การประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต

APPLICATION OF COMPUTER PROGRAMMING IN CONCRETE MIXED DESIGN

นายณรงค์ คำรัตน์

นายทรงศักดิ์ รามสีดา

นายมานพ จีนาวุฒิ

นายเกียรติศักดิ์ ราชเนตร

13980595

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ... 12 ต.ค. 2544
เลขทะเบียน จศ 4400391
เลขเรียกหนังสือ .. TA 439 ร491 2543
มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2543

ใบรับรองโครงงานวิจัย

หัวข้อโครงงานวิจัย : การประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต

ผู้ดำเนินงานวิจัย : นายณรงค์ คำรัตน์ รหัส 40361792
นายทรงศักดิ์ รามสีดา รหัส 40361859
นายมานพ จีนาวุฒิ รหัส 40361974
นายเกียรติศักดิ์ ราชเนตร รหัส 40362204

ที่ปรึกษาโครงงานวิจัย : อาจารย์รัฐภูมิ ปริชาตปรีชา

สาขาวิชา : วิศวกรรมโยธา

ภาควิชา : วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา

คณะกรรมการสอบโครงงานวิจัย

_____ ประธานกรรมการ
(อาจารย์ รัฐภูมิ ปริชาตปรีชา)

_____ กรรมการ
(อาจารย์ สมยศ เกียรติวณิชวิไล)

_____ กรรมการ
(อาจารย์ บุญพล มีไชโย)

_____ หัวหน้าภาควิชา
(ผู้ช่วยศาตราจารย์ สมบัติ ชื่นชูกลิ่น)

หัวข้อโครงงานวิจัย : การประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต

ผู้ดำเนินงานวิจัย : นายณรงค์ คำรัตน์ รหัส 40361792
นายทรงศักดิ์ รามสีดา รหัส 40361859
นายมานพ จีนาวุฒิ รหัส 40361974
นายเกียรติศักดิ์ ราชเนตร รหัส 40362204

ที่ปรึกษาโครงงานวิจัย : อาจารย์รัฐภูมิ ปริชาตปรีชา

สาขาวิชา : วิศวกรรมโยธา

ภาควิชา : วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตโดยใช้ภาษา Visual Basic V 6.0 ในการเขียนโปรแกรม วัตถุประสงค์เพื่อสามารถพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถใช้ออกแบบสัดส่วนผสมของคอนกรีตให้ได้กำลังอัดและค่าการยุบตัวตามที่ต้องการโดยออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตธรรมดาตามมาตราฐานอเมริกัน (ACI 211.1-74), ออกแบบส่วนผสมที่เหมาะสำหรับประเทศไทยซึ่งเป็นวิธีการออกแบบของประเทศอเมริกัน(ACI 211.1-74) และของประเทศอังกฤษ(British Method) มาประยุกต์ให้เข้ากับสภาพของวัตถุดิบที่มีใช้ในประเทศไทยและออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตผสมเถ้าลอยโดยวิธีอย่างง่าย

จากการทดสอบโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมีความคาดเคลื่อนในส่วนผสมของคอนกรีตไม่ถึง 1 เปอร์เซ็นต์ โปรแกรมสามารถใช้ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ใส่สารลดน้ำได้และมีโปรแกรมช่วยอำนวยความสะดวกในการใช้โปรแกรม

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถออกแบบคอนกรีตที่มีกำลังอัดทรงกระบอก ที่ 28 วัน อยู่ในช่วง 150 – 450 กก.ตร.ซม. ค่าการยุบตัว 3 ซม.ถึง 18 ซม. สำหรับมาตราฐานอเมริกัน(ACI 211.1-74),กำลังอัดทรงลูกบาศก์ ที่ 28 วัน อยู่ในช่วง 150 – 590 กก. ต่อ ตร.ซม. ค่าการยุบตัว 5 ซม. ถึง 15 ซม. สำหรับการออกแบบที่เหมาะสำหรับประเทศไทย และ กำลังอัดทรงลูกบาศก์ ที่ 28 วัน ไม่เกิน 570 กก.ต่อ ตร.ซม.ค่าการยุบตัวทำนายได้ไม่เกิน 24 ซม. สำหรับคอนกรีตผสมเถ้าลอย

Project title : Application of Computer Programming in Concrete Mixed Design

: Mr. Narong Kamratana Code 40361792

Mr. Songs Ramsida Code 40361859

Mr. Manop Jeenawut Code 40361974

Mr. Kiatisak Radchanet Code 40362204

Project Advisor : Mr. Rattapohn Parichatprecha

Major : Civil Engineering

Department : Civil Engineering

Academic Year : 2000

Abstract

This project is the Application of computer programming in concrete mixed design. The program was written in Visual Basic V.6 .The purpose of this project is to develop program computer that to design for normal weight concrete mix and is considered in compressive strength method (ACI 211.1-74), for used in Thailand that applicated American method (ACI 211.1-74) and British method, and fly ash concrete by simplified method.

Form the program computer test, the result of concrete proportion can be accepted, so error is less than 1 %. It can be used to design concrete mixed proportion with or without plasticizer. There is help program for use this program.

Finally, the developed program can design the proportion of concrete that has cylinder strength at 28 day between 150 – 590 ksc with the slump value of 2 to 18 cm. for design by American method (ACI 211.1-74), cube strength at 28 day between 150 – 590 ksc with the slump value of 5 to 15 cm. for used in Thailand, cube strength at 28 day less than 570 ksc with the slump value not over 24 cm.for fly ash concrete.

กิตติกรรมประกาศ

การทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จด้วยดีเป็นผลเนื่องมาจากการให้คำปรึกษา และการแนะนำของ อาจารย์รัฐภูมิ ปริชาตปรีชา อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน และอาจารย์สมยศ เกียรติวนิชวิไล อาจารย์ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณอย่างสูง มา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ บริษัทคอนกรีตผสมเสร็จ CPAC และนายช่างวิฑูรย์ ศรเพชรพิสัย ที่ให้ความช่วยเหลือให้ข้อมูลส่วนผสมคอนกรีต ซึ่งทำให้งานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท้ายที่สุด คุณประโยชน์อันพึงควรจะได้รับจากปริญญานิพนธ์นี้ ขอมอบให้แก่ บิดา มารดา ผู้มีพระคุณ และสมาชิกในครอบครัวที่ให้กำลังใจตลอดมา

ณรงค์ คำรัตน์
ทรงศักดิ์ รามสีดา
มานพ จีนาวุฒิ
เกียรติศักดิ์ ราชเนตร

มีนาคม 2544

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ก

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ข

กิตติกรรมประกาศ ค

สารบัญ ง

สารบัญตาราง ฉ

สารบัญรูปภาพ ช

สัญลักษณ์ ซ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงาน 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1

1.3 ขอบเขตของโครงงาน 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน 2

1.6 แผนการดำเนินงานตลอดโครงงาน 4

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี

2.1 การออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตตามมาตราฐานอเมริกา(ACI 211.1-74) 5

2.2 การออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตตามวิธีที่เหมาะสำหรับประเทศไทย 9

2.3 การออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตผสมเถ้าลอย 13

บทที่ 3 การเขียนโปรแกรม

3.1 บทนำ 23

3.2 ภาพรวมของโปรแกรม 23

3.2.1 โปรแกรมการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตตามมาตราฐานอเมริกา(ACI 211.1-74) 26

3.2.2 โปรแกรมการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตที่เหมาะสำหรับประเทศไทย 28

3.2.3 โปรแกรมการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตผสมเถ้าลอย 30

บทที่ 4 คู่มือการใช้โปรแกรม

4.1 บทนำ 32

4.2 หน้าที่ของปุ่มหลักที่ใช้ในโปรแกรม 32

4.3 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตตามมาตรฐานอเมริกัน(ACI 211.1-74) 32

4.4 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสำหรับประเทศไทย 36

4.5 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตผสมเถ้าลอย 39

บทที่ 5 การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม

5.1 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตตามมาตรฐานอเมริกัน(ACI 211.1-74) 41

5.2 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสำหรับประเทศไทย 43

5.3 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตผสมเถ้าลอย 45

บทที่ 6 วิเคราะห์และสรุปผลของโครงงาน

6.1 วิเคราะห์ผล 47

6.2 สรุปผลของโครงงาน 48

6.3 ข้อเสนอแนะ 48

บรรณานุกรม 49

ภาคผนวก 50

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ค่าความยุบตัวของคอนกรีตที่ใช้สำหรับการก่อสร้างต่างๆ	5
2.2	ขนาดโตสุดของวัสดุผสมสำหรับงานก่อสร้างประเภทต่างๆ	6
2.3	ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่าความยุบตัวและวัสดุผสมขนาดต่างๆ	6
2.4	อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงสุดโดยน้ำหนักที่ยอมให้ใช้ได้สำหรับคอนกรีตในสภาวะเปิดเผยรุนแรง	7
2.5	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัดประลัยของคอนกรีต	7
2.6	ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบต่อ 1 หน่วยปริมาตรของคอนกรีต	8
2.7	แสดงค่ามาตรฐานวัสดุในการออกแบบ	10
2.8	ปริมาณน้ำเพื่อให้ได้ค่าการยุบตัวตามต้องการ	10
2.9	ปริมาณส่วนละเอียดเมื่อใช้หินขนาดใหญ่สุดแตกต่างกัน	10
2.10	ปริมาณน้ำเพื่อให้ได้ค่าการยุบตัวตามต้องการเมื่อใส่น้ำยาลดน้ำ	12
2.11	ขนาดของช่องเปิดตะแกรงร่อนที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ขนาด	18
5.1	ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตตามมาตรฐานอเมริกัน	42
5.2	การเปรียบเทียบส่วนผสมของคอนกรีตตามมาตรฐานอเมริกัน	42
5.3	ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสำหรับประเทศไทย	43
5.4	การเปรียบเทียบส่วนผสมของคอนกรีตที่เหมาะสำหรับประเทศไทย	44
5.5	ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตผสมเถ้าลอย	45
5.6	การเปรียบเทียบส่วนผสมของคอนกรีตผสมเถ้าลอย	46

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และค่ากำลังอัดคอนกรีต	11
2.2	การแปลงกำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์และรูปทรงกระบอก	11
2.3	แสดงการคำนวณหาส่วนผสมสำหรับการออกแบบโดยวิธีแบบง่าย	14
2.4	แผนภูมิสำหรับหาค่าปริมาณน้ำที่เพียงพอในการทำลายแรงเสียดทาน และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวอนุภาคของแข็งส่วนผสมในคอนกรีต	21
2.5	แผนภูมิสำหรับการหาค่าการยุบตัวของคอนกรีตสด	21
3.1	แสดงความสัมพันธ์ของแต่ละฟอร์มในโปรแกรม NU MIX V 1.0	25
3.2	ผังงานโปรแกรม frmACI	26
3.3	ผังงานโปรแกรม frmACI Plasticizer	27
3.4	ผังงานโปรแกรม frmThai	28
3.5	ผังงานโปรแกรม frmThai Plasticizer	29
3.6	ผังงานโปรแกรม frmFlyAsh	30
3.7	ผังงานโปรแกรม frmFlyAshSlump	31
4.1	การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตโดยวิธี ACI	33
4.2	การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตโดยวิธี ACI ที่ไม่ใส่สารลดน้ำ	34
4.3	การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตโดยวิธี ACI ที่ใส่สารลดน้ำ	35
4.4	การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสำหรับประเทศไทย	36
4.5	การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสำหรับประเทศไทยที่ไม่ใส่สารลดน้ำ	37
4.6	การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสำหรับประเทศไทยที่ใส่สารลดน้ำ	38
4.7	การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตผสมเถ้าลอยส่วนกำลังอัด	39
4.8	การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตผสมเถ้าลอยส่วนการทำนายค่าการยุบตัว	40

สัญลักษณ์

Ab_r	= เปอร์เซ็นต์การดูดซึมของหิน
Ab_s	= เปอร์เซ็นต์การดูดซึมของทราย
AC	= เปอร์เซ็นต์ฟองอากาศในคอนกรีต
AWr	= น้ำหนักหิน (เปียก) ที่ใช้ในส่วนผสมของคอกรีต
AWs	= น้ำหนักทราย (เปียก) ที่ใช้ในส่วนผสมของคอนกรีต
AWw	= น้ำหนักน้ำที่ใช้ในส่วนผสมของคอนกรีต
Bc	= ค่าความสามารถในการกักเก็บน้ำของปูนซีเมนต์
Bf	= ค่าความสามารถในการกักเก็บน้ำของเถ้าลอย
Bs	= ค่าความสามารถในการกักเก็บน้ำของมวลรวมละเอียด
CaOc	= ค่าร้อยละโดยน้ำหนักของแคลเซี่ยมออกไซด์ในปูนซีเมนต์
CaOeq	= ค่าร้อยละโดยน้ำหนักของแคลเซี่ยมออกไซด์ในวัสดุประสาน
CaOf	= ค่าร้อยละโดยน้ำหนักของแคลเซี่ยมออกไซด์ในเถ้าลอย
Dav_r	= ค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ้าศูนย์กลางมวลรวมละเอียด
Dav_s	= ค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ้าศูนย์กลางมวลรวมหยาบ
E	= โมดูลัสความละเอียดของทราย
Fc	= กำลังรับแรงอัดคอนกรีตที่ 28 วันที่ต้องการ
Fc_d	= กำลังรับแรงอัดคอนกรีตที่ 28 วันที่ออกแบบ
g	= อัตราส่วนปริมาตรเพสต์ต่อปริมาตรช่องว่างระหว่างมวลรวมที่อัดแน่น
M1-M21	= ค่าร้อยละของมวลรวมที่ค้างอยู่บนตะแกรงชั้นที่พิจารณานั้นๆ
MA	= กำลังอัดส่วนเผื่อ (Margin)
Mr	= เปอร์เซ็นต์ความชื้นของหิน
Ms	= เปอร์เซ็นต์ความชื้นของทราย
n	= อัตราส่วนพื้นที่ผิวสัมผัสประสิทธิผลของคอนกรีต (ตร.ซม./ลบ.ม.)
OWr	= น้ำหนักน้ำส่วนเกินของหิน ที่ใช้ในส่วนผสมของคอกรีต
OWs	= น้ำหนักน้ำส่วนเกินของทราย ที่ใช้ในส่วนผสมของคอนกรีต
r	= อัตราส่วนเถ้าลอยต่อวัตถุประสาน , f/(c + f)
Rp	= เปอร์เซ็นลดน้ำของสารลดน้ำ
S	= ค่าการยุบตัวของคอนกรีตสด
Sagg	= พื้นที่ผิวทั้งหมดของมวลรวมใน 1 ลบ.ม. ของคอนกรีต (ตร.ซม./ลบ.ม.)

Sc = พื้นที่ผิวจำเพาะของปูนซีเมนต์

Seff = พื้นที่ผิวสัมผัสประสิทธิผลของอนุภาคของแข็งในส่วนผสมคอนกรีตที่เกิดแรงเสียดทานระหว่างกัน ได้แก่ ปูนซีเมนต์ เถ้าลอย และมวลรวมใน 1 ลบ.ม. ของคอนกรีต (ตร.ซม./ลบ.ม.)

Sf = พื้นที่ผิวจำเพาะของเถ้าลอย

Sg = พื้นที่ผิวจำเพาะของมวลรวมหยาบ

SGc = ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์

SGr = ความถ่วงจำเพาะของหิน

SGs = ความถ่วงจำเพาะของทราย

Sog = พื้นที่ผิวจำเพาะของมวลรวมหยาบที่สมมุติให้เป็นอนุภาคทรงกลม

Sos = พื้นที่ผิวจำเพาะของมวลรวมละเอียดที่สมมุติให้เป็นอนุภาคทรงกลม

SPerA = อัตราส่วนมวลละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมด (s/a)

Spow = พื้นที่ผิวทั้งหมดของวัสดุประสาน (ปูนซีเมนต์และเถ้าลอย)ในลบ.ม.ของคอนกรีต (ตร.ซม./ลบ.ม.)

UWr = หน่วยน้ำหนักของหิน

Va = ปริมาตรมวลรวมทั้งหมด

Vc = ปริมาตรเนื้อแท้ของซีเมนต์

Vp = ปริมาณสารลดน้ำที่ใช้ในส่วนผสมคอนกรีต

Vpu = ปริมาณสารลดน้ำที่ใช้ (ซีซี.ต่อ ปูนซีเมนต์ 100 กิโลกรัม)

Vr = ปริมาตรเนื้อแท้ของหิน

VrPerVa = ปริมาตรหินในสภาพแห้งและอัดแน่นต่อหน่วยปริมาตรคอนกรีต

Vs = ปริมาตรเนื้อแท้ของทราย

V_p = ปริมาตรเพสท์

Vw = น้ำหนักปูนซีเมนต์ที่ใช้ในส่วนผสม

Wc = ปริมาตรเนื้อแท้ของน้ำ

Wfr = ปริมาณน้ำอิสระในคอนกรีตสด 1 ลบ.ม (กก./ลบ.ม.)

Wo = ปริมาณน้ำที่เพียงพอในการทำลายแรงเสียดทานและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวของอนุภาคของแข็งในส่วนผสมคอนกรีต

WPerB = อัตราส่วนระหว่างน้ำกับวัสดุประสาน

WPerC = อัตราส่วนระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์

Wr = น้ำหนักหิน (แห้ง)

Ws = น้ำหนักทราย (แห้ง)

Ww = น้ำหนักน้ำ

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ในปัจจุบันคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล(Personal Computer)ได้มีการพัฒนาให้มีคุณภาพสูง ราคาไม่แพง มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในทุกสาขาวิชา คอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในงานด้านวิศวกรรมโยธา ซึ่งได้ใช้ประโยชน์ของคอมพิวเตอร์ในหลายด้าน ทั้งในการวิเคราะห์โครงสร้าง การออกแบบโครงสร้าง การบริหารงานก่อสร้าง การเก็บข้อมูล ฯลฯ

ในการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต(Mix Design Concrete)มีความสำคัญอย่างมากในงานก่อสร้างเพราะว่าคอนกรีตเป็นวัสดุที่นิยมใช้มากในงานก่อสร้างทั่วไป เนื่องจากต้นทุนต่ำและรักษาง่าย ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาและปรับปรุงส่วนผสมของคอนกรีตโดยใช้สารผสมเพิ่มผสมเข้าไปในส่วนผสมของคอนกรีตเพื่อพัฒนาคุณสมบัติด้านต่างๆของคอนกรีตให้เป็นไปตามต้องการ

ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตด้วยมือโดยทั่วไปมักจะเสียเวลาและไม่สะดวกเท่าที่ควร และเนื่องจากว่าเวลามีความสำคัญอย่างมากในงานวิศวกรรม การที่ลดเวลาในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตได้นั้นเราสามารถนำเวลาส่วนที่เหลือไปใช้ในการทำงานอื่นๆที่มีอยู่ได้ จึงได้มีความคิดว่าหากเรานำความรู้ทางด้านโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการเขียนโปรแกรมเพื่อออกแบบส่วนผสมคอนกรีต ก็จะช่วยลดปัญหาด้านเวลาในการออกแบบลง อีกทั้งยังสะดวกในการใช้งาน ง่ายในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต และมีความถูกต้องแม่นยำกว่าการคำนวณด้วยมือ เพราะว่าในการคำนวณออกแบบด้วยมือนั้นอาจมีความคลาดเคลื่อนต่างๆในระหว่างการทำการออกแบบได้ ไม่ว่าจะเป็นค่าที่ได้จากการอ่านกราฟ หรือความผิดพลาดในการคิดเลข งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะแก้ปัญหาดังกล่าวโดยการนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต

1.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตตามาตรฐานอเมริกัน(ACI 211.1-74) การออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตผสมเถ้าลอย และการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้ในประเทศไทย

2) เพื่อสร้างโปรแกรมคำนวณออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตโดยใช้ภาษา Visual Basic version 6.0 ในการเขียนโปรแกรมการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต
3) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้งานระหว่างการออกแบบโดยประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์และการออกแบบด้วยมือ

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) โปรแกรมการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตซึ่งสามารถนำไปใช้ในงานก่อสร้างจริงๆได้
2) ทำให้ประหยัดเวลาในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตและมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น
3) มีการทำงานร่วมกันเป็นหมู่คณะ รู้จักการทำงานร่วมกันและยอมรับฟังความคิดเห็นของซึ่งกันและกัน
4) มีการใช้ความคิด รวบรวมและเรียบเรียงลำดับความคิดในการแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำงาน
5) มีความรู้ทางด้านการเขียนโปรแกรมและทางด้านงานคอนกรีตมากขึ้น

1.4 ขอบเขตการทำงาน

1) ในการประยุกต์ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์พัฒนาการเขียนโปรแกรมการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต เลือกใช้โปรแกรม Visual Basic version 6.0 ในการเขียนโปรแกรม
2) เพื่อให้คอนกรีตมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ สามารถเลือกออกแบบ คือ
   - ตามมาตรฐานอเมริกัน (ACI 211.1-74)
   - ที่ใช้ในประเทศไทย
   - เถ้าลอยผสมคอนกรีต
3) กำลังอัดของคอนกรีตที่ต้องการมีค่าไม่เกิน 570 กก.ต่อ ซม^2
4) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1) ค้นคว้าและรวบรวมเอกสาร งานวิจัยที่ผ่านมา
2) ศึกษาข้อมูลในการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต
3) เขียนโครงร่างปริญญานิพนธ์
4) วางแผนการเขียนโปรแกรมและทำการเขียนโปรแกรม
5) เสนอโครงงานให้อาจารย์ที่ปรึกษาตรวจสอบ

6) ปรับปรุงโครงงาน
7) จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์
8) เสนอปริญญานิพนธ์ให้คณะกรรมการพิจารณา
9) เรียบเรียงปริญญานิพนธ์เป็นรูปเล่มและนำเสนออาจารย์ที่ปรึกษา

1.6 ระยะเวลาในการดำเนินงาน

การดำเนินการ	ปี 2543					ปี 2544		
	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม
-ค้นคว้ารวบรวมเอกสาร งานวิจัยที่ผ่านมา								
-ศึกษาข้อมูลในการคลุกเคล้าส่วนผสมคอนกรีต								
-เขียนโครงร่างปริญญานิพนธ์								
-เสนอโครงร่างปริญญานิพนธ์								
-วางแผนเขียนโปรแกรม								
-เขียนโปรแกรม								
-เสนอโครงงานให้อาจารย์ที่ปรึกษาตรวจสอบครั้งที่1								
-ปรับปรุงโครงงานครั้งที่1								
-เสนอโครงงานให้อาจารย์ที่ปรึกษาตรวจสอบครั้งที่2								
-ปรับปรุงโครงงานครั้งที่2								
-จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์								
-เสนอปริญญานิพนธ์ให้คณะกรรมการพิจารณา								
-เรียบเรียงปริญญานิพนธ์เป็นรูปเล่มและนำเสนออาจารย์								

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

2.1 การออกแบบปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีตโดยวิธีของ ACI 211.1-74

การคำนวณหาปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีตโดยทั่วไปซึ่งหล่อกับที่อาจดำเนินการเป็นขั้นๆ ตามวิธีซึ่งเสนอโดยสถาบันคอนกรีตอเมริกัน (ACI 211.1-74) ดังต่อไปนี้ ซึ่งให้ผลค่อนข้างแน่นอน ไม่เปลี่ยนแปลงนักและถูกต้อง ตามวิธีการนี้จะต้องทราบคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุที่ใช้ทำคอนกรีตเสียก่อน เช่น ค่าความถ่วงจำเพาะ หน่วยน้ำหนัก โมดูลัสความละเอียด เปอร์เซ็นการดูดซึม เป็นต้น อีกทั้งวัสดุผสมต้องมีส่วนผสมและขนาดคละอยู่ในพิกัดกำหนดด้วย ซึ่งขั้นตอนการคำนวณมีดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 เลือกค่าความยุบตัวที่เหมาะสมกับประเภทของงาน

ค่าความยุบตัวต้องอยู่ในช่วงที่เหมาะสม เพื่อให้ความข้นเหลวพอทำงานได้สะดวก ในกรณีที่ไม่ได้กำหนดค่าความยุบตัวมาให้ หรือไม่มีข้อมูลในอดีต เลือกใช้จากตารางที่ 2.1 ซึ่งให้ค่าความยุบตัวที่เหมาะสมกับงาน

ตารางที่ 2.1 ค่าความยุบตัวของคอนกรีตที่ใช้สำหรับการก่อสร้างต่างๆ

ประเภทของงาน	ค่าความยุบตัว (ซม.)	
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
งานฐานราก กำแพง คอนกรีตเสริมเหล็ก	8.0	2.0
งานฐานรากคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก งานก่อสร้างใต้น้ำ	8.0	2.0
งานพื้น คาน และผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก	10.0	2.0
งานเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	10.0	2.0
งานพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	8.0	2.0
งานคอนกรีตขนาดใหญ่	8.0	2.0

ขั้นตอนที่ 2 เลือกขนาดโตสุดของหิน

ขนาดโตสุดของหิน ไม่ควรเกินกว่า 1/5 ของส่วนที่แคบสุดของแบบ หรือ 1/3 ของความหนาของแผ่นพื้น หรือ ¾ ของระยะห่างระหว่างเหล็กเสริม ขนาดโตสุดของหินที่กับงานก่อสร้างประเภทต่างๆ อาจเลือกได้จากตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ขนาดโตสุดของวัสดุผสมสำหรับงานก่อสร้างประเภทต่างๆ

ขนาดความหนาของโครงสร้าง	ขนาดโตสุดของวัสดุผสม							
	คาน ผนัง และเสา คสล.		ผนังคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก		พื้นถนน คสล. รับน้ำหนักมาก		พื้นคอนกรีตรับน้ำหนักน้อย	
(ซม.)	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.
5.0 – 15.0	½ -3/4	12.5-20	¾	20	¾-1	20-25	¾-1 ½	20-40
15.0 – 30.0	¾-1 ½	20-40	1 ½	40	1 ½	40	1 ½-3	40-75
30.0 – 75.0	1 ½-3	40-75	3	75	1 ½-3	40-75	3	75
มากกว่า75.0	1 ½ -3	40-75	6	150	1 ½-3	40-75	3-6	75-150

ขั้นตอนที่ 3 ประมาณปริมาณน้ำที่ผสมและปริมาณฟองอากาศที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 2.3 ให้ปริมาณน้ำที่ต้องการในหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต เพื่อให้ได้ค่าการยุบตัวตามที่กำหนด ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดโตสุดของหิน รูปร่างและส่วนขนาดคละของวัสดุผสม ในตารางดังกล่าวยังให้ปริมาณฟองอากาศที่จะเกิดขึ้นในส่วนผสมสำหรับคอนกรีตที่มีและไม่มีสารทำให้เกิดการกระจายกักฟองอากาศ

ตารางที่ 2.3 ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่าความยุบตัวและวัสดุผสมขนาดต่างๆ

ค่าความยุบตัว (ซม.)	ปริมาณน้ำเป็นลิตรต่อคอนกรีต 1 ลบ.ม. สำหรับวัสดุผสมขนาดต่างๆ							
	3/8" 10 มม.	½" 12.5 มม	¾" 20 มม.	1" 25 มม.	1 ½" 40 มม.	2" 50 มม	3" 75 มม.	4" 150 มม.
คอนกรีตที่ไม่มีสารกระจายกักฟองอากาศ								
3-5	205	200	185	180	160	155	145	125
8-10	225	215	200	195	175	170	160	140
15-18	240	230	210	205	185	180	170	-
ปริมาณฟองอากาศ (%)โดยปริมาตร	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
คอนกรีตที่มีสารกระจายกักฟองอากาศ								
3-5	180	175	165	160	145	140	135	120
8-10	200	190	180	175	160	155	150	135
15-18	215	205	190	185	170	165	160	-
ปริมาณฟองอากาศ (%)โดยปริมาตร	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

ขั้นตอนที่ 4 เลือกอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์

อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสม ขึ้นอยู่กับสภาพของคอนกรีตที่จะนำไปใช้งาน และกับกำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีตที่ต้องการ ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีตสำหรับวัสดุผสมที่จะใช้ผสมทำคอนกรีต ก็ให้เลือกค่าอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์จากตารางที่ 2.4 และ 2.5 ตารางที่ 2.4 ให้ค่าอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนักที่มากที่สุดสำหรับประเภทของงาน และสภาวะแวดล้อมต่างๆ ส่วนตารางที่ 2.5 ให้ค่าอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ โดยน้ำหนักที่มากที่สุดของค่าเฉลี่ยของกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ต้องการและให้เลือกค่าอัตราส่วนดังกล่าวที่ต่ำที่สุดที่หาได้จากสองตารางนี้

ตารางที่ 2.4 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงสุดโดยน้ำหนักที่ยอมให้ใช้ได้สำหรับคอนกรีตในสภาวะเปิดเผยรุนแรง

ชนิดโครงสร้าง	โครงสร้างที่เปียกตลอดเวลาหรือมีการเยือกแข็งและการละลายของน้ำสลับกันบ่อยๆ	โครงสร้างในน้ำเค็มหรือถูกกับซัลเฟต
โครงสร้างบางๆที่มีเปลือกหุ้มบางกว่า 3 ซม.	0.45	0.40*
โครงสร้างอื่นๆทั้งหมด	0.50	0.45*

- ถ้าใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟตอาจเพิ่มค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ได้อีก 0.05

ตารางที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัดประลัยของ คอนกรีต

กำลังอัดประลัยของคอนกรีต ที่ 28 วัน(กก./ตร.ซม.)	อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนัก	
	คอนกรีตไม่กระจายกักฟองอากาศ	คอนกรีตกระจายกักฟองอากาศ
450	0.38	-
400	0.43	-
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณปริมาณปูนซีเมนต์ที่ต้องใช้

เมื่อทราบปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต และอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนักแล้ว ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ในหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีตย่อมหาได้ซึ่งเท่ากับปริมาณน้ำจากขั้นตอนที่ 3 หารด้วยอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์จากขั้นตอนที่ 4 อย่างไรก็ดีถ้ามีการกำหนดปริมาณซีเมนต์ในหนึ่งหน่วยปริมาตรคอนกรีตมาให้เลือกจะเลือกใช้ค่ามากที่สุดจากที่คำนวณได้หรือกำหนดให้

ขั้นตอนที่ 6 คำนวณปริมาณวัสดุผสมหยาบ

ตารางที่ 2.6 แสดงปริมาณวัสดุผสมหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่นในส่วนผสมต่อคอนกรีตหนึ่งหน่วยปริมาตร ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายและขนาดโตสุดของหินที่ใช้ ปริมาณของวัสดุหยาบเมื่อคิดเป็นน้ำหนักมีค่าเท่ากับปริมาตรของวัสดุผสมหยาบคูณด้วยหน่วยน้ำหนักของวัสดุผสมหยาบ

ตารางที่ 2.6 ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต

ขนาดโตสุดของหิน	ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่นต่อหน่วยปริมาตรของคอนกรีตสำหรับค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายต่างๆกัน			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8" (10 มม.)	0.50	0.48	0.46	0.44
½" (12.5 มม.)	0.59	0.57	0.55	0.53
¾" (20 มม.)	0.66	0.64	0.62	0.60
1" (25 มม.)	0.71	0.69	0.67	0.65
1 ½" (40 มม.)	0.76	0.74	0.72	0.70
2" (50 มม.)	0.78	0.76	0.74	0.72
3" (75 มม.)	0.81	0.79	0.77	0.75
6" (150 มม.)	0.87	0.85	0.83	0.81

ขั้นตอนที่ 7 คำนวณหาปริมาณวัสดุผสมละเอียด

เมื่อได้ค่าต่าง ๆ ของส่วนผสมจนถึงขั้นตอนที่ 6 แล้วเราจะหาปริมาณวัสดุผสมละเอียดโดยวิธีการประมาณจากปริมาตรเนื้อแท้ของวัสดุ ซึ่งหาได้จากสูตร

$$\text{ปริมาตรเนื้อแท้} = \frac{W}{G \cdot \gamma_w}$$

เมื่อ W คือ หน่วยน้ำหนักของวัสดุ

G คือ ความถ่วงจำเพาะ

γ_w คือ หน่วยน้ำหนักของน้ำ

ปริมาตรเนื้อแท้ของทราย = ปริมาตรของคอนกรีต – ปริมาตรเนื้อแท้ของส่วนผสมต่างๆ (ยกเว้นทราย)

ขั้นตอนที่ 8 ปรับส่วนผสมเนื่องจากความชื้นของวัสดุผสม

เมื่อวัสดุผสมที่นำมาใช้งานมีความชื้นสูงกว่าในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้งจะต้องปรับแก้ส่วนผสมให้เข้ากับสภาพจริง โดยเพิ่มน้ำหนักของวัสดุผสมขึ้นเท่ากับน้ำหนักน้ำที่ติดมาและลดปริมาณน้ำในส่วนผสมออกในจำนวนเท่ากัน แต่ในกรณีที่วัสดุผสมมีความชื้นต่ำกว่าสภาวะอิ่มตัวผิวแห้งจะต้องปรับแก้ส่วนผสมในทางตรงกันข้ามกับที่กล่าวข้างต้น

ขั้นตอนที่ 9 การปรับส่วนผสมด้วยการทดลองผสม

ส่วนผสมของคอนกรีตที่คำนวณได้ เป็นเกณฑ์โดยประมาณทั้งสิ้น ซึ่งจะต้องตรวจสอบดูด้วย ถึงผลที่ได้ทั้งในด้านกำลังของคอนกรีต และความยากง่ายในการทำงานโดยการทดลองผสมจริง จากนั้นตรวจสอบดูหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต ปริมาณที่ใช้และปริมาณฟองอากาศ แล้วจึงปรับส่วนผสมต่างๆให้เหมาะสมอีกครั้ง

หากต้องการให้คอนกรีตมีค่าการยุบตัวเพิ่มขึ้นหรือลดลง 1 ซม.จะต้องเพิ่มหรือลดปริมาณน้ำในส่วนผสม 2 ลิตร ต่อคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งจะมีผลทำให้กำลังของคอนกรีตน้อยลงหรือมากขึ้นตามไปด้วย ฉะนั้นถ้าต้องการให้คอนกรีตมีกำลังคงเดิมจะต้องปรับปริมาณปูนซีเมนต์หรือหินและทรายร่วมไปด้วย และหากต้องการให้คอนกรีตที่มีสารกระจายกักฟองอากาศเพิ่มขึ้นหรือลดลงร้อยละ 1 จะต้องลด หรือเพิ่มปริมาณน้ำในส่วนผสม 3 ลิตรต่อคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร

2.2 การออกแบบปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสำหรับประเทศไทย

การออกแบบปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทยนี้ เป็นวิธีการออกแบบที่นำมาตรฐานการอกแบบของประเทศอเมริกา และของประเทศอังกฤษมาประยุกต์รวมให้กับสภาพของวัตถุดิบที่มีใช้ในประเทศไทย คุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในประเทศไทยได้ถูกทดสอบและเก็บรวบรวมหาค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 แสดงค่ามาตรฐานในการออกแบบ

วัตถุดิบ	ความถ่วงจำเพาะ	การดูดซึม
ปูนซีเมนต์	3.15	-
หินย่อย	2.70	0.50
ทรายแม่น้ำ	2.65	0.70

ปริมาณน้ำและค่าการยุบตัว

ปริมาณน้ำที่ทำให้ได้ค่ายุบตัวมาตรฐานเมื่อใช้หินย่อยและทรายแม่น้ำที่อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง แสดงดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ปริมาณน้ำเพื่อให้ได้ค่าการยุบตัวตามต้องการ

ค่าการยุบตัว	ปริมาณน้ำต่อ 1 ลบ.ม. คอนกรีต	
ซม.	หินย่อยขนาด 1" – # 4	หินย่อยขนาด 3/4" - # 4
7.5 + 2.5	180	190
10.0 + 2.5	190	200
12.5 + 2.5	200	210

ปริมาณส่วนละเอียด

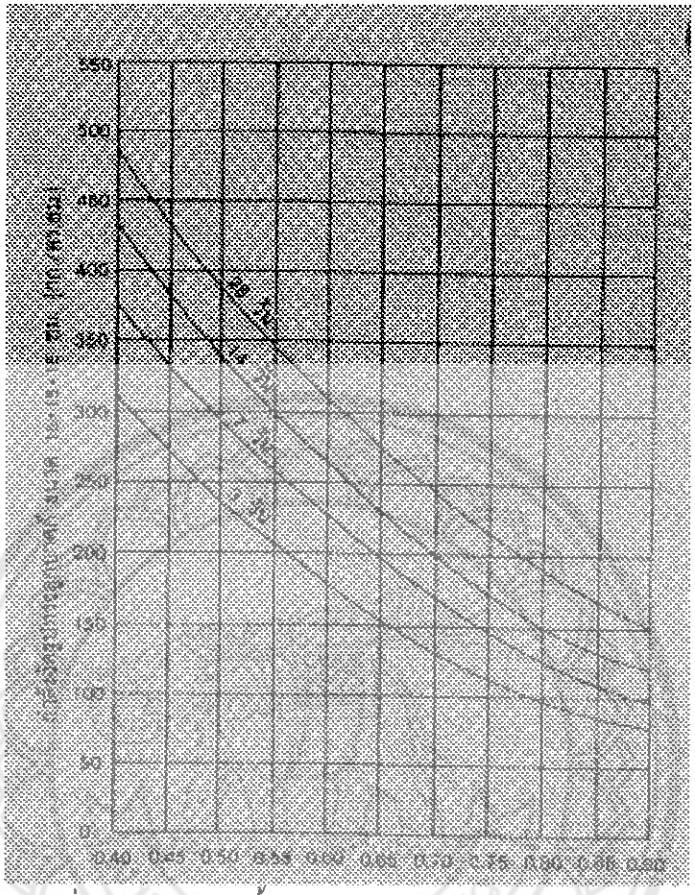
จากการประยุกต์การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตตามมาตรฐานต่างๆ ทำให้สามารถสรุปได้ว่าเมื่อใช้หินย่อย และทรายแม่น้ำเป็นวัตถุดิบหลักที่ใช้ในประเทศไทย ปริมาณส่วนละเอียดอันได้แก่ ปริมาณปูนซีเมนต์ และปริมาณทรายที่เหมาะสมที่จะทำให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้ ไม่แยกตัวและได้กำลังอัดตามต้องการ มีค่าดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ปริมาณส่วนละเอียดเมื่อใช้หินขนาดใหญ่สุดแตกต่างกัน

ขนาดหิน	ปริมาตรปูนซีเมนต์ + ปริมาตรทราย
1" - # 4	38% โดยปริมาตร หรือ 380 ลิตร
3/4" - # 4	40% โดยปริมาตร หรือ400 ลิตร

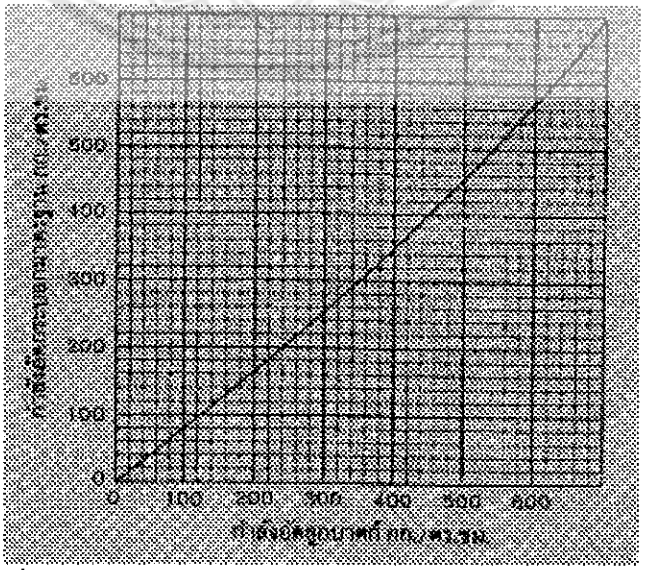
อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

กำลังอัดของคอนกรีต เป็นสัดส่วนกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้สำหรับปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทที่ 1 ที่มีการผลิตใช้ในประเทศไทย จะแสดงดังกราฟรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และค่ากำลังอัดคอนกรีต

ถ้าต้องการให้กำลังอัดรูปทรงกระบอกในการออกแบบ มาตรฐาน วสท. ได้กำหนดความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของทั้ง 2 รูปทรงไว้ดังกราฟในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การแปลงกำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์และรูปทรงกระบอก

ผลของน้ำยาต่อการออกแบบส่วนผสม

น้ำยาผสมคอนกรีตที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทยมีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการ คือ

1.ลดน้ำในส่วนผสม

2.ยืดเวลาการก่อตัวของคอนกรีต

น้ำยาผสมคอนกรีตประเภทลดน้ำนี้ เมื่อผสมเข้าไปในส่วนผสมจะส่งผลให้ลดน้ำได้ลง 5–10 % ซึ่งสามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 ปริมาณน้ำเพื่อให้ได้ค่าการยุบตัวตามต้องการเมื่อใส่น้ำยาลดน้ำ

ค่าการยุบตัว	ปริมาณน้ำต่อ 1 ลบ.ม. คอนกรีตเมื่อใส่น้ำยาประเภทน้ำ	
	หินย่อยขนาด 1" - # 4	หินย่อยขนาด ¾" - # 4
7.5 + 2.5	170	180
10.5 + 2.5	180	190
12.5 + 2.5	190	200

นอกจากนี้ในปัจจุบันยังได้นิยมใช้น้ำยาลดน้ำจำนวนมาก หรือน้ำยา Superplasticizer ซึ่งสามรถลดน้ำได้ 15-30 % ดังนั้นปริมาณน้ำที่จะใช้เพื่อให้ได้ค่าการยุบตัวมาตรฐานก็จะลดลงไปด้วย

ขั้นตอนการออกแบบ

ขั้นตอนที่ 1 รวบรวมความต้องการของผู้ออกแบบ เช่น

- กำลังอัด
- ค่าการยุบตัว
- ขนาดใหญ่สุดของหินที่จะใช้
- ใส่น้ำยาผสมคอนกรีตหรือไม่

ขั้นตอนที่ 2

- คำนวณหาปริมาณน้ำที่ใช้เพื่อให้ได้ค่ายุบตัวตามต้องการ
- หาค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพื่อให้ได้ค่ากำลังอัดตามต้องการจากกราฟอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และกำลังอัดรูปที่ 1
- หาค่าน้ำหนักซีเมนต์ = ปริมาณน้ำ / ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

ขั้นตอนที่ 3

$$\text{ปริมาตรปูนซีเมนต์} = \frac{\text{น้ำหนักปูนซีเมนต์}}{\text{ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์}}$$

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 ปรับส่วนผสมเนื่องจากความชื้นของวัสดุผสม

เมื่อวัสดุผสมที่นำมาใช้งานมีความชื้นสูงกว่าในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้งจะต้องปรับแก้ส่วนผสมให้เข้ากับสภาพจริง โดยเพิ่มน้ำหนักของวัสดุผสมขึ้นเท่ากับน้ำหนักน้ำที่ติดมาและลดปริมาณน้ำในส่วนผสมออกในจำนวนเท่ากัน แต่ในกรณีที่วัสดุผสมมีความชื้นต่ำกว่าสภาวะอิ่มตัวผิวแห้งจะต้องปรับแก้ส่วนผสมในทางตรงกันข้ามกับที่กล่าวข้างต้น

ขั้นตอนที่ 9 การปรับส่วนผสมด้วยการทดลองผสม

ส่วนผสมของคอนกรีตที่คำนวณได้ เป็นเกณฑ์โดยประมาณทั้งสิ้น ซึ่งจะต้องตรวจสอบดูด้วย ถึงผลที่ได้ทั้งในด้านกำลังของคอนกรีต และความยากง่ายในการทำงานโดยการทดลองผสมจริง จากนั้นตรวจสอบดูหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต ปริมาณที่ใช้และปริมาณฟองอากาศ แล้วจึงปรับส่วนผสมต่างๆให้เหมาะสมอีกครั้ง

หากต้องการให้คอนกรีตมีค่าการยุบตัวเพิ่มขึ้นหรือลดลง 1 ซม.จะต้องเพิ่มหรือลดปริมาณน้ำในส่วนผสม 2 ลิตร ต่อคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งจะมีผลทำให้กำลังของคอนกรีตน้อยลงหรือมากขึ้นตามไปด้วย ฉะนั้นถ้าต้องการให้คอนกรีตมีกำลังคงเดิมจะต้องปรับปริมาณปูนซีเมนต์หรือหินและทรายร่วมไปด้วย และหากต้องการให้คอนกรีตที่มีสารกระจายกักฟองอากาศเพิ่มขึ้นหรือลดลงร้อยละ 1 จะต้องลด หรือเพิ่มปริมาณน้ำในส่วนผสม 3 ลิตรต่อคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร

2.3 <u>การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตผสมเถ้าลอยโดยวิธีแบบง่าย</u>

วิธีการออกแบบนี้จะเป็นวิธีการคำนวณออกแบบโดยวิธีแบบง่าย ซึ่งจะใช้กับคอนกรีตผสมเถ้าลอยแบบธรรมดาเท่านั้น ซึ่งมีวิธีการคำนวณออกแบบ ดังนี้

ขั้นตอนที่1

กำหนดค่าต่างๆต่อไปนี้จากข้อกำหนดทั่วไปในการออกแบบ

- กำลังรับแรงอัดตามที่ต้องการ (f'_c)

- อัตราส่วนเถ้าลอยต่อวัตถุประสานโดยน้ำหนัก (f/(c+f))
- ค่าการยุบตัวที่ต้องการ (SL)
- ค่าปริมาณอากาศ (Air Content)

ขั้นตอนที่ 2

คำนวณหาค่าปริมาณแคลเซี่ยมออกไซด์รวมในวัสดุประสาน$(CaO)_{eq}$คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก

$$(CaO)_{eq} = [(CaO)_c \times (1 - r)] + [(CaO)_f \times r]$$

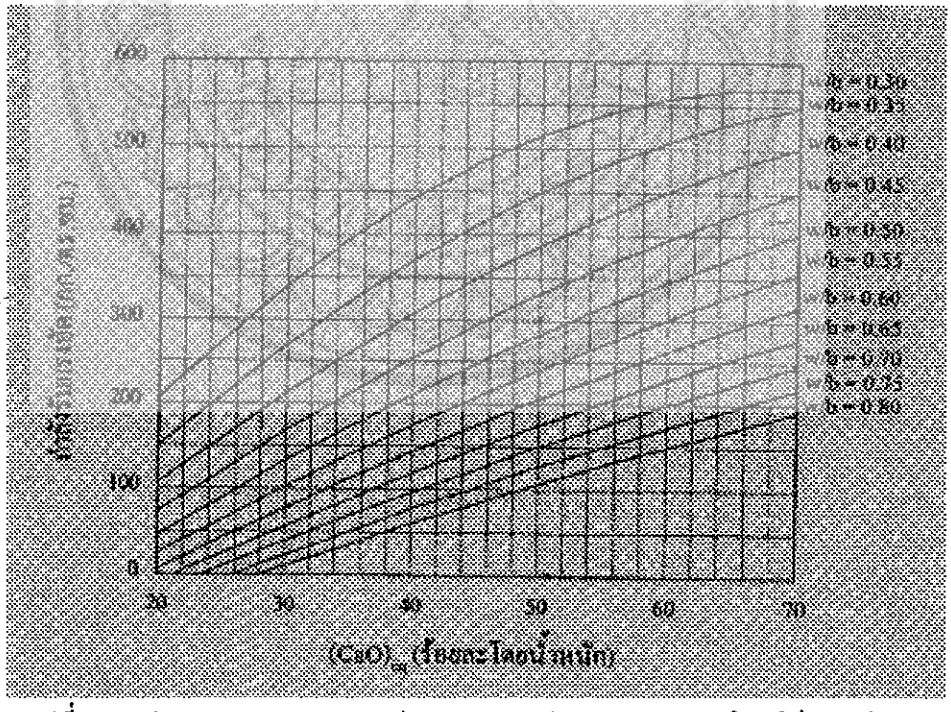
เมื่อ $(CaO)_c$ คือ ค่าร้อยละโดยน้ำหนักของแคลเซี่ยมออกไซด์ในปูนซีเมนต์

$(CaO)_f$ คือ ค่าร้อยละโดยน้ำหนักของแคลเซี่ยมออกไซด์ในเถ้าลอย

r คือ อัตราส่วนเถ้าลอยต่อวัสดุประสานโดยน้ำหนัก

ขั้นตอนที่ 3

จากค่ากำลังอัดที่ต้องการและค่า $(CaO)_{eq}$ จะสามารถหาค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานโดยน้ำหนัก (w/b) ได้จากแผนภูมิการคำนวณหาส่วนผสมสำหรับวิธีโดยง่ายในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 รูปแสดงการคำนวณหาส่วนผสมสำหรับการออกแบบโดยวิธีแบบง่าย

ขั้นตอนที่ 4

เลือกค่าอัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมดโดยปริมาตร (s/a) และหาค่าอัตราส่วนช่องว่างระหว่างมวลรวมที่อัดแน่น (void ratio) ที่อัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมดที่เลือกไว้ โดยอัตราส่วนช่องว่างระหว่างมวลรวมที่อัดแน่นจะสามารถหาได้จากการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C29

โดยทั่วไปในการกำหนดค่าอัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมดนั้น ค่าที่กำหนดควรจะเป็นค่าที่ทำให้อัตราส่วนในช่องว่างระหว่างมวลรวมที่อัดแน่นมีค่าน้อยที่สุดเพื่อประหยัดปริมาณเพสต์ที่ต้องใช้ในการเติมช่องว่างระหว่างมวลรวมและเชื่อมประสานมวลรวมให้ยึดเกาะกันได้ อย่างไรก็ดีในคอนกรีตบางส่วนผสมการเลือกค่าอัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมดที่ทำให้อัตราส่วนช่องว่างระหว่างมวลรวมมีค่าต่ำที่สุดอาจก่อให้เกิดปัญหาต่อความสามารถในการเทได้ การแยกตัวของคอนกรีตและการตันของมวลรวมหยาบระหว่างเหล็กเสริมหรือระหว่างการปั๊มคอนกรีตอันเนื่องมาจากคอนกรีตมีมวลรวมหยาบมากเกินไป ดังนั้นการเลือกค่า s/a ที่เหมาะสมจึงควรคำนึงถึงคุณสมบัติอย่างอื่นที่นอกเหนือจากการประหยัดเพสต์ไปพร้อมกันด้วย

ขั้นตอนที่ 5

กำหนดค่าอัตราส่วนปริมาตรเพสต์ต่อปริมาตรช่องว่างระหว่างมวลรวมที่อัดแน่น (γ)ที่ต้องการ โดยค่า γ ที่กำหนดจะมีผลต่อความสามารถในการเทได้ของคอนกรีตเช่นเดียวกันกับค่า w/b โดยค่า γ และค่า w/b ที่มากขึ้นจะทำให้ความสามารถในการเทได้ของคอนกรีตเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นสำหรับการออกแบบของคอนกรีตธรรมดา หากคอนกรีตที่ต้องการมีค่า w/b ต่ำ ผู้ออกแบบควรที่จะกำหนดค่า γ ให้มีค่าที่ค่อนข้างสูง ในทางกลับกันหากคอนกรีตที่ต้องการมีค่า w/b สูง ผู้ออกแบบสามารถที่จะกำหนดให้มีค่า γ ให้ต่ำลงได้ ทั้งนี้เพื่อให้ส่วนผสมของคอนกรีตที่ออกแบบได้มีความสามารถในการเทได้ใกล้เคียงกับความต้องการมากที่สุด โดยปกติค่า γ ที่เหมาะสมของคอนกรีตธรรมดาจะมีค่าประมาณ 1.1-1.4

ขั้นตอนที่ 6

คำนวณหาค่าปริมาณเพสต์ (ลิตร/ ลบ.ม. ของคอนกรีต) จากค่า γ และค่า s/a ที่เลือกมา และ void ratio ที่หาได้โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณเพสต์ } (V_p) = \gamma \times v \times 1000$$

เมื่อ v คือ อัตราส่วนช่องว่างระหว่างมวลรวมที่อัดแน่น (Void Ratio)

γ คือ อัตราส่วนปริมาตรเพสต์ต่อปริมาตรระหว่างช่องว่างระหว่างมวลรวมที่อัดแน่น

ขั้นตอนที่ 7

คำนวณหาน้ำหนักปูนซีเมนต์ เถ้าลอยและน้ำในส่วนผสม(กก./ลบ.ม.) ได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{น้ำหนักน้ำ} = \frac{\text{ปริมาตรเพสต์} - \text{ปริมาตรอากาศ}}{1 + \frac{\left[\frac{1-r}{w/b}\right]}{\rho_c} + \frac{\left[\frac{r}{w/b}\right]}{\rho_f}}$$

$$\text{น้ำหนักปูนซีเมนต์} = \left[\frac{1-r}{w/b}\right] \times \text{น้ำหนักน้ำ}$$

$$\text{น้ำหนักเถ้าลอย} = \left[\frac{r}{w/b}\right] \times \text{น้ำหนักน้ำ}$$

เมื่อ w/b คือ อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานโดยน้ำหนัก

r คือ อัตราส่วนเถ้าลอยต่อวัสดุประสานโดยน้ำหนัก

ρ_c คือ ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์

ρ_f คือ ความถ่วงจำเพาะของเถ้าลอย

และปริมาตรอากาศของคอนกรีตคลุยทั่วไปที่ไม่ได้ใส่สารกักกระจายฟองอากาศจะมีค่าประมาณร้อยละ 1 ของปริมาตรคอนกรีตทั้งหมด

ขั้นตอนที่ 8

คำนวณหาปริมาตรมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบในส่วนผสม (ลิตร/ลบ.ม. ของคอนกรีต)

ปริมาตรมวลรวมทั้งหมด = 1000 – ปริมาตรเพสต์

ปริมาตรมวลรวมละเอียด = ปริมาตรมวลรวมทั้งหมด x s/a

ปริมาตรมวลรวมหยาบ = ปริมาตรมวลรวมทั้งหมด – ปริมาตรมวลรวมละเอียด

เมื่อ s/a คือ อัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมดโดยปริมาตร

หลังจากคำนวณหาปริมาตรมวลรวมแต่ละชนิด (ลิตร/ลบ.ม.ของคอนกรีต) ในส่วนผสมได้แล้ว จะสามารถคำนวณหาน้ำหนักของมวลรวมแต่ละชนิด (กก./ลบ.ม.) ได้ดังสมการต่อไปนี้

น้ำหนักมวลรวมละเอียด = ปริมาตรมวลรวมละเอียด x ความถ่วงจำเพาะ (อิ่มตัวผิวแห้ง)

น้ำหนักมวลรวมหยาบ = ปริมาตรมวลรวมหยาบ x ความถ่วงจำเพาะ (อิ่มตัวผิวแห้ง)

ขั้นตอนที่ 9 วิธีการคำนวณหาพื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุแต่ละชนิดในส่วนผสม

ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุแต่ละชนิดในส่วนผสมอันได้แก่ ปูนซีเมนต์ เถ้าลอย มวลรวมหยาบ และมวลรวมละเอียด เป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อความสามารถในการยุบตัว นั่นคือว่าอนุภาคของแข็งที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะมากจะสามารถเก็บอนุภาคน้ำอิสระในคอนกรีตสดไว้ได้มากและมีแรง

เสียดทานระหว่างผิวของอนุภาคด้วย วิธีการคำนวณหาค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุจะแตกต่างกันตามแต่ละชนิดของวัสดุซึ่งแยกได้เป็น 2 วิธีดังต่อไปนี้

1. พื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุที่มีอนุภาคขนาดเล็กมากจำพวกปูนซีเมนต์และเถ้าลอยสามารถหาได้โดยการทดสอบด้วยวิธีการลอดผ่านได้ของอากาศ (Air Permeability) โดยทั่วไปแล้วปูนซีเมนต์จะมีค่าพื้นที่ผิวอยู่ในช่วงประมาณ 3000 – 3400 ตารางเซ็นติเมตรต่อกรัม และเถ้าลอยจะมีค่าพื้นที่ผิวอยู่ในช่วง 2000 - 3000 ตารางเซ็นติเมตรต่อกรัม โดยค่าพื้นที่ผิวจำเพาะจะมีค่ามากถ้าอนุภาคมีขนาดเล็กและลักษณะรูปร่างไม่กลม

2. พื้นที่ผิวจำเพาะของมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดสามารถคำนวณได้จากขนาดคละและรูปร่างของมวลรวมแต่ละประเภท โดยในขั้นแรกสมมิให้มวลมีรูปร่างเป็นทรงกลมก่อน แล้วหาพื้นที่ผิวจำเพาะของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบที่สมมติให้เป็นอนุภาคทรงกลม จากสมการต่อไปนี้

$$S_{o,s} = \frac{6000}{D_{av}\rho_s}$$

$$S_{o,g} = \frac{6000}{D_{av}\rho_g}$$

เมื่อ $$D_{av} = \frac{\sum D_I M_I}{\sum M_I}$$

โดย $S_{o,s}$ คือ พื้นที่ผิวจำเพาะของมวลรวมละเอียดที่สมมติให้เป็นอนุภาคทรงกลม

$S_{o,g}$ คือ พื้นที่ผิวจำเพาะของมวลหยาบที่สมมติให้เป็นอนุภาคทรงกลม

D_{av} คือ ค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมวลรวม (ซม.)

D_I คือค่าเฉลี่ยของช่องเปิดตะแกรงร่อนระหว่างช่องเปิดด้านบนที่ใหญ่กว่ากับช่องเปิดชั้นที่พิจารณานั้นๆ

M_I คือ ค่าร้อยละของมวลรวมที่ค้างอยู่บนตะแกรงชั้นที่พิจารณานั้นๆ

ρ_s คือ ค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมละเอียด

ρ_g คือ ค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบ

หลังจากได้ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของมวลรวมที่ถูกสมมติให้เป็นทรงกลมของมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดแล้วจะมีการพิจารณาถึงรูปร่างที่แท้จริงของมวลรวมโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์รูปร่าง (Shape Factor, ψ) เป็นตัวคูณเพื่อปรับค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของมวลรวมที่ถูกสมมติให้เป็นทรงกลมให้เป็นพื้นที่ผิวของมวลรวมที่ไม่เป็นทรงกลม ค่า ψ ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงจำนวนเท่าของพื้นที่

ผิวจำเพาะของมวลรวมในรูปร่างอื่นๆที่ไม่ใช่ทรงกลมเมื่อเทียบกับพื้นที่ผิวจำเพาะของทรงกลม ฉะนั้นพื้นที่ผิวจำเพาะของมวลรวมที่ผิดไปจากทรงกลมนี้จะสามารถหาได้จากสมการ

$$S_s = \Psi_s \times S_{o,s}$$

$$S_g = \Psi_g \times S_{o,g}$$

โดยที่ S_r คือ พื้นที่ผิวจำเพาะของมวลรวมละเอียด (ตร.ซม./กก.)

S_g คือ พื้นที่ผิวจำเพาะของมวลรวมหยาบ (ตร.ซม./กก.)

Ψ_s คือ ค่าสัมประสิทธิ์รูปร่างของมวลรวมละเอียด

Ψ_g คือ ค่าสัมประสิทธิ์รูปร่างของมวลรวมหยาบ

$S_{o,s}$ คือ พื้นที่ผิวจำเพาะของมวลรวมละเอียดที่ถูกสมมติให้เป็นรูปร่างทรงกลม(ตร.ซม./กก.)

$S_{o,g}$ คือ พื้นที่ผิวจำเพาะของมวลรวมหยาบที่ถูกสมมติให้เป็นรูปร่างทรงกลม(ตร.ซม./กก)

ตารางที่ 2.11 ขนาดของช่องเปิดตะแกรงร่อนที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ขนาด

มวลรวมหยาบ		มวลรวมละเอียด	
ตะแกรงเบอร์	ขนาดช่องเปิด (มม.)	ตะแกรงเบอร์	ขนาดช่องเปิด (มม.)
4"	100	3/8"	9.5
3 ½"	90	No. 4	4.75
3"	75	No. 8	2.36
2 ½"	63	No. 16	1.18
2"	50	No. 30	0.6
1 ½"	38.1	No. 50	0.3
1"	25	No. 100	0.15
½"	19		
¾"	12.5		
3/8"	9.5		
No. 4	4.75		
No. 8	2.36		
No. 16	1.18		

ขั้นตอนที่ 10 หาค่าปริมาณน้ำในคอนกรีตสด

ค่าปริมาณน้ำในคอนกรีตสด คือ ปริมาณน้ำที่มีผลต่อการยุบตัวของคอนกรีตสด ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

$$W_{fr} = W_u - W_r$$

โดย W_{fr} คือ ปริมาณน้ำอิสระในคอนกรีตสด 1 ลบ.ม.(กก./ลบ.ม.)

W_u คือ ปริมาณน้ำทั้งหมดในคอนกรีตสด 1 ลบ.ม. (กก./ลบ.ม.)

W_r คือปริมาณน้ำที่กักเก็บไว้โดยอนุภาคของแข็งทั้งหมดในคอนกรีตสด1ลบ.ม.(กก./ลบ.ม.)

ซึ่ง W_r หาได้จาก

$$W_r = \beta_c W_c + \beta_f W_f + \beta'_s W_s + \beta'_g W_g$$

โดย β_c, β_f คือ ค่าความสามารถในการกักเก็บน้ำของปูนซีเมนต์และเถ้าลอยตามลำดับ

β'_s, β'_g คือ ค่าความสามารถในการกักเก็บน้ำที่ผิวของมวลรวมละเอียดและมวลรวม หยาบตามลำดับ

W_c, W_f คือ น้ำหนักของปูนซีเมนต์ เถ้าลอย ที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งในคอนกรีต 1 ลบ.ม. ตามลำดับ

W_s, W_g คือ น้ำหนักของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งในคอนกรีต 1 ลบ.ม. ตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 11 คำนวณหาปริมาณน้ำที่เพียงพอในการทำลายแรงเสียดทานและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวของอนุภาคของแข็งในผิวของอนุภาคคอนกรีตสด (W_o)

ค่า W_o คือค่าที่บอกถึงปริมาณน้ำอิสระที่น้อยที่สุดที่ทำให้คอนกรีตสดเริ่มมีการยุบตัวเกิดขึ้น ปริมาณน้ำนี้จะน้อยหรือมากนั้นขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวทั้งหมดของอนุภาคของแข็งในคอนกรีตสดนั้นๆ ถ้าค่าพื้นที่ผิวของอนุภาคของแข็งในคอนกรีตมีมาก จะทำให้แรงเสียดทานระหว่างผิวมีค่ามากขึ้น และต้องทำให้ต้องใช้ปริมาณน้ำในการทำลายแรงเสียดทานนี้เพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน สำหรับส่วนผสมใดๆที่ปริมาณน้ำอิสระในคอนกรีตน้อยกว่าค่า W_o ก็ทำให้ไม่มีการยุบตัวเกิดขึ้น ในการหาค่า W_o นั้นสามารถหาได้ตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. คำนวณหาพื้นที่ผิวทั้งหมดของมวลรวม (S_{agg}) และพื้นที่ผิวทั้งหมดของวัสดุผง (S_{pow}) ได้จากสมการ

$$S_{pow} = (S_c W_c \times 1000) + (S_f W_f \times 1000)$$

$$S_{agg} = S_s W_s + S_g W_g$$

โดย S_c, S_f คือ พื้นทีผิวจำเพาะของปูนซีเมนต์และเถ้าลอยตามลำดับ (ตร.ซม./กรัม)

S_s, S_g คือ พื้นทีผิวจำเพาะของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบตามลำดับ (ตร.ซม./กรัม)

2. หาค่าอัตราส่วนพื้นที่ผิวสัมผัสประสิทธิผล (η) จากรูปที่ 4 ค่า η ในที่นี้หมายถึงอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวของปูนซีเมนต์และเถ้าลอยที่สัมผัสกับผิวของมวลรวมต่อพื้นที่ผิวทั้งหมดของปูนซีเมนต์และเถ้าลอย ซึ่งเป็นตัวแปรที่บอกถึงปริมาณของพื้นที่ผิวของปูนซีเมนต์และเถ้าลอยที่จะสัมผัสกับมวลรวมและทำให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสนั้นๆ โดย η จะมีค่าแปรผกผันกับค่าการยุบตัวของคอนกรีต

3. คำนวณค่าพื้นที่ผิวประสิทธิผลของอนุภาคของแข็งในส่วนผสมคอนกรีตที่เกิดแรงเสียดทานระหว่างกัน (S_{eff}) ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยสมการ

$$S_{eff} = S_{agg} + \eta(S_{pow})$$

โดย S_{eff} คือ พื้นที่ผิวประสิทธิผลของอนุภาคของแข็งในส่วนผสมของคอนกรีตที่เกิดแรงเสียดทานระหว่างกัน ได้แก่ ปูนซีเมนต์ เถ้าลอย และมวลรวม ใน 1 ลบ.ม.ของคอนกรีต (ตร.ซม./ลบ.ม.)

S_{pow} คือพื้นที่ผิวทั้งหมดของวัสดุประสาน (ปูนซีเมนต์ และเถ้าลอย)ใน 1 ลบ.ม.ของคอนกรีต(ตร.ซม./ลบ.ม.)

S_{agg} คือพื้นที่ผิวทั้งหมดของมวลรวมใน 1 ลบ.ม.ของคอนกรีต (ตร.ซม./ลบ.ม.)

η คืออัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวของปูนซีเมนต์และเถ้าลอยที่สัมผัสกับผิวของมวลรวมต่อพื้นที่ผิวทั้งหมดของปูนซีเมนต์และเถ้าลอย

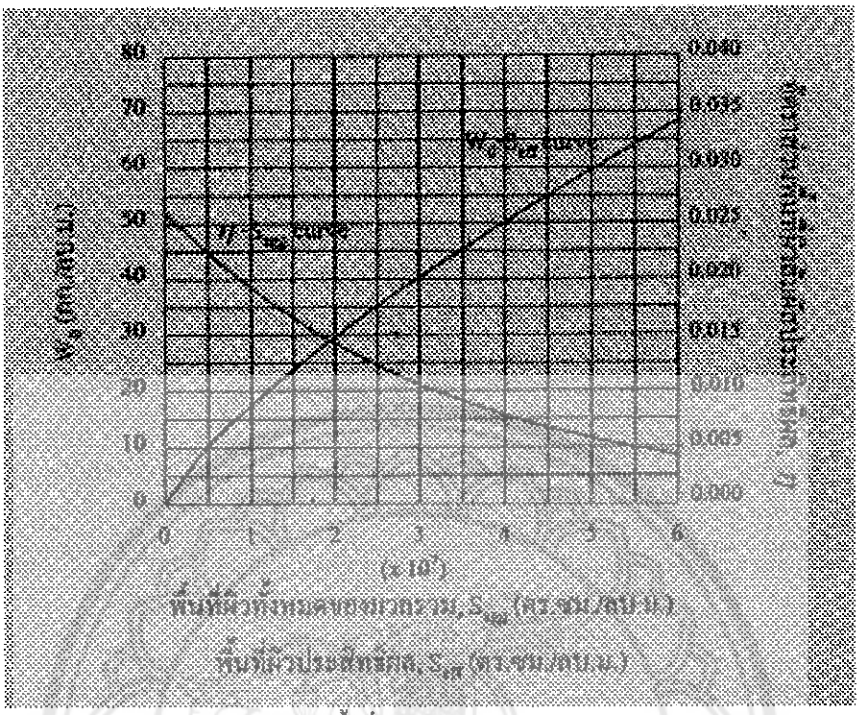
เมื่อทราบค่า S_{eff} แล้วจะสามารถหาค่า W_s หรือปริมาณน้ำที่เพียงพอในการทำลายแรงเสียดทานและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวของอนภาคของของแข็งในส่วนผสมคอนกรีตได้จากรูปที่ 4

ขั้นตอนที่ 12 การหาค่าการยุบตัวของคอนกรีตสด

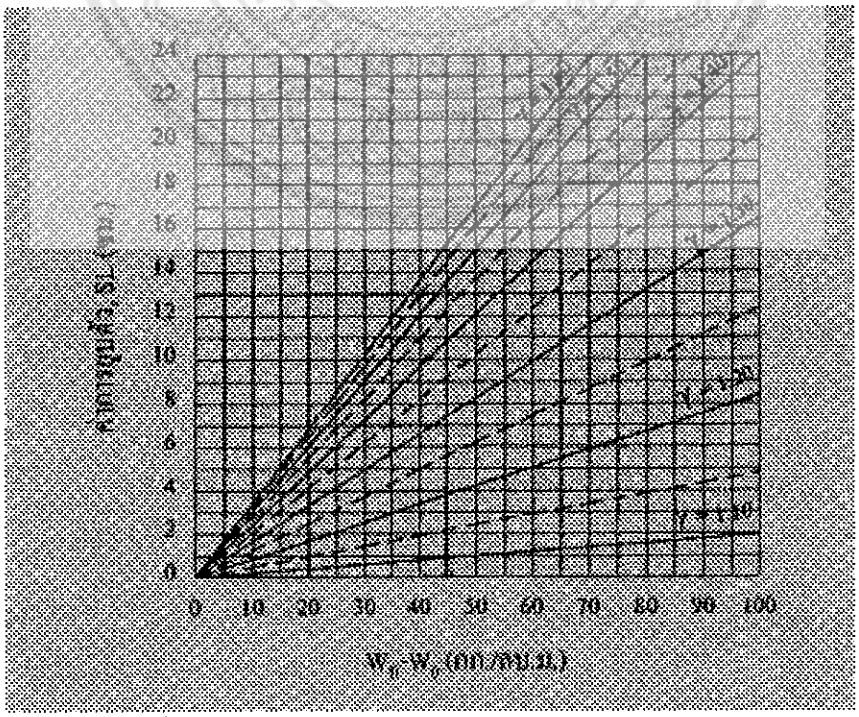
ค่าการยุบตัวของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับ

- อัตราส่วนปริมาตรเพสต์ต่อปริมาตรช่องว่างระหว่างมวลรวมที่อัดแน่น (γ)
- ผลต่างระหว่างปริมาณน้ำอิสระในคอนกรีตสดกับปริมาณน้ำที่เพียงพอในการทำลายแรงเสียดทานและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวของอนุภาคของแข็งในส่วนผสมคอนกรีต ($W_E - W_s$) ที่คำนวณได้ในขั้นตอนที่ 10 และ 11 โดยค่าผลต่างนี้จะบอกถึงปริมาณน้ำสุทธิที่มีผลทำให้คอนกรีตที่เริ่มจะยุบตัวเกิดการยุบตัวลงไปได้ค่าๆหนึ่ง

ค่าการยุบตัว (SL) ของส่วนผสมของคอนกรีตผสมเถ้าลอยที่ได้ออกแบบไว้ข้างต้นสามารถหาได้จากรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แผนภูมิสำหรับหาค่าปริมาณน้ำที่เพียงพอในการทำลายแรงเสียดทานและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวอนุภาคของแข็งส่วนผสมในคอนกรีต



รูปที่ 2.5 แผนภูมิสำหรับการหาค่าการยุบตัวของคอนกรีตสด

ขั้นตอนที่ 13

ประมาณค่าปริมาณสารเคมีผสมเพิ่มเพื่อปรับค่าการยุบตัว โดยสารเคมีผสมเพิ่มแต่ละชนิดในท้องตลาดจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป ในการประมาณค่าสารเคมีผสมเพิ่มสำหรับสารเคมีผสมเพิ่มแต่ละชนิด ผู้ออกแบบควรที่จะศึกษารายละเอียดและคุณสมบัติของสารเคมีผสมเพิ่มชนิดนั้นๆ จากคู่มือหรือสอบถามจากผู้ผลิตโดยตรง

ขั้นตอนที่ 14

ปรับส่วนผสมคอนกรีตเมื่อมวลรวมที่ใช้ไม่อยู่ในสภาวะที่ออกแบบ คือเมื่อมวลรวมที่ใช้ไม่ใช่มวลรวมที่อยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้งสามารถคำนวณได้ดังนี้

น้ำหนักน้ำบนผิวมวลรวม = [ค่าร้อยละบนผิวมวลรวม x น้ำหนักมวลรวมที่ได้จากการออกแบบ(อิ่มตัวผิวแห้ง)] /100

น้ำหนักมวลรวมที่ต้องชั่งจริง = น้ำหนักมวลรวมที่ได้จากการออกแบบ(อิ่มตัวผิวแห้ง) + น้ำหนักน้ำบนผิวมวลรวม

น้ำหนักน้ำที่ต้องชั่งจริง = น้ำหนักน้ำที่ได้จากการออกแบบ - น้ำหนักน้ำบนผิวมวลรวม

บทที่ 3
การเขียนโปรแกรม

3.1 บทนำ

จากที่กล่าวมาแล้วว่า ในส่วนของโปรแกรมออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตเราได้แบ่งเป็น 3 วิธี ดังนั้นในด้านการเขียนโปรแกรมจึงแยกการอธิบายเป็น 3 หัวข้อ คือ

1. การเขียนโปรแกรมออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตตามมาตรฐานอเมริกัน (ACI 211.1-74)
2. การเขียนโปรแกรมออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตที่เหมาะสำหรับประเทศไทยโดยประยุกต์ใช้จากมาตราฐานอเมริกัน (ACI 211.1-74) และมาตราฐานอังกฤษ(British Method)
3. การเขียนโปรแกรมออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตผสมเถ้าลอยโดยวิธีแบบง่าย (Simplified Method)

3.2 ภาพรวมของโปรแกรม

โปรแกรมออกแบบส่วนผสมคอนกรีตนี้ประกอบไปด้วยฟอร์มทั้งหมด 21 ฟอร์ม แบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ คือ

กลุ่มที่ 1 เป็นฟอร์มที่มีหน้าที่เป็นเมนู ได้แก่ ฟอร์ม frmMainMenu, frmMenuACI, frmMenuThai, และfrmMenuFlyAsh

กลุ่มที่ 2 เป็นฟอร์มมีหน้าที่คำนวณออกแบบ ได้แก่ ฟอร์ม frmACI, frmACIPlasticizer frmThai, frmThaiPlaticizer, frmFlyAsh, และfrmFlyAshSlump

กลุ่มที่ 3 เป็นฟอร์มมีหน้าที่แสดงผล ได้แก่ ฟอร์ม frmResult ต่างๆ

กลุ่มที่ 4 เป็นฟอร์มมีหน้าที่ช่วยเหลือในการใช้โปรแกรม ได้แก่ frmHelp ต่างๆ

ลักษณะและลำดับของแต่ละฟอร์มเป็นไปดังนี้

1. ฟอร์ม frmMainMenu มี cmdACI, cmdThai และcmdFlyAsh เป็นsubprogram เพื่อให้ผู้ใช้มีทางเลือกว่าจะออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตตามวิธีที่ต้องการ

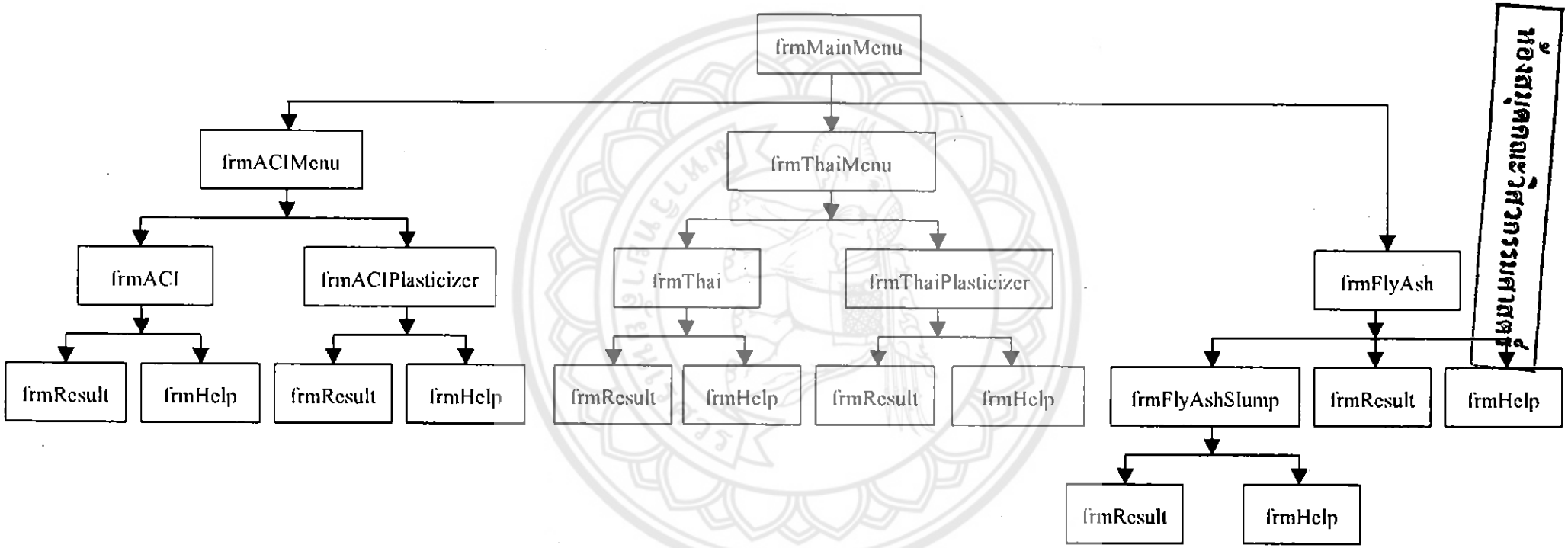
คือ ออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตตามมาตรฐานอเมริกัน (ACI 211.1-74),ออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตที่เหมาะสำหรับประเทศไทย โดยประยุกต์ใช้จากมาตราฐานอเมริกัน (ACI 211.1-74) กับมาตราฐานอังกฤษ และ ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตผสมเถ้าลอยโดยวิธีแบบง่าย (Simplified Method) ตามลำดับ

2. ฟอร์ม frmACIMenu และ frmThaiMenu มี cmdNone และ cmdPlasticizer เป็น subprogram เพื่อให้ผู้ใช้มีทางเลือกว่าจะใช้สารลดน้ำ หรือไม่ใช้สารลดน้ำ

3. ฟอร์ม frmACI , frmACIPlasticizer , frmThai , frmThaiPlasticizer , frmFlyAsh , และ frmFlyAshSlump เป็นฟอร์มสำหรับคำนวณออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตตามที่ต้องการ

4. ฟอร์ม frmResult และ frmHelp จะแสดงขึ้นหากผู้ใช้เลือกที่จะดูผลลัพธ์และต้องการความช่วยเหลือเพื่อป้อนข้อมูลคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีต

ซึ่งสามารถเขียนเป็นแผนผังงาน ได้ดังรูปที่ 3.1



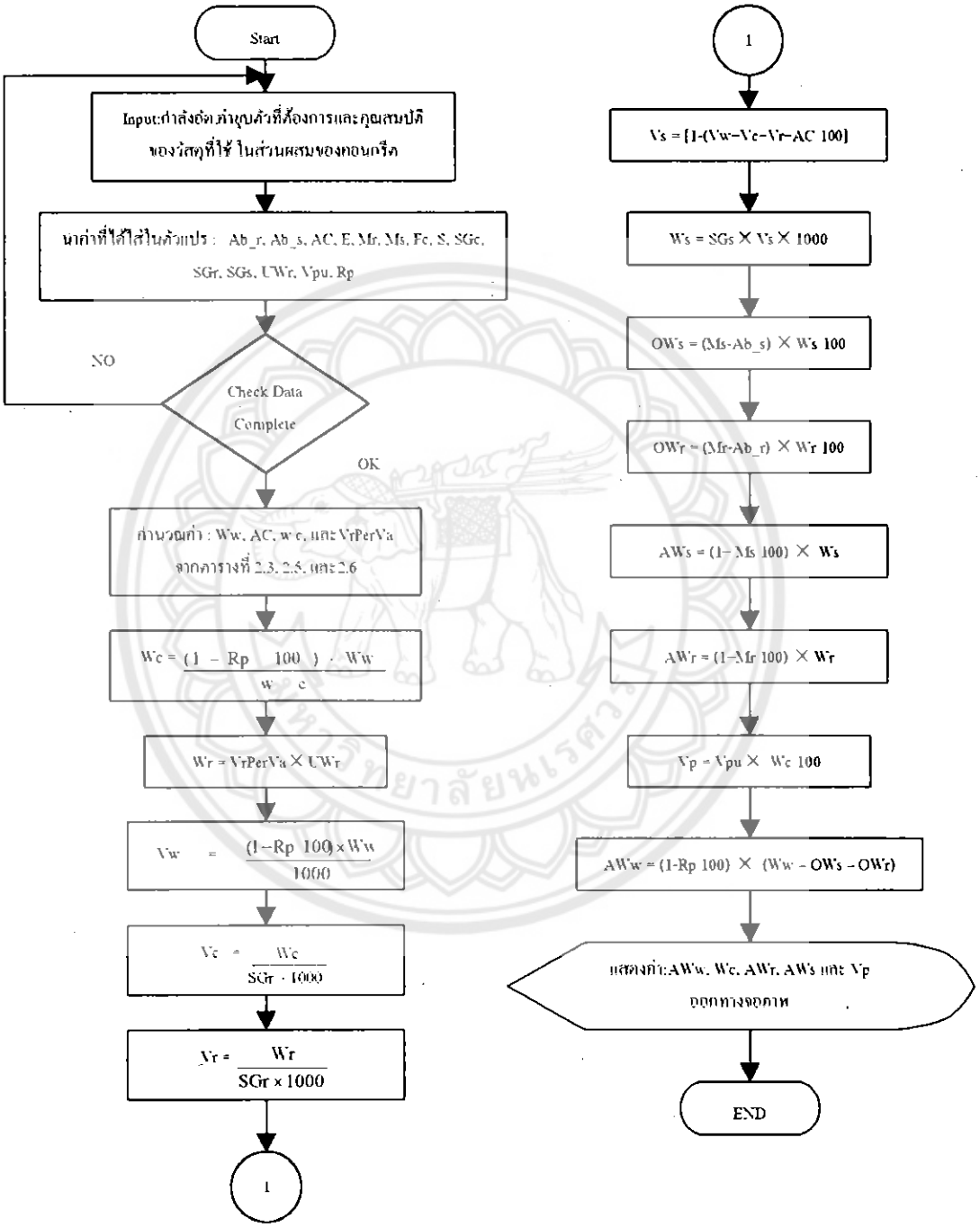
รูปที่ 3.1 : แสดงความสัมพันธ์ของแต่ละฟอร์มในโปรแกรม

4100391
TA
439
ว491
2543

MISSING

3.2.1.2 โปรแกรมออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตตามมาตรฐานอเมริกัน (ACI211.1-74)ใส่สารลดน้ำ

ประกอบด้วยผังงานโปรแกรมคอมพิวเตอร์การทำงานทั้งหมดดังแสดงในผังงานรูปที่ 3.3



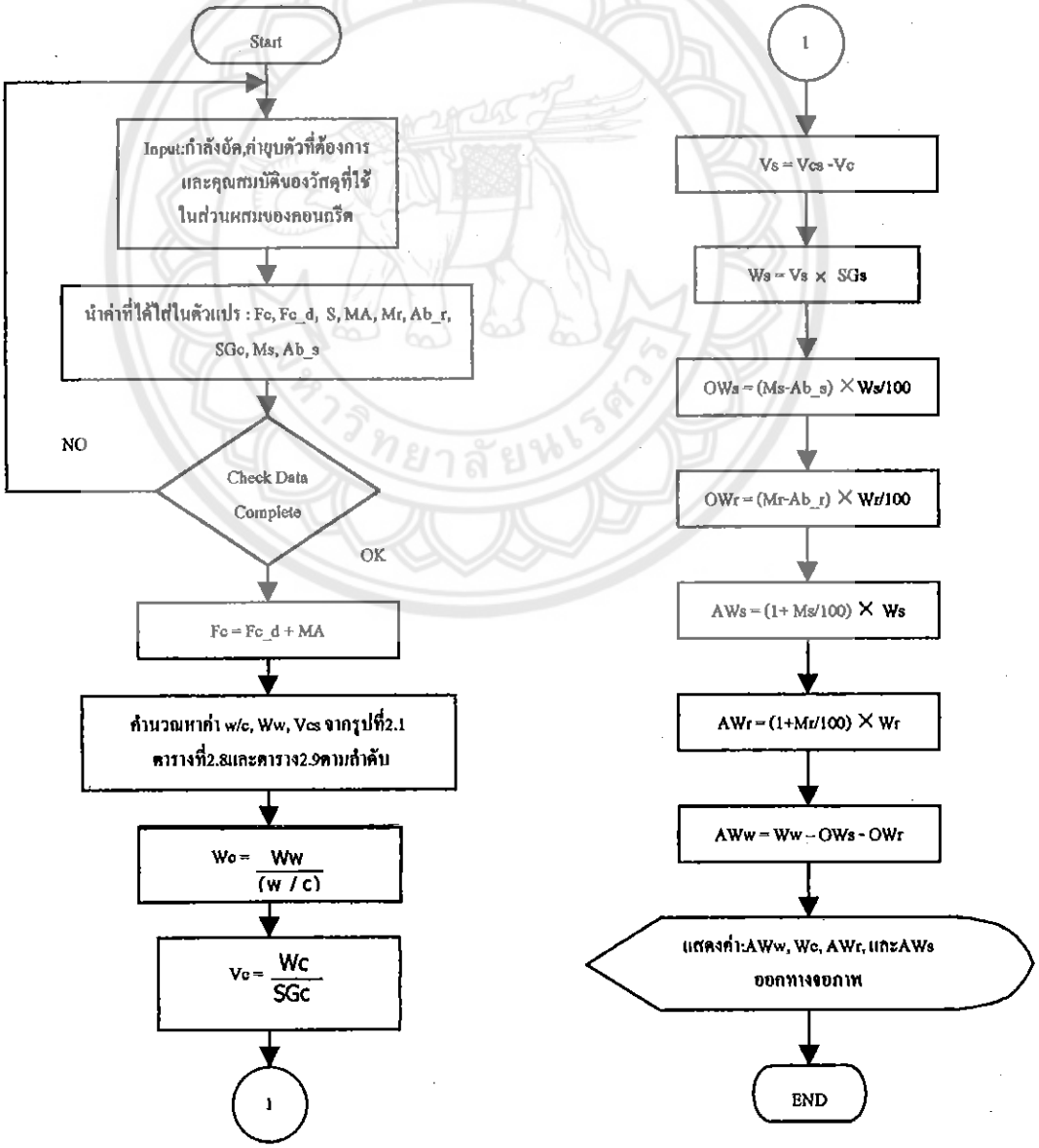
รูปที่ 3.3 ผังงานโปรแกรม: frmACIPlasticizer

3.2.2 โปรแกรมออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตที่เหมาะสำหรับประเทศไทย

โปรแกรมออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตที่เหมาะสำหรับประเทศไทยโดยประยุกต์ ใช้มาตราฐานอเมริกัน(ACI 211.1-74) กับมาตราฐานอังกฤษ(British Method)ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ โปรแกรมออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตที่ใส่สารลดน้ำ และไม่ใส่สารลดน้ำ

3.2.2.1 โปรแกรมออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตที่เหมาะสำหรับประเทศไทย ไม่ใส่สารลดน้ำ

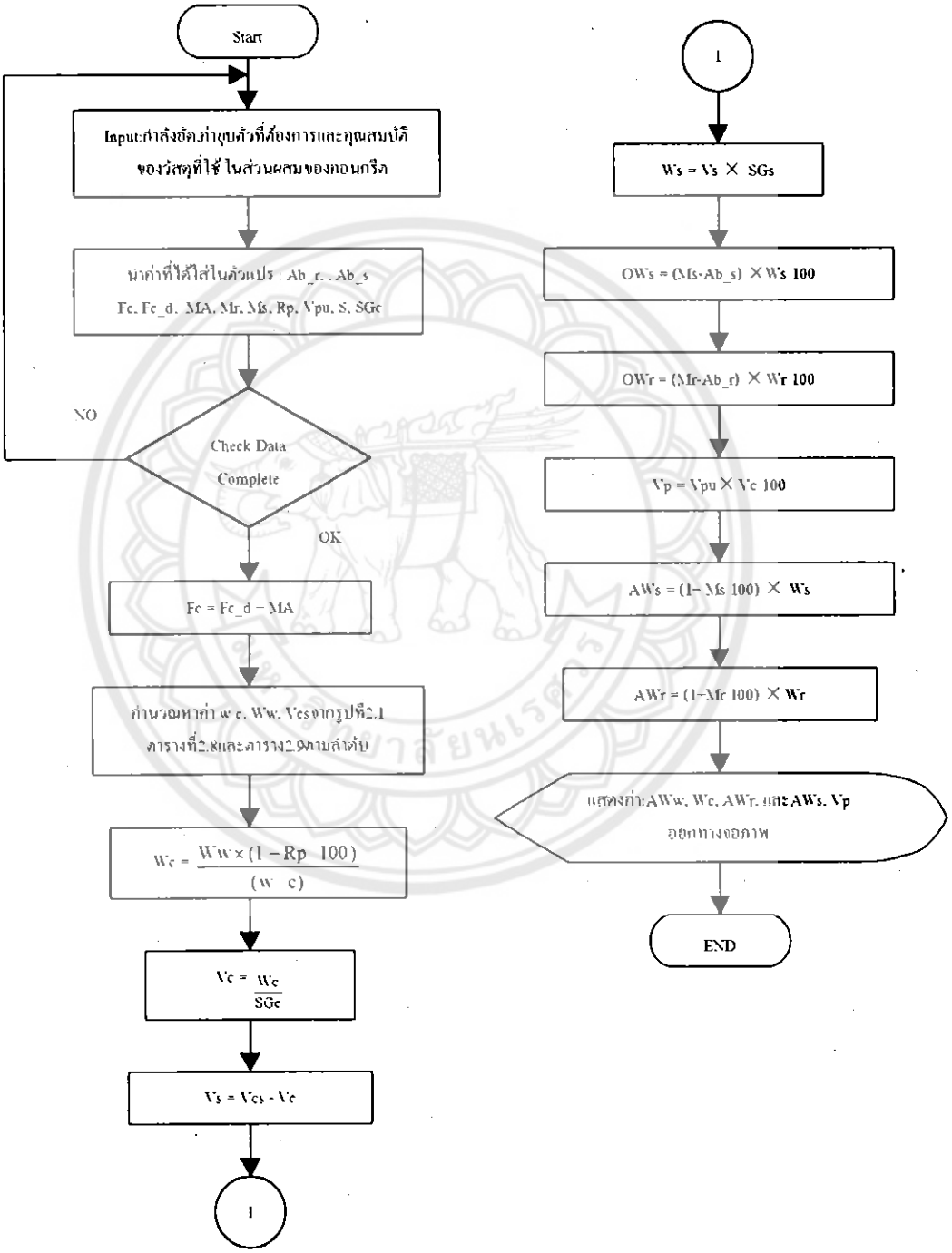
ประกอบด้วยผังงานโปรแกรมคอมพิวเตอร์การทำงานทั้งหมดดังแสดงในผังงานรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ผังงานโปรแกรม: frmThai

3.2.2.2 โปรแกรมออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตที่เหมาะสำหรับประเทศไทยใส่สารลดน้ำ

ประกอบด้วยผังงานโปรแกรมคอมพิวเตอร์การทำงานทั้งหมดดังแสดงในผังงานรูปที่ 3.5



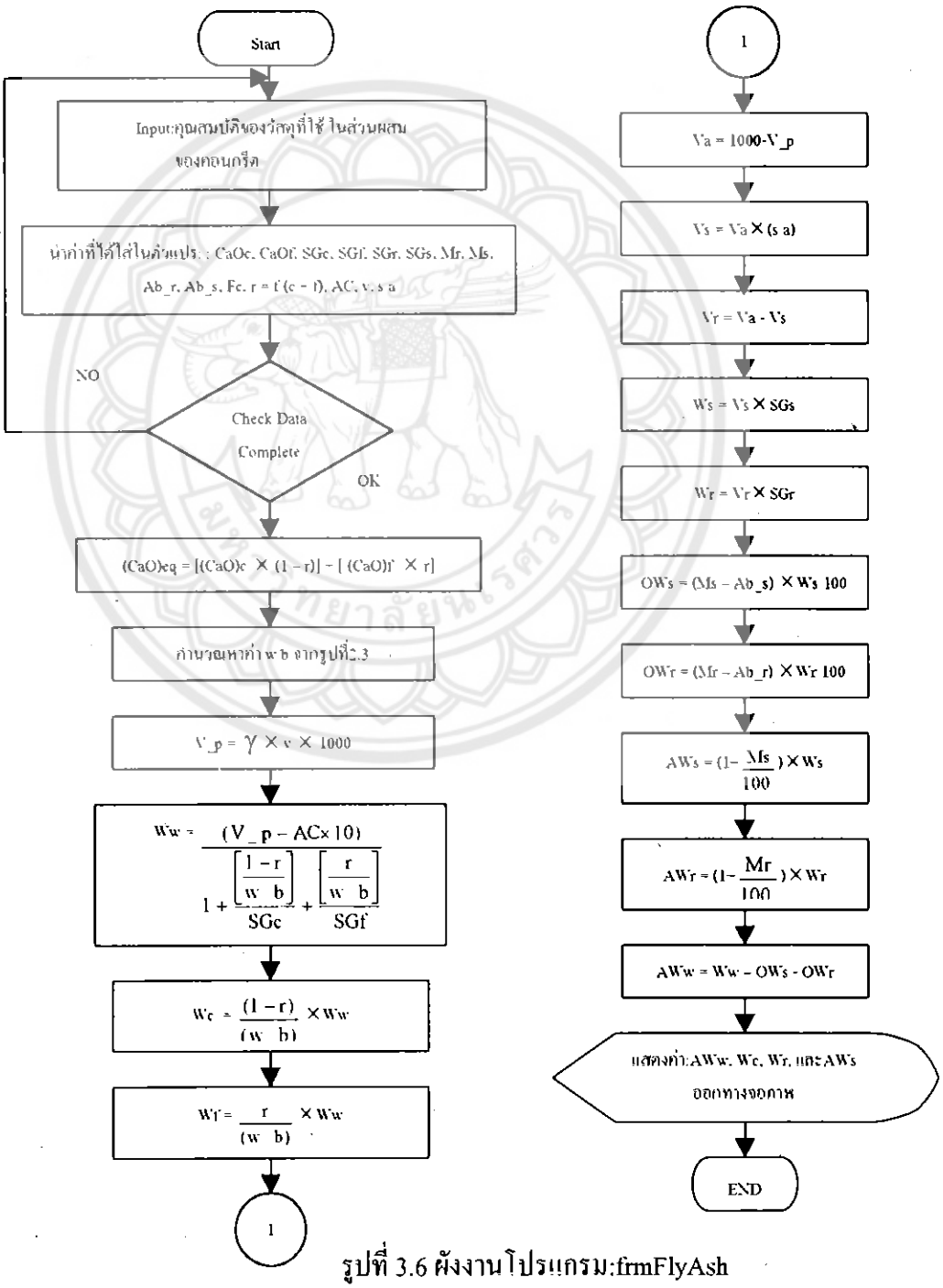
รูปที่ 3.5 ผังงานโปรแกรม: frmThaiPlasticizer

3.2.3 โปรแกรมออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตผสมเถ้าลอยโดยวิธีแบบง่าย

โปรแกรมออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตผสมเถ้าลอย ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ โปรแกรมออกแบบกำลังอัดและทำนายค่ายุบตัว

3.2.3.1 โปรแกรมออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตผสมเถ้าลอยส่วนออกแบบกำลังอัด

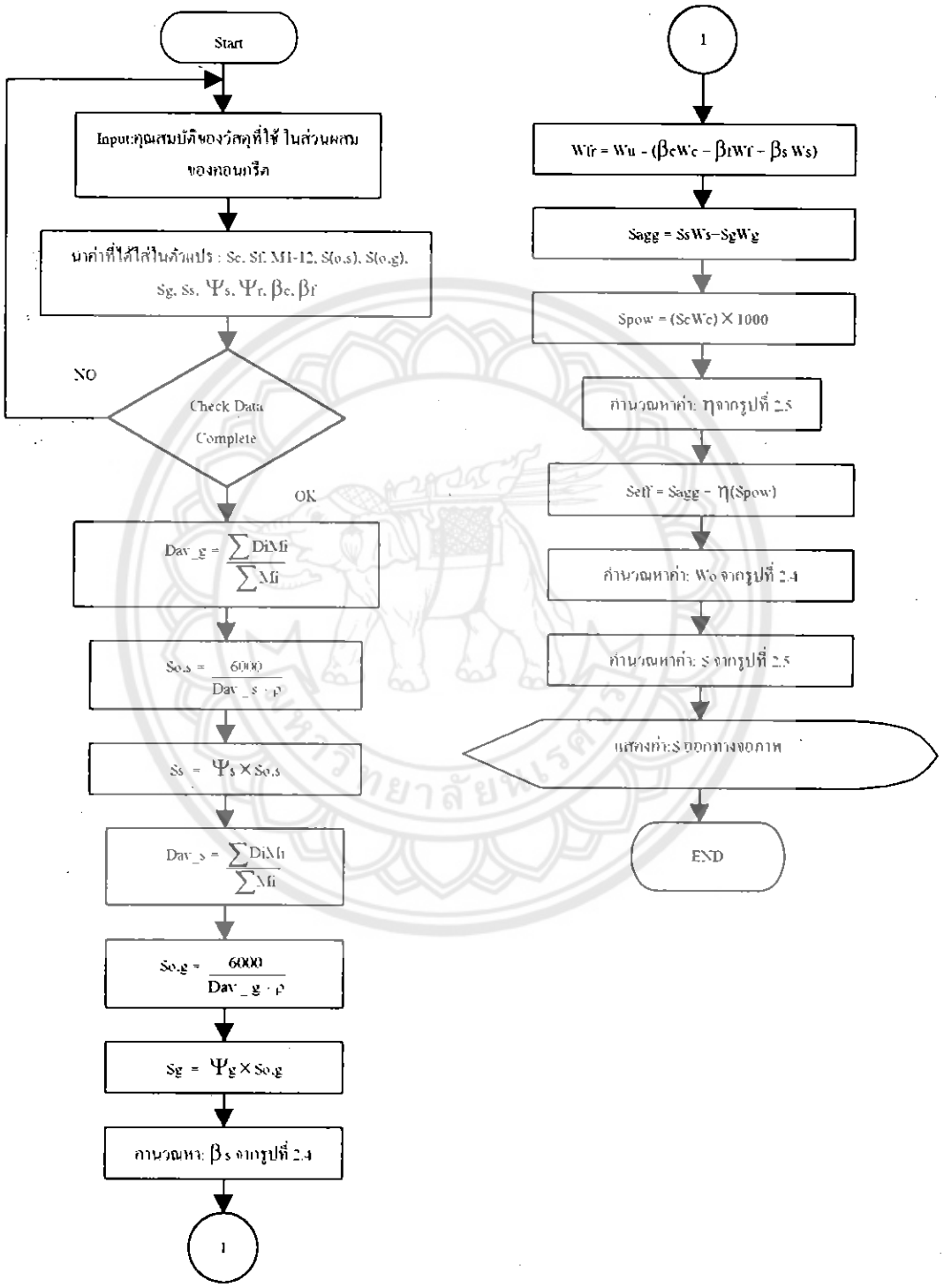
ประกอบด้วยผังงานโปรแกรมคอมพิวเตอร์การทำงานทั้งหมดดังแสดงในผังงานรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ผังงานโปรแกรม:frmFlyAsh

3.2.3.2 โปรแกรมออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตผสมเถ้าลอยส่วนทำนายค่ายุบตัว

ประกอบด้วยผังงานโปรแกรมคอมพิวเตอร์การทำงานทั้งหมดดังแสดงในผังงานรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ผังงานโปรแกรม: frmFlyAshSlump

บทที่ 4
คู่มือการใช้โปรแกรม

4.1 บทนำ

การคำนวณออกแบบส่วนผสมคอนกรีตโดยโปรแกรม NU Mix V 1.0 จะทำให้ผู้ใช้โปรแกรมมีความสะดวกรวดเร็วในการทำงานและมีความถูกต้องแม่นยำสูง แต่ก็มิได้หมายความว่าทุกคนสามารถใช้โปรแกรมได้ ผู้ใช้ควรมีพื้นฐานทางด้านวิชาคอนกรีตเทคโนโลยี เพื่อที่จะสะดวกในการป้อนข้อมูล เมื่อกรอกข้อมูลผิดเกินกว่าค่าเป็นจริงโปรแกรมก็จะปรากฏ Dialog Box ออกมาเตือนเพื่อให้แก้ไขข้อมูลนั้นๆ

โปรแกรม NU Mix V 1.0 เป็นโปรแกรมที่ใช้ภาษาไทย โดยมีศัพท์ภาษาอังกฤษกำกับเพื่อกันความสับสนสำหรับผู้ใช้ที่มีความคุ้นเคยกับภาษาอังกฤษ และเป็นโปรแกรมที่ใช้ภาษาไทยที่อ่านแล้วเข้าใจง่าย เมื่อผู้ใช้เกิดปัญหาก็สามารถเปิด Help เพื่อที่จะทำความเข้าใจกับทฤษฎีที่นำมาเขียนโปรแกรม ซึ่งก็เป็นทางลัดอีกทางหนึ่งที่จะศึกษาโปรแกรมเพื่อทำการป้อนข้อมูลที่ถูกต้อง

4.2 หน้าที่ของปุ่มหลักที่ใช้ในโปรแกรม

1 ปุ่ม OK มีหน้าที่ประมวลผลข้อมูลเพื่อหาส่วนผสมคอนกรีต

2 ปุ่ม ERASE มีหน้าที่ลบข้อมูลเก่า

3 ปุ่ม Cancel มีหน้าที่นำผู้ใช้กลับไปหน้าเดิม

4 ปุ่ม Help มีหน้าที่อธิบายให้ผู้ใช้เข้าใจวิธีการใช้โปรแกรม

5 ปุ่ม Home มีหน้าที่นำผู้ใช้กลับไปหน้าหลักของโปรแกรม

6 ปุ่ม Exit มีหน้าที่นำผู้ใช้ออกจากโปรแกรมเมื่อสิ้นสุดการทำงาน

4.3 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตโดยวิธี ACI

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตโดยวิธีนี้โปรแกรมจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังรูปที่ 4.1 คือการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ไม่ใส่สารลดน้ำดังแสดงในรูปที่ 4.2 และการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ใส่สารลดน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4.3

ขั้นตอนการทำงาน

1 ลบข้อมูลโดยกดปุ่ม Erase

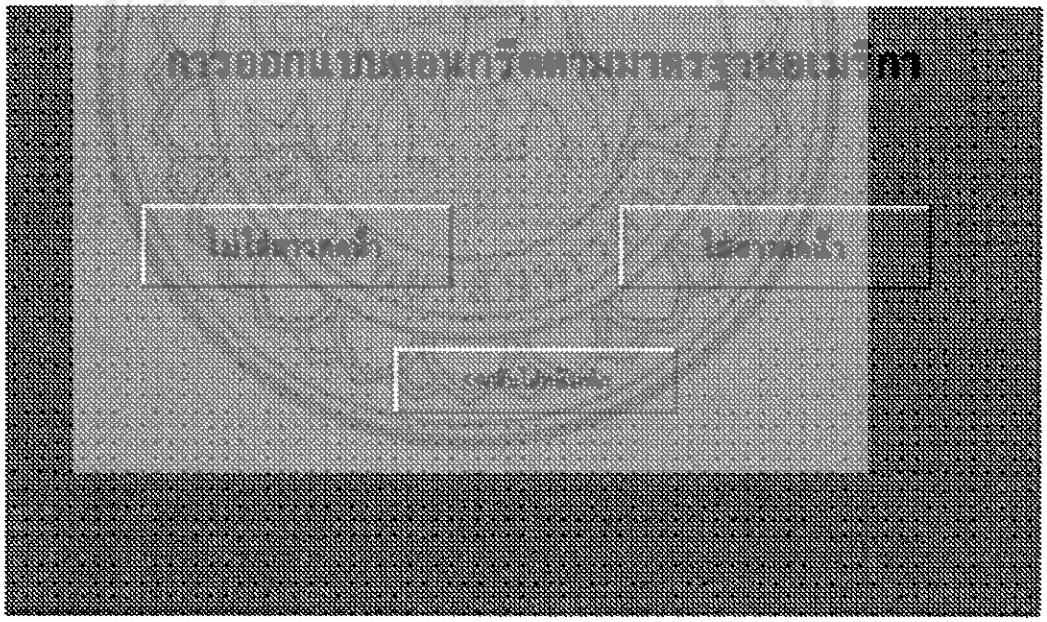
2 กรอกข้อมูลให้ครบทุกช่อง เมื่อกรอกข้อมูลเกินความจริงก็จะมี Dialog Box เตือนเพื่อแก้ ไขข้อมูลที่กรอกผิด

3 ระบุชนิดของคอนกรีตว่าเป็นชนิดไม่กักกระจายฟองอากาศหรือกักกระจายฟองอากาศ

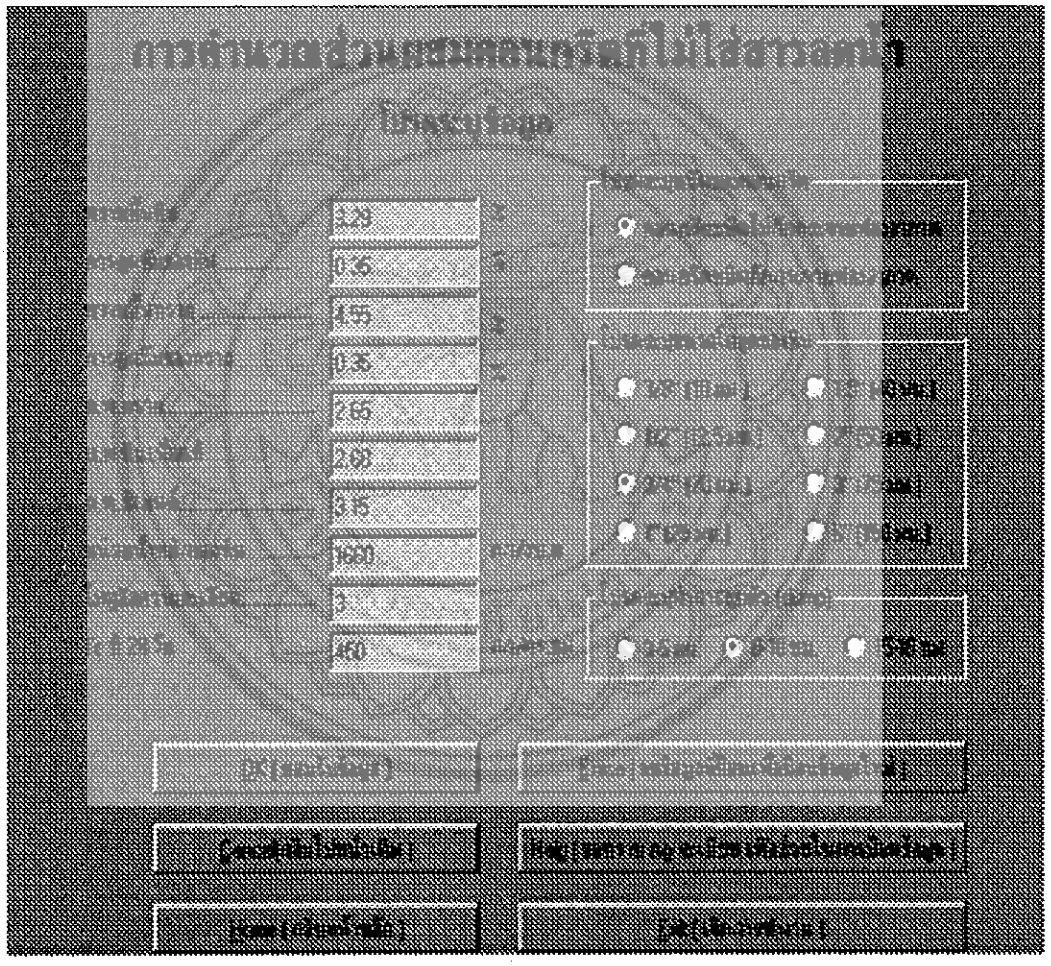
4 ระบุขนาดโตสุดของหิน

5 เลือกค่าการยุบตัว

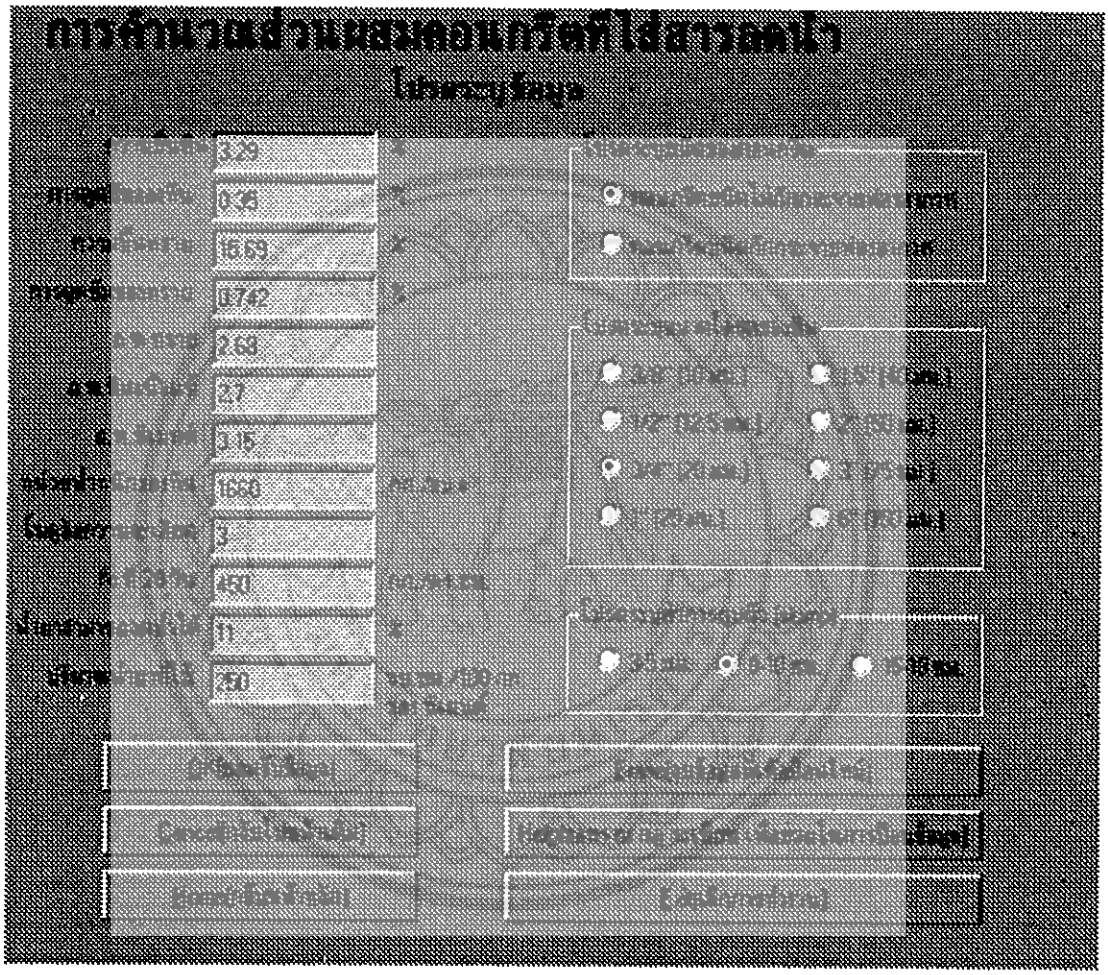
6 กดปุ่ม OK เมื่อต้องการหาส่วนผสมคอนกรีตจะได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ



รูปที่ 4.1 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตโดยวิธี ACI



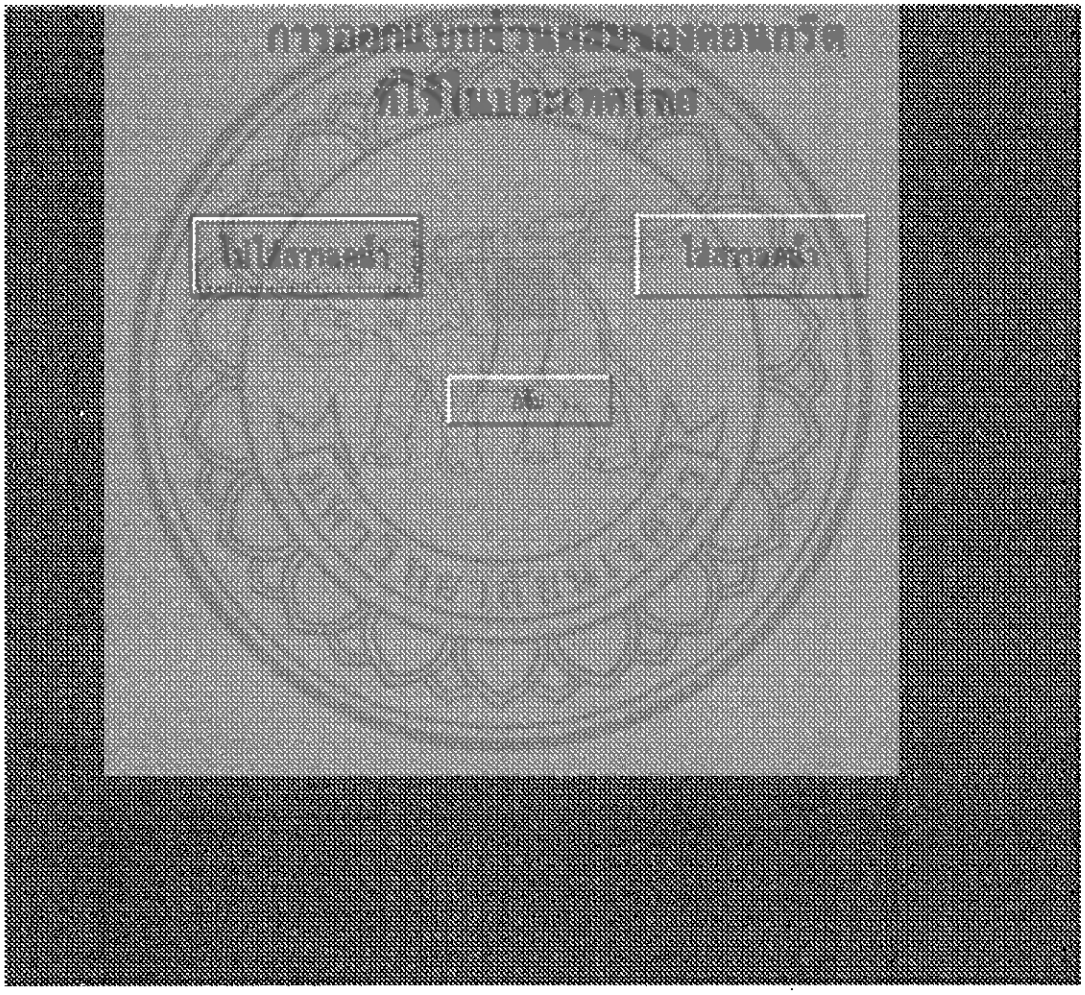
รูปที่ 4.2 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตตามวิธี ACI ที่ไม่ใส่สารลดน้ำ



รูปที่ 4.3 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตตามวิธี ACI ที่ใส่สารลดน้ำ

4.4 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสำหรับประเทศไทย

โปรแกรมจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังรูปที่ 4.4 คือการออกแบบส่วนผสมที่ไม่ใส่สารลดน้ำดังแสดงในรูปที่ 4.5 และการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ใส่สารลดน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.4 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสำหรับประเทศไทย

ขั้นตอนการทำงาน

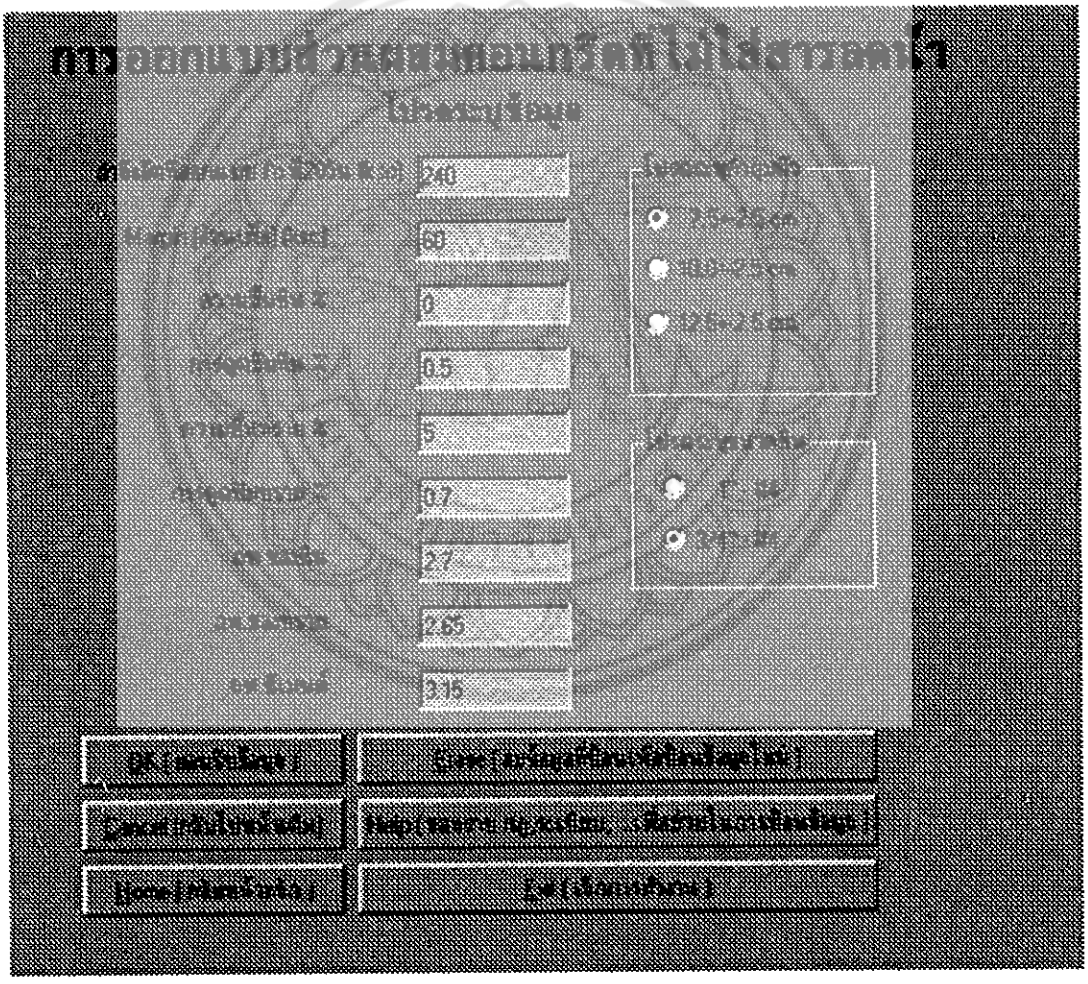
1 ลบข้อมูลเก่าโดยกดปุ่ม Erase

2 กรอกข้อมูลให้ครบทุกช่อง เมื่อกรอกข้อมูลเกินความจริงก็จะมี Dialog Box ออกมาเตือน เพื่อแก้ไขข้อมูลที่กรอกผิด

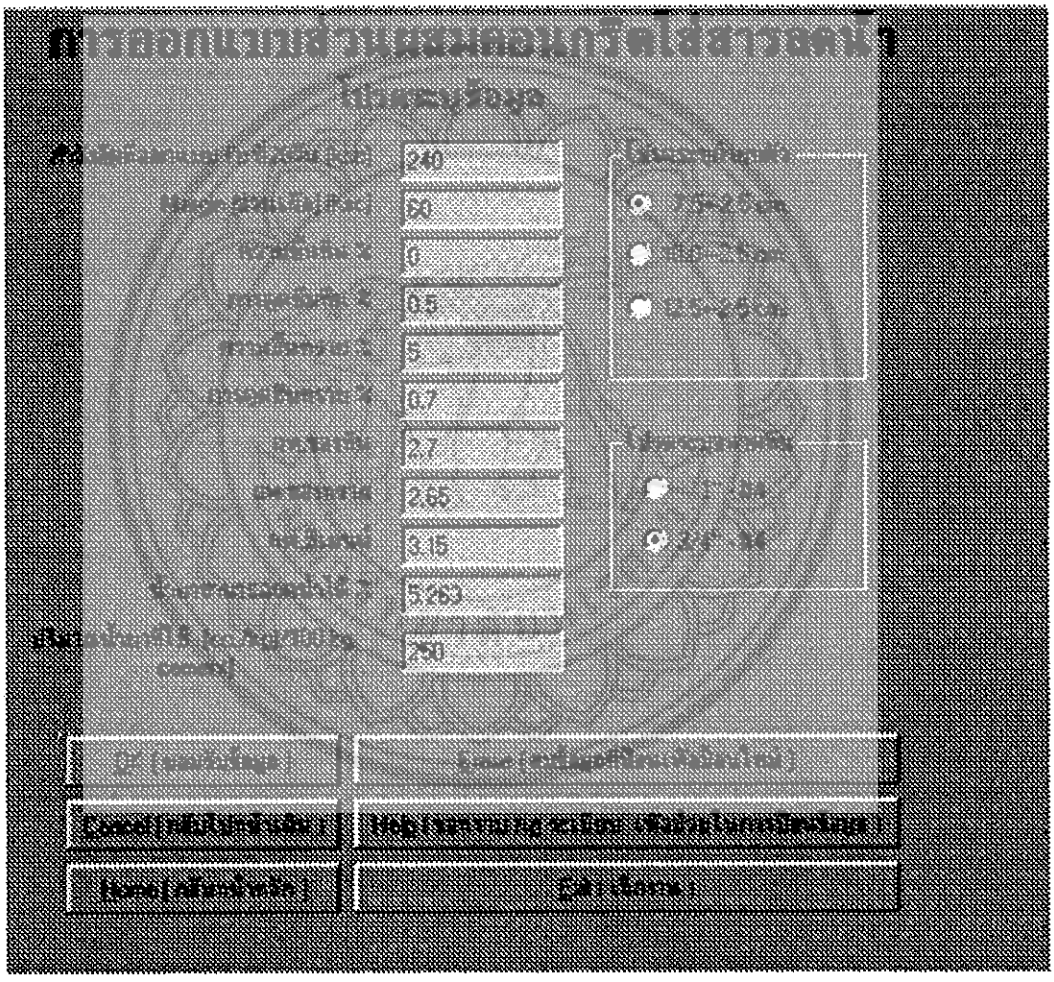
3 ระบุค่าการยุบตัวที่ต้องการ

4 ระบุขนาดหินที่ใช้เป็นส่วนผสม

5 กดปุ่ม OK เมื่อต้องการหาส่วนผสมคอนกรีตจะได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ



รูปที่ 4.5 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทยที่ไม่ใส่สารลดน้ำ



รูปที่ 4.6 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสำหรับประเทศไทยที่ใส่สารลดน้ำ

4.5 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตผสมเถ้าลอย

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตผสมเถ้าลอยจะมีขั้นตอนการคำนวณที่ยาว และต้องทราบสมบัติของวัตถุดิบที่นำมาใช้เป็นส่วนผสม เพื่อนำไปกรอกข้อมูลลงในโปรแกรมหาส่วนผสมที่ต้องการ ตัวอย่างการกรอกข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8

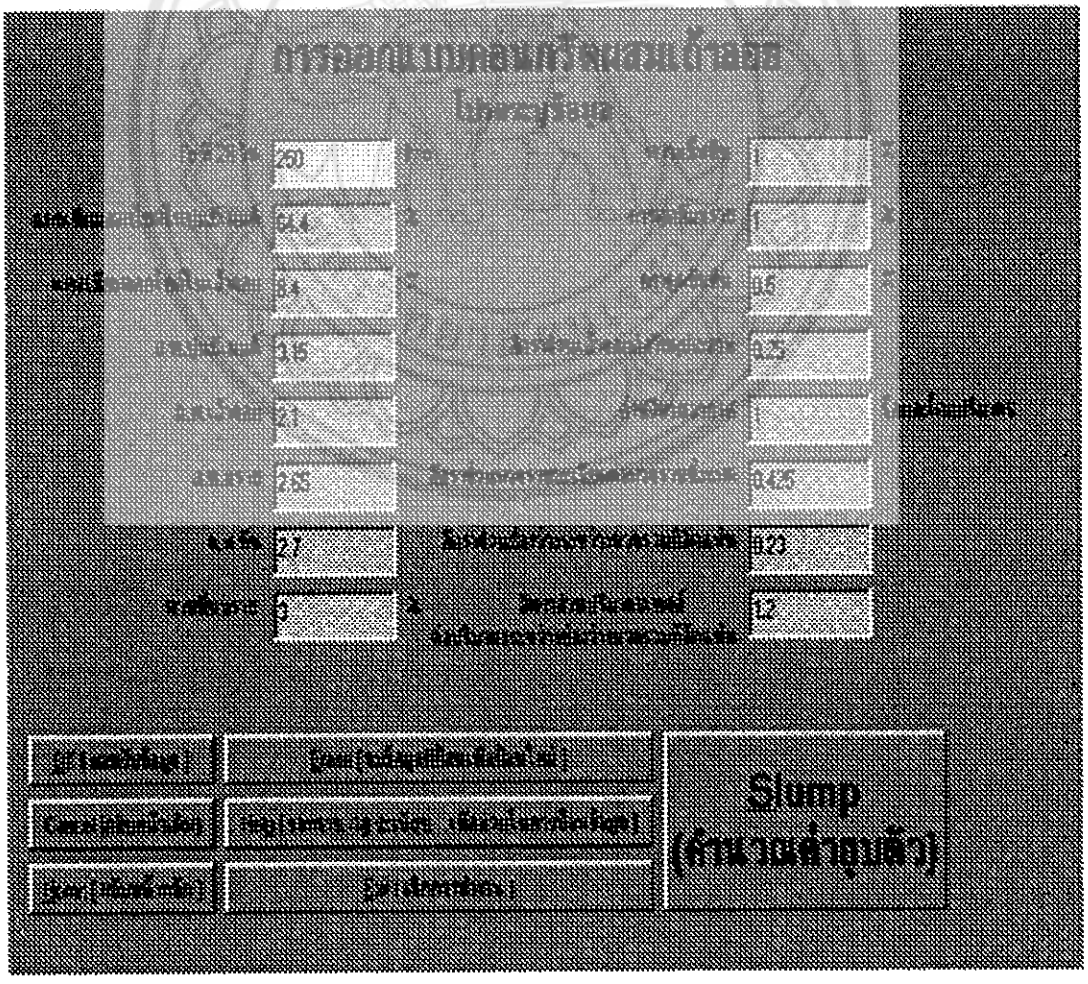
ขั้นตอนการหาสัดส่วนผสม

1 ลบข้อมูลเก่าโดยกดปุ่ม Erase

2 กรอกข้อมูลให้ครบทุกช่อง จะมีการเตือนเมื่อกรอกข้อมูลเกินความจริงเพื่อแก้ไขข้อมูลที่กรอกผิด

3 กดปุ่ม OK เมื่อต้องการหาส่วนผสมจะได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ

4 กลับจาก Form ของผลลัพธ์ไปที่ Form การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตผสมเถ้าลอยเพื่อเตรียมตัวคำนวณหาค่าการยุบตัว



รูปที่ 4.7 การออกแบบคอนกรีตผสมเถ้าลอยในส่วนของกำลังอัด

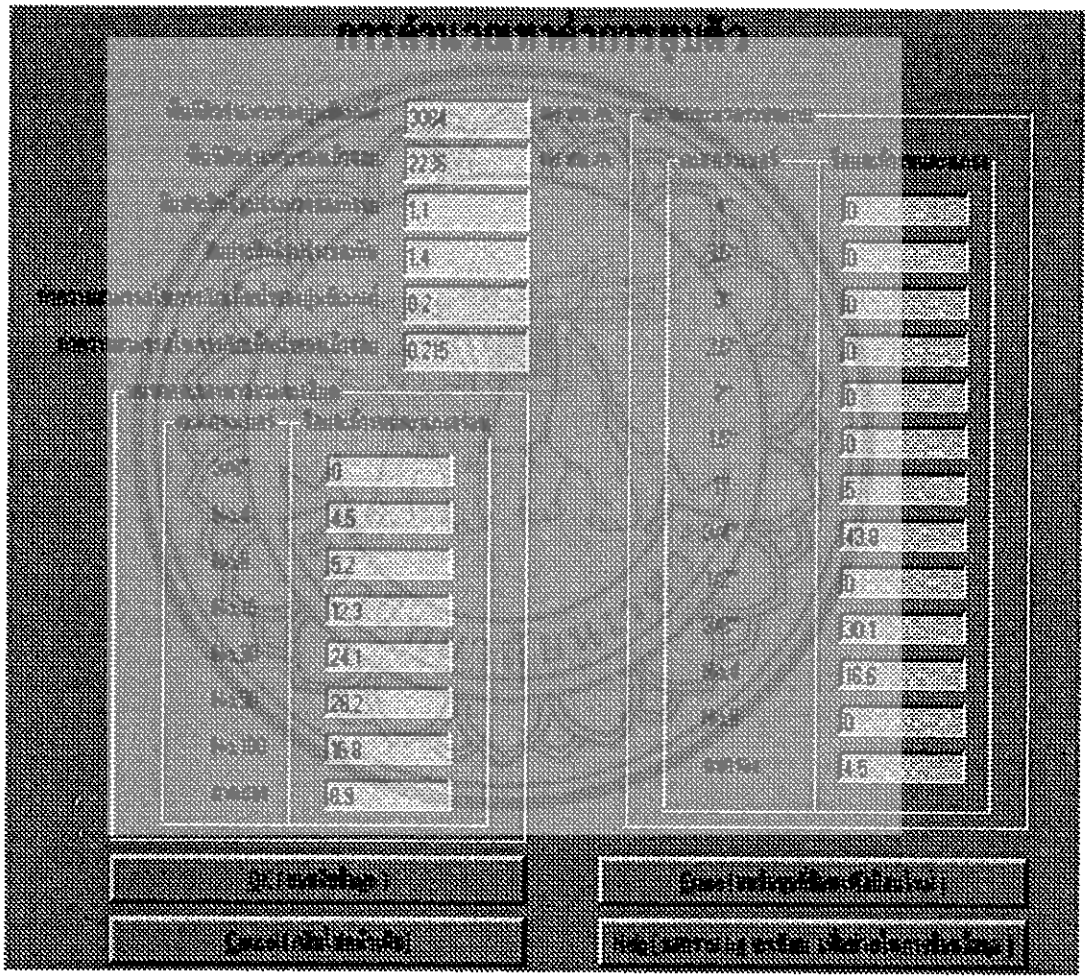
ขั้นตอนการหาค่าการยุบตัว

1 ต้องหาส่วนผสมคอนกรีตก่อนเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาหาค่าการยุบตัว

2 กดปุ่ม Slump เพื่อเข้าสู่ Form ของการกรอกข้อมูลเพื่อหาค่าการยุบตัว

3 กรอกข้อมูลให้ครบทุกช่อง

4 กดปุ่ม OK เมื่อต้องการหาค่าการยุบตัว และจะได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ



รูปที่ 4.8 การออกแบบคอนกรีตผสมเถ้าลอยในส่วนของการทำนายค่าการยุบตัว

บทที่ 5
การทดสอบโปรแกรม

การทดสอบโปรแกรมทำโดยการสุ่มตัวอย่างการออกแบบมาป้อนข้อมูลลงไปในโปรแกรม แล้วทำการประมวลผลข้อมูล จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากทฤษฎีที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 2 หาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่เกิดขึ้น

การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมจะทำการตรวจสอบโดยแยกตัวอย่างตามวิธีการคำนวณ โดยแบ่งออกเป็นการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตตามมาตรฐานอเมริกัน(ACI 211.1-74) การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสมกับประเทศไทย และการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตผสมเถ้าลอย

5.1 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตตามมาตรฐานอเมริกัน(ACI 211.1-74)

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตตามมาตรฐานอเมริกัน

ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบ	ตัวอย่างที่					
	1	2	3	4	5	6
กำลังอัดที่ต้องการ (กก/ตร.ซม)	250	300	350	350	250	300
ค่าการยุบตัว (ซม.)	8-10	3-5	15-18	8-10	15-18	3-5
ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15
ความถ่วงจำเพาะของหิน	2.68	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
ความถ่วงจำเพาะของทราย	2.64	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
ความชื้นหิน (%)	2	2	0.50	2	0.50	1.50
ความชื้นทราย (%)	6	5	5	5	6	4
ค่าการดูดซึมของหิน (%)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
ค่าการดูดซึมทราย (%)	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
หน่วยน้ำหนักแห้งและอัดแน่น-ของหิน (กก./ลบ.ม)	1600	1600	1660	1600	1600	1600
ขนาดหินโตสุด (มม.)	40	40	25	20	25	40
โมดูลัสความละเอียด	2.80	3.00	3.00	2.80	3.00	2.80

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตตามมาตรฐานอเมริกัน (ต่อ)

ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบ	ตัวอย่างที่					
	1	2	3	4	5	6
น้ำยาลดน้ำได้ (%)	-	-	-	10	10	10
ปริมาณน้ำยาที่ใช้ ต่อ 100 กก. (ซีซี)	-	-	-	250	250	250

ตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบส่วนผสมของคอนกรีตตามมาตรฐานอเมริกัน

ตัวอย่างที่		ปริมาณส่วนผสม				
		น้ำ กก.	ซีเมนต์ กก.	หิน กก.	ทราย กก.	น้ำยาลดน้ำ กก.
1	ค่าที่ได้จากการคำนวณ	116.4	282.3	1175.0	825.7	-
	ค่าที่ได้จากโปรแกรม	116.4	282.3	1175.0	827.0	-
	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	0	0	0	0.16	-
2	ค่าที่ได้จากการคำนวณ	107.1	291.0	1142.4	881.3	-
	ค่าที่ได้จากโปรแกรม	107.1	290.9	1142.4	881.3	-
	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	0	0.03	0	0	-
3	ค่าที่ได้จากการคำนวณ	177.7	427.1	1084.4	666.1	-
	ค่าที่ได้จากโปรแกรม	177.6	427.1	1084.4	668.3	-
	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	0.06	0	0	0.33	-
4	ค่าที่ได้จากการคำนวณ	130.0	375.0	1011.8	857.2	937.5
	ค่าที่ได้จากโปรแกรม	130.1	375.0	1011.8	856.0	937.5
	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	0.008	0	0	0.14	0
5	ค่าที่ได้จากการคำนวณ	140.3	297.6	1045.2	884.7	744.0
	ค่าที่ได้จากโปรแกรม	140.3	297.6	1045.2	884.2	744.0
	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	0	0	0	0.06	0
6	ค่าที่ได้จากการคำนวณ	103.6	261.8	1169.3	908.5	654.5
	ค่าที่ได้จากโปรแกรม	103.6	261.8	1169.3	909.1	654.5
	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	0	0	0	0.07	0

5.2 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสำหรับประเทศไทย

ตารางที่ 5.3 ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสำหรับประเทศไทย

ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบ		ตัวอย่างที่					
		1	2	3	4	5	6
กำลังอัดที่ต้องการ	(กก/ซม^2)	240	300	250	240	350	300
ส่วนเผื่อ	(กก.)	60	80	80	60	80	80
ค่าการยุบตัว	(ซม.)	7.5	7.5	10	7.5	10.5	7.5
ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์		3.15	3.15	3.15	3.15	3.15	3.15
ความถ่วงจำเพาะของหิน		2.70	2.68	2.68	2.70	2.68	2.68
ความถ่วงจำเพาะของทราย		2.65	2.65	2.60	2.65	2.60	2.65
ความชื้นหิน	(%)	2	2	3	0.5	3	2
ความชื้นทราย	(%)	5	5	7	5	7	5
ค่าการดูดซึมของหิน	(%)	0.5	0.2	0.3	0.5	0.3	0.2
ค่าการดูดซึม	(%)	0.7	0.5	0.5	0.7	0.5	0.5
ขนาดหิน	(นิ้ว)	3/4-#4	3/4-#4	1-#4	3/4-#4	1-#4	3/4-#4
น้ำยาลดน้ำได้	(%)	-	-	-	5	15	10
ปริมาณน้ำยาที่ใช้ต่อ 100 กก.(ซีซี)		-	-	-	250	200	200

ตารางที่ 5.4 การเปรียบเทียบส่วนผสมของคอนกรีตที่เหมาะสมกับประเทศไทย

ตัวอย่างที่		ปริมาณส่วนผสม				
		น้ำ กก.	ซีเมนต์ กก.	หิน กก.	ทราย กก.	น้ำยาลดน้ำ กก.
1	ค่าที่ได้จากการคำนวณ	139.1	311.5	1123.6	832.2	-
	ค่าที่ได้จากโปรแกรม	139.0	309.1	1123.6	834.3	-
	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	0.07	0.77	0	0.25	-
2	ค่าที่ได้จากการคำนวณ	136.9	372.5	1118.6	773.7	-
	ค่าที่ได้จากโปรแกรม	136.7	373.6	1118.6	779.3	-
	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	0.07	0.30	0	0.10	-
3	ค่าที่ได้จากการคำนวณ	117.3	422.2	1183.5	681.2	-
	ค่าที่ได้จากโปรแกรม	117.3	422.1	1183.5	681.2	-
	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	0	0.02	0	0	-
4	ค่าที่ได้จากการคำนวณ	146.0	296.0	1132.6	845.9	740
	ค่าที่ได้จากโปรแกรม	145.5	293.7	1132.7	847.9	734
	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	0.34	0.78	0	0.24	0.81
5	ค่าที่ได้จากการคำนวณ	83.3	358.9	1262	736.9	717.8
	ค่าที่ได้จากโปรแกรม	83.4	358.8	1262	736.8	717.6
	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	0.12	0.03	0	0.06	0.03
6	ค่าที่ได้จากการคำนวณ	115.3	335.3	1170.4	813	670.6
	ค่าที่ได้จากโปรแกรม	115.3	336.2	1170.4	812.1	672.5
	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	0	0.27	0	0.11	0.28

5.3 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตผสมเถ้าลอย

ตารางที่ 5.5 ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตผสมเถ้าลอย

ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบ	ตัวอย่างที่		
	1	2	3
กำลังอัดที่ต้องการ (กก/ซม^2)	250	200	300
ค่าการยุบตัว (ซม.)	10-15	10-15	10-15
อัตราส่วนเถ้าลอยต่อวัสดุประสาน	0.25	0.5	0.25
อัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมด	0.425	0.40	0.4
อัตราส่วนปริมาตรเพสต์ต่อปริมาตรช่องว่างระหว่าง-มวลรวมที่อัดแน่น	1.3	1.5	1.4
ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์	3.15	3.15	3.15
ความถ่วงจำเพาะของเถ้าลอย	2.1	1.9	2.0
ความถ่วงจำเพาะของหิน	2.7	2.7	2.68
ความถ่วงจำเพาะของทราย	2.65	2.65	2.65
ความชื้นหิน (%)	1	1	1
ความชื้นทราย (%)	3	2	2.5
ค่าการดูดซึมของหิน (%)	0.5	0.5	0.3
ค่าการดูดซึมของทราย (%)	1	0.5	0.5

ตารางที่ 5.6 การเปรียบเทียบส่วนผสมของคอนกรีตผสมเถ้าลอย

ตัวอย่างที่		ค่าการยุบตัว ซม.	ปริมาณส่วนผสม				
			น้ำ กก.	ซีเมนต์ กก.	เถ้าลอย กก.	หิน กก.	ทราย กก.
1	ค่าที่ได้จากการคำนวณ	7.8	153	242	81	1094	805
	ค่าที่ได้จากโปรแกรม	8.03	152.3	242.5	80.8	1093.7	805.3
	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	2.95	0.46	0.21	0.25	0.23	0
2	ค่าที่ได้จากการคำนวณ	13.5	161.1	174.1	174.1	1083.5	716
	ค่าที่ได้จากโปรแกรม	14.0	161.6	174.1	174.1	1083.5	716
	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	3.7	0.31	0	0	0	0
3	ค่าที่ได้จากการคำนวณ	10.0	155.6	277.5	92.5	1097.3	732.6
	ค่าที่ได้จากโปรแกรม	8.15	156.3	276.2	92.1	1097.9	733.1
	เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	18.5	0.45	0.47	0.32	0.05	0.07

บทที่ 6
วิเคราะห์และสรุปผล

6.1 วิเคราะห์ผล

6.1.1ผลลัพธ์ในส่วนโปรแกรมออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตตามมาตราฐานอเมริกัน (ACI 211.1-74)ในกรณีใช้สารลดน้ำและไม่ใช้สารลดน้ำมีความคาดเคลื่อนของส่วนผสมที่มากที่สุดเป็น 0.14 เปอร์เซ็นต์และ 0.33 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ทั้งนี้เกิดจากการปัดเศษทศนิยม

6.1.2 ผลลัพธ์ในส่วนโปรแกรมออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตที่เหมาะสำหรับประเทศไทยโดยประยุกต์ใช้มาตราฐานอเมริกัน (ACI 211.1-74) กับมาตราฐานอังกฤษ (British Method) ในกรณีใช้สารลดน้ำและไม่ใช้สารลดน้ำ มีความคาดเคลื่อนของส่วนผสมที่มากที่สุดเป็น 0.81 เปอร์เซ็นต์ และ 0.77 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทั้งนี้เกิดจากการปัดเศษทศนิยม และการอ่านค่า อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์จากกราฟรูปที่ 2.1 ซึ่งโปรแกรมให้ค่าที่ละเอียดกว่า

6.1.3 ผลลัพธ์ในส่วนโปรแกรมออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตผสมเถ้าลอยมีความคาดเคลื่อนของส่วนผสมที่มากที่สุดเป็น 0.47 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เกิดจากการปัดเศษทศนิยมและการอ่านค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานจากกราฟรูปที่ 2.3

6.1.4 จากผลการทดสอบโปรแกรมจะเห็นว่าโปรแกรมมีความถูกต้อง ใกล้เคียง เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณโดยไม่ใช้โปรแกรมคือ มีความแตกต่างกันน้อยมากเทียบเป็นร้อยละไม่ถึง 1 เปอร์เซ็นต์ ประกอบกับการหาสัดส่วนผสมความละเอียดของส่วนผสมในงานก่อสร้างจริง ละเอียดถึง 5 กิโลกรัม ในส่วนของซีเมนต์ น้ำ หินและกรวด และละเอียดถึง 50 ซีซี ที่เป็นสารลดน้ำ จะเห็นว่าค่าความละเอียดดังกล่าวจะให้ค่าความคาดเคลื่อนเกิน 1 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น ในส่วนของโปรแกรมที่มีความคาดเคลื่อนไม่ถึง 1 เปอร์เซ็นต์จึงสามารถใช้ในการทำงานได้

6.1.5 มีความสะดวก รวดเร็วในการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต

6.1.6 เมื่อเปรียบเทียบกับการคำนวณออกแบบส่วนผสมคอนกรีตด้วยมือกับโปรแกรม โปรแกรมใช้เวลาในการคำนวณออกแบบส่วนผสมคอนกรีตน้อยมาก

6.2 สรุปผลของโปรแกรม

6.2.1 โปรแกรมสามารถคำนวณออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตได้ในมาตราฐานอเมริกัน (ACI 211.1-74), เหมาะสำหรับประเทศไทยโดยประยุกต์ใช้มาตราฐานอเมริกัน(ACI 211.1-74) กับมาตราฐานอังกฤษ(British Method) และคอนกรีตผสมเถ้าลอยโดยวิธีแบบง่าย(SimplifiedMethod)

6.2.2 โปรแกรมสามารถคำนวณออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตที่ใส่สารลดน้ำได้ในกรณีออกแบบตามมาตรฐานอเมริกัน(ACI 211.1-74) และ ที่เหมาะสำหรับประเทศไทยโดยประยุกต์ใช้มาตราฐานอเมริกัน(ACI 211.1-74) กับมาตราฐานอังกฤษ(British Method)

6.2.3 โปรแกรมสามารถคำนวณออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตได้ที่กำลังอัดรูปทรงกระบอก ที่ 28 วัน ช่วงค่า 150-450 กก. ต่อ ตร.ซม. ตามมาตรฐานอเมริกัน(ACI 211.1-74) กรณีออกแบบเหมาะสำหรับประเทศไทยที่กำลังอัดลูกบาศก์ ที่ 28 วัน ในช่วง 150 -590 กก. ต่อ ตร.ซม. และกรณีที่เป็นคอนกรีตผสมเถ้าลอยที่กำลังอัดลูกบาศก์ ที่ 28 วันไม่เกิน 570 กก. ต่อ ตร.ซม.

6.2.4 โปรแกรมสามารถคำนวณออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต ในค่ายุบตัว 3 ซม.ถึง 18 ซม. ตามมาตรฐานอเมริกัน(ACI 211.1-74) กรณีที่เหมาะสำหรับประเทศไทย 5 ซม. ถึง 15 ซม.และกรณีคอนกรีตผสมเถ้าลอยจะเป็นการทำนายค่าการยุบตัวของส่วนผสมที่มีอยู่ได้ไม่เกิน 24 ซม.

6.2.5 โปรแกรมสามารถบันทึกและพิมพ์ผลลัพธ์ของส่วนผสมที่ออกแบบไว้ได้

6.3 ข้อเสนอแนะ

6.3.1 ควรมีการพัฒนาโปรแกรมให้สามารถเลือกหน่วยในการใช้งานได้

6.3.2 ควรเพิ่มมาตรฐานต่างๆในการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต

6.3.3 ควรเผยแพร่โปรแกรม NU Mix V 1.0 ทาง Internet เพื่อจะได้เป็นที่แพร่หลายในหมู่วิศวกร

6.3.4 ควรมีภาคภาษาอังกฤษเพื่อความเป็นสากล

บรรณานุกรม

กิตติ ภักดีวัฒนะกุล และ จำลอง ครูอุตสาหะ. Visual Basic 6 ฉบับโปรแกรมเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ : หจก.ไทยเจริญการพิมพ์ , 2543

ฉัททวุฒิ พืชผล และ พิชิต สันติทุลานนท์. คู่มือเรียน Visual Basic 6. กรุงเทพฯ : โปรวิชั่น , 2542.

ชัชวาล เศรษฐบุตร. คอนกรีต เทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 7 . กรุงเทพฯ : ผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง , 2542.

วินิต ช่อวิเชียร. คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ : หจก. ป.สัมพันธ์พาณิชย์ , 2527.

สมนึก ตั้งเติมสิริกุล. การออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตผสมเถ้าลอย. กรุงเทพฯ : วิสวกรรมสถานแห่งประเทศไทย , 2542.

ภาคผนวก

1.รหัสโปรแกรม (Source Code) สำหรับการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตมาตราฐานอเมริกัน(ACI 211.1-74)ไม่ใส่สารลดน้ำ

```
Option Explicit
    Public Ab_r As Single, Ab_s As Single, AWw As Single, AWr As Single
    Public AWs As Single, E As Single, Fc As Single, Mr As Single
    Public Ms As Single S As Single, SGc As Single, SGr As Single, SGs As Single
    Public Wa As Single, Wc As Single, Wf As Single, Wr As Single, Ws As Single
    Public Ww As Single, UWr As Single
    Public Result1 As String

Private Sub Command1_Click()
    Dim A As Single, B As Single, C As Single, D As Single
    Dim A1 As Single, B1 As Single, C1 As Single, D1 As Single
    Dim AC As Single, E As Single, OWr As Single, OWs As Single
    Dim Vc As Single, Vr As Single, VrPerVa As Single Vs As Single, Vw As Single
    Dim Wr As Single, Ws As Single, WPerC As Single
        Mr = Val(Text1.Text)
      Ab_r = Val(Text2.Text)
        Ms = Val(Text3.Text)
      Ab_s = Val(Text4.Text)
       SGs = Val(Text5.Text)
       SGr = Val(Text6.Text)
       SGc = Val(Text7.Text)
       UWr = Val(Text8.Text)
         E = Val(Text9.Text)
        Fc = Val(Text10.Text)
```

```
If Option3.Value = True And E = 2.4 And E < 2.6 Then
    A1 = 2.4
    B1 = 2.6
    C1 = 0.5
    D1 = 0.48
ElseIf Option3.Value = True And E >= 2.6 And E < 2.8 Then
    A1 = 2.6
    B1 = 2.8
    C1 = 0.48
    D1 = 0.46
ElseIf Option3.Value = True And E >= 2.8 And E <= 3# Then
    A1 = 2.8
    B1 = 3#
    C1 = 0.46
    D1 = 0.44
ElseIf Option4.Value = True And E >= 2.4 And E < 2.6 Then
    A1 = 2.4
    B1 = 2.6
    C1 = 0.59
    D1 = 0.57
ElseIf Option4.Value = True And E >= 2.6 And E < 2.8 Then
    A1 = 2.6
    B1 = 2.8
    C1 = 0.57
    D1 = 0.55
ElseIf Option4.Value = True And E >= 2.8 And E <= 3# Then
    A1 = 2.8
    B1 = 3#
    C1 = 0.55
    D1 = 0.53
```

```
ElseIf Option5.Value = True And E >= 2.4 And E < 2.6 Then
    A1 = 2.4
    B1 = 2.6
    C1 = 0.66
    D1 = 0.64
ElseIf Option5.Value = True And E >= 2.6 And E < 2.8 Then
    A1 = 2.6
    B1 = 2.8
    C1 = 0.64
    D1 = 0.62
ElseIf Option5.Value = True And E >= 2.8 And E <= 3# Then
    A1 = 2.8
    B1 = 3#
    C1 = 0.62
    D1 = 0.6
ElseIf Option6.Value = True And E >= 2.4 And E < 2.6 Then
    A1 = 2.4
    B1 = 2.6
    C1 = 0.71
    D1 = 0.69
ElseIf Option6.Value = True And E >= 2.6 And E < 2.8 Then
    A1 = 2.6
    B1 = 2.8
    C1 = 0.69
    D1 = 0.67
ElseIf Option6.Value = True And E >= 2.8 And E <= 3# Then
    A1 = 2.8
    B1 = 3#
    C1 = 0.67
    D1 = 0.69
```

```
ElseIf Option7.Value = True And E >= 2.4 And E < 2.6 Then
    A1 = 2.4
    B1 = 2.6
    C1 = 0.76
    D1 = 0.74
ElseIf Option7.Value = True And E >= 2.6 And E < 2.8 Then
    A1 = 2.6
    B1 = 2.8
    C1 = 0.74
    D1 = 0.72
ElseIf Option7.Value = True And E >= 2.8 And E <= 3# Then
    A1 = 2.8
    B1 = 3#
    C1 = 0.72
    D1 = 0.7
ElseIf Option8.Value = True And E >= 2.4 And E < 2.6 Then
    A1 = 2.4
    B1 = 2.6
    C1 = 0.78
    D1 = 0.76
ElseIf Option8.Value = True And E >= 2.6 And E < 2.8 Then
    A1 = 2.6
    B1 = 2.8
    C1 = 0.76
    D1 = 0.74
ElseIf Option8.Value = True And E >= 2.8 And E <= 3# Then
    A1 = 2.8
    B1 = 3#
    C1 = 0.74
    D1 = 0.72
```

```
ElseIf Option9.Value = True And E >= 2.4 And E < 2.6 Then
    A1 = 2.4
    B1 = 2.6
    C1 = 0.81
    D1 = 0.79
ElseIf Option9.Value = True And E >= 2.6 And E < 2.8 Then
    A1 = 2.6
    B1 = 2.8
    C1 = 0.76
    D1 = 0.74
ElseIf Option9.Value = True And E >= 2.8 And E <= 3# Then
    A1 = 2.8
    B1 = 3#
    C1 = 0.77
    D1 = 0.75
ElseIf Option10.Value = True And E >= 2.4 And E < 2.6 Then
    A1 = 2.4
    B1 = 2.6
    C1 = 0.87
    D1 = 0.85
ElseIf Option10.Value = True And E >= 2.6 And E < 2.8 Then
    A1 = 2.6
    B1 = 2.8
    C1 = 0.85
    D1 = 0.83
ElseIf Option10.Value = True And E >= 2.8 And E <= 3# Then
    A1 = 2.8
    B1 = 3#
    C1 = 0.83
    D1 = 0.81
```

```
        End If
GoTo VrPerVa:
Label1:
        If Option1.Value = True Then
          GoTo NoAir:
        Else
          GoTo Air:
        End If
NoAir:
        If Option11.Value = True And Option3.Value = True Then
         Ww = 205
         AC = 3
        ElseIf Option11.Value = True And Option4.Value = True Then
         Ww = 200
         AC = 2.5
        ElseIf Option11.Value = True And Option5.Value = True Then
         Ww = 185
         AC = 2
        ElseIf Option11.Value = True And Option6.Value = True Then
         Ww = 180
         AC = 1.5
        ElseIf Option11.Value = True And Option7.Value = True Then
         Ww = 160
         AC = 1
        ElseIf Option11.Value = True And Option8.Value = True Then
         Ww = 155
         AC = 0.5
        ElseIf Option11.Value = True And Option9.Value = True Then
         Ww = 145
         AC = 0.3
```

```
ElseIf Option11.Value = True And Option10.Value = True Then
 Ww = 125
 AC = 0.2
ElseIf Option12.Value = True And Option3.Value = True Then
 Ww = 225
 AC = 3
ElseIf Option12.Value = True And Option4.Value = True Then
 Ww = 215
 AC = 2.5
ElseIf Option12.Value = True And Option5.Value = True Then
 Ww = 200
 AC = 2
ElseIf Option12.Value = True And Option6.Value = True Then
 Ww = 195
 AC = 1.5
ElseIf Option12.Value = True And Option7.Value = True Then
 Ww = 175
 AC = 1
ElseIf Option12.Value = True And Option8.Value = True Then
 Ww = 170
 AC = 0.5
ElseIf Option12.Value = True And Option9.Value = True Then
 Ww = 160
 AC = 0.3
ElseIf Option12.Value = True And Option10.Value = True Then
 Ww = 140
 AC = 0.2
ElseIf Option13.Value = True And Option3.Value = True Then
 Ww = 240
 AC = 3
```

```
ElseIf Option13.Value = True And Option4.Value = True Then
 Ww = 230
 AC = 2.5
ElseIf Option13.Value = True And Option5.Value = True Then
 Wc = 210
 AC = 2
ElseIf Option13.Value = True And Option6.Value = True Then
 Ww = 205
 AC = 1.5
ElseIf Option13.Value = True And Option7.Value = True Then
 Ww = 185
 AC = 1
ElseIf Option13.Value = True And Option8.Value = True Then
 Ww = 180
 AC = 0.5
ElseIf Option13.Value = True And Option9.Value = True Then
 Ww = 170
 AC = 0.3
ElseIf Option13.Value = True And Option10.Value = True Then
 GoTo Nodata:
End If

If Fc > 450 Then
GoTo Nodata:
ElseIf Fc > 400 And Fc <= 450 Then
A = 450
B = 400
C = 0.38
D = 0.43
ElseIf Fc > 350 And Fc <= 400 Then
```

```
A = 400
B = 350
C = 0.43
D = 0.48
ElseIf Fc > 300 And Fc <= 350 Then
A = 350
B = 300
C = 0.48
D = 0.55
ElseIf Fc > 250 And Fc <= 300 Then
A = 300
B = 250
C = 0.55
D = 0.62
ElseIf Fc > 200 And Fc <= 250 Then
A = 250
B = 200
C = 0.62
D = 0.7
ElseIf Fc >= 150 And Fc <= 200 Then
A = 200
B = 150
C = 0.7
D = 0.8
ElseIf Fc < 150 Then
                GoTo Nodata:
End If
GoTo Calculate:
Air:
If Option11.Value = True And Option3.Value = True Then
```

```
Ww = 180
AC = 8
ElseIf Option11.Value = True And Option4.Value = True Then
 Ww = 175
 AC = 7
ElseIf Option11.Value = True And Option5.Value = True Then
 Ww = 165
 AC = 6
ElseIf Option11.Value = True And Option6.Value = True Then
 Ww = 160
 AC = 5
ElseIf Option11.Value = True And Option7.Value = True Then
 Ww = 145
 AC = 4.5
ElseIf Option11.Value = True And Option8.Value = True Then
 Ww = 140
 AC = 4
ElseIf Option11.Value = True And Option9.Value = True Then
 Ww = 135
 AC = 3.5
ElseIf Option11.Value = True And Option10.Value = True Then
 Ww = 120
 AC = 3
ElseIf Option12.Value = True And Option3.Value = True Then
 Ww = 200
 AC = 8
ElseIf Option12.Value = True And Option4.Value = True Then
 Ww = 190
 AC = 7
ElseIf Option12.Value = True And Option5.Value = True Then
```

```
Ww = 180
AC = 6
ElseIf Option12.Value = True And Option6.Value = True Then
Ww = 175
AC = 5
ElseIf Option12.Value = True And Option7.Value = True Then
Ww = 160
AC = 4.5
ElseIf Option12.Value = True And Option8.Value = True Then
Ww = 155
AC = 4
ElseIf Option12.Value = True And Option9.Value = True Then
Ww = 150
AC = 3.5
ElseIf Option12.Value = True And Option10.Value = True Then
Ww = 135
AC = 3
ElseIf Option13.Value = True And Option3.Value = True Then
Ww = 215
AC = 8
ElseIf Option13.Value = True And Option4.Value = True Then
Ww = 205
AC = 7
ElseIf Option13.Value = True And Option5.Value = True Then
Ww = 190
AC = 6
ElseIf Option13.Value = True And Option6.Value = True Then
Ww = 185
AC = 5
ElseIf Option13.Value = True And Option7.Value = True Then
```

```
Ww = 170
AC = 4.5
ElseIf Option13.Value = True And Option8.Value = True Then
Ww = 165
AC = 4
ElseIf Option13.Value = True And Option9.Value = True Then
Ww = 160
AC = 3.5
ElseIf Option13.Value = True And Option10.Value = True Then
        GoTo Nodata:
End If

If Fc > 350 Then
        GoTo Nodata:
ElseIf Fc > 300 And Fc <= 350 Then
A = 350
B = 300
C = 0.4
D = 0.46
ElseIf Fc > 250 And Fc <= 300 Then
A = 300
B = 250
C = 0.46
D = 0.53
ElseIf Fc > 200 And Fc <= 250 Then
A = 250
B = 200
C = 0.53
D = 0.61
ElseIf Fc >= 150 And Fc <= 200 Then
```

```
        A = 200
        B = 150
        C = 0.61
        D = 0.71
        ElseIf Fc < 150 Then
                GoTo Nodata:
        End If
    GoTo Calculate:
Nodata:
    Result1 = "ไม่มีข้อมูล"
    frmResult1.Show
    GoTo TheRock:
VrPerVa:
    VrPerVa = C1 - (((A1 - E) * (C1 - D1)) / (A1 - B1))
    VrPerVa = Format(VrPerVa, "fixed")
    GoTo Label1:
Calculate:
    WPerC = (((C - D) * Fc) - (C * B) + (D * A)) / (A - B)
    WPerC = Format(WPerC, "Fixed")
    Wc = Ww / WPerC
    Wr = VrPerVa * UWr
    Vw = Ww / 1000
    Vc = Wc / (SGc * 1000)
    Vr = Wr / (SGr * 1000)
    Vs = 1 - Vw - Vc - Vr - (AC / 100)
    Ws = Vs * SGs * 1000
    AWr = (1 + Mr / 100) * Wr
    AWs = (1 + Ms / 100) * Ws
    OWr = ((Mr - Ab_r) * Wr) / 100
    OWs = ((Ms - Ab_s) * Ws) / 100
```

```
AWw = Ww - OWr - OWs

    Result1 = "        " _
                & Chr(13) - Chr(10) - "        " _
                & Chr(13) - Chr(10) - "                                    NU Mix V 1.0 " _
                & Chr(13) - Chr(10) - "                                ส่วนผสมคอนกรีตที่ไม่ใส่สารลดน้ำ " _
                & Chr(13) - Chr(10) - "ชื่อโครงการ:      " & Project_name _
                & Chr(13) - Chr(10) - "วิศวกรโครงการ:  " & Engineer _
                & Chr(13) - Chr(10) - "                                    คุณสมบัติของวัสดุ " _
                & Chr(13) - Chr(10) - "ความชื้นหิน          = " & Mr & "    %" _
                & Chr(13) - Chr(10) - "การดูดซึมของหิน    = " & Ab_r & "    %" _
                & Chr(13) - Chr(10) - "ความชื้นทราย        = " & Ms & "    %" _
                & Chr(13) - Chr(10) - "การดูดซึมของทราย  = " & Ab_s & "    %" _
                & Chr(13) - Chr(10) - "ความถ่วงจำเพาะของทราย  = " & SGs _
                & Chr(13) - Chr(10) - "ความถ่วงจำเพาะของหิน    = " & SGr _
                & Chr(13) - Chr(10) - "ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์  = " & Sgc _
                & Chr(13) - Chr(10) - "หน่วยน้ำหนักของหิน        = " & UWr & "  กก. ลบ.ม." _
                & Chr(13) - Chr(10) - "ค่าโมดูลัสความละเอียด    = " & E & "" _
                & Chr(13) - Chr(10) - "fc ที่ 28 วัน          = " & fc & "  กก.ลบ.ซม. " _
                & Chr(13) - Chr(10) - "ค่าการยุบตัว          = " & Slump _
                & Chr(13) - Chr(10) - "                                    คอนกรีต 1 ลบ.ม. " _
                & Chr(13) - Chr(10) - "น้ำ                  = " & AWw & "      กก. " _
                & Chr(13) - Chr(10) - "ซีเมนต์              = " & Wc & "      กก. " _
                & Chr(13) - Chr(10) - "หิน                  = " & AWr & "      กก. " _
                & Chr(13) - Chr(10) - "ทราย                 = " & AWs & "      กก. " _
                & Chr(13) - Chr(10) - "รวมน้ำหนักทั้งหมด  = " & AWw - Wc - AWr - AWs & "    กก." _
                & Chr(13) - Chr(10) - "                                    ปริมาณคอนกรีตที่ต้องการ  " & NetVc & "_
ลบ.ม. " & Chr(13) - Chr(10) - "                น้ำ          = " & AWw * NetVc & "      กก. " & Chr(13) - Chr(10) _
- "                ซีเมนต์      = " & Wc * NetVc & "      กก. " & Chr(13) - Chr(10) - " _
หิน          = " & AWr * NetVc & "      กก. " & Chr(13) - Chr(10) - "                ทราย          = " & AWs * _
NetVc & "      กก. " & Chr(13) - Chr(10) - "                รวมน้ำหนักทั้งหมด  = " & (AWw - Wc - AWr - AWs) * _
NetVc & "    กก."

    OK = True

    frmResult1.Show

TheRock:

End Sub
```

2.รหัสโปรแกรม (Source Code) สำหรับการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตมาตราฐานอเมริกัน(ACI 211.1 - 74)ใส่สารลดน้ำ

```
Option Explicit
    Public Ab_r As Single, Ab_s As Single, AWw As Single, AWr As Single
    Public AWs As Single, E As Single, Fc As Single, Mr As Single
    Public Ms As Single, Rp As Single, S As Single, SGc As Single, SGr As Single
    Public SGs As Single, Vpu As Single, , Vpu As Single
    Public Wa As Single, Wc As Single, Wf As Single, Wr As Single, Ws As Single
    Public Ww As Single, UWr As Single
    Public Result2 As String

Private Sub Command1_Click()
    Dim A As Single, B As Single, C As Single, D As Single
    Dim A1 As Single, B1 As Single, C1 As Single, D1 As Single
    Dim AC As Single, E As Single, OWr As Single, OWs As Single
    Dim Vc As Single, Vr As Single, VrPerVa As Single Vs As Single, Vw As Single
    Dim Wr As Single, Ws As Single, WPerC As Single
        Mr = Val(Text1.Text)
      Ab_r = Val(Text2.Text)
        Ms = Val(Text3.Text)
     Ab_s = Val(Text4.Text)
     SGs = Val(Text5.Text)
      SGr = Val(Text6.Text)
     SGc = Val(Text7.Text)
     UWr = Val(Text8.Text)
       E = Val(Text9.Text)
      Fc = Val(Text10.Text)
      Rp = Val(Text11.Text)
     Vpu = Val(Text12.Text)
```

```
If Option3.Value = True And E = 2.4 And E < 2.6 Then
    A1 = 2.4
    B1 = 2.6
    C1 = 0.5
    D1 = 0.48
ElseIf Option3.Value = True And E >= 2.6 And E < 2.8 Then
    A1 = 2.6
    B1 = 2.8
    C1 = 0.48
    D1 = 0.46
ElseIf Option3.Value = True And E >= 2.8 And E <= 3# Then
    A1 = 2.8
    B1 = 3#
    C1 = 0.46
    D1 = 0.44
ElseIf Option4.Value = True And E >= 2.4 And E < 2.6 Then
    A1 = 2.4
    B1 = 2.6
    C1 = 0.59
    D1 = 0.57
ElseIf Option4.Value = True And E >= 2.6 And E < 2.8 Then
    A1 = 2.6
    B1 = 2.8
    C1 = 0.57
    D1 = 0.55
ElseIf Option4.Value = True And E >= 2.8 And E <= 3# Then
    A1 = 2.8
    B1 = 3#
    C1 = 0.55
    D1 = 0.53
```

```
ElseIf Option5.Value = True And E >= 2.4 And E < 2.6 Then
    A1 = 2.4
    B1 = 2.6
    C1 = 0.66
    D1 = 0.64
ElseIf Option5.Value = True And E >= 2.6 And E < 2.8 Then
    A1 = 2.6
    B1 = 2.8
    C1 = 0.64
    D1 = 0.62
ElseIf Option5.Value = True And E >= 2.8 And E <= 3# Then
    A1 = 2.8
    B1 = 3#
    C1 = 0.62
    D1 = 0.6
ElseIf Option6.Value = True And E >= 2.4 And E < 2.6 Then
    A1 = 2.4
    B1 = 2.6
    C1 = 0.71
    D1 = 0.69
ElseIf Option6.Value = True And E >= 2.6 And E < 2.8 Then
    A1 = 2.6
    B1 = 2.8
    C1 = 0.69
    D1 = 0.67
ElseIf Option6.Value = True And E >= 2.8 And E <= 3# Then
    A1 = 2.8
    B1 = 3#
    C1 = 0.67
    D1 = 0.69
```

```
ElseIf Option7.Value = True And E >= 2.4 And E < 2.6 Then
    A1 = 2.4
    B1 = 2.6
    C1 = 0.76
    D1 = 0.74
ElseIf Option7.Value = True And E >= 2.6 And E < 2.8 Then
    A1 = 2.6
    B1 = 2.8
    C1 = 0.74
    D1 = 0.72
ElseIf Option7.Value = True And E >= 2.8 And E <= 3# Then
    A1 = 2.8
    B1 = 3#
    C1 = 0.72
    D1 = 0.7
ElseIf Option8.Value = True And E >= 2.4 And E < 2.6 Then
    A1 = 2.4
    B1 = 2.6
    C1 = 0.78
    D1 = 0.76
ElseIf Option8.Value = True And E >= 2.6 And E < 2.8 Then
    A1 = 2.6
    B1 = 2.8
    C1 = 0.76
    D1 = 0.74
ElseIf Option8.Value = True And E >= 2.8 And E <= 3# Then
    A1 = 2.8
    B1 = 3#
    C1 = 0.74
    D1 = 0.72
```

```
ElseIf Option9.Value = True And E >= 2.4 And E < 2.6 Then
    A1 = 2.4
    B1 = 2.6
    C1 = 0.81
    D1 = 0.79
ElseIf Option9.Value = True And E >= 2.6 And E < 2.8 Then
    A1 = 2.6
    B1 = 2.8
    C1 = 0.76
    D1 = 0.74
ElseIf Option9.Value = True And E >= 2.8 And E <= 3# Then
    A1 = 2.8
    B1 = 3#
    C1 = 0.77
    D1 = 0.75
ElseIf Option10.Value = True And E >= 2.4 And E < 2.6 Then
    A1 = 2.4
    B1 = 2.6
    C1 = 0.87
    D1 = 0.85
ElseIf Option10.Value = True And E >= 2.6 And E < 2.8 Then
    A1 = 2.6
    B1 = 2.8
    C1 = 0.85
    D1 = 0.83
ElseIf Option10.Value = True And E >= 2.8 And E <= 3# Then
    A1 = 2.8
    B1 = 3#
    C1 = 0.83
    D1 = 0.81
```

```
        End If
GoTo VrPerVa:
Label1:
        If Option1.Value = True Then
          GoTo NoAir:
        Else
          GoTo Air:
        End If
NoAir:
        If Option11.Value = True And Option3.Value = True Then
         Ww = 205
         AC = 3
        ElseIf Option11.Value = True And Option4.Value = True Then
         Ww = 200
         AC = 2.5
        ElseIf Option11.Value = True And Option5.Value = True Then
         Ww = 185
         AC = 2
        ElseIf Option11.Value = True And Option6.Value = True Then
         Ww = 180
         AC = 1.5
        ElseIf Option11.Value = True And Option7.Value = True Then
         Ww = 160
         AC = 1
        ElseIf Option11.Value = True And Option8.Value = True Then
         Ww = 155
         AC = 0.5
        ElseIf Option11.Value = True And Option9.Value = True Then
         Ww = 145
         AC = 0.3
```

```
ElseIf Option11.Value = True And Option10.Value = True Then
 Ww = 125
 AC = 0.2
ElseIf Option12.Value = True And Option3.Value = True Then
 Ww = 225
 AC = 3
ElseIf Option12.Value = True And Option4.Value = True Then
 Ww = 215
 AC = 2.5
ElseIf Option12.Value = True And Option5.Value = True Then
 Ww = 200
 AC = 2
ElseIf Option12.Value = True And Option6.Value = True Then
 Ww = 195
 AC = 1.5
ElseIf Option12.Value = True And Option7.Value = True Then
 Ww = 175
 AC = 1
ElseIf Option12.Value = True And Option8.Value = True Then
 Ww = 170
 AC = 0.5
ElseIf Option12.Value = True And Option9.Value = True Then
 Ww = 160
 AC = 0.3
ElseIf Option12.Value = True And Option10.Value = True Then
 Ww = 140
 AC = 0.2
ElseIf Option13.Value = True And Option3.Value = True Then
 Ww = 240
 AC = 3
```

```
ElseIf Option13.Value = True And Option4.Value = True Then
 Ww = 230
 AC = 2.5
ElseIf Option13.Value = True And Option5.Value = True Then
 Wc = 210
 AC = 2
ElseIf Option13.Value = True And Option6.Value = True Then
 Ww = 205
 AC = 1.5
ElseIf Option13.Value = True And Option7.Value = True Then
 Ww = 185
 AC = 1
ElseIf Option13.Value = True And Option8.Value = True Then
 Ww = 180
 AC = 0.5
ElseIf Option13.Value = True And Option9.Value = True Then
 Ww = 170
 AC = 0.3
ElseIf Option13.Value = True And Option10.Value = True Then
 GoTo Nodata:
End If

If Fc > 450 Then
GoTo Nodata:
ElseIf Fc > 400 And Fc <= 450 Then
A = 450
B = 400
C = 0.38
D = 0.43
ElseIf Fc > 350 And Fc <= 400 Then
```

```
A = 400
B = 350
C = 0.43
D = 0.48
ElseIf Fc > 300 And Fc <= 350 Then
A = 350
B = 300
C = 0.48
D = 0.55
ElseIf Fc > 250 And Fc <= 300 Then
A = 300
B = 250
C = 0.55
D = 0.62
ElseIf Fc > 200 And Fc <= 250 Then
A = 250
B = 200
C = 0.62
D = 0.7
ElseIf Fc >= 150 And Fc <= 200 Then
A = 200
B = 150
C = 0.7
D = 0.8
ElseIf Fc < 150 Then
                GoTo Nodata:
End If
GoTo Calculate:
Air:
If Option11.Value = True And Option3.Value = True Then
```

```
Ww = 180
AC = 8
ElseIf Option11.Value = True And Option4.Value = True Then
 Ww = 175
 AC = 7
ElseIf Option11.Value = True And Option5.Value = True Then
 Ww = 165
 AC = 6
ElseIf Option11.Value = True And Option6.Value = True Then
 Ww = 160
 AC = 5
ElseIf Option11.Value = True And Option7.Value = True Then
 Ww = 145
 AC = 4.5
ElseIf Option11.Value = True And Option8.Value = True Then
 Ww = 140
 AC = 4
ElseIf Option11.Value = True And Option9.Value = True Then
 Ww = 135
 AC = 3.5
ElseIf Option11.Value = True And Option10.Value = True Then
 Ww = 120
 AC = 3
ElseIf Option12.Value = True And Option3.Value = True Then
 Ww = 200
 AC = 8
ElseIf Option12.Value = True And Option4.Value = True Then
 Ww = 190
 AC = 7
ElseIf Option12.Value = True And Option5.Value = True Then
```

```
 Ww = 180
 AC = 6
ElseIf Option12.Value = True And Option6.Value = True Then
 Ww = 175
 AC = 5
ElseIf Option12.Value = True And Option7.Value = True Then
 Ww = 160
 AC = 4.5
ElseIf Option12.Value = True And Option8.Value = True Then
 Ww = 155
 AC = 4
ElseIf Option12.Value = True And Option9.Value = True Then
 Ww = 150
 AC = 3.5
ElseIf Option12.Value = True And Option10.Value = True Then
 Ww = 135
 AC = 3
ElseIf Option13.Value = True And Option3.Value = True Then
 Ww = 215
 AC = 8
ElseIf Option13.Value = True And Option4.Value = True Then
 Ww = 205
 AC = 7
ElseIf Option13.Value = True And Option5.Value = True Then
 Ww = 190
 AC = 6
ElseIf Option13.Value = True And Option6.Value = True Then
 Ww = 185
AC = 5
ElseIf Option13.Value = True And Option7.Value = True Then
```

```
Ww = 170
AC = 4.5
ElseIf Option13.Value = True And Option8.Value = True Then
Ww = 165
AC = 4
ElseIf Option13.Value = True And Option9.Value = True Then
Ww = 160
AC = 3.5
ElseIf Option13.Value = True And Option10.Value = True Then
        GoTo Nodata:
End If

If Fc > 350 Then
        GoTo Nodata:
ElseIf Fc > 300 And Fc <= 350 Then
A = 350
B = 300
C = 0.4
D = 0.46
ElseIf Fc > 250 And Fc <= 300 Then
A = 300
B = 250
C = 0.46
D = 0.53
ElseIf Fc > 200 And Fc <= 250 Then
A = 250
B = 200
C = 0.53
D = 0.61
ElseIf Fc >= 150 And Fc <= 200 Then
```

```
        A = 200
        B = 150
        C = 0.61
        D = 0.71
        ElseIf Fc < 150 Then
                GoTo Nodata:
        End If
    GoTo Calculate:
Nodata:
    Result1 = "ไม่มีข้อมูล"
    frmResult1.Show
    GoTo TheRock:
VrPerVa:
    VrPerVa = C1 - (((A1 - E) * (C1 - D1)) / (A1 - B1))
    VrPerVa = Format(VrPerVa, "fixed")
    GoTo Label1:
Calculate:
    WPerC = (((C - D) * Fc) - (C * B) + (D * A)) / (A - B)
    WPerC = Format(WPerC, "Fixed")
    Wc = Ww (1- Rp *  / 100) / WPerC
    Wr = VrPerVa * UWr
    Vw = Ww (1- Rp * Ww / 100)) / 1000
    Vc = Wc / (SGc * 1000)
    Vr = Wr / (SGr * 1000)
    Vs = 1 - Vw - Vc - Vr - (AC / 100)
    Ws = Vs * SGs * 1000
    AWr = (1 + Mr / 100) * Wr
    AWs = (1 + Ms / 100) * Ws
    OWr = ((Mr - Ab_r) * Wr) / 100
    OWs = ((Ms - Ab_s) * Ws) / 100
```

AWw = Ww (1- (Rp /100)) - OWr – OWs

Vp = Wc * Vpu / 100

Result2 = " " & Chr(13) - Chr(10) - " " & Chr(13) - Chr(10) - " NU Mix V 1.0 _
" & Chr(13) - Chr(10) - " ส่วนผสมคอนกรีตที่ใส่สารลดน้ำ " _
& Chr(13) - Chr(10) - " ชื่อโครงการ: " & Project_name & Chr(13) - Chr(10) - "_
วิศวกรโครงการ: " & Engineer _
& Chr(13) - Chr(10) - " คุณสมบัติวัสดุ " _
& Chr(13) - Chr(10) - " ความชื้นหิน = " & Mr & " % " _
& Chr(13) - Chr(10) - " การดูดซึมของหิน = " & Ab_r & " % " _
& Chr(13) - Chr(10) - " ความชื้นทราย = " & Ms & " % " _
& Chr(13) - Chr(10) - " การดูดซึมของทราย = " & Ab_s & " % " _
& Chr(13) - Chr(10) - " ความถ่วงจำเพาะของทราย = " & SGs _
& Chr(13) - Chr(10) - " ความถ่วงจำเพาะของหิน = " & SGr _
& Chr(13) - Chr(10) - " ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ = " & Sgc _
& Chr(13) - Chr(10) - " หน่วยน้ำหนักของหิน = " & UWr & " กก. ลบ.ม. " _
& Chr(13) - Chr(10) - " ค่าโมดูลัสความละเอียด = " & E & "" _
& Chr(13) - Chr(10) - " น้ำยาสามารถลดน้ำได้ = " & Rp & " % " _
& Chr(13) - Chr(10) - " ปริมาณน้ำยาที่ใช้ = " & Vpu & " ลบ.ซม. 100 กก. ของ ซีเมนต์ " _
& Chr(13) - Chr(10) - " fc ที่ 28 วัน = " & fc & " กก. ตร.ซม." _
& Chr(13) - Chr(10) - " ค่ายุบตัว = " & Slump _
& Chr(13) - Chr(10) - " คอนกรีต 1 ลบ.ม. " _
& Chr(13) - Chr(10) - " น้ำ = " & AWw & " กก." _
& Chr(13) - Chr(10) - " ซีเมนต์ = " & Wc & " กก." _
& Chr(13) - Chr(10) - " หิน = " & AWr & " กก." _
& Chr(13) - Chr(10) - " ทราย = " & AWs & " กก." _
& Chr(13) - Chr(10) - " น้ำยาผสมคอนกรีต = " & Vp & " ซีซี" _
& Chr(13) - Chr(10) - " รวมน้ำหนักทั้งหมด = " & AWw - Wc - AWr - AWs - Vp 1000 & _
กก. ลบ.ม." _
& Chr(13) - Chr(10) - " ปริมาณคอนกรีตที่ต้องการ " & NetVc & " ลบ.ม. " & Chr_
(13) - Chr(10) - " น้ำ = " & AWw * NetVc & " กก. " & Chr(13) - Chr(10) - " _
ซีเมนต์ = " & Wc * NetVc & " กก. " & Chr(13) - Chr(10) - " หิน = " & AWr *_
NetVc & " กก. " _
& Chr(13) - Chr(10) - " ทราย = " & AWs * NetVc & " กก. " & Chr(13) - Chr_
(10) - " น้ำยาผสมคอนกรีต = " & Vp * NetVc & " ซีซี" & Chr(13) - Chr(10) - " _
รวมน้ำหนักทั้งหมด = " & (AWw - Wc - AWr - AWs - Vp 1000) * NetVc & " กก."

OK = True

frmResult2.Show

TheRock:

End Sub

3.รหัสโปรแกรม (Source Code) สำหรับการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตที่เหมาะสำหรับประเทศไทยไม่ใส่สารลดน้ำ

```
Option Explicit
    Public Ab_s As Single, Ab_r As Single, AWr As Single, AWs As Single
    Public AWw As Single, Fc As Single, MA As Single, Mr As Single, Ms As Single
    Public S As Single, SGr As Single, SGs As Single, Wc As Single, SGc As Single
    Public Result3 As String

Private Sub Command1_Click()
    Dim Fc_d As Single, OWr As Single, OWs As Single, Vc As Single, Vcs As Single
    Dim Vr As Single, Vs As Single, Wa As Single, WPerC As Single, Wr As Single
    Dim Ws As Single, Ww As Single
    Fc = Val(Text1.Text)
    MA = Val(Text2.Text)
    Mr = Val(Text3.Text)
    Ab_r = Val(Text4.Text)
    Ms = Val(Text5.Text)
    Ab_s = Val(Text6.Text)
    SGr = Val(Text7.Text)
    SGs = Val(Text8.Text)
    SGc = Val(Text9.Text)
    If Option1.Value = True And Option4.Value = True Then
        Ww = 180
    ElseIf Option1.Value = True And Option5.Value = True Then
        Ww = 190
    ElseIf Option2.Value = True And Option4.Value = True Then
        Ww = 190
    ElseIf Option2.Value = True And Option5.Value = True Then
        Ww = 200
```

```
    ElseIf Option3.Value = True And Option4.Value = True Then
        Ww = 200
    ElseIf Option3.Value = True And Option5.Value = True Then
        Ww = 210
    End If
    If Option4.Value = True Then
        Vcs = 380
    ElseIf Option5.Value = True Then
        Vcs = 400
    End If
    Fc_d = Fc + MA
    WPerC = 0.000000000036674 * (Fc_d) ^ 4 - 0.00000005056 * (Fc_d) ^ 3 +
    0.000027048 * (Fc_d) ^ 2 - 0.007949 * (Fc_d) + 1.63307336
Wc = Ww / WPerC
Vc = Wc / SGc
Vs = Vcs - Vc
Ws = Vs * SGs
Vr = 1000 - Vc - Ww - Vs
Wr = Vr * SGr
    If Ms = 0 Then
    OWs = 0
    Else
    OWs = (Ms - Ab_s) * Ws / 100
    End If
    If Mr = 0 Then
    OWr = 0
    Else
    OWr = (Mr - Ab_r) * Wr / 100
    End If
    AWs = Ws + OWs
```

```
AWr = Wr + OWr

AWw = Ww - OWs - OWr

Result3 = "" & Chr(13) - Chr(10) - "  " & Chr(13) - Chr(10) - "                                    NU Mix V 1.0 _"
    & Chr(13) - Chr(10) - "                                    ส่วนผสมคอนกรีตที่ไม่ใส่สารลดน้ำ " _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                                ชื่อโครงการ:      " & Project_name _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                                วิศวกรโครงการ:  " & Engineer _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                                            คุณสมบัติวัสดุ " _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                                ความชื้นหิน       =  " & Mr & "     % " _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                                การดูดซึมของหิน  =  " & Ab_r & "     % " _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                                ความชื้นทราย      =  " & Ms & "     % " _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                                การดูดซึมของทราย=  " & Ab_s & "     % " _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                                ความถ่วงจำเพาะของทราย    =  " & SGs _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                                ความถ่วงจำเพาะของหิน      =  " & SGr _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                                ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์  =  " & Sgc _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                                fc ที่ 28 วัน   =  " & fc & "     กก.ตร.ซม." _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                                Margin(ส่วนเผื่อ)       =  " & MA & "     กก. ลบ.ซม. " _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                                ค่าการยุบตัว   =  " & Slump _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                                            คอนกรีต 1  ลบ.ม. " _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                                น้ำ       =  " & AWw & "     กก." _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                                ซีเมนต์   =  " & Wc & "     กก." _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                                หิน       =  " & AWr & "     กก." _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                                ทราย      =  " & AWs & "     กก." _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                                รวมน้ำหนักทั้งหมด  =  " & AWw - Wc - AWr - AWs & "     กก. ลบ.ม" & Chr _
(13) - Chr(10) - "                                ปริมาณคอนกรีตที่ต้องการ  " & NetVc & "     ลบ.ม." & Chr(13) - Chr(10) - " _
น้ำ       =  " & AWw * NetVc & "     กก." & Chr(13) - Chr(10) - "                                ซีเมนต์   =  " & Wc * NetVc & "     กก." _
& Chr(13) - Chr(10) - "                                หิน       =  " & AWr * NetVc & "     กก." & Chr(13) - Chr(10) - " _
ทราย      =  " & AWs * NetVc & "     กก." & Chr(13) - Chr(10) - "                                รวมน้ำหนักทั้งหมด  =  " & (AWw - Wc - _
AWr - AWs) * NetVc & "     กก."

    OK = True

    frmResult3.Show

End Sub
```

4. รหัสโปรแกรม (Source Code) สำหรับการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตที่เหมาะสำหรับประเทศไทยใส่สารลดน้ำ

```
Option Explicit
    Public Ab_s As Single, Ab_r As Single, AWr As Single, AWs As Single
    Public AWw As Single, Fc As Single, MA As Single, Mr As Single, Ms As Single
    Public  Rp As Single, S As Single, SGr As Single, SGs As Single, Wc As Single
    Public SGc As Single, Vp As Single , Vpu As Single
    Public Result4 As String
Private Sub Command1_Click()
    Dim Fc_d As Single, OWr As Single, OWs  As Single, Vc As Single, Vcs As Single
    Dim Vr As Single, Vs As Single, Wa As Single, WPerC As Single, Wr As Single
    Dim Ws As Single, Ww As Single
    Fc = Val(Text1.Text)
    MA = Val(Text2.Text)
    Mr = Val(Text3.Text)
    Ab_r = Val(Text4.Text)
    Ms = Val(Text5.Text)
    Ab_s = Val(Text6.Text)
    SGr = Val(Text7.Text)
    SGs = Val(Text8.Text)
    SGc = Val(Text9.Text)
    Rp = Val(Text10.Text)
    Vpu = Val(Text11.Text)
    If Option1.Value = True And Option4.Value = True Then
        Ww = 180
    ElseIf Option1.Value = True And Option5.Value = True Then
        Ww = 190
    ElseIf Option2.Value = True And Option4.Value = True Then
        Ww = 190
```

```
    ElseIf Option2.Value = True And Option5.Value = True Then
        Ww = 200
    ElseIf Option3.Value = True And Option4.Value = True Then
        Ww = 200
    ElseIf Option3.Value = True And Option5.Value = True Then
        Ww = 210
    End If
    If Option4.Value = True Then
        Vcs = 380
    ElseIf Option5.Value = True Then
        Vcs = 400
    End If
    Fc_d = Fc + MA
    WPerC = 0.000000000036674 * (Fc_d) ^ 4 - 0.00000005056 * (Fc_d) ^ 3 +
    0.000027048 * (Fc_d) ^ 2 - 0.007949 * (Fc_d) + 1.63307336
Wc = Ww * (1 – Rp/100) / WPerC
Vc = Wc / SGc
Vs = Vcs - Vc
Ws = Vs * SGs
Vr = 1000 - Vc - Ww - Vs
Wr = Vr * SGr
    If Ms = 0 Then
    OWs = 0
    Else
    OWs = (Ms - Ab_s) * Ws / 100
    End If
    If Mr = 0 Then
    OWr = 0
    Else
    OWr = (Mr - Ab_r) * Wr / 100
```

```
End If
AWs = Ws + OWs
AWr = Wr + OWr
AWw = Ww * (1 – Rp/100) - OWs – OWr
Vp = Wc * Vpu / 100
Result4 = " " & Chr(13) - Chr(10) - "  " & Chr(13) – Chr(10) – "                                    NU Mix V 1.0 " _
& Chr(13) - Chr(10) - "                                    ส่วนผสมคอนกรีตที่ใส่สารลดน้ำ " _
& Chr(13) – Chr(10) – "                                    ชื่อโครงการ:      " & Project_name _
& Chr(13) – Chr(10) – "                                    วิศวกรโครงการ:  " & Engineer _
& Chr(13) – Chr(10) – "                                    คุณสมบัติวัสดุ " _
& Chr(13) - Chr(10) - "                                    ความชื้นหิน       =  " & Mr & "     % " _
& Chr(13) - Chr(10) - "                                    การดูดซึมของหิน  =  " & Ab_r & "     % " _
& Chr(13) – Chr(10) – "                                    ความชื้นทราย     =  " & Ms & "     % " _
& Chr(13) – Chr(10) – "                                    การดูดซึมของทราย=  " & Ab_s & "     % " _
& Chr(13) – Chr(10) – "                                    ความถ่วงจำเพาะของทราย    =  " & SGs _
& Chr(13) - Chr(10) - "                                    ความถ่วงจำเพาะของหิน      =  " & SGr _
& Chr(13) – Chr(10) – "                                    ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ =  " & Sgc _
& Chr(13) – Chr(10) – "                                    น้ำยาสามารถลดน้ำได้      =  " & Rp & "     % " _
& Chr(13) – Chr(10) – "                                    ปริมาณน้ำยาที่ใช้          =  " & Vpu & "    ลบ.ซม.  100 กก. ของ ซีเมนต์ " _
& Chr(13) – Chr(10) – "                                    fc ที่ 28 วัน   =  " & fc & "     กก.ตร.ซม." _
& Chr(13) – Chr(10) – "                                    Margin(ส่วนเผื่อ)       =  " & MA & "     กก. ลบ.ซม. " _
& Chr(13) – Chr(10) – "                                    ค่าการยุบตัว   =  " & Slump _
& Chr(13) – Chr(10) – "                                    คอนกรีต 1 ลบ.ม.  " _
& Chr(13) – Chr(10) – "                                    น้ำ        =  " & AWw & "  กก." _
& Chr(13) – Chr(10) – "                                    ซีเมนต์    =  " & Wc & "  กก." _
& Chr(13) – Chr(10) – "                                    หิน        =  " & AWr & "  กก." _
& Chr(13) – Chr(10) – "                                    ทราย       =  " & AWs & "  กก." _
& Chr(13) - Chr(10) - "                                    น้ำยาผสมคอนกรีต  =  " & Vp & "    ซีซี " _
& Chr(13) - Chr(10) - "                                    รวมน้ำหนักทั้งหมด  =  " & AWw - Wc - AWr - AWs – Vp  1000 & "    กก. ลบ.ม" _
& Chr(13) – Chr(10) – "                                    ปริมาณคอนกรีตที่ต้องการ  " & NetVc & " ลบ.ม. " & Chr(13) – Chr_
(10) - "                                    น้ำ          =  " & AWw * NetVc & "     กก. " & Chr(13) - Chr(10) – "_
ซีเมนต์          =  " & Wc * NetVc & "     กก. " & Chr(13) – Chr(10) - "                    หิน          =  " & AWr * _
NetVc & "     กก. " & Chr(13) – Chr(10) – "                    ทราย          =  " & AWs * NetVc & Chr(13) – Chr(10) - "_
น้ำยาผสมคอนกรีต  =  " & Vp * NetVc & "     ซีซี" & Chr(13) – Chr(10) - "                    รวมน้ำหนักทั้งหมด  =  " &_
(AWw – Wc – AWr - AWs - Vp  1000) * NetVc & "     กก."
OK = True
    frmResult4.Show
End Sub
```

5. รหัสโปรแกรม (Source Code) สำหรับการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตผสมเถ้าลอยส่วนคำนวณกำลังอัด

```
Option Explicit
    Public Ab_r As Single, Ab_s As Single,  AC As Single, AWr As Single, AWs As Single
    Public AWw As Single, CaO_c As Single, CaO_f As Single, Fc As Single
    Public g As Single, Mr As Single, Ms As Single, r As Single, SGc As Single
    Public SGf As Single, SGs  As Single, SGr As Single, SPerA As Single, , v As Single,
    Public Vp As Single, Wc As Single, Ws As Single, Ww As Single, Wa As Single
    Public Wf As Single, Wr As Single
    Public Result5 As String

Private Sub Command1_Click()
    Dim CaO_eq As Single, OWr As Single, OWs As Single, WPerB As Single
    Dim Va As Single, Vs As Single, Vr As Single, V_p As Single
    Dim F1 As Single, F2 As Single, F3 As Single, F4 As Single
    Dim F5 As Single, F6 As Single, F7 As Single, F8 As Single
    Dim F9 As Single, F10 As Single, F11 As Single, Z1 As Single
    Dim Z2 As Single

     Fc = Val(Text1.Text)
    CaO_c = Val(Text2.Text)
    CaO_f = Val(Text3.Text)
    SGc = Val(Text4.Text)
    SGf = Val(Text5.Text)
    SGs = Val(Text6.Text)
    SGr = Val(Text7.Text)
    Ms = Val(Text8.Text)
    Mr = Val(Text9.Text)
    Ab_s = Val(Text10.Text)
```

```
Ab_r = Val(Text17.Text)
r = Val(Text11.Text)
AC = Val(Text13.Text)
SPerA = Val(Text14.Text)
v = Val(Text15.Text)
g = Val(Text16.Text)
    CaO_eq = (CaO_c * (1 - r)) + CaO_f * r
    F1 = -0.1469214 * (CaO_eq) ^ 2 + 20.5211857 * (CaO_eq) - 143.6871
    F2 = -0.1424553 * (CaO_eq) ^ 2 + 21.424925 * (CaO_eq) - 257.50671
    F3 = -0.0714278 * (CaO_eq) ^ 2 + 14.25949 * (CaO_eq) - 148.16851
    F4 = -0.0405848 * (CaO_eq) ^ 2 + 10.9253053 * (CaO_eq) - 114.280307
    F5 = -0.0326114 * (CaO_eq) ^ 2 + 9.91640285 * (CaO_eq) - 135.90548
    F6 = -0.0230506 * (CaO_eq) ^ 2 + 8.55816053 * (CaO_eq) - 134.11519
    F7 = -0.0194094 * (CaO_eq) ^ 2 + 7.99523464 * (CaO_eq) - 144.5317
    F8 = -0.0186364 * (CaO_eq) ^ 2 + 7.42889285 * (CaO_eq) - 149.82268
    F9 = -0.0174571 * (CaO_eq) ^ 2 + 6.93611428 * (CaO_eq) - 153.91542
    F10 = -0.0186357 * (CaO_eq) ^ 2 + 6.73309142 * (CaO_eq) - 162.85974
    F11 = -0.020199 * (CaO_eq) ^ 2 + 6.56329414 * (CaO_eq) - 169.71408
      If Fc > F1 Then
       GoTo Nodata:
      ElseIf Fc <= F1 And Fc > F2 Then
         Z1 = 0.3
         Z2 = 0.35
         WPerB = Z1 - (Z1 - Z2) * (F1 - Fc) / (F1 - F2)
      ElseIf Fc <= F2 And Fc > F3 Then
         Z1 = 0.35
         Z2 = 0.4
          WPerB = Z1 - (Z1 - Z2) * (F2 - Fc) / (F2 - F3)
      ElseIf Fc <= F3 And Fc > F4 Then
         Z1 = 0.4
```

```
    Z2 = 0.45
    WPerB = Z1 - (Z1 - Z2) * (F3 - Fc) / (F3 - F4)
ElseIf Fc <= F4 And Fc > F5 Then
    Z1 = 0.45
    Z2 = 0.5
    WPerB = Z1 - (Z1 - Z2) * (F4 - Fc) / (F4 - F5)
ElseIf Fc <= F5 And Fc > F6 Then
    Z1 = 0.5
    Z2 = 0.55
    WPerB = Z1 - (Z1 - Z2) * (F5 - Fc) / (F5 - F6)
ElseIf Fc <= F6 And Fc > F7 Then
    Z1 = 0.55
    Z2 = 0.6
    WPerB = Z1 - (Z1 - Z2) * (F6 - Fc) / (F6 - F7)
ElseIf Fc <= F7 And Fc > F8 Then
    Z1 = 0.6
    Z2 = 0.65
    WPerB = Z1 - (Z1 - Z2) * (F7 - Fc) / (F7 - F8)
ElseIf Fc <= F8 And Fc > F9 Then
    Z1 = 0.65
    Z2 = 0.7
    WPerB = Z1 - (Z1 - Z2) * (F8 - Fc) / (F8 - F9)
ElseIf Fc <= F9 And Fc > F10 Then
    Z1 = 0.7
    Z2 = 0.75
    WPerB = Z1 - (Z1 - Z2) * (F9 - Fc) / (F9 - F10)
ElseIf Fc <= F10 And Fc >= F11 Then
    Z1 = 0.75
    Z2 = 0.8
    WPerB = Z1 - (Z1 - Z2) * (F10 - Fc) / (F10 - F11)
```

```
        Else
          GoTo Nodata:
        End If
    V_p = g * v * 1000
    Ww = (V_p - AC * 10) / (1 + ((1 - r) / (WPerB * SGc)) + ((r / (WPerB * SGf))))
    Wc = ((1 - r) * Ww / WPerB)
    Wf = r * Ww / WPerB
    Va = 1000 - V_p
    Vs = Va * SPerA
    Vr = Va - Vs
    Ws = Vs * SGs
    Wr = Vr * SGr
    OWs = Ws * (Ms - Ab_s) / 100
    OWr = Wr * (Mr - Ab_s) / 100
    AWs = Ws + OWs
    AWr = Wr + OWr
    AWw = Ww - OWs - OWr

Result5 = "" & Chr(13) - Chr(10) - "  " & Chr(13) - Chr(10) - "                                                    NU Mix V 1.0 " _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                                    ส่วนผสมคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอย " _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                                ชื่อโครงการ:     " & Project_name _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                                วิศวกรโครงการ:  " & Engineer _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                                                    คุณสมบัติวัสดุ " _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                                f'c ที่ 28 วัน  =  " & fc & "  กก.ตร.ซม." & Chr(13) - Chr(10) - "_
แคลเซี่ยมออกไซด์ในปูนซีเมนต์ =  " & Cao_c & "  %" _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                                แคลเซี่ยมออกไซด์ในเถ้าลอย  =  " & Cao_f & "  %" & Chr(13) - Chr(10) - _
"                    ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ =  " & Sgc & "" _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                                ความถ่วงจำเพาะของเถ้าลอย =  " & SGf & Chr(13) - Chr(10) - "_
ความถ่วงจำเพาะของทราย =  " & SGs & "" _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                                ความถ่วงจำเพาะของหิน =  " & SGr & Chr(13) - Chr(10) - " _
ความชื้นทราย =  " & Ms & "  %" _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                                ความชื้นหิน  =  " & Mr & "  % " & Chr(13) - Chr(10) - " _
การดูดซึมของทราย =  " & Ab_s & "  % " _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                                การดูดซึมหิน  =  " & Ab_r & "  % " & Chr(13) - Chr(10) - " _
อัตราส่วนเถ้าลอยต่อวัสดุประสาน =  " & r _
```

```
& Chr(13) - Chr(10) - "                    ค่าปริมาณอากาศ (ร้อยละโดยปริมาตร) =   " & AC & Chr(13) - Chr(10) - " _
อัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมด =   " & SPerA _
& Chr(13) - Chr(10) - "                    อัตราส่วนช่องว่างระหว่างมวลรวมที่อัดแน่น =   " & v & Chr(13) - Chr(10) - _
"                    อัตราส่วนปริมาตรเพสต์ต่อปริมาตรระหว่างช่องว่างมวลรวมที่อัดแน่น =   " & g _
& Chr(13) - Chr(10) - "                    คอนกรีต 1 ลบ.ม. " _
& Chr(13) - Chr(10) - "                    น้ำ      = " & AWw & "    กก." & Chr(13) - Chr(10) - " _
ซีเมนต์    = " & Wc & "    กก." _
& Chr(13) - Chr(10) - "                    หิน      = " & AWr & "    กก." & Chr(13) - Chr(10) - " _
ทราย      = " & AWs & "    กก." _
& Chr(13) - Chr(10) - "                    เถ้าลอย    = " & Wf & "    กก." & Chr(13) - Chr(10) - " _
รวมน้ำหนักทั้งหมด  = " & AWw - Wc - AWr - AWs - Wf & "    กก. ลบ.ม" _
& Chr(13) - Chr(10) - "                    คอนกรีต  " & NetVc & "    ลบ.ม. " _
& Chr(13) - Chr(10) - "                    น้ำ      = " & AWw * NetVc & "    กก." & Chr(13) - Chr(10) - " _
ซีเมนต์    = " & Wc * NetVc & "    กก." _
& Chr(13) - Chr(10) - "                    หิน      = " & AWr * NetVc & "    กก." & Chr(13) - Chr(10) - "_
ทราย      = " & AWs * NetVc & "    กก." _
& Chr(13) - Chr(10) - "                    เถ้าลอย    = " & Wf * NetVc & "    กก." & Chr(13) - Chr(10) - " _
รวมน้ำหนักทั้งหมด  = " & (AWw - Wc - AWr - AWs - Wf) * NetVc & "    กก. ลบ.ม"

        OK = True

        frmResult5.Show

    GoTo OK:

Nodata:

    Result5 = "Nodata"

OK:

End Sub
```

6. รหัสโปรแกรม (Source Code) สำหรับการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตผสมเถ้าลอยส่วนทำนายค่ายุบตัว

```
Option Explicit
    Public AWr As Single, AWs As Single, Bc As Single, Bf As Single, Fc As Single
    Public S As Single, Sc As Single, Sf As Single, SFg As Single, SFs As Single
    Public SGr As Single, SGs  As Single, Vp As Single, Wa As Single, Wc As Single,
    Public Wf As Single, Wr As Single, Ws As Single, Ww As Single
    Public Result6 As String

Private Sub Command1_Click()
    Dim Bs As Single, Dav_g As Single, Dav_s As Single, g As Single, n As Single
    Dim Sagg As Single Seff As Single, SGr As Single, SGs As Single, Sg As Single
    Dim Spow As Single, Ss As Single, Sog As Single, Sos As Single, W As Single
    Dim Wfr As Single
    Dim M1 As Single, M2 As Single, M3 As Single
    Dim M4 As Single, M5 As Single, M6 As Single, M7 As Single, M8 As Single
    Dim M9 As Single, M10 As Single, M11 As Single, M12 As Single, M13 As Single
    Dim M14 As Single, M15 As Single, M16 As Single, M17 As Single, M18 As Single
    Dim M19 As Single, M20 As Single, M21 As Single, Wo As Single

    Sc = Val(Text1.Text)
    Sf = Val(Text2.Text)
    M1 = Val(Text3.Text)
    M2 = Val(Text4.Text)
    M3 = Val(Text5.Text)
    M4 = Val(Text6.Text)
    M5 = Val(Text7.Text)
    M6 = Val(Text8.Text)
    M7 = Val(Text9.Text)
```

```
M8 = Val(Text10.Text)
M9 = Val(Text11.Text)
M10 = Val(Text12.Text)
M11 = Val(Text13.Text)
M12 = Val(Text14.Text)
M13 = Val(Text15.Text)
M14 = Val(Text16.Text)
M15 = Val(Text17.Text)
M16 = Val(Text18.Text)
M17 = Val(Text19.Text)
M18 = Val(Text20.Text)
M19 = Val(Text21.Text)
M20 = Val(Text22.Text)
M21 = Val(Text23.Text)
SFs = Val(Text24.Text)
SFg = Val(Text25.Text)
Bc = Val(Text26.Text)
Bf = Val(Text27.Text)
Ww = FormA3A.Ww
Wc = FormA3A.Wc
Wf = FormA3A.Wf
Ws = FormA3A.Ws
Wr = FormA3A.Wr
 g = FormA3A.g
SGs = FormA3A.SGs
SGr = FormA3A.SGr
    Dav_s = (1.1 * M1 + 0.7125 * M2 + 0.3555 * M3 + 0.177 * M4 + 0.089 * M5 +
0.045 * M6 + 0.0225 * M7 + 0.01125 * M8) / 100
    Sos = 6000 / (Dav_s * SGs)
    Ss = SFs * Sos
```

```
Dav_g = (10.8 * M9 + 9.5 * M10 + 8.25 * M11 + 6.9 * M12 + 5.65 * M13 + 4.405 *
M14 + 3.155 * M15 + 2.2 * M16 + 1.575 * M17 + 1.425 * M18 + 0.7125 * M19 +
0.3555 * M20 + 0.3555 * M21) / 100
Sog = 6000 / (Dav_g * SGr)
Sg = SFg * Sog
Bs = -9.002E-13 * Ss ^ 2 + 0.0000009097 * Ss + 0.00072908
Wfr = Ww - (Bc * Wc + Bf * Wf + Bs * Ws)
Sagg = Ss * Ws + Sg * Wr
Spow = Sc * Wc * 1000 + Sf * Wf * 1000
n = 0.02543022 * 2.718281828 ^ ((-0.00000002968556) * Sagg)
Seff = Sagg + n * Spow
Wo = -4.371206E-15 * Seff ^ 2 + 0.00000131446618 * Seff + 4.67221804
W = Wfr - Wo
If g = 1.6 Then
S = 17 * W / 50
ElseIf g = 1.55 Then
S = 21 * W / 25
ElseIf g = 1.5 Then
S = 6 * W / 20
ElseIf g = 1.45 Then
S = 3 * W / 11
ElseIf g = 1.4 Then
S = 6 * W / 25
ElseIf g = 1.35 Then
S = W / 5
ElseIf g = 1.3 Then
S = W / 6
ElseIf g = 1.25 Then
S = 8 * W / 65
ElseIf g = 1.2 Then
```

```
S = 3 * W / 35
ElseIf g = 1.15 Then
S = W / 20
ElseIf g = 1.1 Then
S = W / 50
ElseIf g = 1.55 Then
S = 21 * W / 25
ElseIf g = 1.55 Then
S = 21 * W / 25
End If

Result6 = " " & Chr(13) - Chr(10) - " " & Chr(13) - Chr(10) - "                                    NU Mix V 1.0 " & Chr(13) - Chr_
(10) - "
                                                ค่าการยุบตัว " _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                     ชื่อโครงการ:      " & Project_name & Chr(13) - Chr(10) - " _
วิศวกรโครงการ:  " & Engineer _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                                         กุมสมบัติวิเศษ " _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                     พื้นที่ผิวจำเพาะของปูนซีเมนต์  = " & Se & "   ตร.ซม. ต." & Chr(13) - Chr(10) - " _
พื้นที่ผิวจำเพาะของเถ้าลอย  = " & Sf & "   ตร.ซม. ต." _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                     สัมประสิทธิ์รูปร่างมวลของทราย  = " & SFs & Chr(13) - Chr(10) - " _
สัมประสิทธิ์รูปร่างของหิน  = " & SFg _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                     ค่าความสามารถในการกักเก็บน้ำของปูนซีเมนต์  = " & Bc & Chr(13) - Chr(10) - " _
ค่าความสามารถในการกักเก็บน้ำของเถ้าลอย  = " & Bf _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                     fc ที่ 28 วัน  =  " & fc & "   กก./ตร.ซม." & Chr(13) - Chr(10) - " _
แคลเซี่ยมออกไซด์ในปูนซีเมนต์ =  " & Cao_c & "  %" _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                     แคลเซี่ยมออกไซด์ในเถ้าลอย  =  " & Cao_f & "  %" & Chr(13) - Chr(10) - " _
ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ =  " & Sgc & "" _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                     ความถ่วงจำเพาะของเถ้าลอย  =  " & SGf & Chr(13) - Chr(10) - " _
ความถ่วงจำเพาะของทราย  =  " & SGs & "" _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                     ความถ่วงจำเพาะของหิน  =  " & SGr & Chr(13) - Chr(10) - " _
ความชื้นทราย  =  " & Ms & "  %" _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                     ความชื้นหิน  =  " & Mr & "  %" & Chr(13) - Chr(10) - " _
การดูดซึมของทราย  =  " & Ab_s & "  %" _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                     การดูดซึมหิน  =  " & Ab_r & "  %" & Chr(13) - Chr(10) - " _
อัตราส่วนเถ้าลอยต่อวัสดุประสาน  =  " & r _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                     ค่าปริมาณอากาศเรื่อยละ โดยปริมาตร  =  " & AC & Chr(13) - Chr(10) - " _
อัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมด  =  " & SPerA _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                     อัตราส่วนช่องว่างระหว่างมวลรวมที่อัดแน่น  =  " & v & Chr(13) - Chr(10) - " _
อัตราส่วนปริมาตรเพสต์ต่อปริมาตรระหว่างช่องว่างมวลรวมที่อัดแน่น  =  " & g _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                                         คอนกรีต 1 ลบ.ม. " _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                     น้ำ       = " & AWw & "   กก." & Chr(13) - Chr(10) - " _
ซีเมนต์   = " & Wc & "   กก." _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                     หิน       = " & AWr & "   กก." & Chr(13) - Chr(10) - " _
ทราย   = " & AWs & "   กก." _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                     เถ้าลอย   = " & Wf & "   กก." & Chr(13) - Chr(10) - " _
รวมน้ำหนักทั้งหมด  = " & AWw - Wc - AWr - AWs - Wf & "   กก. ลบ.ม." _
    & Chr(13) - Chr(10) - "                                         คอนกรีต " & NetVc & "   ลบ.ม. " _
```

```
    & Chr(13) + Chr(10) + "                น้ำ      = " & AWw * NetVe & "    กก." & Chr(13) + Chr(10) + " _
ซีเมนต์    = " & Wc * NetVe & "    กก." _
    & Chr(13) + Chr(10) + "                หิน      = " & AWr * NetVe & "    กก." & Chr(13) + Chr(10) + " _
ทราย    = " & AWs * NetVe & "    กก." _
    & Chr(13) + Chr(10) + "                ผ้าใยสุ  = " & Wf * NetVe & "    กก." & Chr(13) + Chr(10) + " _
รวมน้ำหนักทั้งหมด  = " & (AWw + Wc + AWr + AWs + Wf) * NetVe & "    กก. ลบ.ม." _
    & Chr(13) + Chr(10) + "" & Chr(13) + Chr(10) + "                ค่าการยุบตัว    = " & S & "  ซม."

OK = True

    frmResult6.Show

End Sub
```