การหาสัดส่วนที่เหมาะสมของการใช้หินฝุ่นเป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ โดยวิธีซิกซ์ ซิกมา

นายวีระชัย อารีรักษ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Appropriate Proportion of Dust Rock in Ready-Mix Concrete by Six sigma

Mr. Weerachai Areerak

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2017
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การหาสัดส่วนที่เหมาะสมของการใช้หินฝุ่นเป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จโดยวิธีซิกซ์ ซิกมา
โดย	นายวีระชัย อารีรักษ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชุติมา)

....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์)

....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร)

....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย ริจิรวนิช)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วีระชัย อารีรักษ์ : การหาสัดส่วนที่เหมาะสมของการใช้หินฝุ่นเป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จโดยวิธีซิกซ์ ซิกมา (Appropriate Proportion of Dust Rock in Ready-Mix Concrete by Six sigma) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์, 109 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของการใช้หินฝุ่นเป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จกรณีศึกษาของโรงงานผลิตคอนกรีตตัวอย่าง โดยนำแนวทางซิกซ์ ซิกมามาประยุกต์ใช้ ซึ่งแนวทางซิกซ์ ซิกมาจะมีระยะการทำงาน 5 ระยะ ได้แก่ ระยะนิยามปัญหา (Define Phase) ระยะตรวจวัดปัญหา (Measurement Phase) ระยะการวิเคราะห์ปัญหา (Analysis Phase) ระยะการแก้ไขปรับปรุง (Improvement Phase) และระยะสุดท้าย คือ ระยะการควบคุมกระบวนการ (Control Phase)

ในงานวิจัยนี้จะดำเนินการตามขั้นตอนตามระยะการทำงาน 5 ระยะ ดังนี้ 1.) ระยะการนิยามปัญหา ทำการพิจารณาการปัญหาคุณภาพคอนกรีตที่ต่ำกว่ามาตรฐานทำให้เพิ่มสัดส่วนเผื่อของปูนซีเมนต์ให้มากขึ้นจากมาตรฐานในการผลิตคอนกรีตประมาณ 30 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็นต้นทุนส่วนเผื่อปูนซีเมนต์จากสูตรมาตรฐานประมาณ 1 ล้านบาทในช่วง 6 เดือน ทางโรงงานมีความต้องการลดส่วนเผื่อปูนซีเมนต์ลงโดยมีความต้องการที่จะนำหินฝุ่นซึ่งเป็นวัสดุทดแทนที่สามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมกับมวลรวมละเอียด 2.) ระยะตรวจวัด จะเริ่มด้วยการทำการตรวจสอบระบบการวัดซึ่งได้ผลการตรวจสอบผ่านเกณฑ์การยอมรับ จากนั้นทำการวิเคราะห์หาปัญหาด้วยแผนภูมิก้างปลาจนได้ 17 ปัจจัย และทำการคัดกรองปัจจัยต่าง ๆ ด้วย Cause and Effect Matrix ทำให้เหลือปัจจัย 4 ปัจจัย 3.)ระยะของการวิเคราะห์ปัญหา ทำการวิเคราะห์ปัจจัยทั้ง 4 ด้วยวิธีการทางสถิติ ทำให้สรุปได้ว่า ปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อค่ากำลังอัดคอนกรีตอย่างแท้จริง 4.) ระยะการปรับปรุงแก้ไข ใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง ทำให้ได้ค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย 5.)ระยะควบคุม จะดำเนินการโดยนำสัดส่วนหินฝุ่นที่เหมาะสมไปเป็นส่วนผสมในคอนกรีตผสมเสร็จ

หลังจากการปรับปรุงได้ทำการเปรียบเทียบต้นทุนวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตระหว่างก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง พบว่าหลังการปรับปรุงส่งผลให้ลดปริมาณส่วนเผื่อปูนซีเมนต์ลงได้ คิดเป็นต้นทุนวัตถุดิบที่ลดลงได้ที่ 67 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	ลายมือชื่อนิสิต	....
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก	....
ปีการศึกษา	2560		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5770967421 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING
KEYWORDS: SIX SIGMA / DUST ROCK / CONCRETE

WEERACHAI AREERAK: Appropriate Proportion of Dust Rock in Ready-Mix Concrete by Six sigma. ADVISOR: ASSOC. PROF. JEERAPAT NGAOPRASERTWONG, 109 pp.

The research applied the six-sigma method to appropriate proportion of dust rock in ready mix concrete. The six Sigma approach has five steps in working process, which are Define Phase, Measurement Phase, Analysis Phase, Improvement Phase and Control Phase, respectively. This research followed the five steps as follows: 1) Define Phase, defined the problems of the specified factory it is increase cement 30 kg in Mix-Design with effect to cost of Material so that the factory must reduce cost by use dust rock replace in sand 2) Measurement Phase, started with the inspection of measurement system which had the result that met the acceptance criteria. Next, analyzed the problems by using fish bone diagram to get 17 factors. Then, screened the factors with Cause and Effect Matrix. 3) Analysis Phase, analyzed these 4 factors by using statistical method which verified that these factors contributed to defect occurrence. 4) Improvement Phase, used factorial experimental design to conduct experiment two times in order to get optimal value of each factor. 5) Control Phase, established guidelines to control and minimize the defect amount after an improvement.

After improvement for using dust rock in ready mix concrete the results before and after the improvement were compared. The percentage of defect amount decreased from which means that the using dust rock in ready mix concrete could reduce cost 67 baht

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Department:	Industrial Engineering	Student's Signature	....
Field of Study:	Industrial Engineering	Advisor's Signature	....
Academic Year:	2017		

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้เป็นอย่างดี เนื่องจากความอนุเคราะห์เป็นอย่างดีของ รองศาสตร์จารย์ จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งเป็นผู้ให้คำแนะนำและติดตาม ในการทำวิจัย การแก้ปัญหาและอุปสรรคต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างสูงมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ศาสตร์จารย์ ปราเมศ ชุติมา ประธานกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ รวมถึง ผู้ช่วยศาสตร์จารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร และ รองศาสตร์จารย์ ดร. วันชัย ริจิรวนิช กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ตรวจสอบถึงความสมบูรณ์และข้อเสนอแนะเพิ่มเติมในการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณผู้จัดการโรงงานกรณีศึกษา และพนักงาน ที่ให้ความร่วมมือในการดำเนินงานวิจัยมาโดยตลอด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญรูป .....ฎ

บทที่ 1 1

บทนำ..... 1

1.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงาน..... 1

1.2 ความสำคัญของปัญหา 6

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 10

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย..... 10

1.5 ขอบเขตงานวิจัย..... 10

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 11

1.7 คำนิยามศัพท์ 11

บทที่ 2 13

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 13

2.1 ซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) 13

2.2 ทฤษฎีคอนกรีต (Concrete)..... 24

2.3 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 35

บทที่ 3 37

ระยะนิยามปัญหา (Define Phase) 37

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับคอนกรีต.. 37
3.2 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต.. 38
3.3 ศึกษากระบวนการผลิตคอนกรีต 40
3.4 สภาพปัญหาในปัจจุบัน 43
3.5 การกำหนดเป้าหมายและตัวชี้วัด 47
3.6 การจัดตั้งคณะทำงาน... 47
3.7 สรุประยะนิยามปัญหา 48
บทที่ 4 49
ระยะตรวจวัดปัญหา (Measure Phase).. 49
4.1 วิเคราะห์การวัดขนาดคละของวัตถุดิบ 49
4.2 วิเคราะห์การวัดระบบการชั่งตวงวัตถุดิบ.. 55
4.3 สรุประยะตรวจวัดปัญหา.. 65
บทที่ 5 66
ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา(Analysis Phase)... 66
5.1 การระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้า 66
5.2 ปัจจัยที่นำมาทำการวิเคราะห์ 71
5.3 การทดสอบสมมุติฐาน.. 71
5.4 สรุประยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา 75
บทที่ 6 76
ระยะปรับปรุงแก้ไข 76
6.1 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ.. 76
6.2 ตัวแปรตอบสนอง... 77
6.3 การออกแบบการทดลอง.. 77
6.4 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง... 78

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.5 ผลการดำเนินการทดลอง 78

6.6 ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง 79

6.7 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 82

6.8 การหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม 85

6.9 สรุประยะการปรับปรุงแก้ไข 86

บทที่ 7 87

ระยะการควบคุม 87

7.1 แนวทางการควบคุม 87

7.2 ข้อมูลหลังการปรับปรุง 88

7.3 สรุประยะการควบคุมกระบวนการ 89

บทที่ 8 90

บทสรุปและข้อเสนอแนะ 90

8.1 บทสรุประยะนิยามปัญหา 90

8.2 บทสรุประยะตรวจวัดปัญหา 91

8.3 บทสรุประยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา 91

8.4 บทสรุประยะการปรับปรุงแก้ไข 92

8.5 บทสรุประยะการควบคุม 92

8.6 ข้อเสนอแนะ 92

รายการอ้างอิง 93

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 106

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 2- 1 เปอร์เซ็นต์ส่วนผสมของคอนกรีตทั่วไป 28

ตารางที่ 2- 2 ตัวคูณค่าร้อยละของกำลังที่ต่ำกว่า fc’ 31

ตารางที่ 5- 1 เกณฑ์การประเมินผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์........ 68

ตารางที่ 5- 2 ตารางความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix)........ 69

ตารางที่ 5- 3 ปัจจัยและระดับต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง 70

ตารางที่ 5- 4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ 72

ตารางที่ 5- 5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณหินฝุ่นที่ผสมทราย 73

ตารางที่ 5- 6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของสัดส่วนของการหิน#3/4 และ หิน #3/8 นิ้ว........ 74

ตารางที่ 5- 7 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณน้ำที่ใช้........ 75

ตารางที่ 6- 1 ระดับปัจจัยนำเข้า 77

ตารางที่ 6- 2 ปัจจัยและระดับที่เหมาะสม........ 85

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

รูปที่ 1- 1 ผลการทดสอบขนาดคละของทราย 2

รูปที่ 1- 2 ผลการทดสอบขนาดคละของหินฝุ่น 3

รูปที่ 1- 3 ผลผลการทดสอบขนาดคละของหิน#3/4 นิ้ว 4

รูปที่ 1- 4 ผลการทดสอบขนาดคละของหิน#3/8 นิ้ว 4

รูปที่ 1- 5 สัดส่วนวัตถุดิบในการผสมคอนกรีตรหัส M240 5

รูปที่ 1- 6 สัดส่วนวัตถุดิบในการผสมคอนกรีตหลังเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ 6

รูปที่ 1- 7 ผลทดสอบค่าเฉลี่ยกำลังอัดคอนกรีตรหัส M240 7

รูปที่ 1- 8 ผลทดสอบค่ากำลังอัดตัวอย่างคอนกรีตระหว่างเดือนกรกฎาคม ถึง ธันวาคม ปี 2558 8

รูปที่ 1- 9 ปริมาณยอดผลิตคอนกรีตแยกตามสูตรการผลิต 9

รูปที่ 2- 1 เส้นโค้งปกติ (Normal Curve) (Breyfogle,1999) 14

รูปที่ 2- 2 การควบคุมกระบวนการภายในขอบเขต 3 ซิกมา (Breyfogel,1999) 14

รูปที่ 2- 3 การกระจายแบบปกติและการเคลื่อนตัวออกจากค่าเฉลี่ย(Breyfogel,1999) 14

รูปที่ 2- 4 ตัวอย่างแผนผังแสดงสาเหตุและผลของเสียจากการพิมพ์(วิทยา เจนจิวัฒนกุล 2554)... 18

รูปที่ 2- 5 ปัจจัยและพารามิเตอร์ของกระบวนการ 19

รูปที่ 2- 6 แสดงอิทธิพลของปัจจัยร่วมที่ไม่มีผลและมีผล 21

รูปที่ 2- 7 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (A.M. Neville and J.J. Brooks 1996) 28

รูปที่ 2- 8 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการบ่มและกำลังคอนกรีต 29

รูปที่ 3- 1 ส่วนประกอบของคอนกรีต 37

รูปที่ 3- 2 สัดส่วนวัตถุดิบในการผสมคอนกรีตสูตร M240 41

รูปที่ 3- 3 สัดส่วนวัตถุดิบในการผสมคอนกรีตสูตร M240 หลังเพิ่มปูนซีเมนต์ 41

รูปที่ 3- 4 ลักษณะของหินฝุ่น 42

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 3- 5 ผลการทดสอบขนาดคละหินฝุ่น 43

รูปที่ 3- 6 ผลทดสอบคอนกรีตกำลังอัด 240 กก./ตร.ซม. 44

รูปที่ 3- 7 ผลทดสอบค่ากำลังอัดตัวอย่างคอนกรีตระหว่างเดือนกรกฎาคม ถึง ธันวาคม ปี 2558 ... 45

รูปที่ 3- 8 ปริมาณยอดผลิตคอนกรีตแยกตามสูตรการผลิต 46

รูปที่ 4- 1 เครื่องมือทดสอบขนาดคละมวลรวม (Sieve Analysis) 49

รูปที่ 4- 2 ค่าเฉลี่ยผลทดสอบขนาดคละตัวอย่างหินขนาด #3/4 นิ้ว 51

รูปที่ 4- 3 ค่าเฉลี่ยผลทดสอบขนาดคละตัวอย่างหินขนาด #3/8 นิ้ว 52

รูปที่ 4- 4 ค่าเฉลี่ยผลทดสอบขนาดคละตัวอย่างทราย 53

รูปที่ 4- 5 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของขนาดคละของหินฝุ่น 54

รูปที่ 4- 6 ผลจากการประมวลด้วยโปรแกรม Minitab สำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัด 56

รูปที่ 4- 7 ผลจากการประมวลด้วยโปรแกรม Minitab สำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัด 57

รูปที่ 4- 8 ผลจากการประมวลด้วยโปรแกรม Minitab สำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัด 58

รูปที่ 4- 9 ผลจากการประมวลด้วยโปรแกรม Minitab สำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัด 59

รูปที่ 4- 10 ผลจากการประมวลด้วยโปรแกรม Minitab สำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัด 60

รูปที่ 4- 11 ผลจากการประมวลด้วยโปรแกรม Minitab สำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัด 61

รูปที่ 4- 12 ผลจากการประมวลด้วยโปรแกรม Minitab สำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัด 63

รูปที่ 4- 13 ผลจากการประมวลด้วยโปรแกรม Minitab สำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัด 64

รูปที่ 5- 1 การวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้แผนภูมิก้างปลา 67

รูปที่ 5- 2 แผนภูมิพาเรโตเรียงตามคะแนนความสัมพันธ์ (Cause and Effect Matrix) 70

รูปที่ 6- 1 ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมุติฐานของการแจกแจงแบบปกติ 79

รูปที่ 6- 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของการเก็บข้อมูล 80

รูปที่ 6- 3 ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต 81

รูปที่ 6- 4 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง 82

รูปที่ 6- 5 ผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง 83

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 6- 6 ผลอันตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง 84

รูปที่ 6- 7 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนที่เหมาะสมของคอนกรีต 85

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันคอนกรีตผสมเสร็จจัดได้ว่าเป็นวัสดุก่อสร้างประเภทหนึ่งที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ในการก่อสร้างอาคาร ถนน บ้านเรือน และระบบสาธารณูปโภค ต่าง ๆ ทั้งขนาดเล็กและใหญ่ โดยคอนกรีตผสมเสร็จช่วยทำให้งานก่อสร้างของผู้รับเหมาทำได้รวดเร็ว ลดจำนวนแรงงาน และ พื้นที่ในการกองเก็บวัสดุหน้าหน่วยงานก่อสร้าง เนื่องจากคอนกรีตผสมเสร็จจะเป็นการนำเอาวัสดุที่ใช้ในการผสมคอนกรีตมาทำการผสมโดยผ่านกระบวนการและจัดส่งผ่านรถลำเลียงคอนกรีตมายังหน่วยงานก่อสร้างและสามารถพร้อมใช้งานได้เลย

1.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงาน

โรงงานกรณีศึกษา ได้ก่อตั้งและเริ่มดำเนินธุรกิจคอนกรีตผสมเสร็จตั้งแต่เดือน มีนาคม 2558 เพื่อให้บริการลูกค้ากลุ่มผู้รับเหมางานก่อสร้าง และประชาชนทั่วไป ที่มีความต้องการนำผลิตภัณฑ์คอนกรีตผสมเสร็จจากโรงงานผลิตไปใช้ในการก่อสร้างอาคาร และสาธารณูปโภคทั่วไป ซึ่งในปัจจุบันโรงงานผลิตคอนกรีตผสมเสร็จเป็นที่ได้รับความนิยมของผู้รับเหมางานก่อสร้าง เนื่องจากมีความสะดวกสบายต่อการนำไปใช้งาน ลดเวลาในการนำวัตถุดิบมาผสมเป็นคอนกรีตที่หน้าหน่วยงานก่อสร้าง ปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษาตั้งอยู่ในตัวจังหวัดหนองบัวลำภู และเป็นที่ยอมรับของกลุ่มลูกค้าที่ได้นำผลิตภัณฑ์ไปใช้งาน ซึ่งปัจจุบันผลิตภัณฑ์คอนกรีตค่ากำลังอัด 240 กิโลกรัม/ตร.ซม. เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทางโรงงานจำหน่ายมากที่สุด โดยคิดเป็นสัดส่วนมากถึง 62 เปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์ค่ากำลังอัดคอนกรีต อื่น ๆ

1.1.1 วัตถุดิบที่ทางโรงงานใช้ในการผลิตคอนกรีต

วัตถุดิบที่ทางโรงงานใช้ในการผลิตคอนกรีตมีดังนี้

1) ปูนซีเมนต์
2) มวลรวมละเอียดหรือวัสดุผสมย่อยอย่างละเอียด (fine aggregate)
3) มวลรวมหยาบหรือวัสดุผสมย่อยอย่างหยาบ (coarse aggregate)
4) น้ำ
5) สารผสมเพิ่ม

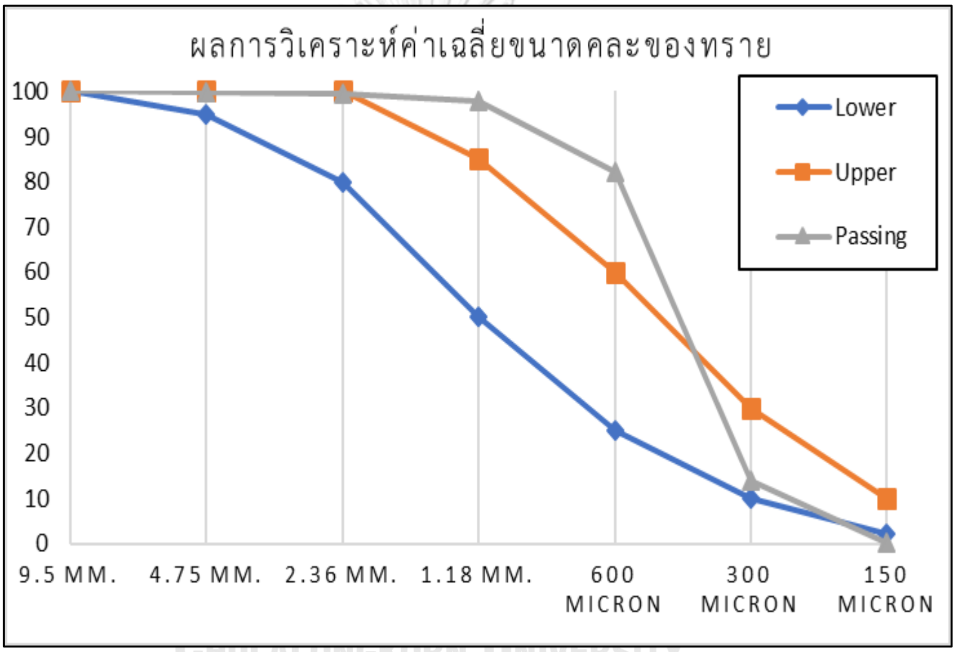
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.1.1.1 ปูนซีเมนต์

ทางโรงงานกรณีศึกษาทำการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 มาเป็นวัสดุที่ใช้ในการผสมคอนกรีตผสมเสร็จ

1.1.1.2 มวลรวมละเอียดหรือวัสดุผสมย่อยอย่างละเอียด (fine aggregate)

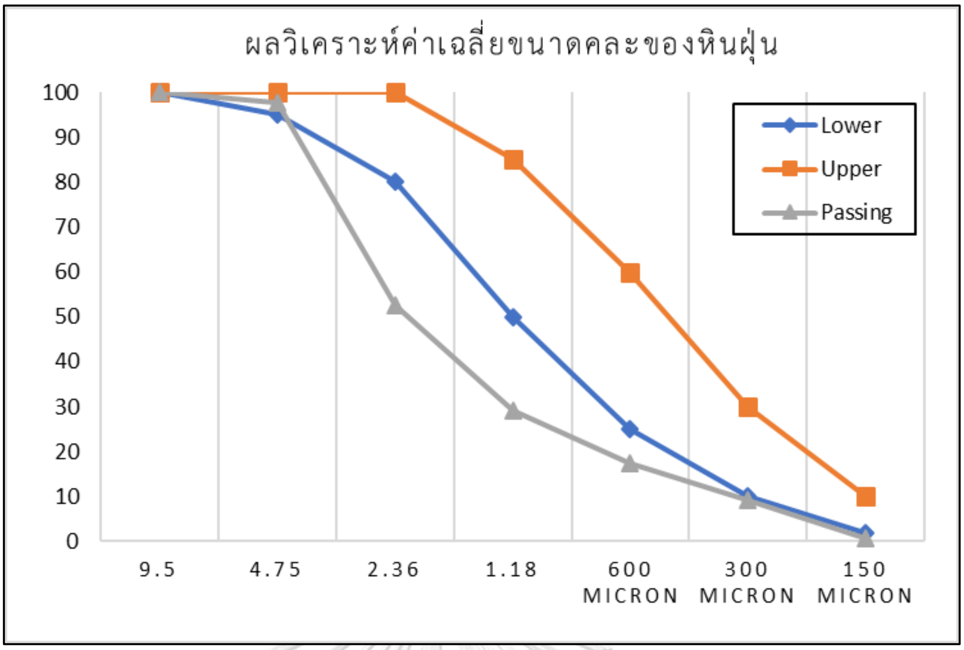
1) ทราย : ทางโรงงานได้ทำการใช้ทรายจากแหล่งที่อยู่ในพื้นที่มาทำการผสมในคอนกรีตซึ่งจากการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของทารายจากแหล่งนี้พบว่ามีคุณสมบัติของขนาดคละที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C33 ที่กำหนดไว้ตามมาตรฐานควรมีค่าระหว่าง 2.5-3.0 แต่จากการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบขนาดคละได้ค่าความละเอียดอยู่ที่ F.M. = 2.06 โดยรายละเอียดการตรวจสอบเป็นดังรูป 1-1



รูปที่ 1- 1 ผลการทดสอบขนาดคละของทราย

จากรูปที่ 1-1 เมื่อทำการพิจารณาจากเส้นกราฟที่ได้จากผลการทดสอบขนาดคละของตัวอย่างทรายที่เก็บจากหน่วยผลิตพบว่าสัดส่วนที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 2.36 มิลลิเมตร , 1.18 มิลลิเมตร และ 600 ไมครอน พบว่ามีค่าเปอร์เซ็นต์ในการผ่านของทรายที่สูงหมายความค่าปริมาณค้างที่อยู่บนทรายมีค่าน้อยและเมื่อนำค่าน้ำหนักที่ค้างบนตะแกรงมาคำนวณค่า F.M. จะได้ค่าความละเอียดที่ F.M. = 2.06 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ASTM C33 พบว่ามีค่าที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

2) หินฝุ่น : ทางโรงงานพิจารณาในการใช้หินฝุ่นจากแหล่งโร่งโม่สากลพัฒนา อ.นากลาง จ.หนองบัวลำภู โดยจากการทดสอบขนาดคละตัวอย่างด้วยชุดตะแกรงทดสอบขนาดคละตัวอย่างทรายได้ค่า F.M.= 3.93 ดังรายละเอียดดังรูปที่ 1-2



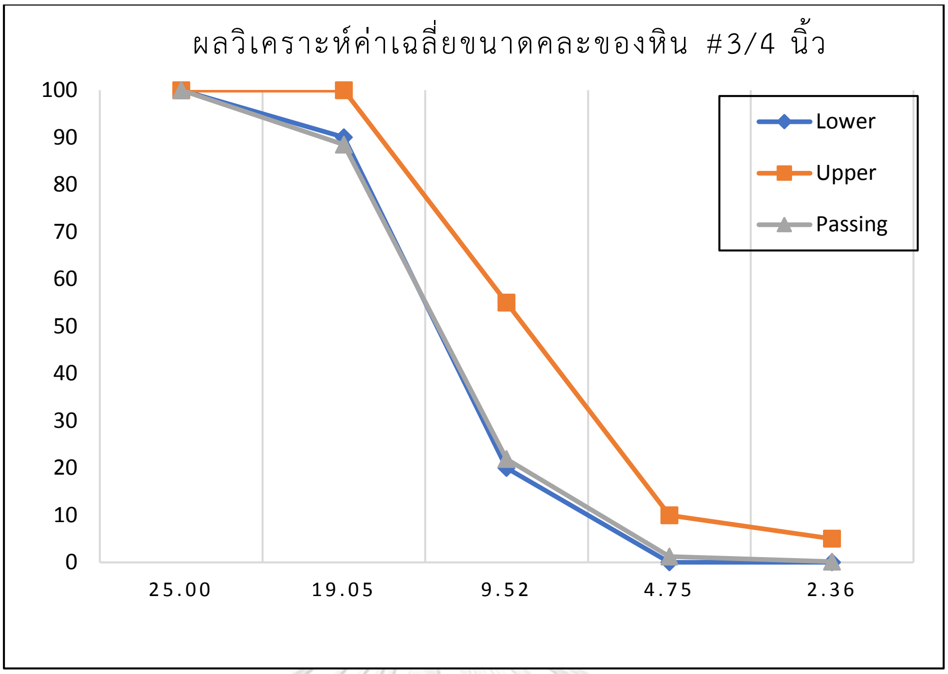
รูปที่ 1- 2 ผลการทดสอบขนาดคละของหินฝุ่น

จากรูปที่ 1-2 เมื่อทำการพิจารณาจากเส้นกราฟที่ได้จากผลการทดสอบขนาดคละของตัวอย่างที่เก็บจากหน่วยผลิตพบว่าสัดส่วนที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 2.36 มิลลิเมตร , 1.18 มิลลิเมตร และ 600 ไมครอน และเมื่อนำค่าน้ำหนักที่ค้างบนตะแกรงมาคำนวณค่าความละเอียดของขนาดคละ F.M. จะได้ค่าความละเอียดที่ F.M. = 3.93

1.1.1.3 มวลรวมหยาบหรือวัสดุผสมย่อยอย่างหยาบ (coarse aggregate)

1) หินขนาด #3/4 นิ้ว : ทางโรงงานได้ทำการใช้หินจากแหล่งที่อยู่ในพื้นที่มาทำการผสมในคอนกรีตซึ่งจากการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของหินที่นำมาใช้จากแหล่งนี้ พบว่ามีคุณสมบัติของขนาดคละแสดงรายละเอียดการตรวจสอบดังรูปที่ 1-3

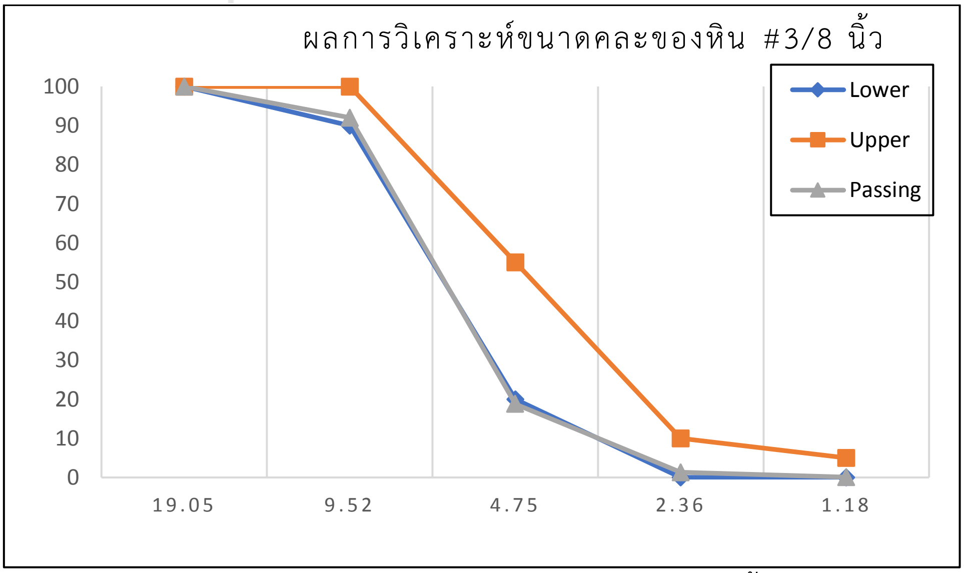
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 1- 3 ผลผลการทดสอบขนาดคละของหิน#3/4 นิ้ว

จากรูปที่ 1-3 เมื่อได้ทำการพิจารณาในส่วนของขนาดคละของหิน#3/4 นิ้ว ที่ผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 25 mm. , 19.05 mm.,9.52 mm.,4.75 mm. และ 2.36 mm. พบว่า หินขนาด #3/4 นิ้ว ที่ทางโรงงานนำเข้ามาใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตมีค่าที่ผ่านตามมาตรฐาน ASTM C33 โดยมีค่าความละเอียดของขนาดคละตัวอย่าง F.M. = 6.80

1) หินขนาด #3/8 นิ้ว : ทางโรงงานได้ทำการใช้หินจากแหล่งที่อยู่ในพื้นที่มาทำการผสมในคอนกรีตซึ่งจากการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของหินที่นำมาใช้จากแหล่งนี้พบว่ามีคุณสมบัติของขนาดคละแสดงรายละเอียดการตรวจสอบดังรูปที่ 1-4



รูปที่ 1- 4 ผลการทดสอบขนาดคละของหิน#3/8 นิ้ว

จากรูปที่ 6 เมื่อได้ทำการพิจารณาในส่วนของขนาดคละของหิน#3/4 นิ้ว ที่ผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 19.05 mm.,9.52 mm.,4.75 mm., 2.36 mm. และ 1.18 mm. พบว่า หินขนาด #3/8 นิ้ว ที่ทางโรงงานนำเข้ามาใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตมีค่าที่ผ่านตามมาตรฐาน ASTM C33 โดยมีค่าความละเอียดของขนาดคละตัวอย่าง F.M. = 6.87

1.1.1.4 น้ำ

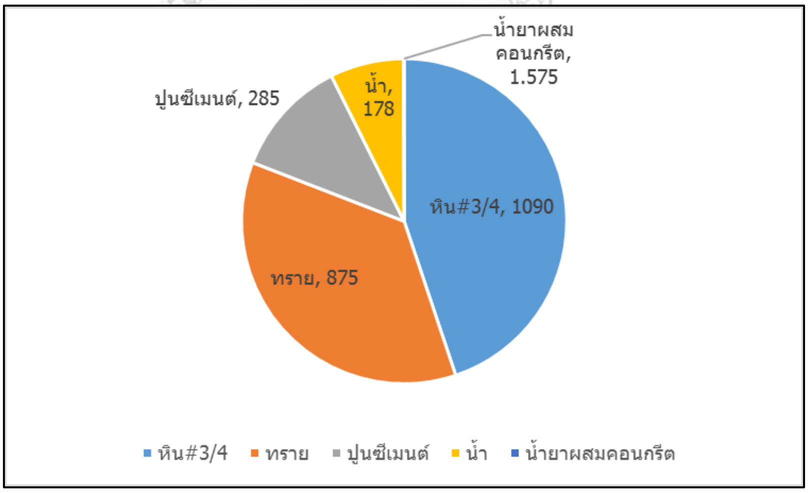
การพิจารณาน้ำที่นำมาใช้ในการผลิตคอนกรีตทางโรงงานกรณีศึกษาเลือกใช้น้ำประปามาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตเนื่องจากน้ำปามีคุณสมบัติที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตคอนกรีตได้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด

1.1.1.5. สารผสมเพิ่ม

ทางโรงงานกรณีศึกษาได้ทำการเลือกใช้สารผสมเพิ่มคอนกรีตชนิดหน่วงการก่อตัวและลดน้ำ เป็นชนิดA&D ตามมาตรฐาน ASTM C494

1.1.2 ข้อมูลต้นทุนส่วนผสมคอนกรีต

ทางโรงงานกรณีศึกษาได้ทำการพิจารณาสูตรการผลิตคอนกรีตที่มีปริมาณยอดการผลิตมากสุด คือ ผลิตภัณฑ์คอนกรีตกำลังอัด 240 กิโลกรัม/ตร.ซม. รหัสผลิตภัณฑ์ M240 ซึ่งประกอบด้วยวัตถุดิบที่ใช้ในการผสมคอนกรีต เช่น หิน#3/4 , ทราย , ปูนซีเมนต์,น้ำ,น้ำยาหน่วง ซึ่งแสดงเปอร์เซ็นต์สัดส่วนผสมของแต่ละวัตถุดิบที่ผลิตคอนกรีตต่อ ลูกบาศก์เมตร โดยมีความหนาแน่นของน้ำหนักรวม 2420 กิโลกรัม ดังแสดงในรูปที่ 1-5

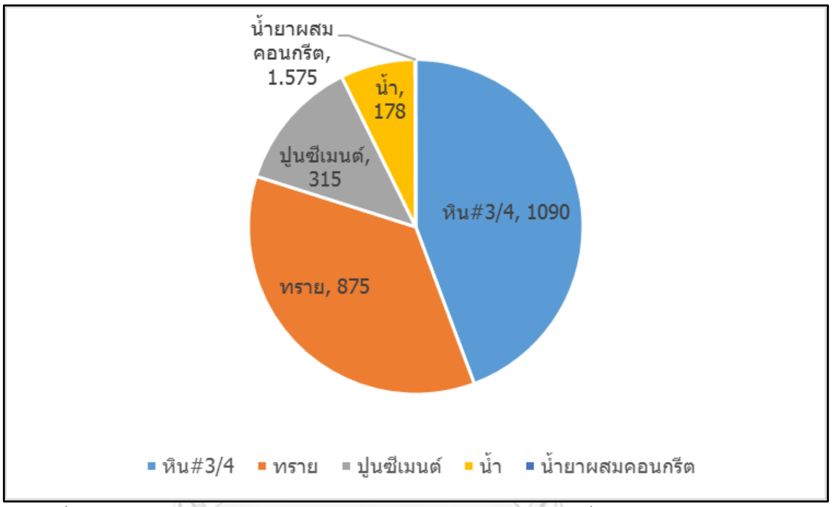


รูปที่ 1- 5 สัดส่วนวัตถุดิบในการผสมคอนกรีตรหัส M240

จากรูปที่ 1-5 แสดงให้เห็นถึงสัดส่วนของปริมาณวัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตสูตร M240 ซึ่งเป็นสูตรที่มียอดการผลิตสูงสุด และจากการวิเคราะห์ต้นทุนต่อสูตรการผลิตคอนกรีตนี้ที่ 1 ลูกบาศก์เมตร จะมีต้นทุนวัตถุดิบอยู่ที่ 1023 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นสูตรผสมคอนกรีตที่ทางโรงงานได้นำมาใช้ในการผลิตคอนกรีตและจากการตรวจสอบข้อมูลของการทดสอบตัวอย่างคอนกรีต

หลังจากทำการผลิตพบว่าค่ากำลังอัดคอนกรีตมีค่าที่ต่ำกว่ามาตรฐานจากที่โรงงานได้กำหนดไว้ให้คอนกรีตรหัส M240 จะต้องมีค่ากำลังอัดเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 260-280 กิโลกรัม/ตร.ซม. โดยจากการพิจารณาผลการทดสอบก้อนตัวอย่างคอนกรีตพบว่าค่ากำลังอัดคอนกรีตที่ได้มีค่าเฉลี่ยกำลังอัดคอนกรีตอยู่ที่ 237 กิโลกรัม/ตร.ซม.

จากปัญหาค่ากำลังอัดคอนกรีตที่ต่ำกว่ามาตรฐานของสูตร M240 นั้นทางโรงงานได้ทำการแก้ไขปัญหาโดยเร่งด่วนด้วยการเพิ่มส่วนเผื่อปูนซีเมนต์ในสูตรการผสมคอนกรีตโดยประมาณ 30 กิโลกรัม ซึ่งสัดส่วนผสมคอนกรีตที่เปลี่ยนแปลงจากสูตรเดิมที่ทางโรงงานใช้ในการผลิตคอนกรีต ดังรูปที่ 1-6



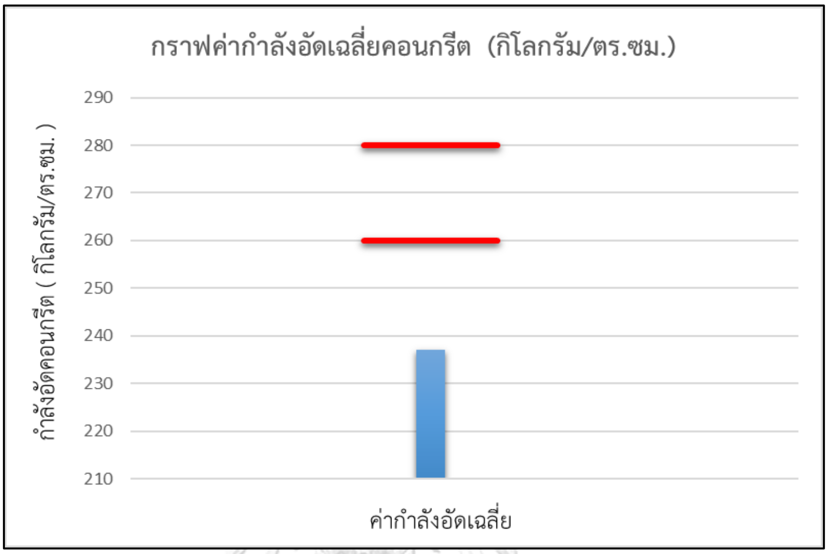
รูปที่ 1- 6 สัดส่วนวัตถุดิบในการผสมคอนกรีตหลังเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์

จากรูปที่ 1-6 แสดงให้เห็นสัดส่วนของส่วนผสมคอนกรีตสูตร M240 หลังจากที่มีการเพิ่มส่วนเผื่อปูนซีเมนต์ลงไปในสัดส่วนการผสมคอนกรีตและเมื่อทำการพิจารณาในรายละเอียดของต้นทุนของสูตรผสมคอนกรีตที่มีการปรับปรุงโดยเพื่อส่วนเผื่อปูนซีเมนต์ 30 กิโลกรัม เพื่อแก้ปัญหาค่ากำลังอัดคอนกรีตที่ต่ำกว่ามาตรฐาน ซึ่งพบว่าส่งผลให้ต้นทุนของสูตรผสมคอนกรีต M240 หลังการปรับปรุงมีต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นประมาณ 70 บาท ต่อลูกบาศก์เมตร

1.2 ความสำคัญของปัญหา

ในสถานะการณ์ปัจจุบันที่มีการแข่งขันทางธุรกิจของธุรกิจคอนกรีตผสมเสร็จอย่างรุนแรงและเพื่อความอยู่รอดทางธุรกิจองค์กรต้องพยายามที่จะปรับปรุงการผลิตเพื่อให้สามารถแข่งขันในตลาดได้ โดยปัจจัยที่ส่งผลให้ธุรกิจประสบความสำเร็จ คือ การผลิตสินค้าที่มีคุณภาพเป็นที่น่าเชื่อถือและมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ ดังนั้นการปรับปรุงและค้นหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของและต้นทุนของธุรกิจจึงเป็นเรื่องที่ไม่ควรมองข้าม ซึ่งเมื่อพิจารณาสูตรผสมคอนกรีตที่ทางโรงงานใช้อยู่ เมื่อพิจารณา

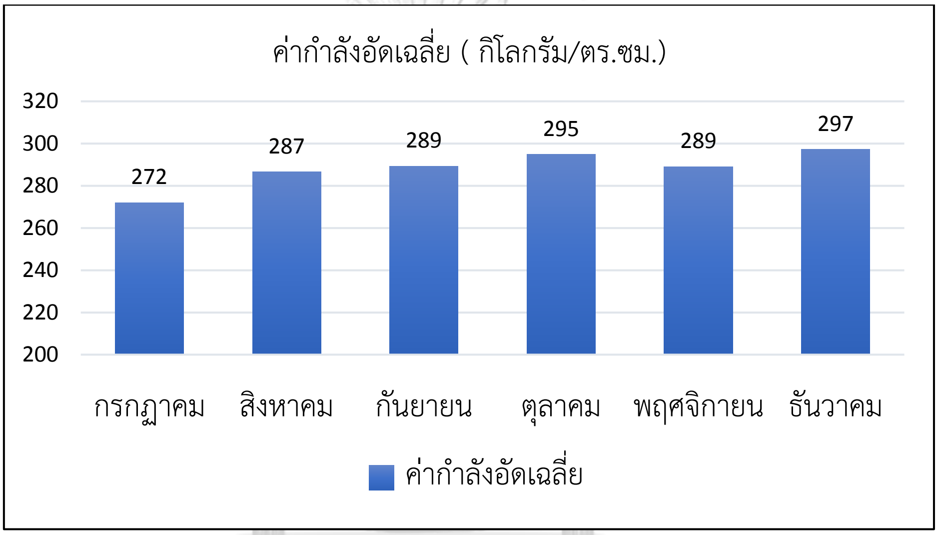
ใช้ส่วนของต้นทุนที่เกิดจากการใช้ซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นคิดเป็น 70 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ของต้นทุนในสูตรผสมคอนกรีต โดยจากการศึกษาสภาพปัญหาของโรงงานผลิตคอนกรีตผสมเสร็จแห่งหนึ่งในจังหวัดหนองบัวลำภูโดยพบว่าทางโรงงานได้ประสบปัญหาเรื่องคอนกรีตที่ผลิตออกมาด้วยส่วนผสมมาตรฐานมีค่าการรับแรงอัดเฉลี่ยที่ต่ำกว่าที่ต้องการโดยการทดสอบจากการสุ่มเก็บก้อนตัวอย่างคอนกรีตมาทำการทดสอบดังรูปที่ 1-7



รูปที่ 1- 7 ผลทดสอบค่าเฉลี่ยกำลังอัดคอนกรีตรหัส M240

จากรูปที่ 1-7 เมื่อพิจารณาค่ากำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบมีค่ากำลังอัดเฉลี่ยอยู่ที่ 237 กิโลกรัม/ตร.ซม. ซึ่งทางโรงงานได้กำหนดให้คอนกรีตที่ผลิตส่งให้ลูกค้าจะต้องผ่านมาตรฐานที่มีค่ากำลังอัดคอนกรีตการรับแรงอัดของคอนกรีตอยู่ระหว่าง 260-280 กิโลกรัม/ตร.ซม. ดังนั้น จากการพิจารณาผลการทดสอบขนาดคละของวัตถุดิบที่นำมาใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตมีค่าความละเอียดที่มากเกินไปโดยจากการพิจารณาผลการทดสอบพบว่าค่าความละเอียด (FINENESS MODULUS) (F.M.) อยู่ที่ 2.06 ซึ่งเป็นลักษณะของทรายที่ไม่เหมาะสมในการนำมาผลิตคอนกรีตแต่จากข้อจำกัดในพื้นที่บริเวณดังกล่าวซึ่งอยู่ใกล้แหล่งทรายแม่น้ำทำให้ไม่สามารถหาทรายที่ผ่านข้อกำหนดที่มีค่าความละเอียด (FINENESS MODULUS) (F.M.) ระหว่าง 2.5 ถึง 3.0 ได้ซึ่งหากต้องการนำทรายที่ผ่านมาตรฐานมาผสมเพื่อเป็นคอนกรีตก็จะต้องทำการจัดซื้อจากพื้นที่อื่นซึ่งมีราคาแพงและมีระยะทางที่ไกลทำให้เสียเวลาและส่งผลให้ไม่มีวัตถุดิบในการทำการผลิตทำให้ทางโรงงานยังจำเป็นต้องใช้ทรายที่มีค่าความละเอียดที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดนั้นซึ่งส่งผลให้ค่ากำลังอัดคอนกรีตที่ได้มีค่ากำลังอัดคอนกรีตที่ลดลงต่ำกว่ามาตรฐานที่ออกแบบไว้

จากปัญหาค่ากำลังอัดคอนกรีตที่ต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดให้มีค่าอยู่อยู่ระหว่าง 260-280 กิโลกรัม/ตร.ซม. แต่จากการพิจารณาผลทดสอบก้อนตัวอย่างคอนกรีตพบว่ามีค่ากำลังอัดเฉลี่ยอยู่ที่ 237 กิโลกรัม/ตร.ซม. ซึ่งคอนกรีตที่ต่ำกว่ามาตรฐานอาจส่งผลกระทบการนำไปใช้งานของลูกค้า ดังนั้น ทางโรงงานจึงทำการพิจารณาและวิเคราะห์ปัญหาเบื้องต้นโดยทางโรงงานพบว่าอาจจะเกิดจากทรายในพื้นที่ที่มีความละเอียดมากทำให้ต้องใช้ปริมาณน้ำในการผลิตคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ได้ต่ำกว่ามาตรฐาน ดังนั้นทางโรงงานจึงสุ่มเพิ่มส่วนเผื่อปูนซีเมนต์ลงไปในส่วนผสมคอนกรีตที่ 30 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรในสูตรการผลิตคอนกรีต และหลังจากแก้ปัญหาด้วยการเพิ่มส่วนเผื่อปูนซีเมนต์และพิจารราจากการเก็บก้อนตัวอย่างคอนกรีตมาทำการทดสอบพบว่าค่าค่ากำลังอัดคอนกรีตมีค่าเฉลี่ยที่สูงกว่ามากกว่ามาตรฐานที่ทางโรงงานกำหนด ดังรูปที่ 1-8



รูปที่ 1- 8 ผลทดสอบค่ากำลังอัดตัวอย่างคอนกรีตระหว่างเดือนกรกฎาคม ถึง ธันวาคม ปี 2558

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

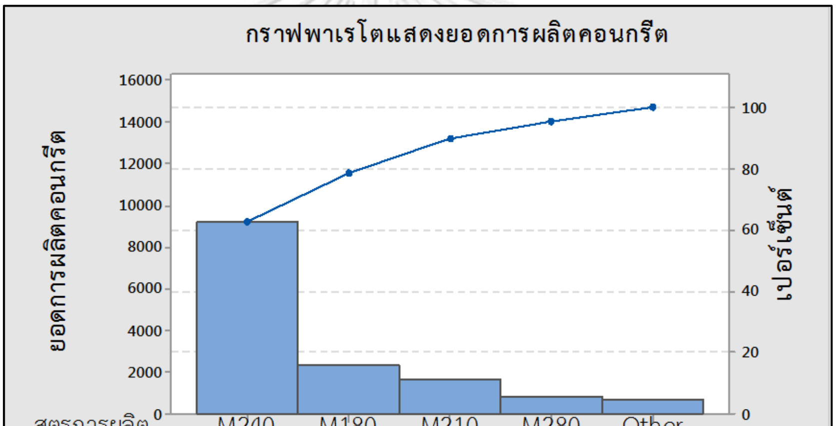
จากรูปที่ 1-8 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่ผลิตในช่วงระหว่างเดือน กรกฎาคม ถึง ธันวาคม ปี 2558 ของรหัสสินค้า M240 พบว่าจากการเพิ่มส่วนเผื่อปูนซีเมนต์ลงไปในส่วนผสมคอนกรีตส่งผลให้ค่าการรับแรงอัดคอนกรีตมีค่าสูงมากกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ดังนั้นเมื่อทำการพิจารณาการเพิ่มสัดส่วนเผื่อของปูนซีเมนต์ให้มากขึ้นจากมาตรฐานในการผลิตคอนกรีตแต่ละครั้งเฉลี่ยประมาณ 30 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยในระหว่างเดือน ก.ค. ถึง ธ.ค. ปี2558 ทางโรงงานมียอดการผลิตเฉลี่ยที่ 14,693 ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นต้นทุนส่วนเผื่อปูนซีเมนต์จากสูตรมาตรฐานประมาณ 1 ล้านบาทในช่วง 6 เดือน

โดยคำนวนจากส่วนเผื่อปูนซีเมนต์ที่ 30 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรโดยปัจจุบันทางโรงงานผลิตมีต้นทุนในการซื้อปูนซีเมนต์ที่ 2.3 บาทต่อกิโลกรัม ดังนั้นเมื่อมีการทำการคำนวณจะได้ดังนี้

$$2.3 \times 30 \times 14693 = 1{,}013{,}817 \quad \text{บาท}$$

จากการพิจารณาของทางโรงงานมีความต้องการลดต้นทุนส่วนเผื่อปูนซีเมนต์ลงดังนั้นทางคณะทำงานที่ทางโรงงานแต่งตั้งขึ้นจึงปรึกษาหารือร่วมกันในแนวทางที่จะนำหินฝุ่นซึ่งเป็นวัสดุทดแทนที่สามารถนำมาเป็นส่วนผสมกับมวลรวมละเอียดดังพบในงานวิจัยของ (ธีระ เทพพรหม 2552) ที่ได้ทำการศึกษาการนำหินฝุ่นมาเป็นส่วนผสมแทนทรายหยาบ โดยใช้หินฝุ่นจากแหล่งโรงโม่หินนราธิวาส ค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกันกับการใช้ทรายหยาบเพียงอย่างเดียว และประกอบกับหินฝุ่นมีอยู่ในพื้นที่และมีราคาถูก ดังนั้นทางโรงงานมีความประสงค์ต้องการทดลองที่จะนำหินฝุ่นจากแหล่งโรงโม่หินสากลพัฒนา อ.นากลาง จ.หนองบัวลำภู ซึ่งเป็นหินฝุ่นที่ได้จากภูเขาหินปูน มาผสมกับทรายละเอียดที่ทางโรงงานใช้อยู่เพื่อลดต้นทุนในสัดส่วนผสมคอนกรีต

โดยทางโรงงานได้ทำการพิจารณาที่จะทำการทดลองในส่วนผสมคอนกรีตที่มียอดการผลิตมากสุดและจากข้อมูลรายงานการผลิตคอนกรีตซึ่งแบ่งแยกตามรหัสสินค้าที่ทำการผลิตมากสุดในช่วง 6 เดือนย้อนหลัง คือ ระหว่างเดือน ก.ค. ถึง ธ.ค. 2558 โดยมีรายละเอียด ดังรูปที่ 1-9



สูตรการผลิต	M240	M180	M210	M280	Other
ปริมาณ	9231	2317	1669	802	674
Percent	62.8	15.8	11.4	5.5	4.6
Cum %	62.8	78.6	90.0	95.4	100.0

รูปที่ 1- 9 ปริมาณยอดผลิตคอนกรีตแยกตามสูตรการผลิต

จากรูปที่ 1-9 กราฟพาเรโตทำให้เราพบว่าประเภทของสูตรการผลิต M240 เป็นสูตรการผลิตที่มีขนาดปริมาณยอดการผลิตคอนกรีตที่มากกว่าสูตรการผลิตประเภทอื่น ๆ โดยยอดการผลิตสูตรดังกล่าวอยู่ที่ 62.8 เปอร์เซ็นต์ของยอดการผลิตทั้งหมด ดังนั้นเมื่อเราสามารถทำการปรับปรุงสูตรการผลิต M240 นี้ จะช่วยทำให้ลดต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตคอนกรีตได้มากขึ้น โดยการปรับปรุงสูตรการผลิตนี้จะนำแนวคิดซิกซ์ ซิกมา เข้ามาประยุกต์ใช้เพื่อหาสัดส่วนของการใช้หินฝุ่นที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตโดยยังคงมีคุณสมบัติในการรับค่ากำลังอัดคอนกรีตเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด โดยคาดว่าเมื่อนำหินฝุ่นมาทดแทนทรายบางส่วนที่มีความละเอียดมากจะช่วยให้สามารถลดต้นทุนจากการเผื่อปูนซีเมนต์ในสัดส่วนผสมคอนกรีต ซึ่งแนวคิดซิกซ์ ซิกมา มีขั้นตอนการดำเนินงานอย่าง

เป็นระบบ และยังมีการนำเอาวิธีการทางสถิติ เช่น การทดสอบสมมุติฐานและการออกแบบการทดลอง (DOE) เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล จึงเห็นว่าแนวคิดซิกซ์ ซิกมา เหมาะกับการนำมาประยุกต์ใช้ในการหาสัดส่วนที่เหมาะสมของการใช้หินฝุ่นในสูตรการผลิตคอนกรีต

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อหาสัดส่วนหินฝุ่นที่เหมาะสมในสูตรการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จที่ยังคงมีคุณภาพเป็นตามข้อกำหนดเพื่อลดต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานงานวิจัยมีดังนี้

1. ทบทวนงานวิจัยและศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
2. วิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อการรับแรงอัดคอนกรีตและทำการคัดเลือกปัจจัยดังกล่าวมาทำการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลโดยการใช้แผนภูมิก้างปลา และเลือกปัจจัยที่มีอิทธิพลเหล่านั้นมาออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ
3. ศึกษาหลักการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ
4. วางแผนการออกแบบการทดลองที่เหมาะสม
5. ดำเนินการทดลองตามแผนการออกแบบการทดลอง
6. วิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติเชิงวิศวกรรม
7. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ
8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.5 ขอบเขตงานวิจัย

ขอบเขตงานวิจัยมีดังนี้

1. ผู้วิจัยจะใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดเดียวคือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 80-2817 เท่านั้น
2. ผู้วิจัยจะทำการทดลองโดยนำหินฝุ่นมาเป็นส่วนผสมรวมในมวลละเอียด
3. ผู้วิจัยจะใช้วัตถุดิบขนาดหิน 3/4 นิ้ว เพียงขนาดเดียวจากแหล่งเดิมที่ใช้อยู่
4. ผู้วิจัยจะทำการบ่มและทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีตที่อายุ 28 วัน เท่านั้น
5. ผู้วิจัยจะทำการออกแบบการทดลองสำหรับสูตรการผลิตคอนกรีต M240 ที่รองรับค่ากำลังอัดคอนกรีตที่มากกว่า 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรขึ้นไป
6. ผู้วิจัยจะทำการออกแบบการทดลองสำหรับค่าการยุบตัวของคอนกรีต (Slump) ที่ 7.5+/- 2.5 เซนติเมตร

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับมีดังนี้

1. ลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ
2. ได้สูตรการผลิตคอนกรีตที่มีการใช้หินฝุ่นที่เหมาะสมของการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ
3. เป็นแนวทางในการควบคุมมาตรฐานการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ

1.7 คำนิยามศัพท์

คำนิยามศัพท์มีดังต่อไปนี้

1. คอนกรีตผสมเสร็จ หมายถึง ส่วนผสมของปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต ที่ผสมกันเบ็ดเสร็จจากโรงงาน ซึ่ง ตั้งอยู่นอกหรือในหน่วยงานก่อสร้างและจัดส่งโดยรถผสมคอนกรีต
2. หินฝุ่น หมายถึง เป็นหินก่อสร้างชนิดหนึ่งที่เป็นผลผลิตจากการโม่หินในโรงโม่ โดยหินที่โม่นั้นเป็นหินที่ขนส่งมาจากหน้างานการทำเหมืองหินโดยปกติ ผลผลิตที่ได้จากโรงโม่หินก่อสร้าง จะประกอบไปด้วย หินก่อสร้างชนิดต่างๆ ได้แก่ หิน 1 นิ้ว หิน 3/4 นิ้ว หินเกล็ด (หรือหิน 3/8 นิ้ว) และ หินฝุ่น (หรือ หิน 3/16 นิ้ว) อย่างไรก็ตาม หินฝุ่นมักจะเป็นผลผลิตของโรงโม่ที่มียอดจำหน่ายน้อย (ส่วนใหญ่ใช้เฉพาะเป็นวัสดุผสมในอิฐบล๊อก) หลายครั้งเป็นภาระแก่ผู้ประกอบการในการหาพื้นที่เก็บกอง สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการขนย้าย ดั้งนั้น ผู้ประกอบการในหลายพื้นที่จึงถือว่า หินฝุ่น เป็นวัสดุเหลือใช้ที่ไม่มีประโยชน์
3. สัดส่วนการผสมคอนกรีต หมายถึง การออกแบบสัดส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ หิน ทราย และน้ำ โดยปกติการออกแบบหรับงานก่อสร้างขนาดเล็ก ส่วนใหญ่จะกำหนดสัดส่วนผสมโดยปริมาตร เช่น 1: 2 : 4 อัตราส่วนที่กล่าวถึงนี้คือ ใช้ปูนซีเมนต์ 1 ส่วน ทราย 2 ส่วน หิน 4 ส่วน โดยปริมาตร การที่จะแปลงส่วนผสมโดยปริมาตร โดยเมื่อออกแบบแล้วจะมีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 2400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
4. สัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ หมายถึง สัดส่วนระหว่างปูนซีเมนต์และเถ้าลอย โดยทางโรงงานกำหนดมาตรฐานการผสมเถ้าลอยของทางโรงงานที่ 20 เปอร์เซ็นต์
5. ค่าการยุบตัวของคอนกรีต (Slump) หมายถึง การวัดความข้นเหลวของคอนกรีต ใช้ในการควบคุมความสม่ำเสมอในการผลิตคอนกรีต ซึ่งวิธีการทดสอบค่าการยุบตัว (Slump test) จะทำโดยตักคอนกรีตลงในโคนที่มีลักษณะเป็นกรวยยอดตัดตำด้วยเหล็กตำและ

ยกขึ้นอย่างช้าๆ คอนกรีตจะยุบตัวลงด้วยน้ำหนักของตัวเอง โดยโครงสร้างทั่วไปจะมีค่ายุบตัวของคอนกรีตที่ 7.5 +/- 2.5 เซนติเมตร

6. ค่ากำลังอัดคอนกรีต หมายถึง ค่าที่แสดงถึงความแข็งแรงของคอนกรีต มีหน่วยวัดเป็นแรง / พื้นที่ (กิโลกรัม/ตร.ซม. หรือ ตัวย่อในภาษาอังกฤษคือ Ksc) โดยตัวเลขที่มากขึ้นหมายถึงค่าความแข็งแรงที่สูงขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2

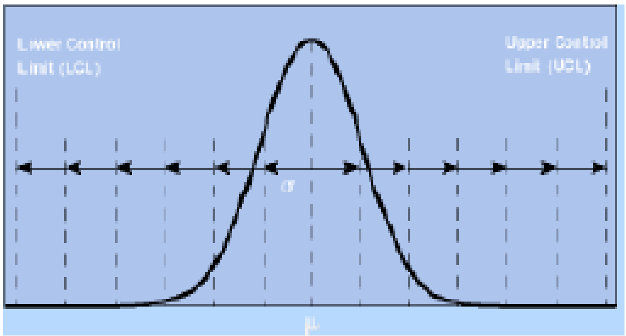
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเกี่ยวกับแนวทางในการหาสัดส่วนของการใช้หินฝุ่นเป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จโดยประยุกต์ใช้แนวทาง ซิกซ์ ซิกม่า มาดำเนินการนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ แนวทางซิกซ์ ซิกม่า การรออกแบบการทดลอง ทฤษฎีคอนกรีต และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เป็นต้น

2.1 ซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma)

ซิกซ์ ซิกมา หมายถึง การปรับปรุงและพัฒนาผลิตภัณฑ์ หรือกระบวนการเพื่อทำให้ลูกค้าพึงพอใจโดยส่งมอบสินค้าที่มีคุณภาพ โดย(Cherry.J and Sephardi.S 2000) ได้ให้ความหมายของซิกซ์ ซิกมา คือวิธีการสำหรับการจัดการคุณภาพโดยมีการนำวิธีการทางสถิติมาใช้ ที่มีการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบและจะควบคุมกระบวนการโดยการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยมีเป้าหมายในการแก้ไขปัญหาที่สาเหตุของปัญหา และมีนิยามความหมายสำหรับกระบวนการใหม่ในระยะยาว (Evans.J.R. and Lindsay, 2005) ได้กล่าวว่า ซิกซ์ ซิกมา เป็นวิธีการในการปรับปรุงกระบวนการทางธุรกิจเพื่อหาแนวทางและวิธีการและกำจัดสาเหตุของปัญหาในการเกิดของเสียและความผิดพลาด ลดรอบเวลาการผลิตและต้นทุนการผลิต ปรับปรุงผลผลิต เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ดีขึ้น สามารถเพิ่มการใช้ประโยชน์ในสินทรัพย์สินและผลตอบแทนในกระบวนการผลิตและการบริการ โดยการปรับปรุงบนพื้นฐานกระบวนการแก้ปัญหา DMAIC ประกอบด้วย Define (ระยะนิยามปัญหา) Measure(ระยะตรวจวัดปัญหา) Analysis (ระยะวิเคราะห์ปัญหา) Improve (ระยะแก้ไขปัญหา) Control (ระยะติดตามปัญหา) ซึ่งได้มีการรวบรวมเครื่องมือทางสถิติและเครื่องมือในการปรับปรุงการผลิตไว้มากมายในความหมายทางสถิติ ระดับของซิกซ์ซิกมา ที่สูงขึ้นจะวัดอัตราของเสียที่ลดลงและประสิทธิภาพของกระบวนการที่สูงขึ้น ที่อยู่ภายใต้เส้นโค้งปกติ (Normal Curve) ดังแสดงในรูปที่ 2-1

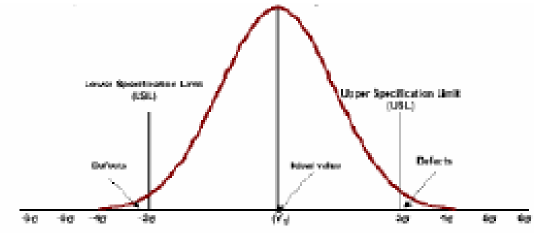
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2-1

รูปที่ 2- 1 เส้นโค้งปกติ (Normal Curve) (Breyfogle,1999)

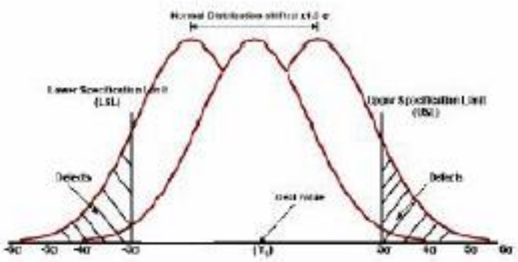
เริ่มต้นในทศวรรษที่ 20 Water Shaw hart แสดง 3 ซิกมาจากค่าเฉลี่ยไปถึงจุดที่กระบวนการ และมีหลายๆมาตรฐานการวัด เช่น Zero Defect ที่เป็นวิธีการควบคุมคุณภาพต่อๆมา โดยแสดงการควบคุมของกระบวนการในขอบเขต 3 ซิกซ์ซิกมาดังแสดงในรูปที่ 2-2



รูปที่ 2- 2 การควบคุมกระบวนการภายในขอบเขต 3 ซิกมา (Breyfogel,1999)

ระดับบของการควบคุมของซิกซ์ซิกมา เกิดจากการดำเนินกระบวนการจนกระทั่งอยู่ในสภาพเสถียร ค่าเฉลี่ยของกระบวนการจะเลื่อน (Shift) ออกไปทั้ง 2 ฝั่งของค่าเฉลี่ยของกระบวนการ เป็นระยะทาง 1.5 ซิกมา ดังแสดงในรูปที่ 2-3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 2- 3 การกระจายแบบปกติและการเคลื่อนตัวออกจากค่าเฉลี่ย(Breyfogel,1999)

(Breyfogle III, 1999)ได้กล่าวว่า ซิกซ์ซิกมา ถูกพัฒนาและประยุกต์โดยใช้ความรู้ทางสถิติตั้งประเด็นในเชิงสถิติ และปริมาณของซิกซ์ซิกมา ในมุมมองทางสถิติ รูปแบบของซิกซ์ซิกมาได้ให้คำจำกัดความถึงโอกาสความผิดพลาดที่น้อยกว่า 3.4 ชิ้นในล้านชิ้น หรือ อัตราของความสำเร็จเท่ากับ

99.9999966% เป้าหมายของซิกซ์ซิกมาเป็นระดับคุณภาพที่เข้มงวดมาก ๆ และนำเสนอจุดมุ่งหมายอย่างเปิดเผยภายในองค์กร เทคโนโลยี การปฏิบัติการ กระบวนการ และโครงการมากมาย

แนวคิดซิกซ์ ซิกมา จากงานวิจัยของ (Harry.M. and Schroeder.R, 2000) ได้กล่าวว่า แนวคิดซิกซ์ซิกมา เป็นกลยุทธ์ที่มีประสิทธิภาพอย่างมากในการบริหาร ที่มุ่งเป้าหมายอยู่ที่ความผิดพลาดหรือของเสียที่น้อยกว่า 4 ใน 1 ล้านของการทำงานโดยรวมเอาวิถีทางแห่งระบบคุณภาพแบบหลายมิติ ซึ่งประกอบด้วย รูปแบบที่มีมาตรฐาน การจัดการที่เหมาะสมและการตอบสนองภารกิจขององค์กร ซึ่งทำให้ทั้งลูกค้าและผู้ผลิตได้ผลตอบแทนทั้งสองฝ่ายไม่ว่าจะเป็นด้านประโยชน์ที่ได้รับ ทรัพยากร และมูลค่าในตัวผลิตภัณฑ์โดยมีรายละเอียดขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนในการดำเนินกระบวนการตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา นั้นจะประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอน คือ D:Define , M:Measure , A:Analyze , I:Improve, C:control หรือ ใช้ตัวย่อเป็น DMAIC โดยในแต่ละขั้นตอนจะมีแนวทางในการปฏิบัติที่แตกต่างกันไป ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ขั้นตอนการนิยามปัญหา (Define Phase) เป็นกระบวนการในการระบุสภาพของปัญหาและกำหนดขอบเขตของหัวข้อในการดำเนินการปรับปรุง โดยเป็นเรื่องที่ทางองค์กรได้พิจารณาร่วมกันแล้วว่ามีความสำคัญที่จะต้องดำเนินการปรับปรุง

2. ขั้นตอนการตรวจวัดความสามารถของกระบวนการ (Measure Phase) เป็นขั้นตอนการวัดความสามารถของกระบวนการที่เป็นอยู่จริงในปัจจุบัน โดยจะเก็บข้อมูลเพื่ออธิบายปัญหาและเป็นข้อมูลสนับสนุนในการกำหนดสาเหตุที่เป็นไปได้ของปัญหา แบ่งขั้นตอนได้ดังนี้

1) การวางแผนและการคัดเลือกตัวชี้วัดที่เหมาะสมในการดำเนินโครงการ ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลความพึงพอใจของลูกค้าที่มีต่อผลิตภัณฑ์หรือบริการ จากนั้นจึงกำหนดเป็นตัวชี้วัดของโครงการและดำเนินการวางแผนการทำงาน

2) การวัดความสามารถของกระบวนการในปัจจุบัน โดยเริ่มจากการจัดทำแผนภูมิควบคุม (Control chart) และทำการระบุปัญหาหลักโดยใช้แผนภูมิพาเรโต (Pareto chart) เพื่อจัดเรียงความสำคัญของปัญหาที่ส่งผลต่อกระบวนการผลิตจากมากไปน้อย โดยก่อนการทำการศึกษาความสามารถของกระบวนการ (Capability Study) นั้น กระบวนการจึงต้องอยู่ในการควบคุม (in control) หรือเสถียร (Stable) ก่อน เพื่อสามารถที่จะใช้ในการทำนายพฤติกรรมของกระบวนการในอนาคตได้โดยไม่เปลี่ยนแปลงไปมาดังนั้นค่าเฉลี่ยกระบวนการ (Process Mean) และค่าความผันแปรของกระบวนการ(Process Variability) จะมีค่าคงที่ด้วย ค่าความผันแปรของ

กระบวนการเดียวกันหลังจากปรับกระบวนการให้อยู่ภายใต้การควบคุม (process is in control) ความผันแปรจะมีค่าน้อยกว่าก่อนเมื่อกระบวนการไม่อยู่ในการควบคุม (out of control)

3) วิธีการปรับปรุงกระบวนการโดยการใช้เครื่องมือในการปรับปรุงคุณภาพมาใช้ในส่วนของการดำเนินการในการปรับปรุงกระบวนการ

4) การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis,MSA) เป็นการวัดความเที่ยงตรงของกระบวนการผลิต หรือ ผลิตภัณฑ์ ซึ่ง (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2549.) ได้แสดงให้เห็นว่าการวิเคราะห์ถึงแหล่งที่มาของความคลาดเคลื่อนในระบบการวัด เพื่อยืนยันความถูกต้องและความแม่นยำของข้อมูลที่ได้จากการวัดก่อนทำการทดลอง โดยทั่วไปจะทำการทดสอบความแม่นยำของระบบการวัดโดยวิธีการ Gage Repeatability and Reproducibility หรือ Gage R&R โดยค่าความผิดพลาดของความผันแปรของระบบการวัดในรูปความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มของระบบการวัดสามารถแบ่งเป็น 2 องค์ประกอบ คือ

(ก) ความผันแปรภายใต้เงื่อนไขของระบบการวัด (Repeatability) หมายถึง ความผันแปรของค่าวัดรอบค่าที่ควรจะเป็น (Expected Value) ของระบบการวัดที่ทำการวัดโดยการใช้พนักงานวัดเพียงคนเดียวและอุปกรณ์วัดเดียวกันในการวัดชิ้นงานชิ้นเดียวกันซ้ำ ๆ โดยทั่วไปจะหมายถึงความผันแปรของอุปกรณ์ แต่ในบางครั้งอาจเกิดมาจากสาเหตุหลักอื่นๆ เช่นทักษะของพนักงานในการใช้เครื่องมือ

(ข) ความผันแปรระหว่างเงื่อนไขของระบบการวัด (Reproducibility) หมายถึงความผันแปรที่แสดงถึงค่าเฉลี่ยของค่าการวัดจากการใช้อุปกรณ์วัดเดียวกันในการวัดงานชิ้นเดียวกันด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปจะ หมายถึงความแตกต่างระหว่างพนักงานวัด จึงอาจเรียกว่าความผันแปรระหว่างพนักงานวัด แต่ในบางครั้งความผันแปรนี้อาจมีสาเหตุมาจากปัจจัยอื่นที่ไม่ใช่พนักงานวัด เช่น ความผันแปรระหว่างวิธีการวัด ความผันแปรระหว่างสิ่งแวดล้อม

5) การนำประสบการณ์มาปรับปรุงการดำเนินงาน เป็นการใช้ประสบการที่องค์กรมีอยู่มาใช้ประกอบการตัดสินใจในการประเมินกระบวนการ หรือ ผลิตภัณฑ์ที่จะดำเนินการปรับปรุง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

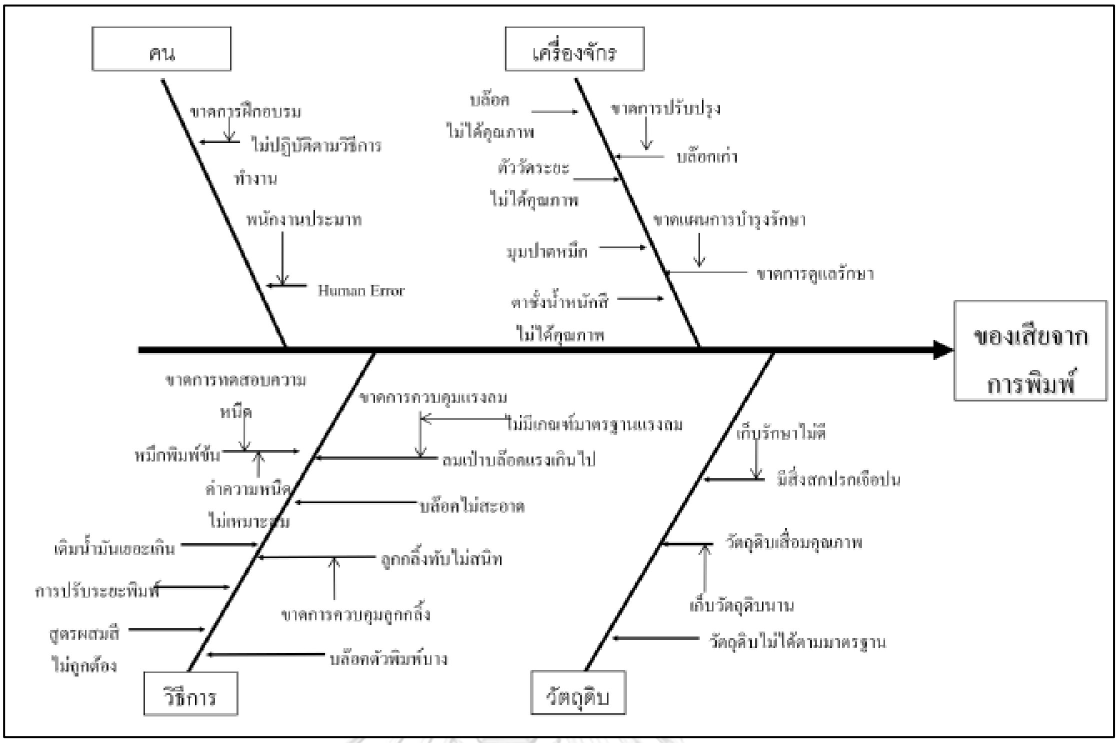
3. ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา (Analyze Phase) ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนในการวิเคราะห์หาสาเหตุรากเหง้าที่มีนัยสำคัญต่อปัญหา หากจำนวนสาเหตุที่ได้มีจำนวนมาก จะต้องดำเนินการคัดกรองจำนวนสาเหตุก่อนเพื่อนำไปสู่การปรับปรุงที่ตรงจุดในขั้นตอนต่อไป โดยในขั้นตอนนี้จะมีการนำเครื่องมือทางสถิติมาประยุกต์ใช้ดังนี้

1) แผนผังแสดงสาเหตุและผล (Cause and effect diagram)
2) ตารางความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix)

- แผนผังแสดงสาเหตุและผล (Cause and effect diagram)

จากงานวิจัยของพรเทพ เหลือทรัพย์สุข(2549)ได้กล่าวถึงแผนผังแสดงสาเหตุและผล หรือแผนภูมิก้างปลา (Fish bone diagram) หรือ แผนภาพอิชิกาว่า (Ishikawa diagram) เป็นแผนภาพที่แสดงสาเหตุและผลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะปัญหาและสาเหตุของปัญหานั้นโดยการวิเคราะห์สาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมดออกมาเรียบเรียง โดยเป็นการเรียบเรียงสาเหตุที่มีผลต่อคุณภาพ หรือ ปัญหาที่เกิดขึ้น ซึ่งแผนภูมิก้างปลานี้มีประโยชน์ในการใช้เป็นเครื่องมือในการระดมสมองจากสมาชิกภายในกลุ่ม ทำให้การวิเคราะห์ปัญหาอย่างเป็นระบบและทราบสาเหตุของปัญหาเกิดขึ้น โดยจะพิจารณาแยกสาเหตุของปัญหาออกเป็นหัวข้อหลักๆ ได้ 6 กลุ่ม คือ สาเหตุที่เกิดจากคน (Man) เครื่องจักร (Machine) วัตถุดิบ (Material) วิธีการ (Method) ระบบการวัด (Measurement) และสภาพแวดล้อมในกระบวนการผลิต (Environment) โดยจะแสดงตัวอย่างของแผนภูมิก้างปล้าหรือแผนผังแสดงสาเหตุและผล ดังรูปที่ 2-4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2- 4 ตัวอย่างแผนผังแสดงสาเหตุและผลของเสียจากการพิมพ์(วิทยา เจนจิวัฒนกุล, 2554)

- ตารางความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix)

จากงานวิจัยของ (พรเทพ เหลือทรัพย์สุข, 2549.)ได้แสดงตารางความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลเป็นตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนอง กับปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่ได้จากการระดมสมองของคณะทีมงานที่ได้จัดตั้งขึ้นจากผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้ความชำนาญและประสบการณ์ในการปฏิบัติงานของคณะผู้ดำเนินการในการระดมสมอง คือ ผลลัพธ์ที่สำคัญของการทำตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลจะมีการกำหนดคะแนนความสัมพันธ์ของผลกระทบ โดยคะแนนที่มีค่าสูงนั้นจะแสดงถึงที่ความสำคัญมาก

4. ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase) ในขั้นตอนนี้จะดำเนินการหลังจากทราบว่าปัจจัยใดที่มีนัยสำคัญหรือเป็นสาเหตุรากเง้าของปัญหา แล้วก็จะดำเนินการปรับปรุงแก้ไขสาเหตุนั้นหากเป็นสาเหตุที่เกิดจากการปรับค่าของเครื่องจักรนั้นก็ให้ดำเนินการออกแบบการทดลองเพื่อให้ได้ข้อมูลมาดำเนินการตัดสินใจว่าควรปรับค่าพารามิเตอร์บนเครื่องจักรไว้เท่าใด ที่จะให้ผลดีที่สุด จากนั้นจะทำการเก้ยผลลัพธ์หลังการปรับปรุงเพื่อยืนยันว่าผลที่ได้หลังการปรับปรุงดีขึ้นจริงตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ **(D.C. Montgomery, 2001)**ได้อธิบายถึงวิธีการในการออกแบบการทดลองว่าเป็นกระบวนการในการวางแผนการทดลองและนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อ

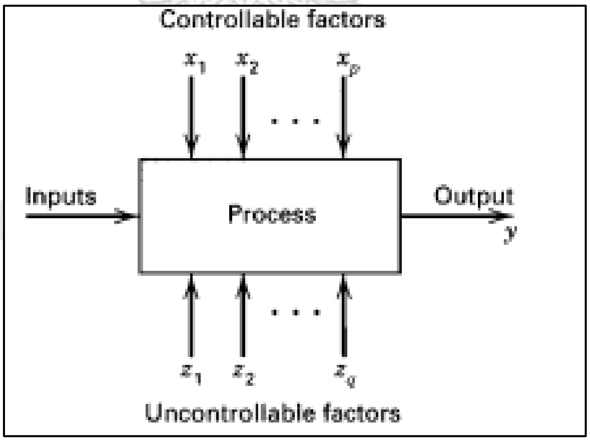
ตรวจสอบดูว่า ปัจจัย (Factor) ใด ๆ หรือตัวแปร (Input Variable) ใด ที่มีผลต่อปัญหาที่เกิดขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์ คือ เพื่อทดสอบผลกระทบหลังของปัจจัยที่มีต่อตัวแปรตอบสนอง (Main effect) และผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย (Interaction effect) พร้อมทั้งหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ส่งผลให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าที่ต้องการ โดยประโยชน์ของการออกแบบการทดลองนั้น คือ ช่วยประหยัดจำนวนการทดลองให้มีเท่าที่จำเป็นเท่านั้น

ส่วนประกอบของการทดลองมีดังนี้

1) ทรีทเมนต์(Treatment) คือ สิ่งหรือวิธีที่เราปฏิบัติต่อสิ่งทดลอง เพื่อทำการวัดผลเปรียบเทียบตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง

2) หน่วยทดลอง (Experiment Unit) คือ มาตรฐานหรือหน่วยที่ใช้วัดอิทธิพลของทรีทเมนต์ซึ่งโดยคำจำกัดความแล้ว หมายถึง สิ่งหนึ่งหรือกลุ่มหนึ่งของการทดลอง ซึ่งได้รับจาดทรีทเมนต์เดียวกันในการกระทำ ครั้งใดครั้งหนึ่ง หน่วยทดลองมีขนาดไม่จำกัด อาจผันแปรไปจากการทดลองไปสู่อีกการทดลองหนึ่ง แม้จะใช้สิ่งทดลองเหมือนกันก็ตาม ในการทำการทดลองแต่ละครั้งจึงต้องให้คำจำกัดความของหน่วยทดลองให้ชัดเจน

3) ปัจจัย (Factor) ได้แก่กลุ่มของทรีทเมนต์ทั้งหลายที่มีความเกี่ยวข้องกัน อาจจะใช้คำว่าตัวแปรอิสระก็ได้ ปัจจัยนั้นอาจเป็นได้ทั้งข้อมูลเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ แสดงดังรูปที่ 2-5



รูปที่ 2- 5 ปัจจัยและพารามิเตอร์ของกระบวนการ

ปัจจัยสามารถแบ่งออกได้เป็น

(ก) ปัจจัยที่ควบคุม (Controllable Factor) หมายถึง ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการดำเนินการทดลอง

(ข) ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable Factor) หมายถึง ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ อาจเนื่องมาจากมีข้อจำกัดทางเทคโนโลยีและต้นทุนโดยปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้แบ่งออกเป็น

- ตัวแปรรบกวน (Noise variable) หรือ Background variable ตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) ในการทดลองแต่ไม่ใช่ปัจจัยที่เรากำลังทำการศึกษา ส่วนใหญ่มักได้แก่ เวลา หรือ เครื่องมืออุปกรณ์
- Nuisance Variable คือ ตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองแต่เราไม่ทราบมาก่อนเราสามารถจำกัดอิทธิพลของ Nuisance Variable ได้โดยการสุ่ม

4) ตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) คือ ตัวแปรที่ถูกสังเกตหรือวัดค่าในการทดลอง เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ตัวแปร ซึ่งตัวแปรที่สะท้อนให้เห็นถึงอิทธิพลของตัวแปรอิสระนั้นในการทดลองหนึ่ง ๆ อาจวัดค่าตัวแปรตามมากกว่า 1 ก็ได้ การเลือกตัวแปรตามที่ดีและความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ นอกจากนี้ ในการเลือกตัวแปรตามจะต้องพิจารณาว่า ค่าสังเกตที่ได้รับจากทรีทเมนต์หนึ่งๆ ควรมีการแจกแจงแบบปกติโดยประมาณ ซึ่งข้อสมมุติฐานในเรื่องความเป็นปกติ (Normality) นี้ เป็นสิ่งจำเป็นในการออกแบบการทดลอง ซึ่งอาจจะใช้การแปลงข้อมูล (Transformation) ค่าสังเกตที่มีการแจกแจงไม่ปกติเป็นแบบปกติ

วัตถุประสงค์ของการทดลองอาจจะเกี่ยวข้องกับประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

- หาตัวแปรที่มีผลมากที่สุดต่อผลตอบ y
- หาวิธีการตั้งค่าของ x ที่มีผลต่อค่าผลตอบ y เพื่อทำให้ผลตอบ y มีค่าตามที่
- ต้องการ
- หาวิธีการตั้งค่าของ x ที่มีผลต่อค่าผลตอบ y เพื่อทำให้ผลตอบ y มีค่าน้อย
- หาวิธีการตั้งค่าของ x ที่มีผลต่อค่าผลตอบ y เพื่อทำให้ผลของตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ Z1,Z2,.....Zq มีค่าน้อยที่สุด

ประเภทของการออกแบบการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

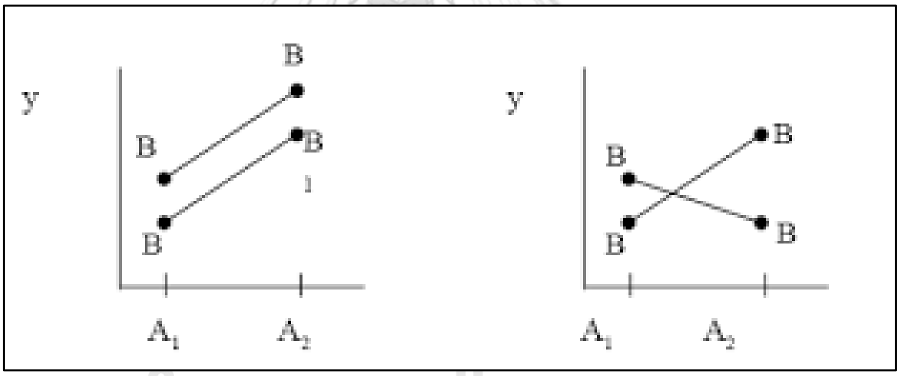
1) แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Experiment)
2) การออกแบบการทดลองสำหรับพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Design)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Experiment)

การทดลองแบบแฟคทอเรียลเป็นการทดลองที่มุ่งศึกษาถึงอิทิพลของปัจจัยมากกว่าหนึ่งปัจจัยพร้อม ๆกันโดยให้ความสนใจที่อิทิพลร่วมของปัจจัยซึ่งเป็นอิทิพลที่ส่งผลให้กับตัวแปรตอบสนอง โดยทั่วไปอาจกล่าวได้ว่าการทดลองแบบแฟคทอเรียลเป็นแผนการทดลองที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการตรวจสอบอิทิพลของหลายๆ แฟคเตอร์พร้อมกัน คำว่า แฟคทอเรียล หมายถึง การทดลองที่สมบูรณ์ในแต่ละครั้ง หรือแต่ละการทดลองซ้ำของการทดลองนั้น กล่าวคือมีการใช้ระดับของแฟกเตอร์ต่าง ๆ ร่วมกัน จึงสามารถตรวจสอบอิทิพลต่างๆ ในการทดลองครั้งหนึ่งๆ ได้พร้อมกัน เช่น ถ้าแฟกเตอร์ A มี a ระดับ แฟกเตอร์ B มี b ระดับ แต่ละซ้ำจะมี ab treatment combination แบ่งได้ 2 ประเภท คือ

1) อิทธิพลหลัก (Main Effect) คือ อิทธิพลของปัจจัยที่แสดงต่อตัวแปรตอบสนองด้วยตัวมันเองเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่เกิดขึ้น 2.อิทธิพลร่วม (Interaction Effect) คือ อิทธิพลของปัจจัยหนึ่งที่จะเปลี่ยนไปเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยร่วมกัน ดังรูปที่ 2-6



CHULALONGKORN UNIVERSITY

(1) อิทธิพลของปัจจัยร่วมไม่มีผล (2) อิทธิพลของปัจจัยร่วมมีผล

รูปที่ 2- 6 แสดงอิทธิพลของปัจจัยร่วมที่ไม่มีผลและมีผล

การทดลองแบบแฟคตอเรียลนั้น เป็นการประกอบกันของทรีทเมนต์ ไม่ใช่ชนิดของแผนการทดลอง การประกอบกันของทรีทเมนต์นี้อาจใช้แผนการทดลองแบบใด ๆ ก็ได้ เช่น การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ แบบสุ่มบล็อก หรือจุตรัสลาตินก็ได้

ข้อดีและข้อเสียมีดังนี้

<u>ข้อดีมีดังนี้</u>

1) เป็นการใช้หน่วยการทดลองทั้งหมดเพื่อตรวจสอบอิทธิพลของทรีทเมนต์หลายๆ ทรีทเมนต์พร้อมกันได้ จึงเป็นการเสียเวลาน้อยกว่าการทดสอบครั้งละ 1 แฟคเตอร์

2) ทำให้สามารถตรวจสอบอิทธิพลของกริยาร่วมระหว่างแฟกเตอร์ได้ จึงช่วยในการสรุปผลได้กว้างขวางกว่าการทดลองครั้งละ 1 แฟกเตอร์

<u>ข้อเสียมีดังนี้</u>

1) เนื่องจากมี treatment combination จึงต้องใช้หน่วยทดลองมากขึ้นจึงอาจมีข้อจำกัดเกี่ยวกับจำนวนหน่วยการทดลอง

2) ในกรณีที่มีกริยาร่วมเกิดขึ้น อาจทำให้การสรุปผลเป็นภาษาที่เข้าใจง่ายได้ยาก

3) ถ้าจำนวนปัจจัยมีมาก ขนาดของการทดลองก็จะใหญ่ขึ้นซึ่งเป็นการเสียค่าใช้จ่ายสูงและการหาวัตถุทดลองที่มีความสม่ำเสมอจำนวนมากก็เป็นไปได้ยาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

โครงรูปข้อมูล

สมมุติการทดลองปัจจัย A มี I ระดับ (i=1,2,....a) และปัจจัย B มี j ระดับ (j=1,2,...,b) ทำการทดลอง k ซ้ำ (k=1,2,...,n) การทดลองแฟคตอเรียลของปัจจัย 2 ปัจจัย

		Factor *B*			
		1	2	...	*b*
Factor *A*	1	$y_{111}, y_{112}, \ldots, y_{11n}$	$y_{121}, y_{122}, \ldots, y_{12n}$		$y_{1b1}, y_{1b2}, \ldots, y_{1bn}$
	2	$y_{211}, y_{212}, \ldots, y_{21n}$	$y_{221}, y_{222}, \ldots, y_{22n}$		$y_{2b1}, y_{2b2}, \ldots, y_{2bn}$
	⋮				
	a	$y_{a11}, y_{a12}, \ldots, y_{a1n}$	$y_{a21}, y_{a22}, \ldots, y_{a2n}$		$y_{ab1}, y_{ab2}, \ldots, y_{abn}$

ตัวแบบทางสถิติของแผนการทดลองนี้ คือ

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk} \qquad \begin{cases} i = 1, 2, \ldots, a \\ j = 1, 2, \ldots, b \\ k = 1, 2, \ldots, n \end{cases}$$

โดยที่ Yij คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร

τ_i คือ อิทธิพลของปัจจัย A ที่เกิดจากทรีทเมนต์ที่ i

β_j คือ อิทธิพลของปัจจัย B ที่เกิดจากทรีทเมนต์ที่ j

$(\tau\beta)_{ij}$ คือ อิทธิพลร่วมของปัจจัย A ที่เกิดจากทรีทเมนต์ที่ 1 และปัจจัย B ที่เกิดจากทรีทเมนต์ที่ j

ε_{ijk} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลทั่วไปมีรูปแบบ คือ A x B x C ... แฟคทอเรียล เช่น แฟคทอเรียล 3x2x3 รูปแบบของการออกแบบแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลที่สำคัญ ได้แก่ 1. 2^k แฟคทอเรียล ใช้กับการออกแบบการทดลองแบบหลายปัจจัย ที่มีการกำหนดระดับของปัจจัยไว้ 2 ระดับ ในปัจจัยทั้งหมด k ปัจจัย 2. 3^k แฟคทอเรียล ใช้กับการทดลองหลาบยปัจจัย ที่กำหนดระดับของปัจจัยไว้ 3 ระดับ ในปัจจัยทั้งหมด k ปัจจัย โดยรูปแบบของ 2^k แฟคทอเรียลเหมาะกับรูปแบบที่มีความเป็นเส้นตรงซึ่งจะทำให้สามารถตีความข้อมูลได้อย่างถูกต้อง แต่ถ้าหากว่าอิทธิพลของปัจจัยต่อตัวแปรตอบสนองมีความเป็นเส้นตรงไม่ดีแล้วใช้แบบ 3^k แฟคทอเรียล แทนจะเหมาะสมกว่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- การออกแบบการทดลองสำหรับพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Design)

การออกแบบการทดลองสำหรับพื้นผิวผลตอบ (ปารเมศ ชุติมา, 2545) ได้อธิบายถึง วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology ,RSM) เป็นกระบวนการรวมเอาเทคนิคทั้งทางคณิตศาสตร์และทางสถิติที่มีประโยชน์ต่อการสร้างแบบจำลอง และการวิเคราะห์ปัญหา โดยที่ผลตอบที่สนใจขึ้นอยู่กับหลายตัวแปร และมีวัตถุประสงค์ที่จะหาค่าที่ดีที่สุดของผลตอบนี้ กราฟฟิกและการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบจะทำให้ง่ายถ้าเราเลือกการออกแบบการทดลองที่เหมาะสม ซึ่งลักษณะของการออกแบบที่ต้องพิจารณาบางประการ คือ

- เพื่อให้เกิดการแจกแจงที่เหมาะสมของข้อมูลตลอดบริเวณที่ทำการพิจารณา
- เพื่อให้สามารถตรวจสอบความพอดีของแบบจำลอง
- เพื่อให้การทดลองสามารถเกิดขึ้นได้ในบล็อก
- เพื่อให้การออกแบบที่มีอันดับสูงขึ้น สามารถสร้างขึ้นได้ตามลำดับ
- ให้ค่าประมาณภายในของความผิดพลาด
- ไม่ต้องมีหลายระดับของตัวแปรอิสระ
- คำนวณพารามิเตอร์ในแบบจำลองได้ง่าย

5) ขั้นตอนการควบคุมหลังการปรับปรุง (Control Phase) ในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนในการควบคุมหลังจากได้วิธีการปรับปรุงแล้ว ก็จะจัดทำเป็นมาตรฐาน หรือขั้นตอนการปฏิบัติเพื่อให้มั่นใจว่าผลลัพธ์ที่ได้หลังจากการปรับปรุงนั้นจะอยู่อย่างยั่งยืนต่อไป

2.2 ทฤษฎีคอนกรีต (Concrete)

(A.M. Neville and J.J. Brooks 1996) ได้ให้ความหมายของคอนกรีต คือ คอนกรีตเป็นวัสดุที่นำมาใช้เป็นองค์อาคารโดยใช้ร่วมกับเหล็กเสริมคอนกรีต เรียกว่าคอนกรีตเสริมเหล็ก อย่างไรก็ตามในส่วนของเหล็กเสริมคอนกรีตจะกล่าวที่หลัง หากกล่าวถึงคอนกรีตแล้ว ในความหมายทั่วไปหมายถึงการนำปูนซีเมนต์ ทราย หิน และน้ำ มาผสมรวมกันและเกิดการแข็งตัว ให้ค่ากำลัง มีความแข็งแรงสามารถรับแรงต่าง ๆ ได้ดี

2.2.1. ปูนซีเมนต์ (Cement)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ปูนซีเมนต์จะทำหน้าที่เป็นวัสดุประสานหรือเหมือนกาวที่จะเชื่อมยึดวัสดุผสมเข้าด้วยหรือให้ติดกัน หากผิวของวัสดุผสมสกปรกซึ่งเคลือบอยู่ที่ผิว ซีเมนต์จะไม่สามารถยึดให้ติดกันแน่นได้ทำให้ขาดความแข็งแรงการเลือกใช้ซีเมนต์ จะต้องให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งานประเภทต่างๆ มาตรฐานการทดสอบวัสดุตาม ASTM C150ได้แบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ออกเป็น 5 ประเภทดังนี้

ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) ใช้ในการก่อสร้างตามปกติทั่วไป เช่น เสา คาน ฐานรากของอาคาร ถนน เป็นต้นปูนซีเมนต์ชนิดนี้ให้กำลังสูงในระยะเวลาไม่รวดเร็วมากนักและให้ความร้อนปานกลาง ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราช้าง ตราพญานาคสีเขียว ตราเพชร และตราทีพีไอสีแดง ฯลฯ

ประเภทที่ 2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนไม่สูงมากนัก ความร้อนที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และให้กำลังใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่1 เหมาะสำหรับใช้ในการทำคอนกรีต หรือ ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่เกิดความร้อน และ ทนทานต่อการกัดกร่อนของสารละลายซัลเฟตได้ปานกลาง ปูนซีเมนต์ประเภทนี้มีใช้ค่อนข้างน้อยในประเทศไทย ที่มีอยู่ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราพญานาคเจ็ดเศียร

ประเภทที่ 3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็ว (High early strength Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้กำลังได้อย่างรวดเร็ว ในเวลาอันสั้น เมื่อใช้ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ผสมคอนกรีตในช่วงเวลา 24 ชั่งโมง จะมีความแข็งแรงเท่ากับคอนกรีตที่ผสมด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และอายุ 3 วัน เท่ากับงานที่ผสมด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 อายุ 28 วัน เหมาะสำหรับงานที่ต้องการใช้งานเร็ว เช่น งานซ่อมแซม หรือ งานที่ต้องการถอดไม้แบบเร็ว เช่น เสาเข็มคอนกรีต เสาไฟฟ้าคอนกรีต ผลิตภัณฑ์คอนกรีตสำเร็จรูป (Precast concrete) ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ ได้แก่ ตราเอราวัณ ตราพญานาคสีแดง และตราสามเพชร ตราทีพีไอสีดำ ฯลฯ

ประเภทที่ 4 ปูนซีเมนต์ให้ความร้อนต่ำ (Low heat Portland Cement) ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ให้ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ต่ำมากเพราะมีปริมาณของไตรคัลเซียมซิลิเกต (C3S) ต่ำคือโดยเฉลี่ยมีค่าประมาณร้อยละ 25 ถึง 30 แต่จะมีแคลเซียมซิลิเกต (C2S)ที่ค่อนข้างสูงคือโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 50 ถึง 60 ปูนซีเมนต์ชนิดนี้จึงเหมาะสำหรับใช้งานในการก่อสร้างคอนกรีตหลา เช่น เขื่อนคอนกรีต ตอม่อขนาดใหญ่เนื่องจากมีคุณสมบัติในการให้อุณหภูมิของคอนกรีตต่ำ ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ไม่มีจำหน่ายในท้องตลาดในประเทศไทยต้องสั่งโดยตรงจากผู้ผลิต

ประเภทที่ 5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟตได้สูง(Sulphate resistance Portland Cement)ใช้กับโครงสร้างที่อยู่ในสภาวะที่มีการกระทำของซัลเฟตอย่างรุนแรง ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ เหมาะสำหรับงานคอนกรีตที่สร้างอยู่ในที่มีเกลือหรือสารละลายซัลเฟต เช่น โครงสร้างในทะเล

2.2.2 มวลรวม (Aggregate)

มวลรวมในคอนกรีต (C.Setthabut, 1997) แสดงให้เห็นถึงส่วนประกอบในคอนกรีตซึ่งโดยปกติแล้วในคอนกรีตประกอบด้วยมวลรวมคิดเป็นประมาณร้อยละ 50 – 80 ของปริมาตรทั้งหมดของคอนกรีตนั้น ๆ โดยทั่วไปมวลรวมที่ใช้ในงานคอนกรีตประกอบด้วย ทราย และหินย่อย ความสามารถทำงานได้ของคอนกรีตสดขึ้นอยู่กับรูปร่างและลักษณะผิวของมวลรวมที่ใช้ผสมคอนกรีต โดยพบว่า

มวลรวมก้อนกลมและผิวเรียบต้องการซีเมนต์เพสต์เพื่อเคลือบผิวน้อยกว่ามวลรวมรูปร่างอื่น นอกจากนี้ยังมีการขัดกันระหว่างก้อนมวลรวมต่ำ ดังนั้นจึงทำให้คอนกรีตมีความสามารถทำงานได้ดี ซึ่งมวลรวมเหล่านี้ได้แก่ทรายตามธรรมชาติเพราะส่วนมากมีลักษณะกลมและผิวเรียบ สำหรับหินย่อยที่ได้มาจากการย่อยหินที่มีขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลงตามต้องการมีลักษณะเป็นเหลี่ยมและส่วนมากผิวหยาบ มวลรวมก้อนเหลี่ยมและผิวหยาบมีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาณสูง ทำให้ต้องการซีเมนต์เพสต์มาเคลือบผิวมากขึ้น และความเป็นเหลี่ยมยังทำให้เกิดการขัดกันระหว่างก้อนมวลรวมทำให้คอนกรีตมีความสามารถทำงานได้ต่ำ รูปร่างและลักษณะผิวของมวลรวมละเอียดมีความสำคัญต่อความต้องการน้ำของส่วนผสมมาก มวลรวมละเอียดที่มีช่องว่างอยู่มากจะมีการดูดน้ำมากทำให้ส่วนผสมคอนกรีตต้องการน้ำสูงขึ้น

วัสดุผสมมีดังนี้

1. วัสดุผสมละเอียด (Fine Aggregate) มีขนาดเล็กกว่า 4.5 มม. หมายถึง ทรายที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ทำหน้าที่แทรกอยู่ระหว่างของวัสดุผสมที่มีขนาดใหญ่ มีความถ่วงจำเพาะ 2.65 พิกัดความละเอียด 2.5 – 3.0 น้ำหนัก 1650 กก./ม3. ขนาดของทรายแบ่งเป็น 3 ขนาด คือ

ทรายละเอียด	ขนาด	0.5 – 1.5 มม.	ใช้ในงานปูนฉาบ
ทรายกลาง	ขนาด	1.0 – 3.0 มม.	ใช้ในงานปูนก่อ
ทรายหยาบ	ขนาด	2.0 – 4.5 มม.	ใช้ในงานคอนกรีต

2. วัสดุผสมหยาบ (Coarse Aggregate) มีขนาดโตกว่า 4.5 มม. หมายถึง กรวด หรือหินย่อย เป็นส่วนที่ทำให้คอนกรีตมีราคาถูก มีความถ่วงจำเพาะ 2.65 พิกัดความละเอียด 5.0 – 7.5 น้ำหนัก 1600 kg/m3. มีการแบ่งขนาดของวัสดุผสมหยาบได้ดังนี้ คือ

เบอร์ 0	ขนาดเล็กกว่า 3/16”
เบอร์ 1	ขนาด 3/16” – 3/4”
เบอร์ 2	ขนาด 3/4” – 1 1/2”
เบอร์ 3	ขนาด 1 1/2” – 3”
เบอร์ 4	ขนาด 3” – 4”
เบอร์ใหญ่พิเศษ	ขนาดตั้งแต่ 4” ขึ้นไป

วัสดุผสมที่นำมาใช้ผสมคอนกรีตจะต้องมีข้อกำหนดดังต่อไปนี้

ความแข็งแกร่ง	เม็ดแข็ง สามารถรับแรงได้ดี
ความสะอาด	ไม่มีสารอื่นใดเจือปน
รูปร่างเป็นลูกบาศก์	อาจกลมหรือสามเหลี่ยมก็ได้ แต่ไม่แบนหรือยาว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผิวขรุขระ	ผิวหยาบการเกาะยึดดีกว่าผิวเรียบ
ส่วนคละ	มีขนาดต่างๆ คละกันทั่ว
ยืดหดตัวต่ำ	เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง วัสดุไม่เปลี่ยนแปลงขนาด
ความคงทน	ทนต่อการสึกกร่อน และทนต่อปฏิกิริยาทางเคมีได้

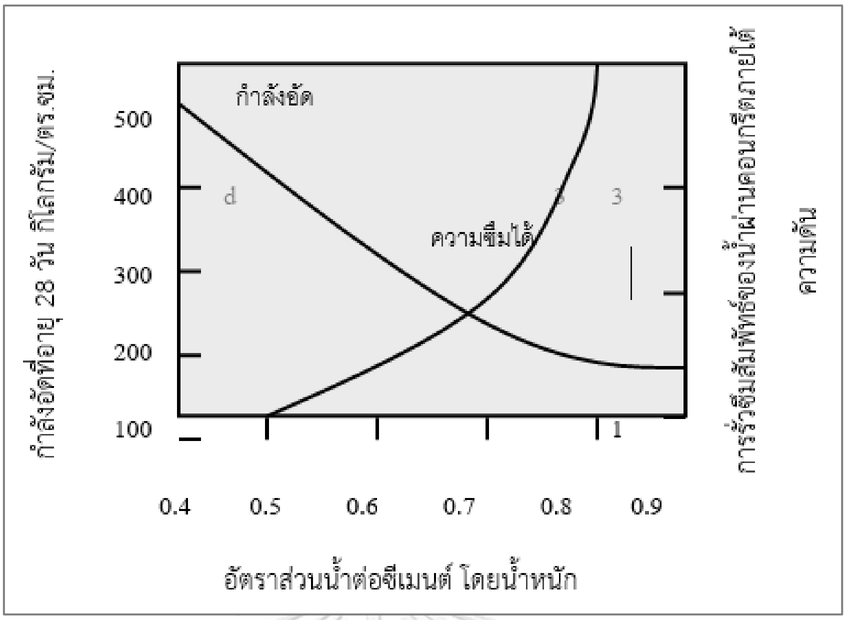
2.2.3.น้ำ (Water)

น้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีตจะต้องเป็นน้ำที่มีความสะอาด ปราศจากกลิ่น สี น้ำมัน กรด ด่าง และอินทรีย์สารใดๆ โดยทั่วไปน้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีตจะเป็นน้ำที่ดื่มได้ มีรสจืด และปริมาณน้ำที่ใช้ต้องพอเหมาะ คอนกรีตจึงจะรับน้ำหนักได้ดี น้ำมีส่วนที่ทำให้คอนกรีตมีความเหลว สามารถเทลงแบบได้สะดวก หากใช้น้ำมากเกินไป วัสดุในคอนกรีตจะเกิดการแยกตัว วัสดุผสมที่มีขนาดใหญ่จะตกลงไปด้านล่าง ส่วนที่มีความละเอียดจะลอยขึ้นอยู่ด้านบน น้ำที่เป็นส่วนเกินนี้ยังไปเกี่ยวข้องกับคอนกรีตเมื่อแข็งตัวแล้ว คือจะเป็นโพรงขนาดเล็กทั่วเนื้อคอนกรีต ทำให้ความหนาแน่นลดลง หากใส่น้ำน้อยผลเสีย คือ เทคอนกรีตได้ยากเป็นโพรงขนาดใหญ่ได้ง่าย ถ้าสามารถเขย่าคอนกรีตให้มีเนื้อแน่นจะรับกำลังได้สูง

2.2.4.อัตราส่วนผสม (Concrete Proportion)

(M.J. Simon 2003) อธิบายสัดส่วนการออกแบบคอนกรีตใน 1 ลูกบาศก์เมตรนั้นจะประกอบด้วย น้ำ ซีเมนต์ วัสดุผสมละเอียด วัสดุผสมหยาบ ปริมาณอย่างละเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับการออกแบบส่วนผสม โดยการศึกษาข้อมูลจากวัสดุผสม ทดลองผสม และทดสอบกำลังของคอนกรีตจากแท่งตัวอย่างในห้องทดลอง เมื่อทดสอบแท่งตัวอย่างจำนวนมากในอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกัน จนเป็นที่พอใจจึงกำหนดอัตราส่วนผสมที่จะใช้กับงานจริงต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2- 7 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (A.M. Neville and J.J. Brooks 1996)

อัตราส่วนผสมได้จากการเลือกใช้คุณภาพของคอนกรีต ซึ่งจะกำหนดให้รับกำลังได้เท่าไร ตัวการสำคัญคือ อัตราส่วนของน้ำกับซีเมนต์ (Water Cement Ratio = WC.) ดังแสดงในรูปที่ 2 ถ้าใช้น้ำน้อยกำลังสูง ถ้าใช้น้ำมากกำลังต่ำ แต่ในการทำงานในสนามจะใช้น้ำมาก เพราะผสมคอนกรีตเทลงแบบง่าย น้ำน้อยเทยากมีโอกาสเป็นโพรงได้ง่าย เนื้อคอนกรีตจะไม่แน่น สำหรับวัสดุผสมจะเกี่ยวข้องกับราคาของคอนกรีต ใช้วัสดุขนาดใหญ่มีราคาถูก ขนาดเล็กจะมีราคาแพง ส่วนสำคัญของวัสดุที่เป็นวัสดุผสมหยาบกับวัสดุผสมละเอียดต้องคละกัน มีขนาดลดหลั่นใหญ่ไปหาเล็กตามลำดับ สำหรับสัดส่วนของซีเมนต์และวัสดุผสมจะต้องมีอัตราส่วนที่พอเหมาะ ซีเมนต์น้อยเกินไปทำให้การยึดเกาะไม่ดี เมื่อซีเมนต์มากเกินราคาคอนกรีตก็จะแพง อัตราส่วนที่นิยมใช้กันทั่วไปคือ

1 : 2 : 4 = ซีเมนต์ 1 ส่วน : ทรายหยาบ 2 ส่วน : หินเบอร์ 2 4 ส่วน

1 : 2 : 3 = ซีเมนต์ 1 ส่วน : ทรายหยาบ 2 ส่วน : หินเบอร์ 1 3 ส่วน

ตารางที่ 2- 1 เปอร์เซ็นต์ส่วนผสมของคอนกรีตทั่วไป

ซีเมนต์เพสท์			ตัวแทรกที่เป็นแร่ธาตุเฉื่อย
อากาศ 5%	น้ำ 15%	ซีเมนต์ 10%	วัสดุผสมละเอียดและวัสดุผสมหยาบ 70%

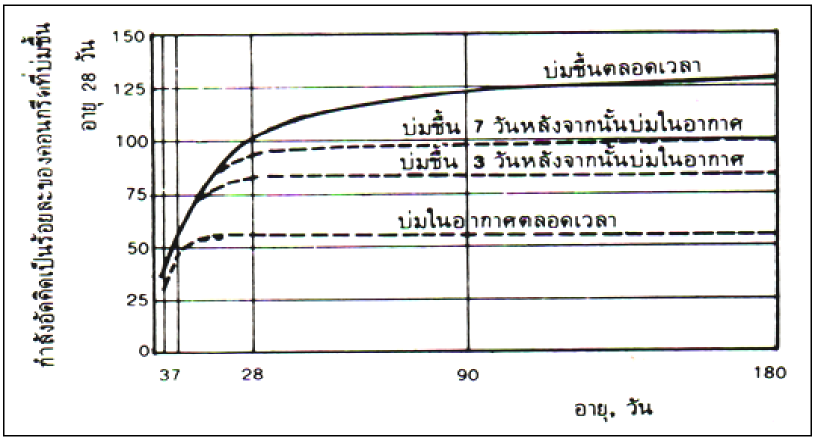
2.2.5 การผสมคอนกรีต (Mixing Concrete)

การผสมคอนกรีตเป็นการนำวัสดุที่เป็นส่วนผสมของคอนกรีตประเภทซีเมนต์ ทราย หิน และน้ำ ผสมให้วัสดุทุกส่วนคละกัน ปริมาณของวัสดุที่ผสมได้จากการตวงหรือการชั่งน้ำหนัก ในกรณีที่วัสดุแห้งจะตวงหรือชั่งก็ได้ ส่วนผสมไม่เปลี่ยนแปลง หากวัสดุมีความชื้นส่วนผสมที่ได้จากการชั่งน้ำหนักจะ

ได้ปริมาณวัสดุแน่นอนกว่า โดยเฉพาะทรายเมื่อมีความชื้นจะเกิดการพองตัว ทำให้ปริมาณของวัสดุลดลง ส่วนสำคัญของการผสมในแต่ละครั้ง ต้องได้ส่วนผสมที่มีความคละกันดี และการผสมทุกๆ ครั้งต้องได้ส่วนผสมเหมือนกัน

2.2.6 การบ่มคอนกรีต (Curing Concrete)

การบ่มคอนกรีตเป็นกระบวนการภายหลังจากเทคอนกรีตลงในแบบเก็บตัวอย่างคอนกรีตที่ได้เตรียมไว้หลังจากนั้นปล่อยทิ้งไว้ให้คอนกรีต แข็งตัวใช้เวลาประมาณ 15 ชั่วโมง แต่ไม่เกิน 24 ชั่วโมง จะต้องทำการบ่มคอนกรีตทันที การบ่มก็เพื่อต้องการให้ความร้อนที่อยู่ภายในเนื้อคอนกรีตออก วัตถุประสงค์สำคัญก็คือ ให้มีการหดตัวของคอนกรีตทั้งภายในและภายนอกพร้อม ๆ กัน เพราะธรรมชาติของคอนกรีตสดจะมีปริมาตรมากที่สุด เมื่อแข็งตัวปริมาตรจะลดลง การหดตัวจะเริ่มจากภายนอกก่อน กรบ่มจึงเป็นการประวิงเวลาเอาไว้เพื่อให้คอนกรีตภายในหดตัวทันภายนอก หากปล่อยทิ้งไว้โดยไม่มีการบ่ม คอนกรีตภายนอกจะแข็งตัวเร็ว จะมีผลทำให้การรับกำลังลดลง การบ่มคอนกรีตจะช่วยได้มากที่จะทำให้คอนกรีตมีกำลังสูงขึ้น จะมากเพียงไรนั้นขึ้นอยู่กบระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มที่ต่อเนื่องกัน ตั้งแต่คอนกรีตเริ่มแข็งตัว ในกรณีที่คอนกรีตมีความหนามาก ๆ ต้องใช้เวลาในการบ่มนาน ส่วนคอนกรีตแผ่นบาง ๆ ระยะเวลาที่ใช้บ่มน้อย วิธีการบ่มคอนกรีตมีหลายวิธี เช่น การขังน้ำ การฉีดน้ำ วัสดุเปียกชื้นคลุม กระดาษกันน้ำซึม ไม้แบบ สารเคมีเคลือบผิว ไอน้ำ เป็นต้น



รูปที่ 2- 8 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการบ่มและกำลังคอนกรีต

2.2.7 กำลังอัดของคอนกรีต (fc’)

ค่ากำลังอัดของคอนกรีตเป็นคุณสมบัติที่สำคัญต่อการออกแบบคอนกรีตดังนั้นในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมจึงควรพิจารณาถึงกำลังของคอนกรีตโดยเฉพาะกำลังอัดของคอนกรีต เนื่องจากต้องใช้เป็นเกณฑ์ที่ใช้ในการกำหนดการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อรับน้ำหนักหรือแรงกระทำ การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กใช้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน ด้วยการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตในแบบหล่อรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

เท่ากับ 15 เซนติเมตร และสูงเท่ากับ 30 เซนติเมตร ตามมาตรฐานของ ASTM C192 หรือ ทดสอบตัวอย่าง คอนกรีตในแบบหล่อรูปทรงลูกบาศก์ขนาดเท่ากับ 15 เซนติเมตร ตามมาตรฐานของ BS 1881 Part 108 เมื่อถอดแบบและบ่มจนกระทั่งอายุครบตามกำหนด นำไปทดสอบแรงอัดเป็น kg/cm2 (ผลการทดสอบกำลังของแท่งลูกบาศก์ จะสูงกว่าแท่งทรงกระบอกประมาณ 13%) นำค่าปลอดภัยเข้ามาเกี่ยวข้อง จะได้หน่วยแรงของคอนกรีต ดังนี้

หน่วยแรงอัด $f_c = 0.25 f_c'$ (kg/cm2)

1. หน่วยแรงเฉือน $v = 0.29\sqrt{f_c'}$ (kg/cm2)

2. หน่วยแรงยึดเกาะ

   - เหล็กข้ออ้อย $u = \dfrac{2.29\sqrt{f_c'}}{D}$ (kg/cm2)

   - เหล็กผิวเรียบ $u = \dfrac{1.145\sqrt{f_c'}}{D}$ (kg/cm2)

3. โมดูลัสแห่งความยืดหยุ่นของคอนกรีต $E_c = W^{1.5}\,4270\sqrt{f_c'}$ (kg/cm2)

4. โมดูลัสแห่งความยืดหยุ่นของเหล็ก $E_s = 2{,}040{,}000$ (kg/cm2)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5. อัตราส่วนโมดูลัส $n = \dfrac{Es}{Ec}$

เมื่อ

f_c = หน่วยแรงอัดสูงสุดที่ได้จากการทดสอบกำลัง (kg/cm2)

W = น้ำหนักของคอนกรีตล้วน (โดยปกติมีค่า 2.33 T/m3)

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเสริม

2.2.8 การออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีต

การออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีตเป็นการคำนวนหาปริมาณสัดส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตมีหลักการสำคัญที่จะต้องทำการพิจารณา 3 ประการ คือ ความคงทน (Durability) กำลังอัด (Compressive Strength) และความสามารถในการเท (Workability) อย่างไรก็ตามคุณสมบัติหลักทั้ง 3 นี้มักจะไม่สอดคล้องไปในทางเดียวกันเสมอ ยกตัวอย่างเช่น

1. มาตรฐานการออกแบบคอนกรีต ดังที่ได้ทราบแล้วว่ากำลังอัดของคอนกรีตมีความผันแปรเนื่องจากองค์ประกอบอื่น ๆ มากมาย ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีตจะต้องทำการทดสอบหาคุณสมบัติในห้องปฏิบัติการ เก็บรวบรวมข้อมูล นำข้อมูลมาวิเคราะห์และใช้หลักวิชาสถิติมาช่วยในการออกแบบ โดยจะต้องออกแบบคอนกรีตให้มีกำลังอัดสูงกว่าที่ข้อกำหนดของงานกำหนดไว้ ซึ่งสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$FCr = fc' + ks$

FCr target mean strength หรือกำลังอัดเฉลี่ยที่ผู้ผลิตคอนกรีตต้องผลิต

Fc ' คือ กำลังอัดที่กำหนดไว้ในแบบ

Ks คือ ส่วนเผื่อ ซึ่งประกอบด้วยค่า

K คือ ค่าคงที่

S คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังอัดจากก้อนตัวอย่าง 30 ค่า หรือ มากกว่า ค่า K ในสมการนี้ได้มาจากหลักวิชาสถิติในเรื่องเกี่ยวกับการแจกแจงความถี่มาตรฐาน โดยค่า K จะเพิ่มขึ้นถ้าต้องการให้กำลังอัดต่ำกว่าที่ต้องการลดลง ดังแสดงค่าในตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2- 2 ตัวคูณค่าร้อยละของกำลังที่ต่ำกว่า fc’

ค่าร้อยละของกำลังที่ต่ำกว่า fc′	ค่า k
20	0.842
10	1.282
5	1.645
2.5	1.960
2	2.054
1	2.326
0	3.000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ตัวอย่างการหาสัดส่วนผสมตามมาตรฐานอเมริกา</u>

จงหาสัดส่วนผสมของคอนกรีตสำหรับงานเทเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยต้องการกำลังอัดประลัยเฉลี่ย (fc/) ของคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 250 โดยให้โอกาสที่ก้อนตัวอย่างก้อนต่ำกว่าที่ออกแบบไว้ได้ไม่เกิน 5% (k = 1.645) และค่า s = 30 กก./ตร.ซม. กำหนดให้ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งมีความถ่วงจำเพาะ 3.15 มวลรวมหยาบขนาดโตสุด 20 มม. (3/4”) มีความถ่วงจำเพาะ 2.70 ค่าการดูดซึม 0.5% และมีหน่วยน้ำหนัก (แห้งและอัดแน่น) เป็น 1600 กก./ลูกบาศก์เมตร มวลรวมละเอียดมีความถ่วงจำเพาะ 2.60 ค่าการดูดซึม 0.7% และมีโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 2.80

<u>วิธีทำ ทำตามลำดับขั้นดังนี้</u>

1. กำลังที่ต้องผลิต = fc/ + ks = 250 + (1.645 x 30) = 300

2. จากข้อมูลในตารางที่ 6.5 และแนวทางปฏิบัติทั่ว ๆ ไป เห็นว่าควรใช้ค่าความยุบตัว 8-10 ซม.

3. ข้อกำหนดให้ใช้ขนาดโตสุดของวัสดุผสมหยาบเป็น 20 มม.

4. จากตารางที่ 6.7 เมื่อขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบเป็น 20 มม. ค่าความยุบตัว 8-10 ซม. ไม่ต้องใช้สารกักกระจายฟองอากาศจะได้ปริมาณน้ำที่ต้องใช้ = 200 ลิตร/ลบ.เมตร ของคอนกรีต

5. จากตารางที่ 6.9 สำหรับคอนกรีตที่ต้องการกำลัง 300 กก./ตร.ซม. จะได้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนักที่ต้องใช้ = 0.55

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6. ปริมาณซีเมนต์ที่ต้องการ = 200/0.55 = 364 กก.

7. หาปริมาณของวัสดุผสมหยาบ จากตารางที่ 6.8 เมื่อค่าโมดูลัสความละเอียดของวัสดุผสมละเอียดเท่ากับ 2.80 และขนาดโตสุดของวัสดุผสมหยาบเป็น 20 มม. จะได้ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่น = 0.62 ลบ.เมตร/ลบ.เมตรของคอนกรีต

หน่วยน้ำหนักของหิน = 1600 กก./ลบ.เมตร

ดังนั้นน้ำหนักของวัสดุผสมหยาบที่ใช้ = 0.62 x 1600 = 992 กก./ลบ.เมตร ของคอนกรีต

8. หาปริมาณของวัสดุผสมละเอียด

ปริมาตรเนื้อแท้ของส่วนผสม :

ปริมาตรของน้ำ = 200/1000 = 0.200 ลบ.ม.

ปริมาตรของซีเมนต์ = 364/(3.15*1000) = 0.116 ลบ.ม.

ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบ = 992/(2.70*1000) = 0.367 ลบ.ม.

ปริมาตรของฟองอากาศ = 0.02 x 1.0 = 0.020 ลบ.ม.

ดังนั้น ปริมาตรของส่วนผสมทั้งหมดยกเว้นทราย = 0.703 ลบ.ม.

ปริมาตรของทรายที่ต้องใช้ = 1-0.703 = 0.297 ลบ.ม.

น้ำหนักของทรายแห้ง = 0.297 x 2.60 x 1000 = 772 กก.

ฉะนั้น คอนกรีต 1 ลบ.เมตร ต้องใช้

ซีเมนต์ 364 กก.

น้ำ 200 กก.

วัสดุผสมหยาบ 992 กก.

วัสดุผสมละเอียด 772 กก.

รวมน้ำหนักทั้งหมด 2328 กก.

ขั้นตอนในการออกแบบ

ขั้นตอนในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต สามารถสรุปได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ (1)

รวบรวมความต้องการของผู้ออกแบบหรือผู้รับเหมา เช่น

- กำลังอัด
- ค่ายุบตัว
- ขนาดใหญ่สุดของหินที่จะใช้
- น้ำยาผสมคอนกรีต

ขั้นตอนที่ (2)

1) หาปริมาณน้ำที่ใช้เพื่อให้ได้ค่ายุบตัวตามต้องการ

2) หาค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพื่อให้ได้ค่ากำลังอัดตามต้องการ

จากกราฟอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และค่ากำลังอัด รูปที่ 11.9

3) หาค่าน้ำหนักซีเมนต์ = ปริมาณน้ำ/ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขั้นตอนที่ (3)

ปริมาตรซีเมนต์ = น้ำหนักปูนซีเมนต์

ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์

ขั้นตอนที่ (4)

ปริมาตรทราย = (380 หรือ 400) – ปริมาตรปูนซีเมนต์ที่ได้จากขั้นตอนที่ 3

ขั้นตอนที่ (5)

น้ำหนักทราย = ปริมาตรทราย x ความถ่วงจำเพาะของทราย

ขั้นตอนที่ (6)

ปริมาตรหิน = 1000 – ปริมาตรซีเมนต์ – ปริมาตรน้ำ** - ปริมาตรทราย

ขั้นตอนที่ (7)

น้ำหนักหิน = ปริมาตรหิน x ความถ่วงจำเพาะของหิน

ขั้นตอนที่ (8)

หาปริมาตรน้ำยาที่ใช้

* คอนกรีต 1 ลบ.ม. มีปริมาตร 1000 ลิตร

** ปริมาตรน้ำ = น้ำหนักน้ำ

การออกแบบส่วนผสมโดยปริมาตร เช่น 1:2:4

คือ ใช้ ปูนซีเมนต์ 1 ส่วน ทราย 2 ส่วน หิน 4 ส่วน โดยปริมาตร ซึ่งแปลงเป็นส่วนผสมโดยน้ำหนักได้ดังนี้ กำหนดให้ หน่วยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ = 1400 กก./ลบ.ม. หน่วยน้ำหนักของทราย = 1450 กก./ลบ.ม. หน่วยน้ำหนักของหิน = 1500 กก./ลบ.ม.

การคำนวณ

ปูน 1 ถุง 50 กก. มีปริมาตร = 50/1400 = 0.036 ลบ.ม.

ทราย 2 ส่วน มีปริมาตร = 0.036x 2 = 0.072 ลบ.ม.

น.น. ทราย = 0.072x 1450 = 104 กก.

หิน 4 ส่วน มีปริมาตร = 0.036x 4 = 0.144 ลบ.ม.

น.น. หิน = 0.144x 1500 = 223 กก.

ปริมาณน้ำสำหรับปูน 1 ถุง เพื่อให้ยุบตัว 10 ซม. = 30 ลิตร (fc′ =260 ksc.)

น้ำหนักส่วนผสมเมื่อใช้ปูน 1 ถุง = 50+104+216+30 กก. = 400 kg.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน่วยน้ำหนักคอนกรีต = 2400 กก./ลบ.ม.

ต้องใช้ปริมาณปูน = 2400/400 = 6.0 ถุง = 300 กก./ลบ.ม.

สรุปส่วนผสมใน 1 ลบ.ม.

ปูนซีเมนต์ = 300 กก./ลบ.ม.

ทราย = 624 กก./ลบ.ม.

หิน = 1296 กก./ลบ.ม.

น้ำ = 180 กก./ลบ.ม.

2.3 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

(ธีรเดช วุฒิพรพันธ์, 2553) ได้ทำการศึกษาเพื่อหาขนาด สัดส่วนมวลรวม และระยะเวลาการบ่มเพื่อนำไปเป็นแนวทางในการลดหรือยกเลิกการเผื่อปูนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ โดยแบ่งปัจจัยออกเป็น 4 ปัจจัยหลัก ได้แก่ ขนาดหิน ขนาดทราย และสัดส่วนผสมระหว่างหินและทราย รวมถึงระยะเวลาการบ่มคอนกรีต โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบฟูลแฟคทอเรียล(Full Factorial Design) ผลการทดลองพบว่า ปัจจัยทั้ง 4 ล้วนส่งผลต่อกำลังรับแรงอัดคอนกรีตอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% และสามารถหาค่าที่เหมาะสมในแต่ละปัจจัยได้ดังนี้(1) ขนาดหินที่ 1 นิ้ว (2) ขนาดทรายแบบหยาบ (3) สัดส่วนผสมระหว่างทรายและหิน 42% ต่อ58% (4) ใช้เวลาบ่มที่เหมาะสม คือ 7 วัน

(ปริญญา คูณมี, 2554) ได้ทำการออกแบบการทดลองโดยการใช้ตะกรันเหล็กมาเป็นส่วนผสมในคอนกรีตโดยกำหนดการรับแรงอัดคอนกรีตไว้ที่ 240-260 kg/cm^2 โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล โดยผสมตะกรันเหล็กที่สัดส่วนร้อยละ 10 ผลการทดลองพบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมสามารถใช้ตะกรันเหล็กรวมเท่ากับ 207 kg. โดยผสมแทนปูนซีเมนต์ 15.7 kg. ผสมแทนทราย 37.4 kg. และผสมแทนหิน 153.9 kg. ที่อายุคอนกรีต 28 วัน สำหรับการผลิตคอนกรีตที่ 1 ลูกบาศก์เมตร จากสัดส่วนดังกล่าวจะมีกำลังอัดเฉลี่ยเท่ากับ 250 kg/cm^2 ซึ่งจากสัดส่วนที่ได้สามารถช่วยในการลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดตะกรันเหล็กประมาณ 255 บาทต่อลูกบาศก์เมตร และลดต้นทุนคอนกรีตลงได้ร้อยละ 5

(ธีรยุทธิ์ ยกชิ้ว, 2552) ได้ทำการออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตกระเบื้องบิสกิตโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง 2^k มี 4 ปัจจัย ได้แก่ อัตราการป้อนผงดิน (Feeder Setting) แรงอัดขึ้นรูปกระเบื้อง (2nd Stroke Pressure) อัตราการเผาไหม้ภายในเตาเผา (พำพ modulation) และอุณหภูมิภายในเตาเผา (Firing Temperature) โดยหลังจากการทำการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ปรับปรุงกระบวนการพบว่าดัชนีความสามารถของกระบวนการผลิต (Cpk) เพิ่มขึ้นเป็น 0.81 และ 1.02 ตามลำดับ

(วิทยา เจนจิวัฒนกุล, 2554) ได้อธิบายขั้นตอนในการนำแนวทางซิกซ์ ซิกมา มาใช้ในการแก้ปัญหาของเสียจากการพิมพ์ของกระบวนการผลิตพลาสติกที่มีสัดส่วนถึง 11.68% ทางผู้วิจัยต้องการลดปัญหาดังกล่าวให้เหลือ 2% ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้ทำการในแนวคิดการปรับปรุงของซิกซ์ซิกมามาใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์หาสาเหตุและปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการพิมพ์ โดยมีการใช้เครื่องมือต่าง ๆ ตามขั้นตอนของซิกซ์ซิกมา ดังนี้ 1. ระยะนิยามปัญหา 2. ระยะตรวจวัดปัญหา 3.ระยะวิเคราะห์ปัญหา 4.ระยะปรับปรุงแก้ไข 5. ระยะควบคุมกระบวนการ โดยหลังปรับปรุงของเสียลดลงเหลือ 1.53% คิดเป็น 86.9%

Neville (1996) ได้ทำการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ทีมีผลกระทบต่อกำลังอัดคอนกรีตโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ผลจากการวิเคราะห์พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดคอนกรีต คือปูนซีเมนต์ หิน และทราย

Simon (2003) ได้ทำการศึกษาปัจจัยอัตราส่วนผสมคอนกรีตในการก่อสร้างพื้น ผิวถนนโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2 ระดับทั้ง 3 ปัจจัย (2^3 Factorial Design) โดยกำหนดปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้ อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ อัตราส่วนมวลรวม และอัตราส่วนมวลรวมต่อปูนซีเมนต์ ผลการทดลองพบว่า ช่วงอัตราส่วนที่เหมาะสม คือ อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์อยู่ที่ 0.40 ถึง 0.43 อัตราส่วนมวลรวมอยู่ที่ 0.61 และอัตราส่วนมวลรวมต่อปูนซีเมนต์อยู่ที่ 4.3 ถึง 5.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

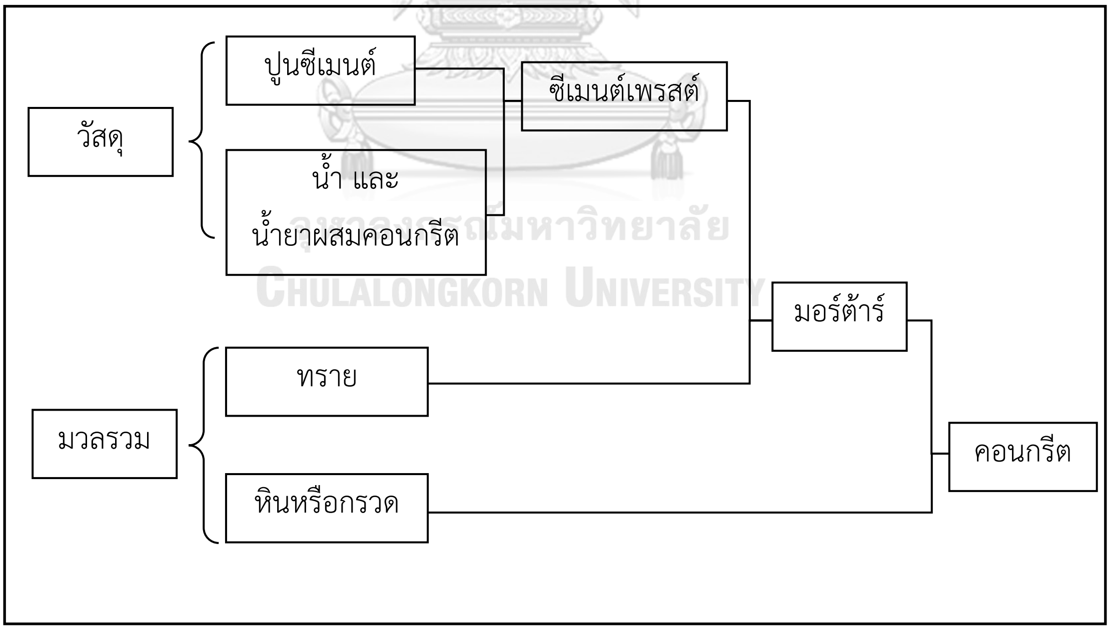
บทที่ 3

ระยะนิยามปัญหา (Define Phase)

ระยะนิยามปัญหา (Define Phase) เป็นขั้นตอนเริ่มแรกของแนวทางซิกซ์ ซิกมาจัดได้เป็นขั้นตอนที่สำคัญมาก มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดแนวทางในการดำเนินการวิจัย ในขั้นตอนนี้จะประกอบไปด้วยการศึกษากระบวนการผลิต การกำหนดปัญหา กำหนดเป้าหมายและตัวชี้วัด โดยจะนำเทคนิคต่าง ๆ มาประกอบการนิยามปัญหา

3.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับคอนกรีต

คอนกรีตทั่วไปนั้นประกอบด้วยวัสดุ 2 อย่าง คือ ส่วนที่เป็นเพสต์ และส่วนผสมที่เป็นมวลรวม โดยส่วนที่เป็นเพสต์ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมกับน้ำ โดยจะเกิดปฏิกริยาทำให้เพสต์แข็งตัวและจับยึดกับส่วนที่เป็นมวลรวม อันได้แก่ หิน กรวด ทราย ให้เกาะกันแน่นเป็นเนื้อเดียวกันทั่วไปนั้นสารเคมีผสมเพิ่มอาจถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของเพสต์ด้วย ดังรูปที่ 3-1



รูปที่ 3- 1 ส่วนประกอบของคอนกรีต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากรูปที่ 3-1 อธิบายให้เห็นถึงการนำวัสดุแต่ละประเภทมาเป็นส่วนประกอบของคอนกรีต ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1) ปูนซีเมนต์
2) มวลรวม
3) น้ำ
4) น้ำยาผสมคอนกรีต

- ปูนซีเมนต์ :ทำหน้าที่ให้กำลังของคอนกรีตและทำหน้าที่หล่อลื่นคอนกรีตให้ สามารถเทได้ และยึดประสานมวลรวมเข้าด้วยกัน เมื่อแข็งตัวจะให้ กำลังกับคอนกรีต
- มวลรวม :เป็นวัสดุเฉื่อยกระจายอยู่ทั่วเนื้อคอนกรีต ช่วยให้คอนกรีตมีความทนทานและยังลดการยึดหดตัวของคอนกรีตอีกด้วย คุณสมบัติของมวลรวมที่ควรพิจารณา เช่น ความแข็งแรง ความคงทนต่อปฏิกิริยาเคมี การต้านทานแรงกระแทก
- น้ำ : ใช้ผสมกับปูนซีเมนต์ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นและยังช่วยหล่อลื่นให้ คอนกรีตอยู่ในสภาพเหลวสามารถเทลงในแบบหล่อได้
- น้ำยาผสมคอนกรีต : ใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆ ของคอนกรีตให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งานอาทิเช่น เวลาการก่อตัว

3.2 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต คือ การหาปริมาณวัสดุต่างๆ ที่ใช้ในหารผสมคอนกรีต โดยการใช้วัสดุที่มีในท้องถิ่นเพื่อให้ได้ลักษณะของคอนกรีตตามที่ต้องการ ส่วนผสมคอนกรีตที่ออกแบบอย่างเหมาะสมจะต้องคำนึงถึงลักษณะดังต่อไปนี้

1. ความสามารถในการเทได้ของคอนกรีตสด
2. ความคงทนและกำลังตลอดจนความเป็นเนื้อเดียวกันของคอนกรีตเมื่อแข็งตัว
3. ความประหยัด

โดยการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตตามมาตรฐานของ ACI (American Concrete Institute) จะต้องคำนึงถึง คือ การทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ ดังนี้

1. ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ของ ปูนซีเมนต์ ทราย และ หิน

2. ความหนาแน่น (Unit Weight) ของ ปูนซีเมนต์ ทราย และหิน
3. การดูดซับความชื้น (Absorption) ของ ทราย และหิน
4. ขนาดใหญ่สุดของหินที่ใช้
5. ค่าความละเอียด (Fineness Modulus) ของทราย และ หิน

โดยแต่ละวัตถุดิบจะมีค่าความถ่วงเฉพาะที่แต่ต่างกันดังนั้น จึงได้แยกค่าความถ่วงจำเพราะของแต่ละวัตถุดิบดังนี้

- ปูนซีเมนต์ความถ่วงจำเพาะตามมาตรฐาน ASTM C188 แต่สามารถใช้ค่า 3.15 สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทั่วไป
- มวลรวม
  - ขนาดคละ ควรมีส่วนคละตามมาตรฐานASTM C 33
  - ความถ่วงจำเพาะ

    ทราย ทดสอบมาตรฐาน ASTM C 128

    หิน ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 127
  - ความชื้น ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 70 และ ASTM C 566
  - ความละเอียดของทราย ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 125
  - หน่วยน้ำาหนักของมวลรวม ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 29

โดยขั้นตอนในการออกแบบคอนกรีตจะแบ่งเป็น 7 ขั้นตอน ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1) เลือกค่ายุบตัวของคอนกรีตสด ให้เหมาะกับประเภทงาน
2) เลือกขนาดโตสุดของหินสำหรับผสมคอนกรีต
3) ปริมาณน้ำที่ต้องใช้สำหรับผสมคอนกรีตให้มีค่ายุบตัวตามต้องการ
4) เลือกอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์
5) คำนวณปริมาณปูนซีเมนต์ที่ต้องใช้
6) คำนวณน้ำหนักของหินที่ใช้สำหรับผลิตคอนกรีต
7) คำนวณปริมาณทราย

3.3 ศึกษากระบวนการผลิตคอนกรีต

3.3.1 การตรวจสอบคุณภาพของขนาดคละวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ ประกอบด้วย หิน ทราย ปูนซีเมนต์ น้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต ส่วนประกอบของวัตถุดิบในการผลิตคอนกรีตมีดังนี้

1) ปูนซีเมนต์: ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในงานก่อสร้างต้องเป็นปูนซีเมนต์ที่เป็นไปตามมาตรฐาน ม.อ.ก. โดยทางโรงงานใช้เป็นปูนซีเมนต์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ตราสินค้าอินทรีเพชร

2) มวลรวมแบบละเอียด: ส่วนมากจะเป็นทราย ทรายที่ใช้ผสมคอนกรีตจะต้องมีความละเอียดที่พอดี โดยมีค่าความละเอียดของขนาดคละ(Fineness Modulus) F.M. โดยมีค่าอยู่ระหว่าง ระหว่าง F.M. 2.3 - 3.1 ซึ่งถ้ามีค่าที่น้อยกว่า 2.3 จะเป็นลักษณะทรายละเอียดมากเกินไป ซึ่งปัจจุบันพบว่าทรายที่ทางโรงงานใช้อยู่เป็นแหล่งทรายจากจังหวัดหนองคาย พบว่ามีค่าความละเอียดอยู่ที่ F.M. = 2.06

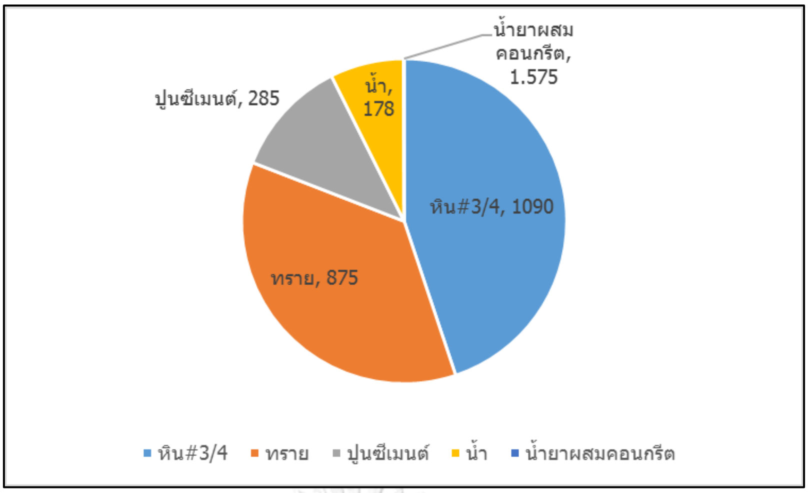
3) มวลรวมแบบหยาบ: ธรรมดาเราใช้ทั้งหินย่อยและกรวดเป็นมวลรวมหยาบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความยากง่ายในการหาวัสดุ ปกติจะระบุไว้ในข้อกำหนด (Specification) ว่าให้ใช้แบบใด ซึ่งทางผู้ผลิตจะต้องคอยตรวจคุณภาพของวัสดุที่ส่งเข้ามาอย่างสม่ำเสมอเพราะอาจไม่ใช่วัสดุจากแหล่งเดียวกัน และอาจมีสิ่งแปลกปลอมปนมาได้ เช่น หินผุ หรือหินอื่นๆ ที่มีคุณภาพด้อยกว่าที่กำหนด

4. น้ำ: ใช้น้ำประปาในการผลิตคอนกรีต

5. น้ำยาผสมคอนกรีต: ทางโรงงานใช้น้ำยาชนิดหน่วงการก่อตัวของคอนกรีต

3.3.2 สูตรที่ใช้ในการผลิตคอนกรีต

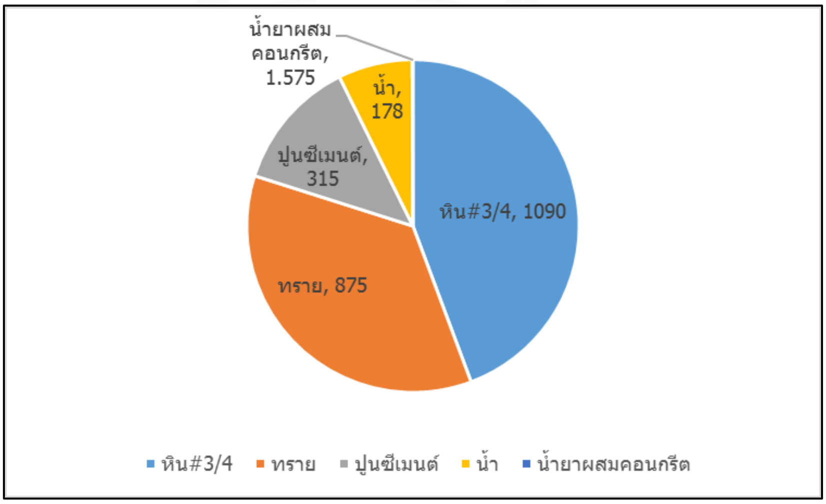
การพิจารณาสูตรผลิตคอนกรีตที่ทางโรงงานนำมาใช้ในการผลิตคอนกรีตโดยเมื่อทำการพิจารณาที่สูตรผลิต M240 ซึ่งประกอบด้วยสัดส่วนผสมคอนกรีต เช่น หิน#3/4 , ทราย , ปูนซีเมนต์,น้ำ,น้ำยาหน่วง ซึ่งแสดงเปอร์เซ็นต์สัดส่วนผสมของแต่ละวัตถุดิบที่ผลิตคอนกรีตต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีความหนาแน่นของน้ำหนักรวม 2420 กิโลกรัม ดังแสดงในรูปที่ 3-2



รูปที่ 3- 2 สัดส่วนวัตถุดิบในการผสมคอนกรีตสูตร M240

จากรูปที่ 3-2 แสดงสัดส่วนของส่วนผสมคอนกรีตสูตร M240 ซึ่งเป็นสูตรที่มียอดการผลิตสูงสุด และจากการวิเคราะห์ต้นทุนต่อสูตรนี้ที่ 1 ลูกบาศก์เมตร จะอยู่ที่ประมาณ 1023 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นสูตรผสมคอนกรีตที่ทางโรงงานได้นำมาใช้ในการผลิตคอนกรีตและจากการตรวจสอบข้อมูลการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตหลังจากทำการผลิตพบว่าได้ค่าการรับแรงอัดคอนกรีตที่ต่ำกว่ามาตรฐาน โดยพิจารณาจากค่าการรับแรงอัดเฉลี่ยอยู่ที่ 237 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

จากปัญหาการรับแรงที่ต่ำกว่ามาตรฐานของสูตรมาตรฐานที่ทางโรงงานเริ่มนำมาใช้ในการผลิตคอนกรีต ดังนั้นทางโรงงานได้ออกแบบสูตรผสมคอนกรีตโดยเพิ่มส่วนเผื่อปูนซีเมนต์ลงในสูตรผสมคอนกรีตโดยปริมาณ 30 กิโลกรัม ซึ่งสัดส่วนผสมคอนกรีตที่เปลี่ยนแปลงจากสูตรมาตรฐานแสดงรายละเอียด ดังรูปที่ 3-3



รูปที่ 3- 3 สัดส่วนวัตถุดิบในการผสมคอนกรีตสูตร M240 หลังเพิ่มปูนซีเมนต์

จากรูปที่ 3-3 แสดงให้เห็นสัดส่วนของส่วนผสมคอนกรีตสูตร M240 หลังจากที่มีการเพิ่มส่วนเผื่อปูนซีเมนต์ลงไปในสัดส่วนการผสมคอนกรีตและเมื่อทำการพิจารณาในรายละเอียดของต้นทุน

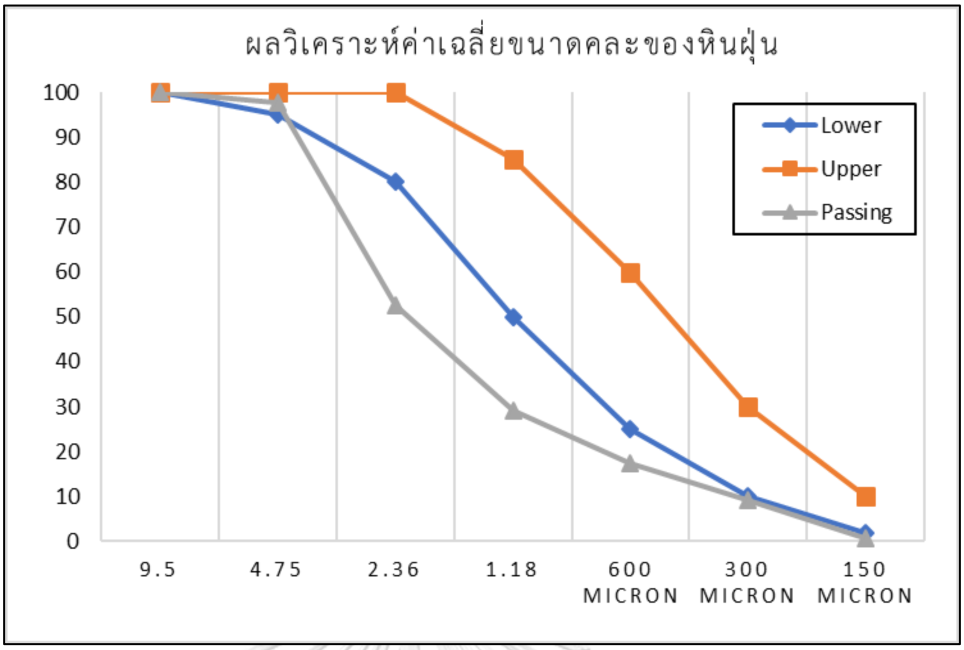
ของสูตรผสมคอนกรีตที่มีการปรับปรุงโดยเพื่อส่วนเผื่อปูนซีเมนต์ 30 กิโลกรัม เพื่อแก้ปัญหาค่ากำลังอัดคอนกรีตที่ต่ำกว่ามาตรฐาน ซึ่งพบว่าส่งผลให้ต้นทุนของสูตรผสมคอนกรีต M240 หลังการปรับปรุงมีต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นประมาณ 69 บาท ต่อลูกบาศก์เมตร

3.3.3 การศึกษาคุณลักษณะของหินฝุ่นที่จะนำมาใช้เป็นส่วนผสมในคอนกรีต

แนวคิดในการจัดทำงานวิจัยนี้เป็นการนำหินฝุ่นซึ่งเป็นวัสดุทดแทนที่สามารถนำมาเป็นส่วนผสมกับมวลรวมละเอียดดังพบในงานวิจัยของ ธีระ เทพพรหม(2552) ที่ได้ทำการศึกษาการนำหินฝุ่นมาเป็นส่วนผสมแทนทรายหยาบ โดยใช้หินฝุ่นจากแหล่งโรงโม่หินนาราธิวาส ค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกันกับการใช้ทรายหยาบเพียงอย่างเดียว และประกอบกับหินฝุ่นมีอยู่ในพื้นที่และมีราคาถูก ดังนั้นทางโรงงานมีความประสงค์ต้องการทดลองที่จะนำหินฝุ่นจากแหล่ง โรงโม่หินสากลพัฒนา อ.นากลาง จ.หนองบัวลำภู ซึ่งเป็นหินฝุ่นที่ได้จากภูเขาหินปูน มาผสมกับทรายละเอียดที่ทางโรงงานใช้อยู่ เพื่อลดต้นทุนในสัดส่วนผสมคอนกรีต ดังรูปที่ 3-4

รูปที่ 3- 4 ลักษณะของหินฝุ่น

จากรูปที่ 3-4 เป็นลักษณะของหินฝุ่นที่จะนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการออกแบบการทดลอง เพื่อหาสัดส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาสมและสามารถรับแรงอัดคอนกรีตได้มากกว่า 240 กิโลกรัม/ตร.ซม. และจากการตรวจสอบคุณลักษณะของขนาดคละวัตถุดิบดังแสดงรายละเอียดดังรูปที่ 3-5



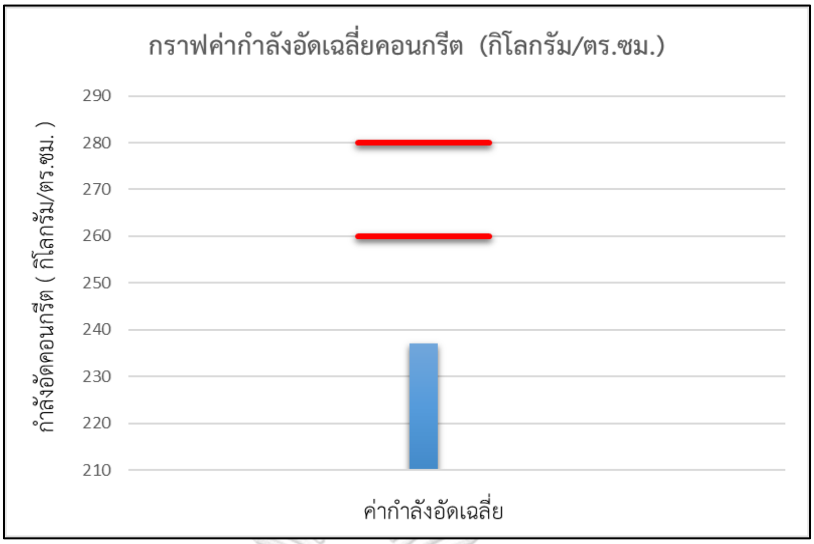
รูปที่ 3- 5 ผลการทดสอบขนาดคละหินฝุ่น

จากรูปที่ 3-5 เมื่อได้ทำการพิจารณาค่าขนาดคละของหินฝุ่นที่จะใช้ในการนำมาเป็นส่วนผสมในคอนกรีตโดยใช้เครื่องมือทดสอบขนาดคละมวลรวม (Sieve Analysis) ด้วยตะแกรงร่อนขนาด 9.5 มิลลิเมตร , 4.75 มิลลิเมตร,2.36 มิลลิเมตร,1.18 มิลลิเมตร,600 ไมครอน ,300 ไมครอน และ 150 ไมครอน หลังทำการทดสอบได้ค่าความละเอียด (Fineness Modulus) F.M. 3.93 ซึ่งมากกว่าโดยทางผู้วิจัยคาดว่าถ้านำหินฝุ่นที่มีขนาดคละดังกล่าวไปผสมกับทรายที่ในอัตราส่วนที่เหมาะสมจะทำให้ขนาดคละมวลรวมลมีขนาดที่ดีขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

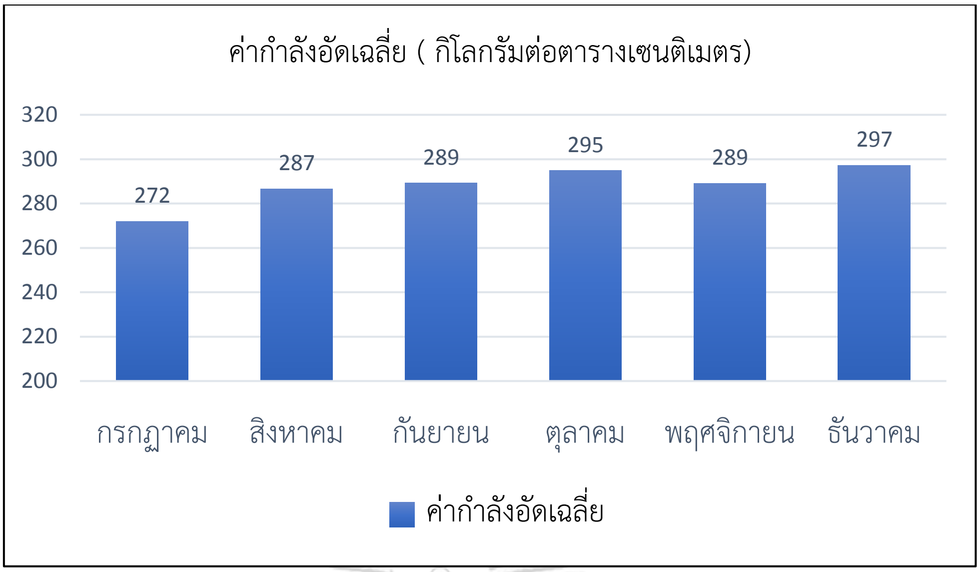
3.4 สภาพปัญหาในปัจจุบัน

ในปัจจุบันทางโรงงานกรณีศึกษา ได้ตรวจสอบและพบปัญหาคุณภาพของคอนกรีตกำลังอัด 240 กิโลกรัม/ตร.ซม. ที่ทำการผลิตออกไปมีค่ากำลังอัดคอนกรีตเฉลี่ยอยู่ที่ 237 กิโลกรัม/ตร.ซม. ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานที่ทางโรงงานกำหนดซึ่งจะต้องมีค่ากำลังอัดของคอนกรีตระหว่าง 260 - 280 กิโลกรัม/ตร.ซม. ดังรูปที่ 3-6



รูปที่ 3- 6 ผลทดสอบคอนกรีตกำลังอัด 240 กก./ตร.ซม.

จากรูปที่ 3-6 เมื่อพิจารณาที่ค่ากำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีตที่ได้มีค่าที่ต่ำกว่ามาตรฐานที่ทางโรงงานกำหนดโดยทางโรงงานได้กำหนดมาตรฐานการรับแรงอัดของคอนกรีตต้องมีค่าการรับแรงอัดคอนกรีตอยู่ระหว่าง 260-280 กิโลกรัม/ตร.ซม. ซึ่งคาดว่าสาเหตุน่าจะมาจากทรายที่นำมาใช้ในการผลิตคอนกรีตที่ทางโรงงานกรณีศึกษาใช้อยู่โดยพิจารณาจากผลการทดสอบวัตถุดิบประจำเดือนพบว่าทรายมีค่าความละเอียด (Fineness Modulus) F.M. ที่ 2.06 ซึ่งไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีต โดยพิจารณาจากมาตรฐานการทดสอบขนาดคละของมวลรวมในงานคอนกรีต ASTM C33 โดยทางโรงงานกรณีศึกษาได้กำหนดเกณฑ์ค่าความละเอียดของทรายที่จะใช้ในการผลิตคอนกรีตที่ยอมรับได้มีค่าความละเอียด (Fineness Modulus) F.M. ระหว่าง 2.5 ถึง 3.0 และจากปัญหาคุณภาพของคอนกรีตที่ได้ทำการผลิตและมีการทำการทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีตพบว่าขนาดการรับแรงอัดของคอนกรีตที่ทางโรงงานทำการผลิตมีค่าที่ต่ำกว่ามาตรฐานที่ 240 กิโลกรัม/ตร.ซม. อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของคอนกรีตเมื่อส่งถึงลูกค้าดังนั้นทางโรงงานจึงทำการวิเคราะห์ปัญหาเบื้องต้นทางโรงงานพบว่าอาจจะเกิดจากทรายในพื้นที่ที่มีความละเอียดมากทำให้ใช้ปริมาณน้ำในการผลิตคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อกำลังอัดของคอนกรีต ดังนั้น ทางโรงงานจึงเพิ่มส่วนเผื่อปูนซีเมนต์ลงไปในส่วนผสมคอนกรีตที่ 30 กิโลกรัมจากสูตรมาตรฐานที่ทางโรงงานใช้อยู่ และจากการเก็บตัวอย่างมาทำการทดสอบพบว่าปริมาณส่วนเผื่อปูนซีเมนต์ที่ได้เพิ่มลงไปสามารถเพิ่มคุณภาพคอนกรีตที่ทำการผลิตมีค่าการรับแรงอัดที่สูงกว่ามาตรฐาน ดังรูปที่ 3-7



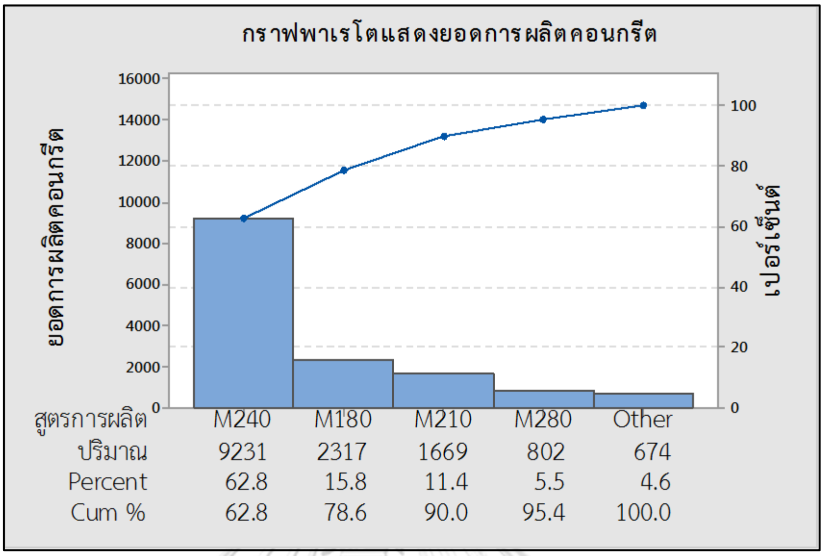
รูปที่ 3- 7 ผลทดสอบค่ากำลังอัดตัวอย่างคอนกรีตระหว่างเดือนกรกฎาคม ถึง ธันวาคม ปี 2558

จากรูปที่ 3-7 เมื่อพิจารณาผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่ผลิตในช่วงระหว่างเดือน กรกฎาคม ถึง ธันวาคม ปี 2558 หลังทำการเพิ่มส่วนเผื่อปูนซีเมนต์ลงไปในส่วนผสมคอนกรีตส่งผลให้ค่ากำลังอัดคอนกรีตมีค่าอยู่ในมาตรฐาน หรือสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ 260 -280 กิโลกรัม/ตร.ซม. ดังนั้นเมื่อทำการพิจารณาการเพิ่มสัดส่วนเผื่อของปูนซีเมนต์ให้มากขึ้นจากมาตรฐานในการผลิตคอนกรีตประมาณ 30 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยในระหว่างเดือนกรกฎาคม ถึง ธันวาคม ปี 2558 ซึ่งทางโรงงานมียอดการผลิตเฉลี่ยที่ 14,693 ลูกบาศก์เมตร คิดเป็นต้นทุนส่วนเผื่อปูนซีเมนต์จากสูตรมาตรฐานประมาณ 1 ล้านบาทในช่วง 6 เดือน โดยคำนวนจากส่วนเผื่อปูนซีเมนต์ที่ 30 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยปัจจุบันทางโรงงานผลิตมีต้นทุนในการซื้อปูนซีเมนต์ที่ 2.3 บาทต่อกิโลกรัม ดังนั้นเมื่อทำการคำนวณจะได้ดังนี้

$$2.3 \times 30 \times 14693 = 1,013,817 \text{ บาท}$$

จากการพิจารณาของทางโรงงานมีความต้องการลดต้นทุนส่วนเผื่อปูนซีเมนต์ลงดังนั้นทางคณะทำงานที่ทางโรงงานแต่งตั้งขึ้นจึงปรึกษาหารือร่วมกันในแนวทางที่จะนำหินฝุ่นซึ่งเป็นวัสดุทดแทนที่สามารถนำมาเป็นส่วนผสมกับมวลรวมละเอียดดังพบในงานวิจัยของ ธีระ เทพพรหม [10] ที่ได้ทำการศึกษาการนำหินฝุ่นมาเป็นส่วนผสมแทนทรายหยาบ โดยใช้หินฝุ่นจากแหล่งโรงโม่หินนราธิวาส ค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกันกับการใช้ทรายหยาบเพียงอย่างเดียว และประกอบกับหินฝุ่นมีอยู่ในพื้นที่และมีราคาถูก ดังนั้นทางโรงงานมีความประสงค์ต้องการทดลองที่จะนำหินฝุ่นจากแหล่งโรงโม่หินสากลพัฒนา อ.นากลาง จ.หนองบัวลำภู มาผสมกับทรายละเอียดที่ทางโรงงานใช้อยู่เพื่อลดต้นทุนในสัดส่วนผสมคอนกรีต

โดยทางโรงงานได้ทำการพิจารณาที่จะทำการทดลองในส่วนผสมคอนกรีตที่มียอดการผลิตมากสุดและจากข้อมูลรายงานการผลิตคอนกรีตซึ่งแบ่งแยกตามรหัสสินค้าที่ทำการผลิตมากสุดในช่วง 6 เดือนย้อนหลัง คือ ระหว่างเดือน กรกฎาคม ถึง ธันวาคม ปี 2558 โดยมีรายละเอียด ดังรูป 3-8



รูปที่ 3- 8 ปริมาณยอดผลิตคอนกรีตแยกตามสูตรการผลิต

จากรูปที่ 3-8 พิจารณากราฟพาเรโตเราพบว่าสูตรการผลิต M240 เป็นสูตรการผลิตที่มีขนาดปริมาณการผลิตมากกว่าสูตรการผลิตอื่น ๆ โดยมียอดการผลิตสูตรดังกล่าวอยู่ที่ 62.8 เปอร์เซ็นต์ของการผลิตทั้งหมด ดังนั้นผู้วิจัยจึงจะทำการเลือกสูตรการผลิต M240 ที่มีค่ากำลังอัดคอนกรีตที่ 240 กิโลกรัม/ตร.ซม. โดยมีการนำแนวคิดซิกซ์ ซิกมา เข้ามาประยุกต์ใช้เพื่อทำการหาสัดส่วนของการใช้หินฝุ่นที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดแทนทรายบางส่วนในส่วนผสมคอนกรีตโดยยังคงมีคุณสมบัติในการรับแรงอัดเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด โดยคาดว่าเมื่อนำหินฝุ่นมาทดแทนทรายบางส่วนที่มีความละเอียดมากจะช่วยให้สามารถลดต้นทุนจากการเผื่อปูนซีเมนต์ในสัดส่วนผสมคอนกรีต ซึ่งแนวคิดซิกซ์ซิกม่า ในการกำหนดปัญหาจัดได้ว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดเพราะจะทำให้ทราบถึงแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่ส่งผลต่อต้นทุนของสูตรผลิตคอนกรีตที่สูงขึ้น จากการรวบรวมและศึกษาข้อมูลปริมาณการผลิตคอนกรีตระหว่างเดือน กรกฎาคม ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2558 พบว่ามียอดการผลิตรวมทั้งสิ้น 14,693 ลูกบาศก์เมตร และเมื่อพิจารณาจากสัดส่วนการผลิตของสูตรมาตรฐานที่ทางโรงงานใช้และพบว่าค่าเฉลี่ยการรับแรงอัดของคอนกรีตมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่ควรรับแรงอัดของคอนกรีตมากกว่า 240 กิโลกรัม/ตร.ซม. แต่จากการใช้สูตรมาตรฐานในการผลิตคอนกรีตให้ค่าการรับแรงอัดอยู่ที่ 237 กิโลกรัม/ตร.ซม. โดยขั้นตอนการกำหนดปัญหาทางโรงงานกรณีศึกษาได้กำหนดขั้นตอนดังนี้พิจารณาค่าใช้จ่ายของต้นทุนที่เพิ่มสูงขึ้นเป็นจำนวนเงินประมาณ 1 ล้านกว่าบาท

ในช่วง 6 เดือนระหว่าง ก.ค. ถึง ธ.ค. 2558 ทำการตรวจสอบขนาดคละของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผสมคอนกรีตทำการทดสอบขนาดคละของหินฝุ่นซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มทางผู้วิจัยต้องการนำมาทำการ

ออกแบบการทดลองเพื่อหาส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสม ซึ่งอาจช่วยลดปริมาณปูนซีเมนต์ลงได้ทำการวิเคราะห์หาปัจจัยที่จะนำมาทำการออกแบบการทดลอง

3.5 การกำหนดเป้าหมายและตัวชี้วัด

จากการศึกษาปัญหาของต้นทุนสูตรผสมคอนกรีตที่เพิ่มสูงขึ้น จะกำหนดปัญหาที่จะดำเนินการแก้ไข คือ ทำการนำหินฝุ่นที่มาจากแหล่ง โรงโม่สากลพัฒนา อ.นากลาง จ.หนองบัวลำภู มาใช้เป็นส่วนผสมแทนทรายละเอียดที่มีค่าความละเอียด (Fineness Modulus) F.M. เฉลี่ยอยู่ที่ 2.06 โดยจะทำการออกแบบการทดลองสำหรับสูตรรหัส M240 เพื่อหาส่วนผสมคอนกรีตที่ยังคงความสามารถในการรับแรงอัดและความหนาแน่นของคอนกรีตเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดและมีต้นทุนที่ถูกกว่าปัจจุบันที่มีค่าต้นทุนในการเพิ่มส่วนเผื่ออยู่ที่ประมาณ 70 บาท ต่อลูกบาศก์เมตร

โดยทางผู้วิจัยคาดว่าการนำหินฝุ่นมาเป็นส่วนผสมของขนาดคละมวลรวมละเอียดจะช่วยให้สามารถลดต้นทุนการเผื่อปูนซีเมนต์ลงได้โดยกำหนดเป้าหมายในการลดอยู่ที่ประมาณ 70 บาท ต่อลูกบาศก์เมตร

3.6 การจัดตั้งคณะทำงาน

เนื่องจากปัญหาคุณภาพของการรับแรงอัดก้อนตัวอย่างคอนกรีตที่ต่ำกว่ามาตรฐานทำให้โรงงานกรณีศึกษาต้องเพิ่มส่วนเผื่อปูนซีเมนต์ลงไปในส่วนผสมคอนกรีตส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตคอนกรีตที่สูงขึ้น ดังนั้นทางผู้วิจัยและโรงงานกรณีศึกษาจึงร่วมกันสร้างทีมงานขึ้นมาเพื่อหาสาเหตุของปัญหา โดยทีมงานประกอบด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1. ผู้จัดการโรงงาน
2. วิศกรโยธา
3. พนักงานผลิต
4. พนักงานควบคุมคุณภาพ
5. ผู้วิจัย

ซึ่งทีมงานจะมีหน้าที่หลักคือ นำความรู้และประสบการณ์มาใช้ในการระดมสมอง เพื่อหาปัจจัยที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อการรับแรงอัดของคอนกรีต โดยใช้เครื่องมือต่าง ๆ ได้แก่ แผนภูมิก้างปลา , Cause and Effect Matrix

3.7 สรุประยะนิยามปัญหา

สำหรับในระยะนิยามปัญหานั้น จะทำการศึกษาผลการทดสอบก้อนตัวอย่างคอนกรีตโดยพบว่าค่ากำลังอัดคอนกรีตมีค่าเฉลี่ยกำลังอัดอยู่ที่ 237 กิโลกรัม/ตร.ซม. ซึ่งต่ำกว่าข้อกำหนดที่โรงงานกำหนดให้คอนกรีตรหัส M240 จะต้องมีค่ากำลังอัดเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 260-280 กิโลกรัม/ตร.ซม. จากนั้นทางโรงงานจึงตัดสินใจเพิ่มส่วนเผื่อปูนซีเมนต์ลงในส่วนการผสมคอนกรีตและมีการเก็บรวบรวมข้อมูลระหว่างเดือน กรกฎาคม ถึงเดือนธันวาคม 2558 ซึ่งพบว่าการเพิ่มส่วนเผื่อปูนซีเมนต์นั้นส่งผลให้กำลังอัดคอนกรีตที่ได้มีค่ากำลังอัดที่เพิ่มขึ้น แต่ก็ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตคอนกรีตก็เพิ่มขึ้นด้วยดังนั้นทางโรงงานได้มีความต้องการหาวัตถุดิบทดแทนเพื่อลดต้นทุนการผลิตคอนกรีตและพบว่างานวิจัยของงานวิจัยของ ธีระ เทพพรหม [10] ที่ได้ทำการศึกษาการนำหินฝุ่นมาเป็นส่วนผสมแทนทรายหยาบ โดยใช้หินฝุ่นจากแหล่งโรงโม่หินนราธิวาส ค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกันกับการใช้ทรายหยาบเพียงอย่างเดียว และประกอบกับหินฝุ่นมีอยู่ในพื้นที่และมีราคาถูก ดังนั้นทางโรงงานมีความประสงค์ที่จะต้องการทดลองที่จะนำหินฝุ่นจากแหล่งผลิต โรงโม่หินสากลพัฒนา อ.นากลาง จ.หนองบัวลำภู ซึ่งเป็นแหล่งหินทรายที่อยู่ใกล้กับทางโรงงาน มาผสมกับทรายละเอียดที่ทางโรงงานใช้อยู่เพื่อลดต้นทุนในสัดส่วนผสมคอนกรีต โดยทำการนำข้อมูลยอดการผลิตมาพิจารณาด้วยการใช้แผนภูมิพาเรโต พบว่ารหัสสูตร M240 เป็นสินค้าที่มียอดการผลิตมากที่สุด โดยมีปริมาณการผลิตสูงถึง 62.8 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น จึงมุ่งเน้นไปที่การหาสัดส่วนที่เหมาะสมของการใช้หินฝุ่นในส่วนผสมคอนกรีตของรหัสสูตร M240 เพียงสูตรเดียวในการนำมาปรุบปรุง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4

ระยะตรวจวัดปัญหา (Measure Phase)

ระยะการตรวจวัดปัญหา (Measure Phase) เป็นขั้นตอนในการตรวจวัดความสามารถของกระบวนการที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน และเป้นการตรวจสอบเครื่องมือ หรืออุปกรณ์ในการทำงานว่ามีความปกติหรือไม่ก่อนนำเครื่องมือไปดำเนินการปฏิบัติงาน

การวิจัยครั้งนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองโดยมุ่งที่จะศึกษาหาสัดส่วนที่เหมาะสมของการใช้หินฝุ่นเพื่อมาใช้ทดแทนส่วนผสมของทรายละเอียดในคอนกรีต ซึ่งจะช่วยให้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตมีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดและยังช่วยลดต้นทุนในการเผื่อปูนซีเมนต์ลงไปในสูตรผสมคอนกรีต และเพื่อให้งานวิจัยเป็นไปด้วยความถูกต้องและบรรลุตรงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ผู้วิจัยจึงได้กำหนดขั้นตอนในการดำเนินงานตามลำดับ ดังนี้

1) วิเคราะห์การวัดขนาดคละของวัตถุดิบ
2) วิเคราะห์การวัดระบบการชั่งตวงวัตถุดิบ

4.1 วิเคราะห์การวัดขนาดคละของวัตถุดิบ

ทำการวัดขนาดคละของวัตถุดิบที่ใช้ในการผสมคอนกรีตโดยทำการสุ่มตัวอย่างในแต่ละวัตถุดิบอย่างละ 10 ครั้งโดยสุ่มเลือกวัตถุดิบจากกองวัตถุดิบและนำมาทดสอบขนาดคละตัวอย่างตามมาตรฐาน ASTM C33 โดยเครื่องมือทดสอบขนาดคละมวลรวม (Sieve Analysis) ดังรูปที่ 4-1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4- 1 เครื่องมือทดสอบขนาดคละมวลรวม (Sieve Analysis)

จากรูปที่ 4-1 เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบขนาดคละมวลรวม (Sieve Analysis) ใช้ในการวัดการกระจายตัวของมวลรวม หมายถึงการที่มวลรวมประกอบด้วยเม็ดวัสดุหลายๆขนาดต่าง ๆ กัน ซึ่งคุณสมบัติทางกายภาพของมวลรวมจะขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดวัสดุ โดยการกระจายของเม็ดวัสดุมวลรวมจะแสดงด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดตะแกรงมาตรฐานในสเกลลอการิทึม (Logarithm Scale) เป็นแกนนอนกับร้อยละโดยมวลรวมที่ผ่านตะแกรงเป็นแนวตั้ง ซึ่งเรียกว่ากราฟการกระจายของขนาดคละวัสดุรวมโดยจากมาตรฐานที่ มยผ 1201-50 ได้อธิบายความหมายไว้ดังนี้

1) ขนาดระบุใหญ่สุด (Nominal Maximum Size) หมายถึง ขนาดช่องผ่านของตะแกรงเล็กที่สุดที่มวลรวมสามารถผ่านได้ทั้งหมด หรือมีสัดส่วนการผ่านตะแกรงตามที่กำหนด

2) พิกัดความละเอียด (Fineness Modulus) หมายถึง ตัวเลขดัชนีที่เป็นปฏิภาคโดยประมาณกับขนาดเฉลี่ยของมวลรวม

3) มวลรวม (Aggregate) หมายถึง วัสดุที่ใช้ในส่วนผสมของคอนกรีตที่มีขนาดเม็ดโตตั้งแต่ 0.075 มิลลิเมตร ขึ้นไป

4) มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) หมายถึง วัสดุที่ใช้ในส่วนผสมของคอนกรีตที่มีขนาดเม็ดตั้งแต่ 0.075มิลลิเมตร ถึง 4.75 มิลลิเมตร

5) มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) หมายถึง วัสดุที่ใช้ในส่วนผสมของคอนกรีตที่มีขนาดเม็ดตั้งแต่ 4.75 มิลลิเมตร ขึ้นไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การออกแบบวิธีในการดำเนินการวิเคราะห์เพื่อหาค่าเฉลี่ยของการตรวจสอบค่าขนาดคละของวัตถุดิบ หินขนาด #3/4 นิ้ว ทราย และหินฝุ่น ที่จะนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีต โดยขั้นตอนการปฏิบัติดังนี้

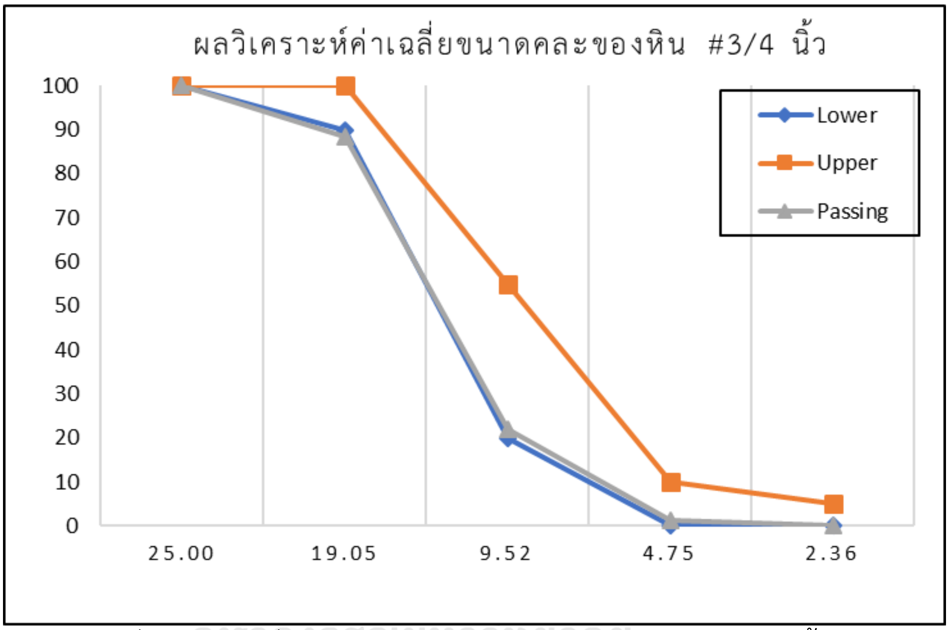
1) ทำการสุ่มวัตถุดิบที่อยู่ในส่วนต่าง ๆ ของ กองวัตถุดิบมาทำการทดสอบโดยเครื่องมือทดสอบขนาดคละมวลรวม (Sieve Analysis) โดยจะทำการสุ่ม 10 ครั้งในแต่วัตถุดิบ

2) ทำการบันทึกค่าลงในแบบฟอร์ม เพื่อที่จะวิเคราะห์ความแม่นยำของเครื่องมือในการทดสอบและตรวจสอบค่าเฉลี่ยความละเอียดของวัตถุดิบที่นำมาทำการทดสอบ

ทำการทดสอบโดยการสุ่มวัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีต ซึ่งประกอบด้วย หินขนาด #3/4 นิ้ว หินขนาด #3/8 นิ้ว ทราย และหินฝุ่น ซึ่งผลที่ได้จากการทำการทดสอบเพื่อวิเคราะห์หาค่าขนาดคละเฉลี่ยของวัตถุดิบ

4.1.1 ผลทดสอบขนาคละของหินขนาด #3/4 นิ้ว

จากการตรวจสอบขนาดคละของวัตถุดิบหิน#3/4 โดยการสุ่มตัวอย่างจากกองวัตถุดิบ 10 ครั้งและนำมาหาค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างที่ได้ พบว่าจากการทดสอบขนาดคละตัวอย่างของหิน#3/4 ด้วยตะแกรงขนาด 25.00,19.05,9.52,4.75,2.36 มิลลิเมตร ได้ผลดังแสดงดังรูปที่ 4-2



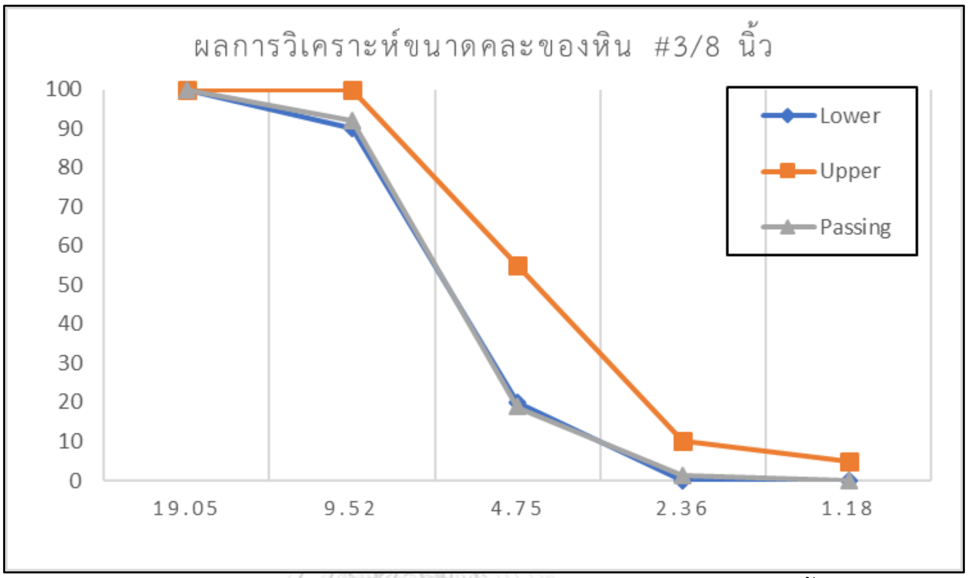
รูปที่ 4- 2 ค่าเฉลี่ยผลทดสอบขนาดคละตัวอย่างหินขนาด #3/4 นิ้ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากรูปที่ 4-2 ผลทดสอบขนาดคละตัวอย่างหินขนาด #3/4 นิ้ว ของตัวอย่างวัตถุดิบพบว่าค่าเฉลี่ยค่าความละเอียด (Fineness Modulus) F.M. = 6.80 และจากการวิเคราะห์ Gage R&R ด้วยโปรแกรม Minitab พบว่าความผันแปรจากระบบการวัด %Repeatability ในแต่ละค่าของขนาดตะแกรงร่อนได้ค่า ดังนี้ 17.77%,24.34%,10.51%,27.87%,28.53% ซึ่งในแต่ละขนาดตะแกรงร่อนมีค่าน้อยกว่าเกณฑ์การยอมรับที่ 30% จึงสรุปว่าระบบการวัดมีความผันแปรไม่สูงเกินกว่าที่จะยอมรับได้

4.1.2 ผลทดสอบขนาคละของหินขนาด #3/8 นิ้ว

จากการตรวจสอบขนาดคละของวัตถุดิบหิน#3/8 โดยการสุ่มตัวอย่างจากกองวัตถุดิบ 10 ครั้งและนำมาหาค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างที่ได้ พบว่าจากการทดสอบขนาดคละตัวอย่างของหิน#3/4 ด้วยตะแกรงขนาด 19.05,9.52,4.75,2.36,1.18 มิลลิเมตร ได้ผลดังแสดงดังรูปที่ 4-3



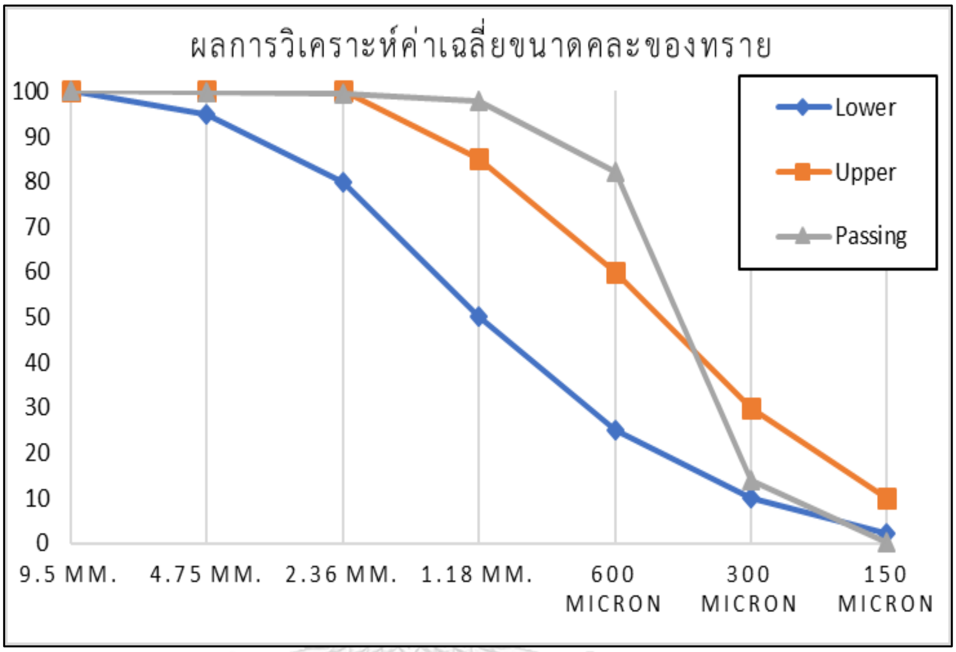
รูปที่ 4- 3 ค่าเฉลี่ยผลทดสอบขนาดคละตัวอย่างหินขนาด #3/8 นิ้ว

จากรูปที่ 4-3 ผลการทำการทดสอบขนาดคละตัวอย่างหินขนาด #3/8 นิ้ว ของตัวอย่างวัตถุดิบพบว่าค่าความละเอียด F.M. =6.87 และจากการวิเคราะห์ Gage R&R ด้วยโปรแกรม Minitab พบว่าความผันแปรจากระบบการวัด %Repeatability ในแต่ละค่าของขนาดตะแกรงร่อนได้ค่า ดังนี้ 14.24%,21.23%,14.11%,23.34%,27.18% ซึ่งในแต่ละขนาดตะแกรงร่อนมีค่าน้อยกว่าเกณฑ์การยอมรับที่ 30% จึงสรุปว่าระบบการวัดมีความผันแปรไม่สูงเกินกว่าที่จะยอมรับได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1.3 ผลทดสอบขนาดคละของทราย

จากการตรวจสอบขนาดคละของวัตถุดิบทราย โดยการสุ่มตัวอย่างจากกองวัตถุดิบ 10 ครั้ง และนำมาหาค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างที่ได้ พบว่าจากการใช้เครื่องทดสอบขนาดคละตัวอย่างของทรายด้วยตะแกรงร่อนขนาด 9.5 มิลลิเมตร , 4.75 มิลลิเมตร,2.36 มิลลิเมตร,1.18 มิลลิเมตร,600 ไมครอน ,300 ไมครอน และ 150 ไมครอน ดังรูปที่ 4-4



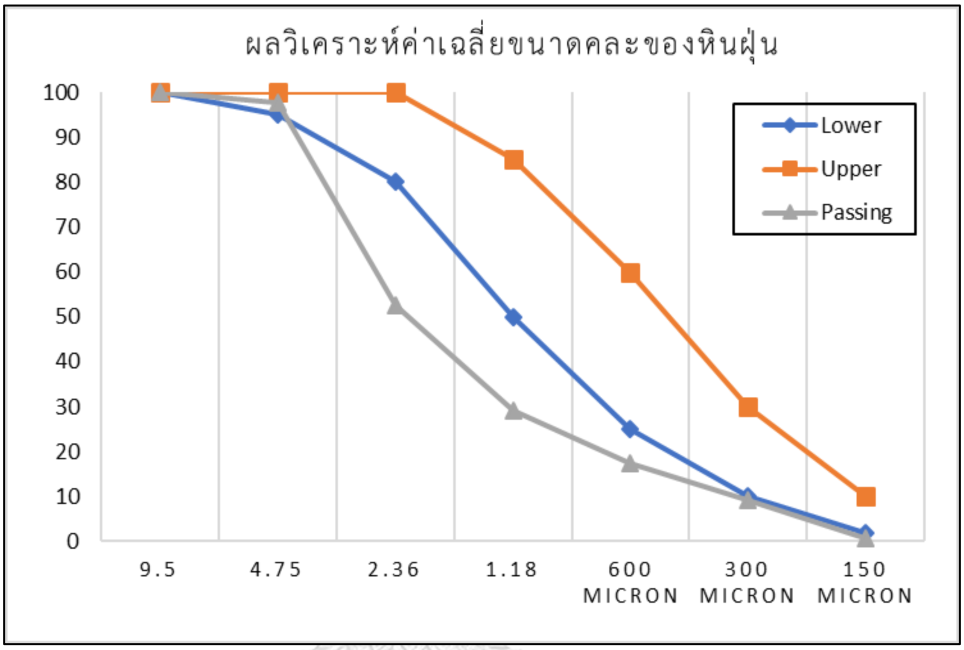
รูปที่ 4- 4 ค่าเฉลี่ยผลทดสอบขนาดคละตัวอย่างทราย

จากรูปที่ 4-4 ผลการทำการทดสอบค่าความละเอียดของขนาดคละของตัวอย่างวัตถุดิบ พบว่าค่าความละเอียด F.M. =2.06 และจากการวิเคราะห์ Gage R&R ด้วยโปรแกรม Minitab พบว่าค่าความผันแปรจากระบบการวัด %Repeatability ในแต่ละค่าของขนาดตะแกรงร่อนได้ค่าเฉลี่ยดังนี้ 13.77%,10.58%,22.96%,28.13%,14.87% ซึ่งในแต่ละขนาดตะแกรงร่อนมีค่าน้อยกว่าเกณฑ์การยอมรับที่ 30% จึงสรุปว่าระบบการวัดมีความผันแปรไม่สูงเกินกว่าที่จะยอมรับได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.1.4 ผลทดสอบขนาดคละของหินฝุ่น

จากการตรวจสอบขนาดคละของวัตถุดิบหินฝุ่น โดยการสุ่มตัวอย่างจากกองวัตถุดิบ 10 ครั้ง และนำมาหาค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างที่ได้ พบว่าจากการใช้เครื่องทดสอบขนาดคละตัวอย่างของหินฝุ่น ด้วยตะแกรงร่อนขนาด 9.5 มิลลิเมตร , 4.75 มิลลิเมตร,2.36 มิลลิเมตร,1.18 มิลลิเมตร,600 ไมครอน ,300 ไมครอน และ 150 ไมครอน ดังรูปที่ 4-5



รูปที่ 4- 5 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของขนาดคละของหินฝุ่น

จากรูปที่ 4-5 ผลการทดสอบขนาดคละของตัวอย่างวัตถุดิบพบว่าค่าเฉลี่ยความละเอียดของหินฝุ่นมีค่าขนาดคละความละเอียดที่ F.M. =3.93 และผลการวิเคราะห์ค่า Gage R&R ด้วยโปรแกรม Minitab พบว่าความผันแปรจากระบบการวัด %Repeatability ในแต่ละค่าของขนาดตะแกรงร่อนได้ค่า ดังนี้ 21.39%,28.24%,18.57%,14.76%,25.54% ซึ่งในแต่ละขนาดตะแกรงร่อนมีค่าน้อยกว่าเกณฑ์การยอมรับที่ 30% จึงสรุปว่าระบบการวัดมีความผันแปรไม่สูงเกินกว่าที่จะยอมรับได้

4.2 วิเคราะห์การวัดระบบการชั่งตวงวัตถุดิบ

ระบบการวัดเป็นปัจจัยหนึ่งซึ่งทำให้เกิดความผันแปรต่อค่าการวัด ถ้าความผันแปรที่วัดได้จริงมาจากระบบการวัดมากเกินไปอาจส่งผลให้สรุปปัญหาผิดพลาดได้ ดังนั้นการวิเคราะห์ระบบการวัดมีจุดประสงค์สำคัญเพื่อการวิเคราะห์ถึงแหล่งของความคลาดเคลื่อนของระบบการวัด เช่น พนักงาน เครื่องมือวัด ชิ้นงานที่ทำการวัด ในการที่จะนำข้อมูลที่มีอยู่มาทำการวิเคราะห์ด้วยสถิติ หรือ การทดสอบสมมุติฐานนั้น จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์และปรับปรุงระบบการวัดให้มีประสิทธิผลเพียงพอแก่การยอมรับทางสถิติก่อน จึงสามารถทำการวิเคราะห์กระบวนการได้ โดยการวิเคราะห์ระบบการวัดการชั่งวัตถุดิบ มีดังนี้

4.2.1 การวิเคราะห์การวัดเครื่องชั่งวัตถุดิบ

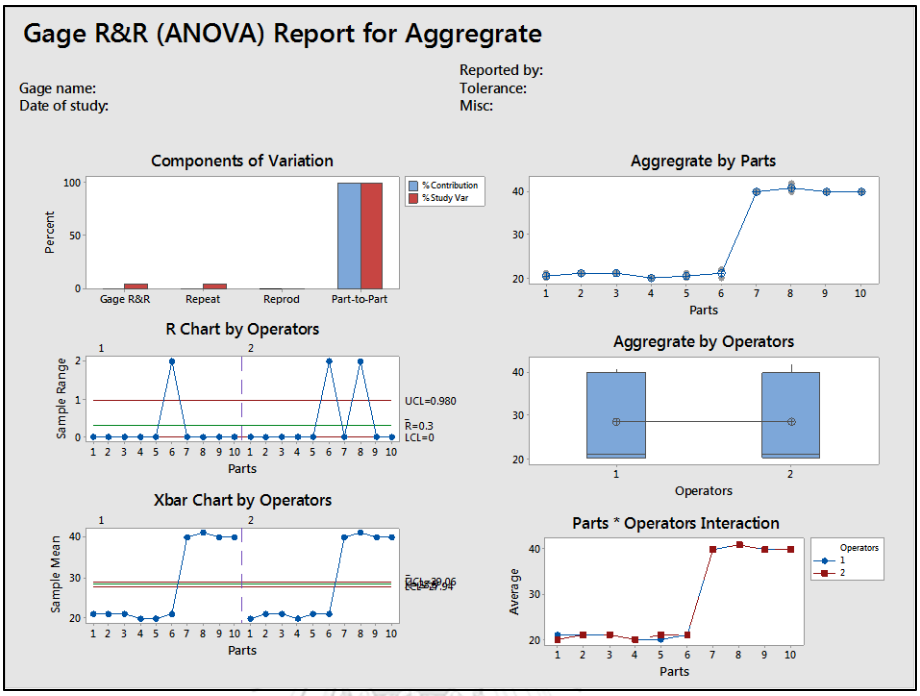
การตรวจสอบการวัดของระบบการชั่งน้ำหนักวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตคอนกรีต ซึ่งประกอบด้วยเครื่องชั่งหินทราย ปูนซีเมนต์ และน้ำ นั้น จะทำการใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 20 กิโลกรัม ทำการทดสอบบนเครื่องชั่งและทำการอ่านค่าน้ำหนักที่ได้ผ่านหน้าจอดิจิตอล โดยขั้นตอนในการวิเคราะห์ระบบการวัด มีขั้นตอนการปฏิบัติดังนี้

1) กำหนดน้ำหนักในการทดสอบ 10 ครั้ง โดยแบ่งเป็นที่ น้ำหนักมาตรฐาน 20 กิโลกรัม 6 ครั้ง และ นากหนักมาตรฐาน 40 กิโลกรัม 4 ครั้ง
2) เลือกพนักงานจำนวน 2 คน มาทำการอ่านค่าและบันทึกผลการทดสอบระบบเครื่องชั่ง ซึ่งเป็นพนักงานที่ผ่านการอบรมการใช้เครื่องมือวัดมาแล้ว
3) กำหนดโดยใช้น้ำหนักตัวอย่าง 10 ชิ้น และจำนวนในการทดสอบซ้ำและสุ่มชิ้นงานตัวอย่าง คนละ 2 ซ้ำ
4) วิเคราะห์และสรุปผลการวิเคราะห์ระบบการวัด

จากการนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab เพื่อวิเคราะห์ถึงคุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัดโดยเริ่มจากการตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลการวัด ดังนี้

Chulalongkorn University

4.2.1.1 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดเครื่องชั่งหินทราย



รูปที่ 4- 6 ผลจากการประมวลด้วยโปรแกรม Minitab สำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัด

- พิจารณาจากแผนภูมิ R พบว่าระบบการวัดเครื่องชั่งซีเมนต์มีความสามารถในการแยกความแตกต่างได้ดี โดยจากแผนภูมิพบว่าค่าพิสัยแต่ละค่ายังมีความสม่ำเสมอ
- พิจารณาจากแผนภูมิ X-Bar พบว่าค่าความผันแปรที่มีสาเหตุมาจากระบบการวัดมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความผันแปรที่มีสาเหตุมาจากกระบวนการ
- พิจารณาจากแผนภูมิแสดงอิทธิพลร่วม (interaction) ระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงานซึ่งจากแผนภูมิพบว่าไม่มีเส้นกราฟที่ตัดกันแสดงว่าระบบการวัดไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงาน

เมื่อวิเคราะห์คุณสมบัติของข้อมูลพบว่าเป็นไปตามเกณฑ์ทั้ง 3 ประเด็น ดังนั้นแล้วจึงสามารถวิเคราะห์ต่อในส่วนของ session ได้ ซึ่งส่วนหลักคือ ndc, MSE และ MSA จากการวิเคราะห์และประเมินสมบัติด้านความแม่นยาโดยวิธี ANOVA ได้ผลดังรูปที่ 4-7 ดังนี้

Gage R&R for Aggregate

Gage R&R Study - ANOVA Method

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	3688	409.778	1844.00	0.000
Operators	1	0	0.000	0.00	1.000
Parts * Operators	9	2	0.222	0.74	0.669
Repeatability	20	6	0.300		
Total	39	3696			

α to remove interaction term = 0.05

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	3688	409.778	1485.44	0.000
Operators	1	0	0.000	0.00	1.000
Repeatability	29	8	0.276		
Total	39	3696			

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.276	0.27
Repeatability	0.276	0.27
Reproducibility	0.000	0.00
Operators	0.000	0.00
Part-To-Part	102.375	99.73
Total Variation	102.651	100.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.5252	3.1514	5.18
Repeatability	0.5252	3.1514	5.18
Reproducibility	0.0000	0.0000	0.00
Operators	0.0000	0.0000	0.00
Part-To-Part	10.1181	60.7085	99.87
Total Variation	10.1317	60.7902	100.00

Number of Distinct Categories = 27

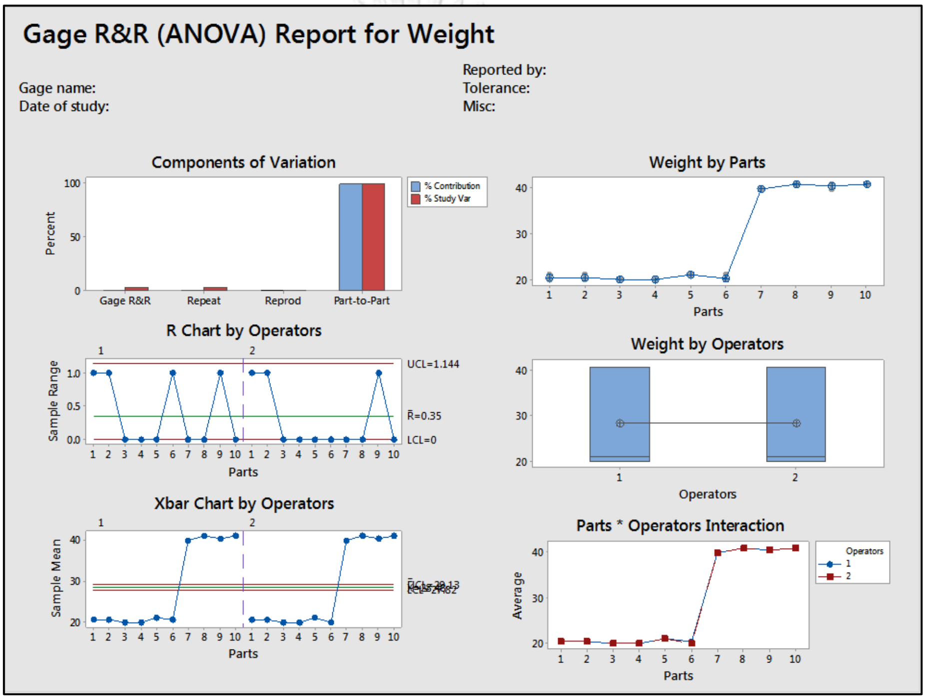
รูปที่ 4- 7 ผลจากการประมวลด้วยโปรแกรม Minitab สำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัด

- พิจารณาค่า ndc มีค่าเท่ากับ 27 แสดงว่าระบบการวัดเครื่องหินทราย มีคุณสมบัติแยกข้อมูลที่วัดได้ออกเป็น 27 ประเภทที่มีความแตกต่างกันแสดงว่าข้อมูลที่วัดได้จากระบบการวัดใช้ประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการได้

- พิจารณา % study variation พบว่าความผันแปรจากระบบการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (%SV หรือ P/TV) คิดเป็น 5.18% น้อยกว่าเกณฑ์การยอมรับที่ 30% จึงสรุปว่าระบบการวัดมีความผันแปรไม่สูงเกินกว่าที่จะยอมรับได้

ดังนั้นหลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์ระบบการวัดแล้วพบว่า ระบบการวัดที่จะทำให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่จะนำไปวิเคราะห์เพื่อการตัดสินใจในโครงการวิจัยนี้มีความน่าเชื่อถือ และสามารถนำมาใช้ในการทำการวัดในโครงการวิจัยนี้ได้

4.2.1.2 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดเครื่องชั่งซีเมนต์



รูปที่ 4- 8 ผลจากการประมวลด้วยโปรแกรม Minitab สำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัด

- พิจารณาจากแผนภูมิ R พบว่าระบบการวัดเครื่องชั่งซีเมนต์มีความสามารถในการแยกความแตกต่างได้ดี โดยจากแผนภูมิพบว่าค่าพิสัยแต่ละค่ายังมีความสม่ำเสมอ
- พิจารณาจากแผนภูมิ X-Bar พบว่าค่าความผันแปรที่มีสาเหตุมาจากระบบการวัดมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความผันแปรที่มีสาเหตุมาจากกระบวนการ
- พิจารณาจากแผนภูมิแสดงอิทธิพลร่วม (interaction) ระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงาน ซึ่งจากแผนภูมิพบว่าไม่มีเส้นกราฟที่ตัดกันแสดงว่าระบบการวัดไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงาน

เมื่อวิเคราะห์คุณสมบัติของข้อมูลพบว่าเป็นไปตามเกณฑ์ทั้ง 3 ประเด็น ดังนั้นแล้วจึงสามารถวิเคราะห์ต่อในส่วนของ session ได้ ซึ่งส่วนหลักคือ ndc, MSE และ MSA จากการวิเคราะห์ประเมินสมบัติด้านความแม่นยาโดยวิธี ANOVA ได้ผลดังรูปที่ 4-9

Gage R&R for Cement

Gage R&R Study - ANOVA Method

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	3942.22	438.025	17521.0	0.000
Operators	1	0.03	0.025	1.0	0.343
Parts * Operators	9	0.23	0.025	0.1	0.997
Repeatability	20	3.50	0.175		
Total	39	3945.98			

α to remove interaction term = 0.05

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	3942.22	438.025	3410.13	0.000
Operators	1	0.03	0.025	0.19	0.662
Repeatability	29	3.73	0.128		
Total	39	3945.98			

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.128	0.12
Repeatability	0.128	0.12
Reproducibility	0.000	0.00
Operators	0.000	0.00
Part-To-Part	109.474	99.88
Total Variation	109.603	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (100 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.3584	35.84	3.42
Repeatability	0.3584	35.84	3.42
Reproducibility	0.0000	0.00	0.00
Operators	0.0000	0.00	0.00
Part-To-Part	10.4630	1046.30	99.94
Total Variation	10.4691	1046.91	100.00

Number of Distinct Categories = 41

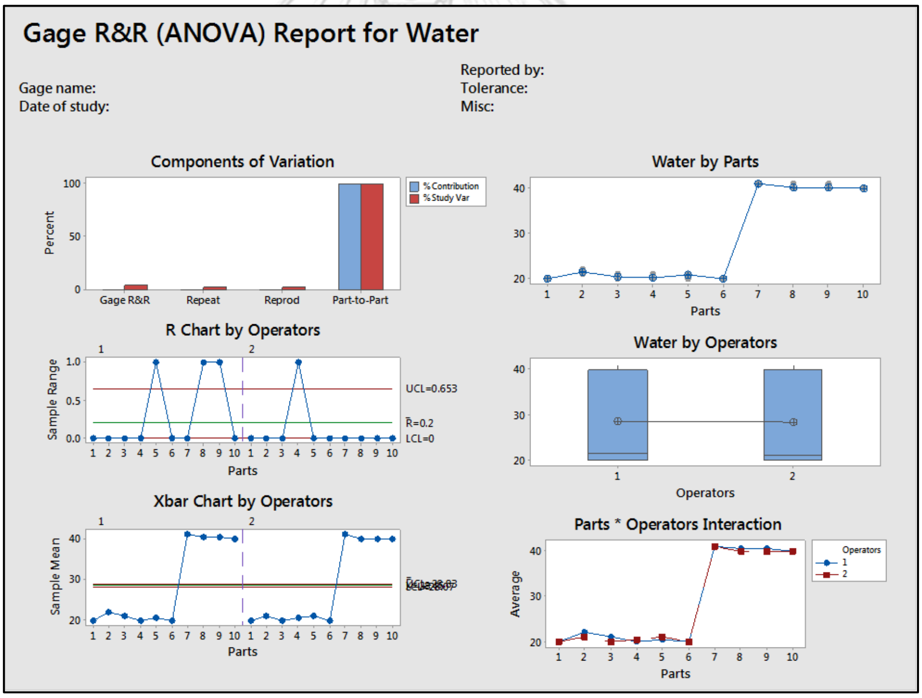
รูปที่ 4- 9 ผลจากการประมวลด้วยโปรแกรม Minitab สำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- พิจารณาค่า ndc มีค่าเท่ากับ 41 แสดงว่าระบบการวัดเครื่องชั่งซีเมนต์ มีคุณสมบัติแยกข้อมูลที่วัดได้ออกเป็น 41 ประเภทที่มีความแตกต่างกันแสดงว่าข้อมูลที่วัดได้จากระบบการวัดใช้ประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการได้
- พิจารณา % study variation พบว่าความผันแปรจากระบบการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (%SV หรือ P/TV) คิดเป็น 3.42% น้อยกว่าเกณฑ์การยอมรับที่ 30% จึงสรุปว่าระบบการวัดมีความผันแปรไม่สูงเกินกว่าที่จะยอมรับได้

ดังนั้นหลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์ระบบการวัดแล้วพบว่า ระบบการวัดที่จะทำให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่จะนำไปวิเคราะห์เพื่อการตัดสินใจในโครงการวิจัยนี้มีความน่าเชื่อถือ และสามารถนำมาใช้ในการทำการวัดในโครงการวิจัยนี้ได้

4.2.1.3 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดเครื่องชั่งน้ำ



รูปที่ 4- 10 ผลจากการประมวลด้วยโปรแกรม Minitab สำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัด

- พิจารณาจากแผนภูมิ R พบว่าระบบการวัดเครื่องชั่งน้ำมีความสามารถในการแยกความแตกต่างได้ดี โดยจากแผนภูมิพบว่าค่าพิสัยแต่ละค่ายังมีความสม่ำเสมอ
- พิจารณาจากแผนภูมิ X-Bar พบว่าค่าความผันแปรที่มีสาเหตุมาจากระบบการวัดมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความผันแปรที่มีสาเหตุมาจากกระบวนการ

- พิจารณาจากแผนภูมิแสดงอิทธิพลร่วม (interaction) ระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงานซึ่งจากแผนภูมิพบว่าไม่มีเส้นกราฟที่ตัดกันแสดงว่าระบบการวัดไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงาน

เมื่อวิเคราะห์คุณสมบัติของข้อมูลพบว่าเป็นไปตามเกณฑ์ทั้ง 3 ประเด็น ดังนั้นแล้วจึงสามารถวิเคราะห์ต่อในส่วนของ session ซึ่งส่วนหลักคือ ndc, MSE และ MSA จากการวิเคราะห์และเมื่อทำประเมินสมบัติด้านความแม่นยาโดยวิธี ANOVA ได้ผลดังรูปที่ 4-11

Gage R&R for Water

Gage R&R Study - ANOVA Method

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	3800.9	422.322	1461.88	0.000
Operators	1	0.4	0.400	1.38	0.269
Parts * Operators	9	2.6	0.289	2.89	0.023
Repeatability	20	2.0	0.100		
Total	39	3805.9			

α to remove interaction term = 0.05

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.200	0.19
Repeatability	0.100	0.09
Reproducibility	0.100	0.09
Operators	0.006	0.01
Operators*Parts	0.094	0.09
Part-To-Part	105.508	99.81
Total Variation	105.708	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.4472	2.6833	4.35
Repeatability	0.3162	1.8974	3.08
Reproducibility	0.3162	1.8974	3.08
Operators	0.0745	0.4472	0.72
Operators*Parts	0.3073	1.8439	2.99
Part-To-Part	10.2717	61.6303	99.91
Total Variation	10.2815	61.6887	100.00

Number of Distinct Categories = 32

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4- 11 ผลจากการประมวลด้วยโปรแกรม Minitab สำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัด

- พิจารณาค่า ndc มีค่าเท่ากับ 32 แสดงว่าระบบการวัดเครื่องชั่งน้ำ มีคุณสมบัติแยกข้อมูลที่วัดได้ออกเป็น 32 ประเภทที่มีความแตกต่างกันแสดงว่าข้อมูลที่วัดได้จากระบบการวัดใช้ประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการได้
- พิจารณา % study variation พบว่าความผันแปรจากระบบการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (%SV หรือ P/TV) คิดเป็น 4.35% น้อยกว่าเกณฑ์การยอมรับที่ 30% จึงสรุปว่าระบบการวัดมีความผันแปรไม่สูงเกินกว่าที่จะยอมรับได้

ดังนั้นหลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์ระบบการวัดแล้วพบว่า ระบบการวัดที่จะทำให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่จะนำไปวิเคราะห์เพื่อการตัดสินใจในโครงการวิจัยนี้มีความน่าเชื่อถือ และสามารถนำมาใช้ในการทำการวัดในโครงการวิจัยนี้ได้

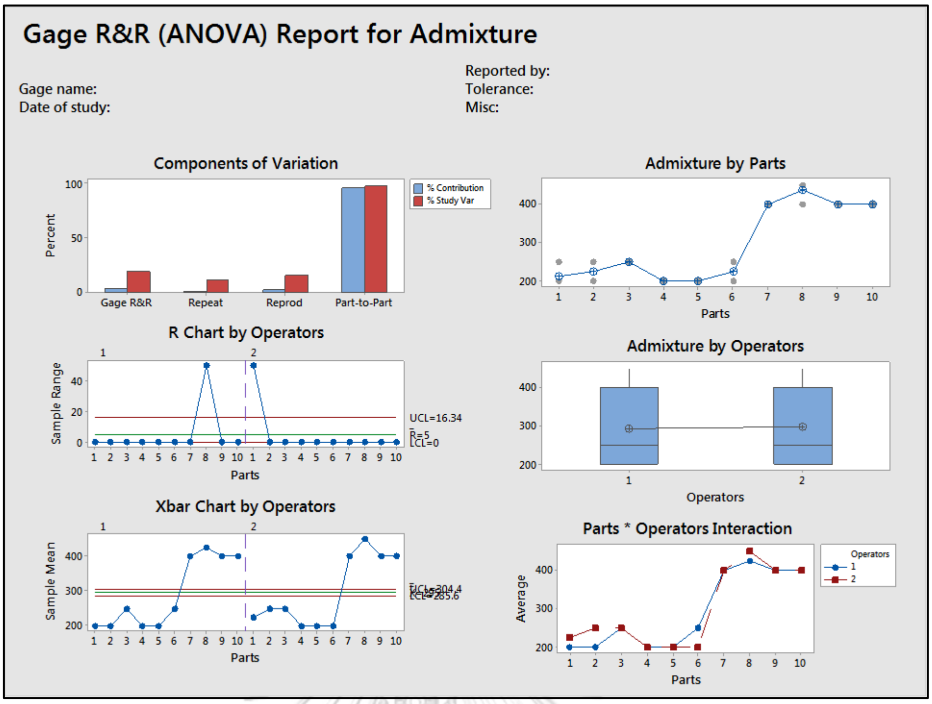
4.2.1.4 การวิเคราะห์การวัดระบบตวงน้ำยาผสมคอนกรีต

การตรวจสอบการวัดของระบบการตวงน้ำยาผสมคอนกรีตนั้น จะทำการใช้กระบอกตวงมาตรฐานมาทำการตวงน้ำยาที่ใช้ผสมคอนกรีต โดยขั้นตอนในการทดสอบการตวงน้ำยามีขั้นตอนดังนี้

1) กำหนดปริมาณในการทดสอบ 10 ครั้ง โดยแบ่งเป็นที่ ปริมาณน้ำยา 200 มิลลิลิตร 6 ครั้ง และ 400 มิลลิลิตร 4 ครั้ง
2) เลือกพนักงานจำนวน 2 คน มาทำการอ่านค่าและบันทึกผลการอ่านค่าจากระบบเป็นพนักงานที่ผ่านการอบรมการใช้เครื่องมือวัดมาแล้ว
3) กำหนดโดยใช้ปริมาณน้ำยาตัวอย่าง 10 ครั้ง และ จำนวนในการทดสอบซ้ำ คนละ 2 ซ้ำ
4) วิเคราะห์และสรุปผลการวิเคราะห์ระบบการวัด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab เพื่อวิเคราะห์ถึงคุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัดโดยเริ่มจากการตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลการวัดจากรูปที่ 4-12



รูปที่ 4- 12 ผลจากการประมวลด้วยโปรแกรม Minitab สำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัด

- พิจารณาจากแผนภูมิ R พบว่าระบบการวัดระบบตวงน้ำยาผสมคอนกรีตมีความสามารถในการแยกความแตกต่างได้ดี โดยจากแผนภูมิพบว่าค่าพิสัยแต่ละค่ายังมีความสม่ำเสมอ
- พิจารณาจากแผนภูมิ X-Bar พบว่าค่าความผันแปรที่มีสาเหตุมาจากระบบการวัดมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความผันแปรที่มีสาเหตุมาจากกระบวนการ
- พิจารณาจากแผนภูมิแสดงอิทธิพลร่วม (interaction) ระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงานซึ่งจากแผนภูมิพบว่าไม่มีเส้นกราฟที่ตัดกันแสดงว่าระบบการวัดไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงาน

CHULALONGKORN UNIVERSITY

เมื่อวิเคราะห์คุณสมบัติของข้อมูลพบว่าเป็นไปตามเกณฑ์ทั้ง 3 ประเด็น ดังนั้นแล้วจึงสามารถทำการวิเคราะห์ต่อในส่วนของ session ได้ ซึ่งส่วนหลัก คือ ndc, MSE และ MSA จากการวิเคราะห์และประเมินสมบัติด้านความแม่นยาโดยวิธี ANOVA ได้ผลดังรูปที่ 4-13

Gage R&R for Admixture

Gage R&R Study - ANOVA Method

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	360250	40027.8	60.0417	0.000
Operators	1	250	250.0	0.3750	0.555
Parts * Operators	9	6000	666.7	5.3333	0.001
Repeatability	20	2500	125.0		
Total	39	369000			

α to remove interaction term = 0.05

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	395.8	3.87
Repeatability	125.0	1.22
Reproducibility	270.8	2.65
Operators	0.0	0.00
Operators*Parts	270.8	2.65
Part-To-Part	9840.3	96.13
Total Variation	10236.1	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	19.896	119.373	19.66
Repeatability	11.180	67.082	11.05
Reproducibility	16.457	98.742	16.27
Operators	0.000	0.000	0.00
Operators*Parts	16.457	98.742	16.27
Part-To-Part	99.198	595.189	98.05
Total Variation	101.174	607.042	100.00

Number of Distinct Categories = 7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4- 13 ผลจากการประมวลด้วยโปรแกรม Minitab สำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัด

จากการนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab เพื่อวิเคราะห์ถึงคุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัดโดยเริ่มจากการตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลการวัดเป็น ดังนี้

- พิจารณาค่า ndc มีค่าเท่ากับ 7 แสดงว่าระบบการวัดปริมาณน้ำยา มีคุณสมบัติแยกข้อมูลที่วัดได้ออกเป็น 7 ประเภทที่มีความแตกต่างกันแสดงว่าข้อมูลที่วัดได้จากระบบการวัดใช้ประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการได้
- พิจารณา % study variation พบว่าความผันแปรจากระบบการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (%SV หรือ P/TV) คิดเป็น 19.66% น้อยกว่าเกณฑ์การยอมรับที่ 30% จึงสรุปว่าระบบการวัดมีความผันแปรไม่สูงเกินกว่าที่จะยอมรับได้

ดังนั้นหลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์ระบบการวัดแล้วพบว่า ระบบการวัดที่จะทำให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่จะนำไปวิเคราะห์เพื่อการตัดสินใจในโครงการวิจัยนี้มีความน่าเชื่อถือ และสามารถนำมาใช้ในการทำการวัดในโครงการวิจัยนี้ได้

4.3 สรุประยะตรวจวัดปัญหา

ในขั้นตอนนี้ จะเริ่มต้นด้วยการตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบค่าขนาดคละของวัตถุดิบที่นำมาใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตผสมเสร็จโดยการสุ่มวัตถุดิบ และมาทดสอบ 10 ครั้งเพื่อทำการทดสอบขนาดคละและได้ค่าเฉลี่ยค่าความละเอียด (Fineness Modulus) F.M. ของแต่ละวัตถุดิบ และเปอร์เซ็นต์ความผันแปรรีพีททะบิริตี้ ซึ่งมีเกณฑ์การยอมรับได้ต้องไม่มากกว่า 30% โดยการตรวจสอบนี้ทำเพื่อให้เกิดความมั่นใจในระบบการตรวจสอบวัตถุดิบที่จะนำมาทดการออกแบบการทดลอง ซึ่งผลการตรวจสอบมีค่าที่น้อยกว่าเกณฑ์การยอมรับที่ 30% จึงสรุปได้ว่าความสามารถของระบบการวัดวัตถุดิบอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

จากนั้นทำการวิเคราะห์ระบบการวัดการชั่งตวงวัตถุดิบ โดยทำการนำตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่ 20 กิโลกรัม และกระบอกตวงน้ำยามาตรฐาน มาทำการทดสอบระบบชั่งและตวงวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตคอนกรีต ซึ่งมีเกณฑ์การยอมรับได้ต้องไม่มากกว่า 30% โดยการตรวจสอบนี้ทำเพื่อให้เกิดความมั่นใจในระบบการตรวจสอบวัตถุดิบที่จะนำมาทดการออกแบบการทดลอง ซึ่งผลการตรวจสอบมีค่าที่น้อยกว่าเกณฑ์การยอมรับที่ 30% จึงสรุปได้ว่าความสามารถของระบบการวัดการชั่งและตวงวัตถุดิบอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5

ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา(Analysis Phase)

ในบทนี้เป็นการนำปัจจัยที่ได้จากการคัดเลือกโดยการระดมสมองของทีมงาน มาทำการวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ ซึ่งประกอบไปด้วยการตั้งสมมุติฐาน ทดสอบสมมุติฐาน และสรุปผลการทดลอง เพื่อที่จะนำผลของการวิเคราะห์ของแต่ละปัจจัยมายืนยันว่าปัจจัยทั้ง 4 ที่ผ่านการระดมสมองและรวบรวมความคิดจากทีมงาน การใช้แผนภูมิก้างปลา การใช้ Cause and Effect Matrix ว่าปัจจัยเหล่านี้ มีผลต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีต

โดยปัจจัยที่เกิดจากการรวบรวมความคิดจากทีมงานโดยผ่านเครื่องมือต่างๆ นั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะใช้ในการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา เพื่อให้สามารถสรุปได้อย่างแน่ชัดว่า ปัจจัยทั้ง 4 ซึ่งประกอบด้วย ปริมาณปูนซีเมนต์ สัดส่วนหินฝุ่นต่อทราย สัดส่วนขนาดหิน#3/4 นิ้วต่อหินขนาด #3/8 นิ้ว และปริมาณน้ำ ในการผสมคอนกรีต ว่าสัดส่วนดังกล่าวมีผลต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีต

5.1 การระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้า

การระดมสมองดำเนินการโดยทีมงานที่ได้คัดเลือกผู้ที่มีคุณสมบัติด้านการศึกษาระดับปริญญาตรี และมีประสบการณ์การทำงานมากกว่า 10 ปี ซึ่งมีความชำนาญและเกี่ยวข้องกับการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จโดยตรง ซึ่งได้กำหนดไว้ในระยะนิยามปัญหาแล้ว จะประกอบไปด้วยผู้จัดการโรงงาน วิศวกรโยธา พนักงานผลิต พนักงานคุณภาพ และผู้วิจัย ซึ่งจะมีขั้นตอนดำเนินการระดมสมองเพื่อหาปัจจัยดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1) ใช้แผนภูมิก้างปลา ในการเริ่มต้นระดมสมองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการรับแรงของกำลังอัดคอนกรีต
2) จากนั้นนำปัจจัยที่ได้จากแผนภูมิก้างปลา มาคัดกรองด้วย Cause and Effect Matrix เพื่อให้ได้ปัจจัยที่ส่งผลต่อการรับแรงอัดของคอนกรีตโดยวิธีการเรียงลำดับคะแนน

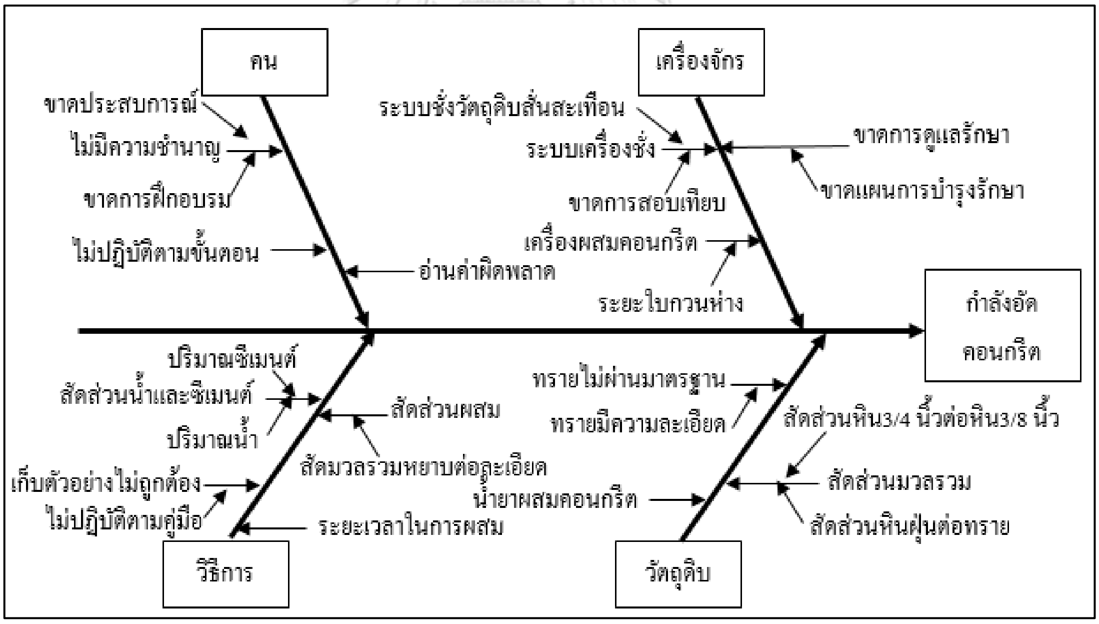
โดยในขั้นตอนการระดมสมองทางทีมงานได้ใช้ขั้นตอนคู่มือมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตผสมเสร็จ และประสบการณ์จากการปฏิบัติงานมาเป็นแนวทางในการใช้ในการระดมสมองเพื่อดำเนินการหาปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพในการรับแรงอัดคอนกรีต

5.1.1 การหาปัจจัยโดยใช้แผนภูมิก้างปลา

ขั้นตอนนี้เริ่มต้นโดยการระดมสมอง จากทีมงานที่ได้คัดเลือกมา ซึ่งทีมงานมีความรู้และประสบการณ์ที่เกี่ยวกับการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จของโรงงานกรณีศึกษาในการแยกแยะปัญหาที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อการรับแรงของคอนกรีตที่มีการใช้หินฝุ่นมาเป็นสัดส่วนผสมในคอนกรีต จะสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

1) คน
2) เครื่องจักร
3) เครื่องมือวัด
4) วิธีการ

จากผลของการใช้แผนภูมิก้างปลา (Cause and Effect Diagram) ดังรูปที่ 43 จะทำให้พบว่าสาเหตุของปัญหาค่ากำลังอัดคอนกรีตที่ต่ำกว่ามาตรฐาน สามารถเกิดได้จากตัวพนักงาน เครื่องจักร สัดส่วนวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตคอนกรีต



รูปที่ 5- 1 การวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้แผนภูมิก้างปลา

5.1.2 ตารางแสดงความสำพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix)

จากการระดมสะมองโดยการใช้แผนภูมิก้างปลา จะได้ปัจจัยที่จะก่อให้เกิดปัญหาต่อคุณภาพของคอนกรีตเป็นจำนวน 17 ปัจจัย จากนั้นจึงนำปัจจัยเหล่านั้นมาวิเคราะห์หาความสำพันธ์ของสาเหตุและผล โดยใช้ตารางแสดงความสำพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) ดังแสดงในตารางที่ 4 โดยมีการกำหนดระดับคะแนนความสำพันธ์มีค่า 1-10 โดยกำหนดคะแนนความสำพันธ์ ดังนี้

10 = มีผลกระทบต่อการรับแรงอัดของคอนกรีตอย่างมากที่สุด

1 = มีผลกระทบต่อการรับแรงอัดของคอนกรีตอย่างน้อยที่สุด

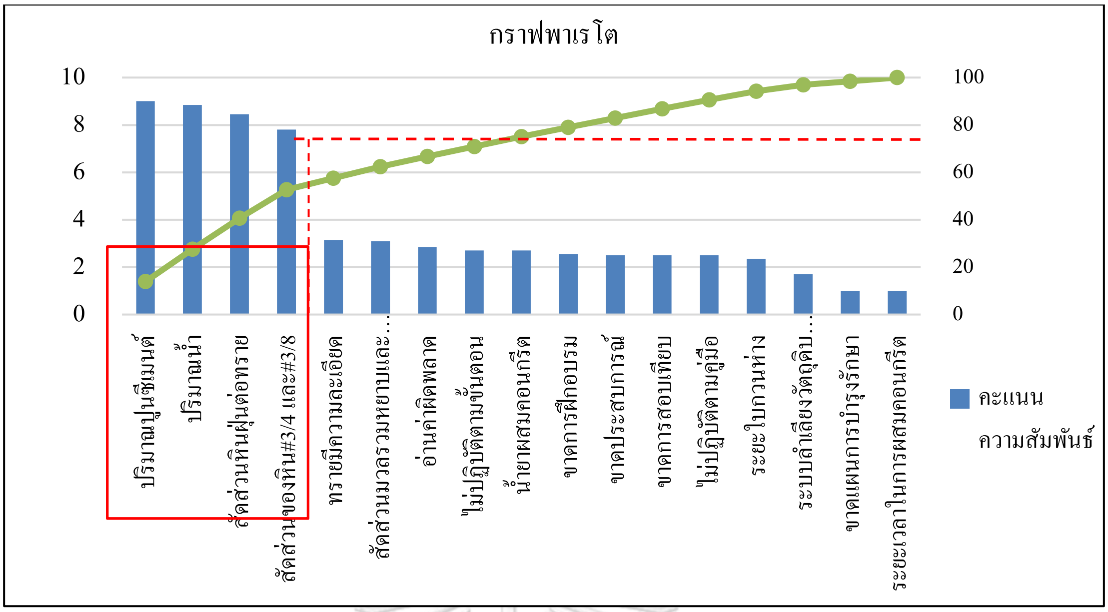
ตารางที่ 5- 1 เกณฑ์การประเมินผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

ความรุนแรง	คำอธิบาย	คะแนน
สูงมาก	กระทบต่อความปลอดภัยเมื่อมีการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้งาน	10
	ผลิตภัณฑ์ไม่สามารถใช้งานได้หรือไม่สามารถนำมาแก้ไขได้	9
สูง	ผลิตภัณฑ์ไม่สามารถใช้งานได้แต่สามารถนำมาแก้ไขได้	8
	ผลิตภัณฑ์อาจจะไม่สามารถใช้งานได้แต่สามารถนำมาแก้ไขได้	7
ปานกลาง	มีผลปานกลางต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ไม่สามารถส่งผลิตภัณฑ์ให้แก่ลูกค้าได้ (สามารถนำไปปรับปรุงและขายเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น)	6
	มีผลปานกลางต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ อาจจะไม่สามารถส่งขายได้	5
	มีผลปานกลางต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ อาจจะสามารถส่งขายได้	4
น้อย	มีผลเล็กน้อยต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์	3
	อาจจะมีผลเล็กน้อยต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์	2
น้อยมาก	ไม่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์	1

ตารางที่ 5- 2 ตารางความสำพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix)

ลำดับ	สาเหตุ	ปัจจัยนำเข้า	คะแนนความสัมพันธ์
1	คน	ขาดการฝึกอบรม	13
		อ่านค่าผิดพลาด	14
		ไม่ปฏิบัติตามขั้นตอน	13
		ขาดประสบการณ์	12
2	เครื่องจักร	ระบบลำเลียงวัตถุดิบสั่นสะเทือน	8
		ขาดแผนการบำรุงรักษา	5
		ระยะใบกวนห่าง	11
		ขาดการสอบเทียบระบบเครื่องชั่ง	12
3	วัตถุดิบ	ทรายมีความละเอียด	15
		สัดส่วนหินฝุ่นต่อทราย	42
		น้ำยาผสมคอนกรีต	13
		สัดส่วนของหิน #3/4 และ #3/8	39
4	วิธีการ	ไม่ปฏิบัติตามคู่มือการเก็บตัวอย่างคอนกรีต	13
		สัดส่วนของมวลรวมหยาบและละเอียด	15
		ปริมาณปูนซีเมนต์ในการผสมคอนกรีต	45
		ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีต	44
		ระยะเวลาในการผสมคอนกรีต	5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 5- 2 แผนภูมิพาเรโตเรียงตามคะแนนความสัมพันธ์ (Cause and Effect Matrix)

จากแผนภูมิพาเรโต รูปที่ 5-2 จะเห็นได้ว่ามีจำนวน 4 ปัจจัยที่มีค่าคะแนนความสัมพันธ์สูงกว่าปัจจัยอื่น ๆ อย่างโดดเด่น จึงคัดเลือกปัจจัยดังกล่าวเพื่อมาทำการวิเคราะห์ดังตารางที่ 5-3

ตารางที่ 5- 3 ปัจจัยและระดับต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัย (Factor)	รหัส (Code)	ระดับของปัจจัย (Level)
ปริมาณปูนซีเมนต์ (A)	1	ปูนซีเมนต์ 295 กก.
	0	ปูนซีเมนต์ 285 กก.
	-1	ปูนซีเมนต์ 275 กก.
สัดส่วนหินฝุ่นต่อทราย (B)	1	ปริมาณหินฝุ่น 263 กก.และทราย 612 กก.
	0	ปริมาณหินฝุ่น 175 กก.และทราย 700 กก.
	-1	ปริมาณหินฝุ่น 0 กก.และทราย 875 กก.
สัดส่วนหิน#3/4 นิ้ว ต่อหิน #3/8 นิ้ว (C)	1	ปริมาณหิน#38 327 กก.และหิน#34 763 กก.
	0	ปริมาณหิน#38 218 กก.และหิน#34 872 กก.
	-1	ปริมาณหิน#38 0 กก.และหิน#34 1090 กก.
ปริมาณน้ำ (D)	1	185 กก.
	0	175 กก.
	-1	165 กก.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 5-3 แสดงปัจจัยที่ถูกคัดเลือกมา โดยการพิจารณาจากการจัดเรียงคะแนนความสัมพันธ์โดยพาเรโต ซึ่งจากการพิจารณาปัจจัยทั้ง 4 ได้แก่ ปริมาณปูนซีเมนต์ สัดส่วนหินฝุ่นต่อทราย สัดส่วนหิน#3/4 ต่อหิน #3/8 และ ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต สามารถคิดได้เป็น 52.7 % ของคะแนนรวมทั้งหมด

5.2 ปัจจัยที่นำมาทำการวิเคราะห์

จากบทที่แล้ว ในระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหานั้น เมื่อได้ทำการวิเคราะห์จนสามารถทำการสรุปได้ว่าปัจจัยที่อาจจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตมีจำนวน 4 ปัจจัย ได้แก่

1. ปริมาณปูนซีเมนต์
2. สัดส่วนหินฝุ่นต่อทราย
3. สัดส่วนหิน#3/4 ต่อหิน #3/8
4. ปริมาณน้ำ

โดยจะนำปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยนี้ไปทำการทดสอบสมมุติฐานเพื่อสรุปผลว่าแต่ละปัจจัยนั้นมีผลต่อค่าการรับแรงอัดของคอนกรีตมากน้อยเพียงใด โดยจะทำการทดสอบโดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น 2 กลุ่ม เพื่อทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบ จากนั้นทำการวิเคราะห์และสรุปผลของการทดสอบสมมุติฐานในแต่ละปัจจัยที่กล่าวข้างต้น

5.3 การทดสอบสมมุติฐาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ในที่นี้การทดสอบสมมุติฐาน จะทำเพื่อยืนยันว่าปัจจัยที่ผ่านการคัดกรองโดยเครื่องมือต่างๆ นั้น มีอิทธิพลต่อค่าการรับแรงอัดของคอนกรีต โดยการทำการทดสอบสมมุติฐานเป็นการยืนยันว่าในแต่ละปัจจัยนั้นมีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตหรือไม่

5.3.1ปริมาณปูนซีเมนต์

ในที่นี้จะเป็นการใช้ปูนซีเมนต์ผสมในสูตรการผลิตคอนกรีตต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร โดยจะทำการทดลองโดยกำหนดการใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ที่แตกต่างกันในการผสมคอนกรีตและทำการทดสอบค่าการรับแรงอัดของคอนกรีตว่ามีค่าการรับแรงอัดที่แตกต่างกันหรือไม่

สมมุติฐานที่ใช้ในการทดสอบ

H_0: $P_1=P_2$; ไม่มีความแตกต่างกันของค่าการรับแรงอัดของคอนกรีตในแต่ละปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้

H_1: $P_1\neq P_2$; มีความแตกต่างกันของค่าการรับแรงอัดของคอนกรีตในแต่ละปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้

P_1 = ค่าการรับแรงอัดของคอนกรีตที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 275 กิโลกรัม

P_2 = ค่าการรับแรงอัดของคอนกรีตที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 295 กิโลกรัม

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางที่ 5- 4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้

Two-Sample T-Test and CI: Cement 275, Cement 295

```
Two-sample T for Cement 275 vs Cement 295

             N    Mean  StDev  SE Mean
Cement 275  10  261.50   2.27     0.72
Cement 295  10  285.10   4.68      1.5


Difference = μ (Cement 275) - μ (Cement 295)
Estimate for difference:  -23.60
95% CI for difference:  (-27.15, -20.05)
T-Test of difference = 0 (vs ≠): T-Value = -14.35  P-Value = 0.000  DF = 13
```

เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติโดยโปรแกรม MINITAB จะทำให้ได้ผลดังตารางที่ 5-4 ซึ่งพบว่าผลการวิเคราะห์ทางสถิติมีค่า P-Value =0.000 ทำให้ปฏิเสธสมมุติฐาน H_0 และสรุปได้ว่าปริมาณปูนซีเมนต์มีผลต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตในทิศทางที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณปูนซีเมนต์ที่มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.3.2 สัดส่วนของหินฝุ่นที่ผสมแทนทราย

ในที่นี้จะเป็นการนำหินฝุ่นเข้ามาเป็นส่วนผสมในสูตรการผลิตคอนกรีตโดยจะทำการทดสอบโดยการผสมหินฝุ่นแทนที่ทราย คิดเป็น 263 กิโลกรัม ของมวลรวมละเอียดทั้งหมดที่อยู่ที่ 875 กิโลกรัม โดยการทดสอบว่าปริมาณหินฝุ่นที่ทำการผสมลงแทนทรายที่มีค่าแตกต่างกันนั้นมีผลต่อค่าการรับแรงอัดของคอนกรีตหรือไม่

สมมุติฐานที่ใช้ในการทดสอบ

H_0: $P_1=P_2$; ไม่มีความแตกต่างกันของค่าการรับแรงอัดของคอนกรีตในแต่ละปริมาณหินฝุ่นที่ใช้

H_1: $P_1 \neq P_2$; มีความแตกต่างกันของค่าการรับแรงอัดของคอนกรีตในแต่ละปริมาณหินฝุ่นที่ใช้

P_1 = ค่าการรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมปริมาณหินฝุ่นที่ 263 กิโลกรัม

P_2 = ค่าการรับแรงอัดของคอนกรีตที่ไม่มีการผสมหินฝุ่น

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางที่ 5- 5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณหินฝุ่นที่ผสมทราย

Two-Sample T-Test and CI: Dust 263, No Dust

```
Two-sample T for Dust 263 vs No Dust

           N    Mean  StDev  SE Mean
Dust 263  10  268.60   3.31      1.0
No Dust   10  257.50   2.17     0.69


Difference = μ (Dust 263) - μ (No Dust)
Estimate for difference:  11.10
95% CI for difference:  (8.43, 13.77)
T-Test of difference = 0 (vs ≠): T-Value = 8.87  P-Value = 0.000  DF = 15
```

เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติโดยโปรแกรม MINITAB จะทำให้ได้ผลดังตารางที่ 5-5 ซึ่งพบว่าผลการวิเคราะห์ทางสถิติมีค่า P-Value =0.000 ทำให้ปฏิเสธสมมุติฐาน H_0 และสรุปได้ว่าปริมาณหินฝุ่นที่ผสมแทนทรายมีผลต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตในทิศทางที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.3.3 สัดส่วนของหิน#3/4 นิ้วและหิน#3/8นิ้ว

สัดส่วนของหิน#3/4 นิ้วและหิน#3/8นิ้วที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ทางผู้วิจัยเลือกใช้หินเพียง 2 ขนาดมาทำการออกแบบการทดลองเนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่ายในพื้นที่ไม่เกิดปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบ ดังนั้นในการทดสอบเพื่อตรวจสอบว่าปริมาณสัดส่วนผสมที่ไม่เหมือนกันระหว่างหิน #3/4 นิ้ว และ หิน #3/8 นิ้ว โดยมวลรวมของหินทั้ง 2 ชนิดจะต้องมีมวลรวมที่ 1090 กิโลกรัม และทดสอบว่าจะมีผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตหรือไม่

สมมุติฐานที่ใช้ในการทดสอบ

H_0: P_1=P_2 ; ไม่มีความแตกต่างกันของค่าการรับแรงอัดของคอนกรีตในแต่ละสัดส่วนของการหิน#3/4 และ หิน #3/8 นิ้วที่ใช้

H_1: P_1≠P_2 ; มีความแตกต่างกันของค่าการรับแรงอัดของคอนกรีตในแต่ละสัดส่วนของการหิน#3/4 และ หิน #3/8 นิ้วที่ใช้

P_1 = ค่าการรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมปริมาณหิน#3/4 1090 กิโลกรัม

P_2 = ค่าการรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมปริมาณหิน#3/4 763 กิโลกรัม

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางที่ 5- 6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของสัดส่วนของการหิน#3/4 และ หิน #3/8 นิ้ว

Two-Sample T-Test and CI: Rock 34 = 1090 kg., Rock 34 =763 kg.

```
Two-sample T for Rock 34 = 1090 kg. vs Rock 34 =763 kg.

                     N    Mean  StDev  SE Mean
Rock 34 = 1090 kg.  10  271.80   1.75     0.55
Rock 34 =763 kg.    10  264.50   1.58     0.50


Difference = μ (Rock 34 = 1090 kg.) - μ (Rock 34 =763 kg.)
Estimate for difference:  7.300
95% CI for difference:  (5.726, 8.874)
T-Test of difference = 0 (vs ≠): T-Value = 9.78  P-Value = 0.000  DF = 17
```

เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติโดยโปรแกรม MINITAB จะทำให้ได้ผลดังตารางที่ 5-6 ซึ่งพบว่าผลการวิเคราะห์ทางสถิติมีค่า P-Value =0.000 ทำให้ปฏิเสธสมมุติฐาน H_0 และสรุปได้ว่าสัดส่วนของการหิน#3/4 และ หิน #3/8 นิ้วที่ใช้มีผลต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตในทิศทางที่ลดลงหากมีการผสมหินขนาด #3/8 นิ้วที่มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

5.3.4 ปริมาณน้ำ

ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตโดยจะแบ่งกลุ่มการทดสอบที่ปริมาณน้ำ 2 ระดับเพื่อทดสอบว่าน้ำที่มีค่าแตกต่างกันนั้นมีผลต่อค่าการรับแรงอัดของคอนกรีตหรือไม่

สมมุติฐานที่ใช้ในการทดสอบ

H_0: P_1=P_2 ; ไม่มีความแตกต่างกันของค่าการรับแรงอัดของคอนกรีตในแต่ละปริมาณน้ำที่ใช้

H_1: P_1≠P_2 ; มีความแตกต่างกันของค่าการรับแรงอัดของคอนกรีตในแต่ละปริมาณน้ำที่ใช้

P_1 = ค่าการรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใส่ปริมาณน้ำที่ 185 กิโลกรัม

P_2 = ค่าการรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใส่ปริมาณน้ำที่ 165 กิโลกรัม

<u>ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ</u>

ตารางที่ 5- 7 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณน้ำที่ใช้

Two-Sample T-Test and CI: Water 185 kg., Water 165 kg.

```
Two-sample T for Water 185 kg. vs Water 165 kg.

                N    Mean  StDev  SE Mean
Water 185 kg.  10  263.70   2.11     0.67
Water 165 kg.  10  280.50   2.07     0.65


Difference = μ (Water 185 kg.) - μ (Water 165 kg.)
Estimate for difference:  -16.800
95% CI for difference:  (-18.772, -14.828)
T-Test of difference = 0 (vs ≠): T-Value = -17.98  P-Value = 0.000  DF = 17
```

เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติโดยโปรแกรม MINITAB จะทำให้ได้ผลดังตารางที่ 5-7 ซึ่งพบว่าผลการวิเคราะห์ทางสถิติมีค่า P-Value =0.000 ทำให้ปฏิเสธสมมุติฐาน H_0 และสรุปได้ว่าปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีตที่ปริมาณเพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตในทิศทางที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

5.4 สรุประยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา เป็นการนำปัจจัยที่ได้จากการใช้เครื่องมือต่าง ๆ เช่น แผนภูมิก้างปลา แผนผังสาเหตุและผลเพื่อหาสาเหตุของปัญหาที่ส่งผลต่อค่ากำลังอัดคอนกรีตที่ต่ำกว่ามาตรฐาน โดยการระดมสมองจากทีมงานที่ได้รับการคัดเลือกมา โดยจะใช้แผนภูมิก้างปลาในการเริ่มต้นหาสาเหตุของปัญหา จากการใช้แผนภูมิก้างปลาจะทำให้ได้ปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตจำนวนทั้งสิ้น 17 ปัจจัย จากนั้นนำ 17 ปัจจัยมาทำการคัดกรองโดยใช้เครื่องมือ Cause and effect Matrix และนำคะแนนความสัมพันธ์มาจัดเรียงลำดับโดยใช้แผนภูมิพาเรโต พบว่ามีปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อค่ากำลังอัดคอนกรีตที่ต่ำกว่ามาตรฐานทั้งสิ้น 4 ปัจจัย คือ ปริมาณปูนซีเมนต์ สัดส่วนหินฝุ่นต่อทราย สัดส่วนหิน#3/4 ต่อหิน #3/8 และ ปริมาณน้ำ จากนั้นจึงนำปัจจัยที่ผ่านการคัดกรองเหล่านี้ไปวิเคราะห์เพื่อเป็นการยืนยันว่าปัจจัยเหล่านี้ มีผลต่อค่ากำลังอัดคอนกรีตอย่างแท้จริงจนได้ปัจจัยเบื้องต้นที่จะนำมาทำการออกแบบการทดลองโดยการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาจะทำโดยการใช้โปรแกรม MINITAB มาทดสอบสมมุติฐานทางสถิติ โดยในแต่ละปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์ จะต้องกำหนดค่าให้มีความแตกต่างเพื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบ ซึ่งการทดสอบสมมุติฐานทำให้ข้อสรุปว่า ปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย มีผลต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 6

ระยะปรับปรุงแก้ไข

ระยะการปรับปรุงแก้ไขเป็นการวิเคราะห์ปัจจัยที่จะมีผลต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตจากการใช้หินฝุ่นเข้ามาเป็นส่วนผสมร่วมกับทรายที่มีค่าความละเอียดมากกว่ามาตรฐานที่กำหนด โดยยังคงมีค่ากำลังอัดของคอนกรีตเป็นไปตามที่ผู้ออกแบบกำหนด ซึ่งจะเริ่มต้นโดยการใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล แล้วจึงทำการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง วิเคราะห์ผลการทดลอง และหาค่าที่เหมาะสมจากการทดลอง

6.1 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

ปัจจัยนำเข้าที่จะนำมาทำการออกแบบการทดลองเป็นปัจจัยที่ผ่านการคัดเลือกโดยผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งคาดว่าจะมีผลต่อการรับแรงอัดของคอนกรีตโดยจะประกอบไปด้วย 4 ปัจจัย คือ ปูนซีเมนต์ สัดส่วนหินฝุ่นและทราย สัดส่วนหิน #3/4 นิ้วและหิน #3/8 นิ้ว และปริมาณน้ำ ซึ่งการทดลองในการวิจัยนี้ใช้แหล่งของ หินฝุ่น และทรายที่อยู่ในพื้นที่ไม่ได้นำหินฝุ่นชนิดอื่นมาทำการทดลองเนื่องจากเป็นการทดลองในโรงงานผลิตจริงจึงทำให้การเปลี่ยนวัตถุดิบเป็นต้นทุนที่สูงมากโดยการออกแบบการทดลองในแต่ละการทดลองนั้นจะคำนวณการออกแบบให้แต่ละการทดลองมีความหนาแน่นของคอนกรีตที่นำหนักคอนกรีตไม่ต่ำกว่า 2400 กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตรโดยปัจจัยทั้งหมดที่ได้คัดเลือกไว้จะนำมาทำการทดสอบที่ 3 ระดับ ดังตารางที่ 6-1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6- 1 ระดับปัจจัยนำเข้า

ปัจจัย (Factor)	รหัส (Code)	ระดับของปัจจัย (Level)
ปริมาณปูนซีเมนต์ (A)	1	ปูนซีเมนต์ 295 กก.
	0	ปูนซีเมนต์ 285 กก.
	-1	ปูนซีเมนต์ 275 กก.
สัดส่วนหินฝุ่นต่อทราย (B)	1	ปริมาณหินฝุ่น 263 กก.และทราย 612 กก.
	0	ปริมาณหินฝุ่น 175 กก.และทราย 700 กก.
	-1	ปริมาณหินฝุ่น 0 กก.และทราย 875 กก.
สัดส่วนหิน#3/4 ต่อ หิน #3/8 (C)	1	ปริมาณหิน#38 327 กก.และหิน#34 763 กก.
	0	ปริมาณหิน#38 218 กก.และหิน#34 872 กก.
	-1	ปริมาณหิน#38 0 กก.และหิน#34 1090 กก.
ปริมาณน้ำ (D)	1	185 กก.
	0	175 กก.
	-1	165 กก.

6.2 ตัวแปรตอบสนอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลนี้ ผู้วิจัยจะสนใจพิจารณาค่าความข้นเหลวของคอนกรีตที่มาตรฐานกำหนดไว้ที่ 7.5+/-2.5 เซนติเมตร และ ค่าการรับแรงอัดของคอนกรีต ที่ได้จากการนำส่วนผสมของปัจจัยที่กำหนดมาออกแบบสัดส่วนในสูตรการผลิตคอนกรีต

6.3 การออกแบบการทดลอง

การทดลองในงานวิจัยนี้ เป็นการทำการทดลองที่โรงงานผสมคอนกรีตดังนั้นผลการทดลองที่ได้จะมีความผันแปรมากกว่าในห้องปฏิบัติการที่สามารถควบคุมอุณหภูมิภายนอกได้ ซึ่งการทดลองในงานวิจัยนี้ จะใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทดเรียลโดยใช้ปัจจัยทั้งหมด 4 ปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยจะทำการทดลองที่ 3 ระดับ ซึ่งขั้นตอนการออกแบบการทดลองมีขั้นตอนดังนี้

1) การทดลองซ้ำ (Replication)
2) การสุ่ม (Randomization)
3) จำนวนการทดลอง

6.3.1 การทดลองซ้ำ (Replication)

การทดลองซ้ำ คือ การนำการทดลองที่ได้ทำการดำเนินการ มาทำการดำเนินการซ้ำอีก และมีระดับของปัจจัยทุกอย่างเหมือนเดิม ซึ่งการทำการทดลองซ้ำเป็นการช่วยในการประมารค่าความผิดพลาดของการทดลองได้และยังช่วยในการทดลองให้มีความแม่นยำขึ้น

6.3.2 การสุ่ม (Randomization)

การสุ่มการทดลอง หมายถึง การจัดลำดับของการทดลองในแต่ละการทดลองเพื่อเป็นการช่วยลดผลกระทบจากปัจจัยภายนอกที่อาจเกิดขึ้นกับการทดลองได้ซึ่งในการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลนี้ จะใช้ โปรแกรม MINITAB ช่วยในการสุ่มลำดับในการทดลองแต่ละการทดลอง

6.3.3 จำนวนการทดลอง

จำนวนการทดลอง หมายถึงการกำหนดจำนวนแบบการทดลองจากปัจจัยทั้ง 4 และระดับแต่ระปัจจัยกำหนดที่ 3 ระดับ โดยกำหนดจำนวนการทดลองซ้ำที่ 2 ครั้ง ทำให้การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลนี้มีจำนวนการดำเนินการทดลองทั้งหมด 162 การทดลอง

6.4 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

ขั้นตอนการดำเนินการทดลองใช้การทดลองแบบฟูลแฟคทอเรียล 3 ระดับ 4 ปัจจัย จะได้จำนวนการทดลองที่ 162 การทดลอง ส่วนปัจจัยที่ไม่ใช่ 4 ปัจจัยที่ต้องการศึกษานี้จะกำหนดให้อยู่ในลักษณะที่เหมือนกัน เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการดำเนินการทดลอง ซึ่งสิ่งต่างๆที่ต้องทำการดำเนินการควบคุมมีดังนี้

1) ใช้พนักงานในการดำเนินการเก็บตัวอย่างคนเดียวในทุกๆ การทดลอง ซึ่งเป็นขอจำกัดของทางโรงงานที่ดำเนินการทดลองที่มีพนักงานในการผลิตเพียงคนเดียว
2) ใช้เครื่องจักรและเครื่องมือในการดำเนินการชนิดเดียวกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ซึ่งในแต่ละการดำเนินการทดลองนั้น จะกำหนดระดับของปัจจัยตาม ตารางที่ ก.1 (ในภาคผนวก) ที่ทำการสุ่มโดยใช้โปรแกรม MINITAB โดยการดำเนินการทดลองจะทำการทดลองตามลำดับที่เรียงไว้ในช่อง “ Run Order” เมื่อทำการทดสอบค่าการรับแรงอัดของคอนกรีตจะทำการบันทึกผลลงในช่อง “ ค่าเฉลี่ยการรับแรงอัด”

6.5 ผลการดำเนินการทดลอง

จากการดำเนินการทำการทดลองตามการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 3^4 โดยทำซ้ำ 2 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 162 การทดลองเพื่อศึกษาหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมในการหาสัดส่วนของหินฝุ่นที่เป็นส่วนผสมแทนทรายละเอียดบางส่วน ที่มีผลกระทบต่อการรับแรงอัดของคอนกรีต ซึ่งได้ผลการทดลองที่ปรากฏในช่อง “ ค่าเฉลี่ยการรับแรงอัด” ดังแสดงในภาคผนวก ก

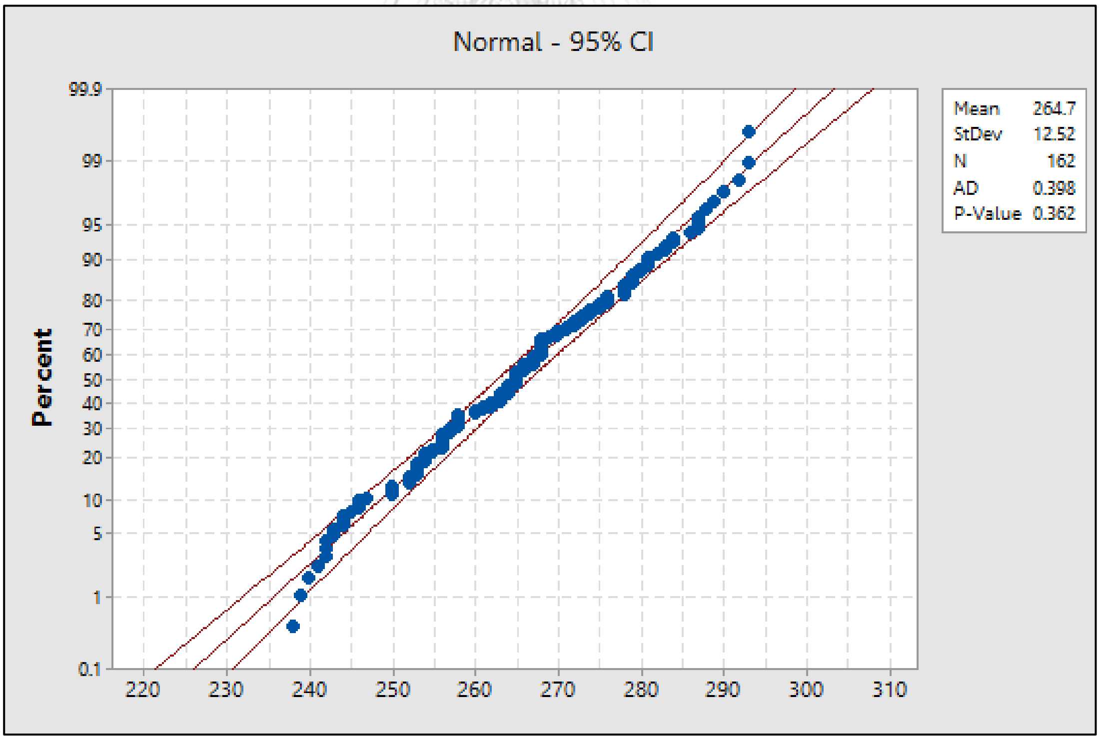
6.6 ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลองเพื่อเป็นการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองที่มีความคลาดเคลื่อนจากปัจจัยที่ไม่ได้ควบคุมจำนวนมาก โดยจะทำการทดสอบ 3 ส่วน คือ สมมุติฐานการแจกแจงแบบปกติ สมมุติฐานของความเป็นอิสระ สมมุติฐานของความแปรปรวนของข้อมูล โดยขั้นตอนการตรวจสอบแสดงได้ดังนี้

6.6.1 การทดสอบสมมุติฐานของการแจกแจงแบบปกติ

ทำการทดสอบโดยนำส่วนตกค้าง (Residual) ของค่าตัวแปรตอบสนองมาพิจารณาการกระจายตัวของส่วนตกค้างว่ามีการแจกแจงแบบลักษณะใด ซึ่งหากกราฟมีการแจกแจงแบบปกติควรจะมีลักษณะการกระจายที่มีแนวโน้มใกล้เคียง หรือเป็นเส้นตรง และทำการทดสอบสมมุติฐานการแจกแจงแบบปกติแล้วมีค่า P-value มากกว่า 0.05

จากรูปที่ 6-1 เป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบข้อมูลด้วยโปรแกรม MINITAB พบว่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวเป็นแนวเส้นตรง และมีค่า P-Value = 0.362 มากกว่า 0.05 จึงทำให้ประมาณได้ว่าข้อมูลที่ได้จากผลการทดลองเป็นไปตามสมมุติฐานของการแจกแจงแบบปกติ

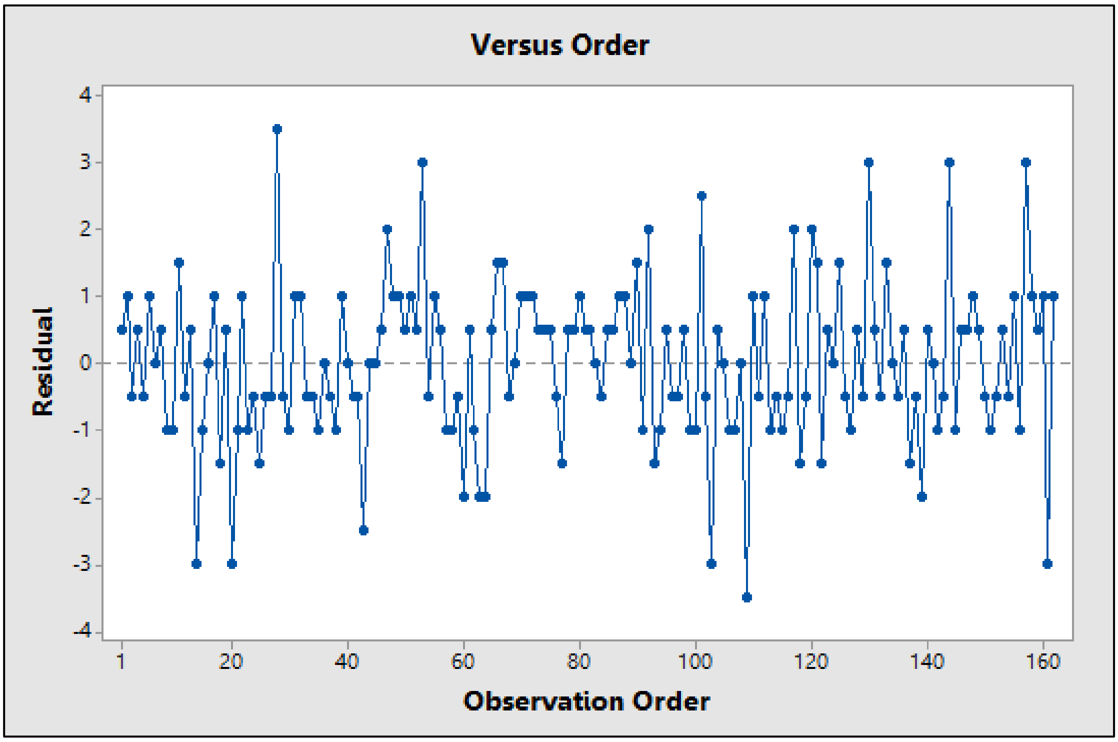


รูปที่ 6- 1 ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมุติฐานของการแจกแจงแบบปกติ

6.6.2 การทดสอบสมมุติฐานของความเป็นอิสระ

การทดสอบสมมุติฐานของความเป็นอิสระ จะพิจารณาความสัมพันธ์ของแผนภาพการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residual) และลำดับของการเก็บข้อมูล (Observation Order) โดยลักษณะข้อมูลต้องไม่มีลักษณะที่เป็นแนวโน้ม ควรจะเป็นการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบ

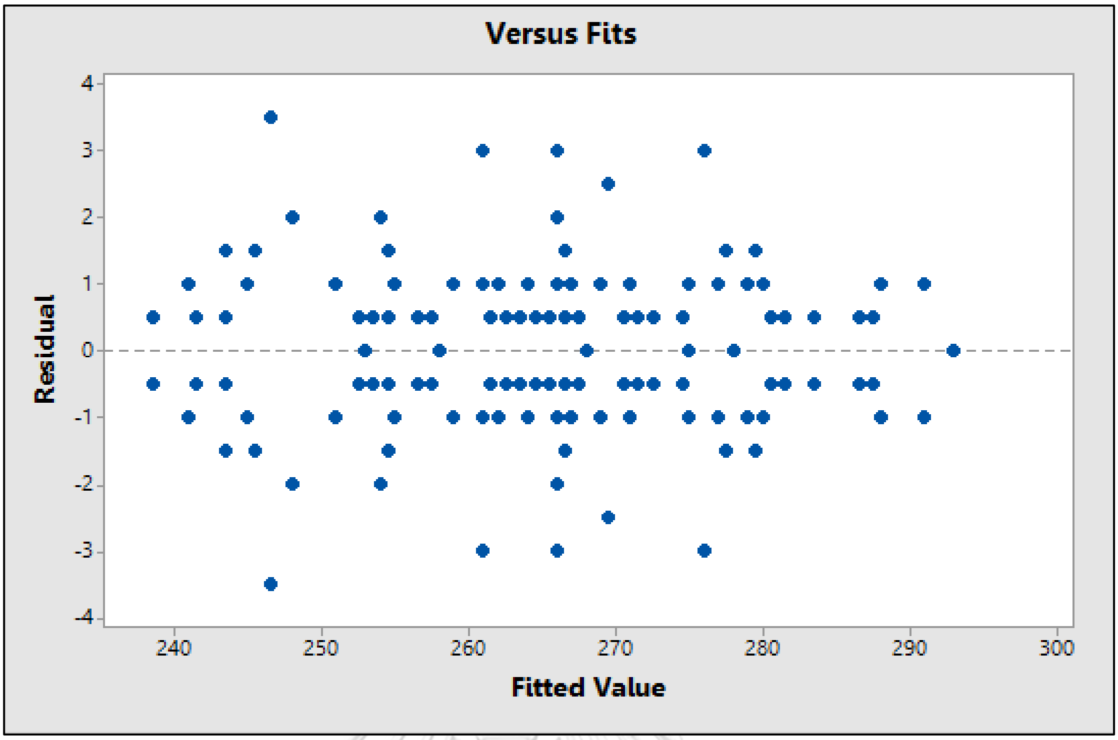
จากรูปที่ 6-2 เป็นการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับการเก็บของข้อมูล แล้วแสดงให้เห็นว่าลักษณะการกระจายตัวเป็นอิสระต่อกัน จึงสรุปได้ว่าข้อมูลเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 6- 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของการเก็บข้อมูล

6.6.3 ทดสอบสมมุติฐานของความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

การทดสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนโดยการพิจารณาการกระจายระหว่างส่วนตกค้างกับผลตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย (Fitted Value) เพื่อตรวจสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน พบว่าค่าความแปรปรวนมีเสถียรภาพอยู่ในระดับที่น่าพอใจ ดังแสดงในรูปที่ 6-3 เนื่องจากการกระจายตัวไม่มีลักษณะที่เป็นรูปแบบหรือโครงสร้างใด ๆ ทั้งสิ้น จึงสรุปได้ว่าค่าส่วนตกค้างที่เสถียรภาพของความแปรปรวนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้



รูปที่ 6- 3 ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต

จากการทดสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 6-1 ถึง 6-3 พบว่า รูปแบบของค่าส่วนตกค้างเป็นไปตามสมมุติฐานที่ถูกต้องตามข้อกำหนด ได้แก่ ข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ ข้อมูลมีความเป็นอิสระกัน และข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.7 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลองจะทำได้โดยการนำผลการทดลองมาทำการวิเคราะห์ โดยการใช้โปรกแรม MINITAB ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6-4

```
Analysis of Variance

Source                  DF    Adj SS    Adj MS  F-Value  P-Value
Model                   80   24992.1    312.40   106.77    0.000
  Linear                 8   23829.6   2978.70  1018.04    0.000
    A                    2    8917.0   4458.50  1523.79    0.000
    B                    2    3499.4   1749.69   597.99    0.000
    C                    2     458.1    229.06    78.28    0.000
    D                    2   10955.1   5477.57  1872.08    0.000
  2-Way Interactions    24     743.2     30.97    10.58    0.000
    A*B                  4     159.6     39.91    13.64    0.000
    A*C                  4      30.4      7.61     2.60    0.042
    A*D                  4     296.3     74.07    25.32    0.000
    B*C                  4      19.4      4.85     1.66    0.168
    B*D                  4     230.8     57.70    19.72    0.000
    C*D                  4       6.6      1.66     0.57    0.688
  3-Way Interactions    32     270.4      8.45     2.89    0.000
    A*B*C                8      85.1     10.64     3.64    0.001
    A*B*D                8     126.9     15.86     5.42    0.000
    A*C*D                8      26.8      3.35     1.15    0.342
    B*C*D                8      31.6      3.95     1.35    0.231
  4-Way Interactions    16     148.8      9.30     3.18    0.000
    A*B*C*D             16     148.8      9.30     3.18    0.000
Error                   81     237.0      2.93
Total                  161   25229.1
```

รูปที่ 6- 4 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง

โดย A คือ ระดับของปัจจัยปริมาณปูนซีเมนต์

B คือ ระดับของปัจจัยของสัดส่วนหินฝุ่นต่อทราย

C คือ ระดับของปัจจัยสัดส่วนหิน#3/4 นิ้วต่อหิน #3/8 นิ้ว

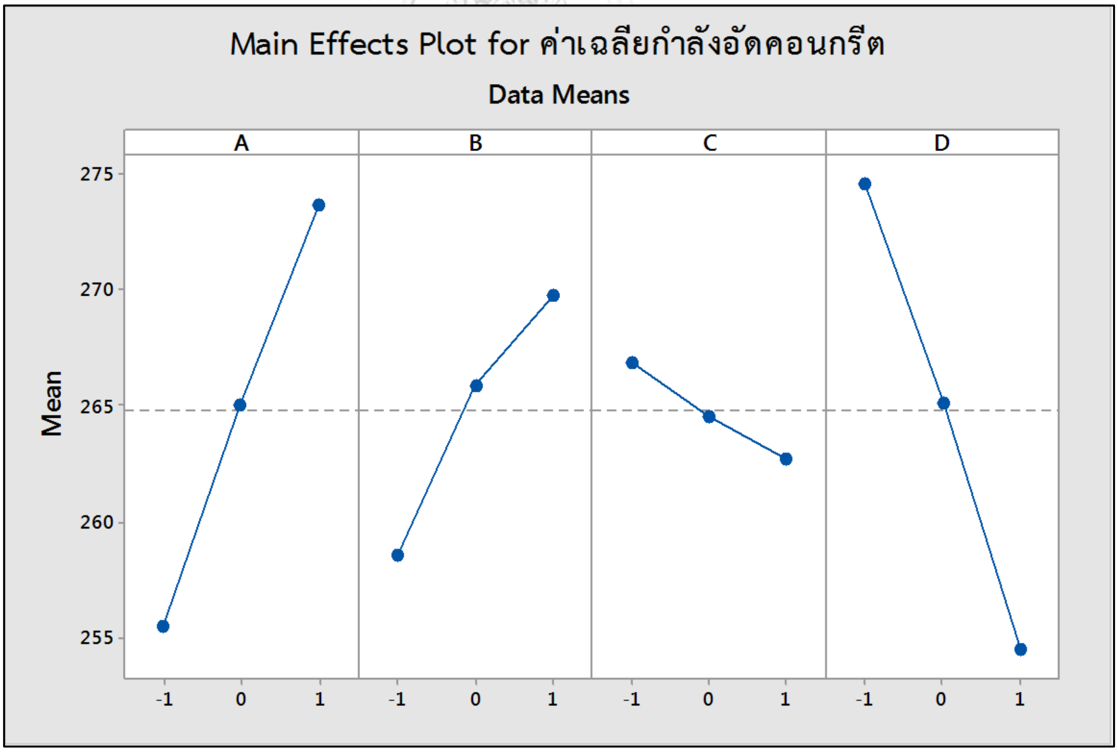
D คือ ระดับของปัจจัยปริมาณน้ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

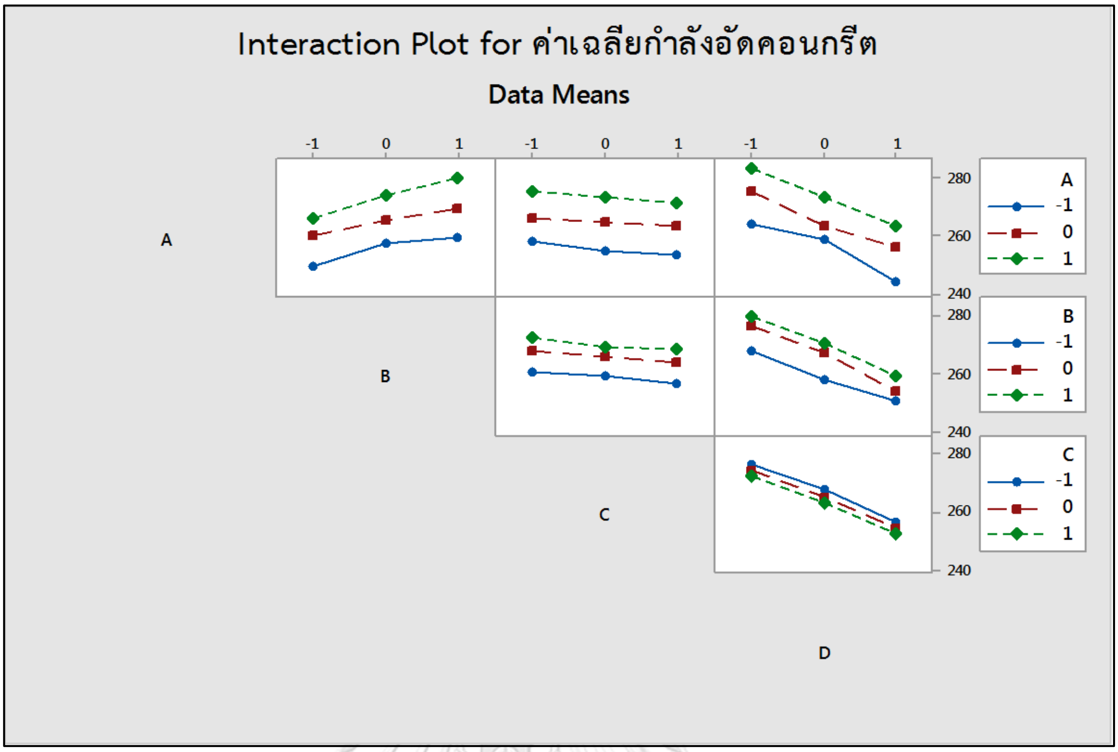
จากรูปที่ 6-4 เป็นผลการวิเคราะห์ของการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล ซึ่งมีการทำการดำเนินการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง โดยใช้โปรแกรม MINITAB การวิเคราะห์นั้นทำโดยการพิจารณาค่า P-value ซึ่งจะเริ่มจากการพิจารณาปัจจัยหลักที่คาดว่าจะส่งผลต่อค่าการรับแรงอัดของคอนกรีต ได้แก่ ปริมาณปูนซีเมนต์ ส่วนหินฝุ่นต่อทราย สัดส่วนหิน#3/4 นิ้วต่อหิน #3/8 นิ้ว และ ปริมาณน้ำ โดยจะทำการพิจารณาค่า P-value นั้น หากค่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 จะทำให้สรุปได้ว่าปัจจัยนั้นมีผลต่อค่าการรับแรงอัดของคอนกรีต

เมื่อได้ทำการสังเกตในช่อง P-Value ในรูปที่ 6-4 ซึ่งจะพบว่าค่า P-Value ของปัจจัยปูนซีเมนต์ สัดส่วนหินฝุ่นผสมทราย สัดส่วนหิน#-3/4 และ #3/8 นิ้ว และปริมาณน้ำ มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อค่าการรับแรงอัดของคอนกรีตอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากนั้นจะพิจารณาในส่วนของอันตรกิริยาระหว่าง 2 ปัจจัย ทุกๆคู่แล้ว จะพบว่า ค่าปัจจัยปริมาณปูนซีเมนต์กับปริมาณของหินฝุ่น ปริมาณปูนซีเมนต์กับหิน#3/4 ผสมหิน#3/8 ปริมาณปูนซีเมนต์กับน้ำ ปริมาณหินฝุ่นกับปริมาณน้ำ จะมีอิทธิพลต่อค่าการรับแรงอัดของคอนกรีตอย่างมีนัยสำคัญ โดยพิจารณาจากค่า P-Value ที่ได้นั้นมีค่าน้อยกว่าค่านัยสำคัญ (P-Value<0.05) อันตรกิริยาระหว่าง 3 ปัจจัย ประกอบด้วย ปริมาณปูนซีเมนต์กับปริมาณของหินฝุ่นและสัดส่วนหิน#-3/4 และ #3/8 นิ้ว ปริมาณปูนซีเมนต์กับปริมาณของหินฝุ่นและน้ำ จะมีอิทธิพลต่อค่าการรับแรงอัดของคอนกรีตอย่างมีนัยสำคัญ โดยพิจารณาจากค่า P-Value ที่ได้นั้นมีค่าน้อยกว่าค่านัยสำคัญ (P-Value<0.05) นอกจากนั้นอันตรกิริยาระหว่าง 4 ปัจจัย ยังแสดงให้เห็นอันตรกิริยาร่วมกันต่อค่าการรับแรงอัดของคอนกรีตอย่างมีนัยสำคัญ โดยการพิจารณาได้จากค่า P-Value ดังแสดงในรูปที่ 6-5 และ รูปที่ 6-6



รูปที่ 6- 5 ผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง

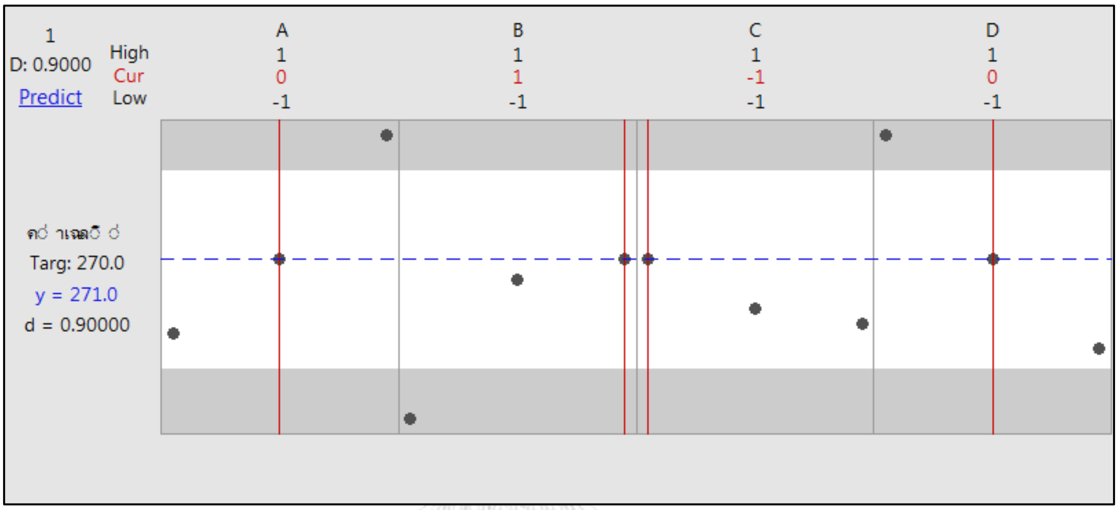


รูปที่ 6- 6 ผลอันตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.8 การหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

การหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมของการนำหินฝุ่นมาใช้เป็นส่วนผสมในคอนกรีตให้มีค่ากำลังอัดเป็นไปตามที่กำหนด ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์โดยใช้ฟังก์ชั่น Response Optimizer ในโปรแกรม MINITAB ผู้วิจัยได้กำหนดค่าขอบเขตล่าง (Lower) ไว้ที่ 260 กิโลกรัม/ตร.ซม.ค่าขอบเขตบน (Upper) ไว้ที่ 280 กิโลกรัม/ตร.ซม.และกำหนดค่าเป้าหมาย (Target) ไว้ที่ 270 กิโลกรัม/ตร.ซม.ผลที่ได้จะแสดงค่าของปัจจัยที่เหมาะสมของส่วนผสมที่ค่าการรับแรงอัดของคอนกรีตอยู่ระหว่าง 260-280 กิโลกรัม/ตร.ซม.ดังแสดงในรูปที่ 6-7 และ ตารางที่ 6-2



รูปที่ 6- 7 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนที่เหมาะสมของคอนกรีต

ตารางที่ 6- 2 ปัจจัยและระดับที่เหมาะสม

ลำดับ	ปัจจัย	ระดับปัจจัยที่เหมาะสม
1	ปูนซีเมนต์	285 กิโลกรัม
2	สัดส่วนหินฝุ่นต่อทราย	หินฝุ่น 263 กิโลกรัม และ ทราย 612 กิโลกรัม
3	สัดส่วนหินขนาด #3/4 นิ้ว ต่อหินขนาด #3/8 นิ้ว	หิน #3/4 นิ้ว 1090 กิโลกรัม และ หิน #3/8 นิ้ว 0 กิโลกรัม
4	ปริมาณน้ำ	175 กิโลกรัม

จากตารางที่ 6-2 เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย ทำให้สามารถสรุปได้ว่าค่าของระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่มีผลต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตซึ่งทำให้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตอยู่ที่ระหว่าง 260-280 กิโลกรัม/ตร.ซม.โดยการออกแบบต่อปริมาตรหนึ่งลูกบาศก์เมตร คือ ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ 285 กิโลกรัม สัดส่วนหินฝุ่นที่ผสมแทนทรายละเอียดที่ 263 กิโลกรัม สัดส่วนหิน #3/4 นิ้ว ที่ 1090 กิโลกรัม ปริมาณน้ำที่ใช้ 175 กิโลกรัม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.9 สรุประยะการปรับปรุงแก้ไข

จากที่เราได้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย คือ ปริมาณปูนซีเมนต์ สัดส่วนหินฝุ่นผสมทราย สัดส่วนหิน#-3/4 และ #3/8 นิ้ว และปริมาณน้ำที่ใช้ ว่ามีผลต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตหรือไม่ ซึ่งในขั้นตอนนี้จะนำปัจจัยเหล่านี้มาทำการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล ที่มีการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง มีจำนวนการทดลองทั้งสิ้น 162 การทดลอง เพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสม ซึ่งจากการทำการทดลองพบว่าปัจจัยทั้งหมดมีผลต่อค่าการรับแรงอัดของคอนกรีตอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีระดับปัจจัยที่เหมาะสม คือ ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ 285 กิโลกรัม ปริมาณหินฝุ่นที่ 263 กิโลกรัม ปริมาณหิน #3/4 นิ้วที่ 1090 กิโลกรัม และ ปริมาณน้ำที่ 175 กิโลกรัม จะส่งผลให้ค่ากำลังอัดอยู่ระหว่าง 260 – 280 กิโลกรัม/ตร.ซม. ตามมาตรฐานที่ทางโรงงานกำหนด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 7

ระยะการควบคุม

จากขั้นตอนต่าง ๆ ที่ได้ดำเนินการมานั้น ทำให้ทราบถึงสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา จนถึงได้ค่าที่เหมาะสมของสัดส่วนการใช้หินฝุ่นเป็นส่วนผสมการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จที่ส่งผลต่อค่ากำลังอัดคอนกรีตให้เป็นไปตามมาตรฐานที่ทางโรงงานกำหนด ดังนั้นในขั้นตอนต่อไป ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายของแนวทาง ซิกซ์ ซิกมา คือ ระยะการควบคุม (Control Phase) จะเป็นการนำแนวทางที่ใช้ในการแก้ปัญหา ไปทำการใช้ในการผลิต พร้อมทั้งมีแนวทางในการควบคุมการผลิตเพื่อให้สัดส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตที่ออกแบบเป็นไปตามที่ผู้ออกแบบกำหนด เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาค่ากำลังอัดคอนกรีตที่ต่ำกว่ามาตรฐาน

7.1 แนวทางการควบคุม

จากการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 34 โดยมีปัจจัยที่ควบคุม 4 ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณปูนซีเมนต์ ปริมาณหินฝุ่นที่ใช้ผสมต่อทราย สัดส่วนขนาดหิน#3/4 และ #3/8 นิ้ว และปริมาณน้ำที่ใช้ ซึ่งจากการทำการทดลองพบว่าค่าปัจจัยทั้ง 4 นั้น ส่งผลต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีต ดังนั้นเพื่อเป็นการควบคุมปัจจัยทั้ง 4 ให้สัดส่วนผสมคอนกรีตเป็นไปตามค่าที่กำหนด ดังนั้นควรจะกำหนดแนวทางในการปฏิบัติ ดังนี้

ส่วนผสมคอนกรีตซึ่งถูกกำหนดและถูกป้อนในโปรแกรมการผสมคอนกรีตเพื่อสั่งให้เครื่องจักรดำเนินการชั่งวัตถุดิบตามปริมาณที่กำหนดไว้ และเพื่อเป็นการควบคุมให้ปริมาณวัตถุดิบแต่ละชนิดมีปริมาณเป็นไปตามที่ออกแบบไว้ ซึ่งจะมีแนวทางในการควบคุมดังนี้

1) จัดทำคู่มือตรวจสอบเครื่องชั่งอย่างสม่ำเสมอ
2) มีการตรวจสอบวัตถุดิบทุกชนิดที่นำเข้ามาผลิตหรือมีการเปลี่ยนแหล่งวัตถุดิบ
3) ก่อนดำเนินการผลิตจะต้องมีการตรวจสอบเครื่องจักร
4) ทำการบันทึกปริมาณการใช้วัตถุดิบทุกครั้งที่มีการผลิต
5) จัดฝึกอบรมพนักงานเป็นประจำ

7.2 ข้อมูลหลังการปรับปรุง

จากการดำเนินการตามขั้นตอนตามแนวทางซิกซ์ซิกมา ทั้ง 5 ขั้นตอน ได้แก่ ระยะนิยามปัญหา (Define Phase) ระยะตรวจวัดปัญหา (Measure Phase) ระยะวิเคราะห์ปัญหา (Analysis Phase) ระยะปรับปรุงแก้ไข (Improvement Phase) และระยะควบคุม (Control Phase) แล้วนั้น ทำให้ทราบปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่ากำลังอัดคอนกรีต และจากการออกแบบการทดลองทำให้ได้สัดส่วนที่เหมาะสมของการใช้หินฝุ่นมาเป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีต โดยสูตรใหม่ที่มีการผสมหินฝุ่นเข้ามาแทนทรายบางส่วนนั้น มีสัดส่วน ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ 285 กิโลกรัม ปริมาณหินฝุ่นแทนทรายที่ 263 กิโลกรัม ขนาดหิน#3/4 นิ้วที่ 1090 กิโลกรัม และปริมาณน้ำที่ 175 กิโลกรัม โดยส่วนผสมอื่น ๆ เป็นดังเดิม ซึ่งคาดว่าสูตรผลิตใหม่จะมีค่าเฉลี่ยการรับแรงอัดคอนกรีตเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 260-280 กิโลกรัม/ตร.ซม. เป็นไปตามมาตรฐานที่ทางโรงงานกำหนด

โดยเมื่อนำมาทำการเปรียบเทียบต้นทุนที่ได้ทำการเผื่อปูนซีเมนต์ลงในส่วนผสมคอนกรีตก่อนปรับปรุงนั้นสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 7-1

ตารางที่ 7- 1 เปรียบเทียบต้นทุนก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

ประเภท		ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง	
		กิโลกรัม	บาท	กิโลกรัม	บาท
1. ปริมาณปูนซีเมนต์		315	725	285	656
2. สัดส่วนหินฝุ่นต่อทราย	หินฝุ่น	0	0	263	46
	ทราย	875	146	612	102
3. สัดส่วนหิน#3/4 ต่อ หิน #3/8	หิน #3/4 นิ้ว	1090	218	1090	218
	หิน #3/8 นิ้ว	0	0	0	0
4. ปริมาณน้ำที่ใช้		178	3	175	3
น้ำหนักต่อลูกบาศก์เมตร(กิโลกรัม)		2458		2425	
ค่ากำลังอัดเฉลี่ย(กิโลกรัม/ตร.ซม.)		288		273	
มูลค่าต้นทุนค่าใช้จ่ายต่อลูกบาศก์เมตร(บาท)		1092		1025	

จากตารางที่ 7-1 พบว่าเมื่อทำการพิจารณาข้อมูลก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงต้นทุนทางด้านวัตถุดิบของคอนกรีตสำหรับสูตรการผลิต M240 มีมูลค่าที่ลดลงประมาณ 67 บาท ต่อลูกบาศก์เมตร และ เมื่อพิจารณาจากค่ากำลังอัดของคอนกรีตมีค่าอยู่ที่ 273 ซึ่งเป็นค่ากำลังอัดคอนกรีตที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ทางโรงงานกำหนดไว้ที่ค่ากำลังกำลังอัดคอนกรีตระหว่าง 260-280 กิโลกรัม/ตร.ซม.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

7.3 สรุประยะการควบคุมกระบวนการ

หลังจากที่ได้ค่าที่เหมาะสมของการใช้หินฝุ่นมาเป็นส่วนผสมในคอนกรีตเพื่อลดต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตและมีค่ากำลังอัดคอนกรีตเป็นไปตามที่โรงงานกำหนดที่ 260-280 กิโลกรัม/ตร.ซม. โดยขั้นตอนในการผลิตคอนกรีตจะต้องดำเนินการควบคุมให้สัดส่วนในการผลิตเป็นไปตามที่ได้ทำการหาค่าที่เหมาะสมไว้ ได้แก่ ปริมาณปูนซีเมนต์ ปริมาณหินฝุ่น ปริมาณทราย ประริมาณน้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต

แนวทางในการควบคุมปัจจัย จะสามารถทำได้โดยการดำเนินการปฏิบัติตามคู่มือการปฏิบัติงานและให้พนักงานบันทึกค่าปัจจัยต่าง ๆ ลงในแบบฟอร์ม การปรับตั้งค่าเครื่องจักรให้เหมาะสม รวมถึงการจัดอบรมพนักงานเพื่อให้พนักงานตระหนักและเข้าใจในแนวทางการควบคุมปัจจัยต่าง โดยจากการเก็บข้อมูลมาทดสอบค่ากำลังอัดคอนกรีตซึ่งพบว่ามีค่ากำลังอัดคอนกรีตที่ได้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 8

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการนำแนวทาง ซิกซ์ ซิกมา ซึ่งประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอน คือ ระยะนิยามปัญหา (Define Phase) ระยะการวัดปัญหา (Measure Phase) ระยะการวิเคราะห์ปัญหา (Analysis Phase) ระยะในการปรับปรุงและแก้ไขปัญหา (Improvement Phase) ระยะการควบคุมกระบวนการ (Control Phase) มาประยุกต์ใช้ในการหาสัดส่วนที่เหมาะสมของการใช้หินฝุ่นมาเป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตเพื่อแก้ปัญหาค่ากำลังอัดคอนกรีตที่ต่ำกว่ามาตรฐานที่ทางโรงงานกำหนดไว้ที่ 260-280 กิโลกรัม/ตร.ซม. และลดต้นทุนทางด้านวัตถุดิบในการผลิตคอนกรีตจากการที่ทางโรงงานได้ทำการเพิ่มส่วนเผื่อปูนซีเมนต์ลงในสูตรผสมคอนกรีต ส่งผลให้สามารถลดต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จลงได้ประมาณ 67 บาท หรือคิดเป็น 6.13% ในการผลิตคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร

8.1 บทสรุประยะนิยามปัญหา

สำหรับในระยะนิยามปัญหานั้น จะทำการศึกษาผลการทดสอบก้อนตัวอย่างคอนกรีตโดยพบว่าค่ากำลังอัดคอนกรีตมีค่าเฉลี่ยกำลังอัดอยู่ที่ 237 กิโลกรัม/ตร.ซม. ซึ่งต่ำกว่าข้อกำหนดที่โรงงานกำหนดให้คอนกรีตรหัส M240 จะต้องมีค่ากำลังอัดเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 260-280 กิโลกรัม/ตร.ซม. จากนั้นทางโรงงานจึงตัดสินใจเพิ่มส่วนเผื่อปูนซีเมนต์ลงในส่วนการผสมคอนกรีตและมีการเก็บรวบรวมข้อมูลระหว่างเดือน กรกฎาคม ถึงเดือนธันวาคม 2558 ซึ่งพบว่าการเพิ่มส่วนเผื่อปูนซีเมนต์นั้นส่งผลให้กำลังอัดคอนกรีตที่ได้มีค่ากำลังอัดที่เพิ่มขึ้น แต่ก็ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตคอนกรีตก็เพิ่มขึ้นด้วยดังนั้นทางโรงงานได้มีความต้องการหาวัตถุดิบทดแทนเพื่อลดต้นทุนการผลิตคอนกรีตและพบว่างานวิจัยของงานวิจัยของ ธีระ เทพพรหม [10] ที่ได้ทำการศึกษาการนำหินฝุ่นมาเป็นส่วนผสมแทนทรายหยาบ โดยใช้หินฝุ่นจากแหล่งโรงโม่หินนาราธิวาส ค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกันกับการใช้ทรายหยาบเพียงอย่างเดียว และประกอบกับหินฝุ่นมีอยู่ในพื้นที่และมีราคาถูก ดังนั้นทางโรงงานมีความประสงค์ที่จะต้องการทดลองที่จะนำหินฝุ่นจากแหล่งผลิต โรงโม่หินสากลพัฒนา อ.นากลาง จ.หนองบัวลำภู ซึ่งเป็นแหล่งหินทรายที่อยู่ใกล้กับทางโรงงาน มาผสมกับทรายละเอียดที่ทางโรงงานใช้อยู่เพื่อลดต้นทุนในสัดส่วนผสมคอนกรีต โดยทำการนำข้อมูลยอดการผลิตมาพิจารณาด้วยการใช้แผนภูมิพาเรโต พบว่ารหัสสูตร M240 เป็นสินค้าที่มียอดการผลิตมากที่สุด โดยมีปริมาณการผลิตสูงถึง 62.8 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น จึงมุ่งเน้นไปที่การหาสัดส่วนที่เหมาะสมของการใช้หินฝุ่นในส่วนผสมคอนกรีตของรหัสสูตร M240 เพียงสูตรเดียวในการนำมาปรุบปรุง

8.2 บทสรุประยะตรวจวัดปัญหา

ในขั้นตอนนี้ จะเริ่มต้นด้วยการตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบค่าขนาดคละของวัตถุดิบที่นำมาใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตผสมเสร็จโดยการสุ่มวัตถุดิบ และมาทดสอบ10 ครั้งเพื่อได้ค่าเฉลี่ยค่าความละเอียด (FINENESS MODULUS) (F.M.) ของวัตถุดิบ และเปอร์เซ็นต์ความผันแปรรีพีททะบิริตี้ ซึ่งมีเกณฑ์การยอมรับได้ต้องไม่มากกว่า 30% โดยการตรวจสอบนี้ทำเพื่อให้เกิดความมั่นใจในระบบการตรวจสอบวัตถุดิบที่จะนำมาทดการออกแบบการทดลอง ซึ่งผลการตรวจสอบมีค่าที่น้อยกว่าเกณฑ์การยอมรับที่ 30% จึงสรุปได้ว่าความสามารถของระบบการวัดวัตถุดิบอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

จากนั้นทำการวิเคราะห์ระบบการวัดการชั่งตวงวัตถุดิบ โดยทำการนำตุ้มน้ำหนักมาตรฐานที่ 20 กิโลกรัม และกระบอกตวงน้ำยามาตรฐาน มาทำการทดสอบระบบชั่งและตวงวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตคอนกรีต ซึ่งมีเกณฑ์การยอมรับได้ต้องไม่มากกว่า 30% โดยการตรวจสอบนี้ทำเพื่อให้เกิดความมั่นใจในระบบการตรวจสอบวัตถุดิบที่จะนำมาทดการออกแบบการทดลอง ซึ่งผลการตรวจสอบมีค่าที่น้อยกว่าเกณฑ์การยอมรับที่ 30% จึงสรุปได้ว่าความสามารถของระบบการวัดการชั่งและตวงวัตถุดิบอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

8.3 บทสรุประยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา เป็นการนำปัจจัยที่ได้จากการใช้เครื่องมือต่าง ๆ เช่น แผนภูมิก้างปลา แผนผังสาเหตุและผล มาหาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่ากำลังอัดคอนกรีตที่ต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดที่ 260-280 กิโลกรัม/ตร.ซม. ซึ่งจากการดำเนินการโดยการระดมสมองจากทีมงานที่ได้รับการคัดเลือกมา โดยจะใช้แผนภูมิก้างปลาในการเริ่มต้นหาสาเหตุของปัญหา จากการใช้แผนภูมิก้างปลาจะทำให้ได้ปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตจำนวนทั้งสิ้น 17 ปัจจัย จากนั้นนำ 17 ปัจจัยมาทำการคัดกรองโดยใช้เครื่องมือ Cause and effect Matrix และนำคะแนนความสัมพันธ์มาจัดเรียงลำดับโดยใช้แผนภูมิพาเรโต พบว่ามีปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อค่ากำลังอัดคอนกรีตที่ต่ำกว่ามาตรฐานทั้งสิ้น 4 ปัจจัย คือ ปริมาณปูนซีเมนต์ สัดส่วนหินฝุ่นต่อทราย สัดส่วนหิน#3/4 ต่อหิน #3/8 และ ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต แล้วจึงนำปัจจัยที่ผ่านการคัดกรองเหล่านี้ไปวิเคราะห์ว่าแต่ละปัจจัยมีผลต่อค่ากำลังอัดคอนกรีตอย่างแท้จริงจนได้ปัจจัยเบื้องต้นที่จะนำมาทำการออกแบบการทดลองโดยการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาจะทำโดยการใช้โปรแกรม MINITAB มาทดสอบสมมุติฐานทางสถิติ โดยในแต่ละปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์ จะต้องกำหนดค่าให้มีความแตกต่างเพื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบ ซึ่งการทดสอบสมมุติฐานทำให้ข้อสรุปว่า ปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย มีผลต่อค่าการรับแรงอัดของคอนกรีตอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

8.4 บทสรุประยะการปรับปรุงแก้ไข

จากที่เราได้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย คือ ปริมาณปูนซีเมนต์ ปริมาณหินฝุ่นที่ผสมในทราย ปริมาณหิน #3/4 นิ้ว และ ปริมาณน้ำ ว่ามีผลต่อค่าการรับแรงอัดของคอนกรีต ซึ่งในขั้นตอนนี้จะนำปัจจัยเหล่านี้มาทำการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล ที่มีการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง มีจำนวนการทดลองทั้งสิ้น 162 การทดลอง เพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสม ซึ่งจากการทำการทดลองพบว่าปัจจัยทั้งหมดมีผลต่อค่าการรับแรงอัดของคอนกรีตอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีระดับปัจจัยที่เหมาะสม คือ ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ 285 กิโลกรัม ปริมาณหินฝุ่นที่ 263 กิโลกรัม ปริมาณหิน #3/4 นิ้วที่ 1090 กิโลกรัม และ ปริมาณน้ำที่ 175 กิโลกรัม

8.5 บทสรุประยะการควบคุม

หลังจากที่ได้ค่าที่เหมาะสมของการใช้หินฝุ่นมาเป็นส่วนผสมในคอนกรีตเพื่อลดต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตและมีค่ากำลังอัดคอนกรีตเป็นไปตามที่โรงงานกำหนดที่ 260-280 กิโลกรัม/ตร.ซม. โดยขั้นตอนในการผลิตคอนกรีตจะต้องดำเนินการควบคุมให้สัดส่วนในการผลิตเป็นไปตามที่ได้ทำการหาค่าที่เหมาะสมไว้ ได้แก่ ปริมาณปูนซีเมนต์ ปริมาณหินฝุ่น ปริมาณทราย ประริมาณน้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต

แนวทางในการควบคุมปัจจัย จะสามารถทำได้โดยการดำเนินการปฏิบัติตามคู่มือการปฏิบัติงานและให้พนักงานบันทึกค่าปัจจัยต่าง ๆ ลงในแบบฟอร์ม การปรับตั้งค่าเครื่องจักรให้เหมาะสม รวมถึงการจัดอบรมพนักงานเพื่อให้พนักงานตระหนักและเข้าใจในแนวทางการควบคุมปัจจัยต่าง โดยจากการเก็บข้อมูลมาทดสอบค่ากำลังอัดคอนกรีตซึ่งพบว่ามีค่ากำลังอัดคอนกรีตที่ได้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

8.6 ข้อเสนอแนะ

การออกแบบการทดลองเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของการใช้หินฝุ่นมาเป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จเพื่อปรับปรุงคุณภาพคอนกรีตและลดต้นทุนในการเพิ่มส่วนเผื่อปูนซีเมนต์ในส่วนผสมคอนกรีตผสมเสร็จจากการที่แหล่งวัตถุดิบทรายที่มีในพื้นที่มีขนาดที่ค่าความละเอียดมากกว่าที่กำหนด สามารถนำไปเป็นแนวทางในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ที่ค่ากำลังอัดอื่น ๆ หรือนำไปเป็นแนวทางในการศึกษากับวัตถุดิบชนิดอื่น ๆ เช่น หินฝุ่นชนิดอื่นจากแหล่งพื้นที่อื่น มาออกแบบการทดลองเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการออกแบบสูตรผสมคอนกรีต และปริมาณการใช้น้ำยาผสมคอนกรีตที่เปลี่ยนแปลงไป

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. (2549.). การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ.พิมพ์ครั้งที่ *4*. กรุงเทพมหานคร :สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

ธีรเดช วุฒิพรพันธ์. (2553). การศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จโดยวิธีออกแบบการทดลอง. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, คณะวิศวกรรมศาสตร์.

ธีรยุทธิ์ ยกชิ้ว. (2552). การปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิต กระเบื้องบิสกิตโดยวิธีการออกแบบ
การทดลอง. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะวิศวกรรมศาสตร์

ธีระ เทพพรหม (2552). การศึกษากำลังอัดคอนกรีตโดยใช้หินฝุ่นเป็นส่วนผสมแทนทรายหยาบ กรณีศึกษา หินฝุ่นโรงโม่หิน นราธิวาสโรงโม่หิน. วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์, ปีที่ *1*(ฉบับที่ 2 พฤษภาคม - สิงหาคม), หน้าที่ 28-41.

ปริญญา คูณมี. (2554). การศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของการใช้ตะกรันเหล็กเป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, คณะวิศวกรรมศาสตร์.

ปารเมศ ชุติมา. (2545). การออกแบบการทดลองทางวิสวกรรม (Vol. 1). กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พรเทพ เหลือทรัพย์สุข. (2549.). สถิติสำหรับ *Six Sigma* ง่ายนิดเดียว. กรุงเทพมหานคร อีไอแสควร์.

วิทยา เจนจิวัฒนกุล. (2554). การลดของเสียในกระบวนการพิมพ์พลาสติกโดยแนวทางซิกซ์ซิกมา. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะวิศวกรรมศาสตร์.

ภาษาอังกฤษ

A.M. Neville and J.J. Brooks (1996). *Concrete Technology,* . Singapore Longman Singapore Publishers (Pte) Ltd,.

Breyfogle III. (1999). *F.W. Implement Six Sigma Smart Solution Using Statistical Method.* USA:: John Wiley and Son.

C.Setthabut. (1997). *Concrete Technology.5th ed.* Bangkok,pp.25-30.

Cherry.J and Sephardi.S (2000). Sixsigma:Using statistics to reduce process variability and cost in radiology. *Radiology Management 22:6*, 42-45.

D.C. Montgomery. (2001). *Design and Analysis of Experiments,* . The United States of America: Johnson Wiley & Sons, Inc., 2001.

Evans.J.R. and Lindsay. (2005). *An introduction to six sigma &process improvement Mason,* . Ohio:: Thomson/South-Western.

Harry.M. and Schroeder.R. (2000). *Six Sigma :The breakthrough management strategy revolutionzing the world's top corporations,* . New York: Currency Book.

M.J. Simon (2003). *Concrete Mixture Optimization using Statistical Methods,* . Infrastructure Research and Development,.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

ตาราง ก.1 ผลการทดลองเรียงตาม Design Matrix จากโปรแกรม Minitab

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B	C	D	ค่าเฉลี่ยกำลังอัด
28	1	1	1	0	-1	-1	-1	284
111	2	1	1	0	-1	-1	1	263
16	3	1	1	-1	0	1	-1	281
3	4	1	1	-1	-1	-1	1	275
9	5	1	1	-1	-1	1	1	266
119	6	1	1	0	0	-1	0	270
135	7	1	1	0	1	1	1	253
68	8	1	1	1	0	0	0	258
108	9	1	1	-1	1	1	1	254
70	10	1	1	1	0	1	-1	266
121	11	1	1	0	0	0	-1	279
17	12	1	1	-1	0	1	0	271
67	13	1	1	1	0	0	-1	268
14	14	1	1	-1	0	0	0	273
22	15	1	1	-1	1	0	-1	276
102	16	1	1	-1	1	-1	1	258
34	17	1	1	0	-1	1	-1	281
75	18	1	1	1	1	-1	1	242
98	19	1	1	-1	0	1	0	272
104	20	1	1	-1	1	0	0	263
11	21	1	1	-1	0	-1	0	274
33	22	1	1	0	-1	0	1	262
12	23	1	1	-1	0	-1	1	265

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B	C	D	ค่าเฉลี่ยกำลังอัด
91	24	1	1	-1	0	-1	-1	287
129	25	1	1	0	1	-1	1	253
107	26	1	1	-1	1	1	0	262
53	27	1	1	0	1	1	0	256
63	28	1	1	1	-1	1	1	250
69	29	1	1	1	0	0	1	243
85	30	1	1	-1	-1	0	-1	290
161	31	1	1	1	1	1	0	246
117	32	1	1	0	-1	1	1	260
149	33	1	1	1	0	0	0	257
157	34	1	1	1	1	0	-1	256
72	35	1	1	1	0	1	1	240
1	36	1	1	-1	-1	-1	-1	293
160	37	1	1	1	1	1	-1	254
115	38	1	1	0	-1	1	-1	279
143	39	1	1	1	-1	1	0	265
118	40	1	1	0	0	-1	-1	278
116	41	1	1	0	-1	1	0	264
74	42	1	1	1	1	-1	0	254
101	43	1	1	-1	1	-1	0	267
43	44	1	1	0	0	1	-1	275
145	45	1	1	1	0	-1	-1	268
81	46	1	1	1	1	1	1	239
66	47	1	1	1	0	-1	1	250
6	48	1	1	-1	-1	0	1	268
27	49	1	1	-1	1	1	1	256

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B	C	D	ค่าเฉลี่ยกำลังอัด
79	50	1	1	1	1	1	-1	255
110	51	1	1	0	-1	-1	0	272
120	52	1	1	0	0	-1	1	253
19	53	1	1	-1	1	-1	-1	279
162	54	1	1	1	1	1	1	238
103	55	1	1	-1	1	0	-1	278
125	56	1	1	0	0	1	0	265
38	57	1	1	0	0	-1	0	268
114	58	1	1	0	-1	0	1	260
83	59	1	1	-1	-1	-1	0	283
113	60	1	1	0	-1	0	0	264
122	61	1	1	0	0	0	0	266
158	62	1	1	1	1	0	0	250
147	63	1	1	1	0	-1	1	246
123	64	1	1	0	0	0	1	252
78	65	1	1	1	1	0	1	242
48	66	1	1	0	1	-1	1	256
52	67	1	1	0	1	1	-1	268
146	68	1	1	1	0	-1	0	267
82	69	1	1	-1	-1	-1	-1	293
5	70	1	1	-1	-1	0	0	280
128	71	1	1	0	1	-1	0	256
130	72	1	1	0	1	0	-1	270
90	73	1	1	-1	-1	1	1	267
2	74	1	1	-1	-1	-1	0	284
10	75	1	1	-1	0	-1	-1	288

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B	C	D	ค่าเฉลี่ยกำลังอัด
142	76	1	1	1	-1	1	-1	264
141	77	1	1	1	-1	0	1	244
126	78	1	1	0	0	1	1	254
76	79	1	1	1	1	0	-1	257
92	80	1	1	-1	0	-1	0	276
89	81	1	1	-1	-1	1	0	281
97	82	1	1	-1	0	1	-1	282
64	83	1	1	1	0	-1	-1	268
41	84	1	1	0	0	0	0	265
150	85	1	1	1	0	0	1	244
96	86	1	1	-1	0	0	1	266
4	87	1	1	-1	-1	0	-1	292
106	88	1	1	-1	1	1	-1	276
50	89	1	1	0	1	0	0	258
112	90	1	1	0	-1	0	-1	281
86	91	1	1	-1	-1	0	0	278
138	92	1	1	1	-1	-1	1	250
51	93	1	1	0	1	0	1	253
30	94	1	1	0	-1	-1	1	261
18	95	1	1	-1	0	1	1	262
148	96	1	1	1	0	0	-1	267
39	97	1	1	0	0	-1	1	252
155	98	1	1	1	1	-1	0	255
80	99	1	1	1	1	1	0	244
36	100	1	1	0	-1	1	1	258
20	101	1	1	-1	1	-1	0	272

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B	C	D	ค่าเฉลี่ยกำลังอัด
137	102	1	1	1	-1	-1	0	263
154	103	1	1	1	1	-1	-1	258
136	104	1	1	1	-1	-1	-1	271
54	105	1	1	0	1	1	1	253
62	106	1	1	1	-1	1	0	263
25	107	1	1	-1	1	1	-1	274
37	108	1	1	0	0	-1	-1	278
144	109	1	1	1	-1	1	1	243
88	110	1	1	-1	-1	1	-1	289
84	111	1	1	-1	-1	-1	1	274
152	112	1	1	1	0	1	0	260
29	113	1	1	0	-1	-1	0	270
15	114	1	1	-1	0	0	1	265
49	115	1	1	0	1	0	-1	268
8	116	1	1	-1	-1	1	0	280
32	117	1	1	0	-1	0	0	268
40	118	1	1	0	0	0	-1	276
105	119	1	1	-1	1	0	1	256
42	120	1	1	0	0	0	1	256
156	121	1	1	1	1	-1	1	245
31	122	1	1	0	-1	0	-1	278
35	123	1	1	0	-1	1	0	265
21	124	1	1	-1	1	-1	1	258
60	125	1	1	1	-1	0	1	247
46	126	1	1	0	1	-1	-1	272
87	127	1	1	-1	-1	0	1	266

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B	C	D	ค่าเฉลี่ยกำลังอัด
65	128	1	1	1	0	-1	0	268
159	129	1	1	1	1	0	1	241
95	130	1	1	-1	0	0	0	279
24	131	1	1	-1	1	0	1	257
109	132	1	1	0	-1	-1	-1	283
132	133	1	1	0	1	0	1	256
124	134	1	1	0	0	1	-1	275
13	135	1	1	-1	0	0	-1	286
61	136	1	1	1	-1	1	-1	265
133	137	1	1	0	1	1	-1	265
45	138	1	1	0	0	1	1	253
57	139	1	1	1	-1	-1	1	246
58	140	1	1	1	-1	0	-1	268
131	141	1	1	0	1	0	0	258
47	142	1	1	0	1	-1	0	254
44	143	1	1	0	0	1	0	264
23	144	1	1	-1	1	0	0	269
7	145	1	1	-1	-1	1	-1	287
127	146	1	1	0	1	-1	-1	273
56	147	1	1	1	-1	-1	0	264
153	148	1	1	1	0	1	1	242
134	149	1	1	0	1	1	0	257
139	150	1	1	1	-1	0	-1	267
140	151	1	1	1	-1	0	0	263
55	152	1	1	1	-1	-1	-1	270
94	153	1	1	-1	0	0	-1	287

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B	C	D	ค่าเฉลี่ยกำลังอัด
99	154	1	1	-1	0	1	1	261
59	155	1	1	1	-1	0	0	265
71	156	1	1	1	0	1	0	258
73	157	1	1	1	1	-1	-1	264
151	158	1	1	1	0	1	-1	268
26	159	1	1	-1	1	1	0	263
77	160	1	1	1	1	0	0	252
100	161	1	1	-1	1	-1	-1	273
93	162	1	1	-1	0	-1	1	267

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข

ค่าการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา

ตารางที่ ข.1 แบบฟอร์มการให้คะแนนปัจจัยที่มีผลต่อค่ากำลังอัดคอนกรีต

ตารางที่ ข.2 ผลการให้คะแนนปัจจัยที่มีผลต่อค่ากำลังอัดคอนกรีต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข.1 แบบฟอร์มการให้คะแนนปัจจัยที่มีผลต่อค่ากำลังอัดคอนกรีต

ลำดับ	ปัจจัย	คะแนนความสัมพันธ์										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	ขาดการฝึกอบรม	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	อ่านค่าผิดพลาด	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	ไม่ปฏิบัติตามขั้นตอน	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	ขาดประสบการณ์	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	ระบบลำเลียงวัตถุดิบสั่นสะเทือน	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	ขาดแผนการบำรุงรักษา	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7	ระยะใบกวนห่าง	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8	ขาดการสอบเทียบระบบเครื่องชั่ง	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9	ทรายมีความละเอียด	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	สัดส่วนหินฝุ่นต่อทราย	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	น้ำยาผสมคอนกรีต	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12	สัดส่วนของหิน #3/4 และ #3/8	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
13	ไม่ปฏิบัติตามคู่มือการเก็บตัวอย่างคอนกรีต	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
14	สัดส่วนของมวลรวมหยาบและละเอียด	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
15	ปริมาณปูนซีเมนต์ในการผสมคอนกรีต	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
16	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีต	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
17	ระยะเวลาในการผสมคอนกรีต	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข.2 ผลการให้คะแนนปัจจัยที่มีผลต่อค่ากำลังอัดคอนกรีต

ลำดับ	ปัจจัย	คะแนนความสัมพันธ์					
		ผู้จัดการโรงงาน	วิศกรโยธา	พนักงานฝ่ายผลิต	พนักงานควบคุมคุณภาพ	วิศกรฝ่ายผลิต	รวม
1	ขาดการฝึกอบรม	3	2	3	3	2	13
2	อ่านค่าผิดพลาด	3	3	2	3	3	14
3	ไม่ปฏิบัติตามขั้นตอน	3	3	2	3	2	13
4	ขาดประสบการณ์	2	3	2	3	2	12
5	ระบบลำเลียงวัตถุดิบสั่นสะเทือน	2	2	1	2	1	8
6	ขาดแผนการบำรุงรักษา	1	1	1	1	1	5
7	ระยะใบกวนห่าง	2	3	1	3	2	11
8	ขาดการสอบเทียบระบบเครื่องชั่ง	2	3	2	3	2	12
9	ทรายมีความละเอียด	3	4	2	3	3	15
10	สัดส่วนหินฝุ่นต่อทราย	8	10	8	9	9	44
11	น้ำยาผสมคอนกรีต	3	3	2	3	2	13
12	สัดส่วนของหิน #3/4 และ #3/8	7	8	7	8	9	39
13	ไม่ปฏิบัติตามคู่มือการเก็บตัวอย่างคอนกรีต	3	2	3	2	3	13
14	สัดส่วนของมวลรวมหยาบและละเอียด	3	4	3	2	4	16
15	ปริมาณปูนซีเมนต์ในการผสมคอนกรีต	9	10	9	10	9	47
16	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีต	9	10	9	9	9	46
17	ระยะเวลาในการผสมคอนกรีต	1	1	0	1	0	3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวีระชัย อารีรักษ์ สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังในปี พ.ศ. 2548 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา พ.ศ. 2557

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY