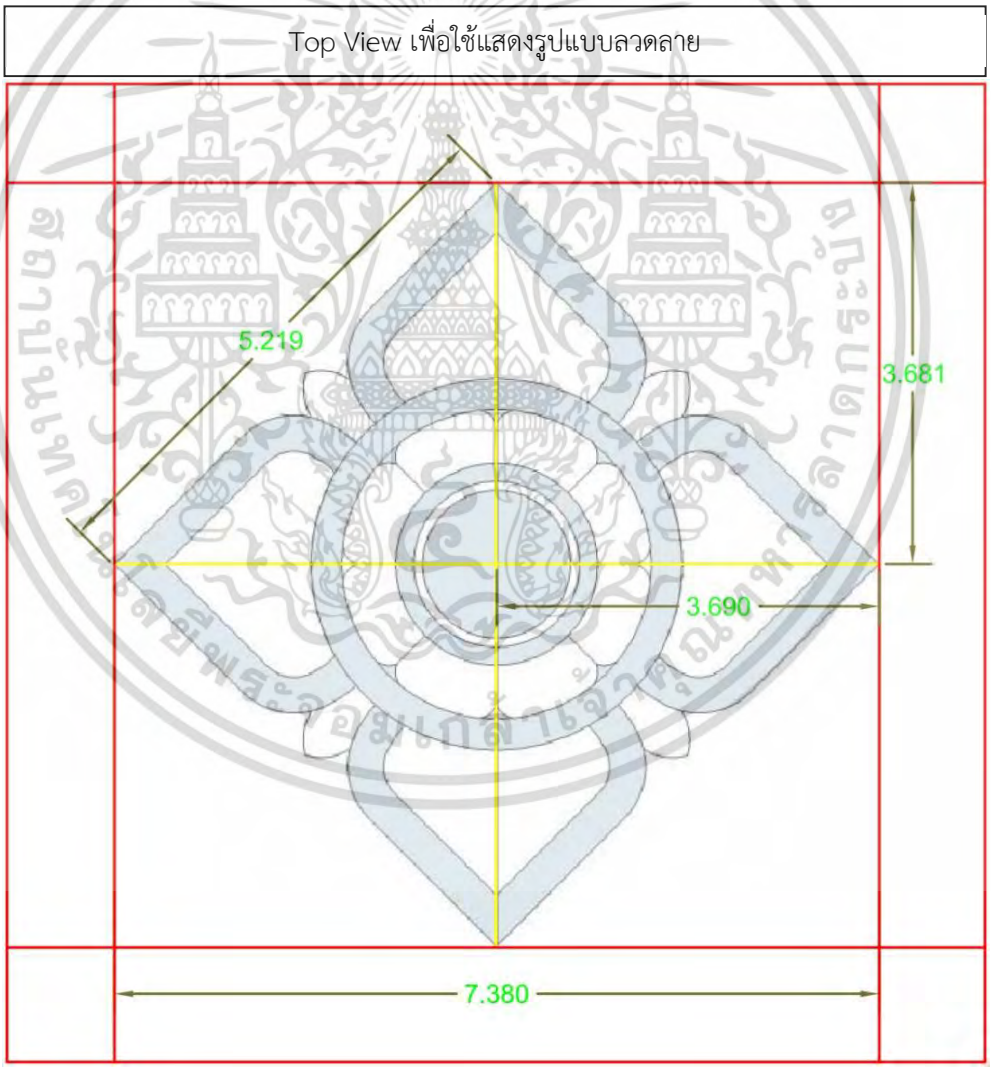
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มุมมองภาพจากบนลงล่าง (TOP VIEW)



มุมมองภาพทางขวาง (SECTION VIEW)

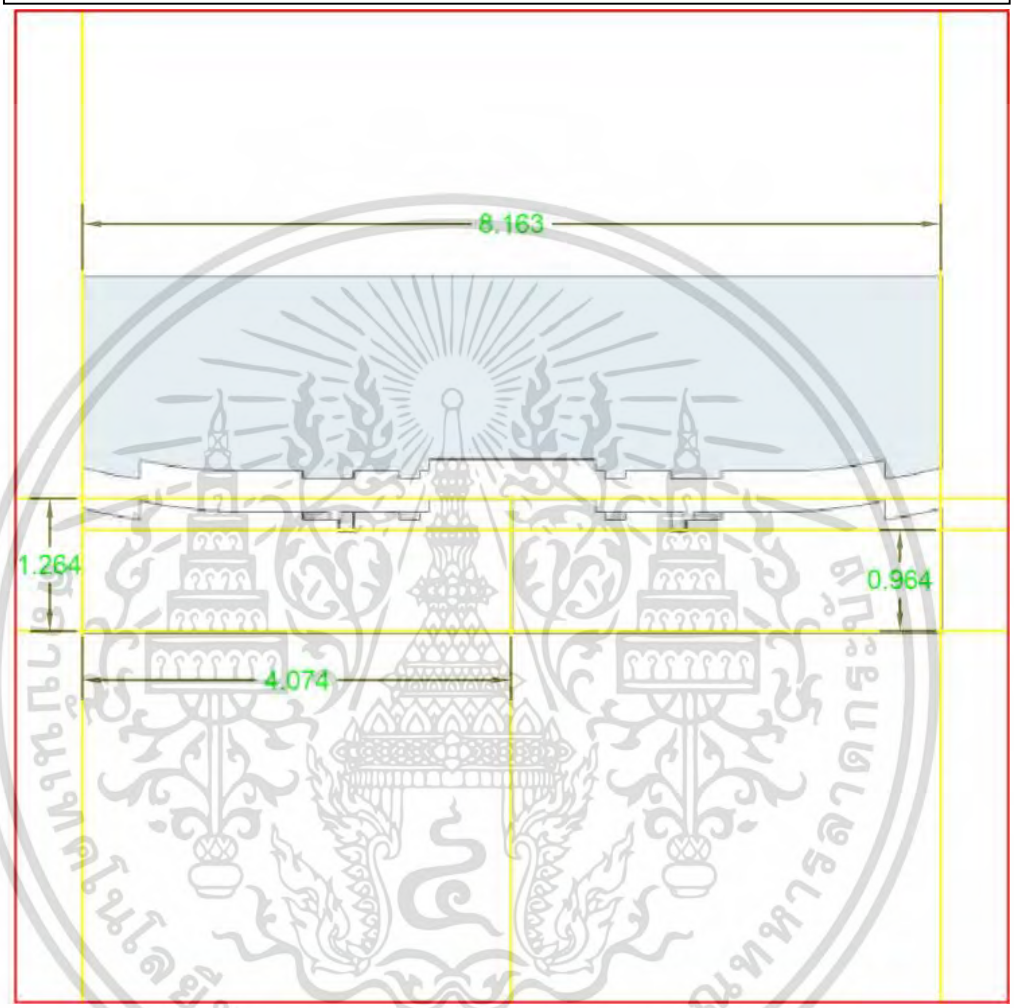
**รูปที่ 3.1** มุมมองภาพการวัดค่าชิ้นงาน




**รูปที่ 3.2** มุมมองภาพชิ้นงานจากบนลงล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

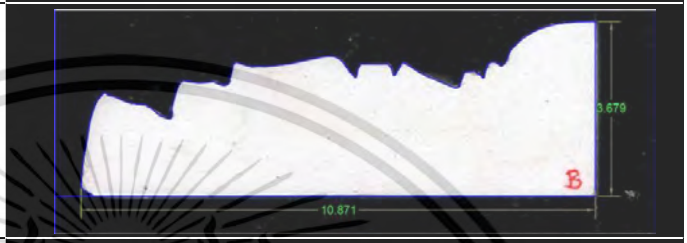
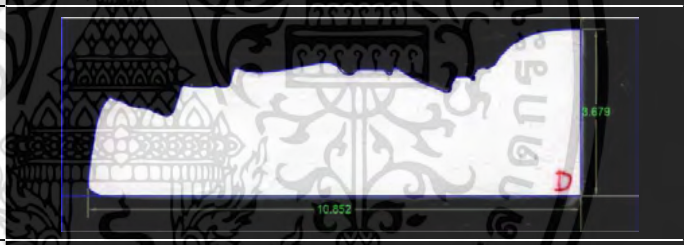
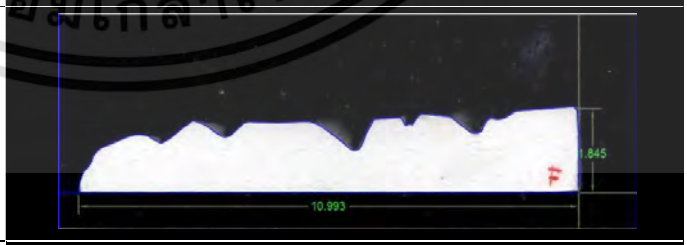
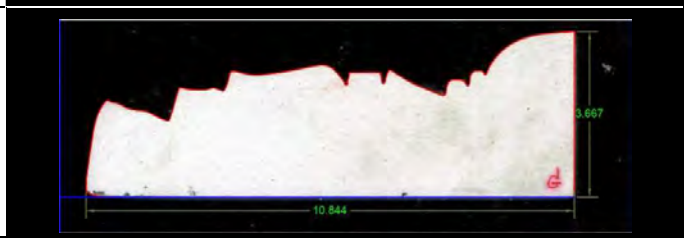
Section Viewประเมินความถูกต้องของระดับความลึกลวดลาย (DEPTH)
โดยสังเกตจากภาพตัดเปรียบเทียบกับต้นแบบ
เพื่อสังเกตความเสียหายชิ้นงานจากการถอดแบบพิมพ์ (สังเกตความคมชัดของลายด้วยการพินิจ)




**รูปที่ 3.3** มุมมองภาพชิ้นงานทางด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

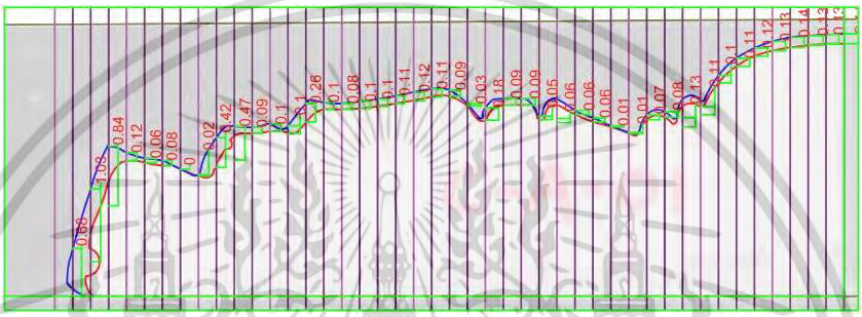
**ตารางที่ 3.1** ลักษณะชิ้นงานลวดลายทั้ง7 แบบ แสดงดัชนีรหัสภาพ A,B,C,D,E,F,G

| รูปแบบชิ้นงาน | รูปตัดชิ้นงานต้นแบบทางขวาง |
|---|---|
| A<br>เพิ่มความเอียงร่องลาย<br>(ให้ถอดแบบได้ง่าย) | |
| B<br>ขูดร่องลายให้มน<br>(ลดความแหลมของร่อง) |  |
| C<br>ขัดผิวหน้า<br>(ลดความลึกลาย) | |
| D<br>ใส้น้ำปูนลงตามร่องลาย<br>(ลดความลึกลาย) |  |
| E<br>ขัดแต่งตามความชำนาญช่าง<br>(เพิ่มความเอียง/ลดความแหลม) | |
| F<br>ปั้นใหม่ ให้แบน<br>(ยึดลายเส้นตามเดิม) |  |
| G<br>ลายตั้งต้น<br>(คงเดิม)Rev.1 |  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.5 การวัดผลด้วย Square Error และ Area Error

3.5.1 Square Error ค่าที่นำมาใช้ ก็คือค่าที่ทำให้ผลรวมของ (ความเบี่ยงเบนออกจากจุดอ้างอิงยกกำลังสอง) มีค่าน้อยที่สุด เป็นศูนย์ได้ยิ่งดี แต่ยังไงก็ไม่มีวันน้อยกว่าศูนย์ เพราะค่าที่ยกกำลังสองยังไงก็ไม่ติดลบอยู่แล้ว การที่ยกกำลังสอง เพื่อให้แน่ใจว่า เบี่ยงเบนไปด้านไหนก็ตาม จะกลายเป็นความเสียหาย ทั้งสองฝั่ง ค่าบวกและค่าลบเพราะจะมีค่ามากขึ้นเสมอเมื่อเบี่ยงเบนมากขึ้น ผลรวมของ (ความเบี่ยงเบนออกจากจุดอ้างอิงยกกำลังสอง) มีชื่อเรียกทางสถิติว่า sum squared error



**รูปที่ 3.4** ตัวอย่างการวิเคราะห์ค่าด้วยวิธี Square Error (Section View)

3.5.2 Area Error เป็นการ วัดค่าความถูกต้อง (Accuracy) โดยเปรียบเทียบกับ ชิ้นงานต้นแบบ หาค่าพื้นที่ ที่แตกต่างกัน โดยชิ้นงานตั้งต้นจะที่มีความสมบูณ์มากกว่าใช้เป็นตัวตั้ง ลบด้วยค่าพื้นที่ของชิ้นงานหล่อ โดยหล่อ 3ชิ้นนำค่าผลรวมเป็นตัวแทนของกลุ่มชิ้นงานนั้น เทคนิคที่ใช้วัด คือ การimport รูปเข้าAutocad และวาดลายเส้นตามชิ้นงาน หลังจากนั้น นำชิ้นงานทั้ง2 ชิ้นเทียบกันแล้ว Hatch หาค่าพื้นที่ที่แตกต่างกัน

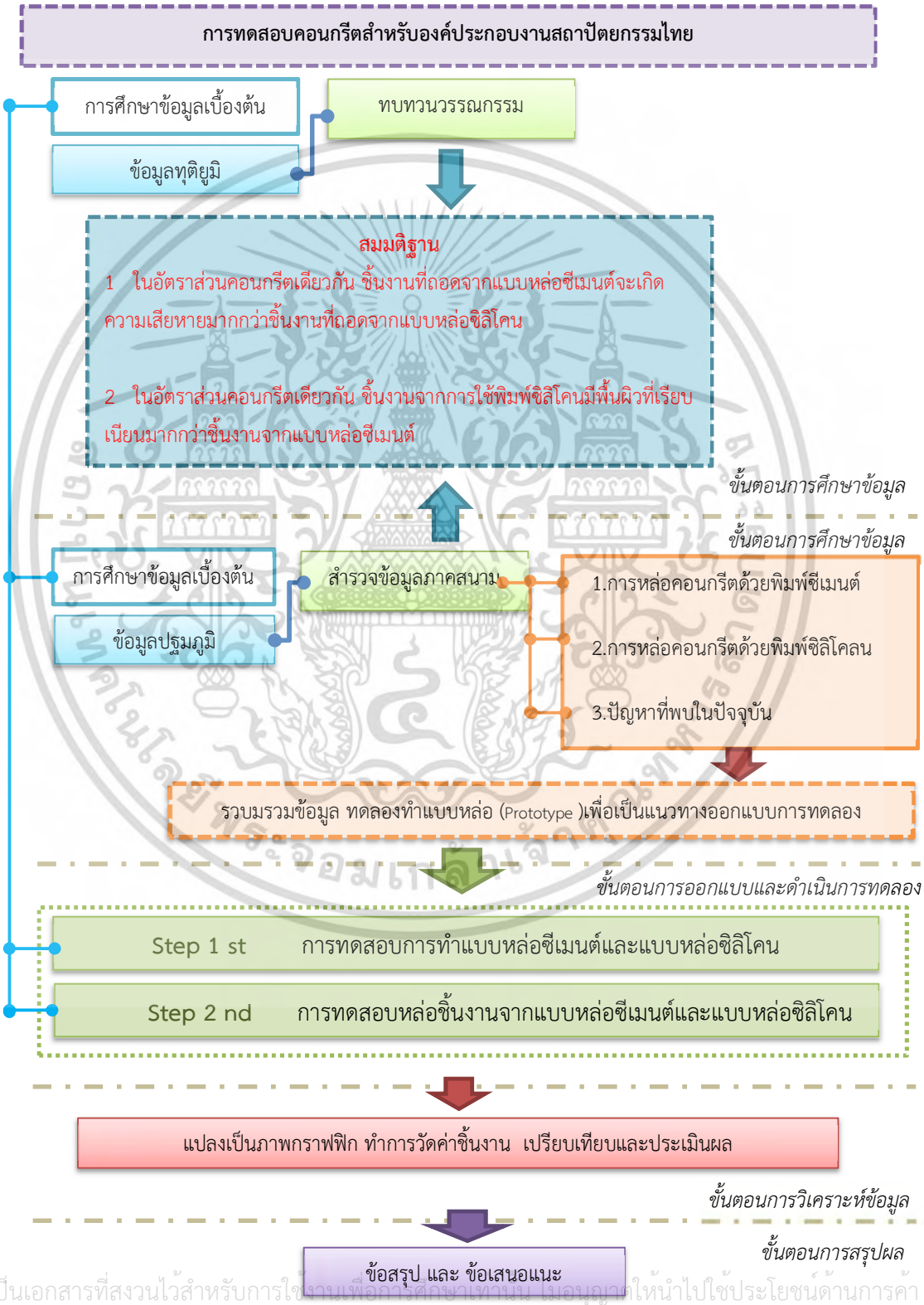
**รูปที่ 3.5** ตัวอย่างการวิเคราะห์ค่าด้วยวิธี Area Error (Section View)

เทคนิคการนำภาพชิ้นงานเข้าวัดผลในโปรแกรม AotoCAD การวิจัยนี้ใช้วิธีนำชิ้นงาน Scan เป็นไฟล์PDF เพื่อให้ได้ภาพที่ไม่มีการปรับสัดส่วนเวลานำเข้าโปรแกรมจะยัง Fix Scale ไม่ให้เกิดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

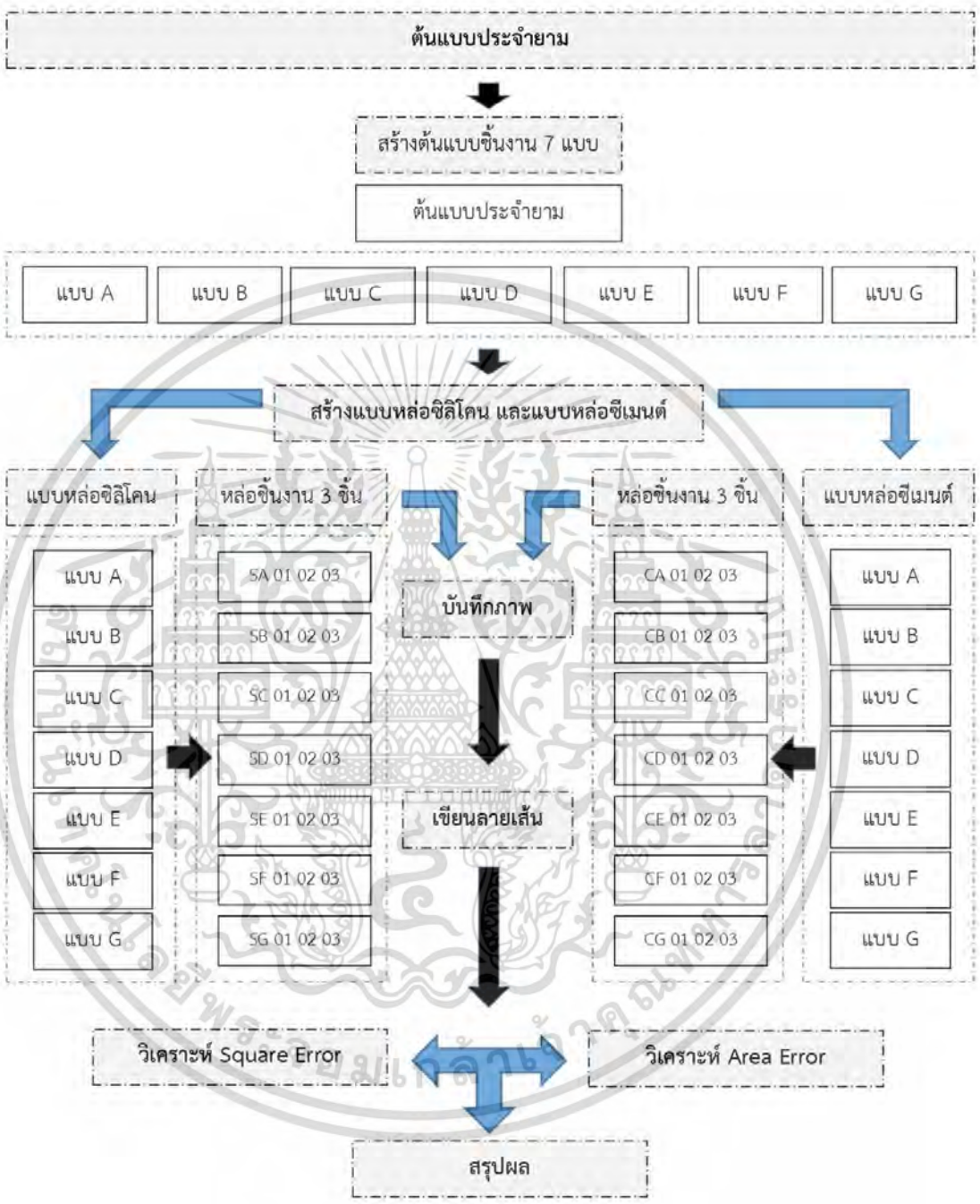
ขยับ และทำให้ได้ระยะชิ้นงานในScale เดิมทุกขั้นตอน (การใช้ภารถ่ายภาพชิ้นงาน มีโอกาสที่ชิ้นงานจะบิดตัว ทำให้ระยะอ้างอิงคลาดเคลื่อน และไฟล์ภาพ jpeg เมื่อใช้เข้าโปรแกรมอาจมีการปรับ Scale

## 3.6 แผนผังการดำเนินการวิจัย




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.7 แผงผังแสดงขั้นตอนการดำเนินการทดลอง




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4
# การทดลอง

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยเชิงทดลองโดยเป็นการวัดผลชิ้นงานที่ได้จากแบบหล่อซีเมนต์และแบบหล่อซิลิโคน ซึ่งเมื่อเริ่มทำการทดลองผู้วิจัยค้นพบข้อแตกต่างบางประการในกระบวนการสร้างแบบหล่อของหล่อทั้ง 2 ชนิดเพื่อใช้สำหรับการหล่อชิ้นงาน จึงมีการนำเสนอขั้นตอนการทดลองเป็น 6 ขั้นตอนหลัก คือ

4.1 ขั้นตอนการสร้างแบบหล่อซีเมนต์และแบบหล่อซิลิโคน
4.2 ขั้นตอนการหล่อชิ้นงานจากแบบหล่อซีเมนต์และแบบหล่อคอนกรีต
4.3 ขั้นตอนการหล่อชิ้นงานด้วยแบบหล่อซิลิโคน
4.4 ขั้นตอนการหล่อชิ้นงานด้วยแบบหล่อซีเมนต์
4.5 ขั้นตอนการวัดค่าและบันทึกผลด้วย Square Error (Section View)
4.6 ขั้นตอนการวัดค่าและบันทึกผลด้วย ผลต่างของพื้นที่ (Section View)

## 4.1 ขั้นตอนการสร้างแบบหล่อซีเมนต์และแบบหล่อซิลิโคน

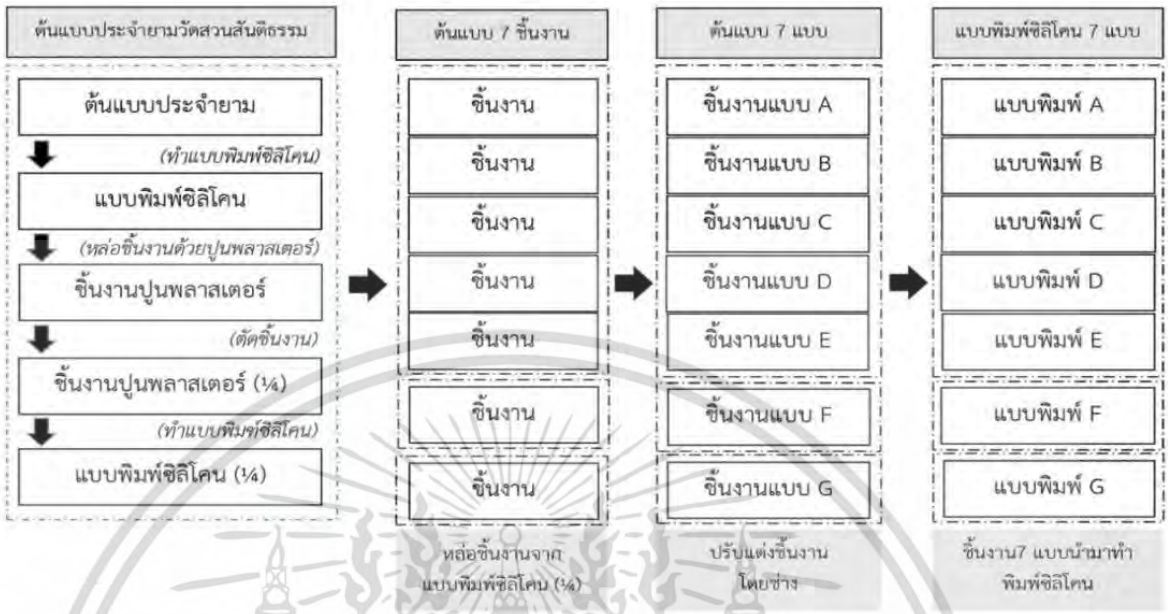
การทดสอบวิเคราะห์รูปแบบลวดลายประจำยาม ที่สามารถใช้หล่อพิมพ์ได้ทั้ง 2 ชนิด

1) การเตรียมชิ้นงานต้นแบบ.กำหนดใช้แบบประจำยาม โดย แบ่ง 1/4 ส่วน เพื่อให้สามารถวิเคราะห์มุมมองภาพด้านบน (Top View) และ มุมมองภาพตัดขวาง (Section view) โดยภาพมุมมองด้านบน ใช้เพื่อศึกษาวิเคราะห์ พื้นผิวหน้าและมุมมองภาพตัดขวาง ใช้เพื่อวิเคราะห์ความลึกของลวดลาย

2) การออกแบบชิ้นงานเพื่อเป็นต้นแบบของแบบหล่อ ออกแบบต้นแบบจากต้นแบบดั้งเดิม (รูปแบบที่1) เพื่อใช้สร้างแบบหล่อโดยกำหนดเป็น 7 กลุ่มการทดลอง

3) การทดสอบทำแบบหล่อซีเมนต์และแบบหล่อซิลิโคน นำต้นแบบที่ปรับแต่งลวดลาย (รูปแบบที่ 2) สร้างแบบหล่อซิลิโคน และนำแบบหล่อซิลิโคน มาหล่อสร้างชิ้นงาน เพื่อนำไปสร้างแบบหล่อซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



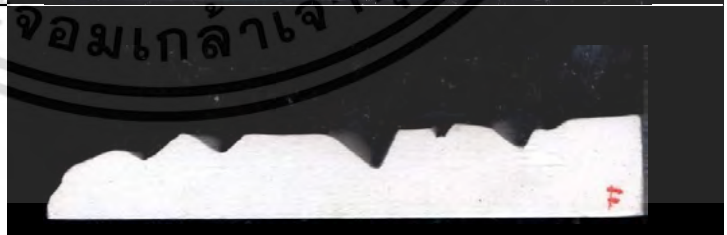

**รูปที่ 4.1** ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานต้นแบบ (ที่มา: ผู้วิจัย, 2561)

ต้นแบบชิ้นงานปรับรูปแบบ (รูปแบบที่ 2) จากต้นแบบเดิม ปรับลักษณะลวดลายในแนวตั้งโดยนำต้นแบบแรกมาปรับแต่ง ด้วยวิธี ขูด ขัด และเติม โดยคงรูปแบบลวดลาย มุมมองภาพด้านบน ไว้ โดยการปรับชิ้นงาน แบบ A – D คือ การ ปรับความเอียง ขูดร่องให้มน ขัดหน้าให้แบน และใส่น้ำปูนเพื่อลดความลึกร่อง ตามลำดับ ชิ้นงานแบบ E เป็นการปรับด้วยเทคนิค A – C รวมกัน ชิ้นงานแบบ F เป็นการปั้นใหม่โดยช่างผู้ออกแบบต้นแบบแรกโดยใช้แนวคิดการปั้นนูนต่ำ และ แบบ G คือ แบบดั้งเดิม (รูปแบบที่ 1)

เมื่อออกแบบครบ ทั้ง 7 แบบ ทำการ ถ่ายภาพ มุมมองภาพตัดขวาง และนำมาปรับระดับความแตกต่างภาพ (Contrast)+ 200% เพื่อให้ได้ลายเส้น ที่ชัดเจนสำหรับ การเขียนแบบเพื่อใช้วิเคราะห์เปรียบเทียบ

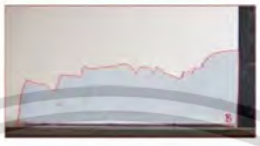
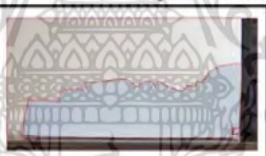
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.1** ลักษณะรูปตัดตามขวางชิ้นงานต้นแบบ (ที่มา: ผู้วิจัย, 2560)

| รูปแบบชิ้นงาน | รูปตัดชิ้นงานต้นแบบทางขวาง |
|---|---|
| A<br>เพิ่มความเอียงร่องลาย<br>(ให้ถอดแบบได้ง่าย) | |
| B<br>ขูดร่องลายให้มน<br>(ลดความแหลมของร่อง) | |
| C<br>ขัดผิวหน้า<br>(ลดความลึกลาย) | |
| D<br>ใส้น้ำปูนลงตามร่องลาย<br>(ลดความลึกลาย) | |
| E<br>ขัดแต่งตามความชำนาญช่าง<br>(เพิ่มความเอียง/ลดความแหลม) | |
| F<br>ปั้นใหม่ ให้แบน<br>(ยึดลายเส้นตามเดิม) |  |
| G<br>ลายตั้งต้น<br>(คงเดิม)Rev.1 | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.2** ลักษณะต้นแบบชิ้นงาน 7 แบบ (ที่มา: ผู้วิจัย, 2560)

| แบบ | มุมมองภาพตัดขวาง | | | มุมมองภาพด้านบน |
|---|---|---|---|---|
| | ภาพถ่าย | ลายเส้น | เปรียบเทียบลายเส้น รูปแบบที่1 -2 | |
| A | | | | |
| ลักษณะ | เพิ่มความเอียงร่องลาย (ให้ถอดแบบได้ง่าย) | | | |
| B | |  | | |
| ลักษณะ | ขูดร่องลายให้มน (ลดความแหลมของร่อง) | | | |
| C | | | | |
| ลักษณะ | ขัดผิวหน้า (ลดความลึกลาย) | | | |
| D | | | | |
| ลักษณะ | ใส้น้ำปูนลงตามร่องลาย (ลดความลึกลาย) | | | |
| E | |  | | |
| ลักษณะ | ขัดแต่งตามความชำนาญช่าง (เพิ่มความเอียง/ลดความลึก) | | | |
| F | | | | |
| ลักษณะ | ปั้นใหม่ ให้แบน (ยึดลายเส้นตามเดิม) | | | |
| G | | | | |
| ลักษณะ | ลายตั้งต้น (คงเดิม)รูปแบบที่ 1 | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.3** การทำแบบหล่อซิลิโคนด้วยต้นแบบ 7 แบบ (ที่มา: ผู้วิจัย, 2560)

| การทำแบบหล่อซิลิโคน | | | |
|---|---|---|---|
| ภาพประกอบ | | | |
| ขั้นตอน | ทาสบู่ที่ชิ้นงานเพื่อให้ถอดแบบได้ง่าย | ใช้ดินน้ำมันกั้นเป็นแนวสำหรับเทแบบ | เทซิลิโคนเหลวลงในแบบ |
| ภาพประกอบ | | | |
| ขั้นตอน | ใช้ผ้าตาข่ายวางเพื่อเสริมความเหนียว | เทซิลิโคนทับอีกรอบ | สลักซิลิโคน1ลบ.ซม.วางลงในแบบ |
| ภาพประกอบ | | | |
| ขั้นตอน | ตักแต่งขอบผ้าตาข่ายส่วนเกิน | ทาซิลิโคนเหลวรอบที่3แล้วทิ้งไว้1ชม | ผสมปูนพลาสเตอร์และกากมะพร้าว |
| ภาพประกอบ | | | |
| ขั้นตอน | เทปูนพลาสเตอร์ลงในแบบหนา3ซม | ปั้นแต่งฐานทั้งสามมุมหนา2ซม. | ทิ้งไว้15นาที ตัดแต่งขอบด้วยมีด |
| ภาพประกอบ | | | |
| ขั้นตอน | แกะชิ้นงานออกจากแบบหล่อ | ใช้กรรไกรตัดแต่งแบบ ขอบส่วนเกิน | ใช้พู่กันแห้งและปืนลมทำความสะอาด |

เมื่อถอดชิ้นงานออกจากแบบหล่อซิลิโคน ต้องทำความสะอาดชิ้นงานต้นแบบและเก็บรักษาไว้ใช้แบบหล่อที่ได้ หล่อชิ้นงานด้วยปูนพลาสเตอร์เพื่อนำมาใช้ในการสร้างแบบหล่อซีเมนต์ โดยทำซ้ำ 2 ครั้ง (ทำสำรองเผื่อเกิดข้อผิดพลาด) ชิ้นงานปูนพลาสเตอร์ที่หล่อเสร็จ ทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง เพื่อให้แข็งตัว จึงนำมาใช้เป็นต้นแบบในการสร้างแบบหล่อซีเมนต์ในกระบวนการต่อไป

ข้อเสนอแนะในขั้นตอนทำแบบหล่อซิลิโคน จำเป็นต้องทำบล็อคปูนพลาสเตอร์เป็นฐานไว้รองแบบหล่อซิลิโคน เนื่องจาก ซิลิโคนมีคุณสมบัติเป็นยาง จะเสียรูปเมื่อรับน้ำหนัก การทำแป้นปูนเพื่อเป็นฐานรองรับแบบหล่อซิลิโคน จะช่วยพยุงไม่ให้แบบบิดเบี้ยวไปตามน้ำหนักวัสดุหล่อที่กดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อควรระวังต้องถอดชิ้นงานเมื่อแห้งสนิทโดยทิ้งเวลาไว้อย่างน้อย 30 นาที เพื่อให้ชิ้นงานไม่เกิดการบิ่นที่ปลายขณะถอดแบบ

**ตารางที่ 4.4** การทำแบบหล่อซีเมนต์ด้วยต้นแบบปูนพลาสเตอร์ (ที่มา: ผู้วิจัย, 2560)

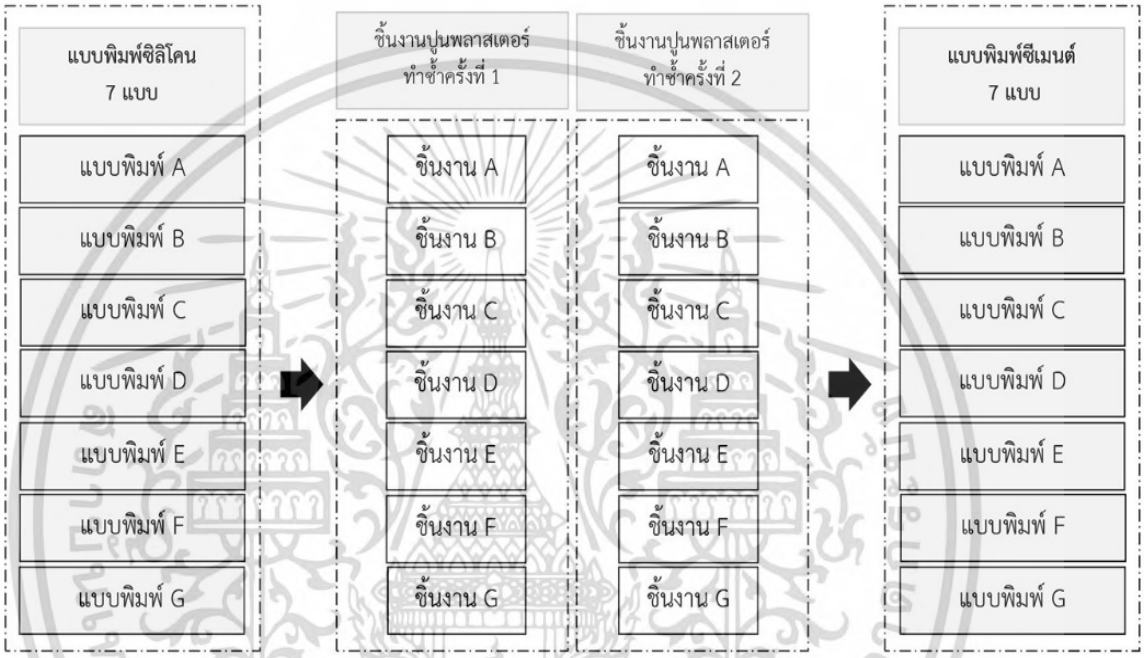
| การทำแบบหล่อซีเมนต์ด้วยต้นแบบปูนพลาสเตอร์ | | | |
|---|---|---|---|
| ภาพประกอบ | | | |
| ขั้นตอน | เตรียมไม้แบบสำหรับเทคอนกรีต | ทาสบู่ที่ชิ้นงาน | วางไม้แบบลงบนไม้กระดาน |
| ภาพประกอบ | | | |
| ขั้นตอน | วางชิ้นงานลงในไม้แบบ | ทำน้ำปูนซีเมนต์ที่ชิ้นงานให้ทั่ว | เทคอนกรีตลงในไม้แบบให้เต็ม |
| ภาพประกอบ | | | |
| ขั้นตอน | ปาดแต่งผิวให้เรียบ | ใช้หัวสั่นจี้คอนกรีต เพื่อไล่ฟองอากาศ | ทิ้งไว้ให้คอนกรีตแข็งตัว 24 ชม |
| ภาพประกอบ | | | |
| ขั้นตอน | แกะไม้แบบออกจากแบบหล่อ | เจียแต่งผิวหน้า | ล้างฝุ่นด้วยน้ำ |
| ภาพประกอบ | | | |
| ขั้นตอน | ใช้สิ่วแกะปูนพลาสเตอร์ทั้งหมด | แกะปูนพลาสเตอร์ออกจากแบบหล่อ | ชิ้นงานเคาะออกจากแบบหล่อไม่ได้ |

เลือกใช้ปูนซีเมนต์มอตาร์ (ปูนทราย เรียกอีกชื่อ ว่า ปูนสำเร็จรูป ผสมน้ำแล้วสามารถใช้ได้เลย) เพื่อให้ได้เนื้อซีเมนต์ที่ละเอียดและไหลเข้าแบบได้ดี ในขั้นตอนการเทซีเมนต์ จำเป็นต้องใช้พู่กันทาให้ทั่วเพื่อช่วยให้ น้ำปูนซีเมนต์เข้าไปในร่องลวดลายได้ทั่วถึง เมื่อทาทั่วจึงเทคอนกรีตลงในไม้แบบ การสั่น ด้วย Vibrator จำเป็นต้องทำทันทีหลังการเทคอนกรีต เพื่อช่วยไล่ฟองอากาศที่เกาะกับพื้นผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้นแบบ โดยการจี้ที่เนื้อคอนกรีตและแผ่นกระดาน โดยใช้เวลาจี้ 20 นาที แล้วทิ้งไว้ให้แห้งใช้เวลา 24 ชั่วโมง

ปัญหาที่พบขั้นตอนการถอดแบบ คือ ไม่สามารถถอดชิ้นงานออกจากแบบได้ด้วยการเคาะตามกระบวนการที่วางไว้ จำเป็นต้องพรมน้ำให้ชิ้นงานปูนพลาสเตอร์อมน้ำแล้วจึงค่อยๆ แซะออกด้วยสิ่วขนาดเล็ก ซึ่งใช้เวลามาก 2-4 ชั่วโมง ต่อชิ้นงาน และเกิดความเสียหายต่อลวดลายบางส่วนจากแรงกระแทกของสิ่ว

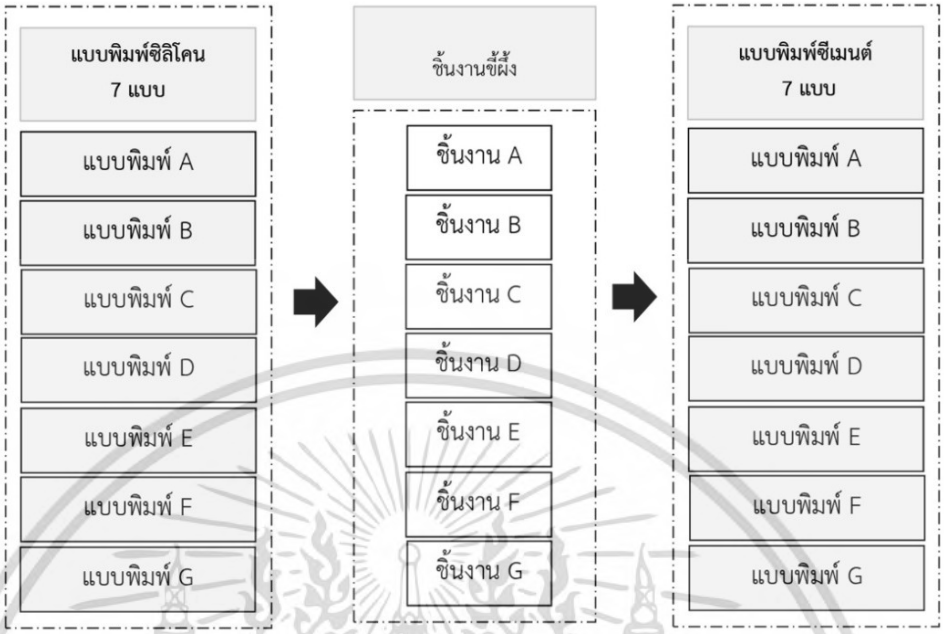



**รูปที่ 4.2** การใช้ต้นแบบชิ้นงานจากแบบหล่อซิลิโคนเพื่อสร้างแบบหล่อซีเมนต์ (ที่มา: ผู้วิจัย,2561)

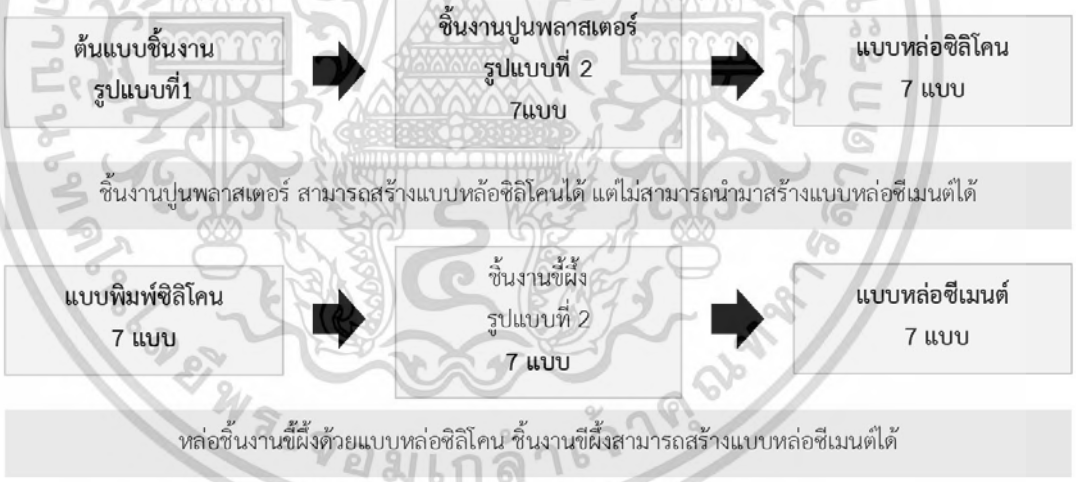
กระบวนการทำแบบหล่อซีเมนต์ด้วยต้นแบบปูนพลาสเตอร์ พบปัญหาความเสียหายของแบบหล่อในขั้นตอนการถอดแบบชิ้นงานดังที่กล่าวไว้ข้างต้น เมื่อแบบหล่อซีเมนต์เกิดร่องรอยที่ลวดลายจากสิ่วจึงไม่สามารถนำมาใช้เป็นแบบหล่อเพื่อทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

ผู้วิจัย จึงปรับวิธีการสร้างแบบหล่อซีเมนต์โดยใช้ขี้ผึ้งเป็นวัสดุในการทำต้นแบบ เพราะขี้ผึ้งสามารถต้มให้เหลวและนำไปเทลงในแบบซิลิโคน เมื่อทิ้งไว้สามารถแข็งตัวคงรูปได้ ด้วยคุณสมบัติมีความแข็งตัวที่อุณหภูมิห้องแต่มีความยืดหยุ่น (คุณสมบัติคล้ายดินน้ำมันแต่มีความแข็งกว่า) จึงเหมาะสำหรับเป็นวัสดุใช้ขึ้นรูปแบบหล่อซีเมนต์และสามารถแกะออกจากแบบหล่อได้โดยไม่ทำให้แบบหล่อเกิดความเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.3** การใช้ต้นแบบชิ้นงานขี้ผึ้งเพื่อสร้างแบบหล่อซีเมนต์




**รูปที่ 4.4** การใช้ต้นแบบชิ้นงานปูนพลาสเตอร์และขี้ผึ้งเพื่อสร้างแบบหล่อซิลิโคนและแบบหล่อซีเมนต์ (ที่มา: ผู้วิจัย, 2561)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.5** ขั้นตอนการทำแบบหล่อซีเมนต์ด้วยต้นแบบขี้ผึ้ง (ที่มา: ผู้วิจัย, 2560)

| การทำแบบหล่อซิเมนต์ด้วยต้นแบบขี้ผึ้ง | | | |
|---|---|---|---|
| ภาพประกอบ | | | |
| ขั้นตอน | ทำความสะอาดเตรียมแบบหล่อซิลิโคน | ต้มขี้ผึ้งและเทขี้ผึ้งเหลว | เทขี้ผึ้งเหลวให้เต็มแบบหล่อ |
| ภาพประกอบ | | | |
| ขั้นตอน | ทิ้งไว้3 ชม.แกะชิ้นงานออกจากแบบ | ทำความสะอาดชิ้นงาน | เขียนสลักหลังแบบชิ้นงาน |
| ภาพประกอบ | | | |
| ขั้นตอน | วางชิ้นงานลงบนแผ่นสมาร์ทบอร์ด | ทำปูนซีเมนต์ด้วยแปรงให้ทั่วชิ้นงาน | ใช้เกียงตักปูนซีเมนต์ลงบนชิ้นงาน |
| ภาพประกอบ | | | |
| ขั้นตอน | แต่งแบบหล่อให้เข้ารูปทรงสามเหลี่ยม | ทำให้ครบทั้ง 7 แบบ | ทิ้งไว้24 ชม.สลักหลังไว้ที่แบบหล่อ |
| ภาพประกอบ | | | |
| ขั้นตอน | เริ่มแกะชิ้นงานออกจากแบบหล่อ | ทำความสะอาดแบบหล่อ | ทาน้ำมันเครื่องเคลือบแบบหล่อ |

การใช้ขี้ผึ้งเป็นวัสดุของชิ้นงานตั้งต้น ได้ผลออกมาตรงตามจุดประสงค์ที่ต้องการ คือ มีความเหลวเพียงพอที่ไหลลงแบบหล่อซิลิโคนได้ และเมื่อทิ้งให้แข็งตัวสามารถแกะออกจากแบบโดยได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์และไม่เกิดความเสียหายต่อแบบหล่อซิลิโคน

เมื่อนำชิ้นงานขี้ผึ้ง ที่หล่อเสร็จแล้วมาสร้างแบบหล่อซีเมนต์ ชิ้นงานขี้ผึ้งมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะรับนำหนักกดทับจากปูนซีเมนต์โดยไม่เสียรูป ทำให้ได้ลวดลายที่ตรงตามแบบตั้งต้น และด้วยความยืดหยุ่นมีความเหนียวในตัวเอง จึงสามารถแกะขี้ผึ้งออกจากแบบหล่อซีเมนต์ได้โดยไม่ทำให้แบบหล่อเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ผลของการสร้างแบบหล่อซีเมนต์และแบบหล่อซิลิโคน**

กระบวนการทำแบบหล่อ ทั้ง 3 ครั้งด้วย วัสดุที่ต่างกัน ผลของขั้นตอนที่ 1 แบบชิ้นงานทั้ง 7 แบบ สามารถสร้างแบบหล่อซิลิโคนได้ โดยชิ้นงานปูนพลาสเตอร์และแบบหล่อซิลิโคน ไม่เกิดความเสียหายในขั้นตอนถอดแบบ ผลของขั้นตอนที่ 2 สามารถเทแบบหล่อชิ้นงานทั้ง 7 แบบได้ แต่มีปัญหาในขั้นตอนการถอดแบบ ไม่สามารถถอดแบบชิ้นงานออกจากแบบหล่อได้ จำเป็นต้องใช้สิ่วเซาะชิ้นงาน ทำให้ชิ้นงานพังทั้งชิ้น และแบบหล่อซีเมนต์เกิดความเสียหายบางส่วน การเปลี่ยนวัสดุชิ้นงานจากปูนพลาสเตอร์เป็นขี้ผึ้ง ชิ้นงานที่ถอดออกมาเกิดความเสียหายแต่ได้แบบหล่อซีเมนต์ที่สมบูรณ์

**ตารางที่ 4.6** ผลชิ้นงานและแบบหล่อหลังจากถอดแบบ

| Type | แบบหล่อซิลิโคน | ประเมินสภาพ | | แบบหล่อซีเมนต์ | ประเมินสภาพ | | แบบหล่อซีเมนต์ | ประเมินสภาพ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ต้นแบบปูนพลาสเตอร์ | ชิ้นงาน | แบบหล่อ | ต้นแบบปูนพลาสเตอร์ | ชิ้นงาน | แบบหล่อ | ต้นแบบขี้ผึ้ง | ชิ้นงาน | แบบหล่อ |
| A | | ✓ | ✓ | | ✗ | ✗ | | ✗ | ✓ |
| B | | ✓ | ✓ | | ✗ | ✗ | | ✗ | ✓ |
| C | | ✓ | ✓ | | ✗ | ✗ | | ✗ | ✓ |
| D | | ✓ | ✓ | | ✗ | ✗ | | ✗ | ✓ |
| E | | ✓ | ✓ | | ✗ | ✗ | | ✗ | ✓ |
| F | | ✓ | ✓ | | ✗ | ✗ | | ✗ | ✓ |
| G | | ✓ | ✓ | | ✗ | ✗ | | ✗ | ✓ |

(หมายเหตุ : ✓ ประเมินสภาพว่าสมบูรณ์, ✗ ประเมินสภาพว่า เกิดความเสียหาย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบออกแบบประจำยาม (ต้นแบบจากโบสถ์วัดสวนสันติธรรม) โดยการ ปรับจากต้นแบบ (Revolution 1st) เป็นต้นแบบใหม่ (Revolution 2nd) รวมทั้งหมด 7 แบบ Type A-G โดยยึดลักษณะลวดลายมุมมองภาพด้านบน ให้คงเดิมสามารถสร้างแบบหล่อซิลิโคนได้ทั้ง 7 แบบ ซึ่งได้ชิ้นงานและแบบหล่อที่สมบูรณ์ตรงข้ามกับการสร้างแบบหล่อซีเมนต์ด้วยปูนพลาสเตอร์ เกิดความเสียหาย ทั้ง 7 แบบ โดยไม่สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้อีกทั้งชิ้นงานและแบบหล่อซีเมนต์ จึงนำผลมาวิเคราะห์ต่อจำเป็นต้องเลือกใช้วัสดุที่มีความยืดหยุ่น เพื่อสร้างแบบหล่อซีเมนต์ โดยไม่ยืดหยุ่นหรืออ่อนตัวจนเกิดไป เพราะจำเป็นต้องสามารถรับแรงกดจากวัสดุหล่อ ไม่ให้เกิดการเสียรูปร่าง การเลือกใช้ขี้ผึ้งทำชิ้นงาน สามารถสร้างแบบหล่อซีเมนต์ได้ ไม่เกิดความเสียหายที่แบบหล่อในขั้นตอนการถอดแบบแต่เกิดการเสียหายบางส่วนที่ชิ้นงาน

ปัจจัยที่มีผลสำคัญต่อชิ้นงานและแบบหล่อ คือ ความแข็งและความยืดหยุ่น โดยวัสดุชิ้นงานปูนพลาสเตอร์ คือกลุ่มที่แข็งเปราะ (Inflexible) และขี้ผึ้งคือกลุ่มที่มีความยืดหยุ่น (Flexible) ส่วนวัสดุแบบหล่อซิลิโคน คือ กลุ่มที่มีความยืดหยุ่น (Flexible) และซีเมนต์ คือกลุ่มที่แข็งและเปราะ (Inflexible) สรุปได้ว่าการสร้างแบบหล่อซิลิโคนสามารถสร้างได้ด้วยวัสดุชิ้นงานทั้งที่มีความยืดหยุ่นและไม่มีความยืดหยุ่น แต่จำเป็นต้องมีฐานรองแบบซิลิโคนเพื่อกันการเสียรูป แต่การสร้างแบบหล่อซีเมนต์ต้องสร้างจากวัสดุชิ้นงานที่มีความยืดหยุ่นเท่านั้น แต่ไม่จำเป็นต้องมีฐานรองแบบหล่อ

**ตารางที่ 4.7** คุณสมบัติวัสดุชิ้นงานและวัสดุแบบหล่อที่มีผลต่อการทำแบบหล่อ (ที่มา: ผู้วิจัย, 2561)

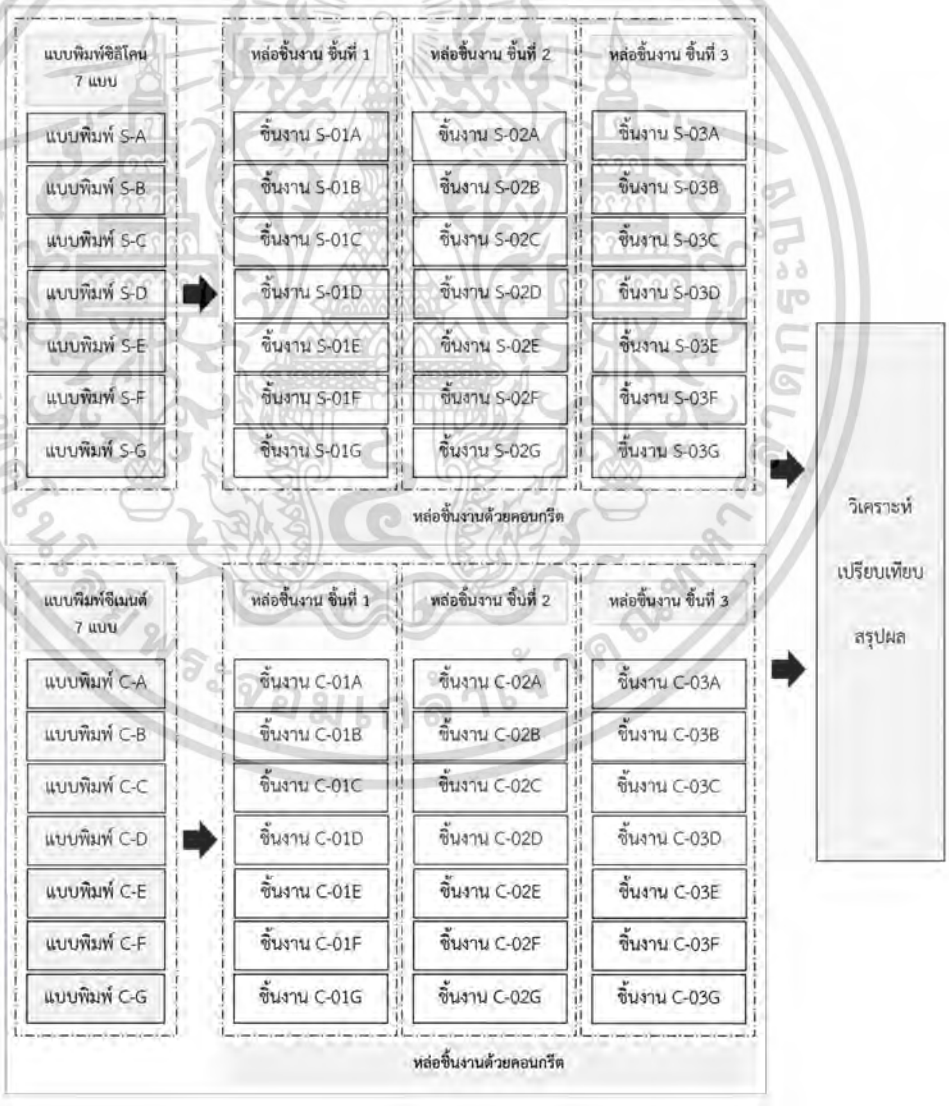
| วัสดุชิ้นงาน | วัสดุแบบหล่อ | ฐานรองแบบหล่อ | ประเมินสภาพหลังถอดแบบ | |
|---|---|---|---|---|
| | | | สภาพชิ้นงาน | สภาพแบบหล่อ |
| Inflexible (ปูนพลาสเตอร์) | Flexible (ซิลิโคน) | มี | ✓ | ✓ |
| | | ไม่มี | × | × |
| Inflexible (ปูนพลาสเตอร์) | Inflexible (ซีเมนต์) | ไม่มี | × | × |
| Flexible (ขี้ผึ้ง) | Flexible (ซิลิโคน) | มี | ✓ | ✓ |
| | | ไม่มี | × | × |
| Flexible (ขี้ผึ้ง) | Inflexible (ซีเมนต์) | ไม่มี | × | ✓ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ขั้นตอนการหล่อชิ้นงานจากแบบหล่อซีเมนต์และแบบหล่อคอนกรีต

ขั้นตอนการหล่อชิ้นงานด้วยแบบหล่อซีเมนต์และแบบหล่อซิลิโคน แบ่งกลุ่มทดลองเป็น 2 กลุ่ม คือ

1) การหล่อชิ้นงานด้วยแบบหล่อซิลิโคน มีแบบหล่อ 7 ลักษณะแต่ละลักษณะทำซ้ำ 3 แบบหล่อ เพื่อสร้างหล่อชิ้นงานลักษณะละ 3 ชิ้น กลุ่มทุดลองนี้จะได้ชิ้นงานเพื่อนำมาวัดผล/เปรียบเทียบทั้งหมด 21 ชิ้น
2) การหล่อชิ้นงานด้วยแบบหล่อซีเมนต์ มีแบบหล่อ 7 ลักษณะแต่ละลักษณะทำซ้ำ 3 แบบหล่อ เพื่อสร้างหล่อชิ้นงานลักษณะละ 3 ชิ้น กลุ่มทุดลองนี้จะได้ชิ้นงานเพื่อนำมาวัดผล/เปรียบเทียบทั้งหมด 21 ชิ้น




**รูปที่ 4.5** กลุ่มการทดลอง การหล่อชิ้นงานด้วยแบบหล่อซีเมนต์และแบบหล่อซิลิโคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.3 ขั้นตอนการหล่อชิ้นงานด้วยแบบหล่อซิลิโคน

1) การเตรียมแบบหล่อซิลิโคน โดยการทำความสะอาดปัดฝุ่นและทาน้ำมันเพื่อให้ชิ้นงานถอดได้ง่าย
2) ทาน้ำปูนให้ทั่วแบบหล่อ และเทคอนกรีตให้เต็มแบบ
3) เคาะแบบเพื่อช่วยไล่ฟองอากาศ ประมาณ1นาที แล้วจึงปาดคอนกรีตให้ขอบเรียบเสมอแบบ
4) โรยผงซีเมนต์ลงบนคอนกรีต เพื่อช่วยดูดน้ำ (เผาปูน)เพื่อช่วยเร่งเวลาในการอดชิ้นงานออกจากแบบ โดยโรยทิ้งไว้ 15 วินาทีแล้วจึงปาดออก ทำซ้ำ 3 รอบจะเห็นว่าปูนที่ปาดออกเริ่มแห้งมากขึ้น
5) คว่ำแบบลง ใช้ด้ามเรียงเคาะที่ตัวแบบหล่อ 20 ครั้ง เคาะให้ทั่วๆแบบ จึงยกแบบขึ้น ชิ้นงานจะหลุดออกจากตัวแบบหล่อ

**ตารางที่ 4.8** กลุ่มการทดลอง การหล่อชิ้นงานด้วยแบบหล่อซิลิโคน (ที่มา: ผู้วิจัย, 2560)

| การทำแบบหล่อซิเมนต์ด้วยต้นแบบปูนพลาสเตอร์ | | | |
|---|---|---|---|
| ภาพประกอบ | | | |
| ขั้นตอน | ทำความสะอาดแบบหล่อ/ทาน้ำมัน | ทาน้ำปูน | เทคอนกรีตให้เต็มแบบ |
| ภาพประกอบ | | | |
| ขั้นตอน | เคาะแบบเพื่อไล่ฟองอากาศ | ใช้เกียงปาดคอนกรีตให้ขอบเสมอแบบ | โรยผงซีเมนต์เพื่อดูดน้ำ(เผา) |
| ภาพประกอบ | | | |
| ขั้นตอน | ทิ้งไว้ให้ปูนดูดน้ำ15วินาที | ปาดผงปูนออก | เผาปูน ทำซ้ำ3ครั้ง |
| ภาพประกอบ | | | |
| ขั้นตอน | คว่ำแบบลง | เคาะแบบ | ชิ้นงาน ถอดออกจากแบบหล่อ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.4 ขั้นตอนการหล่อชิ้นงานด้วยแบบหล่อซีเมนต์

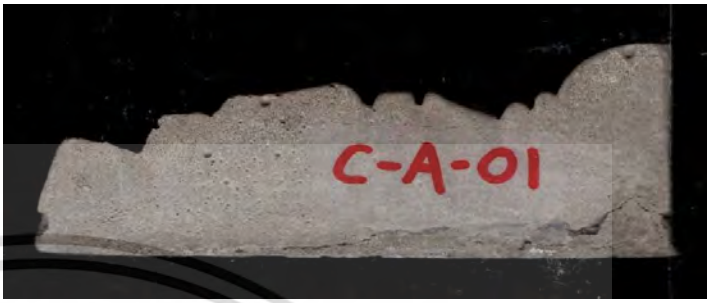
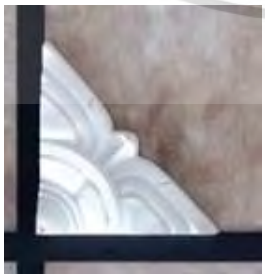
1) การเตรียมแบบหล่อซีเมนต์ โดยการทำความสะอาดปัดฝุ่นและทาน้ำมันเพื่อให้ชิ้นงานถอดได้ง่าย
2) ทาน้ำปูนให้ทั่วแบบหล่อ และเทคอนกรีตให้เต็มแบบ
3) เคาะแบบเพื่อช่วยไล่ฟองอากาศ ประมาณ1นาที แล้วจึงปาดคอนกรีตให้ขอบเรียบเสมอแบบ
4) โรยผงซีเมนต์ลงบนคอนกรีต เพื่อช่วยดูดน้ำ (เผาปูน)เพื่อช่วยเร่งเวลาในการอดชิ้นงานออกจากแบบ โดยโรยทิ้งไว้ 15 วินาทีแล้วจึงปาดออก ทำซ้ำ 3 รอบจะเห็นว่าปูนที่ปาดออกเริ่มแห้งมากขึ้น
5) คว่ำแบบลง ใช้ด้ามเรียงเคาะที่ตัวแบบหล่อ 20 ครั้ง เคาะให้ทั่วๆแบบ จึงยกแบบขึ้น ชิ้นงานจะหลุดออกจากตัวแบบหล่อ

**ตารางที่ 4.9** กลุ่มการทดลอง การหล่อชิ้นงานด้วยแบบหล่อซิลิโคน (ที่มา: ผู้วิจัย, 2560)

| การทำแบบหล่อซิเมนต์ด้วยต้นแบบปูนพลาสเตอร์ | | | |
|---|---|---|---|
| ภาพประกอบ | | | |
| ขั้นตอน | ทำความสะอาดแบบหล่อ/ทาน้ำมัน | ทาน้ำปูน | เทคอนกรีตให้เต็มแบบ |
| ภาพประกอบ | | | |
| ขั้นตอน | เคาะแบบเพื่อไล่ฟองอากาศ | ใช้เกียงปาดคอนกรีตให้ขอบเสมอแบบ | โรยผงซีเมนต์เพื่อดูดน้ำ(เผา) |
| ภาพประกอบ | | | |
| ขั้นตอน | ทิ้งไว้ให้ปูนดูดน้ำ15วินาที | ปาดผงปูนออก | เผาปูน ทำซ้ำ3ครั้ง |
| ภาพประกอบ | | | |
| ขั้นตอน | คว่ำแบบลง | เคาะแบบ | ชิ้นงาน ถอดออกจากแบบหล่อ |

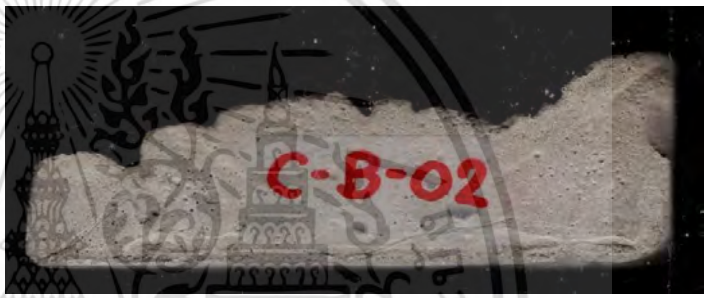
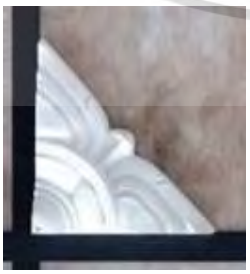
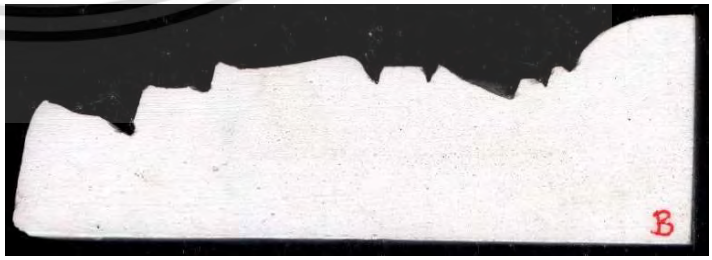
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.10** ลักษณะชิ้นงานรูปแบบ A ด้วยแบบหล่อ ซีเมนต์ และชิ้นงานต้นแบบ

| CA | Top View | Section View |
|---|---|---|
| CA-01 | |   |
| CA-01 | | |
| CA-01 | | |
| Master A |  | |

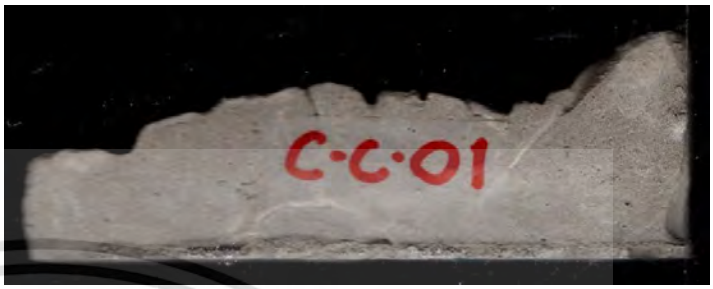
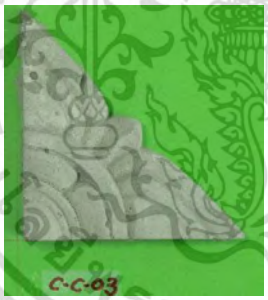
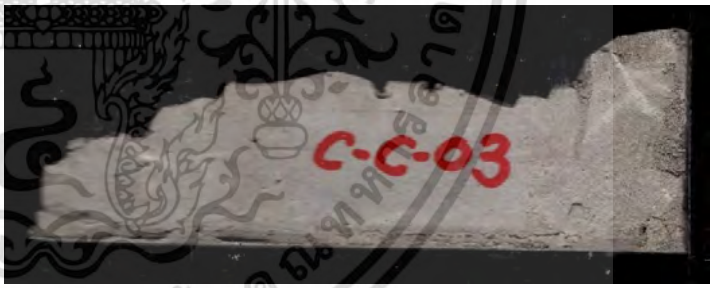
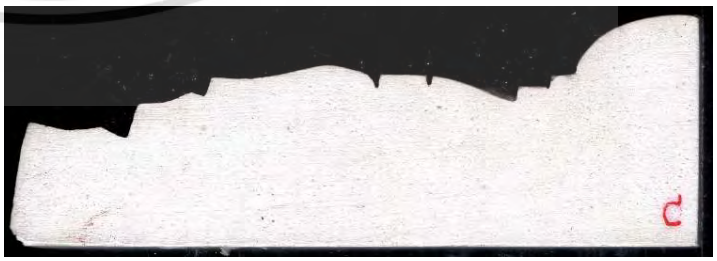
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.11** ลักษณะชิ้นงานรูปแบบ B ด้วยแบบหล่อ ซีเมนต์ และชิ้นงานต้นแบบ

| CB | Top View | Section View |
|---|---|---|
| CB-01 | | |
| CB-02 | |   |
| CB-03 | | |
| Master B |  |   |

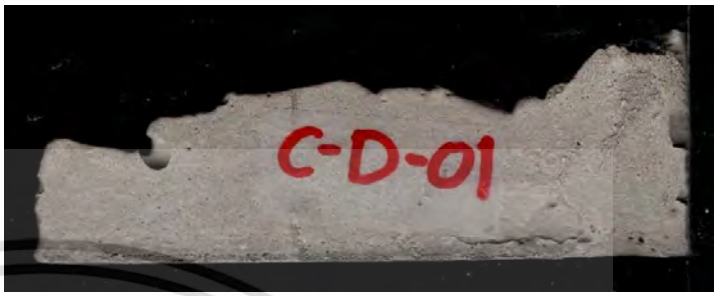
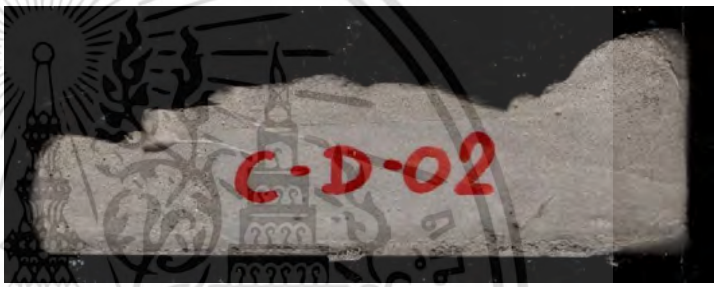
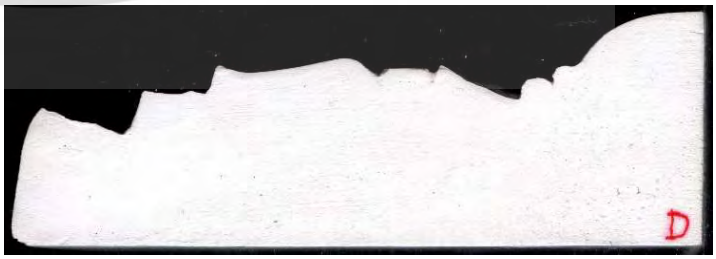
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.12** ลักษณะชิ้นงานรูปแบบ C ด้วยแบบหล่อ ซีเมนต์ และชิ้นงานต้นแบบ

| CC | Top View | Section View |
|---|---|---|
| CC-01 | |   |
| CC-02 | | |
| CC-03 |   |   |
| Master C | |  |

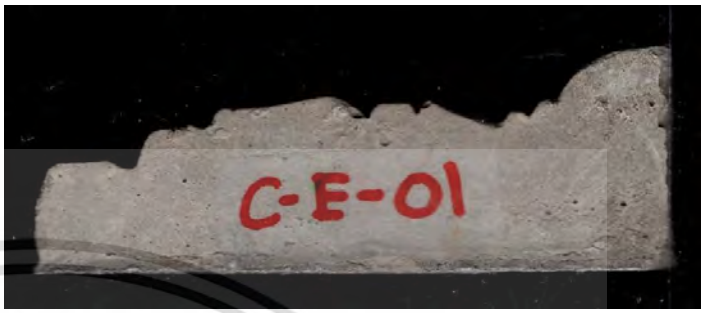
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.13** ลักษณะชิ้นงานรูปแบบ D ด้วยแบบหล่อ ซีเมนต์ และชิ้นงานต้นแบบ

| CD | Top View | Section View |
|---|---|---|
| CD-01 | |   |
| CD-02 | |   |
| CD-03 | | |
| Master D | |   |

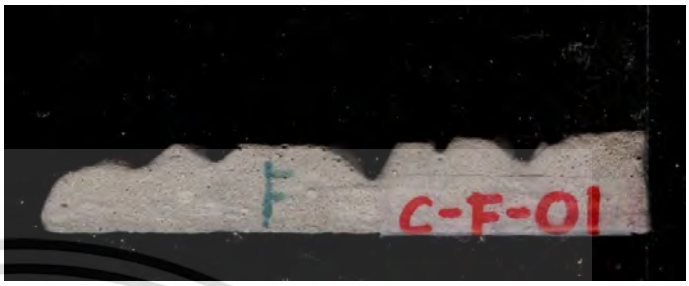
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.14** ลักษณะชิ้นงานรูปแบบ E ด้วยแบบหล่อ ซีเมนต์ และชิ้นงานต้นแบบ

| CE | Top View | Section View |
|---|---|---|
| CE-01 | |   |
| CE-02 | | |
| CE-03 | | |
| Master E | | |

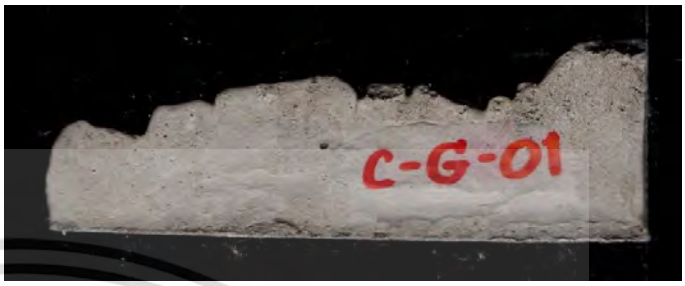
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.15** ลักษณะชิ้นงานรูปแบบ F ด้วยแบบหล่อ ซีเมนต์ และชิ้นงานต้นแบบ

| CF | Top View | Section View |
|---|---|---|
| CF-01 | |   |
| CF-02 | | |
| CF-03 | | |
| Master F | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.16** ลักษณะชิ้นงานรูปแบบ G ด้วยแบบหล่อ ซีเมนต์ และชิ้นงานต้นแบบ

| CG | Top View | Section View |
|---|---|---|
| CG-01 | |   |
| CG-02 | | |
| CG-03 | | |
| Master G | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.17** ลักษณะชิ้นงานรูปแบบ A ด้วยแบบหล่อ ซิลิโคน และชิ้นงานต้นแบบ

| SA | Top View | Section View |
|---|---|---|
| SA-01 | | |
| SA-02 | | |
| SA-03 | | |
| Master A | | |

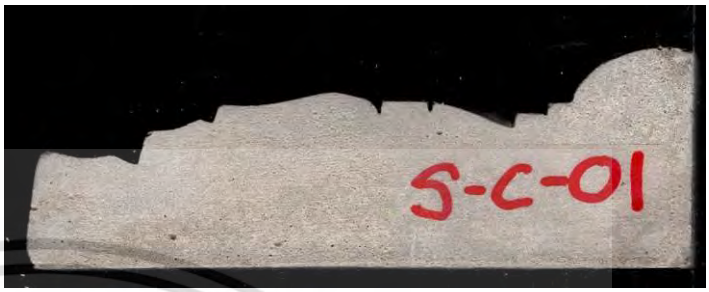
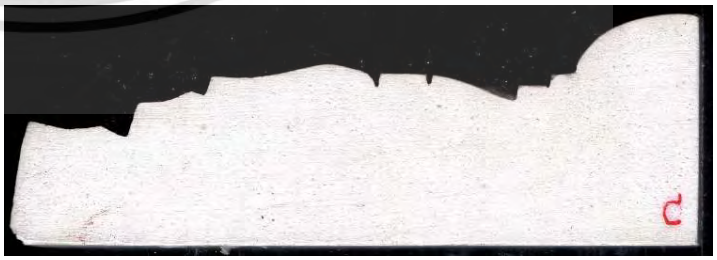
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.18** ลักษณะชิ้นงานรูปแบบ B ด้วยแบบหล่อ ซิลิโคน และชิ้นงานต้นแบบ

| SB | Top View | Section View |
|---|---|---|
| SB-01 | | |
| SB-02 | | |
| SB-03 | | |
| Master B | | |

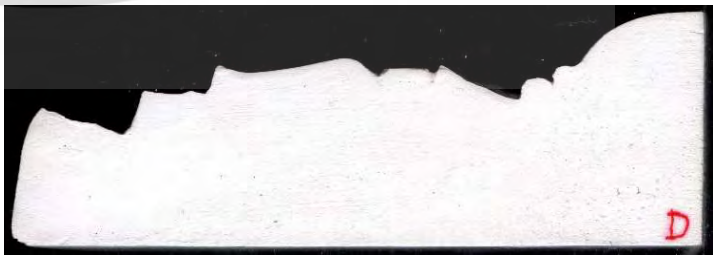
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.19** ลักษณะชิ้นงานรูปแบบ C ด้วยแบบหล่อ ซิลิโคน และชิ้นงานต้นแบบ

| SB | Top View | Section View |
|---|---|---|
| SC-01 | |   |
| SC-02 | | |
| SC-03 | | |
| Master C | |   |

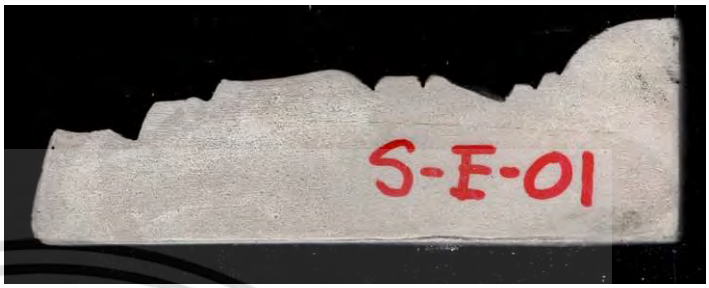
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.20** ลักษณะชิ้นงานรูปแบบ D ด้วยแบบหล่อ ซิลิโคน และชิ้นงานต้นแบบ

| SD | Top View | Section View |
|---|---|---|
| SD-01 | | |
| SD-02 | | |
| SD-03 | | |
| Master D | |   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.21** ลักษณะชิ้นงานรูปแบบ E ด้วยแบบหล่อ ซิลิโคน และชิ้นงานต้นแบบ

| SE | Top View | Section View |
|---|---|---|
| SE-01 | |   |
| SE-02 | | |
| SE-03 | | |
| Master E | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.22** ลักษณะชิ้นงานรูปแบบ F ด้วยแบบหล่อ ซิลิโคน และชิ้นงานต้นแบบ

| SF | Top View | Section View |
|---|---|---|
| SF-01 | | |
| SF-02 | | |
| SF-03 | | |
| Master F | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

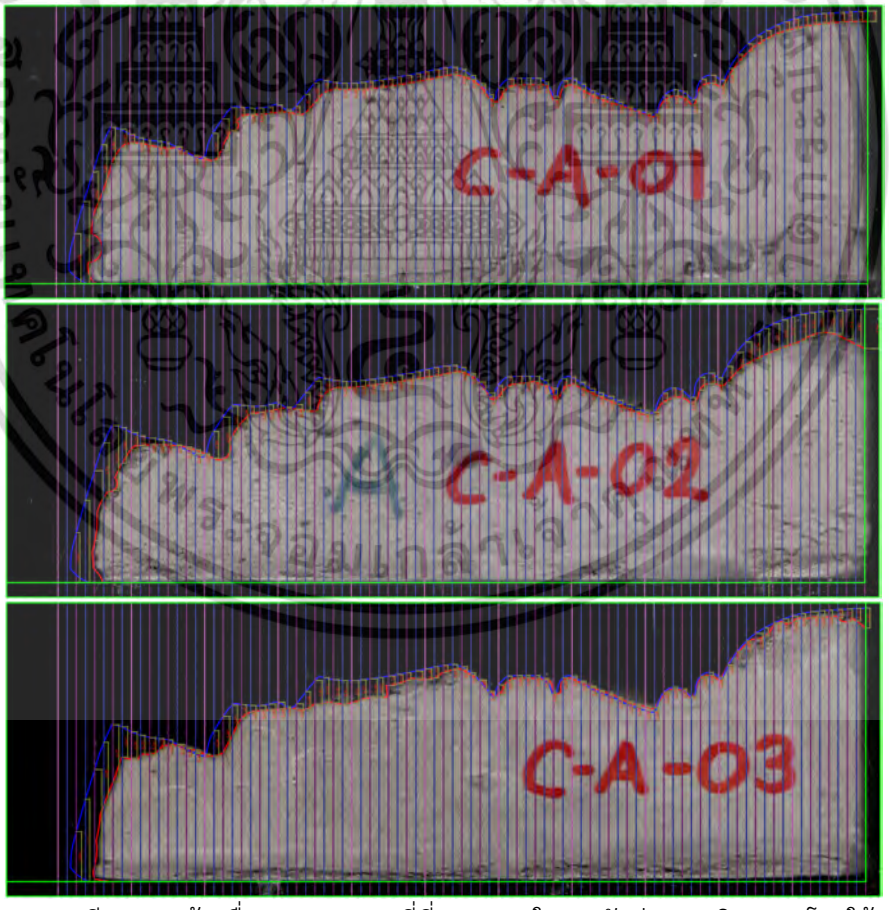
**ตารางที่ 4.23** ลักษณะชิ้นงานรูปแบบ G ด้วยแบบหล่อ ซิลิโคน และชิ้นงานต้นแบบ

| SG | Top View | Section View |
|---|---|---|
| SG-01 | | |
| SG-02 | | |
| SG-03 | | |
| Master G | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.5 ขั้นตอนการวัดค่าและบันทึกผลด้วย Square Error (Section View)

1) นำชิ้นงานทั้งหมด เข้าเครื่องสแกนเนอร์เพื่อให้ได้ภาพตัดขวาง
2) แปลงภาพเข้าโปรแกรมAutoCAD เพื่อวาดลายเส้น
3) นำลายเส้น ของชิ้นงานต้นแบบ เทียบกับชิ้นงานจากแบบหล่อ
4) เขียนเส้นโดยใช้ความถี่ @0.125mm,@0.250mm,@0.500mmและ@1.00mmโดยใช้กลุ่มทดลองชิ้นงานกลุ่ม CA
5) วัดระยะผิดพลาดที่เกิดขึ้น บันทึกลงตาราง เพื่อหาค่าระยะความถี่ของเส้นgridที่เหมาะสมด้วยการคำนวณตามหลักการ Square Error (ผลรวมของค่ายกกำลังสอง)
6) เมื่อได้ค่าระยะความถี่ของgridที่เหมาะสม จึงนำมาใช้วัดระยะ และบันทึกค่าลงตารางทุกกลุ่มทดลอง คือกลุ่มCA,CB,CC,CD,CE,CF,CG,SA,SB,SC,SD,SE,SF และSGทั้งหมด 14 กลุ่ม (42 ชิ้นงาน)
7) นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ ในขั้นตอนการสรุปผล




**รูปที่ 4.6** การเทียบลายเส้นเพื่อหาระยะความถี่ที่เหมาะสมในการวัดค่าระยะผิดพลาดโดยใช้กลุ่มตัวอย่างทดลอง CA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.24** บันทึกผลระยะผิดพลาดกลุ่มทดลอง CA-01 ความถี่ระยะ 0.1 ,0.5 ,0.25และ 0.125

| Grid Line@ | CA01-1.00 | square | CA01-0.50 | square | CA01-0.25 | square | CA01-0.125 | square |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.000 | 0.14 | 0.0196 | 0.14 | 0.0196 | 0.14 | 0.0196 | 0.14 | 0.0196 |
| 0.125 | | | | | | | 0.13 | 0.0169 |
| 0.250 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.13 | 0.0169 | 0.13 | 0.0169 |
| 0.375 | | | | | | | 0.13 | 0.0169 |
| 0.500 | | 0.0000 | 0.13 | 0.0169 | 0.13 | 0.0169 | 0.13 | 0.0169 |
| 0.625 | | | | | | | 0.14 | 0.0196 |
| 0.750 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.14 | 0.0196 | 0.14 | 0.0196 |
| 0.875 | | | | | | | 0.14 | 0.0196 |
| 1.000 | 0.13 | 0.0169 | 0.13 | 0.0169 | 0.13 | 0.0169 | 0.13 | 0.0169 |
| 1.125 | | | | | | | 0.12 | 0.0144 |
| 1.250 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.12 | 0.0144 | 0.12 | 0.0144 |
| 1.375 | | | | | | | 0.11 | 0.0121 |
| 1.500 | | 0.0000 | 0.11 | 0.0121 | 0.11 | 0.0121 | 0.11 | 0.0121 |
| 1.625 | | | | | | | 0.11 | 0.0121 |
| 1.750 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.10 | 0.0100 | 0.10 | 0.0100 |
| 1.875 | | | | | | | 0.08 | 0.0064 |
| 2.000 | 0.09 | 0.0081 | 0.09 | 0.0081 | 0.09 | 0.0081 | 0.09 | 0.0081 |
| 2.125 | | | | | | | 0.11 | 0.0121 |
| 2.250 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.10 | 0.0100 | 0.10 | 0.0100 |
| 2.375 | | | | | | | 0.07 | 0.0049 |
| 2.500 | | 0.0000 | 0.80 | 0.6400 | 0.80 | 0.6400 | 0.08 | 0.0064 |
| 2.625 | | | | | | | 0.08 | 0.0064 |
| 2.750 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.70 | 0.4900 | 0.07 | 0.0049 |
| 2.875 | | | | | | | 0.02 | 0.0004 |
| 3.000 | 0.01 | 0.0001 | 0.01 | 0.0001 | 0.01 | 0.0001 | 0.01 | 0.0001 |
| 3.125 | | | | | | | 0.01 | 0.0001 |
| 3.250 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.01 | 0.0001 | 0.01 | 0.0001 |
| 3.375 | | | | | | | 0.04 | 0.0016 |
| 3.500 | | 0.0000 | 0.06 | 0.0036 | 0.06 | 0.0036 | 0.06 | 0.0036 |
| 3.625 | | | | | | | 0.06 | 0.0036 |
| 3.750 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.06 | 0.0036 | 0.06 | 0.0036 |
| 3.875 | | | | | | | 0.08 | 0.0064 |
| 4.000 | 0.09 | 0.0081 | 0.09 | 0.0081 | 0.09 | 0.0081 | 0.09 | 0.0081 |
| 4.125 | | | | | | | 0.10 | 0.0100 |
| 4.250 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.05 | 0.0025 | 0.05 | 0.0025 |
| 4.375 | | | | | | | 0.04 | 0.0016 |
| 4.500 | | 0.0000 | 0.09 | 0.0081 | 0.09 | 0.0081 | 0.09 | 0.0081 |
| 4.625 | | | | | | | 0.09 | 0.0081 |
| 4.750 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.09 | 0.0081 | 0.09 | 0.0081 |
| 4.875 | | | | | | | 0.12 | 0.0144 |
| 5.000 | 0.18 | 0.0324 | 0.18 | 0.0324 | 0.18 | 0.0324 | 0.18 | 0.0324 |
| 5.125 | | | | | | | 0.06 | 0.0036 |
| 5.250 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.03 | 0.0009 | 0.03 | 0.0009 |
| 5.375 | | | | | | | 0.06 | 0.0036 |
| 5.500 | | 0.0000 | 0.09 | 0.0081 | 0.09 | 0.0081 | 0.09 | 0.0081 |
| 5.625 | | | | | | | 0.10 | 0.0100 |
| 5.750 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.11 | 0.0121 | 0.11 | 0.0121 |
| 5.875 | | | | | | | 0.12 | 0.0144 |
| 6.000 | 0.12 | 0.0144 | 0.12 | 0.0144 | 0.12 | 0.0144 | 0.12 | 0.0144 |
| 6.125 | | | | | | | 0.11 | 0.0121 |
| 6.250 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.11 | 0.0121 | 0.11 | 0.0121 |
| 6.375 | | | | | | | 0.11 | 0.0121 |
| 6.500 | | 0.0000 | 0.10 | 0.0100 | 0.10 | 0.0100 | 0.10 | 0.0100 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.24 (ต่อ)**

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6.625 | | | | | | | 0.10 | 0.0100 |
| 6.750 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.10 | 0.0100 | 0.10 | 0.0100 |
| 6.875 | | | | | | | 0.09 | 0.0081 |
| 7.000 | 0.08 | 0.0064 | 0.08 | 0.0064 | 0.08 | 0.0064 | 0.08 | 0.0064 |
| 7.125 | | | | | | | 0.08 | 0.0064 |
| 7.250 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.10 | 0.0100 | 0.10 | 0.0100 |
| 7.375 | | | | | | | 0.18 | 0.0324 |
| 7.500 | | 0.0000 | 0.26 | 0.0676 | 0.26 | 0.0676 | 0.26 | 0.0676 |
| 7.625 | | | | | | | 0.25 | 0.0625 |
| 7.750 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.10 | 0.0100 | 0.10 | 0.0100 |
| 7.875 | | | | | | | 0.03 | 0.0009 |
| 8.000 | 0.10 | 0.0100 | 0.10 | 0.0100 | 0.10 | 0.0100 | 0.10 | 0.0100 |
| 8.125 | | | | | | | 0.10 | 0.0100 |
| 8.250 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.09 | 0.0081 | 0.09 | 0.0081 |
| 8.375 | | | | | | | 0.09 | 0.0081 |
| 8.500 | | 0.0000 | 0.13 | 0.0169 | 0.13 | 0.0169 | 0.13 | 0.0169 |
| 8.625 | | | | | | | 0.31 | 0.0961 |
| 8.750 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.42 | 0.1764 | 0.42 | 0.1764 |
| 8.875 | | | | | | | 0.37 | 0.1369 |
| 9.000 | 0.02 | 0.0004 | 0.02 | 0.0004 | 0.02 | 0.0004 | 0.02 | 0.0004 |
| 9.125 | | | | | | | 0.01 | 0.0001 |
| 9.250 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.00 | 0.0000 | 0.00 | 0.0000 |
| 9.375 | | | | | | | 0.01 | 0.0001 |
| 9.500 | | 0.0000 | 0.08 | 0.0064 | 0.08 | 0.0064 | 0.08 | 0.0064 |
| 9.625 | | | | | | | 0.07 | 0.0049 |
| 9.750 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.06 | 0.0036 | 0.06 | 0.0036 |
| 9.875 | | | | | | | 0.07 | 0.0049 |
| 10.000 | 0.12 | 0.0144 | 0.12 | 0.0144 | 0.12 | 0.0144 | 0.12 | 0.0144 |
| 10.125 | | | | | | | 0.25 | 0.0625 |
| 10.250 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.49 | 0.2401 | 0.49 | 0.2401 |
| 10.375 | | | | | | | 0.65 | 0.4225 |
| 10.500 | | 0.0000 | 0.62 | 0.3844 | 0.62 | 0.3844 | 0.62 | 0.3844 |
| 10.625 | | | | | | | 1.11 | 1.2321 |
| 10.750 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.68 | 0.4624 | 0.68 | 0.4624 |
| 10.875 | | | | | | | 0.00 | 0.0000 |
| 11.000 | 0.00 | 0.0000 | 0.00 | 0.0000 | 0.00 | 0.0000 | 0.00 | 0.0000 |
| sum | | 0.1308 | | 1.3049 | | 2.8258 | | 4.0490 |
| Sum/num | 0.1308 | | 0.6525 | | 0.7065 | | 0.5061 | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.25** บันทึกผลระยะผิดพลาดกลุ่มทดลอง CA-02 ความถี่ระยะ 0.1 ,0.5 ,0.25และ 0.125

| Grid Line@ | CA02-1.00 | square | CA02-0.50 | square | CA02-0.25 | square | CA02-0.125 | square |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.000 | 0.54 | 0.29 | 0.54 | 0.29 | 0.54 | 0.29 | 0.54 | 0.2916 |
| 0.125 | | | | | | | 0.47 | 0.2209 |
| 0.250 | | 0.00 | | 0.00 | 0.40 | 0.16 | 0.40 | 0.1600 |
| 0.375 | | | | | | | 0.33 | 0.1089 |
| 0.500 | | 0.00 | 0.29 | 0.08 | 0.29 | 0.08 | 0.29 | 0.0841 |
| 0.625 | | | | | | | 0.29 | 0.0841 |
| 0.750 | | 0.00 | | 0.00 | 0.32 | 0.10 | 0.32 | 0.1024 |
| 0.875 | | | | | | | 0.36 | 0.1296 |
| 1.000 | 0.37 | 0.14 | 0.37 | 0.14 | 0.37 | 0.14 | 0.37 | 0.1369 |
| 1.125 | | | | | | | 0.37 | 0.1369 |
| 1.250 | | 0.00 | | 0.00 | 0.37 | 0.14 | 0.37 | 0.1369 |
| 1.375 | | | | | | | 0.38 | 0.1444 |
| 1.500 | | 0.00 | 0.34 | 0.12 | 0.34 | 0.12 | 0.34 | 0.1156 |
| 1.625 | | | | | | | 0.31 | 0.0961 |
| 1.750 | | 0.00 | | 0.00 | 0.27 | 0.07 | 0.27 | 0.0729 |
| 1.875 | | | | | | | 0.21 | 0.0441 |
| 2.000 | 0.09 | 0.01 | 0.09 | 0.01 | 0.09 | 0.01 | 0.09 | 0.0081 |
| 2.125 | | | | | | | 0.14 | 0.0196 |
| 2.250 | | 0.00 | | 0.00 | 0.18 | 0.03 | 0.18 | 0.0324 |
| 2.375 | | | | | | | 0.07 | 0.0049 |
| 2.500 | | 0.00 | 0.10 | 0.01 | 0.10 | 0.01 | 0.10 | 0.0100 |
| 2.625 | | | | | | | 0.13 | 0.0169 |
| 2.750 | | 0.00 | | 0.00 | 0.12 | 0.01 | 0.12 | 0.0144 |
| 2.875 | | | | | | | 0.00 | 0.0000 |
| 3.000 | 0.04 | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 0.04 | 0.0016 |
| 3.125 | | | | | | | 0.05 | 0.0025 |
| 3.250 | | 0.00 | | 0.00 | 0.05 | 0.00 | 0.05 | 0.0025 |
| 3.375 | | | | | | | 0.05 | 0.0025 |
| 3.500 | | 0.00 | 0.05 | 0.00 | 0.05 | 0.00 | 0.05 | 0.0025 |
| 3.625 | | | | | | | 0.05 | 0.0025 |
| 3.750 | | 0.00 | | 0.00 | 0.05 | 0.00 | 0.05 | 0.0025 |
| 3.875 | | | | | | | 0.07 | 0.0049 |
| 4.000 | 0.11 | 0.01 | 0.11 | 0.01 | 0.11 | 0.01 | 0.11 | 0.0121 |
| 4.125 | | | | | | | 0.18 | 0.0324 |
| 4.250 | | 0.00 | | 0.00 | 0.08 | 0.01 | 0.08 | 0.0064 |
| 4.375 | | | | | | | 0.06 | 0.0036 |
| 4.500 | | 0.00 | 0.07 | 0.00 | 0.07 | 0.00 | 0.07 | 0.0049 |
| 4.625 | | | | | | | 0.09 | 0.0081 |
| 4.750 | | 0.00 | | 0.00 | 0.11 | 0.01 | 0.11 | 0.0121 |
| 4.875 | | | | | | | 0.13 | 0.0169 |
| 5.000 | 0.15 | 0.02 | 0.15 | 0.02 | 0.15 | 0.02 | 0.15 | 0.0225 |
| 5.125 | | | | | | | 0.05 | 0.0025 |
| 5.250 | | 0.00 | | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.0001 |
| 5.375 | | | | | | | 0.03 | 0.0009 |
| 5.500 | | 0.00 | 0.06 | 0.00 | 0.06 | 0.00 | 0.06 | 0.0036 |
| 5.625 | | | | | | | 0.10 | 0.0100 |
| 5.750 | | 0.00 | | 0.00 | 0.11 | 0.01 | 0.11 | 0.0121 |
| 5.875 | | | | | | | 0.11 | 0.0121 |
| 6.000 | 0.11 | 0.01 | 0.11 | 0.01 | 0.11 | 0.01 | 0.11 | 0.0121 |
| 6.125 | | | | | | | 0.10 | 0.0100 |
| 6.250 | | 0.00 | | 0.00 | 0.09 | 0.01 | 0.09 | 0.0081 |
| 6.375 | | | | | | | 0.09 | 0.0081 |
| 6.500 | | 0.00 | 0.08 | 0.01 | 0.08 | 0.01 | 0.08 | 0.0064 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.25 (ต่อ)**

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6.625 | | | | | | | 0.08 | 0.0064 |
| 6.750 | | 0.00 | | 0.00 | 0.08 | 0.01 | 0.08 | 0.0064 |
| 6.875 | | | | | | | 0.08 | 0.0064 |
| 7.000 | 0.08 | 0.01 | 0.08 | 0.01 | 0.08 | 0.01 | 0.08 | 0.0064 |
| 7.125 | | | | | | | 0.09 | 0.0081 |
| 7.250 | | 0.00 | | 0.00 | 0.11 | 0.01 | 0.11 | 0.0121 |
| 7.375 | | | | | | | 0.22 | 0.0484 |
| 7.500 | | 0.00 | 0.41 | 0.17 | 0.41 | 0.17 | 0.41 | 0.1681 |
| 7.625 | | | | | | | 0.24 | 0.0576 |
| 7.750 | | 0.00 | | 0.00 | 0.06 | 0.00 | 0.06 | 0.0036 |
| 7.875 | | | | | | | 0.01 | 0.0001 |
| 8.000 | 0.08 | 0.01 | 0.08 | 0.01 | 0.08 | 0.01 | 0.08 | 0.0064 |
| 8.125 | | | | | | | 0.08 | 0.0064 |
| 8.250 | | 0.00 | | 0.00 | 0.08 | 0.01 | 0.08 | 0.0064 |
| 8.375 | | | | | | | 0.10 | 0.0100 |
| 8.500 | | 0.00 | 0.24 | 0.06 | 0.24 | 0.06 | 0.24 | 0.0576 |
| 8.625 | | | | | | | 0.41 | 0.1681 |
| 8.750 | | 0.00 | | 0.00 | 0.56 | 0.31 | 0.56 | 0.3136 |
| 8.875 | | | | | | | 0.35 | 0.1225 |
| 9.000 | 0.02 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.02 | 0.0004 |
| 9.125 | | | | | | | 0.06 | 0.0036 |
| 9.250 | | 0.00 | | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 0.03 | 0.0009 |
| 9.375 | | | | | | | 0.01 | 0.0001 |
| 9.500 | | 0.00 | 0.06 | 0.00 | 0.06 | 0.00 | 0.06 | 0.0036 |
| 9.625 | | | | | | | 0.07 | 0.0049 |
| 9.750 | | 0.00 | | 0.00 | 0.09 | 0.01 | 0.09 | 0.0081 |
| 9.875 | | | | | | | 0.13 | 0.0169 |
| 10.000 | 0.23 | 0.05 | 0.23 | 0.05 | 0.23 | 0.05 | 0.23 | 0.0529 |
| 10.125 | | | | | | | 0.48 | 0.2304 |
| 10.250 | | 0.00 | | 0.00 | 0.87 | 0.76 | 0.87 | 0.7569 |
| 10.375 | | | | | | | 0.73 | 0.5329 |
| 10.500 | | 0.00 | 0.94 | 0.88 | 0.94 | 0.88 | 0.95 | 0.9025 |
| 10.625 | | | | | | | 1.11 | 1.2321 |
| 10.750 | | 0.00 | | 0.00 | 0.68 | 0.46 | 0.68 | 0.4624 |
| 10.875 | | | | | | | 0.00 | 0.0000 |
| 11.000 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.0000 |
| sum | | 0.55 | | 1.89 | | 4.02 | | 7.621 |
| Sum/num | 0.5510 | | 0.9455 | | 1.0061 | | 0.9527 | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.26** บันทึกผลระยะผิดพลาดกลุ่มทดลอง CA-03 ความถี่ระยะ 0.1 ,0.5 ,0.25และ 0.125

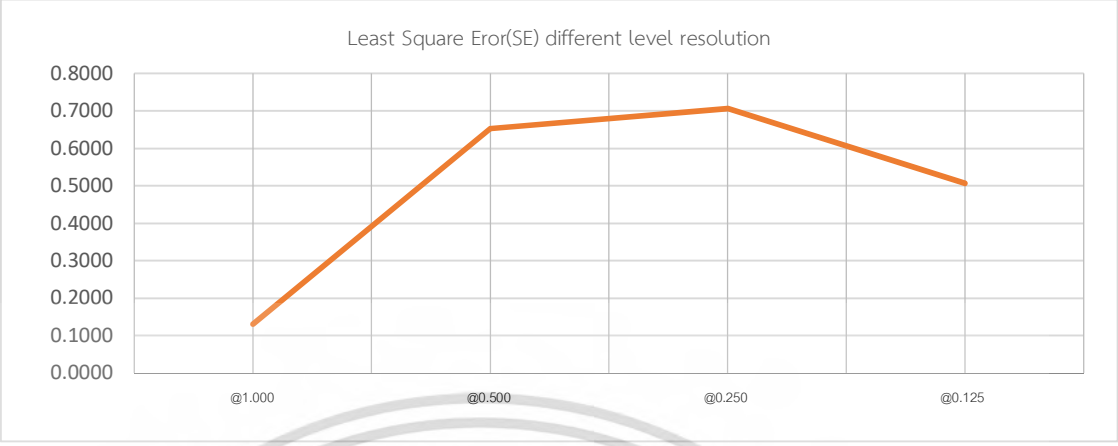
| Grid Line@ | CA03-1.00 | square | CA03-0.50 | square | CA03-0.25 | square | CA03-0.125 | square |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.000 | 0.27 | 0.0729 | 0.27 | 0.0729 | 0.27 | 0.0729 | 0.27 | 0.0729 |
| 0.125 | | | | | | | 0.17 | 0.0289 |
| 0.250 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.17 | 0.0289 | 0.17 | 0.0289 |
| 0.375 | | | | | | | 0.12 | 0.0144 |
| 0.500 | | 0.0000 | 0.09 | 0.0081 | 0.09 | 0.0081 | 0.09 | 0.0081 |
| 0.625 | | | | | | | 0.09 | 0.0081 |
| 0.750 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.08 | 0.0064 | 0.08 | 0.0064 |
| 0.875 | | | | | | | 0.06 | 0.0036 |
| 1.000 | 0.09 | 0.0081 | 0.09 | 0.0081 | 0.09 | 0.0081 | 0.09 | 0.0081 |
| 1.125 | | | | | | | 0.05 | 0.0025 |
| 1.250 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.02 | 0.0004 | 0.02 | 0.0004 |
| 1.375 | | | | | | | 0.11 | 0.0121 |
| 1.500 | | 0.0000 | 0.08 | 0.0064 | 0.08 | 0.0064 | 0.08 | 0.0064 |
| 1.625 | | | | | | | 0.04 | 0.0016 |
| 1.750 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.01 | 0.0001 | 0.01 | 0.0001 |
| 1.875 | | | | | | | 0.01 | 0.0001 |
| 2.000 | 0.04 | 0.0016 | 0.04 | 0.0016 | 0.04 | 0.0016 | 0.04 | 0.0016 |
| 2.125 | | | | | | | 0.04 | 0.0016 |
| 2.250 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.03 | 0.0009 | 0.03 | 0.0009 |
| 2.375 | | | | | | | 0.00 | 0.0000 |
| 2.500 | | 0.0000 | 0.01 | 0.0001 | 0.01 | 0.0001 | 0.01 | 0.0001 |
| 2.625 | | | | | | | 0.03 | 0.0009 |
| 2.750 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.02 | 0.0004 | 0.02 | 0.0004 |
| 2.875 | | | | | | | 0.05 | 0.0025 |
| 3.000 | 0.06 | 0.0036 | 0.06 | 0.0036 | 0.06 | 0.0036 | 0.06 | 0.0036 |
| 3.125 | | | | | | | 0.04 | 0.0016 |
| 3.250 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.03 | 0.0009 | 0.03 | 0.0009 |
| 3.375 | | | | | | | 0.03 | 0.0009 |
| 3.500 | | 0.0000 | 0.03 | 0.0009 | 0.03 | 0.0009 | 0.03 | 0.0009 |
| 3.625 | | | | | | | 0.02 | 0.0004 |
| 3.750 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.02 | 0.0004 | 0.02 | 0.0004 |
| 3.875 | | | | | | | 0.02 | 0.0004 |
| 4.000 | 0.03 | 0.0009 | 0.03 | 0.0009 | 0.03 | 0.0009 | 0.03 | 0.0009 |
| 4.125 | | | | | | | 0.04 | 0.0016 |
| 4.250 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.02 | 0.0004 | 0.02 | 0.0004 |
| 4.375 | | | | | | | 0.01 | 0.0001 |
| 4.500 | | 0.0000 | 0.04 | 0.0016 | 0.04 | 0.0016 | 0.04 | 0.0016 |
| 4.625 | | | | | | | 0.04 | 0.0016 |
| 4.750 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.04 | 0.0016 | 0.04 | 0.0016 |
| 4.875 | | | | | | | 0.07 | 0.0049 |
| 5.000 | 0.13 | 0.0169 | 0.13 | 0.0169 | 0.13 | 0.0169 | 0.13 | 0.0169 |
| 5.125 | | | | | | | 0.01 | 0.0001 |
| 5.250 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.02 | 0.0004 | 0.02 | 0.0004 |
| 5.375 | | | | | | | 0.03 | 0.0009 |
| 5.500 | | 0.0000 | 0.04 | 0.0016 | 0.04 | 0.0016 | 0.04 | 0.0016 |
| 5.625 | | | | | | | 0.07 | 0.0049 |
| 5.750 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.10 | 0.0100 | 0.10 | 0.0100 |
| 5.875 | | | | | | | 0.15 | 0.0225 |
| 6.000 | 0.14 | 0.0196 | 0.14 | 0.0196 | 0.14 | 0.0196 | 0.14 | 0.0196 |
| 6.125 | | | | | | | 0.10 | 0.0100 |
| 6.250 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.10 | 0.0100 | 0.10 | 0.0100 |
| 6.375 | | | | | | | 0.12 | 0.0144 |
| 6.500 | | 0.0000 | 0.13 | 0.0169 | 0.13 | 0.0169 | 0.13 | 0.0169 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

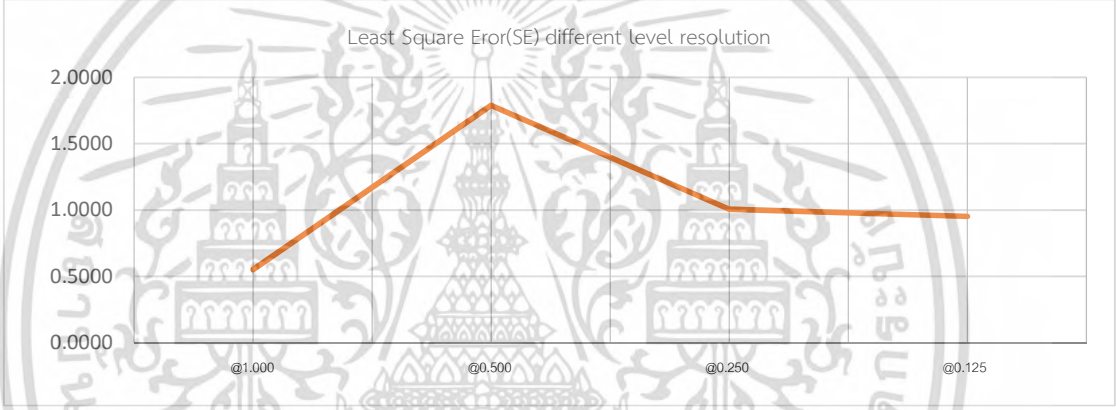
**ตารางที่ 4.26 (ต่อ)**

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6.625 | | | | | | | 0.27 | 0.0729 |
| 6.750 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.26 | 0.0676 | 0.26 | 0.0676 |
| 6.875 | | | | | | | 0.27 | 0.0729 |
| 7.000 | 0.30 | 0.0900 | 0.30 | 0.0900 | 0.30 | 0.0900 | 0.30 | 0.0900 |
| 7.125 | | | | | | | 0.32 | 0.1024 |
| 7.250 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.32 | 0.1024 | 0.32 | 0.1024 |
| 7.375 | | | | | | | 0.35 | 0.1225 |
| 7.500 | | 0.0000 | 0.32 | 0.1024 | 0.32 | 0.1024 | 0.32 | 0.1024 |
| 7.625 | | | | | | | 0.24 | 0.0576 |
| 7.750 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.07 | 0.0049 | 0.07 | 0.0049 |
| 7.875 | | | | | | | 0.02 | 0.0004 |
| 8.000 | 0.09 | 0.0081 | 0.09 | 0.0081 | 0.09 | 0.0081 | 0.09 | 0.0081 |
| 8.125 | | | | | | | 0.08 | 0.0064 |
| 8.250 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.07 | 0.0049 | 0.07 | 0.0049 |
| 8.375 | | | | | | | 0.09 | 0.0081 |
| 8.500 | | 0.0000 | 0.18 | 0.0324 | 0.18 | 0.0324 | 0.18 | 0.0324 |
| 8.625 | | | | | | | 0.41 | 0.1681 |
| 8.750 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.48 | 0.2304 | 0.48 | 0.2304 |
| 8.875 | | | | | | | 0.34 | 0.1156 |
| 9.000 | 0.00 | 0.0000 | 0.00 | 0.0000 | 0.00 | 0.0000 | 0.00 | 0.0000 |
| 9.125 | | | | | | | 0.05 | 0.0025 |
| 9.250 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.01 | 0.0001 | 0.01 | 0.0001 |
| 9.375 | | | | | | | 0.02 | 0.0004 |
| 9.500 | | 0.0000 | 0.07 | 0.0049 | 0.07 | 0.0049 | 0.07 | 0.0049 |
| 9.625 | | | | | | | 0.15 | 0.0225 |
| 9.750 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.23 | 0.0529 | 0.23 | 0.0529 |
| 9.875 | | | | | | | 0.27 | 0.0729 |
| 10.000 | 0.37 | 0.1369 | 0.37 | 0.1369 | 0.37 | 0.1369 | 0.37 | 0.1369 |
| 10.125 | | | | | | | 0.41 | 0.1681 |
| 10.250 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.77 | 0.5929 | 0.77 | 0.5929 |
| 10.375 | | | | | | | 0.85 | 0.7225 |
| 10.500 | | 0.0000 | 1.31 | 1.7161 | 1.31 | 1.7161 | 1.31 | 1.7161 |
| 10.625 | | | | | | | 1.11 | 1.2321 |
| 10.750 | | 0.0000 | | 0.0000 | 0.68 | 0.4624 | 0.68 | 0.4624 |
| 10.875 | | | | | | | 0.00 | 0.0000 |
| 11.000 | 0.00 | 0.0000 | 0.00 | 0.0000 | 0.00 | 0.0000 | 0.00 | 0.0000 |
| sum | | 0.3586 | | 2.2500 | | 3.8293 | | 6.9178 |
| Sum/num | 0.3586 | | 1.1250 | | 0.9573 | | 0.8647 | |

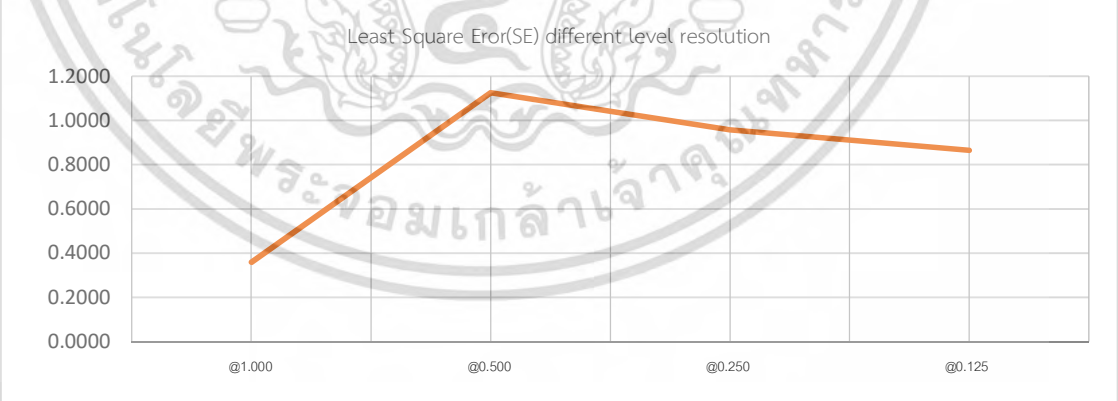
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4.7** กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าผลรวม SE และค่าระยะความถี่ กลุ่มทดลอง CA-01




**รูปที่ 4.8** กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าผลรวม SE และค่าระยะความถี่ กลุ่มทดลอง CA-02

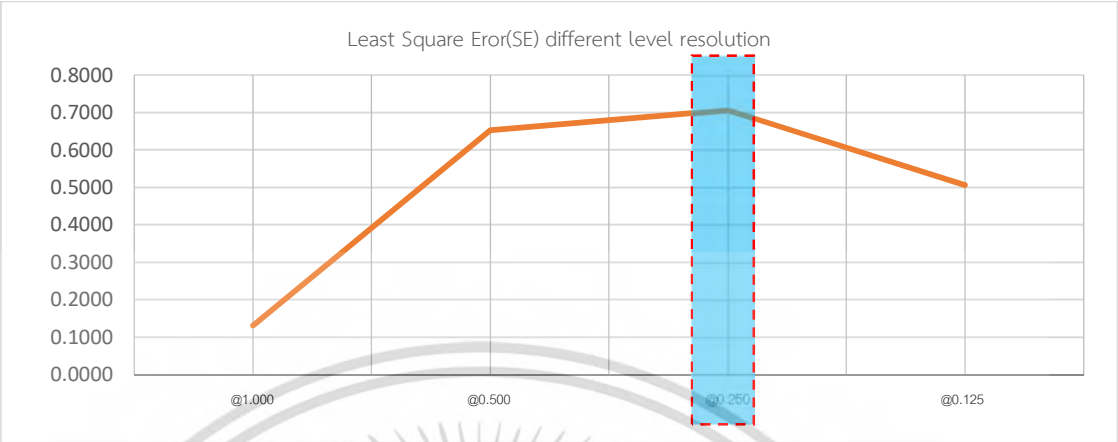



**รูปที่ 4.9** กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าผลรวม SE และค่าระยะความถี่ กลุ่มทดลอง CA-03

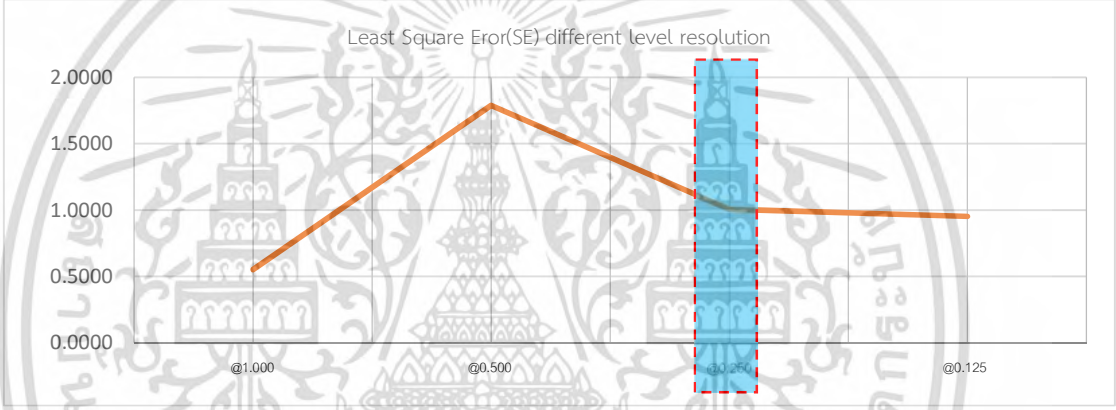
ขั้นตอนการหาค่า Square Error โดยใช้กลุ่มทดลอง จากแบบหล่อซีเมนต์ รูปแบบลวดลาย ประเภท A จากกราฟทั้ง 3 แสดงให้เห็นว่า ที่ระยะความถี่ @0.25 mm จะได้เส้นกราฟที่เริ่มคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

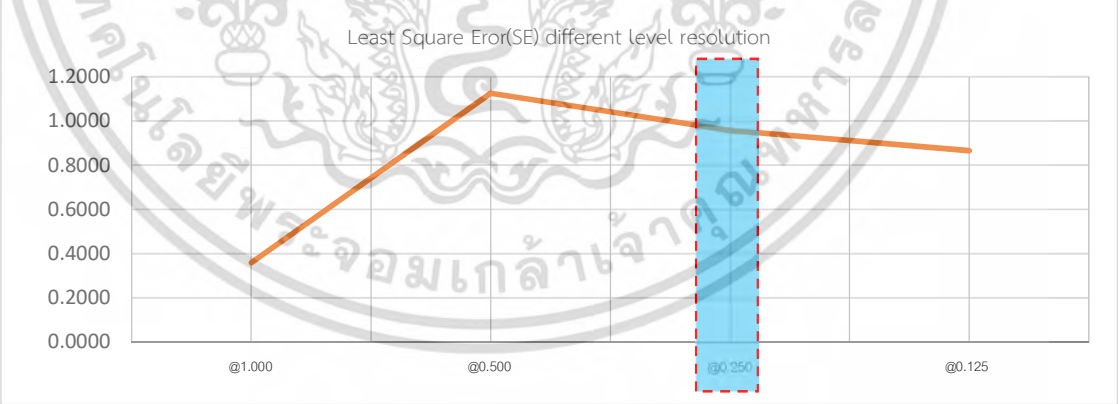
กลุ่มทดลอง CA-01




กลุ่มทดลอง CA-02




กลุ่มทดลอง CA-03



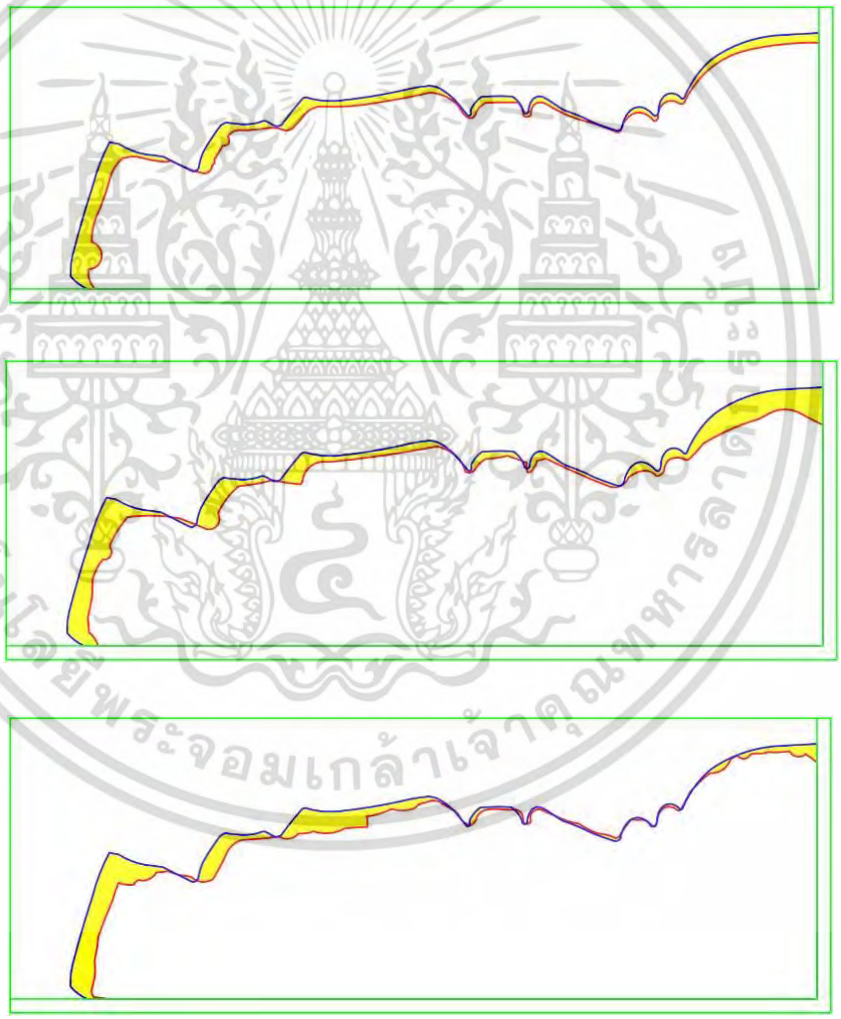

**รูปที่ 4.10** กราฟเปรียบเทียบทั้ง 3 กลุ่มทดลองที่ระยะความถี่ @0.25 mm

จากการทดสอบหาระยะความถี่ที่เหมาะสม ได้ระยะความถี่ @0.25mm เป็นระยะความถี่ในการวัดระยะความผิดพลาดสำหรับทุกกลุ่มการทดลอง ในขั้นตอนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.6 ขั้นตอนการวัดค่าและบันทึกผลด้วย ผลต่างของพื้นที่ (Section View)

1) นำชิ้นงานทั้งหมด เข้าเครื่องสแกนเนอร์เพื่อให้ได้ภาพตัดขวาง
2) แปลงภาพเข้าโปรแกรม AutoCAD เพื่อวาดลายเส้น
3) นำลายเส้น ของชิ้นงานต้นแบบ เทียบกับชิ้นงานจากแบบหล่อ
4) ใช้โปรแกรม AutoCAD Hatch คำนวณค่าพื้นที่ที่แตกต่าง และบันทึกค่าลงตาราง ทุกกลุ่มทดลอง คือกลุ่ม CA,CB,CC,CD,CE,CF,CG,SA,SB,SC,SD,SE,SF และSG ทั้งหมด 14 กลุ่ม (42 ชิ้นงาน)
5) นำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ ในขั้นตอนการสรุปผล



**รูปที่ 4.11** ตัวอย่างการบันทึกผลต่างของพื้นที่ชิ้นงาน โดยเทียบจากลายเส้นชิ้นงานตั้งต้น และชิ้นงานหล่อ (ภาพตัวอย่างจากกลุ่มการทดลอง CA แบบหล่อซีเมนต์ รูปแบบลวดลายประเภท A)

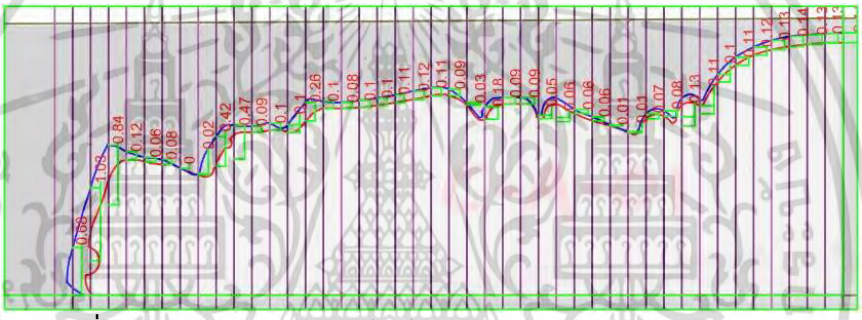
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# วิเคราะห์ผล

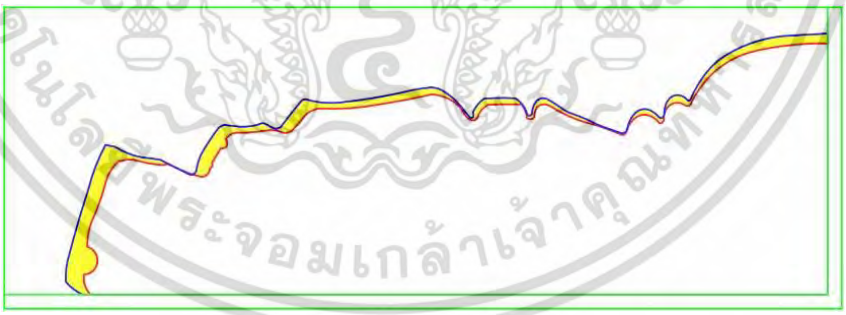
การวิเคราะห์ข้อมูลจากผลการวัดระยะผิดพลาดและพื้นที่ ใช้ข้อมูลจาก 2 ขั้นตอนคือ

1. ขั้นตอนการวัดค่าและบันทึกผลด้วย Square Error (Section View) ใช้ค่าผลรวมระยะผิดพลาดจากชิ้นงานที่หล่อซ้ำ 3 ครั้งบันทึกค่าผลรวมในแต่ละกลุ่มการทกลอง แวนำมาบันทึกลงตารางโดยเรียงลำดับค่าน้อยไปหามาหเพื่อวิเคราะห์หากลุ่มที่มีความเสียหายน้อยที่สุดไปหามากที่สุด

2. ขั้นตอนการวัดค่าและบันทึกผลด้วย ผลต่างของพื้นที่ (Section View) ใช้ค่าผลรวมผลต่างของพื้นที่จากชิ้นงานที่หล่อซ้ำ 3 ครั้งบันทึกค่าผลรวมในแต่ละกลุ่มการทกลอง แล้วนำมาบันทึกลงตารางโดยเรียงลำดับค่าน้อยไปหามาหเพื่อวิเคราะห์หากลุ่มที่มีความเสียหายน้อยที่สุดไปหามากที่สุด



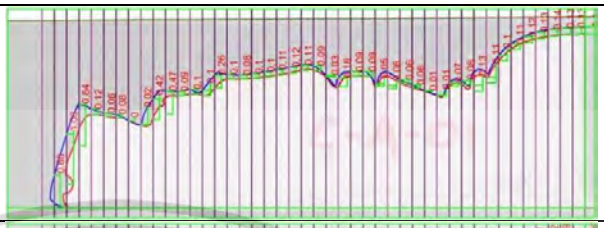
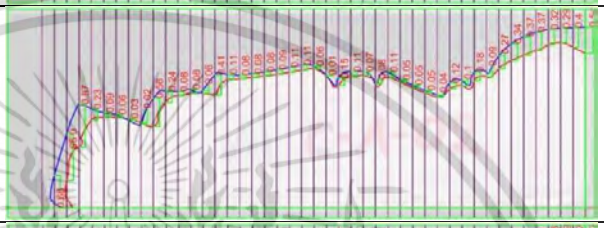
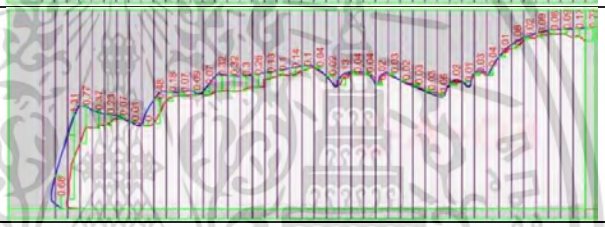
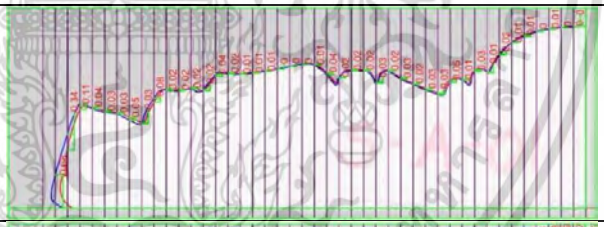
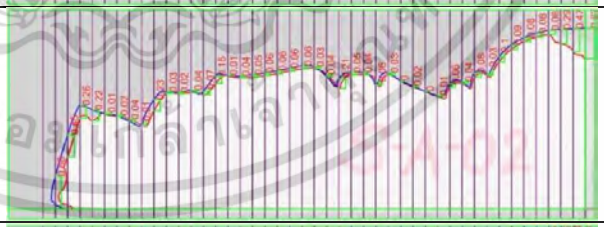
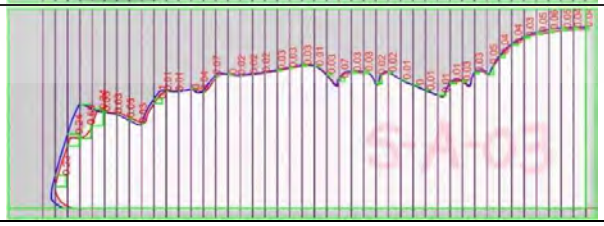
**รูปที่ 5.1** ตัวอย่างการวิเคราะห์ค่าด้วยวิธี Square Error (Section View)



**รูปที่ 5.2** ตัวอย่างการวิเคราะห์ค่าด้วยวิธี Area Error (Section View)

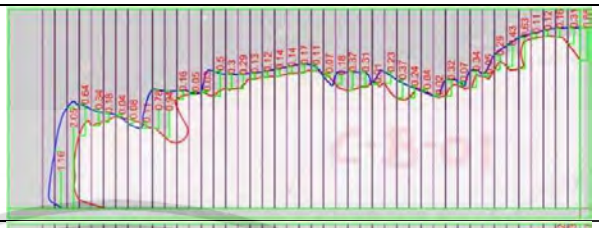
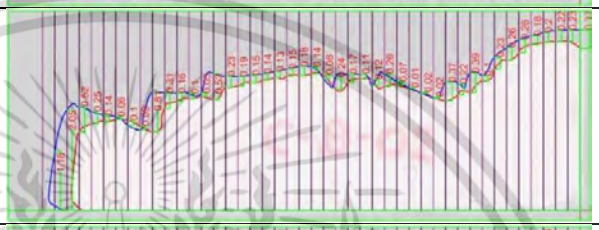
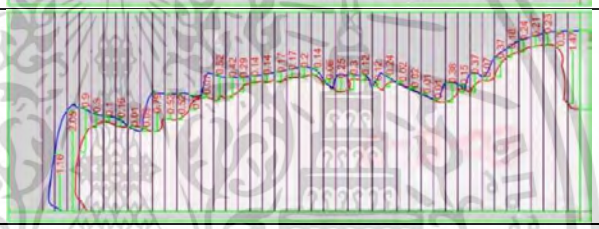
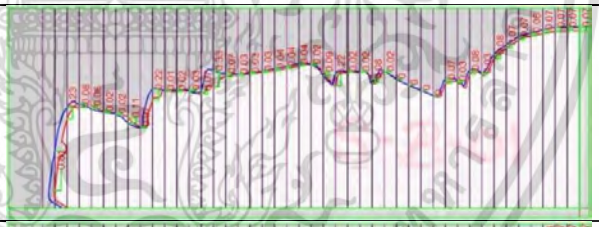
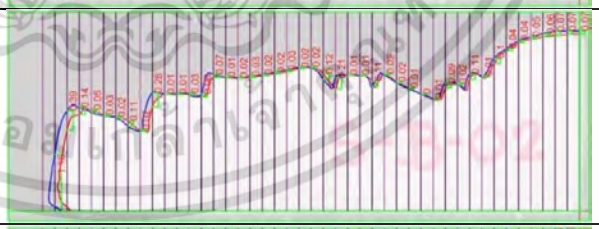
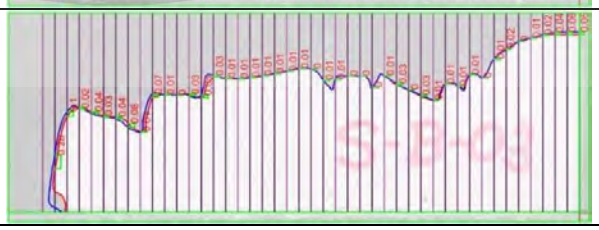
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.1** การเปรียบเทียบลายเส้นเพื่อวัดระยะที่ผิดพลาด ของกลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ A จากแบบหล่อซีเมนต์และซิลิโคน

| **กลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ A ด้วยแบบหล่อซีเมนต์** | **รูปตัดทางขวาง ลายเส้นเปรียบเทียบ ระหว่าง ชิ้นงานจากการหล่อและชิ้นงานตั้งต้น** |
|---|---|
| CA-01 |  |
| CA-02 |  |
| CA-03 |  |
| **กลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ A ด้วยแบบหล่อซิลิโคน** | **รูปตัดทางขวาง ลายเส้นเปรียบเทียบ ระหว่าง ชิ้นงานจากการหล่อและชิ้นงานตั้งต้น** |
| SA-01 |  |
| SA-02 |  |
| SA-03 |  |

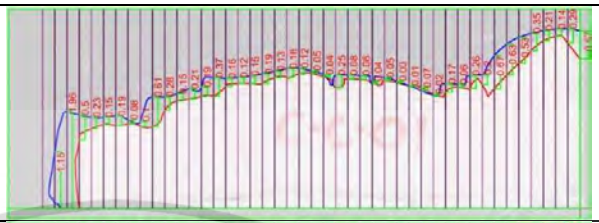
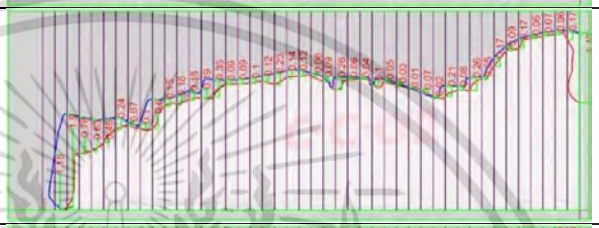
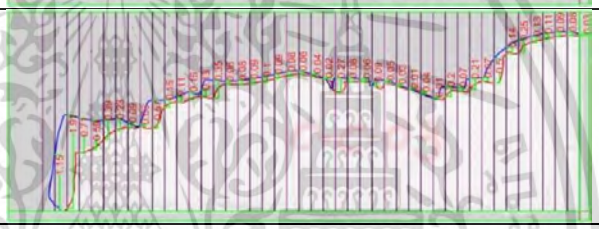
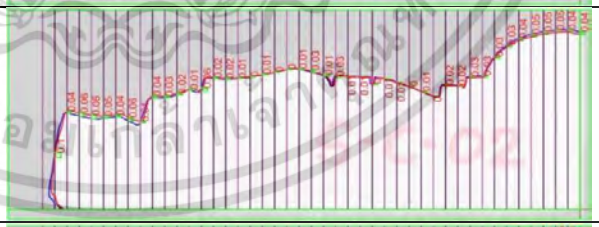
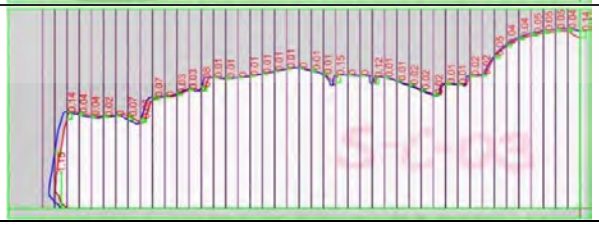
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.2** การเปรียบเทียบลายเส้นเพื่อวัดระยะที่ผิดพลาด ของกลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ B จากแบบหล่อซีเมนต์และซิลิโคน

| **กลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ A ด้วยแบบหล่อซีเมนต์** | **รูปตัดทางขวาง ลายเส้นเปรียบเทียบ ระหว่าง ชิ้นงานจากการหล่อและชิ้นงานตั้งต้น** |
|---|---|
| CB-01 |  |
| CB-02 |  |
| CB-03 |  |
| **กลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ B ด้วยแบบหล่อซิลิโคน** | **รูปตัดทางขวาง ลายเส้นเปรียบเทียบ ระหว่าง ชิ้นงานจากการหล่อและชิ้นงานตั้งต้น** |
| SB-01 |  |
| SB-02 |  |
| SB-03 |  |

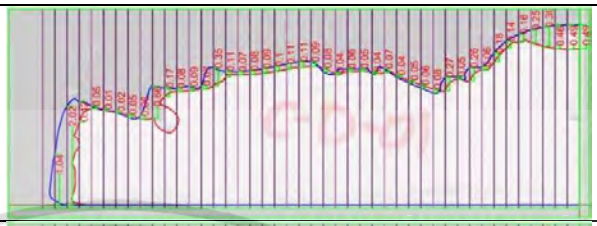
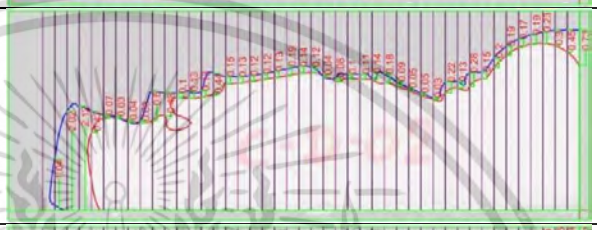
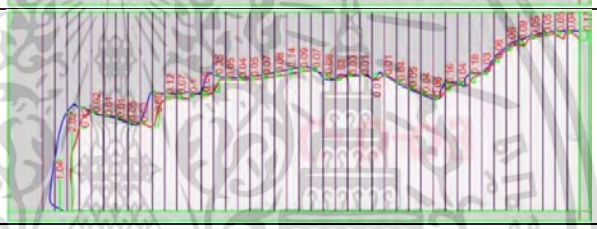
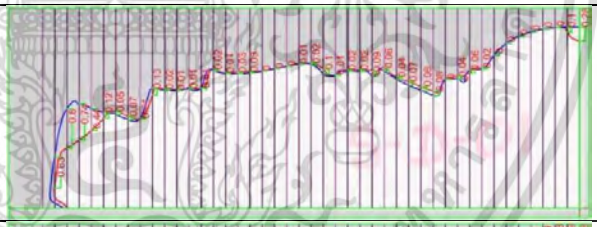
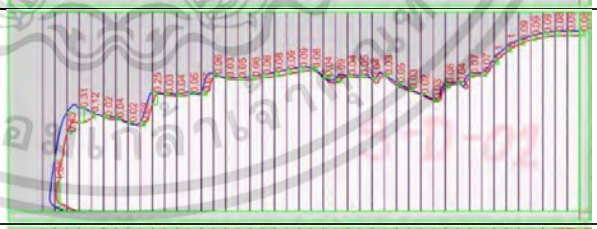
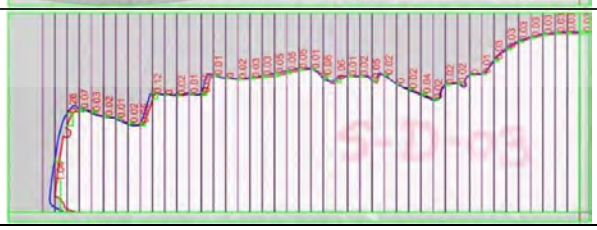
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.3** การเปรียบเทียบลายเส้นเพื่อวัดระยะที่ผิดพลาด ของกลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ C จากแบบหล่อซีเมนต์และซิลิโคน

| **กลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ C ด้วยแบบหล่อซีเมนต์** | **รูปตัดทางขวาง ลายเส้นเปรียบเทียบ ระหว่าง ชิ้นงานจากการหล่อและชิ้นงานตั้งต้น** |
|---|---|
| CC-01 |  |
| CC-02 |  |
| CC-03 |  |
| **กลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ C ด้วยแบบหล่อซิลิโคน** | **รูปตัดทางขวาง ลายเส้นเปรียบเทียบ ระหว่าง ชิ้นงานจากการหล่อและชิ้นงานตั้งต้น** |
| SC-01 | |
| SC-02 |  |
| SC-03 |  |

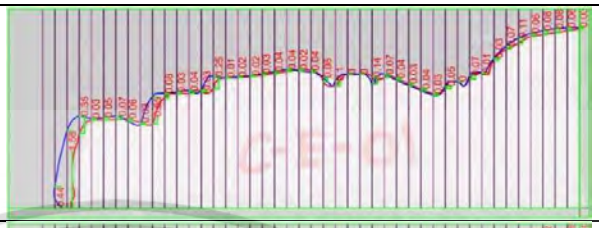
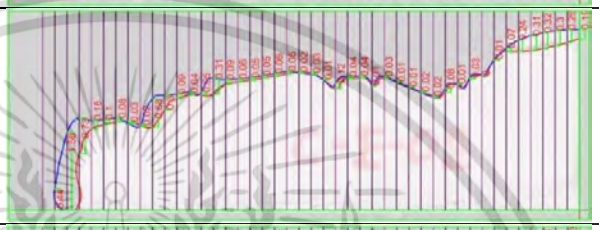
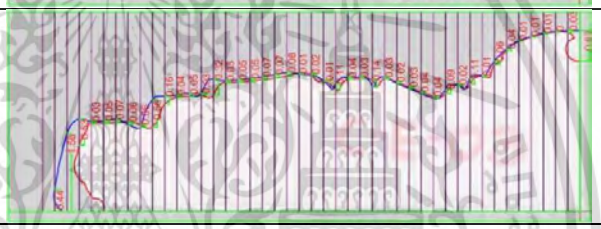
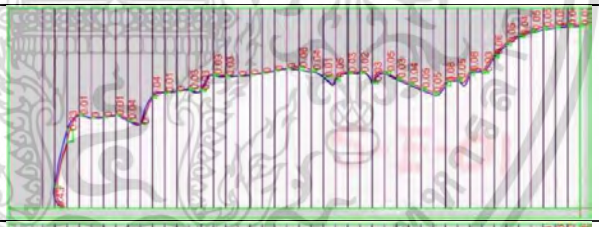
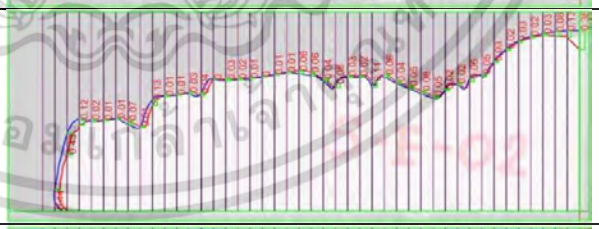
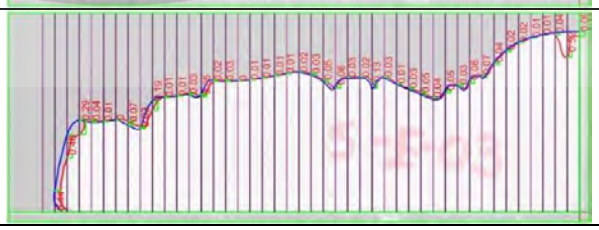
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.4** การเปรียบเทียบลายเส้นเพื่อวัดระยะที่ผิดพลาด ของกลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ D จากแบบหล่อซีเมนต์และซิลิโคน

| **กลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ C ด้วยแบบหล่อซีเมนต์** | **รูปตัดทางขวาง ลายเส้นเปรียบเทียบ ระหว่าง ชิ้นงานจากการหล่อและชิ้นงานตั้งต้น** |
|---|---|
| CD-01 |  |
| CD-02 |  |
| CD-03 |  |
| **กลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ C ด้วยแบบหล่อซิลิโคน** | **รูปตัดทางขวาง ลายเส้นเปรียบเทียบ ระหว่าง ชิ้นงานจากการหล่อและชิ้นงานตั้งต้น** |
| SD-01 |  |
| SD-02 |  |
| SD-03 |  |

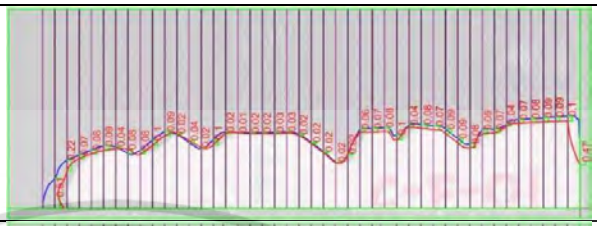
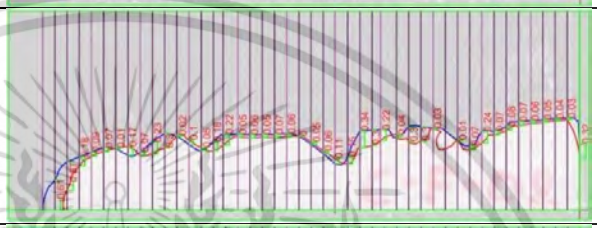
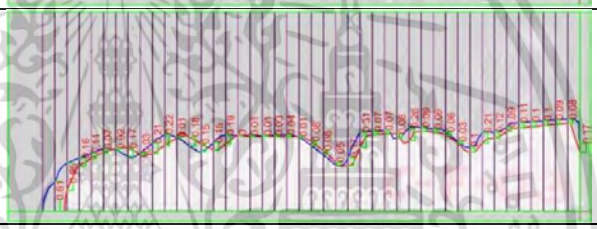
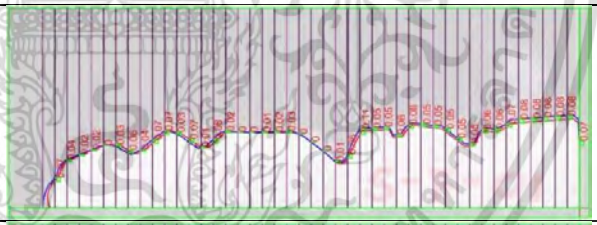
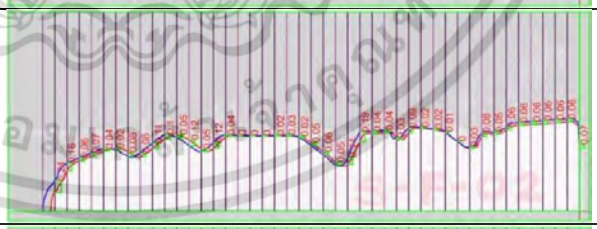
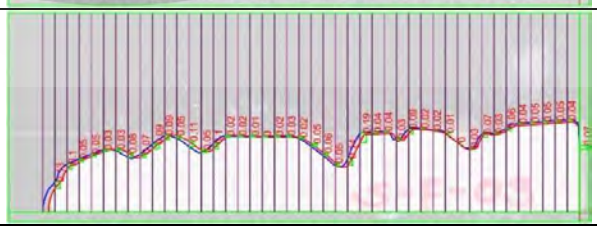
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.5** การเปรียบเทียบลายเส้นเพื่อวัดระยะที่ผิดพลาด ของกลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ E จากแบบหล่อซีเมนต์และซิลิโคน

| **กลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ E ด้วยแบบหล่อซีเมนต์** | **รูปตัดทางขวาง ลายเส้นเปรียบเทียบ ระหว่าง ชิ้นงานจากการหล่อและชิ้นงานตั้งต้น** |
|---|---|
| CE-01 |  |
| CE-02 |  |
| CE-03 |  |
| **กลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ E ด้วยแบบหล่อซิลิโคน** | **รูปตัดทางขวาง ลายเส้นเปรียบเทียบ ระหว่าง ชิ้นงานจากการหล่อและชิ้นงานตั้งต้น** |
| SE-01 |  |
| SE-02 |  |
| SE-03 |  |

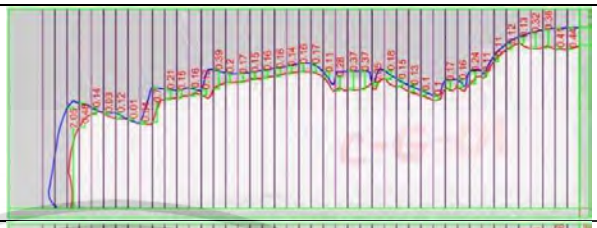
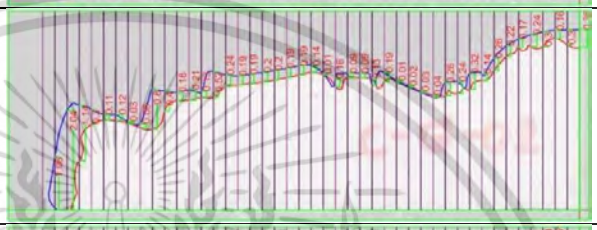
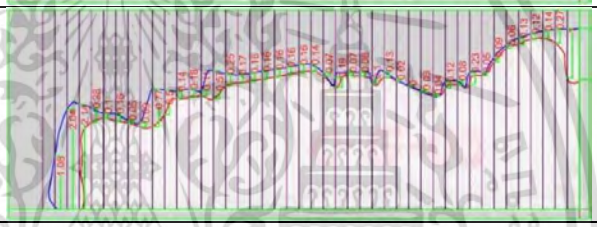
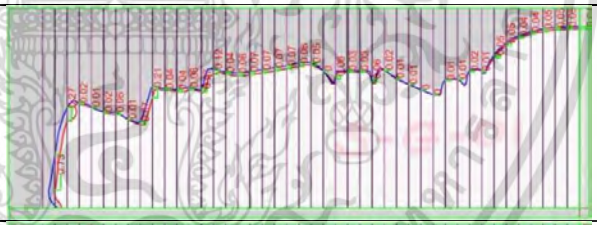
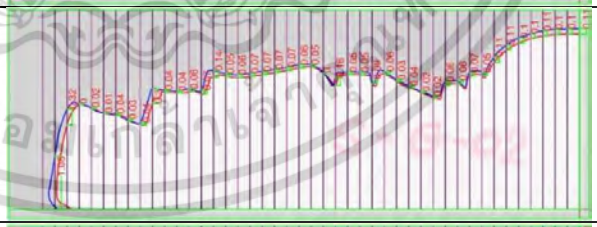
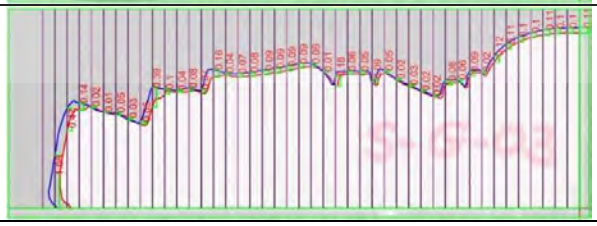
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.6** การเปรียบเทียบลายเส้นเพื่อวัดระยะที่ผิดพลาด ของกลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ F จากแบบหล่อซีเมนต์และซิลิโคน

| **กลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ F ด้วยแบบหล่อซีเมนต์** | **รูปตัดทางขวาง ลายเส้นเปรียบเทียบ ระหว่าง ชิ้นงานจากการหล่อและชิ้นงานตั้งต้น** |
|---|---|
| CF-01 |  |
| CF-02 |  |
| CF-03 |  |
| **กลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ F ด้วยแบบหล่อซิลิโคน** | **รูปตัดทางขวาง ลายเส้นเปรียบเทียบ ระหว่าง ชิ้นงานจากการหล่อและชิ้นงานตั้งต้น** |
| SF-01 |  |
| SF-02 |  |
| SF-03 |  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

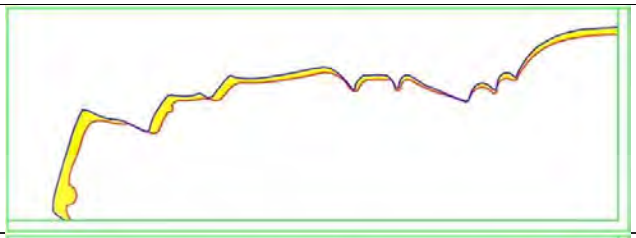
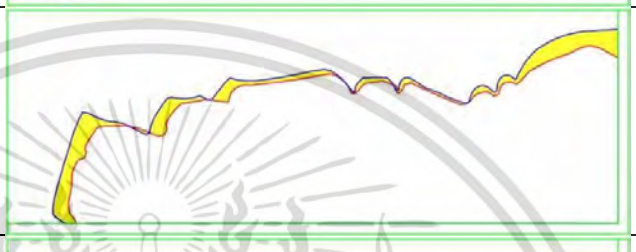
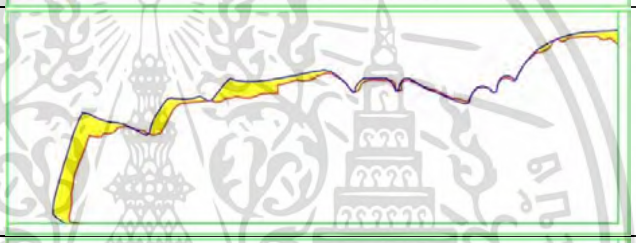
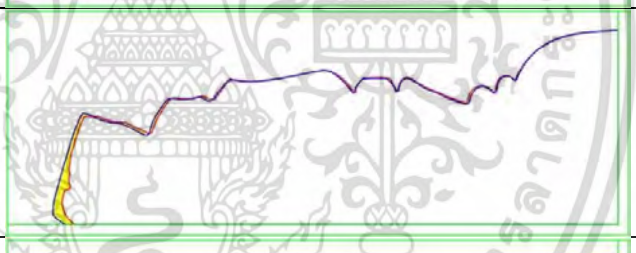
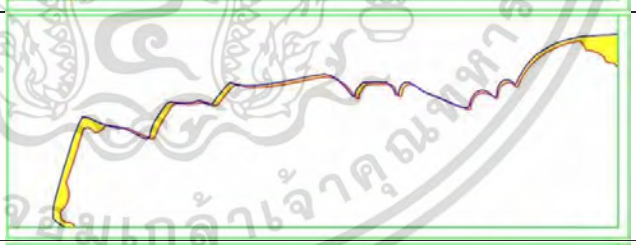
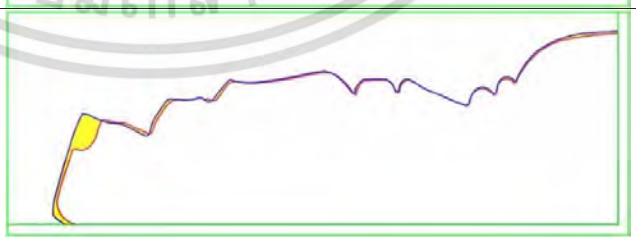
**ตารางที่ 5.7** การเปรียบเทียบลายเส้นเพื่อวัดระยะที่ผิดพลาด ของกลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ G จากแบบหล่อซีเมนต์และซิลิโคน

| กลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ G ด้วยแบบหล่อซีเมนต์ | รูปตัดทางขวาง ลายเส้นเปรียบเทียบ ระหว่าง ชิ้นงานจากการหล่อและชิ้นงานตั้งต้น |
|---|---|
| CG-01 |  |
| CG-02 |  |
| CG-03 |  |
| **กลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ G ด้วยแบบหล่อซีเมนต์** | **รูปตัดทางขวาง ลายเส้นเปรียบเทียบ ระหว่าง ชิ้นงานจากการหล่อและชิ้นงานตั้งต้น** |
| SG-01 |  |
| SG-02 |  |
| SG-03 |  |

จากการวัดค่าในทุกชิ้นงาน ทั้ง ค่าระยะผิดพลาด (Square Error), ค่าผลต่างของพื้นที่ (Area Error) และ ค่าพื้นที่เสียหาย (Damage Area) นำผลรวมของค่าแต่ละกลุ่มการทดลองบันทึกลงตาราง

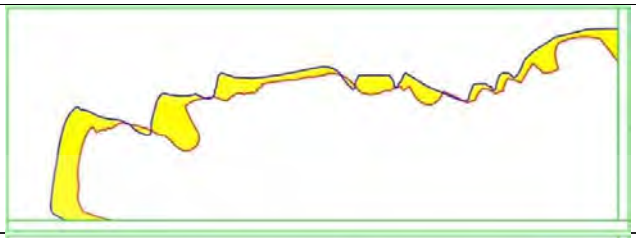
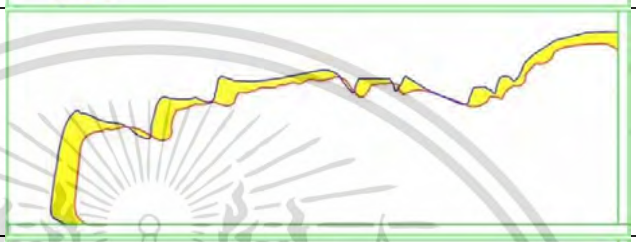
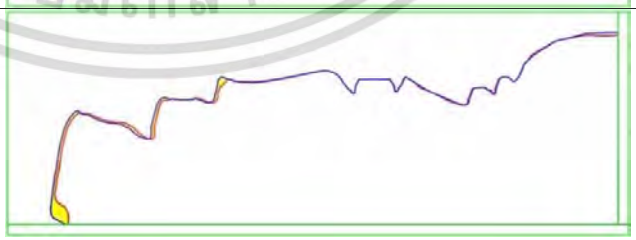
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.8** การเปรียบเทียบผลต่างค่าพื้นที่ระหว่าง ชิ้นงานจากแบบหล่อและชิ้นงานต้นแบบ กลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ A ด้วยแบบหล่อซิลิโคนและแบบหล่อซีเมนต์

| ค่าผลต่างพื้นที่ | รูปตัดขวาง ลายเส้นเปรียบเทียบแสดงผลต่างพื้นที่ของชิ้นงาน |
|---|---|
| CA-01<br>1.560 |  |
| CA-02<br>2.180 |  |
| CA-03<br>1.750 |  |
| SA-01<br>0.530 |  |
| SA-02<br>1.220 |  |
| SA-03<br>0.690 |  |

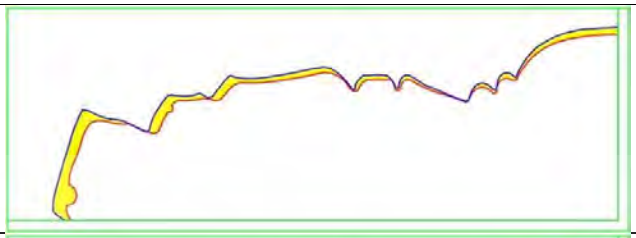
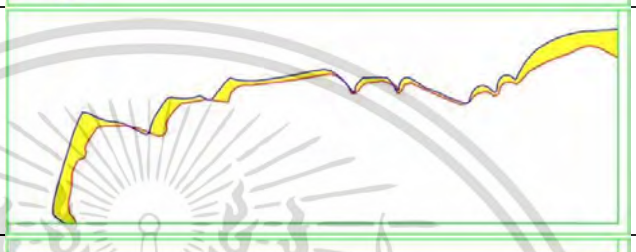
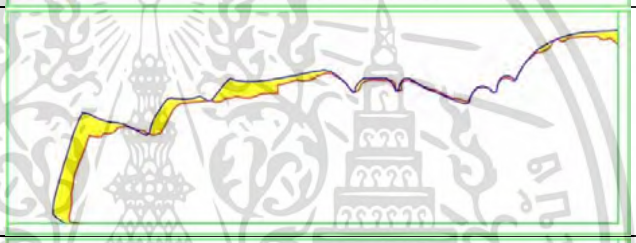
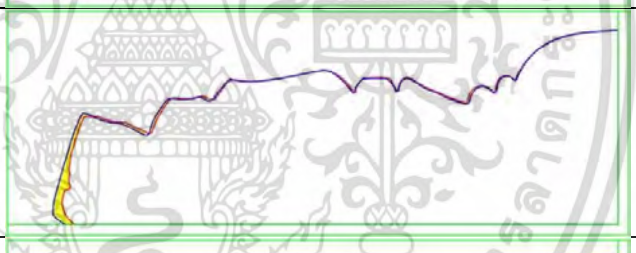
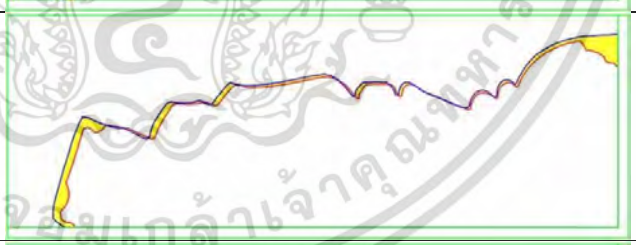
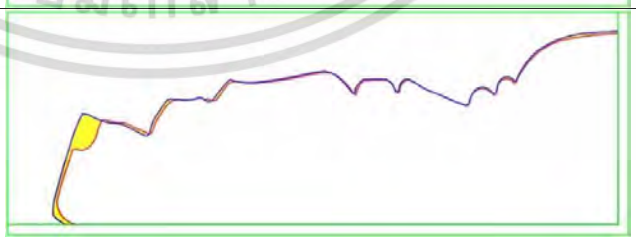
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.9** การเปรียบเทียบผลต่างค่าพื้นที่ระหว่าง ชิ้นงานจากแบบหล่อและชิ้นงานต้นแบบ กลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ B ด้วยแบบหล่อซิลิโคนและแบบหล่อซีเมนต์

| ค่าผลต่างพื้นที่ | รูปตัดขวาง ลายเส้นเปรียบเทียบแสดงผลต่างพื้นที่ของชิ้นงาน |
|---|---|
| CB-01<br>3.617 |  |
| CB-02<br>2.923 |  |
| CB-03<br>3.767 | |
| SB-01<br>0.929 | |
| SB-02<br>1.180 | |
| SB-03<br>0.470 |  |

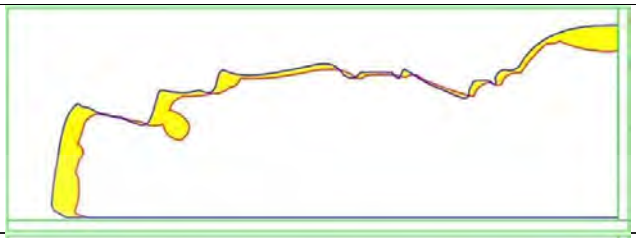
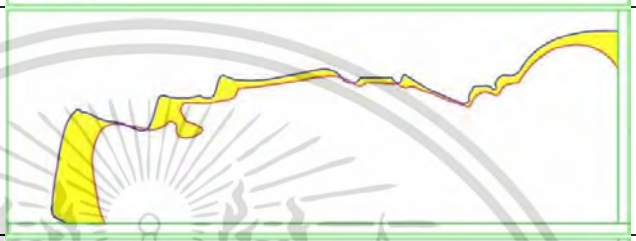
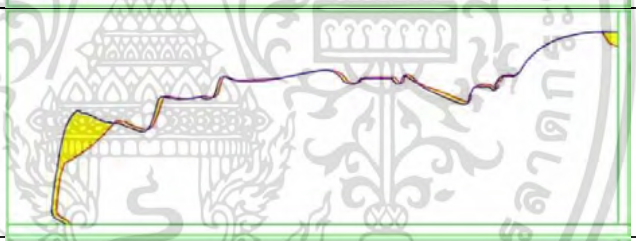
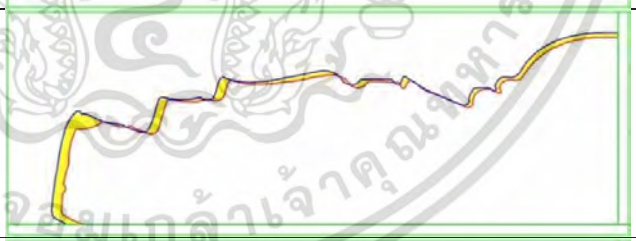
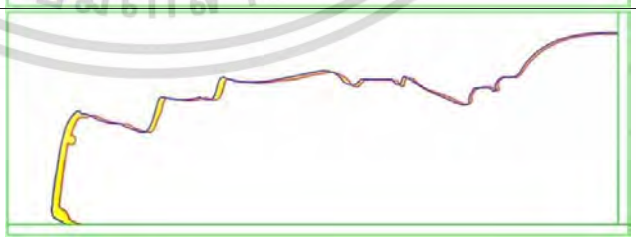
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.10** การเปรียบเทียบผลต่างค่าพื้นที่ระหว่าง ชิ้นงานจากแบบหล่อและชิ้นงานต้นแบบ กลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ C ด้วยแบบหล่อซิลิโคนและแบบหล่อซีเมนต์

| ค่าผลต่างพื้นที่ | รูปตัดขวาง ลายเส้นเปรียบเทียบแสดงผลต่างพื้นที่ของชิ้นงาน |
|---|---|
| CC-01<br>2.996 |  |
| CC-02<br>2.688 |  |
| CC-03<br>2.435 |  |
| SC-01<br>0.988 |  |
| SC-02<br>0.365 |  |
| SC-03<br>0.578 |  |

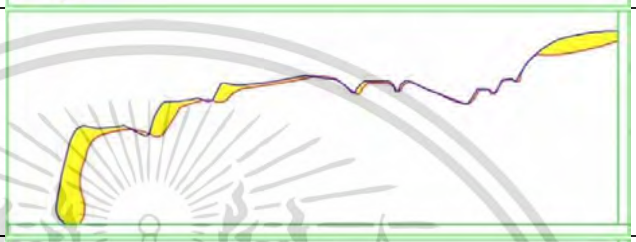
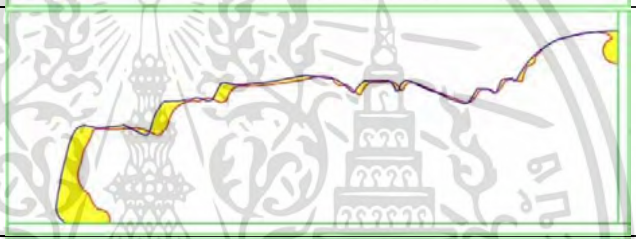
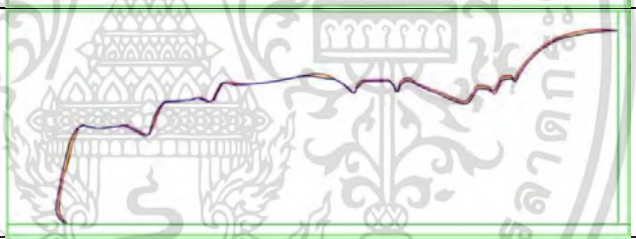
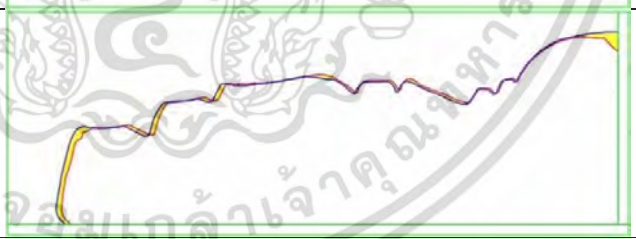
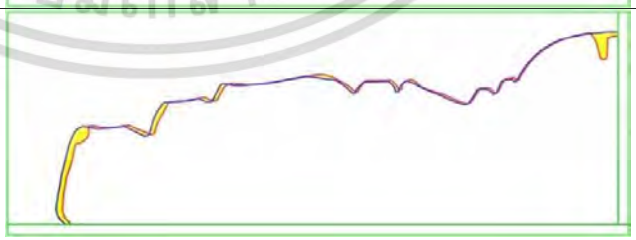
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.11** การเปรียบเทียบผลต่างค่าพื้นที่ระหว่าง ชิ้นงานจากแบบหล่อและชิ้นงานต้นแบบ กลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ D ด้วยแบบหล่อซิลิโคนและแบบหล่อซีเมนต์

| ค่าผลต่างพื้นที่ | รูปตัดขวาง ลายเส้นเปรียบเทียบแสดงผลต่างพื้นที่ของชิ้นงาน |
|---|---|
| CD-01<br>2.543 |  |
| CD-02<br>3.378 |  |
| CD-03<br>1.643 | |
| SD-01<br>1.04 |  |
| SD-02<br>1.301 |  |
| SD-03<br>0.829 |  |

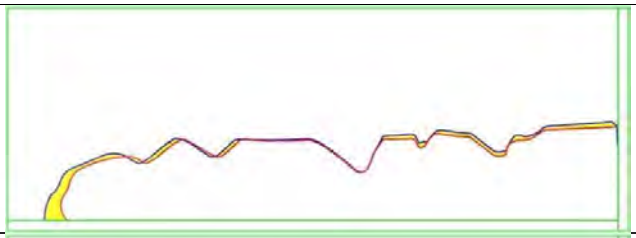
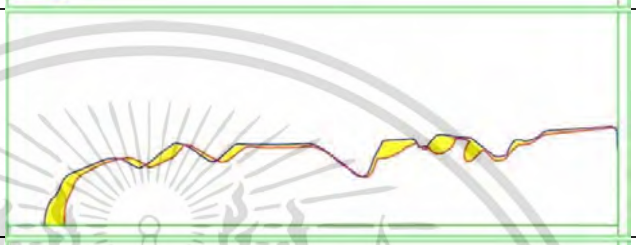
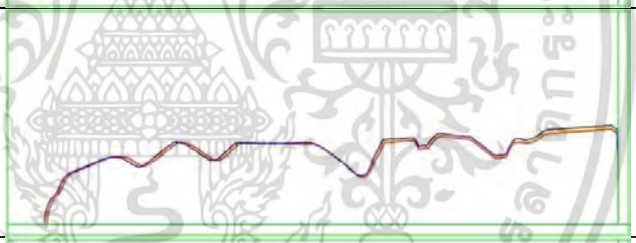
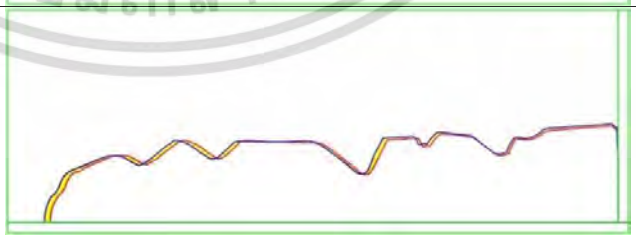
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.12** การเปรียบเทียบผลต่างค่าพื้นที่ระหว่าง ชิ้นงานจากแบบหล่อและชิ้นงานต้นแบบ กลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ E ด้วยแบบหล่อซิลิโคนและแบบหล่อซีเมนต์

| ค่าผลต่างพื้นที่ | รูปตัดขวาง ลายเส้นเปรียบเทียบแสดงผลต่างพื้นที่ของชิ้นงาน |
|---|---|
| CE-01<br>1.184 | |
| CE-02<br>1.837 |  |
| CE-03<br>1.740 |  |
| SE-01<br>0.425 |  |
| SE-02<br>0.683 |  |
| SE-03<br>0.745 |  |

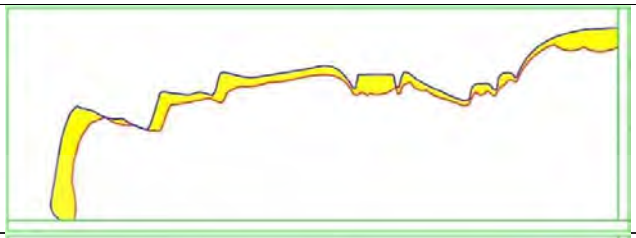
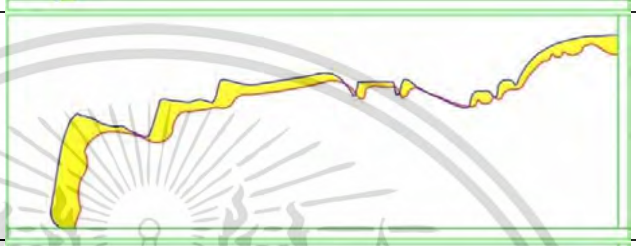
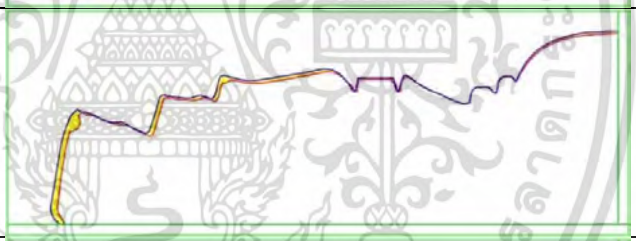
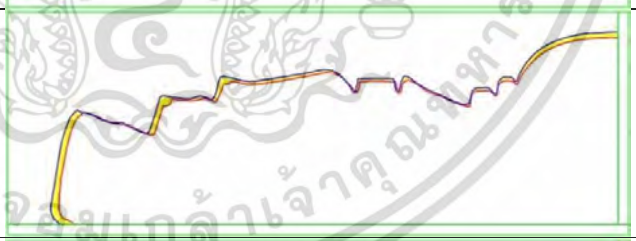
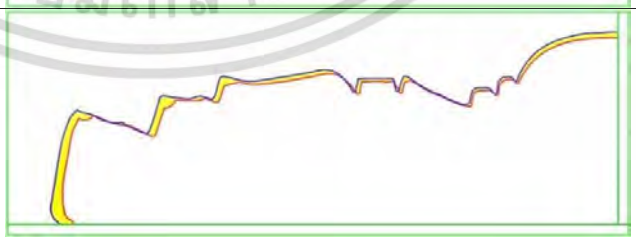
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.13** การเปรียบเทียบผลต่างค่าพื้นที่ระหว่าง ชิ้นงานจากแบบหล่อและชิ้นงานต้นแบบ กลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ F ด้วยแบบหล่อซิลิโคนและแบบหล่อซีเมนต์

| ค่าผลต่างพื้นที่ | รูปตัดขวาง ลายเส้นเปรียบเทียบแสดงผลต่างพื้นที่ของชิ้นงาน |
|---|---|
| CF-01<br>0.837 |  |
| CF-02<br>1.333 |  |
| CF-03<br>1.404 | |
| SF-01<br>0.518 |  |
| SF-02<br>0.721 | |
| SF-03<br>0.623 |  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.14** การเปรียบเทียบค่าผลต่างค่าพื้นที่ระหว่าง ชิ้นงานจากแบบหล่อและชิ้นงานต้นแบบ กลุ่มทดลองชิ้นงานแบบ G ด้วยแบบหล่อซิลิโคนและแบบหล่อซีเมนต์

| ค่าผลต่างพื้นที่ | รูปตัดขวาง ลายเส้นเปรียบเทียบแสดงผลต่างพื้นที่ของชิ้นงาน |
|---|---|
| CG-01<br>2.849 |  |
| CG-02<br>3.036 |  |
| CG-03<br>3.080 | |
| SG-01<br>0.735 |  |
| SG-02<br>1.010 |  |
| SG-03<br>1.252 |  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.15** บันทึกค่าระยะผิดพลาด (Square Error) ค่าผลต่างของพื้นที่ (Area Error) กลุ่มทดลองแบบ A, B, C, D, E, F และG

| Type | cement mold 01 | | cement mold 02 | | cement mold 03 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | sum SE | area Error | sum SE | area Error | sum SE | area Error |
| A | 3.0496 | 1.56 | 3.7326 | 2.18 | 3.8293 | 1.75 |
| B | 10.1642 | 3.62 | 8.3017 | 2.92 | 14.0943 | 3.77 |
| C | 8.3071 | 3.00 | 9.2649 | 2.69 | 7.1761 | 2.45 |
| D | 7.1930 | 2.54 | 11.7579 | 3.38 | 6.1603 | 1.64 |
| E | 3.2993 | 1.18 | 4.3137 | 1.84 | 3.9193 | 1.74 |
| F | 0.8233 | 0.84 | 1.8266 | 1.35 | 1.3487 | 1.41 |
| G | 7.9508 | 2.85 | 9.0996 | 3.04 | 13.8785 | 3.09 |
| Type | Silicone mold 01 | | Silicone mold 02 | | Silicone mold 03 | |
| | sum SE | area Error | sum SE | area Error | sum SE | area Error |
| A | 0.6188 | 0.53 | 1.6923 | 1.22 | 0.7571 | 0.69 |
| B | 1.0253 | 0.93 | 1.7520 | 1.18 | 0.1206 | 0.47 |
| C | 1.8165 | 0.99 | 0.0534 | 0.37 | 1.4418 | 0.58 |
| D | 1.9464 | 1.04 | 1.6026 | 1.30 | 1.2096 | 0.83 |
| E | 0.2988 | 0.43 | 0.6402 | 0.68 | 0.8860 | 0.75 |
| F | 0.1324 | 0.52 | 0.2794 | 0.72 | 0.1942 | 0.63 |
| G | 0.7440 | 0.74 | 1.5751 | 1.01 | 1.8233 | 1.25 |

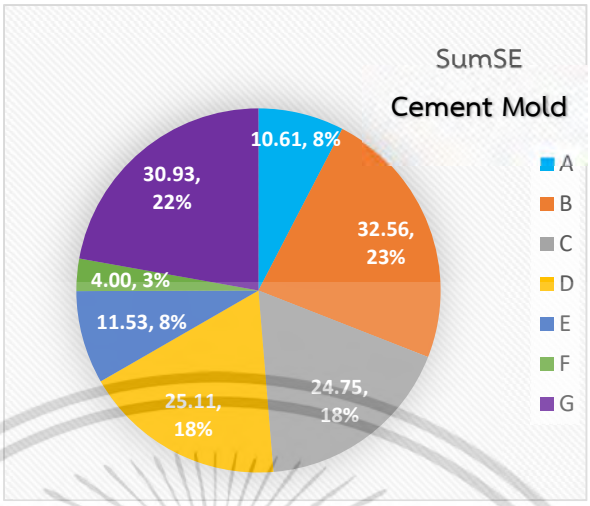
เมื่อนำข้อมูลโดยแบ่งกลุ่มการทดลองตาม ชนิดของแบบหล่อและ ลักษณะลวดลาย จากกลุ่มการทดลอง 14 กลุ่มจะสังเกตเห็นค่าผลรวมระยะผิดพลาดและ พื้นที่ผลต่าง ที่แตกต่างกัน จึงแบ่งกลุ่มการวิเคราะห์โดยแยกออกเป็น 2 กลุ่ม

กลุ่มที่ 1 ตารางบันทึกค่าผลรวมระยะผิดพลาด

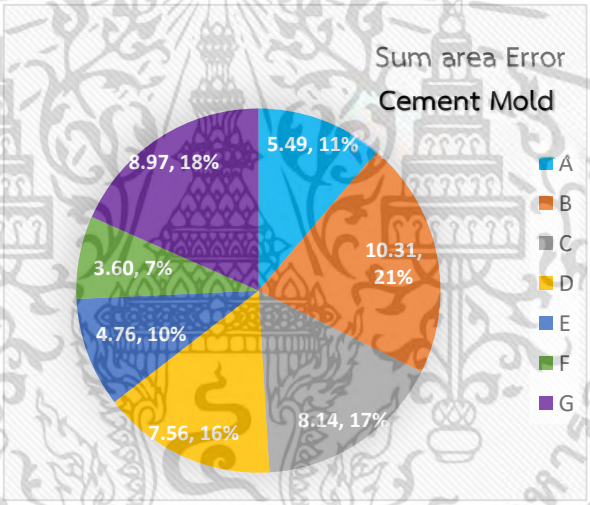
กลุ่มที่ 2 ตารางค่าผลต่างของพื้นที่

เมื่อแบ่ง 2 กลุ่มแล้วจึงนำค่ามาบันทึกลงตารางอีกครั้งโดยเรียงลำดับจากกลุ่มทดลองที่ค่าเสียหายน้อยไปหาค่ากลุ่มทดลองที่เสียหายมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



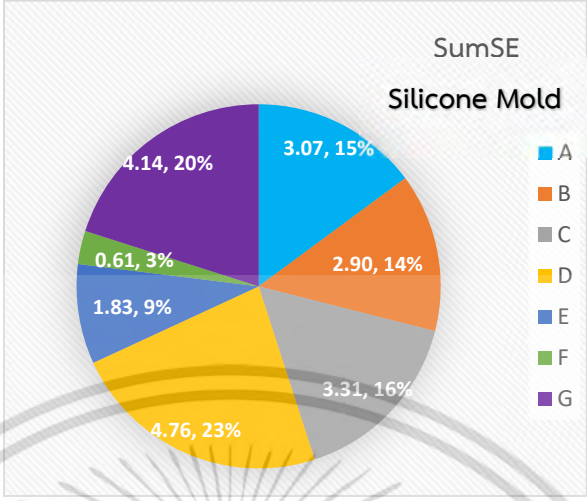

**รูปที่ 5.3** แผนภูมิผลรวมระยะผิดพลาด แบบหล่อซีเมนต์กลุ่มทดลองแบบ A, B, C, D, E, F และ G



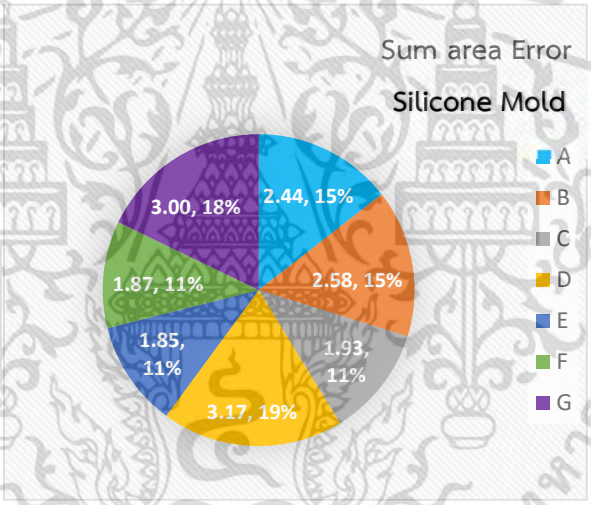

**รูปที่ 5.4** แผนภูมิผลต่างของพื้นที่ แบบหล่อซีเมนต์กลุ่มทดลองแบบ A, B, C, D, E, F และG

จากรูปที่ 5.3, 5.4 แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานลักษณะลวดลายแบบ EและF หล่อด้วยแบบหล่อซีเมนต์ทั้งการวัดผลด้วยค่า SE และ Area Error เกิดความเสียหายชิ้นงานน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



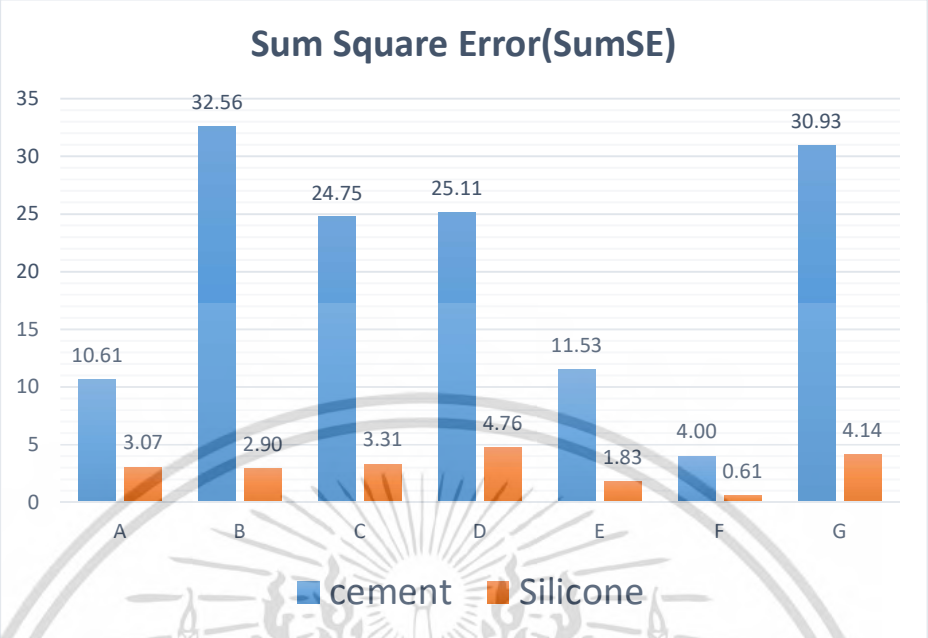

**รูปที่ 5.5** แผนภูมิผลรวมระยะผิดพลาด แบบหล่อซีเมนต์กลุ่มทดลองแบบ A, B, C, D, E, F และ G




**รูปที่ 5.6** แผนภูมิค่าผลต่างของพื้นที่ แบบหล่อซิลิโคนกลุ่มทดลองแบบ A, B, C, D, E, F และ G

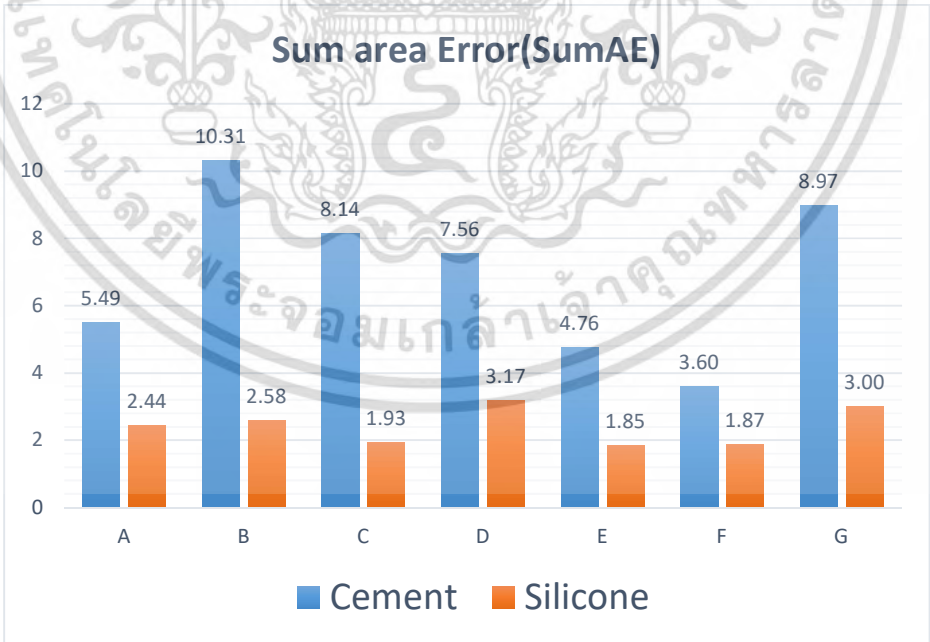
จากรูปที่ 5.5, 5.6 แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานลักษณะลวดลายแบบ E และ F หล่อด้วยแบบหล่อซิลิโคนทั้งการวัดผลด้วยค่า SE และ Area Error เกิดความเสียหายชิ้นงานน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 5.7** แผนภูมิค่าผลรวมระยะผิดพลาด แบบหล่อซีเมนต์และแบบหล่อซิลิโคน กลุ่มทดลองแบบ A, B, C, D, E, F และ G

จากแผนภูมิค่า SE แสดงให้เห็นว่า ผลต่างความเสียหายแต่ละกลุ่มของแบบหล่อ ซิลิโคน มีความต่างกันน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับ แบบหล่อซีเมนต์




**รูปที่ 5.8** แผนภูมิค่าผลต่างของพื้นที่ แบบหล่อซีเมนต์และแบบหล่อซิลิโคน กลุ่มทดลองแบบ A, B, C, D, E, F และ G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแผนภูมิค่าSum Area Error แสดงให้เห็นแนวโน้มเดียวกันกับ ค่า Sum Square Error คือ ผลต่างความเสียหายแต่ละกลุ่มของแบบหล่อซิลิโคนมีความต่างกันน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับแบบหล่อซีเมนต์ ซึ่งค่าความแตกต่างของแต่ละแบบลายอย่างชัดเจน

**ตารางที่ 5.16** บันทึกค่าผลรวมระยะผิดพลาด, ค่าผลต่างของพื้นที่ กลุ่มทดลองแบบ A, B, C, D, E, F และ G (โดยเรียงลำดับ จากน้อยไปหามาก แบ่งตามชนิดแบบหล่อ)

| Type | cement mold 01-03 | |
|---|---|---|
| | SumSE | Sum area Error |
| A | 18.17 | 9.42 |
| B | 54.96 | 17.00 |
| C | 41.19 | 13.28 |
| D | 43.03 | 12.59 |
| E | 19.77 | 8.34 |
| F | 7.17 | 6.37 |
| G | 53.91 | 15.09 |
| Type | silicone mold 01-03 | |
| | SumSE | Sum area Error |
| A | 5.52 | 4.35 |
| B | 4.77 | 4.23 |
| C | 4.81 | 2.87 |
| D | 7.57 | 5.30 |
| E | 3.35 | 3.28 |
| F | 1.08 | 3.22 |
| G | 7.54 | 5.26 |

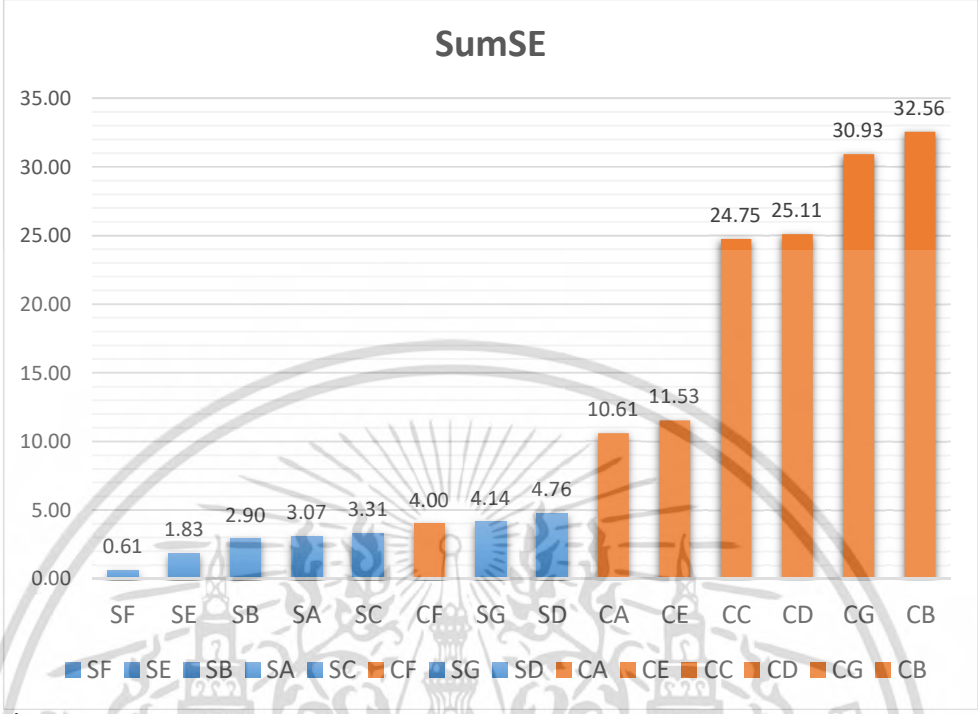
| cement mold 01-03 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Ranking | Type | SumSE | Type | Sum area Error |
| 1st | F | 4.00 | F | 3.60 |
| 2nd | A | 10.61 | E | 4.76 |
| 3rd | E | 11.53 | A | 5.49 |
| 4th | C | 24.75 | D | 7.56 |
| 5th | D | 25.11 | C | 8.14 |
| 6th | G | 30.93 | G | 8.97 |
| 7th | B | 32.56 | B | 10.31 |
| silicone mold 01-03 | | | | |
| Ranking | Type | SumSE | Type | Sum area Error |
| 1st | F | 0.61 | E | 1.85 |
| 2nd | E | 1.83 | F | 1.87 |
| 3rd | B | 2.90 | C | 1.93 |
| 4th | A | 3.07 | A | 2.44 |
| 5th | C | 3.31 | B | 2.58 |
| 6th | G | 4.14 | G | 3.00 |
| 7th | D | 4.76 | D | 3.17 |

เมื่อเรียงลำดับพบว่า ในการวัดค่าด้วยค่าระยะผิดพลาด (Square Error) กลุ่มทดลองแบบหล่อซีเมนต์ รูปแบบลวดลายที่เสียหายน้อยที่สุด คือ ลักษณะ F,A,E,C,D,G และ B ตามลำดับ และกลุ่มทดลองแบบหล่อซิลิโคน รูปแบบลวดลายที่เสียหายน้อยที่สุด คือ ลักษณะ F,E,B,A,C,Gและ D ตามลำดับ

กลุ่มวัดค่าด้วยวัดค่าผลต่างของพื้นที่ (Area Error) กลุ่มทดลองแบบหล่อซีเมนต์ รูปแบบลวดลายที่เสียหายน้อยที่สุด คือ ลักษณะ F,E,A,D,C,G และ B ตามลำดับ และกลุ่มทดลองแบบหล่อซิลิโคน รูปแบบลวดลายที่เสียหายน้อยที่สุด คือ ลักษณะ E,F,CA,B,G และ D ตามลำดับ

ในกลุ่มแบบหล่อซีเมนต์ ลักษณะ F ได้ชิ้นงานที่เสียหายน้อยที่สุด และลักษณะ B เสียหายมากที่สุด และเมื่อสังเกตในกลุ่มแบบหล่อซิลิโคน ถ้าใช้ค่า Sum Square Error ชิ้นงานที่เสียหายน้อยที่สุด คือลักษณะ F แต่เมื่อใช้ค่า Sum area error ชิ้นงานที่เสียหายน้อยที่สุด คือลักษณะ E เมื่อสังเกตการเปรียบเทียบระหว่าง การวัดค่าด้วยค่าระยะผิดพลาดและการวัดค่าผลต่างของพื้นที่ในกลุ่มทดลองแบบหล่อประเภทเดียวกัน ลำดับตำแหน่ง จะต่างกันไม่เกิน 2 ตำแหน่ง

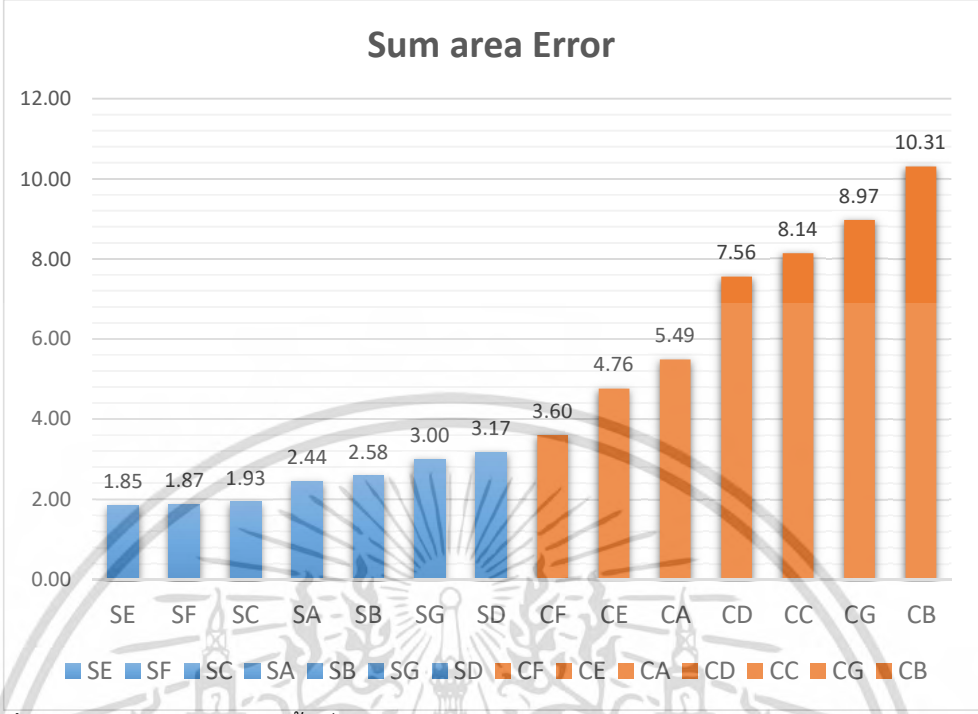
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 5.9** แผนภูมิค่าผลรวมระยะผิดพลาด (เรียงค่าจากน้อยไปมาก) แบบหล่อ ซีเมนต์และแบบหล่อซิลิโคน กลุ่มทดลองแบบ A, B, C, D, E, F และ G

จากรูปที่ 5.9 นำมาเรียงค่าความเสียหายจากน้อยไปหามาก จะเห็นว่า กลุ่มแบบหล่อซิลิโคน มีค่าความเสียหาย SE น้อยกว่า กลุ่มแบบหล่อซีเมนต์ มีเพียงแบบหล่อซีเมนต์ลวดลายแบบ F ที่ให้ค่าเสียหายน้อยกว่ากลุ่มทดลอง SG และ SD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 5.10** แผนภูมิค่าผลต่างพื้นที่ (เรียงค่าจากน้อยไปมาก) แบบหล่อ ซีเมนต์และแบบหล่อซิลิโคน กลุ่มทดลองแบบ A, B, C, D, E, F และ G

จากรูปที่ 5.10 นำมาเรียงค่าความเสียหายจากน้อยไปหามาก จะเห็นว่า กลุ่มแบบหล่อซิลิโคน มีค่าความเสียหายArea Error น้อยกว่า กลุ่มแบบหล่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 5.17** การเรียงลำดับค่า Sum Error แบบหล่อทั้ง 2 ชนิด ของทุกลักษณะลวดลาย โดยเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก

| Ranking | SumSE | Type | Ranking | Sum area Error | Type |
|---|---|---|---|---|---|
| 1st | 0.61 | SF | 1st | 1.85 | SE |
| 2nd | 1.83 | SE | 2nd | 1.87 | SF |
| 3rd | 2.90 | SB | 3rd | 1.93 | SC |
| 4th | 3.07 | SA | 4th | 2.44 | SA |
| 5th | 3.31 | SC | 5th | 2.58 | SB |
| 6th | 4.00 | CF | 6th | 3.00 | SG |
| 7th | 4.14 | SG | 7th | 3.17 | SD |
| 8th | 4.76 | SD | 8th | 3.60 | CF |
| 9th | 10.61 | CA | 9th | 4.76 | CE |
| 10th | 11.53 | CE | 10th | 5.49 | CA |
| 11th | 24.75 | CC | 11th | 7.56 | CD |
| 12th | 25.11 | CD | 12th | 8.14 | CC |
| 13th | 30.93 | CG | 13th | 8.97 | CG |
| 14th | 32.56 | CB | 14th | 10.31 | CB |

เมื่อเปรียบเทียบโดยไม่แบ่งกลุ่มชนดแบบหล่อ พบว่ากลุ่มชิ้นงานที่เสียหายน้อยที่สุด 2 อันดับแรกทำจากแบบหล่อซิลิโคน โดยเป็น ลักษณะลวดลายแบบ F และ E และกลุ่มชิ้นงานที่เสียหายมากที่สุด 2 อันดับแรกทำมาจากแบบหล่อซิลิโคน โดยเป็นลักษณะลวดลายแบบ B และ G

แม้เมื่อเรียงลำดับโดยไม่แบ่งชนิดแบบหล่อ จะมีลำดับค่าที่ตรงกัน 3 ลำดับ คือ SA ในลำดับที่ 4th,CG ในลำดับที่ 13th และCB ในลำดับที่ 14 และสังเกตพบว่า การเรียงลำดับค่า โดยที่ใช้ค่า Sum Square Error และ ลำดับที่ใช้ค่า Sum area error ด้วยสองวิธีนี้ การเรียงลำดับสลับกันไม่เกิน2 ลำดับ และกลุ่มช่วงบนของตารางเกือบทั้งหมด ทำจากแบบหล่อซิลิโคนมีค่าความเสียหายน้อยกว่ากลุ่มชิ้นงานที่ทำจากแบบหล่อซีเมนต์ มีเพียง กลุ่มทดลองกลุ่ม CF วัดค่าด้วย Sum Square Error กลุ่มเดียวที่มีค่าความเสียหายน้อยกว่า กลุ่ม SGและSD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 6
# สรุปผล ข้อค้นพบ ข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เพื่อศึกษาการหล่อคอนกรีตลวดลายประจำยามด้วยแบบหล่อ 2 ชนิด และเปรียบเทียบลักษณะชิ้นงานที่ได้จากการหล่อระหว่างแบบหล่อซีเมนต์และแบบหล่อซิลิโคน โดยมีกลุ่มทดลองเพื่อศึกษาลวดลายลักษณะ 7 แบบ และศึกษาเปรียบเทียบชิ้นงานจากแบบหล่อทั้ง 2 ชนิดโดยแบ่งเป็น 14 กลุ่มทดลอง การวัดผลเลือกใช้การตรวจสอบคอนกรีตด้วยวิธีพินิจ (วิธีการทดสอบคอนกรีตแบบไม่ทำลาย) โดยใช้การการวัดค่า 2 วิธี

1. ค่าผลรวมของระยะที่ผิดพลาด Sum Square Error (SumSE)
2. ค่าผลรวมของพื้นที่เสียหาย Sum Area Error (SumAE)

## 6.1 การศึกษาลักษณะลวดลายประจำยามหล่อด้วยแบบหล่อซีเมนต์และแบบหล่อซิลิโคน

**ตารางที่ 6.1** ลำดับของแบบลวดลายจากแบบลวดลายที่มีค่าความเสียหายน้อยไปหามาก

| ลักษณะลวดลาย | ลำดับที่ แบบหล่อซีเมนต์ | | ลำดับที่ แบบหล่อซิลิโคน | | ลักษณะลวดลาย | ผลรวมลำดับ | ลำดับ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | SumSE | SumAE | SumSE | SumAE | | | |
| A | 2 | 3 | 4 | 4 | F ปั้นใหม่ ให้แบน (ยืดลายเส้นตามเดิม) | 5 | 1st |
| B | 7 | 7 | 3 | 5 | E ขัดแต่งตามความชำนาญช่าง (เพิ่มความเอียง/ลดความแหลม) | 8 | 2nd |
| C | 4 | 5 | 5 | 3 | A เพิ่มความเอียงร่องลาย (ให้ถอดแบบได้ง่าย) | 13 | 3rd |
| D | 5 | 4 | 7 | 7 | C ขัดผิวหน้า (ลดความลึกลาย) | 17 | 4th |
| E | 3 | 2 | 2 | 1 | B ขูดร่องลายให้มน (ลดความแหลมของร่อง) | 22 | 5th |
| F | 1 | 1 | 1 | 2 | D ใส้น้ำปูนลงตามร่องลาย (ลดความลึกลาย) | 23 | 6th |
| G | 6 | 6 | 6 | 6 | G ลายตั้งต้น (คงเดิม)Rev.1 | 24 | 7th |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางบันทึกโดยเรียงลำดับค่า Sum Error จากน้อยไปหามาก แบ่งตามชนิดแบบหล่อนำมาสรุปผลรวมค่าลำดับแสดงให้เห็นว่ามีกลุ่มค่า 3 ระดับ โดยแต่ละระดับมีค่าผลต่างเท่ากับ 5 กลุ่มที่ เกิดความเสียหายระดับต่ำ คือแบบFและE ตามลำดับ ด้วยเทคนิคการปั้นให้แบน เพิ่มความเอียง และ ลดความลึก กลุ่มที่เกิดความเสยหายระดับกลาง คือ แบบ A และ Cด้วยเทคนิคการปั้นเพิ่มความเอียง ขัดผิวหน้า และกลุ่มที่เกิดความเสียหายระดับสูง คือแบบ B ,D และG ตามลำดับ ด้วยเทคนิคการปั้น ขูดร่องให้มน ใส่น้ำปูน และลวดลยตั้งต้นที่ไม่มีการปรับแบบลาย คือแบบที่เกิดความเสียหายมากที่สุด

ค่าของลักษณะลวดลายแบบ F ที่ใช้การปั้นใหม่ ด้วยเทคนิคปั้นให้แบน และให้ความลึกลวดลายน้อยกว่าแบบอื่นๆ แสดงให้เห็นว่า การลดความแหลมส่วนยื่นของลวดลายและลดความลึกของลวดลาย ช่วยลดความเสียหายที่เกิดจากการถอดแบบหล่อได้มากที่สุด ส่วนค่าความเสียหายระดับกลางในกลุ่มลวดลายแบบ A และC ด้วยเทคนิคเพิ่มความเอียงและขัดผิวหน้า แสดงให้เห็นว่าสามารถช่วยลดความเสียหายจากการถอดแบบหล่อได้เช่นกัน และกลุ่มความเสียหายระดับสูง คือรูปแบบลวดลาย B,D,G ด้วยเทคนิค ขูดร่องให้มน ใส่น้ำปูนลงร่องลาย มีค่าความต่างเพียง 1 แสดงให้เห็นว่า มีส่วนช่วยลดความเสียหายได้น้อย

## 6.2 การศึกษาเปรียบเทียบลักษณะชิ้นงานที่ได้จากแบบหล่อซีเมนต์และแบบหล่อซิลิโคน

**ตารางที่ 6.2** ผลรวมค่า Square Error และ Area Error เปรียบเทียบแบบหล่อทั้ง 2 ชนิด

| ผลรวม Square Error | |
|---|---|
| แบบหล่อซีเมนต์ | แบบหล่อซิลิโคน |
| 139.94 | 20.61 |

| ผลรวม Area Error | |
|---|---|
| แบบหล่อซีเมนต์ | แบบหล่อซิลิโคน |
| 48.83 | 16.84 |

จากตาราง แสดงผลรวมเปรียบเทียบ ค่า Square Error และ Area Error แสดงให้เห็นว่าด้วยการวัดค่า ทั้ง 2 วิธี ชิ้นงานจากแบบหล่อ ซิลิโคน เกิดความเสียหายต่อชิ้นงานน้อยกว่าชิ้นงานจากแบบหล่อ ซีเมนต์

**เป็นบทสรุปที่ชัดเจนว่า ต้นแบบชิ้นงานแบบเดียวกัน การหล่อคอนกรีตด้วยแบบหล่อซิลิโคน ได้ชิ้นงานที่มีความสมบูรณ์กว่าการหล่อชิ้นงานด้วยแบบหล่อซีเมนต์**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อสังเกตจากตาราง (ตารางที่ 5.17) การเรียงลำดับค่า Sum Error แสดงผลแบ่งเป็นช่วงกลุ่มบนและล่างอย่างชัดเจน โดยชิ้นงานเกือบทุกลักษณะจากแบบหล่อซีเมนต์เกิดความเสียหายมากกว่าแบบหล่อซิลิโคน โดยมีเพียงกลุ่มชิ้นงานแบบ F จากแบบหล่อซีเมนต์ วัดผลด้วยค่า SE เพียงกลุ่มเดียวที่เกิดความเสียหายของชิ้นงานน้อยกว่ากลุ่มชิ้นงาน G และD จากแบบหล่อซิลิโคน ซึ่งจากการสรุป ในข้อ 6.1 เรื่องการศึกษาลักษณะลวดลายประจำยามหล่อด้วยแบบหล่อซีเมนต์และแบบหล่อซิลิโคน แสดงให้เห็นว่าลวดลายแบบ F มีส่วนช่วยในการลดความเสียหายมากที่สุด และลักษณะแบบ D, G เกิดความเสียหายมากที่สุด

## 6.3 ข้อค้นพบ

### 6.3.1 ลักษณะของวัสดุที่ใช้ในการสร้างแบบหล่อ

ปัจจัยที่มีผลสำคัญต่อชิ้นงานและแบบหล่อ คือ ความแข็งและความยืดหยุ่น โดยวัสดุชิ้นงานปูนพลาสเตอร์ คือกลุ่มที่แข็งเปราะ (Inflexible) และ ขี้ผึ้ง คือกลุ่มที่มีความยืดหยุ่น (Flexible) ส่วนวัสดุแบบหล่อซิลิโคน คือกลุ่มที่มีความยืดหยุ่น (Flexible) และ ซีเมนต์ คือกลุ่มที่แข็งและเปราะ (Inflexible) สรุปได้ว่าการสร้างแบบหล่อซิลิโคนสามารถสร้างได้ด้วยวัสดุชิ้นงานทั้งที่มีความยืดหยุ่นและไม่มีความยืดหยุ่น แต่จำเป็นต้องมีฐานรองแบบซิลิโคนเพื่อกันการเสียรูป แต่การสร้างแบบหล่อซีเมนต์ต้องสร้างจากวัสดุชิ้นงานที่มีความยืดหยุ่นเท่านั้น แต่ไม่จำเป็นต้องมีฐานรองแบบหล่อ (ตารางที่ 4.7)

### 6.3.2 เทคนิคในการเร่งเวลาในการถอดชิ้นงานออกจากแบบหล่อ

ในขั้นตอนการถอดแบบชิ้นงานออกจากแบบหล่อเกิดปัญหาในกลุ่มการทดลองจากแบบหล่อซีเมนต์ คือ เมื่อทิ้งไว้ให้คอนกรีตแข็งตัว ทุกแบบลักษณะลวดลายจะไม่สามารถถอดชิ้นงานออกจากแบบหล่อซีเมนต์ได้ ซึ่งเป็นปัญหาเดียวกันในขั้นตอนการสร้างแบบหล่อซีเมนต์จากต้นแบบปูนพลาสเตอร์ ด้วยประสบการณ์การทำงานของช่าง แนะนำให้ใช้เทคนิคที่ช่างเรียกว่า “เผาปูน” คือการเร่งให้ชิ้นงานคอนกรีตที่เทลงแบบ แข็งตัวเร็วขึ้น ด้วยการโรยผงปูนลงไปที่ผิวหน้าคอนกรีต ปูนจะดูดน้ำออกจากคอนกรีตที่เทลงในแบบหล่อ ทำให้เนื้อคอนกรีตมีสามารถคงรูปได้ และตัวฐานของชิ้นงานมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะคว่ำแบบหล่อเพื่อเคาะชิ้นงานออกจากแบบหล่อ โดยในการวิจัยนี้การเผาปูน ยังช่วยลดเวลาในการวิจัย จากแผนงานเดิม 1 ชิ้นงาน ใช้เวลาแข็งตัว 24 ชั่วโมง ลดเหลือ 1 ชิ้นงานใช้เวลา เพียง 3 นาที (การวิจัยนี้ เผาปูน 3 รอบต่อหนึ่งชิ้นงาน) ซึ่งมีการแสดงข้อมูลไว้ในขั้นตอนการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.4 ข้อเสนอแนะ

### 6.4.1 ขั้นตอนการถอดแบบ

ด้วยเทคนิคเผาปูน เป็นข้อค้นพบที่เกิดประโยชน์ในการวิจัยนี้ แต่เทคนิคการเผาปูนนี้ ส่งผลต่อปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ซึ่งเป็นปฏิกิริยาหลักในช่วงก่อตัวของคอนกรีต สัมพันธ์ต่อโครงสร้างโมเลกุลในเนื้อคอนกรีตเพื่อความแข็งแรง ซึ่งการเผาปูนเป็นการเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชั่น เกิดเร็วและสวนทางกับการบ่มคอนกรีต เพราะฉะนั้นสำหรับการหล่อคอนกรีตองค์ประกอบลวดลายสถาปัตยกรรมไทยที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

### 6.4.2 การวัดผลและเปรียบเทียบ

จากการวัดค่าและระเมินผลความเสียหายชิ้นงานจากการถอดแบบ ทำให้สามารถสรุปผลประสิทธิภาพของแบบหล่อซีเมนต์และซิลิโคนได้ ผู้วิจัยมีการตั้งข้อสังเกตเพิ่มเติมจากการสังเกตพื้นผิวชิ้นงาน พบว่า พื้นผิวชิ้นงานจากแบบหล่อซิลิโคนมีความเรียบเนียน มีหลุม(ตามด) น้อยกว่าแบบหล่อซีเมนต์

### 6.4.3 ลักษณะขอบชิ้นงาน

การประเมินผลชิ้นงานในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยวัดค่าและประเมินผลจาก ตัวเลขความเสียหายที่วัดได้ และสรุปผล โดยจัดลำดับจากค่าความเสียหายที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบเชิงปริมาณ และในขั้นตอนการถอดแบบนั้น ผู้วิจัยตั้งข้อสังเกตว่า ขอบชิ้นงาน จากแบบหล่อซิลิโคนมีความคมชัดกว่าชิ้นงานจากแบบหล่อซีเมนต์ ผู้วิจัยคิดว่าเป็นประเด็นที่น่าสนใจ ในการค้นคว้าต่อ เพื่อเน้นย้ำให้เห็นประสิทธิภาพที่แตกต่างในการเลือกใช้วัสดุในการทำแบบหล่อ

### 6.4.4 ระยะเวลา

จากการวิจัยนี้ เวลาในการบ่มและเทคอนกรีต กำหนดเป็นตัวแปรควบคุม ซึ่งตัวแปรในเรื่องเวลาในหลายๆขั้นตอน ตั้งแต่กระวนการสร้างแบบหล่อ การหล่อชิ้นงาน จนถึงการถอดชิ้นงานออกจากแบบหล่อ สามารถนำมาเปรียบเทียบประเมินโดยกำหนดเป็นชุดตัวแปรต้นได้ จะทำให้สามารถวัดผลในเรื่องต้นทุน และคุณภาพได้เพิ่มเติม

### 6.4.5 ความชำนาญของช่าง

เนื่องจากขอบเขตงานวิจัยนี้ ใช้กลุ่มช่างของวัดสวนสันติธรรม ซึ่งมีความชำนาญในการใช้คอนกรีตและซิลิโคน จึงทำให้การทดลองไม่เกิดปัญหาในเรื่องเทคนิคของวัสดุ และความชำนาญในการใช้แบบหล่อทั้ง 2ชนิด ในกทางกลับกัน ความชำนาญในเชิงเทคนิควัสดุของช่างโดยทั่วไปมีความถนัดต่างกัน ซึ่งจากการวิจัยนี้แม้จะสรุปผลได้ว่า แบบหล่อซิลิโคนให้ชิ้นงานที่มีค่าสมบูรณ์กว่า แต่ในขั้นตอนการสร้างแบบหล่อซิลิโคนซึ่งเป็นเทคนิคใหม่กว่าแบบหล่อซีเมนต์ ยังมีเทคนิคที่ซับซ้อนกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาทิเช่น แบบหล่อซิลิโคนมีความยืดหยุ่นและอ่อนตัวจำเป็นต้องสร้างฐานรองรับ กันการเสียรูปซิลิโคน จึงเป็นอีกบทหนึ่งสรุป ที่น่าค้นคว้าเปรียบเทียบต่อในความคุ้มทุน และความถนัดเพื่อจะเลือกใช้เทคโนโลยีได้เหมาะสมดียิ่งขึ้น

**6.4.6 เทคนิคอื่นๆ**

การวิจัยนี้มีตัวแปรต้นคือ ชนิดของแบบหล่อ ซึ่งนำความสมบูรณ์ของชิ้นงานเป็นตัววัดผลเปรียบเทียบ โดยมีตัวแปรควบคุมคือ ชนิดแบบหล่อ ถ้าวิเคราะห์เพิ่มเติมในเรื่องการลดความเสียหายของชิ้นงานจากการถอดแบบ ผู้วิจัยคาดว่าสามารถกำหนดตัวแปรต้น เพื่อค้นคว้าเพิ่มเติมได้ เช่น การทาน้ำยาแบบหล่อ สูตรซีเมนต์ สัดส่วนคอนกรีต น้ำยาผสมคอนกรีต การบ่มคอนกรีต ซึ่งสามารถกำหนดเป็นตัวแปรต้น เพื่อทำการวิจัยหาตัวช่วยที่ทำให้ชิ้นงานสมบูรณ์ได้ยิ่งขึ้น

**6.4.7 อายุการใช้งาน**

แบบหล่อซิลิโคนและแบบหล่อซีเมนต์ มีคุณสมบัติวัสดุที่แตกต่างกัน ซึ่งการวิจัยนี้ มีการใช้ซ้ำเพียง3 ครั้ง ในระยะเวลาการใช้งาน 2 วัน จึงไม่สามารถนำข้อมูลมาตรวจสอบ เพื่อเปรียบเทียบอายุการใช้งานได้ ผู้วิจัยตั้งสมมติฐาน คือแบบหล่อซีเมนต์จะมีอายุการใช้งานที่มากกว่าเนื่องจากมีความแข็งแกร่ง ส่วนแบบหล่อซิลิโคนน่าจะมีอายุการใช้งานที่ต่ำเพราะตัวเนื้อซิลิโคนมีความยืดยุ่นอาจฉีกขาดได้และเมื่อเก็บในอุณหภูมิสูง ซิลิโคนจะแข็งกรอบเสื่อมสภาพ

**6.4.8 น้ำหนักแบบหล่อ**

ขั้นตอนการทำงาน และการขนส่ง แบบหล่อ ด้วยแบบหล่อซิลิโคนเป็นเนื้อยาง จึงมีน้ำหนักเบาสะดวกในการทำงานโดยเฉพาะขั้นตอนการ พลิกแบบหล่อเพื่อเคาะชิ้นงาน และการขนส่ง ซึ่งข้อได้เปรียบในเรื่องการขนส่งนี้ทำให้สามารถสร้างแบบหล่อซิลิโคนที่โรงหล่อได้ ซึ่งมีความสะดวกกว่าแบบหล่อซีเมนต์ที่มีน้ำหนักมากไม่สะดวกในการขนส่งจำเป็นต้องสร้างแบบหล่อที่บริเวณหน้างานก่อสร้าง โดยฐานรองของแบบหล่อซิลิโคนสามารถสร้างที่บริเวณที่ก่อสร้างได้ง่ายและไม่ต้องหนามากเท่าแบบหล่อซีเมนต์ โดยสามารถใส่วัสดุเส้นใยเพิ่มความเหนียว ลดเนื้อแบบ ลดน้ำหนักได้อีกด้วย จากการวิจัยนี้ไม่เห็นความต่างชัดเจนมากในเรื่องน้ำหนักเพราะชิ้นงานทดลองมีขนาดเล็กยกและย้ายได้ด้วยเพียง1คน ซึ่งจะสามารถเปรียบเทียบได้ชัดเจน ถ้าวิจัยงานหล่อที่มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก อาทิเช่น คันทวย รวยระกา บัวหัวเสา หรือช่อฟ้า เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บรรณานุกรม


จิรายุทธ์ จันทร์นวล. (2558). **การทดสอบความคงทนของปูนตำผสมใยแก้ว,** วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

จารุณี อินเฉิดฉาย.(2556).**ชีวิตและผลงานทางวิชาการของศิลปินแห่งชาติ พลอากาศตรีอาวุธ เงินชูกลิ่น.**ภัณฑารักษ์ พิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติ พระนคร.มาลาบูชาคุณ

ชัชวาลย์ เศรษฐบุตรและคณะ. (2548). **ปูนซีเมนต์และการประยุกต์ใช้งาน**.กรุงเทพ: บริษัทสยามวิจัยและพัฒนาจำกัด บริษัทในเครือปูนซีเมนต์ไทย

ปริญญา จินดาประเสริฐ และ รศ.ดร.ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2547). **ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีต**. กรุงเทพ: สมาคมคอนกรีตไทย Thai Concrete Association

ปิติ สุคนธสุกุล. (2556). **คอนกรีต**. กรุงเทพ: สำนักพิมพ์วรรณกวี

ภัทราวุธ ศรีคุ้มเก่า.(2557). **การถ่ายทอดเทคนิคการก่อสร้างงานสถาปัตยกรรมไทยประเพณีของช่างในบริษัทผู้รับเหมาก่อสร้างไทย** กรณีศึกษา อาคารนวัตกรรมเฉลิมพระเกียรติ รัชกาลที่ 9สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง บริษัท ส.บุญมีฤทธิ์ วิศวกรรม จำกัด.วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมมหาบัณฑิต

ภิญโญ สุวรรณคีรี. (2541). **ลายไทย**. กรุงเทพ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย ด้วยการพินิจ มยพ 1501-51

มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย วิธีต่างๆ มยพ 1501-1507

มาตรฐานการทดสอบวัสดุในงานคอนกรีต มยพ 1201-1212

มาตรฐานงานคอนกรีตเมื่อพิจารณาความคงทนและอายุการใช้งาน มยผ 1332

สันติ เล็กสุขุม. (2553). **พัฒนาการของลายไทย. กรุงเทพ**: เมืองโบราณ

_____.(2540) **พจนานุกรมศัพท์ศิลปกรรม อักษร ซ-ฮ.**ฉบับราชบัณฑิตยสถาน

_____.(2555) **งานช่างศิลป์ไทย.**สำนักพิมพ์คติ

ASTM C 91-03 : Specification for Masonry Cement.

ASTM C 595-02 : Specification for Blended Hydraulic Cement.

ASTM C 309 : 2003 : Standard Specification for Liquid Membrane-Forming Compounds for Curing



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บรรณานุกรม (ต่อ)

E.I.T.Standard1014-46:ข้อกำหนดมาตรฐานวัสดุและการก่อสร้างสำหรับโครงสร้างคอนกรีต, คณะอนุกรรมการคอนกรีตและวัสดุ คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

Portland Cement Association.” Design and Control of Concrete Mixtures: Portland, Blendedand other HydraulicCement”.Concrete Information,2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก

## ผลงานการวิจัยที่ได้ตีพิมพ์เผยแพร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ผลงานวิจัยในโครงการประชุมวิชาการระดับบัณฑิตศึกษา**
**ฉบับที่ 9 ปีที่ 9 พ.ศ. 2561**
**The 9th Graduate Integrity Conference Proceeding**
**April 27, 2018 Vol.9**
**คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**
เลขที่ 1 ซ.ฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ
http://www.arch.kmitl.ac.th
โทรศัพท์ 0-2329-8366, 0-2329-8000-99 ต่อ 3532
**ที่ปรึกษาโครงการ**
คณบดี (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อันธิกา สวัสดิ์ศรี)
รองคณบดีอาวุโส (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนารักษ์ จันทรประสิทธิ์)
รองคณบดี (รองศาสตราจารย์ ดร.อมร กฤษณพันธุ์)
รองคณบดี (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ถิรายุ ชุมสาย ณ อยุธยา)
รองคณบดี (ผู้ช่วยศาสตราจารย์วุฒิกร คงคา)
รองคณบดี (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทรงเกียรติ เที้ยธิทรัพย์)
รองคณบดี (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เขรมพัทธ์ พัชรวิชญ์)
ผู้ช่วยคณบดี (ผู้ช่วยศาสตราจารย์หทัยรัตน์ มณีรัตน์)
ผู้ช่วยคณบดี (อาจารย์ ดร.ณรงค์ฤทธิ์ จินต์จันทรวงศ์)
ผู้ช่วยคณบดี (อาจารย์ ดร.ฐิติพรรณ เกินสม)
**บรรณาธิการ**
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ถิรายุ ชุมสาย ณ อยุธยา
**กองบรรณาธิการ**
ศาสตราจารย์เดชา วราชุน
ข้าราชการบำนาญ ผู้ทรงคุณวุฒิรับเชิญ
รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต นิตยะ
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์ ดร.นิรัช สุดสังข์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
รองศาสตราจารย์สุพัฒน์ บุณยฤทธิกิจ
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สจล.
รองศาสตราจารย์กันจณา คำโสภี
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สจล.
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ญาดา ชาลกุล
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สจล.
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิยะรัตน์ นันทะ
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สจล.
อาจารย์ ดร.ประพัทธ์พงษ์ อุปลา
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สจล.
อาจารย์ ดร.ณรงค์ฤทธิ์ จินต์จันทรวงศ์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สจล.
**คณะกรรมการดำเนินงาน**
รองศาสตราจารย์ชนินทร์ ทิพโยภาส
รองศาสตราจารย์น้ำอ้อย สายหู
รองศาสตราจารย์อริยะ กิตติเจริญวิวัฒน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ถิรายุ ชุมสาย ณ อยุธยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เบญจมาศ กุฏอินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปนายุ ไชยรัตนานนท์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกษมรัสม์ วิวิตรกุลเกษม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณรงค์ มณฑปใหญ่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิมพ์ปราโมทย์ อุไรรงค์
อาจารย์ ดร.ดลฤทัย ชลอมรักษ์
อาจารย์ ดร.ทรงศิริ พันธุเสวี
อาจารย์สุรเชษฐ์ ไชยอุปละ
นางสาวสุชญา จิรารุจิรดา
นางสาววรมิดา ธรรมกัญยา
**ปกโดย**
นายประภัส วรรณแก้ว
นายอุกฤษ วรรณประภา
**พิมพ์ที่**
**โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**
ถนนพญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
**ISBN**
978 616 338030 2

# บทบรรณาธิการ

**บทบรรณาธิการเล่มที่ 9**

รายงานวิจัยและบทความวิชาการเล่มนี้เป็นส่วนหนึ่ง ของการประชุมวิชาการระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 9 (9th Graduate Integrity) ของคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นเวทีสำหรับการเผยแพร่และแลกเปลี่ยนความรู้ทางด้านการออกแบบสถาปัตยกรรม ศิลปกรรม และสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง ของบุคลากรจากสถาบันและองค์กรต่างๆ โดยมุ่งเน้นส่งเสริมให้เกิดการบูรณาการองค์ความรู้ และหลักการเชิงวิชาการไปสู่การประยุกต์ใช้และการปฏิบัติอันจะนำไปสู่การพัฒนาวิชาชีพทางด้านการออกแบบสถาปัตยกรรม ศิลปกรรม และสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องให้มีคุณภาพอย่างยั่งยืน

การประชุมวิชาการระดับบัณฑิตศึกษาครั้งนี้ จัดขึ้นเป็นครั้งที่ 9 ในวันศุกร์ที่ 27 เมษายน 2561 ณ ห้องประชุม ศาสตราจารย์ประสม รังสิโรจน อาคารเรียนรวม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับบัณฑิตศึกษาที่มีขึ้นครั้งแรก (GI 1) ในปี พ.ศ. 2553 และการประชุมวิชาการระดับบัณฑิตศึกษา สถาปัตยกรรมภายใน (GSIA) ในปี พ.ศ. 2551 โดยทั้งนี้ได้มีการดำเนินการอย่างต่อเนื่องมาตามลำดับ ผลงานการวิจัยที่ได้รับการคัดเลือกนำเสนอในที่ประชุมทั้งสิ้น 18 ผลงาน โดยได้รับการพิจารณากลั่นกรอง โดยผู้ทรงคุณวุฒิตามเกณฑ์มาตรฐานสากล (Peer Review Process) และการบรรยายพิเศษในภาพรวมของการประชุมครั้งนี้ คือ “Art and Design Research for Thailand” ซึ่งได้รับเกียรติจากผู้ทรงคุณวุฒิจากกรรมการผู้จัดการ บริษัท องศาสถาปนิก จำกัด ดร.ชเล คุณาวงศ์ และรองศาสตราจารย์วัชรี สวามิวัศดุ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์รับเชิญบรรยายให้ความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ในด้านวิชาการที่เกี่ยวข้อง อันเป็นการส่งผ่านแนวคิดที่จะส่งเสริมให้เกิดการเรียนรู้สำหรับบุคลากรในภาคส่วนต่างๆ และผู้ร่วมงานประชุมวิชาการในครั้งนี้

ทั้งนี้ ทางคณะกรรมการดำเนินงานและกองบรรณาธิการ ขอขอบคุณทุกฝ่ายที่มีส่วนร่วมในการจัดประชุมวิชาการระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 9 ตลอดจนผู้นำเสนอบทความวิจัยทุกท่าน ที่ได้มีส่วนร่วมให้การประชุมวิชาการครั้งนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ด้วยดี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ถิรายุ ชุมสาย ณ อยุธยา
กองบรรณาธิการ

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การสร้างต้นแบบสำหรับหล่อคอนกรีตลวดลายองค์ประกอบสถาปัตยกรรมไทยด้วยแบบหล่อซิลิโคนและแบบหล่อซีเมนต์

# Prototype of Cast Concrete Decorative Thai Architectural Elements for Silicone Mold and Cement Mold

ฐปนา กล้าตลุมบอน[1] ทรงเกียรติ เที้ยธิทรัพย์[2] สมโชค สินนุกุล[3]

## บทคัดย่อ

กรรมวิธีในการก่อสร้างงานสถาปัตยกรรมไทยด้วยคอนกรีตในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นการผสมผสานระหว่างการปั้นขึ้นรูปเพื่อทำแบบหล่อ และหล่อชิ้นงานด้วยคอนกรีต โดยมีกรรมวิธีการทำแบบหล่อและกรรมวิธีการหล่อคอนกรีตที่ต่างกันไป โดยมากที่พบคือการใช้แบบหล่อซีเมนต์ และแบบหล่อซิลิโคลน โดยใช้การสืบทอดแบบบอกต่อ โดยยังขาดการรวบรวมข้อมูลและค้นคว้าอย่างมีระบบ

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบการหล่อคอนกรีตด้วยแบบหล่อซีเมนต์และแบบหล่อซิลิโคน โดยใช้ลายประจำยามซึ่งมีอีกชื่อว่าลายดอกสี่กลีบ มีเกสรตรงกลาง กลีบแยกออกเป็นสี่ใช้เป็นแม่ลาย แบ่งรูปทแยงมุมเท่ากันทั้งสี่ด้าน สามารถตัดผ่าเพื่อวิเคราะห์ภาพทางขวางได้ชัดเจน และเลือกกรณีศึกษาที่พระอุโบสถวัดสวนสันติธรรม เป็นตัวอย่างของการศึกษา เนื่องจากอยู่ในขั้นตอนการก่อสร้างและเกิดปัญหาขึ้นจริงจากการเลือกใช้แบบหล่อทั้งสองชนิด

ขั้นตอนแรกในกระบวนการวิจัย คือ การนำต้นแบบมาสร้างแบบหล่อ ผู้วิจัยค้นพบว่า ศักยภาพของวัสดุ ระหว่างซีเมนต์และซิลิโคน สำหรับการสร้างแบบหล่อ มีศักยภาพที่แตกต่างกัน โดยการทดสอบเบื้องต้น ต้นแบบที่นำมาใช้สามารถถอดแบบได้ โดยแบบหล่อที่ทำจากซิลิโคน แต่เมื่อใช้แบบหล่อที่ทำจากซีเมนต์ไม่สามารถถอดแบบได้ โดยมีสาเหตุหลัก คือ แบบหล่อซิลิโคนมีความยืดหยุ่น แต่แบบหล่อซีเมนต์แข็งและเปราะ จึงเป็นข้อสรุปเบื้องต้นว่า ต้นแบบแรกสามารถใช้ได้กับแบบหล่อที่ทำจากแบบซิลิโคน แต่ไม่สามารถใช้กับแบบหล่อที่ทำจากซีเมนต์ได้ ผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์ลักษณะลวดลายที่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างต่อการถอดแบบทั้ง 2 ชนิด เพื่อให้ได้ต้นแบบที่สามารถใช้ในการวิจัยเปรียบเทียบแบบหล่อซีเมนต์และแบบหล่อซิลิโคน

กระบวนการวิเคราะห์ลวดลายต้นแบบ กำหนดแนวทางการศึกษาไว้ 3 ตัวแปร คือ ความลึก ความแหลม และความเอียง โดยเป็นการปรับลักษณะของลวดลายในทางตั้ง ซึ่งมีผลในขั้นตอน การถอดแบบหล่อ โดยรักษาลักษณะลวดลายของแบบชิ้นงาน (Top View) ไว้ จากบทสรุปข้างต้น ได้ต้นแบบในการทำแบบหล่อ 7 แบบ เพื่อใช้ทำแบบหล่อ โดยใช้ทำแบบหล่อ 2 ชนิด คือ แบบหล่อซิลิโคนและแบบหล่อซีเมนต์ นำมาหล่อคอนกรีตเพื่อใช้วิจัยเปรียบเทียบการหล่อคอนกรีตระหว่างพิมพ์ซีเมนต์และพิมพ์ซิลิโคนต่อไป

**คำสำคัญ:** องค์ประกอบสถาปัตยกรรมไทย แบบหล่อซีเมนต์ แบบหล่อซิลิโคน

[1] หลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[2] ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[3] ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Abstract**

The process for making concrete work piece of Thai architecture nowadays is to mix the sculpting (molding a figure) to make formwork method and casting work piece from concrete method with different styles of formwork making and concrete casting. Which mostly use cement formwork and silicone formwork. Learn from the ancestor by word of mouth without collecting the information and the systematic research

The researcher studies and compares the concrete casting from cement formwork and silicone formwork of Prajamyam of the church of Suan Santitham temple.

The first step of the research is making formwork from the original work piece. The researcher found that work pieces from cement formwork and silicone formwork are different.The result of the basic experiment is silicone formwork can make a whole work piece but cement formwork cannot make it because silicone formwork is flexible but cement formwork is hard and fragile. The basic conclusion is the original work piece cannot make cement formwork. The researcher analyses characteristic of the design can have differential effect to the demolding from two kinds of formworks for doing the comparative research of concrete casting with cement formwork and silicone formwork.

The analysis process, there are three characteristic variations : depth, sharpness, and slope of the original design with up side position which effect to keep the original design of top view (master work piece) after demolding.

The conclusion, there are seven original models for molding with silicone formwork and cement formwork for the comparative research of concrete casting with silicone formwork and cement formwork.

**Keywords:** Decorative Thai Architectural Elements, Cement Formwork, Silicone Formwork

## 1. บทนำ

ปัจจุบัน ด้วยเทคโนโลยีการก่อสร้างที่พัฒนาทั้งอุปกรณ์ กรรมวิธี และวัสดุ โดยเฉพาะการก่อสร้างด้วยเทคโนโลยีคอนกรีต ที่สามารถหล่อขึ้นรูปตามแบบ ประกอบกับมีความคงทนแข็งแรง เป็นเทคโนโลยีที่แพร่หลายและนิยมใช้กันมากในงานสถาปัตยกรรมยุคปัจจุบัน รวมไปทั้งการดัดแปลงและนำเทคโนโลยีต่างๆ มาใช้เพื่อให้การดำเนินการออกแบบและก่อสร้างงานสถาปัตยกรรมไทย ให้เสร็จสมบูรณ์ด้วยดี แตกต่างกับช่างปูนปั้นไทย วิชาชีพที่ช่างสืบทอดจากรุ่นสู่รุ่นกลับลดน้อยลง ส่งผลกระทบให้การสร้างสถาปัตยกรรมไทยมีต้นทุนที่สูงมาก ด้วยค่าแรงที่มากและด้วยรายละเอียด ความอ่อนช้อยของลวดลายประดับที่ชำรุดไว ยิ่งต้องใช้ต้นทุนทั้งการสร้างและซ่อมบำรุงสูงขึ้นตามไปด้วย เกิดเป็นคำถามตามมามากมายทั้งในการซ่อมบำรุงหรือสร้างใหม่ว่า สถาปัตยกรรมที่มีเอกลักษณ์ความเป็นไทย มีความเหมาะสมและจำเป็นเพียงใดกับเทคโนโลยีการก่อสร้างที่ก้าวหน้า และช่างฝีมือที่ลดน้อยลงในปัจจุบัน

จากการสำรวจภาคสนามพบว่า กรรมวิธีในการก่อสร้างงานสถาปัตยกรรมไทยด้วยคอนกรีตในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นการผสมผสานระหว่างการปั้นขึ้นรูปเพื่อทำแบบหล่อ และหล่อชิ้นงานด้วยคอนกรีต โดยมีกรรมวิธีการทำแบบหล่อและกรรมวิธีการหล่อคอนกรีตที่ต่างกันไป โดยมากที่พบคือการใช้แบบหล่อซีเมนต์ (พิมพ์โขก) และพิมพ์ซิลิโคลน โดยใช้การสืบทอดแบบบอกต่อ โดยยังขาดการรวบรวมข้อมูลและค้นคว้าอย่างมีระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รูปที่ 1** แสดงรูปชิ้นงานประจำยาม หล่อด้วยแบบหล่อซิลิโคลน
ประจำยามโบสถ์วัดสวนสันติธรรม จังหวัดชลบุรี
ที่มา: ผู้วิจัย (2560)

## 2. วัตถุประสงค์ในการศึกษา

1. เพื่อเปรียบเทียบการทำแบบหล่อซีเมนต์และแบบหล่อซิลิโคนด้วยต้นแบบชิ้นงานเดียวกัน

2. เพื่อศึกษาลักษณะลวดลายต้นแบบประจำยามและวัสดุ ที่มีผลต่อการทำแบบหล่อทั้ง 2 ชนิด คือ แบบหล่อซีเมนต์และแบบหล่อซิลิโคน

## 3. กรอบแนวคิดและสมมติฐาน

การทดสอบสร้างแบบหล่อเบื้องต้น (Prototype) จากวัสดุ 2 ชนิด คือ แบบหล่อซิลิโคนและแบบหล่อซีเมนต์ โดยใช้ลายประจำยาม ซึ่งเป็นลวดลายที่สามารถประดิษฐ์ได้หลายรูปแบบ ใช้เป็นตัวคั่น ตัวห้ามลาย ตัวลายสามารถวางได้ทั้งแบบทแยงมุม และแบบตั้งตามแนวฉาก ด้วยรูปแบบลวดลายประจำยามที่เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส จึงสะดวกในการเลือกมาใช้งาน สามารถแบ่งครึ่งเป็นสามเหลี่ยม (หนึ่งในสอง) หรือแบ่งใช้มุมเดียว (หนึ่งในสี่) ลวดลายประจำยามสามารถพบได้ทั่วไปในทุกองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมไทย ในทุกประเภทอาคารทั้งอาคารพักอาศัย และอาคารศาสนา รวมถึง อาคารราชการและพระบรมมหาราชวัง โดยรูปแบบประจำยามที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นองค์ประกอบงานประดับของโบสถ์วัดสวนสันติธรรมซึ่งกำลังก่อสร้างเป็นต้นแบบ ผู้วิจัยค้นพบว่า ศักยภาพของวัสดุสำหรับการทำแบบหล่อระหว่าง ซีเมนต์และซิลิโคน มีศักยภาพที่แตกต่างกัน ต้นแบบที่นำมาใช้สามารถถอดชิ้นงานออกจากแบบหล่อซิลิโคนได้แต่เมื่อถอดชิ้นงานจากแบบหล่อซีเมนต์ บางชิ้นงานมีการเสียหายและบางชิ้นงานไม่สามารถถอดออกจากแบบหล่อซีเมนต์ได้ ด้วยสาเหตุหลัก คือ แบบหล่อซิลิโคนมีความยืดหยุ่น แต่แบบหล่อซีเมนต์แข็งและเปราะ จึงตั้งเป็นข้อสังเกตเบื้องต้นว่าชิ้นงานต้นแบบไม่สามารถนำมาใช้สร้างพิมพ์ซีเมนต์ โดยมีตัวแปรในการวิจัย คือ ลักษณะลวดลายต้นแบบ และวัสดุแบบหล่อ เป็นกรอบแนวคิด

กำหนดสมมติฐานว่า การปรับลักษณะลวดลายต้นแบบ โดยการลดความลึก ลดความแหลม และเพิ่มความเอียง จะทำให้ถอดชิ้นงานออกจากแบบหล่อซีเมนต์ได้ และ ลดความเสียหายที่มีต่อชิ้นงานในขั้นตอนการถอดชิ้นงานออกจากแบบหล่อซีเมนต์ แต่แบบหล่อซิลิโคนสามารถถอดแบบได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์ตรงตามลักษณะลวดลายต้นแบบทุกแบบ ซึ่งข้อมูลการศึกษานี้จะถูกนำไปใช้เพื่อวิเคราะห์ต้นแบบชิ้นงานการทำแบบหล่อในงานวิจัยเปรียบเทียบแบบหล่อซีเมนต์และแบบหล่อซิลิโคนต่อไป

## 4. ขอบเขตงานวิจัย

การหล่อคอนกรีต ลายประจำยาม พระอุโบสถ วัดสวนสันติธรรม จังหวัดชลบุรี

การตรวจสอบคอนกรีตด้วยวิธีพินิจ (วิธีการทดสอบคอนกรีตแบบไม่ทำลาย) มยผ.1501-51

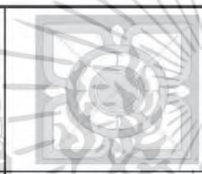
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 1.1** แสดงตัวแปรในงานศึกษา กำหนดจากเทคนิคในขั้นตอนการปั้นขึ้นรูปต้นแบบของช่าง เป็นลักษณะลวดลายชิ้นงานเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่สามารถถอดแบบได้

| ตัวแปรงานศึกษา | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ลักษณะของลวดลายทางตั้ง (Section View) | | | วัสดุแบบหล่อ | |
| ความลึก | ความแหลม | ความเอียง | ซีเมนต์ | ซิลิโคน |

ที่มา: ผู้วิจัย (2560)

**ตารางที่ 1.2** แสดงการตัดแบ่งชิ้นงานต้นแบบ เพื่อนำมาใช้ในการศึกษา

| ภาพการตัดแบ่งชิ้นงานต้นแบบ | | | |
|---|---|---|---|
| รูปภาพลายเส้น |  | | |
| รูปลายจริง | | | |
| การแบ่ง | ชิ้นงาน1/1 | ชิ้นงาน1/2 | ชิ้นงาน 1/4 |

ที่มา: ผู้วิจัย (2560)

**รูปที่ 2** แสดงกรอบการวิจัย
ที่มา: ผู้วิจัย (2560)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

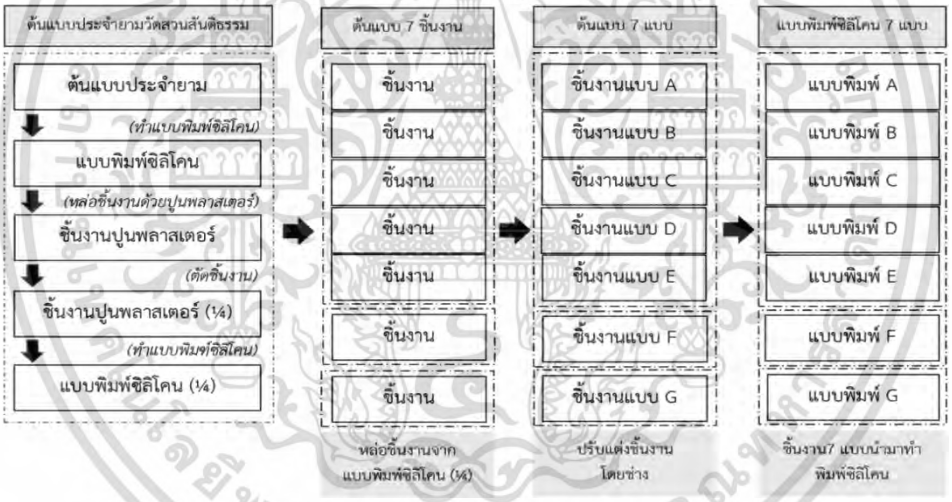
## 5. ขั้นตอนการศึกษา

ศึกษาข้อมูลภาคสนาม สังเกตรูปแบบการทำงานของช่าง โดยเก็บข้อมูลการขึ้นรูปต้นแบบ การทำแบบหล่อ และการหล่อแบบคอนกรีต ทั้งแบบหล่อซีเมนต์และแบบหล่อซิลิโคน เพื่อทดลองทำการทดสอบต้นแบบ เป็นแนวทางสำหรับการออกแบบขั้นตอนการวิจัย

## 6. ขั้นตอนการทำวิจัย

การทดสอบวิเคราะห์รูปแบบลวดลายประจำยาม ที่สามารถใช้หล่อพิมพ์ได้ทั้ง 2 ชนิด

1. กำหนดใช้แบบประจำยาม โดย แบ่ง 1/4 ส่วน เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ มุมมองภาพด้านบน และมุมมองภาพตัดขวาง โดยภาพ มุมมองด้านบน ใช้เพื่อศึกษาวิเคราะห์ พื้นผิวหน้า และมุมมองภาพตัดขวาง ใช้เพื่อวิเคราะห์ความลึกของลวดลาย
2. ออกแบบต้นแบบจากต้นแบบดั้งเดิม (รูปแบบที่1) เพื่อใช้สร้างแบบหล่อโดยกำหนดเป็น 7 กลุ่มการทดลอง
3. นำต้นแบบที่ปรับแต่งลวดลาย (รูปแบบที่ 2) สร้างแบบหล่อซิลิโคน
4. นำแบบหล่อซิลิโคนมาหล่อสร้างชิ้นงาน เพื่อนำไปสร้างแบบหล่อซีเมนต์




**รูปที่ 3** แสดงขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานต้นแบบ
ที่มา: ผู้วิจัย (2561)

ต้นแบบชิ้นงานปรับรูปแบบ (รูปแบบที่ 2) จากต้นแบบเดิม ปรับลักษณะลวดลายในแนวตั้งโดยนำต้นแบบแรกมาปรับแต่ง ด้วยวิธี ขูด ขัด และเติม โดยคงรูปแบบลวดลาย มุมมองภาพด้านบน ไว้ โดยการปรับชิ้นงาน แบบ A-D คือ การปรับความเอียง ขูดร่องให้มน ขัดหน้าให้แบน และใส่น้ำปูนเพื่อลดความลึกร่อง ตามลำดับ ชิ้นงานแบบ E เป็นการปรับด้วยเทคนิค A-C รวมกัน ชิ้นงานแบบ F เป็นการปั้นใหม่โดยช่างผู้ออกแบบต้นแบบแรกโดยใช้แนวคิดการปั้นนูนต่ำ และแบบ G คือ แบบดั้งเดิม (รูปแบบที่1)

เมื่อออกแบบครบ ทั้ง 7 แบบ ทำการถ่ายภาพ มุมมองภาพตัดขวาง และนำมาปรับระดับความแตกต่างภาพ (Contrast) + 200% เพื่อให้ได้ลายเส้นที่ชัดเจนสำหรับการเขียนแบบเพื่อใช้วิเคราะห์เปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 1.3** แสดงลักษณะต้นแบบชิ้นงาน 7 แบบ

| แบบ | มุมมองภาพตัดขวาง | | | มุมมองภาพด้านบน |
|---|---|---|---|---|
| | ภาพถ่าย | ลายเส้น | เปรียบเทียบลายเส้น รูปแบบที่1 -2 | |
| A | | | | |
| ลักษณะ | เพิ่มความเอียงร่องลาย (ให้ถอดแบบได้ง่าย) | | | |
| B | | | | |
| ลักษณะ | ขูดร่องลายให้มน (ลดความแหลมของร่อง) | | | |
| C | | | | |
| ลักษณะ | ขัดผิวหน้า (ลดความลึกลาย) | | | |
| D | | | | |
| ลักษณะ | ใส่น้ำปูนลงตามร่องลาย (ลดความลึกลาย) | | | |
| E | | | | |
| ลักษณะ | ขัดแต่งตามความชำนาญช่าง (เพิ่มความเอียง/ลดความลึก) | | | |
| F | | | | |
| ลักษณะ | ปั้นใหม่ ให้แบน (ยึดลายเส้นตามเดิม) | | | |
| G | | | | |
| ลักษณะ | ลายดั้งต้น (คงเดิม)รูปแบบที่ 1 | | | |

ที่มา: ผู้วิจัย (2560)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 1.4** แสดงการทำแบบหล่อซิลิโคนด้วยต้นแบบ 7 แบบ

| การทำแบบหล่อซิลิโคน | | | |
|---|---|---|---|
| ภาพประกอบ | | | |
| ขั้นตอน | ทาสบู่ที่ชิ้นงานเพื่อให้ถอดแบบได้ง่าย | ใช้ดินน้ำมันกั้นเป็นแนวสำหรับเทแบบ | เทซิลิโคนเหลวลงในแบบ |
| ภาพประกอบ | | | |
| ขั้นตอน | ใช้ผ้าตาข่ายวางเพื่อเสริมความเหนียว | เทซิลิโคนทับอีกรอบ | สลักซิลิโคน1ลบ.ซม.วางลงในแบบ |
| ภาพประกอบ | | | |
| ขั้นตอน | ตัดแต่งขอบผ้าตาข่ายส่วนเกิน | ทาซิลิโคนเหลวรอบที่3แล้วทิ้งไว้1ชม | ผสมปูนปลาสเตอร์และกากมะพร้าว |
| ภาพประกอบ | | | |
| ขั้นตอน | เทปูนปลาสเตอร์ลงในแบบหนา3ซม | ปั้นแต่งฐานทั้งสามมุมหนา2ซม. | ทิ้งไว้15นาที ตัดแต่งขอบด้วยมีด |
| ภาพประกอบ | | | |
| ขั้นตอน | แกะชิ้นงานออกจากแบบหล่อ | ใช้กรรไกรตัดแต่งแบบ ขอบส่วนเกิน | ใช้พู่กันแห้งและปืนลมทำความสะอาด |

ที่มา: ผู้วิจัย (2560)

เมื่อถอดชิ้นงานออกจากแบบหล่อซิลิโคน ต้องทำความสะอาดชิ้นงานต้นแบบและเก็บรักษาไว้ ใช้แบบหล่อที่ได้หล่อชิ้นงานด้วยปูนปลาสเตอร์เพื่อนำมาใช้ในการสร้างแบบหล่อซีเมนต์ โดยทำซ้ำ 2 ครั้ง (ทำสำรองเผื่อเกิดข้อผิดพลาด) ชิ้นงานปูนปลาสเตอร์ที่หล่อเสร็จ ทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง เพื่อให้แข็งตัวจึงนำมาใช้เป็นต้นแบบในการสร้างแบบหล่อซีเมนต์ในกระบวนการต่อไป

ข้อเสนอแนะในขั้นตอนทำแบบหล่อซิลิโคน จำเป็นต้องทำบล็อกปูนปลาสเตอร์เป็นฐานไว้รองแบบหล่อซิลิโคน เนื่องจาก ซิลิโคนมีคุณสมบัติเป็นยาง จะเสียรูปเมื่อรับน้ำหนัก การทำแป้นปูนเพื่อเป็นฐานรองรับแบบหล่อซิลิโคน จะช่วยพยุงไม่ให้แบบบิดเบี้ยวไปตามน้ำหนักวัสดุหล่อที่กดลง ข้อควรระวังต้องถอดชิ้นงานเมื่อแห้งสนิทโดยทิ้งเวลาไว้อย่างน้อย 30 นาที เพื่อให้ชิ้นงานไม่เกิดการบิ่นที่ปลายขณะถอดแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 1.5** แสดงการทำแบบหล่อซีเมนต์ด้วยต้นแบบปูนปลาสเตอร์

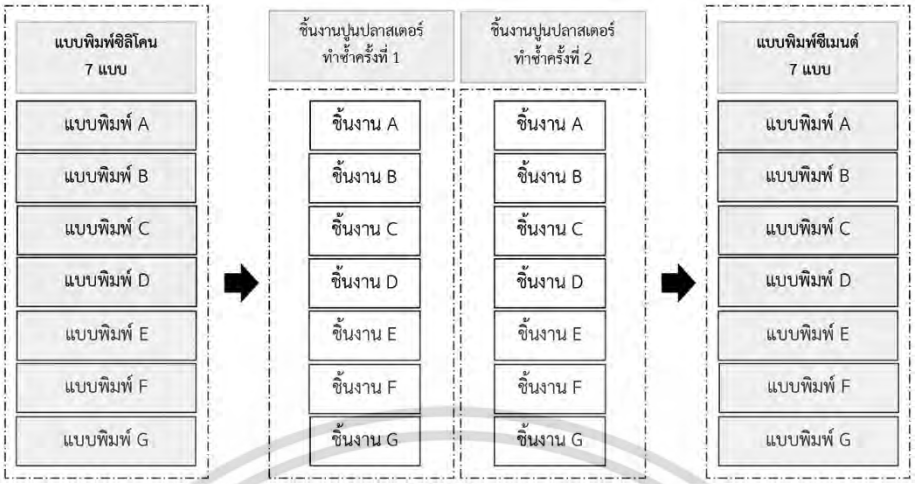
| การทำแบบหล่อซีเมนต์ด้วยต้นแบบปูนพลาสเตอร์ | | | |
|---|---|---|---|
| ภาพประกอบ | | | |
| ขั้นตอน | เตรียมไม้แบบสำหรับเทคอนกรีต | ทาสบู่ที่ชิ้นงาน | วางไม้แบบลงบนไม้กระดาน |
| ภาพประกอบ | | | |
| ขั้นตอน | วางชิ้นงานลงในไม้แบบ | ทำน้ำปูนซีเมนต์ที่ชิ้นงานให้ทั่ว | เทคอนกรีตลงในไม้แบบให้เต็ม |
| ภาพประกอบ | | | |
| ขั้นตอน | ปาดแต่งผิวให้เรียบ | ใช้หัวสั่นจี้คอนกรีต เพื่อไล่ฟองอากาศ | ทิ้งไว้ให้คอนกรีตแข็งตัว 24 ชม |
| ภาพประกอบ | | | |
| ขั้นตอน | แกะไม้แบบออกจากแบบหล่อ | เจียแต่งผิวหน้า | ล้างฝุ่นด้วยน้ำ |
| ภาพประกอบ | | | |
| ขั้นตอน | ใช้สิ่วแกะปูนปลาสเตอร์ทั้งหมด | แกะปูนปลาสเตอร์ออกจากแบบหล่อ | ชิ้นงานเคาะออกจากแบบหล่อไม่ได้ |

ที่มา: ผู้วิจัย (2560)

เลือกใช้ปูนซีเมนต์มอตาร์ (ปูนทราย เรียกอีกชื่อ ว่า ปูนสำเร็จรูป ผสมน้ำแล้วสามารถใช้ได้เลย) เพื่อให้ได้เนื้อซีเมนต์ที่ละเอียดและไหลเข้าแบบได้ดี ในขั้นตอนการเทซีเมนต์ จำเป็นต้องใช้พู่กันทาให้ทั่วเพื่อช่วยให้ น้ำปูนซีเมนต์เข้าไปในร่องลวดลายได้ทั่วถึง เมื่อทาทั่วจึงเทคอนกรีตลงในไม้แบบ การสั่น ด้วย Vibrator จำเป็นต้องทำทันทีหลังการเทคอนกรีต เพื่อช่วยไล่ฟองอากาศที่เกาะกับพื้นผิวต้นแบบ โดยการจี้ที่เนื้อคอนกรีตและแผ่นกระดาน โดยใช้เวลาจี้ 20 นาที แล้วทิ้งไว้ให้แห้งใช้เวลา 24 ชั่วโมง

ปัญหาที่พบขั้นตอนการถอดแบบ คือ ไม่สามารถถอดชิ้นงานออกจากแบบได้ด้วยการเคาะตามกระบวนการที่วางไว้ จำเป็นต้องพรมน้ำให้ชิ้นงานปูนปลาสเตอร์อมน้ำแล้วจึงค่อยๆ แซะออกด้วยสิ่วขนาดเล็ก ซึ่งใช้เวลามาก 2-4 ชั่วโมงต่อชิ้นงาน และเกิดความเสียหายต่อลวดลายบางส่วนจากแรงกระแทกของสิ่ว

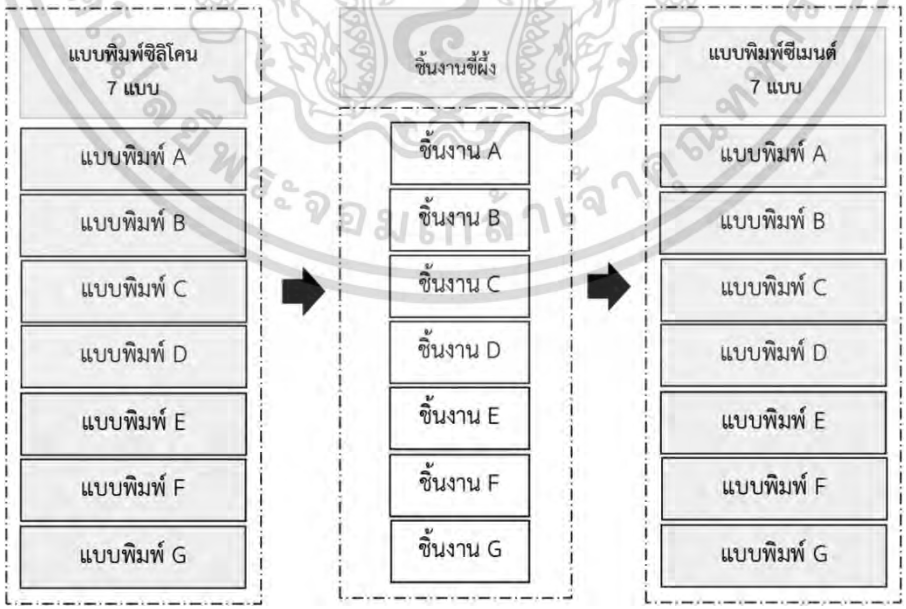
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 4** แสดงการใช้ต้นแบบชิ้นงานจากแบบหล่อซิลิโคนเพื่อสร้างแบบหล่อซีเมนต์
ที่มา: ผู้วิจัย (2561)

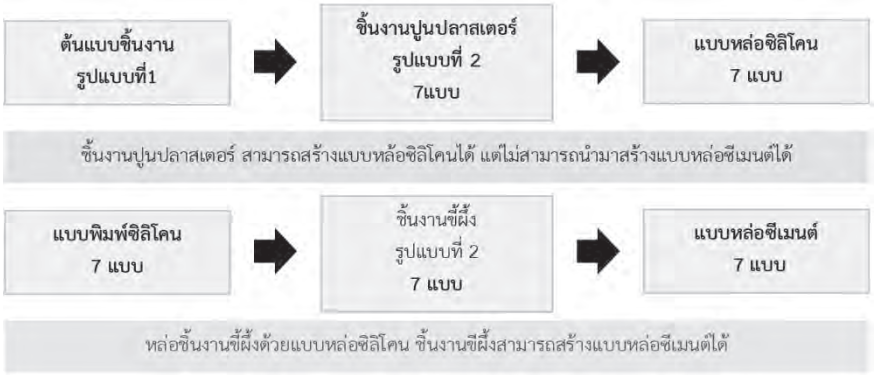
กระบวนการทำแบบหล่อซีเมนต์ด้วยต้นแบบปูนปลาสเตอร์ พบปัญหาความเสียหายของแบบหล่อในขั้นตอนการถอดแบบชิ้นงานดังที่กล่าวไว้ข้างต้น เมื่อแบบหล่อซีเมนต์เกิดร่องรอยที่ลวดลายจากสิ่วจึงไม่สามารถนำมาใช้เป็นแบบหล่อเพื่อทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

ผู้วิจัย จึงปรับวิธีการสร้างแบบหล่อซีเมนต์โดยใช้ขี้ผึ้งเป็นวัสดุในการทำต้นแบบ เพราะขี้ผึ้งสามารถต้มให้เหลวและนำไปเทลงในแบบซิลิโคน เมื่อทิ้งไว้สามารถแข็งตัวคงรูปได้ ด้วยคุณสมบัติมีความแข็งตัวที่อุณหภูมิห้องแต่มีความยืดหยุ่น (คุณสมบัติคล้ายดินน้ำมันแต่มีความแข็งกว่า) จึงเหมาะสำหรับเป็นวัสดุใช้ขึ้นรูปแบบหล่อซีเมนต์และสามารถแกะออกจากแบบหล่อได้โดยไม่ทำให้แบบหล่อเกิดความเสียหาย




**รูปที่ 5** แสดงการใช้ต้นแบบชิ้นงานขี้ผึ้งเพื่อสร้างแบบหล่อซีเมนต์
ที่มา: ผู้วิจัย (2561)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 6** แสดงการใช้ต้นแบบชิ้นงานปูนปลาสเตอร์และขี้ผึ้งเพื่อสร้างแบบหล่อซิลิโคนและแบบหล่อซีเมนต์
ที่มา: ผู้วิจัย (2561)

**ตารางที่ 1.6** ตารางแสดงขั้นตอนการทำแบบหล่อซีเมนต์ด้วยต้นแบบขี้ผึ้ง

| การทำแบบหล่อซิเมนต์ด้วยต้นแบบขี้ผึ้ง | | | |
|---|---|---|---|
| ภาพประกอบ | | | |
| ขั้นตอน | ทำความสะอาดเตรียมแบบหล่อซิลิโคน | ต้มขี้ผึ้งและเทขี้ผึ้งเหลว | เทขี้ผึ้งเหลวให้เต็มแบบหล่อ |
| ภาพประกอบ | | | |
| ขั้นตอน | ทิ้งไว้3 ชม.แกะชิ้นงานออกจากแบบ | ทำความสะอาดชิ้นงาน | เขียนสลักหลังแบบชิ้นงาน |
| ภาพประกอบ | | | |
| ขั้นตอน | วางชิ้นงานลงบนแผ่นสมาร์ทบอร์ด | ทำปูนซีเมนต์ด้วยแปรงให้ทั่วชิ้นงาน | ใช้เกียงตักปูนซีเมนต์ลงบนชิ้นงาน |
| ภาพประกอบ | | | |
| ขั้นตอน | แต่งแบบหล่อให้เข้ารูปทรงสามเหลี่ยม | ทำให้ครบทั้ง 7 แบบ | ทิ้งไว้24 ชม.สลักหลังไว้ที่แบบหล่อ |
| ภาพประกอบ | | | |
| ขั้นตอน | เริ่มแกะชิ้นงานออกจากแบบหล่อ | ทำความสะอาดแบบหล่อ | ทาน้ำมันเครื่องเคลือบแบบหล่อ |

ที่มา: ผู้วิจัย (2560)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ขี้ผึ้งเป็นวัสดุของชิ้นงานตั้งต้น ได้ผลออกมาตรงตามจุดประสงค์ที่ต้องการ คือ มีความเหลวเพียงพอที่ไหลลงแบบหล่อซิลิโคนได้ และเมื่อทิ้งให้แข็งตัวสามารถแกะออกจากแบบโดยได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์และไม่เกิดความเสียหายต่อแบบหล่อซิลิโคน

เมื่อนำชิ้นงานขี้ผึ้ง ที่หล่อเสร็จแล้วมาสร้างแบบหล่อซีเมนต์ ชิ้นงานขี้ผึ้งมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะรับน้ำหนักกดทับจากปูนซีเมนต์โดยไม่เสียรูป ทำให้ได้ลวดลายที่ตรงตามแบบตั้งต้น และด้วยความยืดหยุ่นมีความเหนียวในตัวเอง จึงสามารถแกะขี้ผึ้งออกจากแบบหล่อซีเมนต์ได้โดยไม่ทำให้แบบหล่อเสียหาย

## 7. ผลการวิจัย

กระบวนการทำแบบหล่อ ทั้ง 3 ครั้งด้วย วัสดุที่ต่างกัน ผลของขั้นตอนที่ 1 แบบชิ้นงานทั้ง 7 แบบ สามารถสร้างแบบหล่อซิลิโคนได้ โดยชิ้นงานปูนปลาสเตอร์และแบบหล่อซิลิโคน ไม่เกิดความเสียหายในขั้นตอนถอดแบบ ผลของขั้นตอนที่ 2 สามารถเทแบบหล่อชิ้นงานทั้ง 7 แบบได้ แต่มีปัญหาในขั้นตอนการถอดแบบ ไม่สามารถถอดแบบชิ้นงานออกจากแบบหล่อได้ จำเป็นต้องใช้สิ่วเซาะชิ้นงาน ทำให้ชิ้นงานพังทั้งชิ้น และแบบหล่อซีเมนต์เกิดความเสียหายบางส่วน การเปลี่ยนวัสดุชิ้นงานจากปูนปลาสเตอร์เป็นขี้ผึ้ง ชิ้นงานที่ถอดออกมาเกิดความเสียหายแต่ได้แบบหล่อซีเมนต์ที่สมบูรณ์

**ตารางที่ 1.7** ตารางแสดงการประเมินสภาพชิ้นงานและแบบหล่อหลังจากถอดแบบ

| Type | แบบหล่อซิลิโคน | ประเมินสภาพ | | แบบหล่อซีเมนต์ | ประเมินสภาพ | | แบบหล่อซีเมนต์ | ประเมินสภาพ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ต้นแบบปูนปลาสเตอร์ | ชิ้นงาน | แบบหล่อ | ต้นแบบปูนปลาสเตอร์ | ชิ้นงาน | แบบหล่อ | ต้นแบบขี้ผึ้ง | ชิ้นงาน | แบบหล่อ |
| A | | ✓ | ✓ | | × | × | | × | ✓ |
| B | | ✓ | ✓ | | × | × | | × | ✓ |
| C | | ✓ | ✓ | | × | × | | × | ✓ |
| D | | ✓ | ✓ | | × | × | | × | ✓ |
| E | | ✓ | ✓ | | × | × | | × | ✓ |
| F | | ✓ | ✓ | | × | × | | × | ✓ |
| G | | ✓ | ✓ | | × | × | | × | ✓ |

หมายเหตุ: ✓ ประเมินสภาพว่าสมบูรณ์ × ประเมินสภาพว่า เกิดความเสียหาย

ที่มา: ผู้วิจัย (2560)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 8. ผลสรุปและข้อเสนอแนะ

การทดสอบออกแบบประจำยาม (ต้นแบบจากโบสถ์วัดสวนสันติธรรม) โดยการ ปรับจากต้นแบบ (Revolution 1st) เป็นต้นแบบใหม่ (Revolution 2nd) รวมทั้งหมด 7 แบบ Type A-G โดยยึดลักษณะลวดลายมุมมองภาพด้านบน ให้คงเดิม สามารถสร้างแบบหล่อซิลิโคนได้ทั้ง 7 แบบ ซึ่งได้ชิ้นงานและแบบหล่อที่สมบูรณ์ตรงข้ามกับการสร้างแบบหล่อซีเมนต์ด้วยปูนพลาสเตอร์ เกิดความเสียหาย ทั้ง 7 แบบ โดยไม่สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้อีกทั้งชิ้นงานและแบบหล่อซีเมนต์ จึงนำผลมาวิเคราะห์ต่อจำเป็นต้องเลือกใช้วัสดุที่มีความยืดหยุ่น เพื่อสร้างแบบหล่อซีเมนต์ โดยไม่ยืดหยุ่นหรืออ่อนตัวจนเกิดไป เพราะจำเป็นต้องสามารถรับแรงกดจากวัสดุหล่อ ไม่ให้เกิดการเสียรูปร่าง การเลือกใช้ขี้ผึ้งทำชิ้นงาน สามารถสร้างแบบหล่อซีเมนต์ได้ ไม่เกิดความเสียหายที่แบบหล่อในขั้นตอนการถอดแบบแต่เกิดการเสียหายบางส่วนที่ชิ้นงาน

ปัจจัยที่มีผลสำคัญต่อชิ้นงานและแบบหล่อ คือ ความแข็งและความยืดหยุ่น โดยวัสดุชิ้นงานปูนปลาสเตอร์ คือกลุ่มที่แข็งเปราะ (Inflexible) และขี้ผึ้งคือกลุ่มที่มีความยืดหยุ่น (Flexible) ส่วนวัสดุแบบหล่อซิลิโคน คือ กลุ่มที่มีความยืดหยุ่น (Flexible) และซีเมนต์ คือกลุ่มที่แข็งและเปราะ (Inflexible) สรุปได้ว่าการสร้างแบบหล่อซิลิโคนสามารถสร้างได้ด้วยวัสดุชิ้นงานทั้งที่มีความยืดหยุ่นและไม่มีความยืดหยุ่น แต่จำเป็นต้องมีฐานรองแบบซิลิโคนเพื่อกันการเสียรูป แต่การสร้างแบบหล่อซีเมนต์ต้องสร้างจากวัสดุชิ้นงานที่มีความยืดหยุ่นเท่านั้น แต่ไม่จำเป็นต้องมีฐานรองแบบหล่อ

**ตารางที่ 1.8** ตารางแสดงคุณสมบัติวัสดุชิ้นงานและวัสดุแบบหล่อที่มีผลต่อการทำแบบหล่อ

| วัสดุชิ้นงาน | วัสดุแบบหล่อ | ฐานรองแบบหล่อ | ประเมินสภาพหลังถอดแบบ | |
|---|---|---|---|---|
| | | | สภาพชิ้นงาน | สภาพแบบหล่อ |
| Inflexible (ปูนพลาสเตอร์) | Flexible (ซิลิโคน) | มี | ✓ | ✓ |
| | | ไม่มี | × | × |
| Inflexible (ปูนพลาสเตอร์) | Inflexible (ซีเมนต์) | ไม่มี | × | × |
| Flexible (ขี้ผึ้ง) | Flexible (ซิลิโคน) | มี | ✓ | ✓ |
| | | ไม่มี | × | × |
| Flexible (ขี้ผึ้ง) | Inflexible (ซีเมนต์) | ไม่มี | × | ✓ |

ที่มา: ผู้วิจัย (2561)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง


ภิญโญ สุวรรณคีรี. (2541). **ลายไทย**. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สันติ เล็กสุขุม. (2553). **พัฒนาการของลายไทย. กรุงเทพฯ**: เมืองโบราณ.

ชัชวาลย์ เศรษฐบุตรและคณะ. (2548). **ปูนซีเมนต์และการประยุกต์ใช้งาน**. กรุงเทพฯ: บริษัทสยามวิจัยและพัฒนาจำกัด บริษัทในเครือปูนซีเมนต์ไทย.

ปริญญา จินดาประเสริฐ และ รศ.ดร.ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2547). **ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีต**. กรุงเทพฯ: สมาคมคอนกรีตไทย Thai Concrete Association.

ปิติ สุคนธสุกุล. (2556). **คอนกรีต**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์วรรณกวี

จิรายุทธ์ จันทร์นวล. (2558). **การทดสอบความคงทนของปูนตำผสมใยแก้ว**, วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

E.I.T.Standard 1014-46: ข้อกำหนดมาตรฐานวัสดุและการก่อสร้างสำหรับโครงสร้างคอนกรีต, คณะอนุกรรมการคอนกรีตและวัสดุ คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์.

Portland Cement Association." Design and Control of Concrete Mixtures: Portland, Blendedand other Hydraulic Cement". Concrete Information, 2022.

มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย ด้วยการพินิจ มยพ. 1501-51.

มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย วิธีต่างๆ มยพ. 1501-1507.

มาตรฐานการทดสอบวัสดุในงานคอนกรีต มยพ. 1201-1212.

มาตรฐานงานคอนกรีตเมื่อพิจารณาความคงทนและอายุการใช้งาน มยผ. 1332.

ASTM C 91-03 : Specification for Masonry Cement.

ASTM C 595-02 : Specification for Blended Hydraulic Cement.

ASTM C 309 : 2003 : Standard Specification for Liquid Membrane-Forming Compounds for Curing.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ประวัติผู้วิจัย


**ชื่อ และ นามสกุล** นาย ฐปนา กล้าตลุมบอน

**วัน/เดือน/ปี เกิด** 26 ตุลาคม 2527

**ที่อยู่** 165/13 ถนนมาตุลี ตำบลปากน้ำโพ อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์

**ติดต่อ** 094-905-9140 ; Togstu71@gmail.com


**ประวัติการศึกษา**

| | |
|---|---|
| 2546 - 2552 | สถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมไทย คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย |
| 2560 - 2561 | สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |

**ประสบการณ์การทำงาน**

| | |
|---|---|
| 2552-2555 | บริษัท อินเตอร์เนชั่นแนลโพรเจคแอดมินิสเตรชั่น จำกัด (INTER PAC) |
| 2555-2558 | ธุรกิจส่วนตัว |
| 2558-2561 | บริษัท พิลล่าร์ อาร์คิเทคส์ แอนด์ แอสโซซิเอทส์ จำกัด (PILLAR) |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้