บทที่ 4
ผลการวิจัย

ในบทนี้จะบรรยายถึงการดำเนินการและผลการวิจัยในแต่ละขั้นตอนประกอบด้วย การศึกษาที่มาของปัญหาการรั่วซึมของน้ำฝนของกระเบื้องมุงหลังคาดินขอ การเพิ่มความยาวของกระเบื้องมุงหลังคาดินเผา การออกแบบรูปทรงและลวดลายของกระเบื้องมุงหลังคาดินเผา การวิเคราะห์ราคาค่าดำเนินการเปรียบเทียบกับวัสดุมุงหลังคาชนิดอื่น และการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการผลิต ซึ่งผลการวิจัยมีรายละเอียดตามลำดับดังนี้

4.1 การศึกษาที่มาของปัญหาการรั่วซึมของน้ำฝนของกระเบื้องมุงหลังคาดินขอ

การศึกษาที่มาของปัญหาการรั่วซึมของน้ำฝนของกระเบื้องมุงหลังคาดินขอ มีวัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย เพื่อให้ทราบถึงที่มาของปัญหาการรั่วซึมของน้ำฝนสำหรับการใช้งานกระเบื้องมุงหลังคาดินขอ ได้ทำการทดสอบการรั่วซึมของน้ำฝนกับกระเบื้องมุงหลังคาดินขอ 3 ชนิดด้วยกัน ดังนี้

ก. กระเบื้องดินขอล้านนา ขนาด 10 ซม. x 20 ซม. (ผิวเรียบ 2 ด้าน) จำนวน 1 ตารางเมตร

ภาพที่ 4.1 กระเบื้องมุงหลังคาดินขอชนิดผิวเรียบ 2 ด้าน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข. <u>กระเบื้องดินขอ จศ.</u> ขนาด 10 ซม. x 20 ซม. (ผิวหน้าเรียบ ผิวด้านหลังเป็นลายตาราง) จำนวน 1 ตารางเมตร

<u>ภาพที่ 4.2</u> กระเบื้องมุงหลังคาดินขอ(จศ.)

ค. <u>กระเบื้องดินขอล้านนา</u> (ผิวหน้าเรียบ ผิวด้านหลังเป็นลายเส้นตรง) ขนาด 10 ซม. x 20 ซม. จำนวน 1 ตารางเมตร

<u>ภาพที่ 4.3</u> กระเบื้องมุงหลังคาดินขอ(ผิวหน้าเรียบ ด้านหลังเป็นลายทาง)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กระเบื้องแต่ละชนิดมีความยาวเท่ากันคือ 20 ซม. การหาระยะห่างระหว่างแปหรือกลอน (Spacing of Batten) สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

ระยะแป = ความยาวของกระเบื้อง ─ ระยะซ้อนทับด้านบน

ระยะแป = 20 ซม. ─ 7 ซม.

เพราะฉะนั้นระยะแป = 13 ซม.

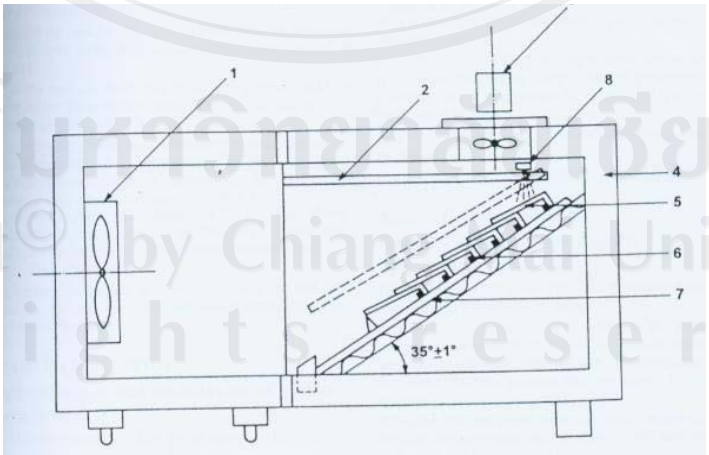
4.1.1 ขั้นตอนการทดสอบ

การทดสอบการรั่วซึมของน้ำฝนสำหรับหลังคากระเบื้องดินขอ ได้กำหนดตัวแปรสำหรับการทดสอบไว้เหมือนกันกับกระเบื้องทั้ง 3 ชนิดดังนี้

ก. ความเร็วลม	8 ม./วินาที
ข. ความชันหลังคา	45 องศา
ค. อัตราการปล่อยน้ำ	15 ลิตร/นาที
ง. ระยะแป	13 ซม.
จ. ระยะ Head lapping	7 ซม.
ฉ.ระยะเวลาการทดสอบ	5 นาที

ช.ใช้การมุงหลังคาแบบ Crown tilling หรือการมุงหลังคาแบบล้านนา

การทดสอบนี้ ได้จำลองการทดสอบมาจากการทดสอบความสามารถต่อในการป้องกันความเสียหายจากความเย็นที่กระทำบนพื้นผิวของแผ่นกระเบื้อง ที่ต้องทำกับเครื่องมือที่สามารถควบคุมความเร็วลมและอุณหภูมิได้ดังแสดงในภาพ 4.4



ภาพที่ 4.4 การทดสอบความสามารถต่อในการป้องกันความเสียหายจากความเย็น (European Standard EN 1024)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดสอบในครั้งนี้ใช้พัดลมขนาดใหญ่พัดเข้ากับผืนกระเบื้องมุงหลังคาดินจำนวน 1 ตารางเมตร เมื่อใช้เครื่องมือวัดความเร็วลมสามารถวัดความเร็วลมได้เท่ากับ 28.8 กม./ชม. คือเท่ากับ 8 ม./วินาที และใช้น้ำพ่นเพื่อเลียนแบบฝนตกโดยให้ลมพัดน้ำดังกล่าวไปปะทะกับผืนหลังคาที่ได้จัดเตรียมไว้ ดังแสดงในภาพที่ 4.5

ภาพที่ 4.5 แสดงพัดลมและผืนหลังคากระเบื้องดินขอ

ภาพที่ 4.6 เครื่องมือวัดความเร็วลม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.2 การเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูล ใช้การสังเกตรอยของน้ำที่ปรากฏบนกระเบื้องมุงหลังคา ที่เกิดจากการไหลย้อนและแรงตึงผิว นอกจากนี้ยังต้องสังเกตหยดน้ำที่เกิดขึ้นทางด้านหลังของกระเบื้องด้วยว่าเกิดการรั่วซึมขึ้นหรือไม่ ซึ่งมายละเอียดดังต่อไปนี้

1. กระเบื้องมุงหลังคาดินขอชนิดเรียบ 2 ด้าน

กระเบื้องมุงหลังคาดินขอชนิดเรียบ 2 ด้านเป็นกระเบื้องมุงหลังคาที่ผลิตจากการขึ้นรูปด้วยเครื่องจักร ทำให้มีรูปร่าง ขนาด และรูปทรงที่ค่อนข้างสม่ำเสมอกันทุกแผ่น มีการบิดงอเล็กน้อย ทำให้ลวดลายหลังการมุหลังคามีความสวยงาม ดังแสดงในภาพที่ 4.7

ภาพที่ 4.7 การมุงหลังคากระเบื้องมุงหลังคาดินขอชนิดเรียบ 2 ด้าน

ภาพที่ 4.8 การพ่นน้ำกระทบผืนหลังคาชนิดเรียบ 2 ด้าน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภายหลังการทดสอบ 5 นาทีพบว่า เกิดหยดน้ำด้านหลังแผ่นกระเบื้อง บริเวณที่กระเบื้องมีการบิดงอ 1 แห่ง เกิดจากการที่ลมพัดย้อนขึ้นมาแล้วตามด้วยแรงตึงผิวของวัสดุ ที่ช่วยกันดึงน้ำขึ้นมา เมื่อทำการเปิดกระเบื้องแถวที่ 3 จากด้านบน พบหยดน้ำเกาะใต้แผ่นกระเบื้องไหลออกมา เมื่อยกกระเบื้องออก แสดงว่าเกิดแรงตึงผิวเป็นตัวดึงน้ำขึ้นมา สูงจากระยะซ้อนทับด้านบนประมาณ 5 ซม.ซึ่งพบว่าเกิดหลายจุดบนกระเบื้องหลังคาชนิดดังกล่าว

ภาพที่ 4.9 แสดงรอยน้ำที่เกิดขึ้นใต้แผ่นกระเบื้องจากแรงตึงผิว

ภาพที่ 4.10 รอยหยดน้ำที่ค้างอยู่หลายจุดตามแผ่นกระเบื้อง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. กระเบื้องมุงหลังคาดินขอ จศ.

กระเบื้องมุงหลังคาดินขอ จศ. มีขนาดและรูปทรงไม่สม่ำเสมอกัน ซึ่งอาจเกิดจากความแข็งแรงของเนื้อดิน อุณหภูมิของการเผา และขั้นตอนการผึ่งกระเบื้องก่อนเข้าเตาเผา เมื่อดำเนินการมุงหลังคาแล้ว เกิดการบิดงอมากกว่าแบบแรก กระเบื้องปูไม่ได้แนวที่สวยงาม พบว่าเกิดรอยร้าว แตกลายงา เนื้อดินไม่เต็มแผ่นกระเบื้อง ทั้งด้านหน้าและด้านหลัง

ภาพที่ 4.11 การมุงหลังคากระเบื้องมุงหลังคาดินขอ ชนิด จศ.

ภาพที่ 4.12 กระเบื้องมีการบิดงอ เกิดช่องว่างหลายแห่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หลังการทดสอบพบว่า เกิดรอยหยดน้ำหลังกระเบื้อง แต่เมื่อเปิดกระเบื้องดูพบว่า เกิดหยดน้ำใต้กระเบื้องหลายจุด ทั้งนี้เกิดจากลมพัดย้อนเข้ามาตามรอยต่อที่ห่างกันมากของกระเบื้อง นอกจากนั้นยังพบว่าเกิดรอยน้ำเป็นแนวยาวตามแนวลายของกระเบื้อง เหนือระยะซ้อนทับด้านบนราว 5 ซม.เช่นกัน

ภาพที่ 4.13 การพ่นน้ำกระทบผืนหลังคาชนิด จศ.

ภาพที่ 4.14 แสดงรอยน้ำที่เกิดขึ้นใต้แผ่นกระเบื้องจากแรงลมพัดย้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. กระเบื้องดินขอล้านนา ชนิดผิวหน้าเรียบ ผิวด้านหลังเป็นลายเส้นตรง

กระเบื้องชนิดนี้ เป็นกระเบื้องชุดที่อยู่ใกล้ผิวล่างของเตาเผา ทำให้พบว่าเกิดรอยไหม้ดำบริเวณส่วนหัวละส่วนปลายของกระเบื้อง พบการแตกร้าวมาก กระเบื้องบิดมากที่สุดเมื่อเทียบกับทั้ง 3 แบบและมีขนาดและรูปทรงไม่สม่ำเสมอกัน นอกจากนี้ยังเปราะมาก พบกระเบื้องแตกทันที่แกะสายรัดออก

ภาพที่ 4.15 กระเบื้องที่มีรอยไหม้และบิดงอมาก

ภาพที่ 4.16 ลวดลายหลังการมุงไม่เป็นระเบียบเนื่องจากการบิดงอ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภายหลังการทดสอบพบว่า เกิดรอยหยดน้ำใต้กระเบื้องทุกจุดที่กระเบื้องบิดงอ นอกจากนี้ยังพบว่า เกิดลมพัดย้อนพัดพาน้ำไหลย้อนขึ้นมาเหนือระยะซ้อนทับด้านบนประมาณ 5 ซม.เช่นกัน ซึ่งเป็นรอยยาวตามแนวลายหลังกระเบื้อง ซึ่งหมายถึงเกิดจากทั้งลมพัดย้อนและแรงตึงผิวของวัสดุ

4.1.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

การรั่วซึมของน้ำฝนสำหรับการใช้กระเบื้องมุงหลังคาดินขอนั้น เกิดจากสาเหตุต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. <u>ความสม่ำเสมอของขนาดและรูปทรงของแผ่นกระเบื้อง</u>

เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพของวัสดุมุงหลังคาทั้ง 3 ชนิดนั้นพบว่า กระเบื้องดินขอแบบที่ 1 มีขนาดและรูปทรงที่สม่ำเสมอมากที่สุด ที่มาของมีขนาดและรูปทรงไม่สม่ำเสมอกันนั้นเกิดจาก

1.1 ขั้นตอนการผลิต ที่เกิดจากการควบคุมคุณภาพของวัสดุ การทำงานที่ถูกต้อง ตั้งแต่การนำดินไปอัดกับแม่พิมพ์ จนถึงขั้นตอนการนำดินออกจากแม่พิมพ์

1.2 ขั้นตอนการเผา ซึ่งเกิดจากการควบคุมอุณหภูมิที่คงที่ ให้สามารถกระจายความร้อนได้ทั่วถึงกันทั่วเตาเผา จะไม่เกิดกระเบื้องที่ไหม้บริเวณส่วนหัวและส่วนปลายของกระเบื้อง

1.3 คุณภาพของเนื้อวัสดุ

ขนาดและรูปทรงที่ไม่สม่ำเสมอกันของกระเบื้องมุงหลังคานั้น สามารถทำให้เกิดปัญหาในการก่อสร้างที่เป็นต้นเหตุไปสู่การรั่วซึมของหลังคาได้ กล่าวคือ ถ้าหากกระเบื้องมีความกว้างไม่ได้มาตรฐาน ขาดหรือเกินไปเรื่อยๆ แผ่นละ 1- 2 ซม. เมื่อมุงกระเบื้องยาวไปเรื่อย ๆ จะพบว่ารอยต่อระหว่างแผ่นของแถวด้านล่างกับแถวด้านบนจะใกล้กันเรื่อย ๆ จนในที่สุดจะทบกันพอดี ซึ่งตรงจุดนี้จะเกิดการรั่วซึมอย่างแน่นอน นอกจากนั้นแล้วเรื่องความแข็งแรงของวัสดุนั้น ยังผลให้เกิดความเสียหายของวัสดุในทุกขั้นตอนของการทำงาน โดยเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนของการขนส่ง ขั้นตอนการกองเก็บวัสดุ ขั้นตอนการมุงหลังคา ตลอดจนการซ่อมแซมที่ยากลำบาก

2. <u>ลมพัดน้ำฝนย้อนเข้ามาระหว่างรอยต่อของแผ่นกระเบื้อง</u>

ลมพัดน้ำฝนย้อนเข้ามาระหว่างรอยต่อของแผ่นกระเบื้อง เกิดจากความการที่มีรอยทับของกระเบื้องที่มีความห่างมากเกินไป น้ำที่ไหลลงมาจากแผ่นกระเบื้องด้านบนจะถูกลมพัดย้อนเข้าไปในบริเวณซ้อนทับด้านบนจากการทดสอบที่ใช้เวลา 5 นาทียังสามารถเกิดรอยน้ำที่เกิดจากลมพัดย้อนไปได้ไกลถึง 5 - 6 ซม. หากเป็นบ้านที่ก่อสร้างจริงที่มีความกดอากาศใต้หลังคาน้อยกว่าการทดลองด้วยแล้ว การเกิดการรั่วซึมของน้ำฝนจากการกระทำของลมพัดย้อนนั้น ย่อมมีความเสี่ยงมากกว่า จากการทดลองพบว่า กระเบื้องหลังคาที่มีขนาดที่ไม่ได้มาตรฐานมากที่สุด จะมีความเสี่ยงต่อการรั่วซึมจากลมพัดย้อนได้มากกว่ากระเบื้องมุงหลังคาที่มีมีขนาดและรูปทรงไม่สม่ำเสมอกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. แรงตึงผิวระหว่างรอยต่อของวัสดุมุงหลังคา

แรงตึงผิวระหว่างรอยต่อของวัสดุมุงหลังคา เกิดขึ้นจากการที่ผิวของวัสดุมุงหลังคาที่อยู่ชิดกันมากเกิน พร้อมกับการที่พื้นที่ใต้หลังคามีความกดอากาศน้อยกว่าด้านนอก ทั้ง 2 สิ่งจะเป็นตัวดึงน้ำเข้ามาสู่พื้นที่ใต้หลังคาได้ จากการทดสอบพบว่า กระเบื้องมุงหลังคาที่มีความเรียบบริเวณผิวหน้าและพื้นผิวด้านหลัง จะมีความเสี่ยงของการรั่วซึมของน้ำฝนจากแรงตึงผิวระหว่างรอยต่อของวัสดุมุงหลังคา

4. ลมพัดน้ำฝนย้อนเกล็ดกระเบื้องและแรงตึงผิวระหว่างรอยต่อของวัสดุมุงหลังคาเกิดขึ้นพร้อมกัน

การรั่วซึมลักษณะดังกล่าวนี้ เป็นปัจจัยหลักของการรั่วซึมของน้ำฝนสำหรับการใช้กระเบื้องหลังคาดินขอ เนื่องจากการรั่วซึมจากลมพัดย้อนจะได้ระยะทางค่าหนึ่ง เมื่อมาเจอกับส่วนที่ชิดกันมาก น้ำฝนจะถูกดึงต่อไปโดยแรงตึงผิว ซึ่งจะได้ระยะทางและปริมาณน้ำเพียงพอที่จะทำให้เกิดหยดน้ำบริเวณพื้นที่ใต้หลังคาได้

5. ความเที่ยงตรงที่เกิดขึ้นจากโครงสร้างหลังคา

จากการทดลองพบว่า การเตรียมโครงสร้างหลังคา เป็นสิ่งที่สำคัญมาก เนื่องจากถ้าเตรียมโครงสร้างที่ไม่ได้แนวและองศาที่เที่ยงตรง จะทำให้การมุงกระเบื้องหลังคาทำได้ยาก และต้องคอยแก้ปัญหาเป็นจุดไป ซึ่งการเพิ่มหรือการลดระยะใดๆในการแก้ไขนั้น เป็นการเพิ่มระยะต่างๆที่ยังผลให้การมุงหลังคาเกิดการผิดพลาดขึ้นได้ เช่น กระเบื้องกระดก มุงกระเบื้องไม่ได้แนวตรง เป็นต้น สาเหตุต่างๆเหล่านี้ ถือว่าเป็นจุดเริ่มต้นของปัญหาเรื่องการรั่วซึมของหลังคา

6. ความสม่ำเสมอกันของขนาดและรูปทรง

ปัญหาดังกล่าวเป็นตัวแปรที่ทำให้การมุงหลังคาไม่ได้แนวที่เป็นเส้นตรง ทั้งยังสามารถทำให้แนวกระเบื้องแผ่นด้านบนและด้านล่าง มีรอยต่อของกระเบื้องใกล้กันมากเรื่อยๆ จนในที่สุดจะมาพบกันพอดี จะทำให้เกิดรอยรั่วขึ้นได้

7. ระยะซ้อนทับด้านบน

ระยะซ้อนทับด้านบนเป็นอีกตัวแปรที่สามารถช่วยลดหรือเพิ่มอัตราการรั่วซึมของกระเบื้องมุงหลังคาได้ สำหรับกระเบื้องดินขอนั้น การมีระยะซ้อนทับด้านบนมาก จะเป็นการช่วยลดความเสี่ยงของการรั่วซึมของน้ำฝนได้ อีกทั้งถ้าสามารถพัฒนารูปแบบของลายหลังกระเบื้องให้สามารถช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างรอยทับของกระเบื้องหลังคาได้ จะเป็นการช่วยลดระยะซ้อนทับด้านบนและยังช่วยลดความเสี่ยงของการรั่วซึมได้อีกด้วย

จากข้อสรุปที่ได้จากการทดสอบนั้นทำให้พบว่ากระเบื้องมุงหลังคาดินขอแบบดั้งเดิม มีความเสี่ยงต่อการรั่วซึมจากน้ำฝนได้ในหลายกรณี และจากข้อสรุปดังกล่าวนี้เอง จึงเป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แนวความคิดในการพัฒนารูปแบบกระเบื้องมุงหลังคาดินเผาจากเป็นวัสดุมุงหลังคาชนิดแผ่นเรียบ (Flat Tile) ให้กลายเป็นกระเบื้องมุงหลังคาดินเผาชนิดมีระบบบัวดักน้ำ (Interlocking Tile) ด้านข้าง เพื่อไม่ให้น้ำไหลลงไปในช่องระหว่างกระเบื้อง มีระยะซ้อนทับมากพอที่จะไม่เกิดน้ำไหลย้อน และช่วยไม่ให้แผ่นกระเบื้องหลุดปลิว สำหรับปัญหาการบิดงอและความไม่สม่ำเสมอของขนาดนั้น จะไม่ทำการวิจัยในงานนี้เนื่องจากเป็นปัญหาของกระบวนการผลิต สำหรับเรื่องความเที่ยงตรงของโครงสร้างหลังคาก็น่าจะแก้ไขได้ด้วยการควบคุมงานก่อสร้างที่ดี

4.2 การเพิ่มขนาดความยาวและความหนาของกระเบื้องมุงหลังคาดินเผา

การขยายขนาดกระเบื้องจะสามารถทำได้เมื่อความแข็งแรงของกระเบื้องมีมากพอและยังขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่นกระเบื้องด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ สามารถคำนวณหาความหนาของกระเบื้องได้จากสมการ (2.1)

การที่จะขยายขนาดกระเบื้องมุงหลังคาดินเผาได้นั้นจำเป็นต้องทราบค่าความแข็งแรงหรือค่าโมดูลัสแตกหักของกระเบื้องมุงหลังคาดินขอที่มีขายกันอยู่ทั่วไปก่อน จึงเป็นที่มาของการทดสอบเพื่อหาค่ากำลังรับแรงดัดหรือบางครั้งเรียกว่าโมดูลัสแตกหัก (Modulus of Rupture) ของกระเบื้องมุงหลังคาดินขอ กระเบื้องชนิดดังกล่าวที่มีขายอยู่ทั่วไปนั้นสามารถแยกออกมาเป็น 2 ชนิดใหญ่ด้วยกันคือ กระเบื้องมุงหลังคาดินขอชนิดเผาด้วยเตาฟืนและเตาแก๊ส ซึ่งมีลายระเอียดและขั้นตอนการทดสอบดังนี้

4.2.1 การหาค่าโมดูลัสแตกหัก (Modulus of Rupture) ของกระเบื้องมุงหลังคาดินขอ

การหาค่าโมดูลัสแตกหัก (Modulus of Rupture) ของกระเบื้องมุงหลังคาดินขอ เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าโมดูลัสการแตกหักของกระเบื้องมุงหลังคาดินขอทั้งสองชนิด โดยตัวอย่างกระเบื้องมุงหลังคาดินขอที่นำมาทดสอบมีดังนี้

1. กระเบื้องมุงหลังคาดินขอชนิดเผาด้วยเตาฟืน 4 แบบ จำนวนแบบละ 15 แผ่น ได้แก่

ก. กระเบื้องแผ่นเรียบ 2 ด้าน ขนาด กว้าง 110.84 มม. ยาว 213.40 มม. หนา 10.92 มม.

ข. กระเบื้อง จศ. ขนาด กว้าง 131.86 มม. ยาว 216.60 มม. หนา 11.66 มม.

ค. กระเบื้องลายทางยาว01 ขนาด กว้าง 121.56 มม. ยาว 202.40 มม. หนา 11.75 มม.

ง. กระเบื้องลายทางยาว02 ขนาด กว้าง 123.94 มม. ยาว 196.0 มม. หนา 11.56 มม.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 4.17 กระเบื้องมุงหลังคาดินขอชนิดเผาด้วยเตาฟืน

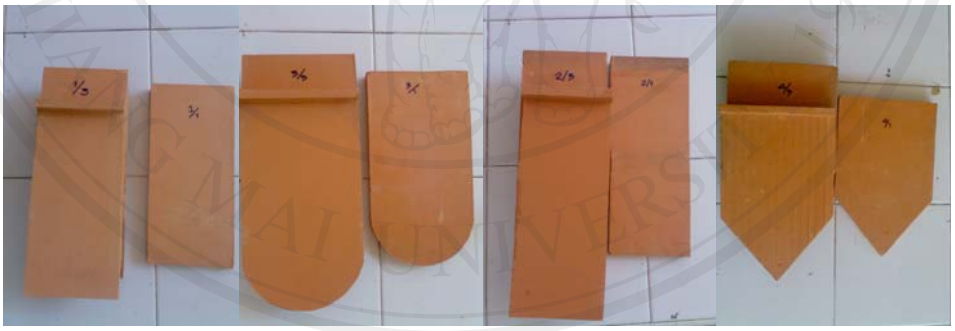
2. กระเบื้องมุงหลังคาดินขอชนิดเผาด้วยเตาแก๊ส 4 แบบ จำนวนแบบละ 15 แผ่นได้แก่

ก. กระเบื้องแผ่นสั้นเรียบ 2 ด้าน ขนาด กว้าง 102.28 มม. ยาว 220.60 มม. หนา 11.20 มม.

ข. กระเบื้องแผ่นยาวเรียบ 2 ด้าน ขนาด กว้าง 103.00 มม. ยาว 252.2 มม. หนา 12.62 มม.

ค. กระเบื้องปลายมน ขนาด กว้าง 132.30 มม. ยาว 195.60 มม. หนา 11.48 มม.

ง. กระเบื้องหางว่าว ขนาด กว้าง 165.60 มม. ยาว 160.20 มม. หนา 11.76 มม.



ภาพที่ 4.18 กระเบื้องมุงหลังคาดินขอชนิดเผาด้วยเตาแก๊ส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดสอบในครั้งนี้มีเครื่องมือต่างๆ ประกอบไปด้วย

1. Measuring Ring

ภาพที่ 4.19 Measuring Ring

โดยค่าที่สามารถอ่านได้จากมาตรวัดนั้น จะนำไปแปลงค่า เป็นหน่วย กิโลกรัม (kg.) ซึ่งสามารถทำได้ด้วยการนำค่าที่ได้คูณด้วยค่าคงตัว 0.845 เช่น ค่าที่อ่านได้ เท่ากับ 12.5 x 0.845 ดังนั้นค่าที่จะนำไปใช้ต่อเท่ากับ 10.5625 kg. เป็นต้น

2. เครื่องอัดไฮโดรลิค

ภาพที่ 4.20 เครื่องอัดไฮโดรลิค

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. ชุดทดสอบแรงดัด

ภาพที่ 4.21 ชุดทดสอบแรงดัด

โดยการทดสอบเพื่อหาค่าโมดูลัสแตกหักในครั้งนี้ ได้กำหนดขอบเขตการวิจัยไว้ดังนี้

- การทดสอบนี้ เป็นการทดสอบเพื่อหาค่า โมดูลัสการแตกหัก (Modulus of Rupture) ของตัวอย่างกระเบื้องมุงหลังคาดินขอ ที่ผลิตใน จ.เชียงใหม่ ประกอบไปด้วยกระเบื้องมุงหลังคาดินขอชนิดเผาฟืน จำนวน4 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 15 ชิ้น และกระเบื้องมุงหลังคาดินขอชนิดเผาแก๊ส จำนวน 4 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 15 ชิ้น รวมทั้งสิ้น 120 ชิ้น

- ค่าที่ได้จากการทดสอบ เป็นค่าที่ได้จากการสังเกตเข็มที่เครื่อง Measuring Ring ทันทีที่กระเบื้องถูกกดจนหัก

4.2.2 การเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลจะทำได้โดยการนำกระเบื้องมุงหลังคาดินขอทั้ง 2 ชนิดมากดทดสอบกับเครื่องทดสอบรับแรงกดผ่าน Measuring Ring ดังแสดงในภาพที่ 4.20

ภาพที่ 4.22 การกดน้ำหนักผ่าน Measuring Ring

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดสอบเพื่อหาค่าโมดูลัสแตกหัก (Modulus of Rupture) ของตัวอย่างกระเบื้องมุงหลังคาดินขอนี้ จะใช้วิธีให้แรงกดแบบสองจุด โดยมีสมการการคำนวณดังนี้ (คำนึง วัฒนคุณ, 2541)

$$\mathbf{M = PL/6 + wl^2/8} \qquad (4.1)$$

เมื่อ M = Moment

P = น้ำหนักรวมของวัสดุที่อยู่กระเบื้อง ได้แก่

- น้ำหนักของ Measuring Ring
- น้ำหนักของเหล็กกล่อง 2”x 4”x 3.2 mm.
- น้ำหนักของเหล็กเส้นกลม ศก. 9 มม.
- น้ำหนักที่สามารถอ่านได้จาก Measuring Ring

L = ระยะค้ำใต้แผ่นกระเบื้อง

W= น้ำหนักของกระเบื้อง

จากสมการนี้เป็นการหาค่า M หรือโมเมนท์ที่เกิดขึ้นจากการกระทำของแกรงกดทับบนแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาดินขอ

$$\mathbf{I = bh^3/12} \qquad (4.2)$$

เมื่อ b= ความกว้างของกระเบื้อง

h= ความหนาของกระเบื้อง

จากสมการนี้เป็นการหาค่า I หรือค่าโมเมนท์ออฟอินเนอร์เทีย หมายถึงค่าโมเมนท์ที่เกิดขึ้นที่หน้าตัดของแผ่นกระเบื้องขนาดต่างๆ เมื่อได้ค่า M และ I จากทั้งสองสมการแล้ว นำไปแทนค่าในสมการที่ 3 เพื่อหาค่าโมดูลัสแตกหัก (Modulus of Rupture) ของกระเบื้องมุงหลังคาดินขอแต่ละแผ่น

$$\mathbf{\sigma = My / I} \qquad (4.3)$$

เมื่อ M = Moment

y = ระยะจากแกนสะเทินถึงขอบวัตถุ

σ = Allowable stress (โมดูลัสแตกหัก)

I = Moment of Inertia

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.3 ผลการทดลอง

ภายหลังจากการกดทดสอบแผ่นกระเบื้องทั้งสองชนิด ทำให้ได้ผลการทดสอบดังนี้

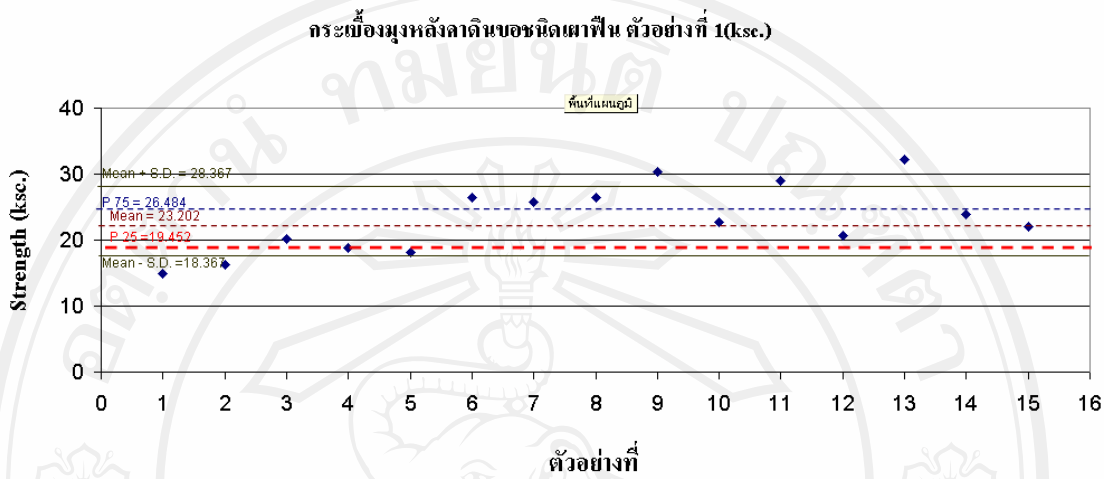
ค่าโมดูลัสแตกหัก (Modulus of Rupture) ของกระเบื้องมุงหลังคาดินขอชนิดเผาฟืน

ตารางที่ 4.1 ค่าโมดูลัสแตกหักของกระเบื้องชนิดเผาฟืน

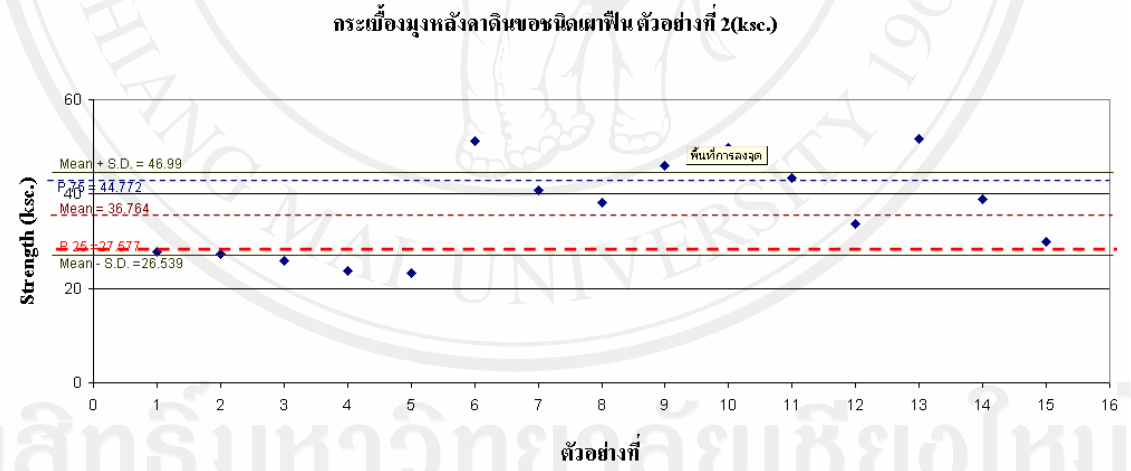
กระเบื้องชนิดเผาฟืน	ตัวอย่างที่ 1(ksc.)	ตัวอย่างที่ 2(ksc.)	ตัวอย่างที่ 3(ksc.)	ตัวอย่างที่ 4(ksc.)
แผ่นที่ 1	14.976	27.837	20.576	33.687
แผ่นที่ 2	16.255	27.316	18.764	55.727
แผ่นที่ 3	20.091	25.753	20.576	40.115
แผ่นที่ 4	18.812	23.669	22.389	33.687
แผ่นที่ 5	18.173	23.148	14.232	19.912
แผ่นที่ 6	26.484	51.285	20.576	41.952
แผ่นที่ 7	25.845	40.864	10.607	18.075
แผ่นที่ 8	26.484	38.258	12.42	22.208
แผ่นที่ 9	30.32	46.074	26.014	29.095
แผ่นที่ 10	22.648	49.722	14.232	41.952
แผ่นที่ 11	29.041	43.469	18.764	11.647
แผ่นที่ 12	20.73	33.569	16.498	14.861
แผ่นที่ 13	32.238	51.806	20.123	21.749
แผ่นที่ 14	23.927	38.78	18.311	16.239
แผ่นที่ 15	22.009	29.922	26.467	15.32
ค่าเฉลี่ย	23.2022	36.7648	18.70326667	27.7484
S.D.	5.164946123	10.22554225	4.55036825	12.94358879
Min	14.976	23.148	10.607	11.647
Max	32.238	51.806	26.467	55.727
Percentile 25 th	19.452	27.577	15.365	17.157
Percentile 75 th	26.484	44.772	20.576	36.901
ช่วงบน(ค่าเฉลี่ย + S.D.)	28.36714612	46.99034225	23.25363492	40.69198879
ชวงล่าง(ค่าเฉลี่ย - S.D.)	18.03725388	26.53925775	14.15289842	14.80481121

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากตารางค่าโมดูลัสการแตกหักของกระเบื้องมุงหลังคาดินขอชนิดเผาฟืน สามารถนำมาเขียนเป็นแผนภูมิความสัมพันธ์ของกระเบื้องแต่ละตัวอย่างได้ดังนี้

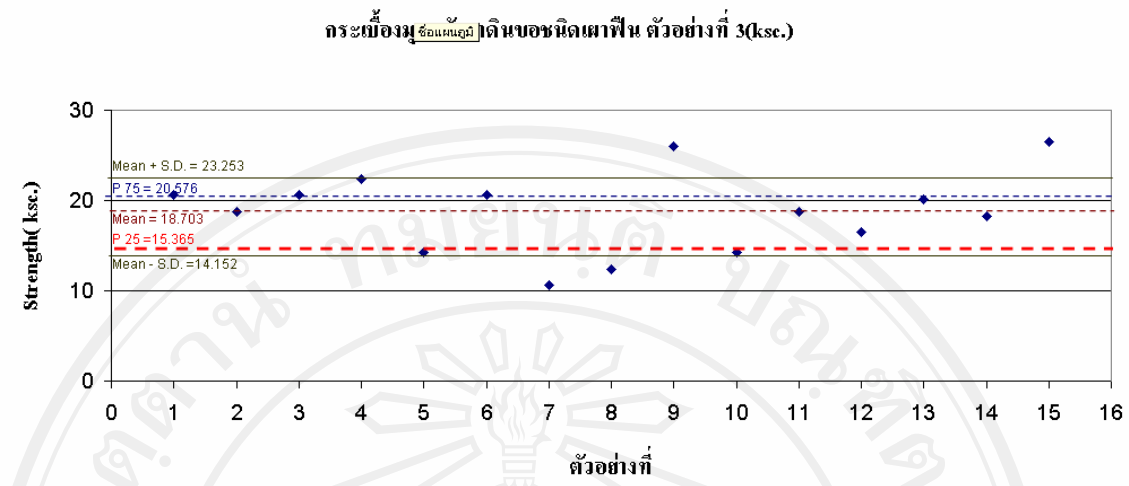


แผนภูมิที่ 4.1 แผนภูมิค่าโมดูลัสแตกหักของกระเบื้องชนิดเผาฟืน ตัวอย่างที่ 1

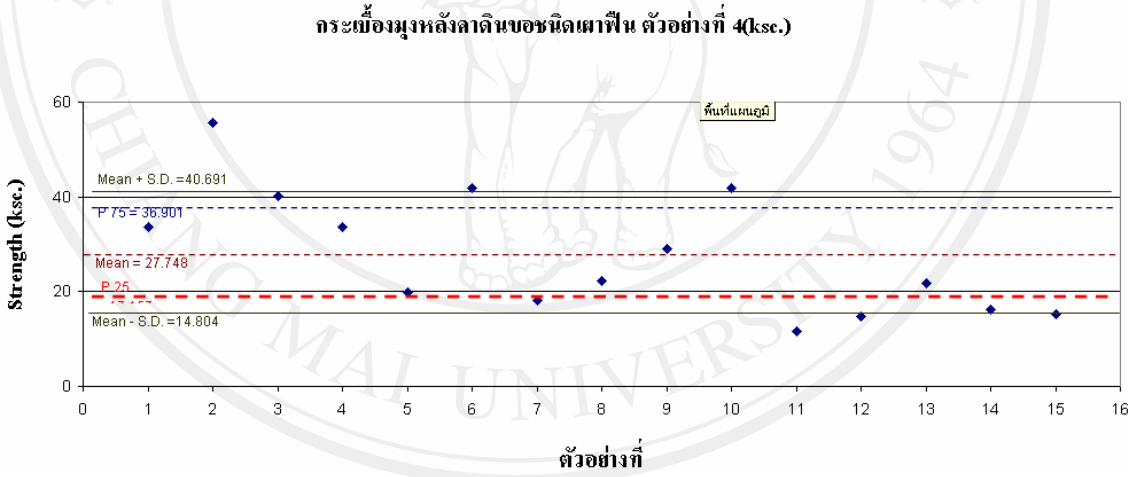


แผนภูมิที่ 4.2 แผนภูมิค่าโมดูลัสแตกหักของกระเบื้องชนิดเผาฟืน ตัวอย่างที่ 2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



แผนภูมิที่ 4.3 แผนภูมิค่าโมดูลัสแตกหักของกระเบื้องชนิดเผาฟืน ตัวอย่างที่ 3



แผนภูมิที่ 4.4 แผนภูมิค่าโมดูลัสแตกหักของกระเบื้องชนิดเผาฟืน ตัวอย่างที่ 4

การเลือกค่าโมดูลัสการแตกหักเพื่อนำไปหาค่าความหนาของกระเบื้องนั้น พบว่าค่าที่มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปคิดหาความหนานั้น คือค่าที่ได้จากค่าเฉลี่ยของ Percentile 25 แทนที่จะเป็นการเลือกค่าเฉลี่ย เนื่องจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าสูงเกินไป และอีกประการหนึ่ง เนื่องจาก เมื่อใช้ค่าโมดูลัสแตกหัก Percentile ที่ 25แล้ว กระเบื้องที่นำมาผ่านทดสอบความแข็งแรงทั้งหมด จะมีกระเบื้องที่ผ่านเกณฑ์การทดสอบ 75 % จึงทำให้มีของเสียเพียง 25%ของการผลิต จากแผนภูมิที่ 4.1 ─ 4.4 พบว่า กระเบื้องดินขอชนิดเผาฟืนตัวอย่างที่ 2 ซึ่งมีค่า Percentile ที่ 25 เท่ากับ 27.577 ksc. เป็นค่าโมดูลัสการแตกหักที่เหมาะสมที่สุดเมื่อเทียบกับทั้ง 4 ตัวอย่าง กล่าวคือ เป็นชุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตัวอย่างที่มีค่าการกระจายตัวของข้อมูลน้อยที่สุด และพบว่า เป็นชุดตัวอย่างที่กระเบื้องมีจำนวนแผ่นที่ผ่านเกณฑ์การทดสอบมากที่สุด จึงสรุปได้ว่า จะนำค่าโมดูลัสแตกหักของกระเบื้องดินขอชนิดเผาฟืนตัวอย่างที่ 2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 27.577 ksc. ไปคิดคำนวณหาค่าความหนาที่เหมาะสมต่อไป

<u>ค่าโมดูลัสแตกหัก (Modulus of Rupture) ของกระเบื้องมุงหลังคาดินขอชนิดเผาแก๊ส</u>

ในการเผากระเบื้องดินขอ นอกจากจะใช้เชื้อเพลิงประเภทฟืนแล้ว ยังมีการใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิงอีกด้วย ซึ่งพบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าโมดูลัสแตกหัก Percentile ที่ 25 ของกระเบื้องมุงหลังคาดินขอชนิดเผาแก๊สพบว่า ค่าโมดูลัสแตกหัก Percentile ที่ 25 ของตัวอย่างที่ 3 เป็นค่าที่มีความเหมาะสมมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 40.975 ksc.เนื่องจากมีค่าโมดูลัสแตกหัก Percentile ที่ 25 สูงกว่าเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ 2 แต่ในตัวอย่างที่ 1 ค่าโมดูลัสแตกหัก Percentile ที่ 25 เท่ากับ 47.667 ksc. แต่ข้อมูลของตัวอย่างที่ 1 มีการกระจายตัวสูงกว่า ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า จะนำค่าโมดูลัสแตกหักของกระเบื้องดินขอชนิดเผาฟืนตัวอย่างที่ 3 ซึ่งมีค่าโมดูลัสแตกหัก Percentile ที่ 25 เท่ากับ 40.975 ksc ไปคิดคำนวณหาค่าความหนาที่เหมาะสมต่อไป ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า กระเบื้องมุงหลังคาดินขอชนิดเผาด้วยแก๊ส มีค่าโมดูลัสแตกหักเฉลี่ยสูงกว่ากระเบื้องมุงหลังคาดินขอที่เผาด้วยฟืน จากข้อมูลที่ได้จากโรงงานที่ผลิตกระเบื้องมุงหลังคาดินขอหลายแห่งใน จ.เชียงใหม่พบว่า การเผาด้วยแก๊สใช้อุณหภูมิในการเผาสูงกว่า มีความสม่ำเสมอของอุณหภูมิทั่วเตาที่คงที่ ทำให้กระเบื้องได้รับความร้อนทั่วถึงและสม่ำเสมอ จึงเป็นเหตุให้มีความแข็งแรงมากกว่า นอกจากนี้ยังพบว่า ขนาดของกระเบื้องชนิดที่เผาด้วยแก๊ส มีความเบี่ยงเบนน้อยกว่าชนิดที่เผาด้วยฟืน อีกทั้งการแตกหักจากการเผาก็ยังมีน้อยกว่าด้วย ซึ่งมีสาเหตุมาจากตัวเนื้อวัสดุที่ได้ก่อนการขึ้นรูป พบว่า หากเนื้อดินที่ใช้ก่อนการขึ้นรูปกระเบื้อง ผ่านการดูดอากาศออกมาก่อนโดยเครื่องมือที่ชื่อว่า Extruder จะทำให้เกิดโพรงอากาศภายในเนื้อวัสดุน้อย ลดการแตกหักของวัสดุได้ ซึ่งจากข้อมูลที่ได้นี้จะสามารถนำไปใช้เป็นตัวแปรในการหาค่าความหนาที่เหมาะสมของแผ่นกระเบื้อง ต่อไป

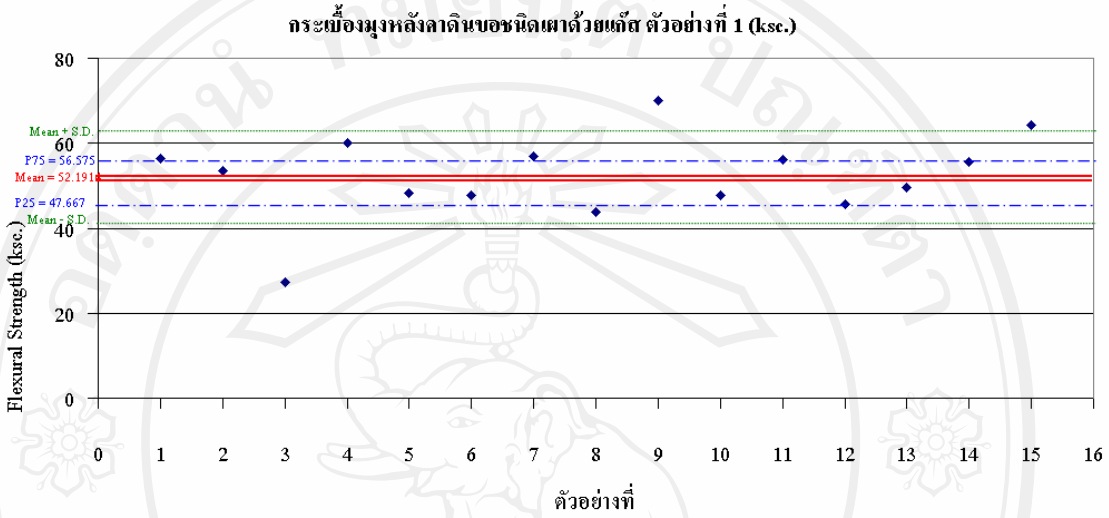
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.2 ค่าโมดูลัสแตกหักของกระเบื้องชนิดเผาแก๊ส

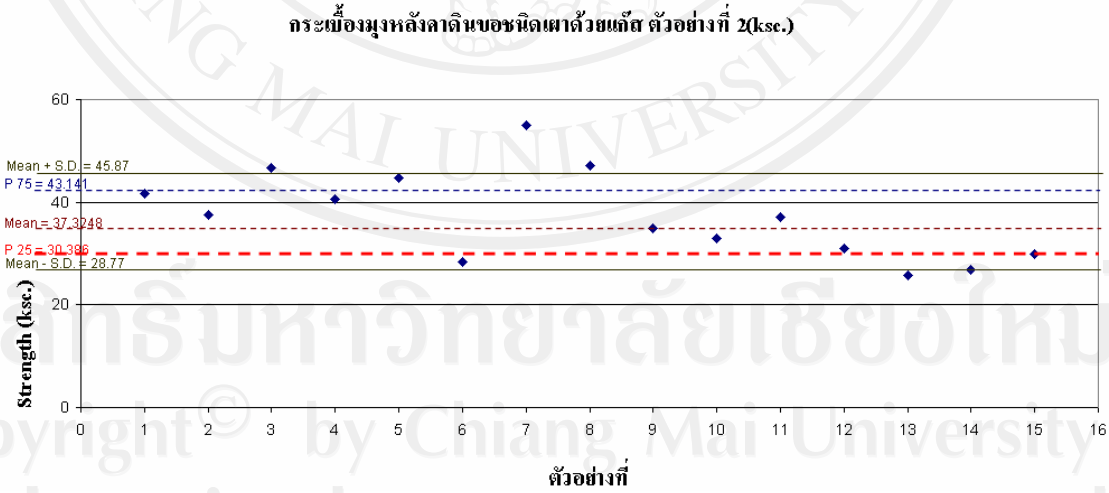
กระเบื้องชนิดเผาแก๊ส	ตัวอย่างที่ 1(ksc.)	ตัวอย่างที่ 2(ksc.)	ตัวอย่างที่ 3(ksc.)	ตัวอย่างที่ 4(ksc.)
แผ่นที่ 1	56.263	41.61	59.954	64.231
แผ่นที่ 2	53.594	37.529	42.571	28.395
แผ่นที่ 3	27.25	46.713	50.359	51.612
แผ่นที่ 4	60.18	40.59	11.167	37.693
แผ่นที่ 5	48.325	44.672	12.848	68.216
แผ่นที่ 6	47.667	28.345	43.38	40.986
แผ่นที่ 7	56.887	54.876	39.018	33.349
แผ่นที่ 8	43.715	47.223	51.231	70.208
แผ่นที่ 9	70.059	34.978	50.359	46.964
แผ่นที่ 10	47.667	32.937	50.359	37.666
แผ่นที่ 11	56.229	37.019	51.667	34.345
แผ่นที่ 12	45.691	30.896	52.103	31.356
แผ่นที่ 13	49.642	25.794	60.827	57.922
แผ่นที่ 14	55.57	26.814	35.965	32.021
แผ่นที่ 15	64.132	29.876	43.816	58.918
ค่าเฉลี่ย	52.1914	37.3248	43.70826667	46.2588
S.D.	9.973266708	8.547956048	14.57673234	14.47080632
Min	27.25	25.794	11.167	28.395
Max	70.059	54.876	60.827	70.208
Percentile 25 th	47.667	30.386	40.795	33.847
Percentile 75 th	56.575	43.141	51.449	58.420
ช่วงบน(ค่าเฉลี่ย + S.D.)	62.16466671	45.87275605	58.28499901	60.72960632
ชวงล่าง(ค่าเฉลี่ย - S.D.)	42.21813329	28.77684395	29.13153432	31.78799368

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากตารางค่าโมดูลัสการแตกหักของกระเบื้องมุงหลังคาดินขอชนิดเผาแก๊ส สามารถนำมาเขียนเป็นแผนภูมิความสัมพันธ์ของกระเบื้องแต่ละตัวอย่างได้ดังนี้

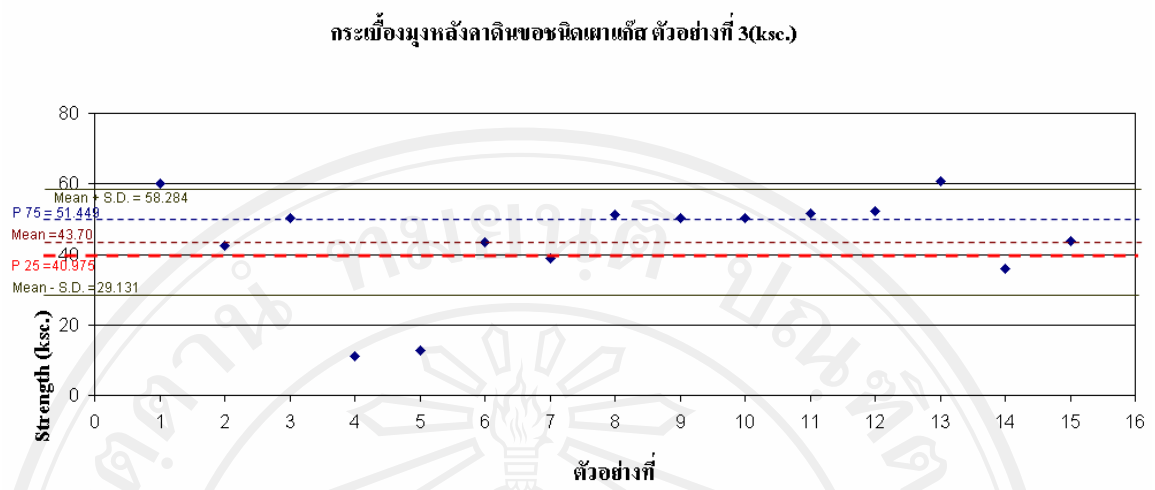


แผนภูมิที่ 4.5 แผนภูมิค่าโมดูลัสแตกหักของกระเบื้องชนิดเผาแก๊ส ตัวอย่างที่ 1

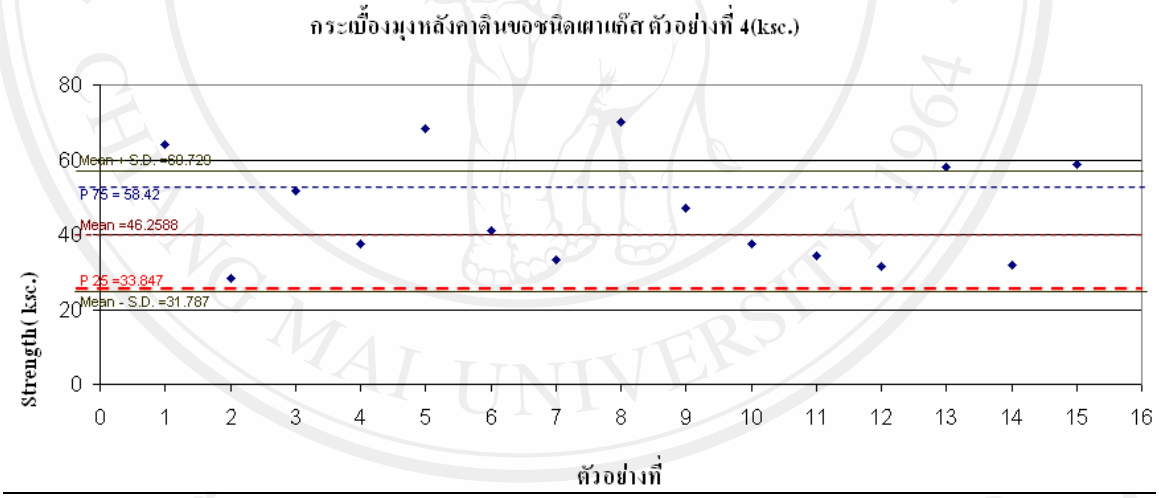


แผนภูมิที่ 4.6 แผนภูมิค่าโมดูลัสแตกหักของกระเบื้องชนิดเผาแก๊ส ตัวอย่างที่ 2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



แผนภูมิที่ 4.7 แผนภูมิค่าโมดูลัสแตกหักของกระเบื้องชนิดเผาแก๊ส ตัวอย่างที่ 3



แผนภูมิที่ 4.8 แผนภูมิค่าโมดูลัสแตกหักของกระเบื้องชนิดเผาแก๊ส ตัวอย่างที่ 4

4.2.4 การหาค่าความหนาที่เหมาะสมของแผ่นกระเบื้อง

การหาค่าความหนาที่เหมาะสมของแผ่นกระเบื้อง เป็นการคำนวณย้อนกลับของการหาค่าโมดูลัสแตกหัก (Modulus of Rupture) กล่าวคือ เมื่อสามารถหาค่าดังกล่าวได้แล้ว จะทำการเลือกค่าโมดูลัสแตกหัก ที่ได้โดยวิธีการพิจารณาทางสถิติ จากตารางที่ 3.3 และ 3.4 พบว่าค่าโมดูลัสแตกหักที่เหมาะสมสำหรับการนำมาเป็นตัวแปรในการคำนวณหาค่าความหนาที่เหมาะสมคือค่าโมดูลัสแตกหัก Percentile ที่ 25 กล่าวคือ เมื่อใช้ค่าโมดูลัสแตกหัก Percentile ที่ 25แล้ว กระเบื้องที่นำมา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผ่านทดสอบความแข็งแรงทั้งหมด จะมีกระเบื้องที่ผ่านเกณฑ์การทดสอบ 75 % จึงทำให้มีของเสียเพียง 25%ของการผลิต ยกตัวอย่างกระเบื้องดินขอชนิดเผาแก๊สตัวอย่างที่ 3 มีค่า โมดูลัสแตกหัก Percentile ที่ 25 เท่ากับ 40.795 มีกระเบื้องที่ผ่านการทดสอบถึง 11 แผ่นจาก 15 แผ่น คิดเป็น 67.75%ของกระเบื้องทั้งหมด ในขณะที่ โมดูลัสแตกหัก Percentile ที่ 50 และ 75 นั้น มีกระเบื้องที่ผ่านการทดสอบเพียง 50% และ 31.25 %ตามลำดับ ดังนั้นจึงใช้ค่าโมดูลัสแตกหัก Percentile ที่ 25 เป็นค่าของ σ หรือโมดูลัสแตกหัก ในการคำนวณหาค่าความหนาที่เหมาะสมในขั้นตอนนี้ โดยในการคำนวณในขั้นตอนนี้ จะใช้สมการการคำนวณดังต่อไปนี้

$$\mathbf{d = Sqrt.\ [(6M) / 6B]} \qquad (4)$$

เมื่อ M = Moment

B = ความกว้างของกระเบื้อง เท่ากับ 32.75 ซม.

d = ความหนาของกระเบื้อง (ซม.)

σ = Allowable stress (โมดูลัสแตกหัก)

โดยที่

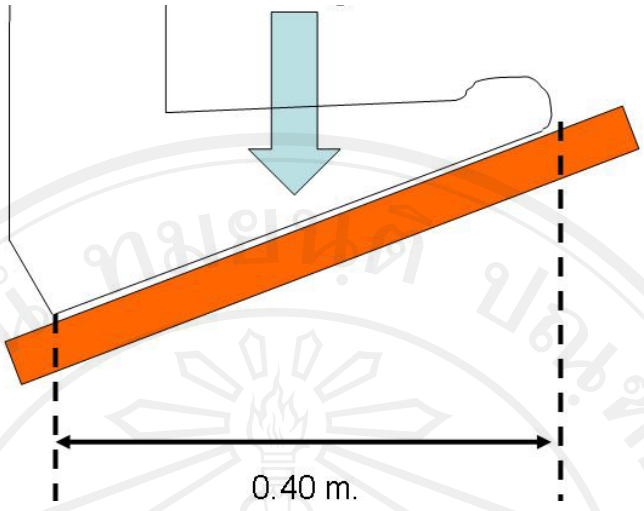
$$\mathbf{M = wl^2/8} \qquad (5)$$

เมื่อ w = น้ำหนักที่กระทำบนแผ่นกระเบื้อง

l = ความยาวของแผ่นกระเบื้อง (ซม.)

ในการหาค่า M นั้น สามารถพิจารณาจากการที่ โดยพิจารณาจากน้ำหนักของช่างมุงหลังคาที่มีน้ำหนักประมาณ 70-80 กิโลกรัม ประกอบกิจกรรมต่างๆบนผืนหลังคา ทั้งการยกกระเบื้องมุงหลังคา การกองกระเบื้องมุงหลังคาเป็นจุดๆ โดยรวมแล้วให้มีค่าน้ำหนักที่กระทำบนแผ่นกระเบื้อง (w) เท่ากับ 100 กิโลกรัม ดังแสดงในภาพที่ 4.23

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.23 น้ำหนักที่กระทำบนแผ่นกระเบื้อง

จากภาพดังกล่าว ทำให้สามารถหาค่า M ได้ดังนี้

$$M = wl^2/8 \qquad (4.4)$$

W = Dead Load + Live Load

Dead Load ในที่นี้ หมายถึง น้ำหนักบรรทุกคงที่ของแผ่นกระเบื้อง ซึ่งจะประกอบไปด้วยน้ำหนักของแผ่นกระเบื้องเองและน้ำหนักที่เกิดขึ้นจากการกระทำของลม (Wind Load) ส่วน Live Load หมายถึง น้ำหนักบรรทุกจร ในที่นี้หมายถึง น้ำหนักของมนุษย์ที่ขึ้นไปเหยียบบนแผ่นกระเบื้องซึ่งจากการพิจารณาพบว่า เมื่อเปรียบน้ำหนักทั้งสองชนิดที่เกิดขึ้นต่อแผ่นกระเบื้อง 1 แผ่น กับน้ำหนักบรรทุกจรจะพบว่า น้ำหนักบรรทุกคงที่ มีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับน้ำหนักของมนุษย์ที่ขึ้นไปเหยียบบนแผ่นกระเบื้อง ฉะนั้น ในการคำนวณหา M นั้น จะพิจารณาเพียงน้ำหนักจากการกระทำของมนุษย์เท่านั้น ฉะนั้น การหาค่า Live Load สามารถหาได้จาก

น้ำหนักที่มากระทำ / ความยาวของวัสดุ = 100 /(0.3275 x 0.4338)

w = 704.22 kg. / m. /m.

เมื่อนำไปแทนค่าในสูตรการหาค่า M จะได้ว่า

$$M = (704.22 \times 0.4338) / 8 \qquad (4.5)$$

M = 1656.5 กิโลกรัม. เซนติเมตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ฉะนั้น เมื่อนำค่า โมเมนต์ที่ได้ไปแทนค่าในความสัมพันธ์ของการหาค่าความหนาที่เหมาะสมของแผ่นกระเบื้องโดยที่กำหนดความกว้างของกระเบื้องเท่ากับ 32.50 ซม.จะได้ว่า

$$M/\sigma = Bd^2/6 \quad (4.6)$$

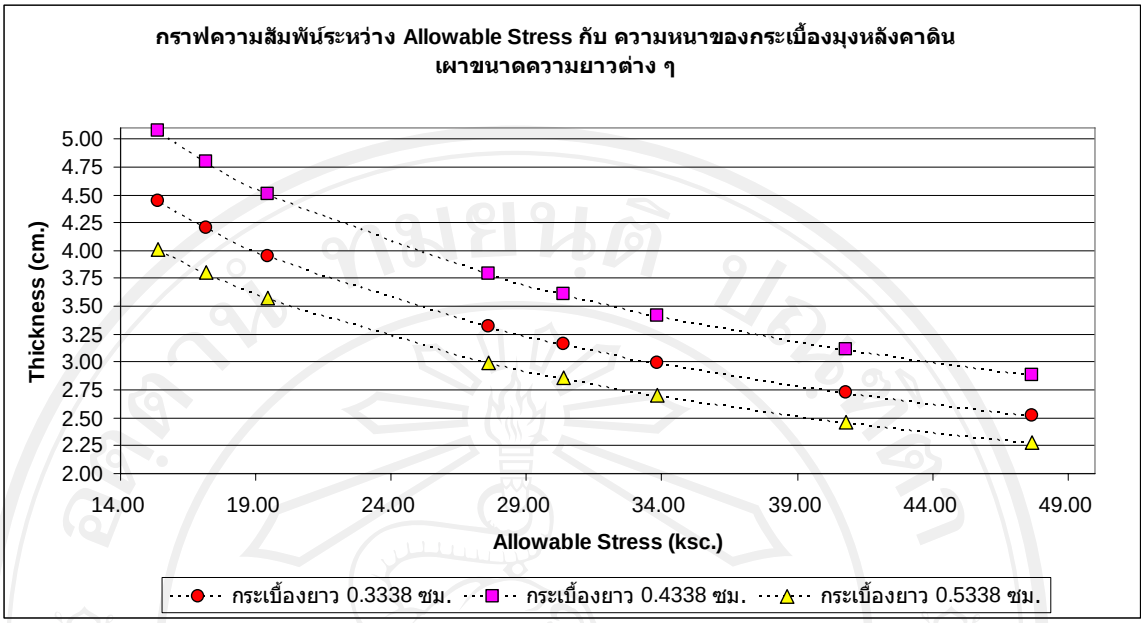
$$\mathbf{D = Sqrt.\ [6x1656.5\ /\ (\sigma\ x\ 32.75)]} \quad (4.7)$$

จากความสัมพันธ์ดังกล่าว สามารถหาค่าความหนาที่เหมาะสมของแผ่นกระเบื้องทั้งชนิดที่เผาด้วยฟืนและชนิดที่เผาด้วยแก๊สได้ดังนี้

ตารางที่ 4.3 ค่าโมดูลัสแตกหักและความหนาที่เหมาะสมของกระเบื้องทั้งสองชนิด

	Fs/ksc.	Thickness/cm.
เผาแก๊ส	47.667	2.879995535
กระเบื้อง	40.795	3.113129993
ยาว	33.847	3.417752689
0.3338 ซม.	30.386	3.607147967
เผาแก๊ส	47.667	2.523229673
กระเบื้อง	40.795	2.72748408
ยาว	33.847	2.994370961
0.4338 ซม.	30.386	3.160304477
เผาแก๊ส	47.667	2.279441907
กระเบื้อง	40.795	2.463961795
ยาว	33.847	2.705062772
0.5338 ซม.	30.386	2.854964231
เผาฟืน	27.577	3.786406306
กระเบื้อง	19.452	4.508360062
ยาว	17.157	4.800428978
0.3338 ซม.	15.365	5.072644673
เผาฟืน	27.577	3.317356791
กระเบื้อง	19.452	3.949876917
ยาว	17.157	4.205765145
0.4338 ซม.	15.365	4.444259514
เผาฟืน	27.577	2.996842567
กระเบื้อง	19.452	3.568250274
ยาว	17.157	3.79941526
0.5338 ซม.	15.365	4.014866935

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

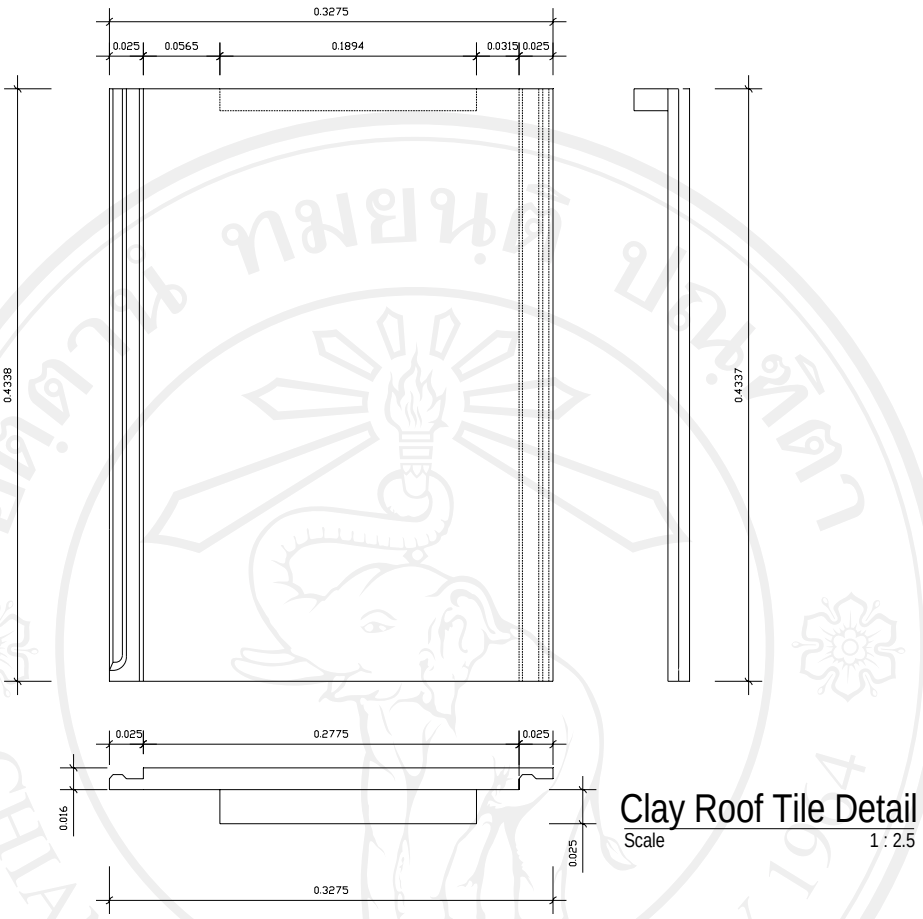


<u>แผนภูมิที่ 4.9</u> แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างค่า Allowable กับค่าความหนาของกระเบื้องที่มีความยาวเท่ากับ 0.3338 ม, 0.4338 ม. และ 0.5338 ม.

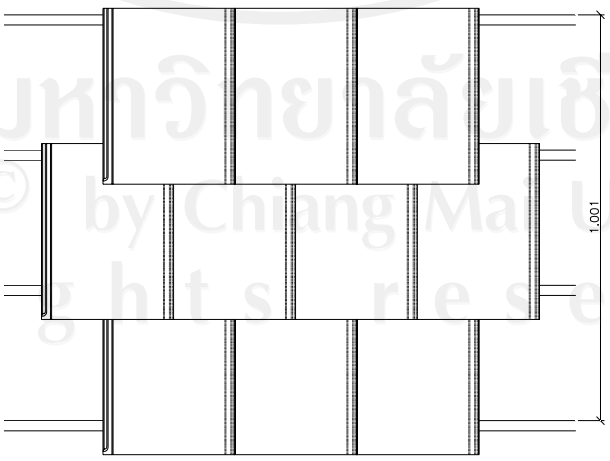
จากตารางที่ 4.5 และแผนภูมิที่ 4.3 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของความหนาที่เหมาะสมของแผ่นกระเบื้องและค่าโมดูลัสการแตกหักของกระเบื้องมุงหลังคาดินขอทั้งชนิดที่เผาด้วยฟืนและชนิดที่เผาด้วยแก๊ส พบว่า กระเบื้องชนิดที่เผาด้วยฟืนมีค่า Allowable Stress ต่ำมากเมื่อต้องการเพิ่มความยาว จึงต้องเพิ่มความหนามาก โดยจะอยู่ในช่วงค่าความหนาประมาณ 2.90 - 5.07 ซม. กล่าวคือเมื่อเนื้อวัสดุมีค่าความแข็งแรงน้อยเท่าใด การเพิ่มความหนาเพื่อชดเชยค่าความ Allowable Stress ดังกล่าวจะมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วไม่สามารถทำได้เนื่องจากจะสิ้นเปลืองเนื้อดินมากและง่ายต่อการแตกหักเสียหาย ส่วนกระเบื้องชนิดที่เผาด้วยเตาแก๊ส มีค่า Allowable Stress สูงกว่า การเพิ่มความยาวของกระเบื้อง ตั้งแต่ความยาว 0.3338 ม. – 0.5338 ม. จะมีการเพิ่มความหนาอยู่ในช่วง 2.27 ซม. – 3.60 ซม. กล่าวคือยิ่งกระเบื้องมีค่า Allowable Stress สูงมากเท่าไร การเพิ่มความหนาของกระเบื้องให้สัมพันธ์กับความยาวก็สามารถทำได้ง่าย โดยไม่สิ้นเปลืองเนื้อดินมากจนเกินไป

ค่าความกว้าง ความยาว และความหนาของกระเบื้องมุงหลังคาดินขอที่ได้จากตารางและการคำนวณดังที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ เป็นค่าที่สามารถนำไปใช้กับรูปแบบกระเบื้องมุงหลังคาดินเผารูปแบบที่มีขนาดกว้าง 32.750 ซม. ยาว 43.38 ซม. ส่วนความหนา สามารถใช้ตารางที่ 4.3 โดยในที่นี้ จะยกตัวอย่างกระเบื้องที่มีความหนาประมาณ 2.00 ซม.ดังแสดงในภาพที่ 4.24

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

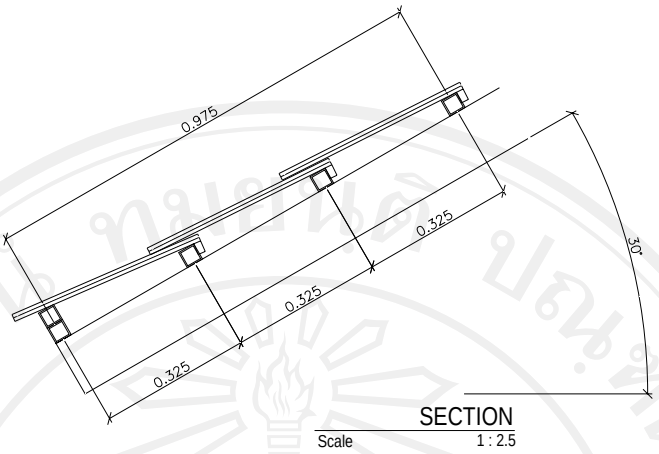


ภาพที่ 4.24 กระเบื้องมุงหลังคาดินเผา ชนิดมีระบบบัวดักน้ำ



ภาพที่ 4.25 ภาพลายหลังการมุง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.26 ภาพแสดงระยะแปและการรูปตัดกระเบื้องมุงหลังคาดินเผา

เมื่อนำขนาดของกระเบื้องดังภาพที่ 4.24 ไปคำนวณกลับตามสูตรที่ 4 จะพบว่า กระเบื้องมุงหลังคาแผ่นนี้สามารถทนทานหน่วยแรงดัดได้ 75.87 ksc. ถึงจะเกิดการแตกหัก ขั้นตอนต่อไปจะนำขนาดหน้าตัดของกระเบื้องมุงหลังคาดังกล่าวไปทำการทดสอบกับ ซอฟท์แวร์คอมพิวเตอร์เพื่อตรวจสอบว่าความหนาที่ได้จากการคำนวณเบื้องต้นนั้นมีความเป็นไปได้มากน้อยเพียงใด โดยซอฟแวร์ดังกล่าวมีชื่อว่า ไฟไนต์ เอลิเมนต์ (อย่างง่าย) เป็นซอฟท์แวร์ที่สามารถคำนวณหาหน่วยแรงต่างๆที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานที่เราสนใจ ภายใต้ปัจจัยต่างๆที่ถูกกำหนดให้มารบกวนการคงรูปของวัตถุ โดยการพิจารณาในครั้งนี้จะทำการศึกษาด้านปัญหาของแข็งแบบยืดหยุ่นได้ (Elasticity Problem) ในสองมิติ สามารถทำได้โดยการสร้างรูปตัดขวางของกระเบื้องมุหลังคาดินเผาขึ้นมาในไฟไนต์ เอลิเมนต์ (อย่างง่าย) และทำการใส่คุณสมบัติต่างๆที่ทำให้รูปตัดขวางดังกล่าวเป็นวัสดุดินเผา ซึ่งมีตัวแปรดังนี้

1. *Young's Modulus* คือ ค่าคงที่ของวัสดุต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง เมื่อมีแรงเข้ามากระทำ ซึ่งสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\sigma = E\varepsilon$$

σ คือ ความเค้น (N/m^2)

E คือ โมดูลัสยืดหยุ่น (N/m^2)

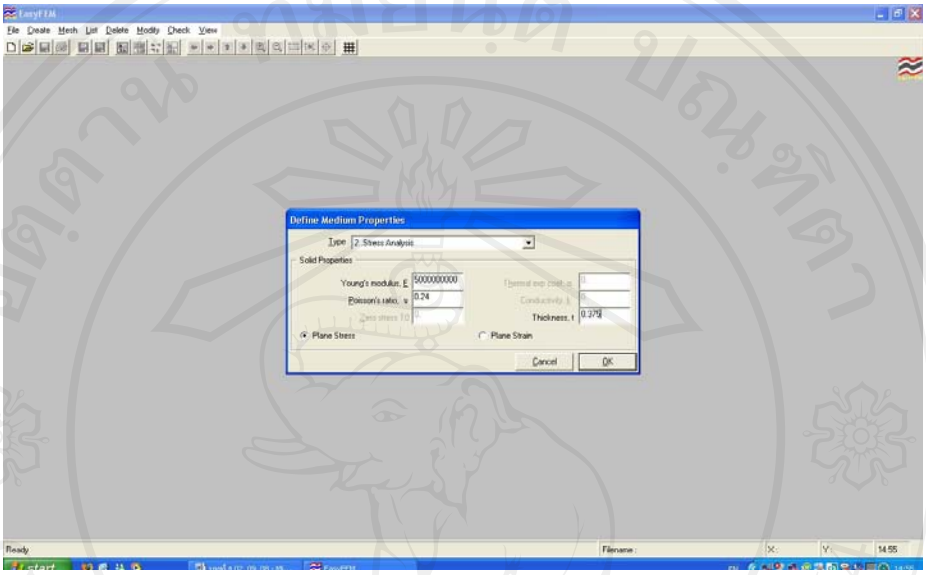
ε คือ ความเครียด (M/m)

ซึ่งค่าวัสดุดินเผามีค่า *Young's Modulus = 5 x* 10^9 (www.proos.co.uk/eternit-clay2.html)

2. *Poisson's Ratio* คือ อัตราส่วนความเครียดในแนวด้านข้าง ต่อความเครียดในแนวด้านยาวของวัตถุ ค่าของอัตราส่วน ปัวซองจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 0.5 ซึ่งค่าปัวซองของดินเผามีค่าเท่ากับ 0.24 (James F. Shackelford, William Alexander, 2001)

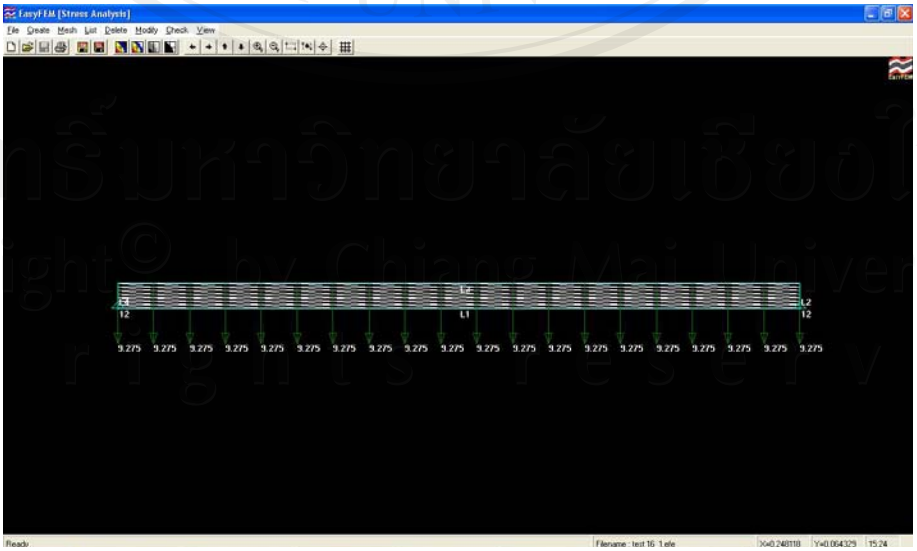
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. *Thickness* คือ ค่าความหนาของวัตถุที่สนใจในที่นี้คือค่าความกว้างของกระเบื้องมีค่าเท่ากับ 32.75ซ ม. โดยขั้นตอนทั้งหมดนี้จะทำให้รูปตัดขวางดังกล่าวจะมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับดินเผา ดังแสดงในภาพที่ 4.27



ภาพที่ 4.27 ภาพแสดงซอฟท์แวร์ ไฟไนต์ เอลิเมนต์ (อย่างง่าย)

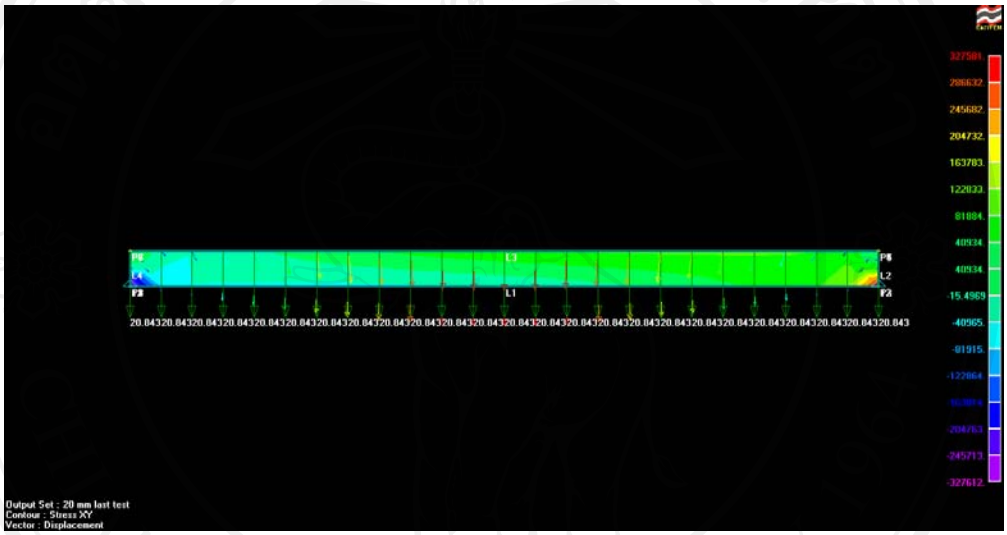
หลังจากที่ได้คุณสมบัติของการสร้างรูปตัดขวางของวัสดุดินเผาแล้วจึงทำการสร้างรูปตัดขวางของกระเบื้องมุงหลังคาดินเผาดังแสดงในภาพที่ 4.28



ภาพที่ 4.28 รูปตัดขวางของกระเบื้องมุงหลังคาดินเผา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากภาพที่ 4.28 จะเห็นรูปตัดขวางของกระเบื้องมุงหลังคาดินเผาเป็นเอลิเมนท์สามเหลี่ยมแบบมีระเบียบ เพื่อจะสามารถง่ายต่อการสังเกตความเปลี่ยนแปลงของรูปทรงเมื่อมีแรงเข้ามาระทำกับแผ่นกระเบื้อง จากนั้นใส่แรงกระทำกับแผ่นกระเบื้องซึ่งเป็นแนวแรงชนิดแผ่แบบสม่ำเสมอ (Distribution Load) โดยให้มีแนวแรงจากบนลงล่าง (ลูกศรสีเขียว) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 7042 นิวตันต่อตารางเมตร จากนั้นสั่งให้ซอฟท์แวร์ทำการคำนวณและแสดงด้วยภาพของการเปลี่ยนแปลงรูปทรงและแนวแรงที่เกิดขึ้นกับแผ่นกระเบื้อง แสดงในภาพที่ 4.29



ภาพที่ 4.29 การเปลี่ยนรูปของแผ่นกระเบื้อง

จากภาพที่ 4.29 พบว่าแผ่นกระเบื้องจะมีการเปลี่ยนรูปตามแนวแรง สีสันต่างๆที่ปรากฏภายในรูปตัดขวางนั้นแสดงถึงขนาดและลักษณะของแรง ซึ่งจะพบว่าสีที่ปรากฏในช่วงสีเขียวจนถึงสีแดงหมายถึง แรงดึง (Tensile Force) จะเกิดขึ้นในส่วนล่างของกระเบื้อง ซึ่งจะทำให้ตัววัสดุแยกออกจากกัน ส่วนสีในช่วงสีฟ้าจนถึงสีม่วง หมายถึง แรงอัด (Compression Force) จะเกิดขึ้นในส่วนบนของกระเบื้อง ซึ่งจะทำให้ตัววัสดุบีบอัดเข้าหากัน โดยภาพที่ปรากฏนั้นแสดงว่ากระเบื้องที่มีความยาว 43.38 ซม. ความกว้าง 32.5 ซม.และ ความหนา 2.0 ซม. เช่นเดียวกับที่ได้ทำการคำนวณดังที่กล่าวมาแล้วนั้น จะไม่แตกเมื่อรับแรงกดที่มีค่าเท่ากับ 7042 นิวตันต่อตารางเมตร ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ด้วยแถบสีที่เกิดขึ้นบริเวณกลางแผ่นกระเบื้องนั้นมีค่าแรงประมาณ 40.90-60.0 ksc. ในขณะที่ กระเบื้องสามารถรับแรงได้ถึง 75.87 ksc. ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่า กระเบื้องมุงหลังคาดินเผาแบบมีระบบบัวดักน้ำชนิดเผาด้วยแก๊ส ที่มี ความยาว 43.38 ซม. ความกว้าง 32.5 ซม.และ

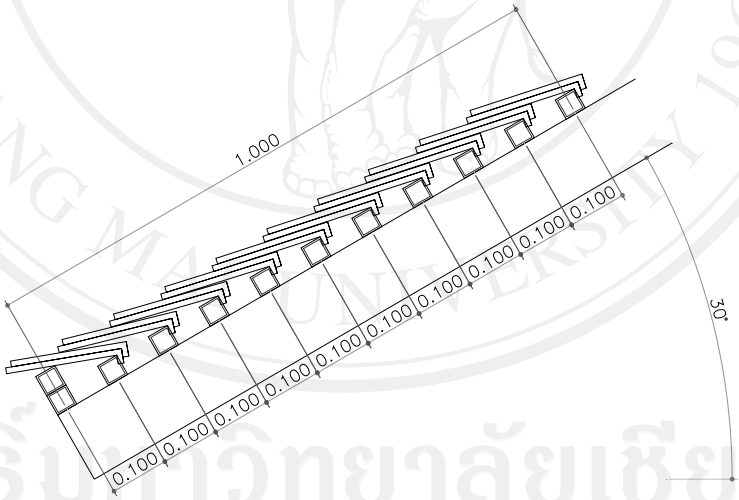
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความหนา 2.0 ซม. มีความสามารถในการรับแรง 7042 นิวตันต่อตารางเมตร หรือสามารถรับน้ำหนักมนุษย์ ได้ประมาณ 70-80 กก. โดยที่กระเบื้องมุงหลังคาไม่แตก

งานวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนารูปแบบกระเบื้องมุงหลังคาดินเผาดินเผาแบบมีระบบบัวดักน้ำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านโครงสร้างหลังคา กระเบื้องมุงหลังคาดินเผาแบบมีระบบบัวดักน้ำที่ได้รับการพัฒนานี้สามารถเพิ่มระยะแปหลังคาจาก 10-12 ซม. เป็นระยะแป 32.5 ซม. ซึ่งเทียบเท่ากับกระเบื้องมุงหลังคาแบบมีระบบบัวดักน้ำทั่วไป แต่วัตถุประสงค์หลักอีกประการคือเป็นกระเบื้องมุงหลังคาดินเผาที่มีลวดลายหลังการมุงแล้วมีลักษณะเหมือนหรือใกล้เคียงกับการมุงหลังคาด้วยกระเบื้องมุงหลังคาดินขอ จึงจะทำการออกแบบรูปทรงของกระเบื้องมุงหลังคาดินเผาและการทดสอบกับซอฟท์แวร์ ไฟไนต์ เอลิเมนต์ (อย่างง่าย) เพื่อให้ทราบว่าความหนาที่แท้จริงของรูปตัดขวางกระเบื้อง ที่มีรูปร่างเปลี่ยนไป

4.2.5 <u>การออกแบบรูปตัดขวางและการหาค่าความหนาที่เหมาะสมของแผ่นกระเบื้องชนิดใหม่</u>

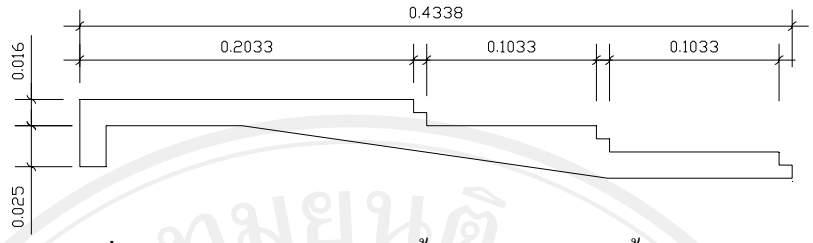
การออกแบบรูปตัดขวางของแผ่นกระเบื้องชนิดใหม่นั้น จะต้องคำนึงถึงลักษณะการมุงหลังคาของกระเบื้องมุงหลังคาดินขอที่จะนำมาใช้เป็นต้นแบบดังแสดงในภาพที่ 4.30



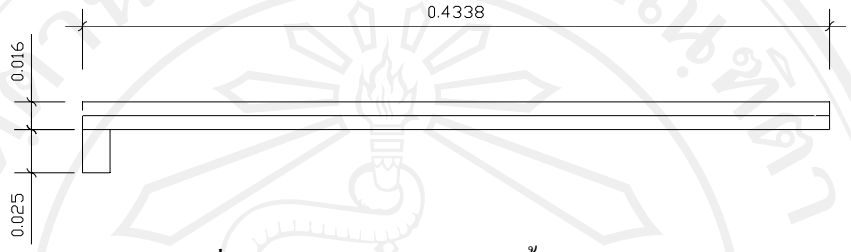
<u>ภาพที่ 4.30</u> การมุงหลังคากระเบื้องดินขอ

จากภาพที่ 4.30 พบว่าการมุงหลังคาแบบนี้จะเกิดรูปตัดขวางเป็นแบบขั้นบันไดซ้อนชั้นกันไปเรื่อยๆ เพราะฉะนั้น รูปตัดขวางของกระเบื้องชนิดใหม่นี้ก็จะต้องมีลักษณะเป็นขั้นบันไดเช่นเดียวกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.31

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

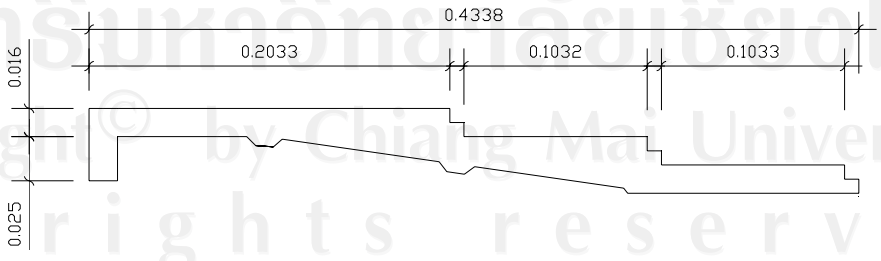


ภาพที่ 4.31 รูปตัดขวางของกระเบื้องมุงหลังคาชนิดขั้นบันได



ภาพที่ 4.32 รูปตัดขวางของกระเบื้องมุงหลังคาชนิดเรียบ

เมื่อนำรูปตัดขวางของกระเบื้องชนิดเรียบมาเปรียบเทียบกับรูปตัดขวางของกระเบื้องชนิดขั้นบันไดพบว่า กระเบื้องที่มีรูปตัดขวางแบบขั้นบันไดนั้น มีรูปทรงที่ไม่สมมาตร ทำให้ค่า Moment of Inertia มีความแตกต่างกันตามการเปลี่ยนแปลงของรูปตัด กล่าวคือ รูปทรงที่มีความสมมาตรจะมีค่า Moment of Inertia ที่คงที่ตลอดหน้าตัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณใต้แผ่นกระเบื้องส่วนที่เป็นขั้นบันได และบริเวณที่มีการเปลี่ยนองศาของแผ่นกระเบื้องนั้น อาจเป็นจุดอ่อนของแผ่นกระเบื้องจนเป็นสาเหตุของการแตกร้าว ข้อสันนิษฐานเบื้องต้นคือ หากเพิ่มความหนาของส่วนดังกล่าวให้มีพื้นที่มากขึ้นเพื่อทำหน้าที่เสมือนคานช่วยรับแรงบริเวณจุดอ่อนดังกล่าวแล้ว อาจช่วยลดความเสี่ยงเรื่องการแตกร้าวได้ จึงนำเสนอรูปตัดขวางของกระเบื้องในรูปแบบดังที่กล่าวนี้ในภาพที่ 4.33

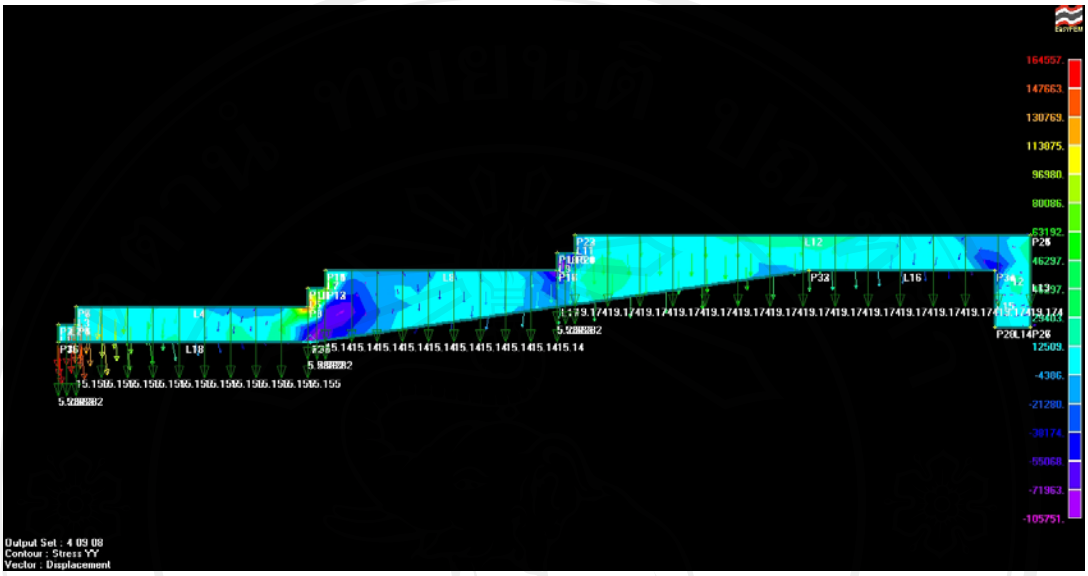


ภาพที่ 4.33 รูปตัดขวางของกระเบื้องมุงหลังคาชนิดขั้นบันไดที่เพิ่มคานรับแรง

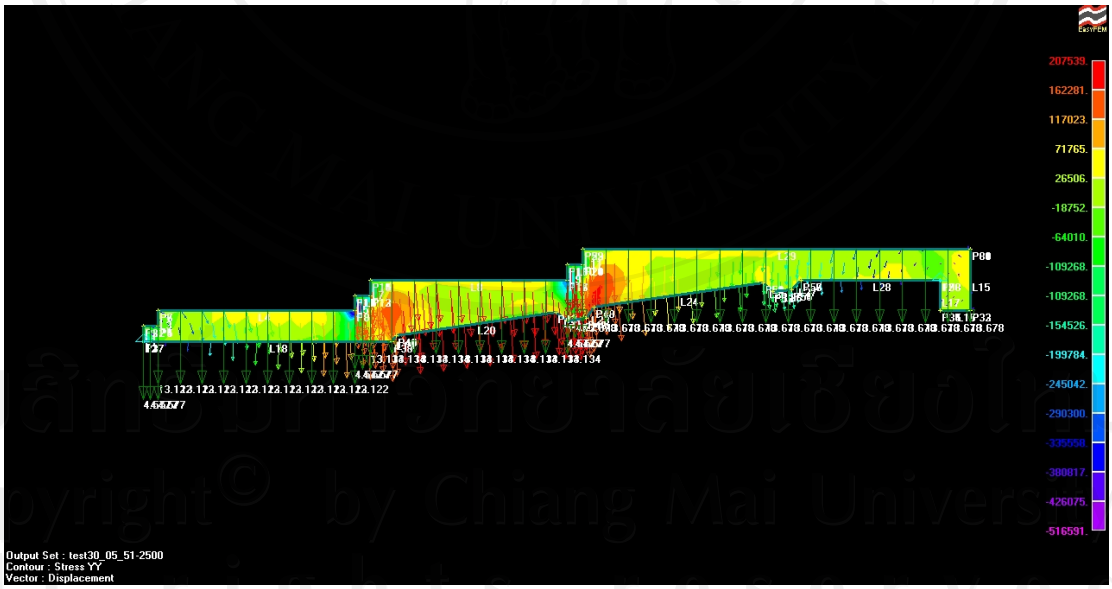
จากภาพที่ 4.33 แสดงถึงการเพิ่มความหนาของส่วนที่คาดว่าจะเป็นจุดอ่อนของกระเบื้องให้มีลักษณะเหมือนคานช่วยรับแรง ขั้นตอนต่อไปคือการนำรูปตัดขวางแบบขั้นบันไดไปทำการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คำนวณด้วยซอฟท์แวร์ Easy Finite Element อย่างง่าย เพื่อทำการพิสูจน์สมมุติฐาน ดังแสดงในภาพที่ 4.34 และ 4.35



ภาพที่ 4.34 แรงภายในที่เกิดในกระเบื้องแบบท้องเรียบ

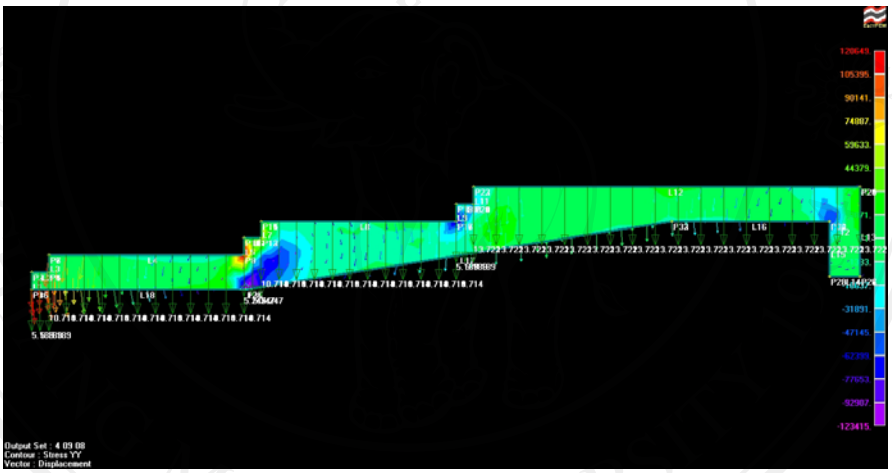


ภาพที่ 4.35 แรงภายในที่เกิดในกระเบื้องแบบเสริมคาน

จากภาพที่ 4.34พบว่าเกิดแรงภายในขึ้นอยู่ระหว่าง 80-96 ksc. และจากภาพที่ 4.35 พบว่าแรงที่เกิดขึ้นภายในเท่ากับ117-162 ksc. แต่กระเบื้องแบบที่เพิ่มคานเข้าไปนั้นพบว่าบริเวณที่เพิ่ม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

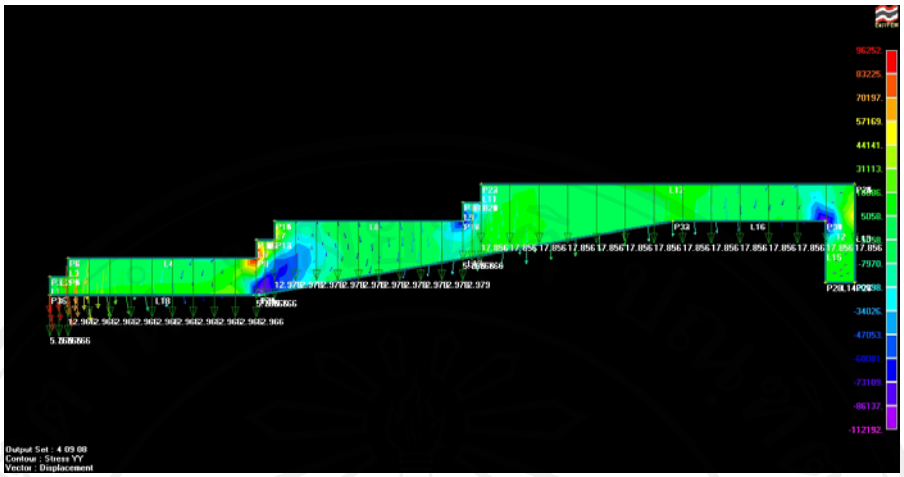
คานเป็นจุดที่เกิดแรงมากเกินกว่าที่กระเบื้องจะรับได้ คือเกิดแรงภายในบริเวณดังกล่าวนี้มากว่า120 ksc. ทำให้กระเบื้องแตกง่ายกว่าชนิดท้องเรียบ ทำให้สามารถสรุปได้ว่าการทำให้รูปตัดขวางของกระเบื้องมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมาก เป็นการเพิ่มความเสี่ยงต่อการแตกหักของกระเบื้องมากกว่ากระเบื้องที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่น้อยกว่า จากการคำนวณในหัวข้อที่ 4.24 พบว่า สามารถทนทานต่อแรงกดที่เกิดขึ้นภายในได้สูงสุดที่ 75.87 ksc. แม้จะมีการเปลี่ยนแปลงรูปทรงเป็นรูปแบบคล้ายขั้นบันได การคำนวณก็จะพิจารณาเช่นเดียวกับการออกแบบและคำนวณบันไดคอนกรีต จากภาพที่ 4.35 พบว่าแรงที่เกิดขึ้นภายในสูงสุดมีค่าเท่ากับ 80-96 ksc. ซึ่งจะเกิดในช่วงที่เป็นขั้นบันไดกล่าวคือความหนาเฉลี่ยที่ 1.6 ซม. ไม่เพียงพอต่อการรับแรง จึงต้องทำการเพิ่มค่าความหนาเฉลี่ยให้กับแผ่นกระเบื้อง เป็น 1.8 ซม. ดังแสดงในภาพที่ 4.36



ภาพที่ 4.36 แรงภายในที่เกิดในกระเบื้อง หนา 1.8 ซม.

จากภาพที่ 4.36 พบว่าแรงภายในที่เกิดขึ้นของกระเบื้องที่มีความหนาเท่ากับ 1.8 ซม. มีค่าสูงสุดเท่ากับ 62-77 ksc. ซึ่งเกิดขึ้นบริเวณขั้นบันไดเช่นกัน ค่าแรงที่เกิดขึ้นนั้นยังเป็นค่าแรงภายในที่ยังมีความเสี่ยงต่อการแตกหักของแผ่นกระเบื้องอยู่ จึงต้องทำการเพิ่มความหนาเฉลี่ยให้เท่ากับ 2.0 ซม.ดังแสดงภาพที่ 4.37

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

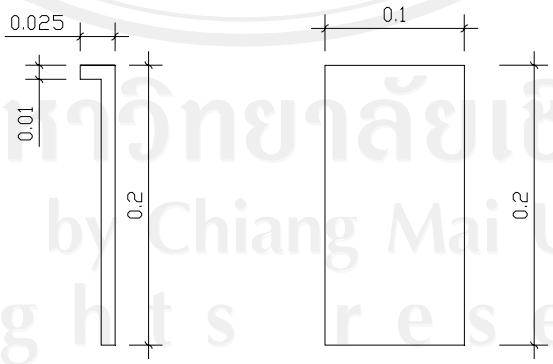


ภาพที่ 4.37 แรงภายในที่เกิดในกระเบื้อง หนา 2.0 ซม.

จากภาพที่ 4.37 พบว่าแรงภายในที่เกิดขึ้นของกระเบื้องที่มีความหนาเท่ากับ 2.0 ซม. มีค่าสูงสุดเท่ากับ 60-73 ksc. ซึ่งเป็นค่าแรงภายในที่ไม่ทำให้กระเบื้องแตก จึงสามารถสรุปได้ว่าความหนาที่เหมาะสมของกระเบื้องมุงหลังคาดินเผาชนิดที่มีรูปตัดขวางแบบขั้นบันไดนั้น ต้องมีความหนาเท่ากับ 2.0 ซม.

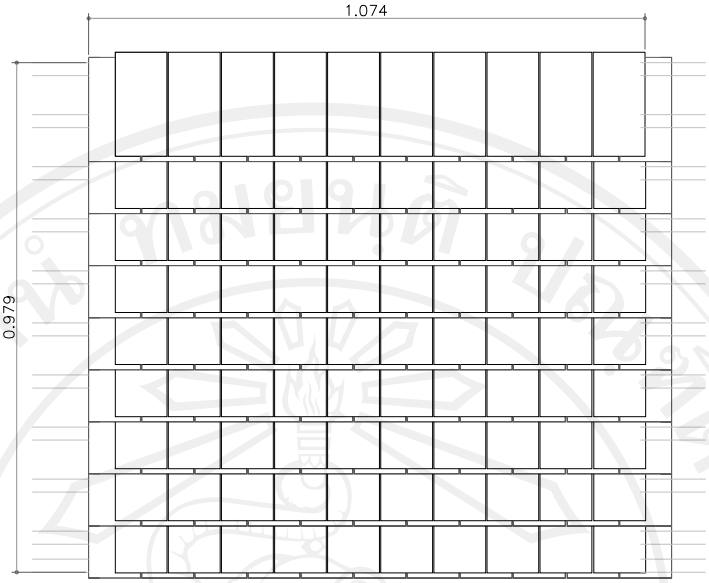
4.3 การออกแบบลวดลายของกระเบื้องมุงหลังคาดินเผา

การออกแบบลวดลายของกระเบื้องมุงหลังคาดินเผานั้น เป็นการออกแบบลวดลายที่ได้ภายหลังจากการมุงหลังคาแล้วเสร็จ จึงต้องพิจารณาจากกระเบื้องมุงหลังคาดินขอแบบดั้งเดิมและลวดลายที่ได้ภายหลังการมุง ดังแสดงในภาพที่ 4.38



ภาพที่ 4.38 กระเบื้องมุงหลังคาดินขอขนาด 10 x 20 ซม.

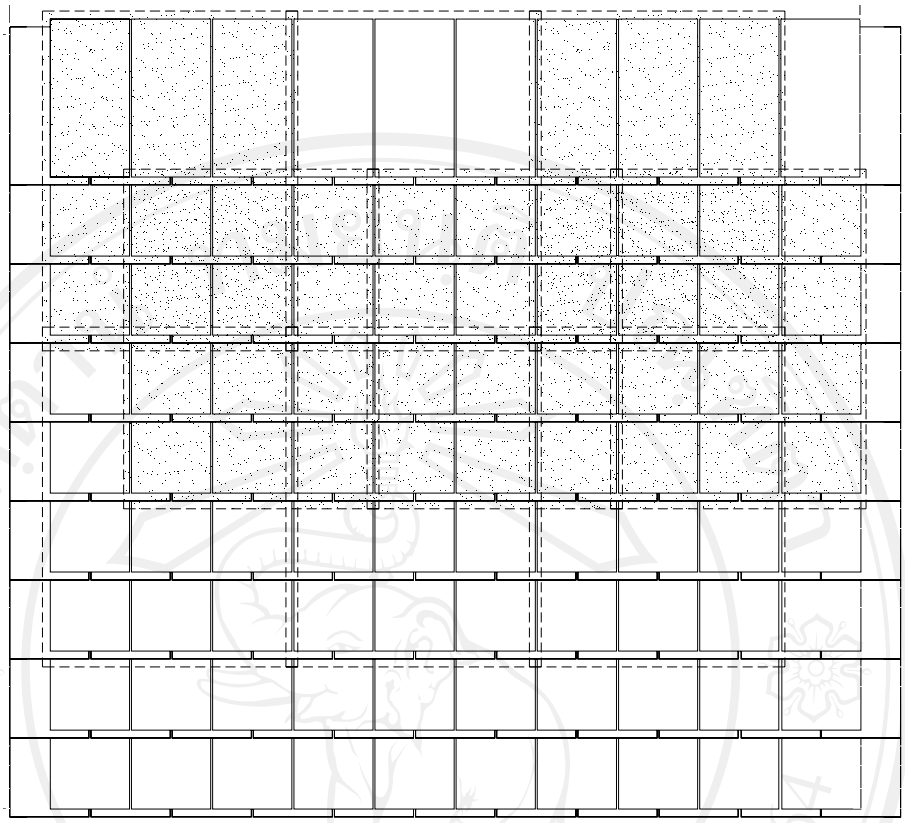
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.39 ลวดลายที่ได้ภายหลังการมุงของกระเบื้องมุงหลังคาดินขอขนาด 10 x 20 ซม.

จากภาพที่ 4.39 แสดงขนาดกระเบื้องมุงหลังคาดินขอ ที่มีขนาด กว้าง 10 ซม. ยาว 20 ซม. หนา 1 ซม. ซึ่งเป็นขนาดของกระเบื้องมุงหลังคาดินขอที่มีขายอยู่ทั่วไป ส่วนภาพที่ 4.37 แสดงลวดลายที่ได้ภายหลังจากการมุงหลังคา จากการคำนวณขนาดของกระเบื้องมุงหลังคาดินเผาในหัวข้อ 4.2 และ 4.3 ทำให้ได้ขนาดของกระเบื้องมุงหลังคาดินเผาที่มีขนาด กว้าง 32.75 ซม. ยาว 43.38 ซม. และมีความหนาเฉลี่ยเท่ากับ 2.00 ซม. จึงได้ทำการจัดกระเบื้องตามขนาดดังกล่าวให้ใกล้เคียงกับลวดลายที่ได้หลังการมุงด้วยกระเบื้องมุงหลังคาดินขอ ที่สามารถจัดเรียงได้ 2 ลักษณะด้วยกันดังแสดงในภาพที่ 4.40 และ 4.41

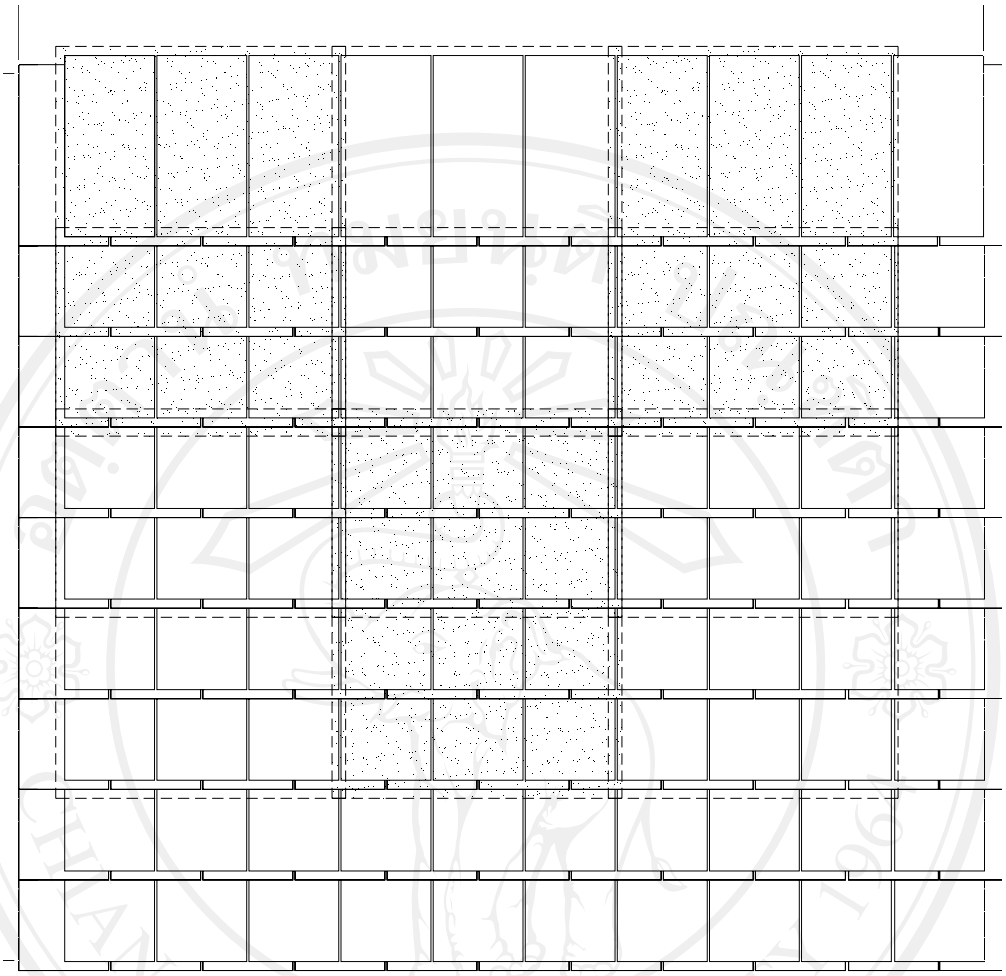
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.40 การจัดเรียงกระเบื้องมุงหลังคาดินขอแบบที่ 1

การจัดเรียงกระเบื้องดังแสดงในภาพที่ 4.40 เป็นการจัดเรียงกระเบื้องแผ่นใหญ่ที่ประกอบด้วยลายของกระเบื้องดินขอจำนวน 18 แผ่น ต่อกระเบื้องดินเผาแผ่นใหญ่ 1 แผ่น การจัดเรียงกระเบื้องแบบที่ 1 พบว่าต้องทำการมุงกระเบื้องแผ่นบนกับแผ่นล่างเยื้องกันประมาณ 10 ซม. ซึ่งจะทำให้การมุงหลังคาในลักษณะนี้เกิดความผิดพลาดได้ง่าย เนื่องจากถ้ามีความผิดพลาดที่แนวใดแนวหนึ่งของการมุงหลังคา ทำให้ลายของการมุงหลังคานั้นหลุดหรือเคลื่อนไปจากแนวที่ถูกต้อง ทำให้ยากต่อการควบคุมการทำงาน และเกิดความผิดพลาดได้ง่าย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

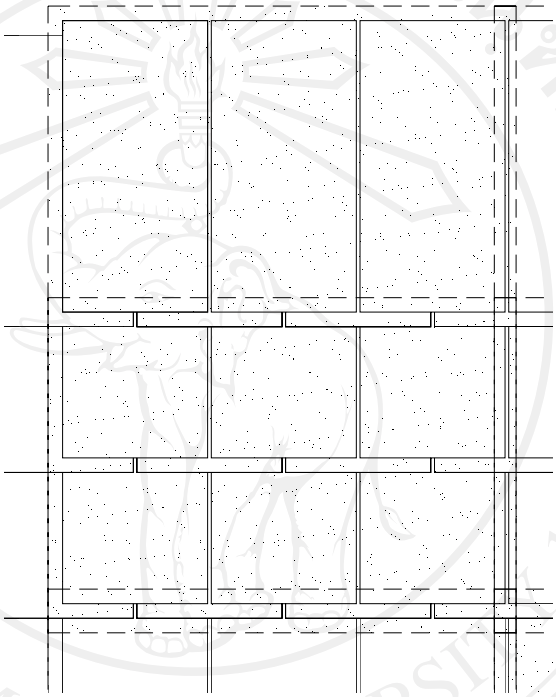


ภาพที่ 4.41 การจัดเรียงกระเบื้องมุงหลังคาดินขอแบบที่ 2

การจัดเรียงกระเบื้องดังแสดงในภาพที่ 4.41 ใช้จำนวนลายต่อแผ่นกระเบื้องเท่ากันคือ 18 แผ่นต่อกระเบื้องดินเผาแผ่นใหญ่ 1 แผ่น การจัดเรียงกระเบื้องแบบนี้มีความเป็นระเบียบเรียบร้อยมากกว่าแบบที่ 1 กล่าวคือ เป็นการมุงกระเบื้องให้แนวรอยต่อแผ่นเป็นแนวเดียวกันโดยตลอดการมุงทุกชั้นทุกแนว แต่การมุงลักษณะนี้เป็นการทำให้แนวร่องระบายน้ำอยู่ในแนวเดียวกันตลอดทั้งผืนหลังคา จะทำให้น้ำที่ระบายจากร่องดักน้ำของกระเบื้องอยู่แนวเดียวกัน เมื่อน้ำระบายมาจากแผ่นด้านบนก็จะมีโอกาสไหลลงไปในร่องดักน้ำของแผ่นกระเบื้องแผ่นล่างต่อไปเรื่อยๆ ซึ่งจะทำให้ร่องดักน้ำของกระเบื้องมุงหลังคาที่อยู่แถวด้านล่างลงไป ต้องรับน้ำที่ระบายลงมามากกว่าปกติ ทำให้น้ำล้นร่องระบายน้ำ ซึ่งจะเป็นสาเหตุของการรั่วซึมที่จะเกิดขึ้นกับผืนหลังคาแถวด้านล่างก่อนถึงส่วนชายคา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

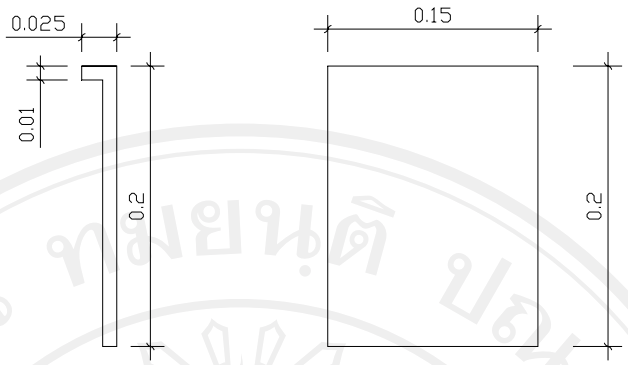
นอกจากปัญหาดังกล่าวแล้วรูปแบบของกระเบื้องชนิดใหม่นี้ ต้องการลวดลายที่ได้ภายหลังการมุงแล้วมีลักษณะใกล้เคียงกับลวดลายที่ได้จากการมุงด้วยกระเบื้องมุงหลังคาดินขอ กระเบื้องแผ่นใหญ่จึงต้องร่องเช่นเดียวกับรอยต่อแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาดินขอ ยิ่งใช้ลายของกระเบื้องดินขอที่มีขนาดเล็ก การเซาะร่องเพื่อให้เกิดลายที่ใกล้เคียงนั้นก็จะต้องมีมากตามไปด้วย ซึ่งก็จะทำให้แผ่นกระเบื้องมีความเสี่ยงที่จะแตกบริเวณที่มีร่องมากขึ้นดังแสดงในภาพที่ 4.42



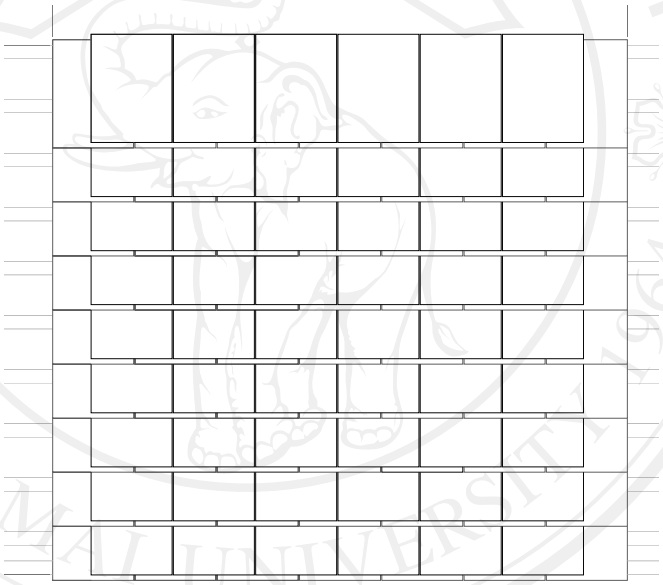
ภาพที่ 4.42 แนวร่องที่เกิดขึ้นบนแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาดินเผา

จากภาพที่ 4.42 พบว่าลายที่เกิดขึ้นบนแผ่นกระเบื้องดินขอที่มีขนาดกว้าง 10 ซม. ยาว 20 ซม.นั้น ต้องทำร่องแสดงรอยต่อแผ่นถึง 6 แนวใหญ่ๆ ซึ่งแนวหรือร่องดังกล่าวนี้ จะเป็นตัวการที่ทำให้กระเบื้องลดความแข็งแรงลง ดังนั้นจึงได้นำเสนอลายของขนาดกระเบื้องดินขอที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งเป็นขนาดที่มีขายอยู่ทั่วไปเช่นกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.43

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



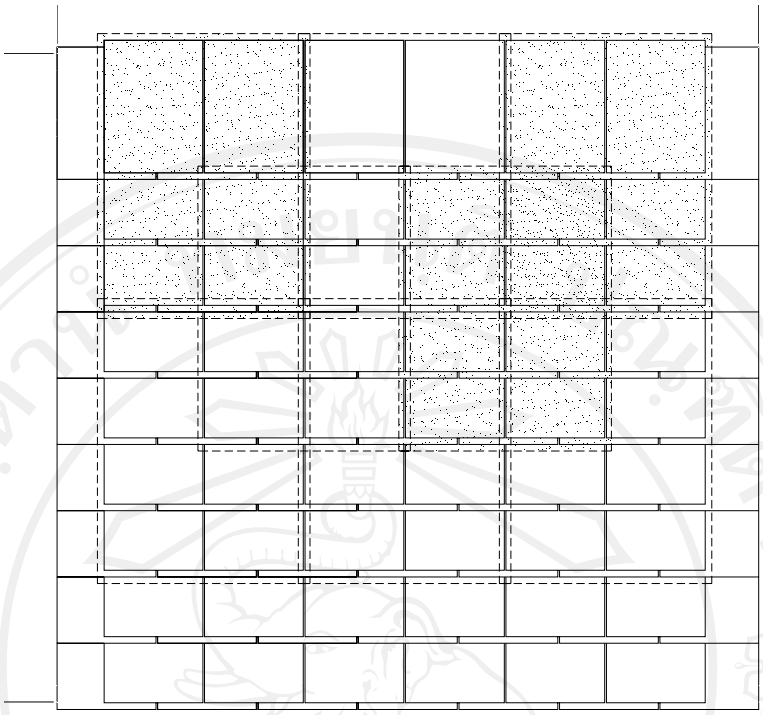
ภาพที่ 4.43 กระเบื้องมุงหลังคาดินขอขนาด 15 x 20 ซม.



ภาพที่ 4.44 ลวดลายที่ได้ภายหลังการมุงของกระเบื้องมุงหลังคาดินขอขนาด 15 x 20 ซม.

จากภาพที่ 4.43 แสดงขนาดกระเบื้องมุงหลังคาดินขอขนาด กว้าง 15 ซม. ยาว 20 ซม. และหนา 1 ซม. ส่วนภาพที่ 4.44 แสดงลวดลายที่ได้หลังการมุงด้วยกระเบื้องมุงหลังคาดินขอที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งสามารถจัดเรียงเป็นกระเบื้องมุงหลังคาแผ่นใหญ่ได้ดังแสดงในภาพที่ 4.45

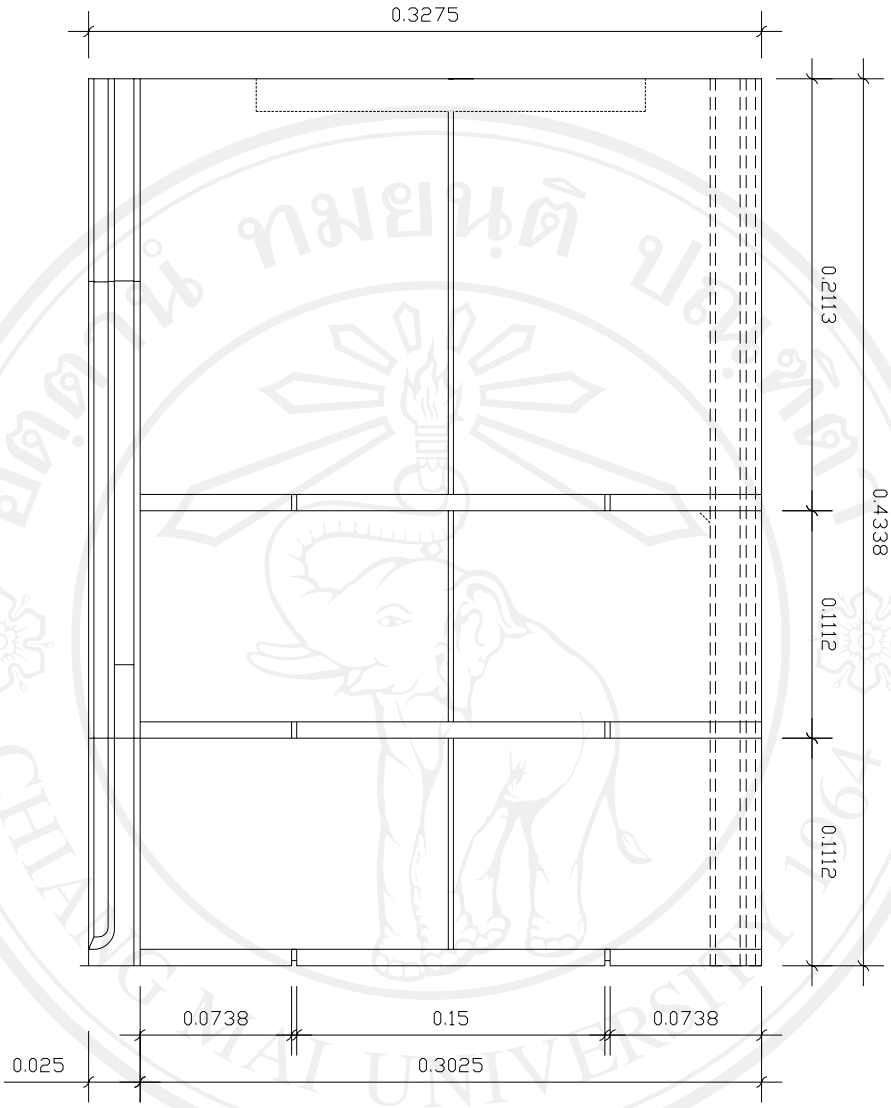
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.45 การจัดเรียงกระเบื้องมุงหลังคาดินขอ

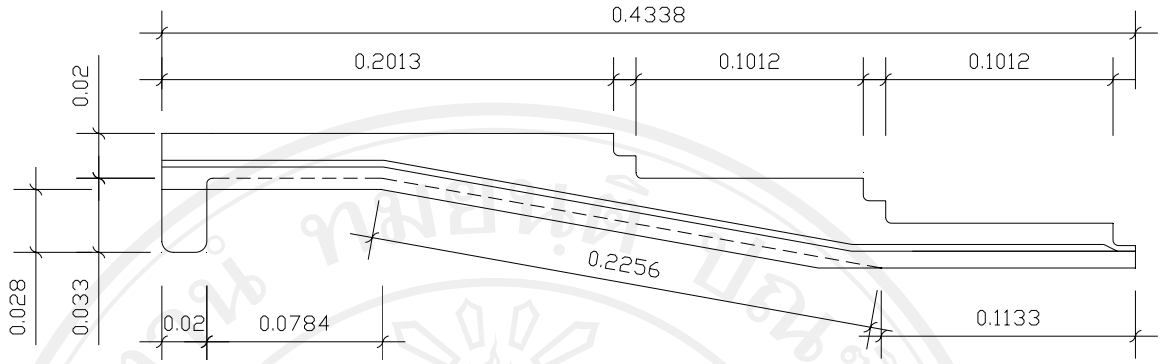
การจัดเรียงกระเบื้องดังแสดงในภาพที่ 4.45 เป็นการจัดเรียงกระเบื้องแผ่นใหญ่ที่ประกอบด้วยลายของกระเบื้องดินขอจำนวน 8 แผ่น ต่อกระเบื้องดินเผาแผ่นใหญ่ 1 แผ่น เป็นการจัดเรียงกระเบื้องรูปแบบเดียวกับการมุงกระเบื้องมุงหลังคาชนิดมีบัวดักน้ำแบบที่มีขายทั่วไป กล่าวคือเป็นการเรียงกระเบื้องแบบครึ่งแผ่น ซึ่งมีวิธีการมุงที่ง่ายกว่าลายของกระเบื้องดินขอขนาดกว้าง 10 ซม. ส่วนของร่องระบายน้ำของตัวกระเบื้องก็สลับกันแผ่นต่อแผ่น ซึ่งทำให้แนวของการระบายน้ำไม่ตรงกัน ด้วยเหตุนี้จึงต้องใช้ลายของกระเบื้องมุงหลังคาดินขอที่มีขนาด กว้าง 15 ซม. ยาว 20 ซม. ซึ่งจะได้กระเบื้องมุงหลังคาดินเผาชนิดมีระบบบัวดักน้ำที่มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

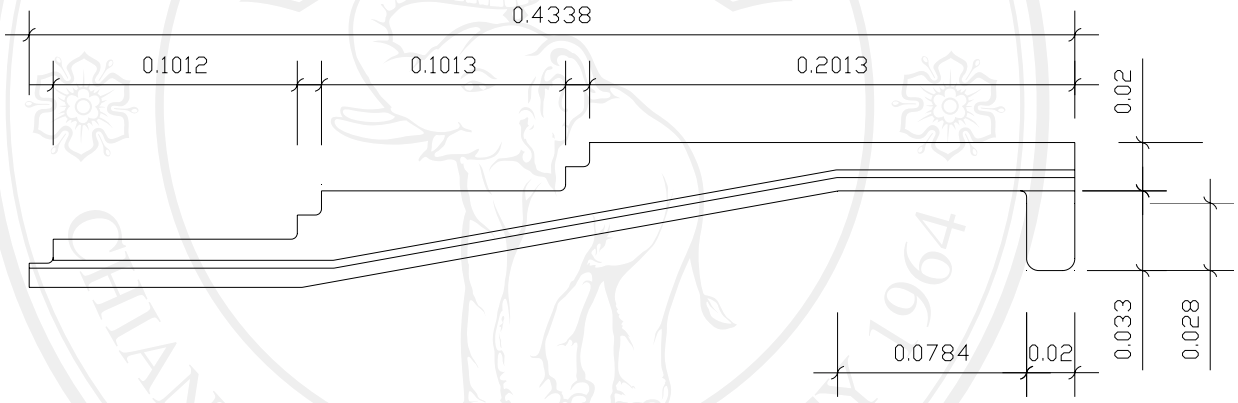


ภาพที่ 4.46 รูปด้านบนของแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาดินเผา

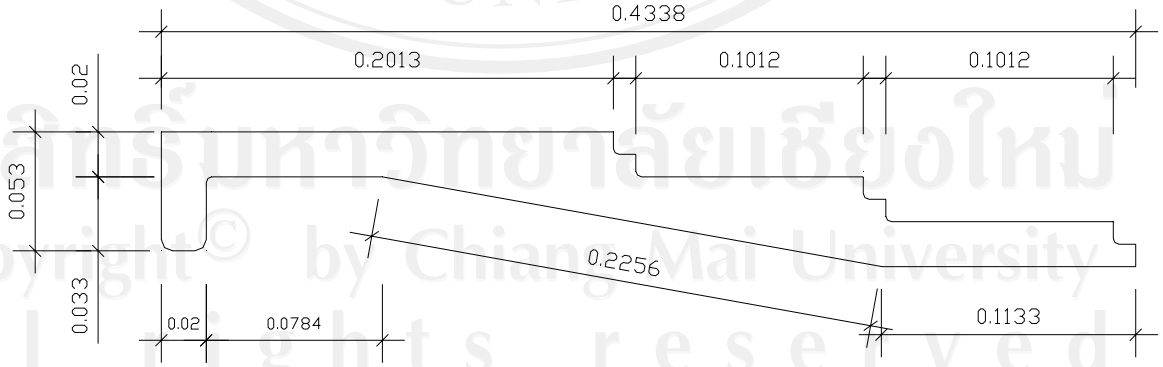
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.47 รูปด้าน ด้านซ้ายของแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาดินเผา

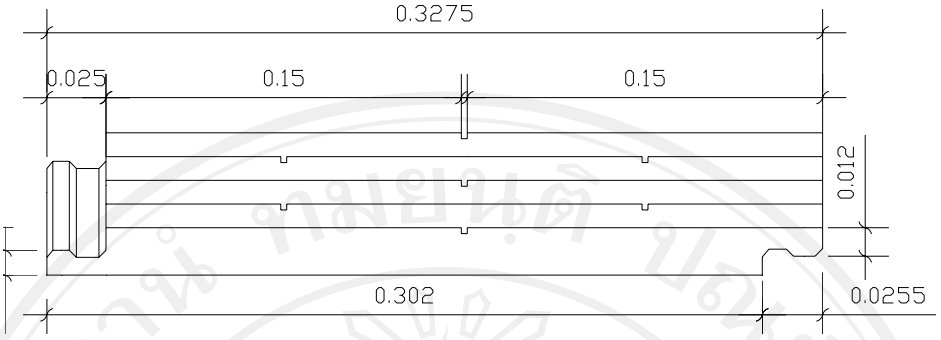


ภาพที่ 4.48 รูปด้าน ด้านขวาของแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาดินเผา

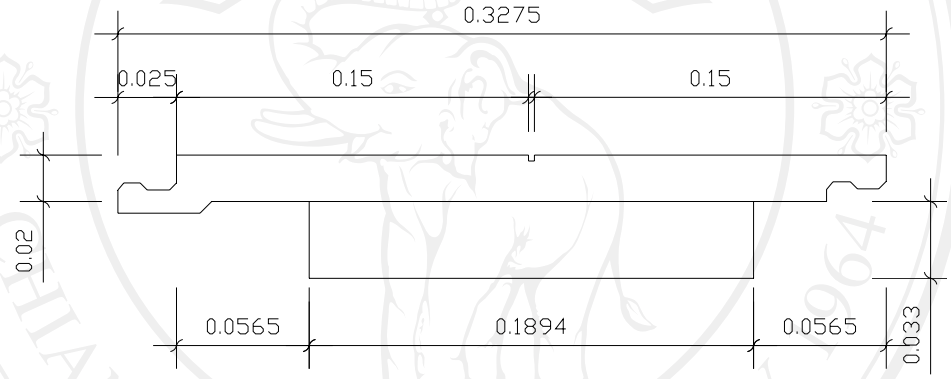


ภาพที่ 4.49 รูปตัดด้านยาวของแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาดินเผา

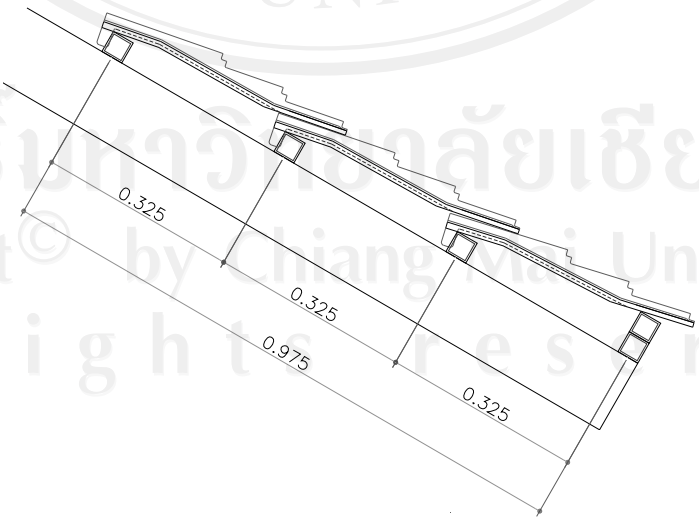
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.50 รูปตัดด้านสั้นส่วนล่างของแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาดินเผา

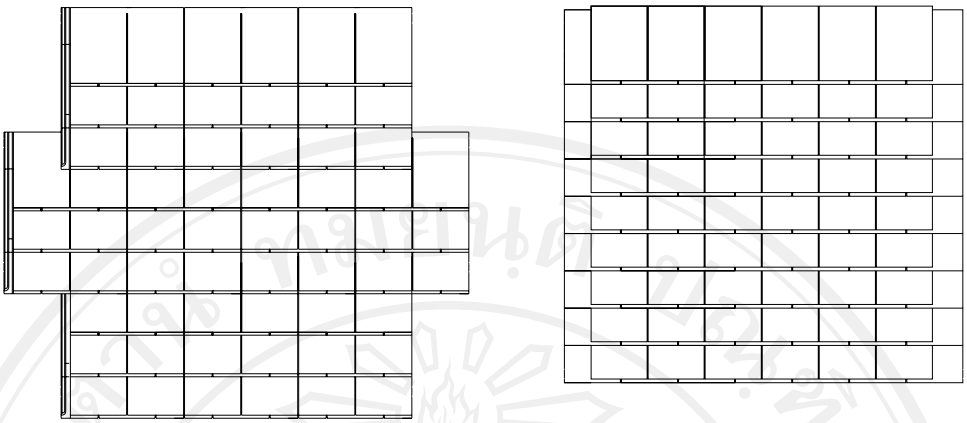


ภาพที่ 4.51 รูปตัดด้านสั้นส่วนบนของแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาดินเผา



ภาพที่ 4.52 แสดงการมุงหลังคาและระยะแป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.54 ภาพเปรียบเทียบลวดลดลายที่ได้ภายหลังการมุงหลังคา
ของกระเบื้องมุงหลังคาแบบใหม่และแบบดั้งเดิม

จากภาพแสดงรายละเอียดของกระเบื้องมุงหลังคาดินเผาแบบที่ได้รับการพัฒนาให้เป็นกระเบื้องมุงหลังคาดินเผาชนิดมีระบบบัวดักน้ำแบบชั้นเดียว การที่มีร่องดักน้ำแบบชั้นเดียวนี้จะทำให้ง่ายสำหรับการติดตั้ง โดยร่องดักน้ำมีลักษณะเป็นร่องแบบคางหมู (แสดงในภาพที่ 4.51)ซึ่งเป็นรูปทรงที่ให้การระบายน้ำดีที่สุด(Best Hydraulic Section) เมื่อเทียบกับแบบสี่เหลี่ยม สามเหลี่ยม และครึ่งวงกลม (พิชัย บุญยะกาญจน, เล่มที่ 2)

กระเบื้องมุงหลังคานี้มีขนาดกว้าง 32.75 ซม. ยาว 43.38 ซม. และมีความหนาเฉลี่ยประมาณ 2.00 ซม.ลายด้านบนแผ่นกระเบื้องด้านบนมีลักษณะเป็นร่องขนาด 2.50 ซม. X 2.50 ซม. ซึ่งเป็นลายของการใช้กระเบื้องมุงหลังคาดินขอขนาด กว้าง 15 ซม. ยาว 20 ซม. ซึ่งปรากฏลายของกระเบื้อง 8 แผ่นต่อกระเบื้องมุงหลังคาแผ่นใหญ่ 1 แผ่น แนวของร่องดักน้ำด้านข้าง จะขนานลงมาตามความยาวและรูปตัดขวางของแผ่นกระเบื้อง เมื่อทำการมุงหลังคาแล้ว ความยาวของร่องดักน้ำนี้จะซ้อนทับลงบนกระเบื้องมุงหลังคาแผ่นล่าง ซึ่งมีระยะซ้อนทับด้านบนเท่ากับ 10 ซม. แนวของร่องดักน้ำจะอยู่ต่ำจกว่าแนวท้องกระเบื้องประมาณ 5 ม.ม. ทั้งนี้เพื่อทำให้ความหนาของกระเบื้องที่ต้องถูกเซาะออกของร่องด้านตรงข้ามมีมากพอที่จะไม่แตกได้โดยง่าย (แสดงในภาพที่ 4.51-4.52)

กระเบื้องมุงหลังคาที่ได้รับการพัฒนานี้ เมื่อทำการมุงกับโครงสร้างหลังคา สามารถใช้กับระยะแปหรือกลอนเท่ากับ 30-32.50 ซม. ซึ่งเป็นระยะที่เท่ากับหรือใกล้เคียงกับกระเบื้องมุงหลังคาชนิดมีระบบบัวดักน้ำที่มีขายอยู่ทั่วไป(แสดงในภาพที่ 4.50) เมื่อนำลวดลายที่ได้ภายหลังการมุงด้วยกระเบื้องมุงหลังคาทั้งสองแบบมาเปรียบเทียบกันแล้ว (แสดงในภาพที่ 4.54) พบว่ามีลักษณะใกล้เคียงกับการมุงหลังคาด้วยกระเบื้องมุงหลังคาดินขอแบบดั้งเดิม ทั้งยังสามารถเพิ่มระยะแปหรือกลอนจาก 10 ซม. ให้กลายเป็น 32.50 ซม.

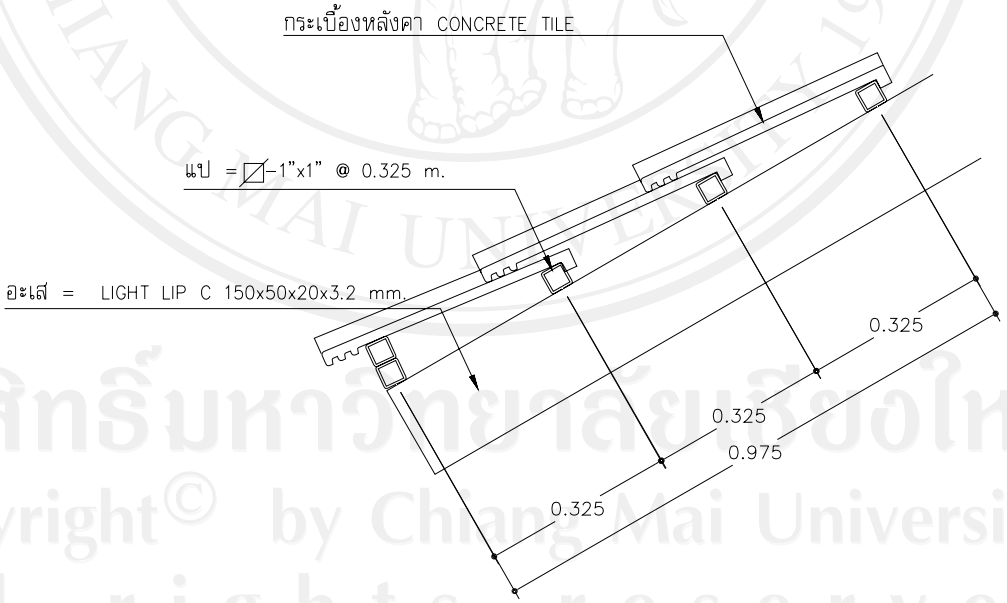
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4 การวิเคราะห์ราคาค่าดำเนินการเปรียบเทียบกับวัสดุมุงหลังคาชนิดอื่น

การวิเคราะห์ราคาค่าดำเนินการเปรียบเทียบกับวัสดุมุงหลังคาชนิดอื่น เป็นการวิเคราะห์ให้ทราบถึงราคาค่าดำเนินการเกี่ยวกับโครงสร้างเหล็กรับกระเบื้องมุงหลังคาหลังคาและราคาประมาณการของแผ่นกระเบื้องต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร โดยจะเปรียบเทียบกระเบื้องมุงหลังคาดินเผาที่ได้รับการพัฒนารูปแบบกับกระเบื้องมุงหลังคาชนิดมีระบบบัวดักน้ำที่มีขายอยู่ทั่วไป ซึ่งประกอบไปด้วย

4.4.1. กระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตที่มีมีระบบบัวดักน้ำชนิดลอน

กระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตที่มีระบบบัวดักน้ำชนิดลอนที่มีขายอยู่ทั่วไปนั้น(ภาพแสดงที่ 2.9) มีขนาดกว้าง 33.00 ซม. ยาว 42.00 ซม. หนาประมาณ 1.20 ซม. ใช้กระเบื้อง 10 แผ่นต่อการมุงหลังคา 1.00 ตารางเมตร มีน้ำหนักประมาณ 4.00 กก.ต่อแผ่น หรือ ประมาณ 40 กก.ต่อตารางเมตร สามารถมุงกับองศาหลังคาตั้งแต่ 17-45 องศา มีระยะซ้อนทับด้านบนประมาณ 10-13 ซม. (ขึ้นอยู่กับระยะแป) ระยะแปหรือกลอนประมาณ 32.00-34.00 ซม. การยึดเกาะกับโครงสร้างหลังคาสามารถใช้ได้ทั้งตะปูเกลียว ขอยึดสำเร็จรูปและลวด ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดการติดตั้งในภาพที่ 4.54 (รายละเอียดของราคาดูที่ตาราง 2.3)

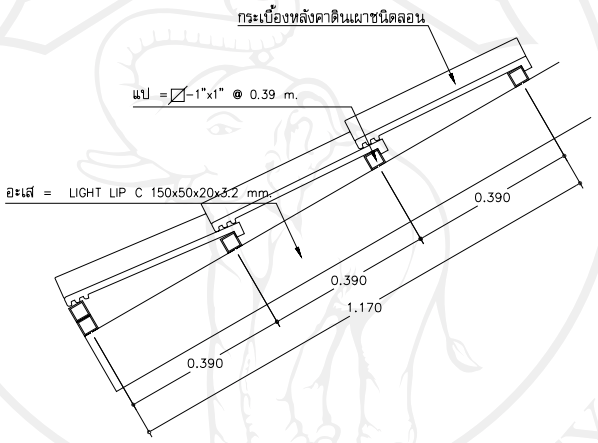


ภาพที่ 4.54 แสดงขนาด ระยะ และวัสดุในการติดตั้ง
กระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตที่มีมีระบบบัวดักน้ำชนิดลอน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4.2 กระเบื้องมุงหลังคาดินเผาที่มีมีระบบบัวดักน้ำชนิดลอน

กระเบื้องมุงหลังคาดินเผาที่มีมีระบบบัวดักน้ำชนิดลอนที่มีขายอยู่ทั่วไปนั้น(ภาพแสดงที่ 2.11) มีขนาดความกว้าง 29.00 ซม. ยาว 45.00 ซม. และความหนาประมาณ 2.00 ซม. ใช้กระเบื้อง 11 แผ่นต่อการมุงหลังคา 1.00 ตารางเมตร มีน้ำหนักประมาณ 3.80 กก.ต่อแผ่น หรือ ประมาณ 41.80 กก.ต่อตารางเมตร สามารถมุงกับองศาหลังคาตั้งแต่ 17-45 องศา มีระยะซ้อนทับด้านบนประมาณ 5.50 ซม. (ขึ้นอยู่กับระยะแป) ระยะแปหรือกลอนประมาณ 38.5-39.00 ซม. การยึดเกาะกับโครงสร้างหลังคา สามารถใช้ได้ทั้งตะปูเกลียว ขอยึดสำเร็จรูปและลวด ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดการติดตั้งในภาพที่ 4.56



ภาพที่ 4.56 แสดงขนาด ระยะ และวัสดุในการติดตั้ง
กระเบื้องมุงหลังคาดินเผาที่มีมีระบบบัวดักน้ำชนิดลอน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

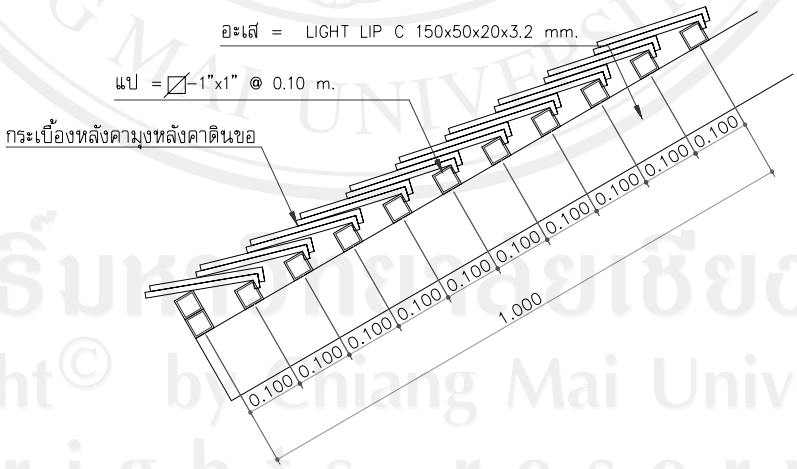
ซึ่งมีราคาค่าดำเนินการดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่าดำเนินการของการใช้งานกระเบื้องมุงหลังคาดินเผาชนิดลอน

ลำดับ	รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ค่าวัสดุ		ค่าแรง		รวมราคา
				ราคา/หน่วย	รวม	ราคา/หน่วย	รวม	ทั้งสิ้น
1.0	กระเบื้องมุงหลังคาดินเผาชนิดลอน							
1.1.	อะเสเหล็ก : Light Lip C 100x50x20x3.2 mm.	1.00	ม.	80.00	80.00		40.00	120.00
1.2	แปเหล็ก : 25x25x1.6 mm.	4.00	ม.	30.83	123.32		40.00	163.32
1.3	กระเบื้องมุงหลังคาดินเผาชนิดลอน	11.00	แผ่น	42.00	462.00	6.00	66.00	528.00
1.0	กระเบื้องมุงหลังคาดินเผาชนิดลอน	ที่มา : Global House เชียงใหม่ 9 ตุลาคม 2551			665.32		146.00	811.32

4.4.3 กระเบื้องมุงหลังคาดินขอ

กระเบื้องมุงหลังคาดินขอ ดังข้อมูลที่กล่าวไว้ข้างต้นนั้น สามารถแสดงรายละเอียดการติดตั้งในภาพที่ 4.56 (รายละเอียดของราคาดูที่ตาราง 2.4)

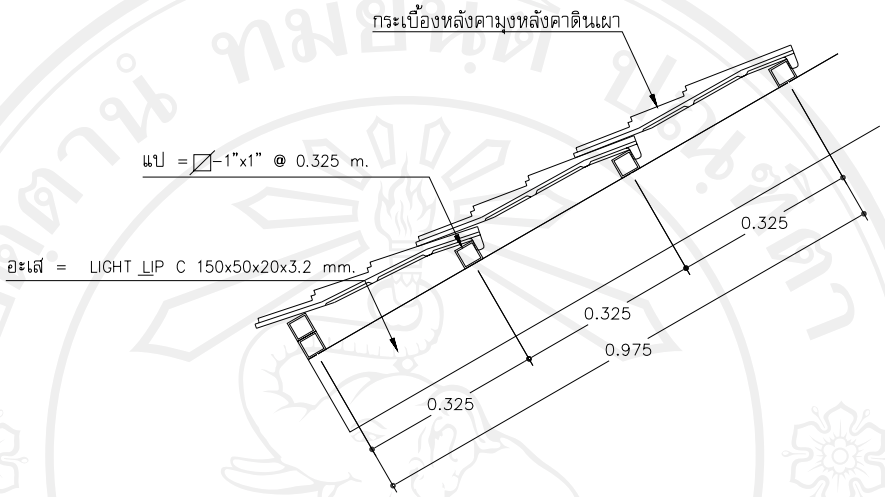


ภาพที่ 4.56 แสดงขนาด ระยะ และวัสดุในการติดตั้ง
กระเบื้องมุงหลังคาดินขอ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4.4 กระเบื้องมุงหลังคาดินเผาที่ได้รับการพัฒนาแล้วจากงานวิจัยนี้

กระเบื้องมุงหลังคาดินเผาที่ได้รับการพัฒนาแล้ว ดังข้อมูลที่กล่าวไว้ข้างต้นนั้น สามารถแสดงรายละเอียดการติดตั้งในภาพที่ 4.57



ภาพที่ 4.57 แสดงขนาด ระยะ และวัสดุในการติดตั้ง
กระเบื้องมุงหลังคาดินเผาที่ได้รับการพัฒนาแล้ว

โดยกระเบื้องมุงหลังคาดินเผาที่ได้รับการพัฒนาแล้ว มีค่าดำเนินการต่างๆต่อตารางเมตรดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงค่าดำเนินการของการใช้งานกระเบื้องมุงหลังคาดินเผาที่ได้รับการพัฒนาแล้ว(35.00 * : ราคาประมาณการ)

ลำดับ	รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ค่าวัสดุ		ค่าแรง		รวมราคาทั้งสิ้น
				ราคา/หน่วย	รวม	ราคา/หน่วย	รวม	
1.0	กระเบื้องมุงหลังคาดินเผาที่ได้รับการพัฒนา							
1.1	อะเสเหล็ก : Light Lip C 100x50x20x3.2 mm.	1.00	ม.	80.00	80.00		40.00	120.00
1.2	แปเหล็ก : 25x25x1.6 mm.	4.00	ม.	30.83	123.32		40.00	163.32
1.3	กระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีตชนิดลอน	10.00	แผ่น	35.00	350.00	6.00	60.00	410.00
1.0	กระเบื้องมุงหลังคาดินเผาที่ได้รับการพัฒนา				203.32		140.00	693.32
		ที่มา : Global House เชียงใหม่ 9 ตุลาคม 2551						

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากข้อมูลข้างต้นเรื่องค่าดำเนินการต่างๆรวมค่าวัสดุและแรงงานเปรียบเทียบระหว่างกระเบื้องมุงหลังคาที่มีระบบบัวดักน้ำชนิดต่างๆที่มีขายทั่วไปกับกระเบื้องมุงหลังดินเผาที่ได้รับการพัฒนา พบว่ากระเบื้องมุงหลังคาชนิดมีระบบบัวดักน้ำมีราคาต่อตารางเมตรที่ไม่แพงไปกว่ากันมาก เนื่องจากสามารถใช้โครงสร้างที่มีขนาดและระยะใกล้เคียงกัน ในขณะที่กระเบื้องมุงหลังคาดินขอมีราคาต่อตารางเมตรสูงกว่าอันเนื่องมาจากราคาวัสดุต่อตารางเมตรสูงกว่าทั้งกระเบื้องมุงหลังคาและโครงสร้างเหล็ก

4.5 การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการผลิต

แนวทางการผลิตกระเบื้องมุงหลังคาดินเผาชนิดมีระบบบัวดักน้ำนั้น สามารถทำได้หลายแนวทางด้วยกัน ประกอบด้วย

4.5.1 การผลิตกระเบื้องด้วยระบบอัดแรง (Pressing)

การผลิตกระเบื้องด้วยระบบอัดแรงนั้น มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายมาช้านานแล้ว โดยมากจะใช้เป็นเครื่องจักรขนาดใหญ่ที่สามารถผลิตแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาได้ครั้งละมากแผ่น โดยมากมักใช้กับโรงงานอุตสาหกรรมที่มีเงินลงทุนสูง เพราะต้องใช้เป็นรูปแบบของรางการผลิตแบบสายพานที่ใช้พื้นที่มาก ทั้งเรื่องพื้นที่ของเครื่องจักร รางสายพาน พื้นที่กองเก็บวัสดุ เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 4.58 และ4.59

ภาพที่ 4.58 Accessory tile press

(http://www.ilr.it/later/ZI/zi0598.htm)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 4.59 Swivel table press

(http://www.ilr.it/later/ZI/zi0598.htm)

ดินที่นำมาใช้ต้องเป็นดินที่ผ่านการดูดอากาศออกจนหมดแล้วเท่านั้น ในขั้นตอนของการกดดินเพื่อทำกระเบื้องนั้น แม่พิมพ์ที่มีใช้กันอยู่ทั่วไปมีทั้งที่เป็นแม่พิมพ์ปูนแม่พิมพ์ยางพารา แม่พิมพ์เหล็ก ละแม่พิมพ์ปูนพลาสเตอร์ผสมเรซิน ที่สามารถให้เหลี่ยมคมตลอดจนรูปทรงต่างๆ ของกระเบื้องได้คมชัดมากที่สุด ภาพแสดงที่ 4.60

ภาพที่ 4.60 แม่พิมพ์ปูนพลาสเตอร์ผสมเรซิน

(www.lafargesiamroofing.com, 2551)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นอกจากการที่ต้องมีเครื่องจักรและพื้นที่มาแล้ว ยังต้องมีเครื่องมือที่จะเป็นตัวช่วยมิให้กระเบื้องมีการเปลี่ยนรูปทรงทั้งจากการสัมผัส ตลอดจนน้ำหนักของตัวกระเบื้องเองนั่นก็คือ H Cassette หรือ ถาดรองแผ่นกระเบื้อง ดังแสดงในภาพที่ 4.61

ภาพที่ 4.61 ถาดรองแผ่นกระเบื้อง

(www.lafargesiamroofing.com)

H Cassette ถาดรองแผ่นกระเบื้องผลิตจาก PVC หรือพลาสติก มีคุณสมบัติเพื่อป้องกันไม่ให้กระเบื้องดินเผาที่ยังไม่แห้งมีการเปลี่ยนแปลงรูปทรงหรือยอมให้มีการเปลี่ยนแปลงรูปทรงน้อยที่สุดก่อนการนำไปเข้าเตาเผา เนื่องจากกระเบื้องดินเผาถือว่าเป็นงานเซรามิกชนิดหนึ่งที่เอถูกนำผ่านความร้อนย่อมมีการยุบตัวหรือหดตัวตามแต่เปอร์เซ็นต์การหดตัวของดินแต่ละชนิด กระเบื้องมุงหลังคาดินเผาที่ได้รับการพัฒนานั้นมีรูปร่างและรูปทรงที่ไม่สมมาตร ทั้งยังมีรูปตัดขวางที่ไม่สามารถวางราบกับพื้นหรือวัสดุรองรับได้ การผลิตนั้นก็ควรจะใช้แนวทางการผลิตแบบระบบอัดแรงและต้องใช้ถาดรองเพื่อป้องกันการเปลี่ยนรูปทรง จึงจะสามารถทำได้ และควรเผาด้วยอุณหภูมิสูงกว่า 800 องศาเซลเซียส

4.5.2 การผลิตกระเบื้องด้วยแบบหล่อพิมพ์ปูนพลาสเตอร์

การผลิตกระเบื้องด้วยแบบหล่อพิมพ์ปูนพลาสเตอร์ เป็นการผลิตกระเบ้องมุงหลังคาที่นำหลักการของการผลิตแก้วน้ำ หรือแจกันเซรามิก ที่ใช้แบบหล่อพิมพ์ปูนพลาสเตอร์แล้วค่อยๆเติมน้ำดิน ที่ได้จากผงดินคอมพาวด์(ดินที่ผ่านการดูดอากาศออกจนหมด)ที่ผสมกับน้ำจนมีลักษณะข้นเหลวจนเป็นเนื้อเดียวกับน้ำ แล้วทำการหมุนแม่หล่อดังกล่าวเพื่อให้น้ำดินกลิ้งอยู่ตามขอบแม่พิมพ์แล้วทำซ้ำเรื่อยๆจนได้ความหนาของชิ้นงานที่ต้องการจึงถอดแม่พิมพ์ออก นำชิ้นงานไปตากได้ โดยสามารถแสดงขั้นตอนการผลิตได้ดังนี้

1. การผลิตต้นแบบขี้ผึ้ง

การผลิตต้นแบบขี้ผึ้ง เป็นการสร้างต้นแบบตามขนาดจริง เพื่อจะนำต้นแบบขี้ผึ้งนี้ไปทำแม่พิมพ์ปูนพลาสเตอร์อีกครั้ง ดังแสดงในภาพที่ 4.62

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 4.62 ต้นแบบขี้ผึ้ง

2. การผลิกระเบื้องด้วยปูนพลาสเตอร์

การผลิตกระเบื้องด้วยปูนพลาสเตอร์ เป็นการผลิตจากการหล่อปูนพลาสเตอร์ลงไปในแม่พิมพ์ปูนพลาสเตอร์ที่รองรับด้วยแผ่นแม่พิมพ์ยางพาราอีกชั้นเพื่อให้สามารถถอดแม่พิมพ์ออกมาไอย่างง่ายดาย แล้วก็ทำการถอดพิมพ์ออก จากนั้นทดลองทาสีให้ใกล้เคียงกับวัสดุที่ทำมาจากดินเผา แสดงในภาพที่ 4.63

ภาพที่ 4.63 กระเบื้องที่ผลิตจากปูนพลาสเตอร์ทาสี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่4.64 การนำกระเบื้องที่ผลิตด้วยปูนพลาสเตอร์
มามุงบนโครงสร้างเหล็ก

3. การสร้างแม่พิมพ์ปูนพลาสเตอร์แบบหล่อน้ำดิน

การสร้างแม่พิมพ์ปูนพลาสเตอร์แบบหล่อน้ำดิน เป็นเหมือนขั้นตอนที่ 2 หากแต่ไม่ได้ใช้ต้นแบบขี้ผึ้ง แต่ใช้ต้นแบบปูนพลาสเตอร์ โดยเลือกแผ่นที่ดีที่สุดของการหล่อด้วยปูนพลาสเตอร์มาทำการตกแต่งขอบและระดับให้ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด และจากการทดลองมุงกับโครงสร้างหลังคาพบว่าแบบขั้นแรกที่ได้ผลิตขึ้นนั้นยังไม่สามารถป้องกันการรั่วซึมของน้ำฝนได้ดีพอ เนื่องจากความยาวของร่องดักน้ำแผ่นด้านบนไม่ยาวลงมาคลุมถึงแผ่นด้านล่าง ทำให้เมื่อฝนตกจะเกิดเป็นช่องว่างก่อนถึงแผ่นด้านล่าง แสดงในภาพที่ 4.65

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่4.65 ความยาวของร่องระบายน้ำยาวไม่คลุมเหนือกระเบื้องแผ่นล่าง

จากเหตุผลข้างต้นนี้ ก่อนการผลิตแม่พิมพ์ปูนพลาสเตอร์จึงต้องมีการแก้ไขข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นทั้งหมดก่อน นอกจากนี้ยังมีการแต่งร่องบนผิวด้านหน้าของกระเบื้องให้ชัดและลึกมากขึ้น เพื่อให้ภาพที่ลายที่ได้ภายหลังการมุงนั้นชัดเจนพอ ดังแสดงในภาพ 4.66

ภาพที่4.66 กระเบื้องที่ได้รับการแก้ไขส่วนบัวดักน้ำ

หลังจากได้ต้นแบบดังกล่าวแล้ว จึงนำเอาไปทำแม่พิมพ์ปูนพลาสเตอร์เพื่อหล่อน้ำดิน ซึ่งจะประกอบไปด้วยพิมพ์ 2 ชุดด้วยกันคือพิมพ์ด้านหน้าและพิมพ์ด้านหลังดังแสดงในภาพที่ 4.67

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่4.67 แม่พิมพ์เพื่อหล่อน้ำดิน

ภาพที่4.68 รูกรอกน้ำดิน

4. การเตรียมน้ำดินและการกรอกน้ำดิน

ขั้นตอนการเตรียมน้ำดิน เริ่มจากการนำผงดินคอมพาวน์มาผสมกับน้ำแล้วตีให้เข้ากันจนมีลักษณะข้น จากนั้น จากนั้นจึงค่อยๆตักเทลงไปในพิมพ์เรื่อยๆจนน้ำดินไม่ยุบตัวดังแสดงในภาพที่ 4.69

ภาพที่ 4.69 ขั้นตอนการเตรียมน้ำดิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 4.70 การตีดินให้เข้ากัน

ภาพที่ 4.71 การกรอกน้ำดินเข้าไปในแม่พิมพ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หลังจากที่กรอกน้ำดินเข้าไปจนไม่สามารถกรอกได้แล้ว ให้ทิ้งไว้ให้แห้ง วิธีสังเกตคือการกดแม่พิมพ์ หากยังสามารถกดลงได้อยู่แสดงว่าแม่พิมพ์ปูนพลาสเตอร์ยังช่วยดูดน้ำออกจากดินไม่หมด แล้วทิ้งไว้จนไม่สามารถกดแม่พิมพ์ลงได้จึงสามารถนำกระเบื้องออกจากแม่พิมพ์ได้ ในขั้นตอนนี้อาจใช้เวลานานมาก เพราะต้องรอให้ดินแห้งสนิทจริงๆ เพราะหากรีบเอากระเบื้องออกจากแม่พิมพ์ในขณะที่ดินยังมีน้ำอยู่ ชิ้นงานอาจมีการเปลี่ยนรูปหรืออาจหักได้ ดังแสดงในภาพที่

4.72 เมื่อนำกระเบื้องออกจากแม่พิมพ์แล้วสามารถนำเอาไปเข้าเตาเผา ขึ้นอยู่กับว่าต้องการโดยเตาแก๊สหรือเป็นการเผาแบบพื้นบ้านคือแบบการเผาถ่าน ก็สามารถทำได้เช่นเดียวกัน

ภาพที่ 4.72 กระเบื้องดินเผาที่นำออกจากแม่พิมพ์

จากข้อมูลด้านความเป็นไปได้ในการผลิตทั้งสองแนวทางนั้นพบว่า สามารถผลิตได้ทั้งสองแนวทางกล่าวคือ แนวทางการผลิตแบบอุตสาหกรรมโดยใช้การขึ้นรูปกระเบื้องโดยวิธีอัดแรง (Pressing) สามารถทำได้โดยใช้แนวทางการผลิตเช่นเดียวกับการผลิตกระเบื้องมุงหลังคาดินเผาชนิดมีระบบบัวดักน้ำที่มีขายทั่วไป และควรเพิ่มอุปกรณ์ถาดรองแผ่นกระเบื้อง เนื่องจากทำให้ไม่ต้องสัมผัสแผ่นชิ้นงานในขณะที่ยังไม่แห้ง และยังช่วยให้กระเบื้องไม่เสียรูปทรงจากน้ำหนักตัวแผ่นกระเบื้องที่มีรูปทรงไม่สมมาตร

ส่วนการขึ้นรูปกระเบื้องโดยวิธีการหล่อด้วยแม่พิมพ์ปูนพลาสเตอร์หรือการหล่อน้ำดินนั้นเป็นแนวทางที่ใช้ต้นทุนในการดำเนินการต่ำกว่าแนวทางแรกมาก เนื่องจากไม่ต้องซื้อเครื่องจักรขนาดใหญ่ มีเพียงการสร้างแม่พิมพ์ปูนพลาสเตอร์ ซึ่งใช้ต้นทุนไม่สูงมาก กระเบื้องดินเผาที่ได้ออกมาก็มีลักษณะใกล้เคียงกัน การขึ้นรูปด้วยการหล่อน้ำดินนั้น ชิ้นงานจะไม่ถูกสัมผัสหรือรบกวนจนแห้งสนิทเช่นเดียวกับแนวทางแรง การที่ชิ้นงานอยู่ในแม่พิมพ์ตลอดเวลาก็ช่วยให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปทรงน้อย ฉะนั้นแนวทางการขึ้นรูปกระเบื้องแบบที่สอง ประชาชนหรือโรงงานท้องถิ่นที่มีอยู่ทั่วไปสามารถทำได้เอง เพียงแต่ข้อจำกัดของแนวทางที่สองนี้คือเรื่องจำนวนของแม่พิมพ์ปูนพลาสเตอร์ที่ต้องมีปริมาณมากพอ และเรื่องของเวลาที่ต้องใช้ในการทำให้ชิ้นงานแห้งสนิท

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved