

บทที่ 4

ผลดำเนินงานวิจัย

ผลการดำเนินงานวิจัยสำหรับวิทยานิพนธ์เรื่อง การพัฒนาคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง ดำเนินงานวิจัยโดยประยุกต์เทคนิคทางวิศวกรรมมาใช้ในการวิเคราะห์ ดังต่อไปนี้

4.1 การเตรียมคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสเพื่อนำไปทดสอบ

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส ซึ่งมีปัจจัยส่วนผสมที่สำคัญ 4 ปัจจัย คือ 1) โฟม 2) ทราบาย 3) ซีเมนต์ 4) ซิลิกาฟูม และนำไปทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรมมอก.2601-2556 เรื่อง คอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ โดยได้อ้างอิงมาตรฐานคอนกรีตบล็อกมวลเบาชนิด C12 ทั้งหมด 3 ค่าคือ 1) กำลังคอนกรีตมวลเบา 2) อัตราการดูดกลืนน้ำ 3) ความหนาแน่นเชิงปริมาตร ดังภาพที่ 4.1 ตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาที่ใช้ทดสอบในงานวิจัย เมื่อได้ค่าจากการทดสอบจึงนำค่าที่ได้ทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป



ภาพที่ 4.1 ตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาที่ใช้ทดสอบในงานวิจัย

4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองของการออกแบบการทดลองแบบผสม

4.2.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองของการออกแบบการทดลองแบบผสมสำหรับตัวแปรผลตอบกำลังอัดคอนกรีตมวลเบา (Y_1)

จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมมินิแท็บเพื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อหาผลกระทบของแต่ละปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา โดยวิเคราะห์ผลตามหัวข้อดังนี้

1.1) การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัย

วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยกำลังอัดคอนกรีตมวลเบา ดังตารางที่ 4.1 วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อคัดกรองปัจจัยที่มีนัยสำคัญ โดยการพิจารณาจากค่า P-Value ที่ค่าระดับนัยสำคัญ α เท่ากับ 0.05 ถ้าปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อผลตอบมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าไม่ปฏิเสธสมมติฐานหลัก นั่นคือยอมรับ H_0 กล่าวคือ ผลกระทบดังกล่าวมีผลต่อผลตอบอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าหากปัจจัยไม่มีนัยสำคัญต่อผลตอบมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 แสดงว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก นั่นคือยอมรับ H_1 กล่าวคือ ผลกระทบดังกล่าวไม่มีผลต่อผลตอบอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ จากข้อมูลในตารางที่ 4.1 พบว่าผลกระทบของปัจจัยหลัก (Main Effects) มีผลต่อกำลังอัดคอนกรีตมวลเบาทุกตัวเพราะเป็นปัจจัยส่วนผสมไม่อิสระต่อกัน ส่วนค่าที่เป็น * เนื่องจากการกำหนดขอบเขตของระดับของปัจจัยและอัตราส่วนผสม เมื่อลดอัตราส่วนของปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งอัตราส่วนที่เหลือทั้งสามจะต้องเพิ่มขึ้นในทางกลับกันหากเพิ่มอัตราส่วนของปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งอัตราส่วนที่เหลือทั้งสามจะต้องลดลง ส่วนผลกระทบของอันตรกิริยา (Interaction Term) ของปัจจัย Sand(A)*Foam(B) Sand(A)*Cement(C) Sand(A)*Silica(D) Foam(B)*Cement(C) และ Foam(B)*Silica(D) มีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดคอนกรีตมวลเบาซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงในการนำคอนกรีตมวลเบาไปใช้งาน

ตารางที่ 4.1 ผลกระทบของแต่ละปัจจัยส่วนผสมต่อกำลังอัดคอนกรีตมวลเบา

Term	Coef	SE Coef	T	P	นัยสำคัญ
Sand(A)	80	10.70	*	*	-
Foam(B)	-3,130	428.38	*	*	-
Cement(C)	156	24.62	*	*	-
Silica(D)	2	22.87	*	*	-
Sand(A)*Foam(B)	3,201	442.82	7.23	0.00	Significant
Sand(A)*Cement(C)	-459	69.61	-6.59	0.00	Significant
Sand(A)*Silica(D)	-243	27.34	-8.87	0.00	Significant
Foam(B)*Cement(C)	3,261	442.83	7.36	0.00	Significant
Foam(B)*Silica(D)	3,701	447.94	8.26	0.00	Significant

S = 0.0412165 PRESS = 0.0871496

R-Sq = 93.60% R-Sq(pred) = 86.88% R-Sq(adj) = 91.56%

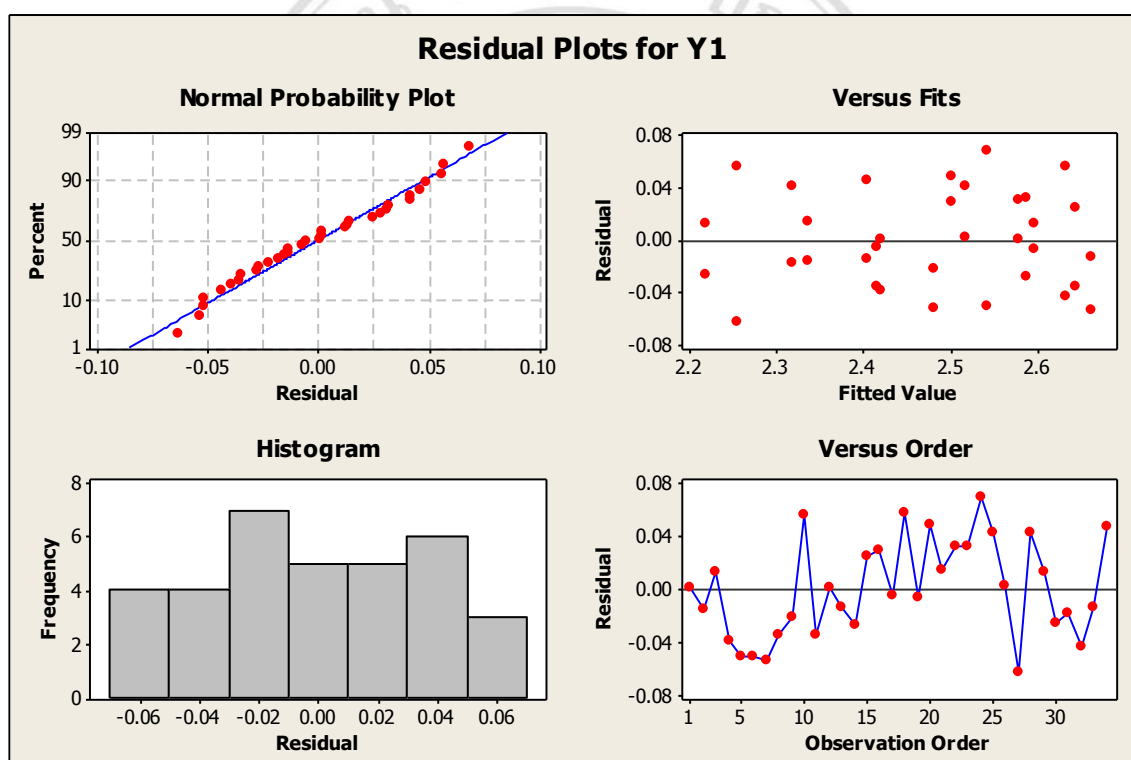
1) ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลโดยการวิเคราะห์ส่วนตกค้างกำลังอัดคอนกรีตมวลเบา

จากผลการทดลองได้นำมาตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล โดยได้พิจารณาส่วนตกค้าง (Residual Plot) ดังภาพที่ 4.2

- การตรวจสอบการกระจายแบบแจกแจงปกติ (Normal Distribution) เป็นการตรวจสอบส่วนตกค้างของข้อมูลว่ามีการกระจายตัวแบบปกติหรือไม่ โดยการนำส่วนตกค้างของข้อมูลมาพล็อตกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง จากภาพที่ 4.2 กราฟแสดงความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้างของผลตอบค่ากำลังอัดคอนกรีตมวลเบา พบว่าผลที่ได้จากกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้างมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ไม่มีจุดใดๆ ออกนอกเส้นตรงอย่างชัดเจน สรุปได้ว่าการกระจายส่วนตกค้างของข้อมูลมีแนวโน้มของการกระจายตัวเป็นแบบปกติ

- การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability) โดยใช้แผนภูมิการกระจายของค่าความคลาดเคลื่อนจากภาพที่ 4.2 กราฟแสดงส่วนตกค้างกับค่าทำนายของผลตอบค่ากำลังอัดคอนกรีตมวลเบา พบว่าส่วนตกค้างของผลการทดลองกำลังอัดคอนกรีตมวลเบา มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั้งบวกและลบ แสดงว่าข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่ (Constant Variance Assumption) ไม่เปลี่ยนแปลงตามลำดับของปัจจัยหรือขึ้นอยู่กับค่าพยากรณ์ของผลตอบ

- การตรวจสอบส่วนตกค้างมีการกระจายตัวอิสระ (Independence Assumption) โดยดูลักษณะการกระจายของจุดที่แทนข้อมูลบนแผนภูมิว่าเป็นรูปแบบอิสระหรือไม่ ด้วยแผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) จากภาพที่ 4.2 กราฟแสดงส่วนตกค้างกับลำดับการทดลองของค่ากำลังอัดคอนกรีตมวลเบา จากกราฟระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับการทดลอง (Plot of Residual Versus the Observation Order of the Data) พบว่ามีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และไม่มีแนวโน้มใดๆ แสดงว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกันไม่ขึ้นกับลำดับการทดลอง
- จากการทดสอบทั้ง 3 ข้อสามารถสรุปได้ว่าส่วนตกค้างของข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติและค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ มีความแปรปรวนคงที่ และมีการกระจายตัวอิสระ



ภาพที่ 4.2 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของตัวแปรผลตอบแทนกำลังอัดคอนกรีตมวลเบา

2) สร้างสมการทำนายผลกำลังอัดคอนกรีตมวลเบา

สร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยของอัตราส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญกับผลตอบของกำลังอัดคอนกรีตมวลเบา ได้สมการทำนายผลดังสมการที่ 4.1

$$Y = 80A - 3130B + 156C + 2D + 3201A*B - 459A*C - 243A*D + 3,261B*C + 3,701B*D \quad (4.1)$$

3) ทดสอบสัมประสิทธิ์การตัดสินใจกำลังอัดคอนกรีตมวลเบา

เมื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองว่ามีความเหมาะสมแล้ว ทำการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ โดยการพิจารณาจากค่า R^2 (R-Square) ซึ่งเป็นค่าที่อธิบายว่าสมการถดถอยที่ใช้ประมาณค่ามีความสามารถในการอธิบายความผันผวน (Variation) ของตัวแปรตามได้มากน้อยเพียงใด หรือตัวแปรอิสระในแบบจำลองสามารถอธิบายตัวแปรตามได้มากน้อยเพียงใด ค่า R^2 มีค่าตั้งแต่ 0 -1 หรือ 0 – 100% หากค่า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าสมการที่ได้มีประสิทธิภาพสูง ถ้าเข้าใกล้ 0 แสดงว่ามีประสิทธิภาพต่ำ ในการศึกษาความสัมพันธ์ต้องการให้ค่า R^2 เข้าใกล้ 1 แสดงว่าแบบจำลองมีความพอเพียงในการฟิตข้อมูลและเป็นแบบจำลองที่ดี ซึ่งจากตารางการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ผลตอบของค่ากำลังอัดคอนกรีตมวลเบา ค่า R-Square ของการทดลองมีค่าเท่ากับ 93.60 เปอร์เซนต์ ซึ่งถือว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่น่าพึงพอใจ แสดงว่าแบบจำลองมีความพอเพียงในการฟิตข้อมูล และแบบจำลองมีความเหมาะสมสามารถนำไปสร้างสมการทำนายผลตอบได้ต่อไป

4.2.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองของการออกแบบการทดลองแบบผสม สำหรับตัวแปรผลตอบอัตราการดูดกลืนน้ำ (Y_2)

จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมมินิแท็บเพื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อหาผลกระทบของแต่ละปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่ออัตราการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบา โดยวิเคราะห์ผลตามหัวข้อดังนี้

1.1) การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัย

จากตารางที่ 4.2 ในการวิเคราะห์ผลกระทบของอันตรกิริยา (Interaction Term) ของปัจจัย Sand(A)*Foam(B) Sand(A)*Silica(D) Foam(B)*Cement(C) และ Foam(B)*Silica(D) ไม่มีผลกระทบต่ออัตราการดูดกลืนน้ำคอนกรีตมวลเบา (Not Significant) ทำให้ต้องทำการตัดปัจจัยที่ไม่มีผลกระทบต่ออัตราการดูดกลืนน้ำออก และทำการวิเคราะห์ข้อมูลอีกครั้ง ซึ่งจะได้อ้างอิงตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 ผลกระทบของแต่ละปัจจัยส่วนผสมต่ออัตราการดูดกลืนน้ำ

Term	Coef	SE Coef	T	P	นัยสำคัญ
Sand(A)	583	313.80	*	*	-
Foam(B)	-17,967	12,563.80	*	*	-
Cement(C)	1607	722.10	*	*	-
Silica(D)	-4332	670.60	*	*	-
Sand(A)*Foam(B)	18,291	12,987.30	1.41	0.171	Not Significant
Sand(A)*Cement(C)	-4133	2041.60	2.02	0.054	Not Significant
Sand(A)*Silica(D)	6075	801.70	7.58	0.000	Significant
Foam(B)*Cement(C)	17,958	12,987.70	1.38	0.179	Not Significant
Foam(B)*Silica(D)	20,606	13,137.70	1.57	0.129	Not Significant

S = 1.23448 PRESS = 76.5776

R-Sq = 90.32% R-Sq(pred) = 80.54% R-Sq(adj) = 87.22%

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยอัตราการดูดกลืนน้ำคอนกรีตมวลเบา ดังตารางที่ 4.3 วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อคัดกรองปัจจัยที่มีนัยสำคัญ โดยการพิจารณาจากค่าระดับนัยสำคัญ α เท่ากับ 0.05 ถ้าปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อผลตอบมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าไม่ปฏิเสธสมมุติฐานหลัก นั่นคือยอมรับ H_0 กล่าวคือ ผลกระทบดังกล่าวมีผลต่อผลตอบอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าหากปัจจัยไม่มีนัยสำคัญต่อผลตอบมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 แสดงว่าปฏิเสธสมมุติฐานหลัก นั่นคือยอมรับ H_1 กล่าวคือ ผลกระทบดังกล่าวไม่มีผลต่อผลตอบอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ จากข้อมูลในตารางที่ 4.3 พบว่าผลกระทบของปัจจัยหลัก (Main Effects) มีผลต่ออัตราการดูดกลืนน้ำคอนกรีตมวลเบาทุกตัว เพราะเป็นปัจจัยส่วนผสมไม่อิสระต่อกัน ส่วนค่าที่เป็น * เนื่องจากมีการกำหนดขอบเขตของระดับของปัจจัย และอัตราส่วนผสม เมื่อลดอัตราส่วนของปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งอัตราส่วนที่เหลือทั้งสามจะต้องเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันหากเพิ่มอัตราส่วนของปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งอัตราส่วนที่เหลือทั้งสามจะต้องลดลง ส่วนผลกระทบของ อันตรกิริยา (Interaction Term) ของปัจจัย Sand(A)*Cement(C) มีผลกระทบต่อค่าอัตราการดูดกลืนน้ำคอนกรีตมวลเบาซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงในการนำคอนกรีตมวลเบาไปใช้งาน

ตารางที่ 4.3 ผลกระทบของแต่ละปัจจัยส่วนผสมต่ออัตราการดูดกลืนน้ำ โดยตัดปัจจัยที่ไม่มี

ผลกระทบออก

Term	Coef	SE Cofe	T	P	นัยสำคัญ
Sand(A)	-51	17.53	*	*	-
Foam(B)	2	29.99	*	*	-
Cement(C)	117	22.90	*	*	-
Silica(D)	-3,043	504.10	*	*	-
Sand(A)*Silica(D)	5,681	932.13	6.09	0.000	Significant

S = 1.46919 PRESS = 88.8637

R-Sq = 84.09% R-Sq(pred) = 77.42% R-Sq(adj) = 81.90%

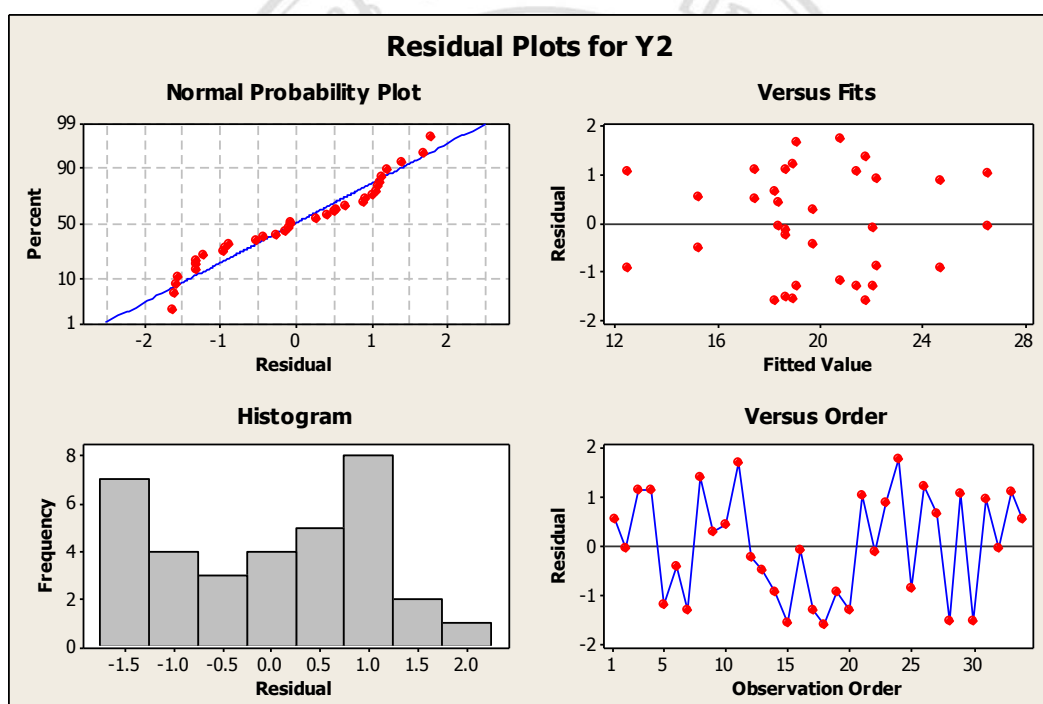
1) ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลโดยการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของอัตราการดูดกลืนน้ำ

จากผลการทดลองได้นำมาตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล โดยได้พิจารณาส่วนตกค้าง (Residual Plot) ดังภาพที่ 4.3

- การตรวจสอบการกระจายแบบแจกแจงปกติ (Normal Distribution) เป็นการตรวจสอบ ส่วนตกค้าง ของข้อมูลว่ามีการกระจายตัวแบบปกติหรือไม่ โดยการนำส่วนตกค้างของ ข้อมูลมาพล็อตกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้างจากภาพที่ 4.3 กราฟแสดงความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้างของผลตอบค่าอัตราการดูดกลืนน้ำคอนกรีตมวลเบา พบว่าผลที่ได้จากกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้างมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ไม่มีจุดใดๆ ออกนอกเส้นตรงอย่างชัดเจน สรุปได้ว่าการกระจายส่วนตกค้างของข้อมูลมีแนวโน้มของการกระจายตัวเป็นแบบปกติ

- การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability) โดยใช้แผนภูมิการกระจายของค่าความคลาดเคลื่อนจากภาพที่ 4.3 กราฟแสดงส่วนตกค้างกับค่าทำนายของผลตอบค่าอัตราการดูดกลืนน้ำคอนกรีตมวลเบา พบว่าส่วนตกค้างของผลการทดลองอัตราการดูดกลืนน้ำคอนกรีตมวลเบา มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั้งบวกและลบ แสดงว่าข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่ (Constant Variance Assumption) ไม่เปลี่ยนแปลงตามลำดับของปัจจัย หรือขึ้นอยู่กับค่าพยากรณ์ของผลตอบ

- การตรวจสอบส่วนตกค้างมีการกระจายตัวอิสระ (Independence Assumption) โดยดูลักษณะการกระจายของจุดที่แทนข้อมูลบนแผนภูมิว่าเป็นรูปแบบอิสระหรือไม่ ด้วยแผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) จากภาพที่ 4.3 กราฟแสดงส่วนตกค้างกับลำดับการทดลองของค่าอัตราการดูดกลืนน้ำคอนกรีตมวลเบา จากกราฟระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับการทดลอง (Plot of Residual Versus the Observation Order of the Data) พบว่าการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และไม่มีแนวโน้มใดๆ แสดงว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน ไม่ขึ้นกับลำดับการทดลอง
- จากการทดสอบทั้ง 3 ข้อสามารถสรุปได้ว่าส่วนตกค้างของข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติและค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ มีความแปรปรวนคงที่ และการกระจายตัวอิสระ



ภาพที่ 4.3 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของตัวแปรผลตอบแทนอัตราการดูดกลืนน้ำ

2) สร้างสมการทำนายผลของอัตราการดูดกลืนน้ำ

สร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยของอัตราส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญกับผลตอบแทนของอัตราการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบา ได้สมการทำนายผลดังสมการที่ 4.2

$$\hat{y} = -51A + 2B + 117C - 3,043D + 5,681A*D \quad (4.2)$$

3) ทดสอบสัมประสิทธิ์การตัดสินใจอัตราการดูดกลืนน้ำ

เมื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองว่ามีความเหมาะสมแล้ว ทำการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ โดยการพิจารณาจากค่า R^2 (R-Square) ซึ่งเป็นค่าที่อธิบายว่าสมการถดถอยที่ใช้ประมาณค่ามีความสามารถในการอธิบายความผันผวน (Variation) ของตัวแปรตามได้มากน้อยเพียงใดหรือตัวแปรอิสระในแบบจำลอง สามารถอธิบายตัวแปรตามได้มากน้อยเพียงใด ค่า R^2 มีค่าตั้งแต่ 0 -1 หรือ 0 – 100% หากค่า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าสมการที่ได้มีประสิทธิภาพสูง ถ้าเข้าใกล้ 0 แสดงว่ามีประสิทธิภาพต่ำ ในการศึกษาความสัมพันธ์ต้องการให้ค่า R^2 เข้าใกล้ 1 แสดงว่าแบบจำลองมีความพอเพียงในการฟิตข้อมูลและเป็นแบบจำลองที่ดี ซึ่งจากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ผลตอบของค่ากำลังอัดคอนกรีตมวลเบา ค่า R-Square ของการทดลองมีค่าเท่ากับ 84.09 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่น่าพึงพอใจ แสดงว่าแบบจำลองมีความพอเพียงในการฟิตข้อมูล และแบบจำลองมีความเหมาะสมสามารถนำไปสร้างสมการทำนายผลตอบได้ต่อไป

4.2.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองของการออกแบบการทดลองแบบผสม สำหรับตัวแปรผลตอบความหนาแน่นเชิงปริมาตร (Y_3)

จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมมินิแท็บเพื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อหาผลกระทบของแต่ละปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา โดยวิเคราะห์ผลตามหัวข้อดังนี้

1.1) การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัย

วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยกำลังอัดคอนกรีตมวลเบา ดังตารางที่ 4.4 วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อคัดกรองปัจจัยที่มีนัยสำคัญ โดยการพิจารณาจากค่าระดับนัยสำคัญ α เท่ากับ 0.05 ถ้าปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อผลตอบมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าไม่ปฏิเสธสมมุติฐานหลัก นั่นคือยอมรับ H_0 กล่าวคือ ผลกระทบดังกล่าวมีผลต่อผลตอบอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าหากปัจจัยไม่มีนัยสำคัญต่อผลตอบมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 แสดงว่าปฏิเสธสมมุติฐานหลัก นั่นคือยอมรับ H_1 กล่าวคือ ผลกระทบดังกล่าวไม่มีผลต่อผลตอบอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ จากข้อมูลในตารางที่ 4.4 พบว่าผลกระทบของปัจจัยหลัก (Main Effects) มีผลต่อความหนาแน่นเชิงคอนกรีตมวลเบาทุกตัวเพราะเป็นปัจจัยส่วนผสมไม่อิสระต่อกัน ส่วนค่าที่เป็น * เนื่องจากมีการกำหนดขอบเขตของระดับของปัจจัยและอัตราส่วนผสม เมื่อลดอัตราส่วนของปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งอัตราส่วนที่เหลือทั้งสามจะต้องเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันหากเพิ่มอัตราส่วนของปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งอัตราส่วนที่เหลือทั้งสามจะต้องลดลง ส่วนผลกระทบของ อันตรกิริยา (Interaction Term) ของปัจจัย Sand(A)*Foam(B)

Sand(A)*Cement(C) Sand(A)*Silica(D) Foam(B)*Cement(C) และ Foam(B)*Silica(D) มีผลกระทบ ต่อความหนาแข็งปริมาตรของคอนกรีตมวลเบาซึ่งจะส่งผลต่อความแข็งแรงในการนำคอนกรีตมวลเบา ไปใช้งาน

ตารางที่ 4.4 ผลกระทบของแต่ละปัจจัยส่วนผสมต่อความหนาแน่นเชิงปริมาตร

Term	Coef	SE Cofe	T	P	นัยสำคัญ
Sand(A)	-19,233	1,531	*	*	-
Foam(B)	719,784	61,271	*	*	-
Cement(C)	-47,508	3,522	*	*	-
Silica(D)	40,078	3,271	*	*	-
Sand(A)*Foam(B)	-746,828	63,3304	-11.79	0.000	Significant
Sand(A)*Cement(C)	135,619	9,957	13.62	0.000	Significant
Sand(A)*Silica(D)	-14,519	3,910	-3.71	0.003	Significant
Foam(B)*Cement(C)	-728,093	63,342	-11.49	0.000	Significant
Foam(B)*Silica(D)	-703,386	64,074	-10.98	0.000	Significant

S = 6.63327 PRESS = 2120.42

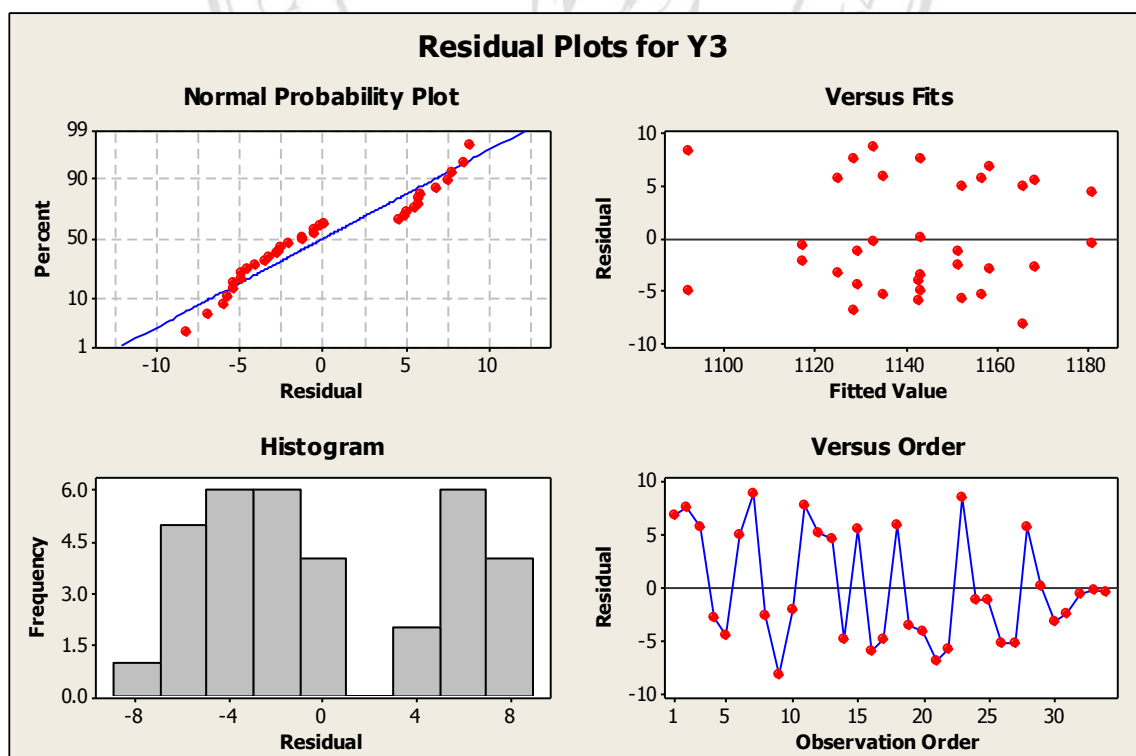
R-Sq = 92.72% R-Sq(pred) = 85.98% R-Sq(adj) = 90.40%

1) ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลโดยการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของความ หนาแน่นเชิงปริมาตร

จากผลการทดลองได้นำมาตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล โดยได้พิจารณา ส่วนตกค้าง ดังภาพที่ 4.4

- การตรวจสอบการกระจายแบบแจกแจงปกติ (Normal Distribution) เป็น การตรวจสอบ ส่วนตกค้างของข้อมูลว่ามีการกระจายตัวแบบปกติหรือไม่ โดยการนำส่วนตกค้าง ของข้อมูลมาพล็อตกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้างจากภาพที่ 4.4 กราฟแสดงความ น่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้างของผลตอบค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร พบว่าผลที่ได้จาก กราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้างมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ไม่มีจุดใดๆออกนอก เส้นตรงอย่างชัดเจน สรุปได้ว่าการกระจายส่วนตกค้างของข้อมูลมีแนวโน้มของการกระจายตัวเป็น แบบปกติ

- การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability) โดยใช้แผนภูมิการกระจายของค่าความคลาดเคลื่อนจากภาพที่ 4.4 กราฟแสดงส่วนตกค้างกับค่าทำนายของผลตอบค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร พบว่าส่วนตกค้างของผลการทดลองความหนาแน่นเชิงปริมาตรมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั้งบวกและลบ แสดงว่าข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่ (Constant Variance Assumption) ไม่เปลี่ยนแปลงตามลำดับของปัจจัย หรือขึ้นอยู่กับค่าพยากรณ์ของผลตอบ
- การตรวจสอบส่วนตกค้างมีการกระจายตัวอิสระ (Independence Assumption) โดยคุณลักษณะการกระจายของจุดที่แทนข้อมูลบนแผนภูมิว่าเป็นรูปแบบอิสระหรือไม่ด้วยแผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) จากภาพที่ 4.4 กราฟแสดงส่วนตกค้างกับลำดับการทดลองของค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร จากกราฟระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับการทดลอง (Plot of Residual Versus the Observation Order of the Data) พบว่ามีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และไม่มีแนวโน้มใดๆ แสดงว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกันไม่ขึ้นกับลำดับการทดลอง
- จากการทดสอบทั้ง 3 ข้อสามารถสรุปได้ว่าส่วนตกค้างของข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติและค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ มีความแปรปรวนคงที่ และมีการกระจายตัวอิสระ



ภาพที่ 4.4 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของตัวแปรผลตอบความหนาแน่นเชิงปริมาตร

1) สร้างสมการทำนายผลของความหนาแน่นเชิงปริมาตร

สร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยของอัตราส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญกับผลตอบของอัตราการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบา ได้สมการทำนายผลดังสมการที่ 4.3

$$Y = -19,233A + 719,784B - 47,508C + 40,078D - 746,828A*B + 135,619A*C - 14,519A*D - 728,093B*C - 703,386B*D \quad (4.3)$$

2) ทดสอบสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของความหนาแน่นเชิงปริมาตร

เมื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองว่ามีความเหมาะสมแล้ว ทำการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ โดยการพิจารณาจากค่า R^2 (R-Square) ซึ่งเป็นค่าที่อธิบายว่าสมการถดถอยที่ใช้ประมาณค่ามีความสามารถในการอธิบายความผันผวน (Variation) ของตัวแปรตามได้มากน้อยเพียงใด หรือตัวแปรอิสระในแบบจำลอง สามารถอธิบายตัวแปรตามได้มากน้อยเพียงใด ค่า R^2 มีค่าตั้งแต่ 0-1 หรือ 0 – 100% หากค่า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าสมการที่ได้มีประสิทธิภาพสูง ถ้าเข้าใกล้ 0 แสดงว่ามีประสิทธิภาพต่ำ ในการศึกษาความสัมพันธ์ต้องการให้ค่า R^2 เข้าใกล้ 1 แสดงว่าแบบจำลองมีความพอเพียงในการฟิตข้อมูลและเป็นแบบจำลองที่ดี ซึ่งจากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ผลตอบของค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร ค่า R-Square ของการทดลองมีค่าเท่ากับ 92.72เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่น่าพึงพอใจ แสดงว่าแบบจำลองมีความพอเพียงในการฟิตข้อมูล และแบบจำลองมีความเหมาะสมสามารถนำไปสร้างสมการทำนายผลตอบได้ต่อไป

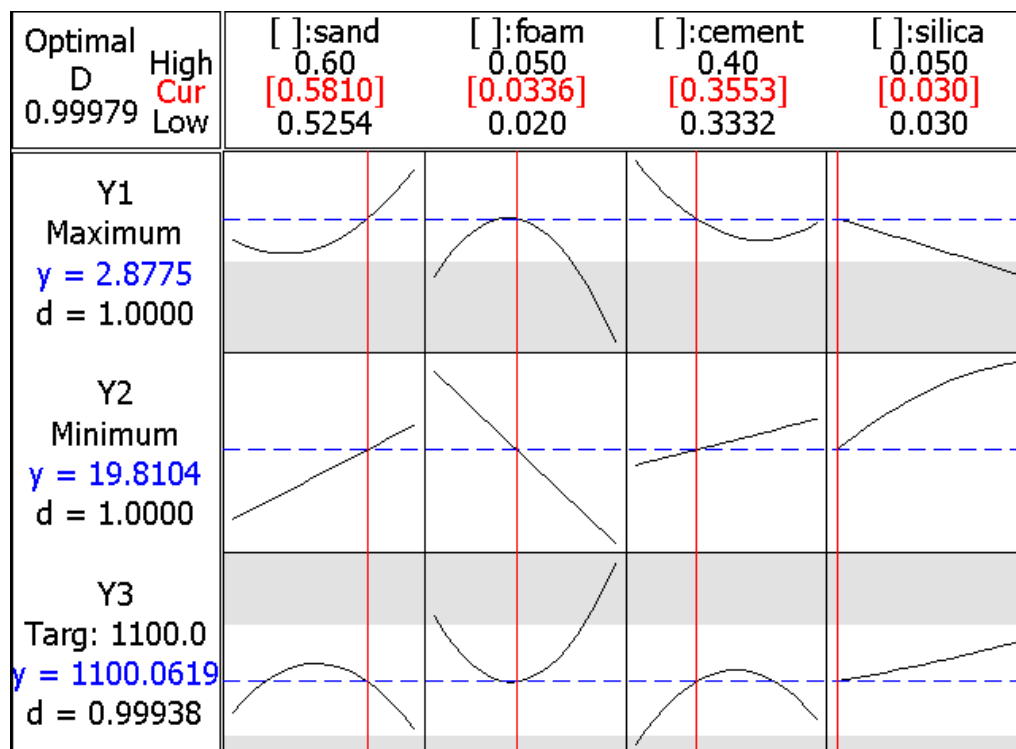
4.3 การหาสถานะที่เหมาะสมที่สุดของการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า

การหาสถานะที่เหมาะสมที่สุดของการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า โดยใช้โปรแกรมมินิแท็บ ฟังก์ชัน Response optimizer ในการหาสถานะที่เหมาะสมที่สุด โดยมีค่าเป้าหมาย ค่าขอบเขต ค่าน้ำหนัก และค่าความสำคัญ ดังแสดงตามตารางที่ 4.5 เจาะใจในการหาสถานะที่เหมาะสม โดยได้กำหนดค่าเป้าหมายของผลตอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.2601-2556 เรื่อง คอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ โดยได้อ้างอิงมาตรฐานคอนกรีตบล็อกมวลเบาชนิด C12 โดยได้กำหนดค่ามาตรฐานของ กำลังอัดคอนกรีตมวลเบา อัตราการดูดกลืนน้ำคอนกรีตมวลเบา ความหนาแน่นเชิงปริมาตรคอนกรีตมวลเบา ดังนี้

- กำลังอัดคอนกรีตมวลเบา (Y_1) มากกว่าหรือเท่ากับ 2.5 เมกะปาสกาล (≥ 2.5 MPa) แต่ได้กำหนดค่าเป้าหมายในการผลิตจริง (Internal specification) 2.75 เมกะปาสกาล
- อัตราการดูดกลืนน้ำคอนกรีตมวลเบา (Y_2) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 23 เปอร์เซ็นต์เศษส่วนโดยมวล (≤ 23 %) แต่ได้กำหนดค่าเป้าหมายในการผลิตจริง (Internal specification) 20 เปอร์เซ็นต์เศษส่วนโดยมวล
- ความหนาแน่นเชิงปริมาตรคอนกรีตมวลเบา (Y_3) มีค่าระหว่าง 1,001 ถึง 1,200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (1,001-1,200 kg/m³) แต่ได้กำหนดค่าเป้าหมายในการผลิตจริง (Internal specification) 1,100 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 4.5 เงื่อนไขในการหาสถานะที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตมวลเบา

ผลตอบ	เป้าหมาย	ค่าด้าน ต่ำ	ค่า เป้าหมาย	ค่าด้าน สูง	ค่า น้ำหนัก	ค่า ความสำคัญ
กำลังอัด (Y_1)	ค่าสูงที่สุด	2.5	2.75	-	1	1
อัตราการดูดกลืนน้ำ (Y_2)	ค่าต่ำที่สุด	-	20	23	1	1
ความหนาแน่นเชิง ปริมาตร (Y_3)	ค่า เป้าหมาย	1,001	1,100	1,200	1	1



ภาพที่ 4.5 กราฟสภาวะที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า

จากการใช้โปรแกรม Minitab ฟังก์ชัน Response Optimizer ตามภาพที่ 4.5 แสดงกราฟที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยต่อผลตอบที่ทำการศึกษา พบว่าสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยที่สุดที่ทำให้ได้ผลตอบเป็นไปตามค่าเป้าหมายที่กำหนด เมื่อตัวแปรถูกเข้ารหัส (Unicode) คือ ปริมาณทรายที่เหมาะสม คือ 58.10 % ปริมาณโฟมที่เหมาะสม คือ 3.36 % ปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหมาะสม คือ 35.53 % ปริมาณซิลิกาฟูมที่เหมาะสม คือ 3.00 % และสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.6 แสดงระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า และตารางที่ 4.7 แสดงสภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ได้ผลตอบเป็นไปตามค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ กำลังอัด (Y_1) เท่ากับ 2.878 MPa อัตราการดูดกลืนน้ำ (Y_2) เท่ากับ 19.810 % (เศษส่วน โดยมวล) และความหนาแน่นเชิงปริมาตร (Y_3) เท่ากับ 1,100.062 kg/m³

ตารางที่ 4.6 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า

ปัจจัย	สถานะที่เหมาะสมที่สุด
1) ทราย (A)	58.10 %
2) โฟม (B)	3.36 %
3) ซีเมนต์ (C)	35.53 %
4) ซิลิกาฟูม (D)	3.00 %

ตารางที่ 4.7 สถานะที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ได้ผลตอบเป็นไปตามค่าเป้าหมายที่กำหนด

ผลตอบ	ค่าสมการ ทำนายผล	ค่าความพึงพอใจของแต่ละ ผลตอบ (d)	ค่าความพึง พอใจรวม (D)
กำลังอัด (Y_1)	2.878	1.000	0.99979
อัตราการดูดกลืนน้ำ (Y_2)	19.810	1.000	
ความหนาแน่นเชิงปริมาตร (Y_3)	1,100.062	0.999	

4.4 การทดสอบเพื่อยืนยันผล

เมื่อได้ปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า คือ ทราย 58.10% โฟม 3.36% ซีเมนต์ 35.53% และซิลิกาฟูม 3.00% จากนั้นทำการทดลองยืนยันผลการทดลองโดยการนำ การนำสถานะที่เหมาะสมไปทำการผลิตจริง โดยเก็บข้อมูลยืนยันผล 3 ครั้ง ครั้งละ 15 ข้อมูล โดยทำ การทดลองแบบ T-Test ที่ระดับนัยสำคัญที่ α เท่ากับ 0.05 เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยว่ามีค่าเท่ากับค่า ทำนายผลหรือไม่

4.4.1 การเปรียบเทียบค่าจากการทดลองยืนยันผลกับค่าทำนายผลตอบกำลังอัดคอนกรีต มวลเบาแบบเซลลูล่า (Y_1)

จากผลการทดลองที่ได้จากการหาสถานะที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ค่ากำลังอัดคอนกรีต มวลเบาแบบเซลลูล่าเป็นไปตามค่ามาตรฐาน มอก.2601-2556 เรื่อง คอนกรีตบดอัดมวลเบาแบบ เติมฟองอากาศ โดยได้อ้างอิงมาตรฐานคอนกรีตบดอัดมวลเบาชนิด C12 คือ 2.878

การตั้งสมมติฐาน

H_0 : การทดสอบเท่ากับค่าเฉลี่ยของกำลังอัดคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าจากการทดลอง ยืนยันผลมีค่าเท่ากับค่าจากสมการทำนายผล

H_1 : สมมติฐานรองคือค่าเฉลี่ยของกำลังอัดคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าจากการทดลอง ยืนยันผลมีค่าไม่เท่ากับค่าจากสมการทำนาย

$$H_0 : \mu = 2.878$$

$$H_1 : \mu \neq 2.878$$

ตารางที่ 4.8 ผลตอบการทดลองยืนยันผลของกำลังอัดคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า (Y_1)

Run	N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI	T	P-Value
1	5	2.768	0.2073	0.0927	(2.5106, 3.0254)	1.19	0.301
2	5	2.744	0.1733	0.0775	(2.5288, 2.9592)	1.73	0.159
3	5	2.770	0.1756	0.0785	(2.5519, 2.9881)	1.37	0.241

จากผลการทดสอบสมมติฐานโดยวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดสอบ 3 ครั้ง พบว่าค่า P-value มากกว่าระดับค่านัยสำคัญที่ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 4.8 จึงสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยกำลังอัดคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าจากสภาวะที่เหมาะสม และค่าที่ได้จากสมการทำนายผลมีค่าไม่แตกต่างกัน

4.4.2 การเปรียบเทียบค่าจากการทดลองยืนยันผลกับค่าทำนายผลตอบอัตราการดูดกลืนน้ำคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า (Y_2)

จากผลการทดลองที่ได้จากการหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ค่าอัตราการดูดกลืนน้ำคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าเป็นไปตามค่ามาตรฐาน มอก.2601-2556 เรื่อง คอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ โดยได้อ้างอิงมาตรฐานคอนกรีตบล็อกมวลเบาชนิด C12 คือ 19.810

การตั้งสมมติฐาน

H_0 : การทดสอบเท่ากับค่าเฉลี่ยของอัตราการดูดกลืนน้ำคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าจากการทดลองยืนยันผลมีค่าเท่ากับค่าจากสมการทำนายผล

H_1 : สมมติฐานรองคือค่าเฉลี่ยของอัตราการดูดกลืนน้ำคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าจากการทดลองยืนยันผลมีค่าไม่เท่ากับค่าจากสมการทำนาย

$$H_0 : \mu = 19.810$$

$$H_1 : \mu \neq 19.810$$

ตารางที่ 4.9 ผลตอบการทดลองยืนยันผลของอัตราการดูดกลืนน้ำคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า (Y_2)

Run	N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI	T	P-Value
1	5	20.280	0.690	0.309	(19.423, 21.137)	1.52	0.202
2	5	20.762	0.822	0.367	(19.742, 21.782)	2.59	0.061
3	5	20.610	1.171	0.524	(19.156, 22.064)	1.53	0.201

จากผลการทดสอบสมมติฐานโดยวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดสอบ 3 ครั้ง พบว่าค่า P-value มากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 4.9 จึงสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยอัตราการดูดกลืนน้ำคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าจากสภาวะที่เหมาะสม และค่าที่ได้จากสมการทำนายผลมีค่าไม่แตกต่างกัน

4.4.3 การเปรียบเทียบค่าจากการทดลองยืนยันผลกับค่าทำนายผลตอบความหนาแน่นเชิงปริมาตรคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า (Y_3)

จากผลการทดลองที่ได้จากการหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ค่าหนาแน่นเชิงปริมาตรคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าเป็นไปตามค่ามาตรฐาน มอก.2601-2556 เรื่อง คอนกรีตบดอัดมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ โดยได้อ้างอิงมาตรฐานคอนกรีตบดอัดมวลเบาชนิด C12 คือ 1,100.062

การตั้งสมมติฐาน

H_0 : การทดสอบเท่ากับค่าเฉลี่ยของหนาแน่นเชิงปริมาตรคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าจากการทดลองยืนยันผลมีค่าเท่ากับค่าจากสมการทำนาย

H_1 : สมมติฐานรองคือค่าเฉลี่ยของหนาแน่นเชิงปริมาตรคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าจากการทดลองยืนยันผลมีค่าไม่เท่ากับค่าจากสมการทำนาย

$$H_0 : \mu = 1,100.062$$

$$H_1 : \mu \neq 1,100.062$$

ตารางที่ 4.10 ผลตอบการทดลองยืนยันผลของ ความหนาแน่นเชิงปริมาตรคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า (Y_3)

Run	N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI	T	P-Value
1	5	1098.07	15.86	7.09	(-1078.38, 1117.75)	0.28	0.792
2	5	1112.40	35.90	16.10	(1067.80, 1157.00)	0.77	0.485
3	5	1118.50	37.70	16.90	(1071.70, 1165.30)	1.09	0.336

จากผลการทดสอบสมมติฐานโดยวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดสอบ 3 ครั้ง พบว่าค่า P-value มากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 4.10 จึงสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยหนาแน่นเชิงปริมาตรคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสจากสภาวะที่เหมาะสม และค่าที่ได้จากสมการทำนายผลมีค่าไม่แตกต่างกัน

4.5 ต้นทุนวัสดุการผลิตคอนกรีตมวลเบาในงานวิจัย

ต้นทุนวัสดุในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเดิม (ตารางที่ 4.11) ซึ่งอ้างอิงราคาวัสดุในท้องตลาดที่ราคา ทราย 2 บาทต่อกิโลกรัม, โฟม 37.5 บาทต่อกิโลกรัม, ซีเมนต์ 3 บาทต่อกิโลกรัม และปูนขาว 7 บาทต่อกิโลกรัม จะใช้ต้นทุนวัสดุในการผลิตคอนกรีตมวลเบาการผลิตต่อก้อนดังนี้ ทราย 4.41 บาท, โฟม 6.56 บาท, ซีเมนต์ 2.21 บาท และ ปูนขาว 2.70 บาท รวมต้นทุนวัสดุในการผลิตแบบเดิม 15.87 บาท

ตารางที่ 4.11 ต้นทุนวัสดุในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเดิม

ส่วนผสม	ต้นทุนวัสดุแบบเดิมในการผลิต		
	เปอร์เซ็นต์	กิโลกรัม	ต้นทุนต่อก้อน(บาท)
ทราย	63	2.21	4.41
โฟม	5	0.18	6.56
ซีเมนต์	21	0.74	2.21
ปูนขาว	11	0.39	2.70
รวม	100	3.50	15.87

ต้นทุนวัสดุการผลิตคอนกรีตมวลเบาในงานวิจัยครั้งนี้(ตารางที่ 4.12) ซึ่งอ้างอิงราคาวัสดุในท้องตลาดที่ราคา ทราย 2 บาทต่อกิโลกรัม, โฟม 37.5 บาทต่อกิโลกรัม, ซีเมนต์ 3 บาทต่อกิโลกรัม และซิลิกาฟูม 45.5 บาทต่อกิโลกรัม จะใช้ต้นทุนวัสดุในการผลิตคอนกรีตมวลเบาต่อก้อนดังนี้ ทราย 4.09 บาท, โฟม 5.07 บาท, ซีเมนต์ 3.65 บาท และซิลิกาฟูม 4.78 บาท รวมต้นทุนวัสดุในการผลิตในงานวิจัย 17.58 บาท

ตารางที่ 4.12 ต้นทุนวัสดุในการผลิตคอนกรีตมวลเบาในงานวิจัย

ส่วนผสม	ต้นทุนวัสดุในการผลิตในงานวิจัย		
	เปอร์เซ็นต์	กิโลกรัม	ต้นทุนต่อก้อน(บาท)
ทราย	58.39	2.04	4.09
โฟม	3.86	0.14	5.07
ซีเมนต์	34.75	1.22	3.65
ซิลิกาฟูม	3.00	0.11	4.78
รวม	100	3.50	17.58

จากตารางต้นทุนวัสดุในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเดิมและต้นทุนวัสดุในงานวิจัย จะเห็นว่าต้นทุนวัสดุในงานวิจัยครั้งนี้คือ 17.58 บาท เทียบกับต้นทุนในการผลิตแบบเดิมคือ 15.87 บาท ซึ่งต้นทุนวัสดุการผลิตในงานวิจัยในครั้งนี้เพิ่มขึ้นจากต้นทุนวัสดุแบบเดิม 1.71 บาทต่อก้อน ซึ่งต้นทุนเพิ่มขึ้นคิดเป็น 11 เปอร์เซ็นต์ ต้นทุนที่สูงขึ้นนั้นสามารถลดต้นทุนลงได้โดยในการสั่งซื้อวัตถุดิบในการผลิตควรมีการวางแผนการสั่งซื้อและทำการสั่งซื้อในจำนวนที่สูงขึ้น เพื่อให้ค่าขนส่งและราคาต่อหน่วยลดลง ในงานวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการสั่งซื้อวัตถุดิบในจำนวนที่น้อยทำให้ราคาต่อหน่วยและมีค่าขนส่งสูง เป็นผลให้ต้นทุนวัสดุการผลิตในงานวิจัยในครั้งนี้สูงขึ้น ซึ่งหากมีการวางแผนการสั่งซื้อวัตถุดิบในจำนวนที่เหมาะสมในการผลิตจริงก็สามารถลดต้นทุนวัสดุการผลิตได้

4.6 สรุปผลการทดลอง

สรุปผลการทดลองในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลล์ลอยโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง สามารถสรุปได้ดังนี้

4.6.1 กำลังอัดคอนกรีตมวลเบา

การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลล์ลอย ผู้วิจัยจึงนำได้อัตราส่วนที่เหมาะสมไปทำการผลิตจริงโดยทำการแบ่งเป็น 3 ชุดๆ ละ 5 ก้อน (จำนวนแบบแม่พิมพ์มีจำกัด) และนำไปทดสอบค่ากำลังอัดคอนกรีตมวลเบา ซึ่งได้ผลการทดสอบค่ากำลังอัดคอนกรีต

มวลเบาดังตารางที่ 4.13 สามารถสรุปได้ว่าค่ากำลังอัดคอนกรีตมวลเบาที่ได้จากงานวิจัยเพิ่มขึ้นจากค่ามาตรฐานอุตสาหกรรมกำหนดที่ 2.5 MPa โดยเฉลี่ย 2.76 MPa หรือคิดเป็น 10 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.13 ค่ากำลังอัดคอนกรีตมวลเบาที่ได้จากอัตราส่วนที่เหมาะสมในงานวิจัยไปทำการผลิตจริง

ค่ากำลังอัดคอนกรีตมวลเบาจากงานวิจัย		
ชุดที่	MPa	เปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้น
1	2.93	17%
	2.68	7%
	2.64	6%
	2.55	2%
	3.04	22%
2	2.57	3%
	3.01	20%
	2.8	12%
	2.72	9%
	2.62	5%
3	2.96	18%
	2.78	11%
	2.91	16%
	2.67	7%
	2.53	1%
ค่าเฉลี่ย	2.76	10%

4.6.2 อัตราการดูดกลืนน้ำคอนกรีตมวลเบา

การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า ผู้วิจัยจึงนำได้อัตราส่วนที่เหมาะสมไปทำการผลิตจริงโดยทำการแบ่งเป็น 3 ชุดๆละ 5 ก้อน (จำนวนแบบแม่พิมพ์มีจำกัด) และนำไปทดสอบค่าอัตราการดูดกลืนน้ำคอนกรีตมวลเบา ซึ่งได้ผลการทดสอบค่าอัตราการดูดกลืนน้ำคอนกรีตมวลเบาดังตารางที่ 4.14 สามารถสรุปได้ว่าค่าอัตราการดูดกลืนน้ำคอนกรีต

มวลเบาที่ได้จากงานวิจัยลดลงจากค่ามาตรฐานอุตสาหกรรมกำหนดที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 23 เปอร์เซ็นต์(เศษส่วนโดยมวล) โดยเฉลี่ย 20.55 เปอร์เซ็นต์ (เศษส่วนโดยมวล) หรือคิดเป็น 11 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.14 ค่าอัตราการดูดกลืนน้ำคอนกรีตมวลเบาที่ได้จากอัตราส่วนที่เหมาะสมในงานวิจัยไป
ทำการผลิตจริง

ค่าอัตราการดูดกลืนน้ำคอนกรีตมวลเบาจากงานวิจัย		
ชุดที่	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์ที่ลดลง
1	19.98	13%
	21.49	7%
	20.04	13%
	19.76	14%
	20.13	12%
2	20.19	12%
	20.37	11%
	21.16	8%
	20.07	13%
	22.02	4%
3	21.65	6%
	20.13	12%
	19.56	15%
	19.64	15%
	22.07	4%
ค่าเฉลี่ย	20.55	11%

4.6.3 ความหนาแน่นเชิงปริมาตรคอนกรีตมวลเบา

การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า ผู้วิจัยจึงนำได้อัตราส่วนที่เหมาะสมไปทำการผลิตจริงโดยทำการแบ่งเป็น 3 ชุดๆละ 5 ก้อน (จำนวนแบบแม่พิมพ์มีจำกัด) และนำไปทดสอบค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรคอนกรีตมวลเบา ซึ่งได้ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรคอนกรีตมวลเบาดังตารางที่ 4.15 สามารถสรุปได้ว่าค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรคอนกรีตมวลเบาที่ได้จากงานวิจัยเทียบกับค่ามาตรฐานอุตสาหกรรมกำหนดอยู่ในระหว่าง 1,001 ถึง 1,200 kg/m³ ซึ่งมีค่าโดยเฉลี่ย 1,109.65 kg/m³

ตารางที่ 4.15 ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรคอนกรีตมวลเบาที่ได้จากอัตราส่วนที่เหมาะสมในงานวิจัยไปทำการผลิตจริง

ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรคอนกรีตมวลเบาจากงานวิจัย	
ชุดที่	kg/m ³
1	1,101.16
	1,105.93
	1,081.19
	1,118.8
	1,083.25
2	1,132.35
	1,157.17
	1,112.5
	1,098.12
	1,061.89
3	1,089.38
	1,130.87
	1,123.04
	1,172.45
	1,076.61
ค่าเฉลี่ย	1,109.65

4.7 ขั้นตอนการควบคุม

หลังจากที่ได้สถานะที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าซึ่งเป็นไปตามค่ามาตรฐาน มอก.2601-2556 เรื่อง คอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ โดยได้อ้างอิงมาตรฐานคอนกรีตบล็อกมวลเบาชนิด C12 จะต้องมีการควบคุมระดับปัจจัยการผลิตเพื่อให้ได้มาตรฐาน และอยู่ในสถานะที่เหมาะสม โดยผู้วิจัยได้กำหนดการควบคุมสองประการคือ การควบคุมค่าขาเข้ากระบวนการ (Input Control) และการควบคุมค่าขาออก (Output Control) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.7.1 การควบคุมค่าขาเข้ากระบวนการ (Input Control)

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องก่อนเริ่มดำเนินงาน จากผลที่ได้จากการออกแบบการทดลองทำให้ได้สถานะที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยของกระบวนการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าทั้ง 4 ปัจจัย ดังนั้นก่อนนำไปปรับใช้ในกระบวนการจำเป็นจะต้องกำหนดวิธีการควบคุมเพื่อให้มั่นใจได้ว่าจะมีการตรวจสอบปัจจัยให้ถูกต้องและเหมาะสม โดยต้องมีการจัดทำเอกสารในการตรวจสอบปัจจัยก่อนทำการผลิตโดยให้หัวหน้างานลงชื่อรับทราบทุกครั้ง เพื่อความถูกต้องป้องกันปัจจัยรบกวนที่ทำให้การผลิตไม่เป็นไปตามมาตรฐาน

4.7.2 การควบคุมค่าขาออกกระบวนการ (Output Control)

ในการตรวจจับความผิดปกติของกระบวนการผู้วิจัยใช้วิธีการชักสุ่มตัวอย่าง ซึ่งการชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสินให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนด โดยในการชักสุ่มตัวอย่างในการทดสอบกำลังอัด อัตราการดูดกลืนน้ำ ความหนาแน่นเชิงปริมาตร ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันจำนวน 3 ก้อนต่อหนึ่งค่าการทดสอบ และตัวอย่างทุกตัวอย่างต้องไม่แตก ไม่บิดเบี้ยว ไม่แอ่นตัว และไม่มีตำหนิที่มีผลต่อการใช้งาน

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved