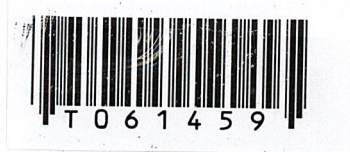


สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาฐานข้อมูลเพื่อการพยากรณ์ค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต
ทรงกระบอกโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

DATABASE DEVELOPMENT FOR PREDICTING CYLINDICAL
COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE BY NEURAL NETWORKS



โดย

นายชูเกียรติ คุประทุมศิริ

นายธัญญะ สุยะวา

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... **61459**
วัน,เดือน,ปี 17 ..ค.ศ. 2549

b.....
i.....

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

DATABASE DEVELOPMENT FOR PREDICTING CYLINDICAL
COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE BY NEURAL NETWORKS

MR.CHOOKRAIT KOOPRATHUMSIRI

MR.TUNYA SUYAWA

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT 'S INSTITUTR OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2003

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ


หัวข้อโครงการพิเศษ การพัฒนาระบบฐานข้อมูล เพื่อการพยากรณ์ค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต
ทรงกระบอกโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

นักศึกษา นายรุเกียรติ คูประทุมศิริ รหัสประจำตัว 43010618
 นายธัญญะ สุยะวา รหัสประจำตัว 43010654

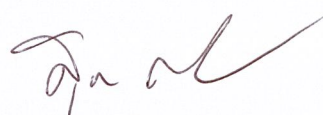
หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์แหลมทอง เหล่าคงถาวร

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
อาจารย์ สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์	
อาจารย์ ทรงกลด แซ่อึ้ง	
อาจารย์ เกษม อมันตกุล	
อาจารย์ อุบะ ศิริแก้ว	
อาจารย์ ถนอม ศรีวราชา	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว


(นายสุพจน์ ศรีนิล)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ _____ เดือน _____ พ.ศ. _____

หัวข้อโครงการพิเศษ	การพัฒนาระบบฐานข้อมูลเพื่อการพยากรณ์ค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม DATABASE DEVELOPMENT FOR PREDICTING CYLINDRICAL COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE BY NEURAL NETWORKS
นักศึกษา	นายชูเกียรติ กูประทุมศิริ นายธัญญะ สุขะวา
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ.แหลมทอง เหล่าคงถาวร ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2546

บทคัดย่อ

ซึ่งในปฏิญานิพนธ์นี้ได้้นำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการพยากรณ์ค่าความสามารถการต้านทานแรงอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาด 0.15×0.30 m. ที่ได้รับการทดสอบในเวลา 3 วัน 7 วันและ 28 วัน โดยใช้ข้อมูลส่วนผสมคอนกรีตและผลการทดสอบวัสดุจากโครงการก่อสร้างสนามบินสุวรรณภูมิ ทั้งนี้ได้วิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีตพร้อมทั้งจัดทำเป็นฐานข้อมูลหลักมีจำนวนข้อมูลมากกว่า 4877 ข้อมูล และยังคงกล่าวถึงความรู้ทั่วไปของระบบการจัดการข้อมูลสารสนเทศ, การจัดการข้อมูลและฐานข้อมูล โดยระบบโครงข่ายประสาทเทียมทำการเรียนรู้ข้อมูลจากฐานข้อมูลหลักโดยใช้โปรแกรมแมทแล็บ (Matlab) ในส่วนของโครงข่ายประสาทเทียม(Neural Network) เป็นส่วนสำคัญในการทำงาน นอกจากนี้ได้มีการอธิบายโครงสร้างของระบบโครงข่ายประสาทเทียม การเรียนรู้ การหาจำนวนชั้นและหน่วยแฝงที่เหมาะสมกับชุดข้อมูลที่มีอยู่

ผลการทำนายโดยใช้ระบบประสาทเทียมได้ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์เท่ากับ 39.053 ขณะที่ผลการทำนายด้วยทฤษฎีของ Abram และ Schiller ได้ผลคือ 44.364 และ 43.681 ตามลำดับ

Title : DATABASE DEVELOPMENT FOR PREDICTING CYLINDRICAL
COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE BY NEURAL
NETWORKS

Name : MR.CHOOKRAIT KOOPRATHUMSIRI
MR.TUNYA SUYAWA

Field : CIVIL ENGINEERING

Department : CIVIL ENGINEERING

Faculty : ENGINEERING

Advisor : MR.LEAMTHONG LAOKHONGTHAVORN
Dr.SUCHATVEE SUWANSAWAT

ABSTRACT

Ability of artificial neural network is ability to create relationships between causes and consequences of data. Thus we can apply created relationships to predict consequences of the data. This is alternative method to solve problems, civil engineering.

This thesis apply artificial neural network to predict cylindrical compressive strength. This thesis use mix proportion , property of aggregate property of fresh concrete and compressive strength from Suvanabhumi airport project which contain 4877 record. Furthermore architecture of the artificial neural network and method to develop are included.

Standard error of estimate result form estimating by artificial neural network is equal to 39.053 and by Abram's and Schiller's theory are 44.364 and 43.681 respectively.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จได้ด้วยดีด้วยต้องกราบขอบพระคุณ อาจารย์แหลมทอง เหล่าคงถาวรอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษนี้ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและเสนอแนะแนวทางในการทำงานที่ถูกต้องรวมถึงกำลังใจในการทำงานยามที่เหนื่อยล้า กราบขอบพระคุณ ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์ ที่ให้คำปรึกษาที่สำคัญเกี่ยวกับระบบโครงข่ายประสาทเทียม และการพัฒนาระบบและส่วนอื่นๆ โดยตลอดช่วงเวลาที่ได้ทำโครงการพิเศษนี้นักศึกษาผู้จัดทำได้รับการดูแลคำแนะนำ และการสั่งสอนสิ่งต่างๆมากมายนอกเหนือจากการเรียนในห้องเรียน นับตั้งแต่ในการปรึกษาหัวข้อโครงการ การเริ่มทำงาน จนเสร็จสิ้นการทำงาน และกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ด้านการศึกษา ความรู้ทั่วไปจนทำให้ข้าพเจ้าได้นำความรู้ที่ได้รับมาพัฒนาใช้ให้เกิดประโยชน์ในโครงการพิเศษนี้ และทางนักศึกษาผู้จัดทำหวังว่าโครงการพิเศษที่ได้จัดทำนี้จะมีประโยชน์ไม่มากนักน้อยต่อผู้ที่พัฒนาความรู้ต่อไปในอนาคต

อนึ่งข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ คุณ อิทธิพร เขาแก้ว และบริษัท CPAC โครงการทำอากาศยานสุวรรณภูมิ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการจัดหาข้อมูล ที่ใช้ในโครงการพิเศษนี้ และความรู้ด้านคอมพิวเตอร์จากคุณรวิินทร์ วิรัชพินทุ รวมถึงเจ้าหน้าที่หน่วยทดสอบกลางทุกท่านที่ได้ให้ผลการทดสอบวัสดุด้านคอนกรีตและส่วนผสม เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ เพื่อนๆ น้องๆ ที่ช่วยบันทึกข้อมูล รวมทั้งคำติชม อีกทั้งกำลังใจที่มีให้แก่ นักศึกษาผู้จัดทำด้วยดีเสมอมา จึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

สุดท้ายใคร่ขอขอบพระคุณ บิดา-มารดา และญาติพี่น้องซึ่งได้ให้ความช่วยเหลืออันดีในทุกสิ่งทุกอย่างด้วยดีเสมอมา

นายชูเกียรติ คูประทุมศิริ

นายธัญญะ สุขะวา

(คณะผู้จัดทำ)

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน (ภาษาไทย)	ก
	ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอนุมัติ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญตาราง	๗
	สารบัญรูป	ณ
1	บทนำ	
	1.1. กล่าวนำ	1
	1.2. ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.3. วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ	2
	1.4. ขอบเขตการศึกษา	2
	1.5. วิธีการศึกษา	2
	1.6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
2	ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีต	
	2.1. กล่าวนำ	6
	2.2. ปริมาณน้ำและปริมาณซีเมนต์	7
	2.2.1. อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์	7
	2.3. ปูนซีเมนต์และการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน	9
	2.3.1. สารประกอบหลัก	10
	2.3.2. ปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์	12
	2.3.2.1. ปฏิกิริยาไฮเดรชันของคัลเซียมซิลิเกต	12
	2.3.2.2. ปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรคัลเซียมอลูมิเนต	12
	2.3.2.3. ปฏิกิริยาไฮเดรชันของอลูมิโนเฟอร์ไรท์	13
	2.4. ปริมาณและคุณสมบัติของมวลรวม	13
	2.4.1. อัตราส่วนมวลรวมต่อซีเมนต์	13
	2.4.2. ขนาดใหญ่สุดและขนาดคละ	15
	2.4.3. พื้นที่ผิวจำเพาะของมวลรวม	17
	2.5. สารผสมเพิ่ม	19
	2.5.1. สารลดน้ำ	20
	2.5.1.1. องค์ประกอบของสารลดน้ำ	21
	2.5.1.2. ลักษณะการทำงานของสารลดปริมาณน้ำ	22

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	2.5.1.3.ผลของสารลดปริมาณน้ำที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต	21
	2.5.2.สารยึดเวลาการก่อตัว	22
	2.5.2.1.องค์ประกอบของสารยึดเวลาการก่อตัว	22
	2.5.2.2.ลักษณะการทำงานของสารยึดเวลาการก่อตัว	22
	2.5.2.3.ผลของสารยึดเวลาการก่อตัวที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต	24
	2.5.3.ซีเมนต์ลอย	24
	2.5.3.1.ประเภทของซีเมนต์ลอย	24
	2.6.อายุและการบ่ม	25
	2.7.ค่ายุบตัวและความหนาแน่นของคอนกรีต	27
	2.7.1.ค่าการยุบตัวของคอนกรีต	28
	2.7.2.ความหนาแน่นของคอนกรีต	29
	2.8.สรุป	31
3	การจัดการข้อมูลและฐานข้อมูล	
	3.1.ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ	32
	3.1.1.ระบบสารสนเทศ	32
	3.1.2.ส่วนประกอบของระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ	33
	3.1.3.การผลิตสารสนเทศจากข้อมูล	34
	3.1.4. คุณสมบัติของข้อมูลสารสนเทศ	35
	3.2.การจัดการข้อมูล	35

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	3.2.1.เพิ่มข้อมูลและฐานข้อมูล	36
	3.2.2.ระบบประมวลผลเพิ่มข้อมูลและฐานข้อมูล	37
3.3.	ระบบการจัดการฐานข้อมูล	37
	3.3.1.ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับฐานข้อมูล	37
	3.3.2.ระบบการจัดการฐานข้อมูล	38
	3.3.3.หลักการในการพิจารณาระบบฐานข้อมูล	39
3.4.	การจัดการข้อมูลและฐานข้อมูลที่ใช้ในโครงการวิจัย	40
	3.4.1.การวิเคราะห์ด้านข้อมูล	40
	3.4.1.1.การเก็บรวบรวมข้อมูลและการจำแนกข้อมูล	40
	3.4.1.2.การตรวจสอบข้อมูล	42
	3.4.2.การจัดการด้านฐานข้อมูล	43
	3.4.2.1.การเลือกระบบฐานข้อมูลที่เหมาะสม	43
	3.4.2.2.ข้อมูลที่จัดเรียงในตารางฐานข้อมูล	44
	3.4.2.3.การแก้ไขเพิ่มเติมข้อมูลลงในฐานข้อมูล	46
	3.4.2.4.การรักษาความปลอดภัยของฐานข้อมูล	46
	3.4.2.5.การติดต่อข้อมูลจากฐานข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม	46

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
4	โครงข่ายประสาทเทียม	
	4.1. กล่าวนำ	60
	4.2. โครงข่ายประสาทเทียม	60
	4.3. แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม	61
	4.4. สถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียม	62
	4.4.1. โครงข่ายแบบชั้นเดียวป้อนไปข้างหน้า	62
	4.4.2. โครงข่ายแบบหลายชั้นป้อนไปข้างหน้า	62
	4.4.3. โครงข่ายแบบรีเคอร์เรนท์	63
	4.5. การเรียนรู้ของระบบโครงข่ายประสาทเทียม	64
	4.5.1. การเรียนรู้แบบชี้หน้า	64
	4.5.2. การเรียนรู้แบบไม่ชี้หน้า	65
	4.6. ฟังก์ชันกระตุ้น	65
	4.7. วิธีการแพร่กระจายกลับ	67
	4.8. การหาสถาปัตยกรรมโครงข่ายที่เหมาะสมกับข้อมูล	69
	4.9. โปรแกรมเมทแลบ	71

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
5	โครงสร้างความสัมพันธ์และการทำงานของโปรแกรม	72
	5.1. กล่าวนำ	72
	5.2. โครงสร้างความสัมพันธ์ของโปรแกรม	72
	5.2.1. ส่วนฐานข้อมูล	72
	5.2.2. ส่วนติดต่อผู้ใช้	74
	5.2.2.1. การทำงานของปุ่มและช่องกรอกข้อมูล	74
	5.2.3. ส่วนสถิติ	75
	5.2.3.1. การปรับค่าข้อมูล	75
	5.2.4. ส่วนของโครงข่ายประสาทเทียม	75
	5.3. การทำงานของโปรแกรมพยากรณ์ค่าการต้านทานแรงอัดคอนกรีต	75
	5.3.1. การทำงานของโปรแกรมในการให้ระบบเรียนรู้	75
	5.3.2. การทำงานของโปรแกรมในการทดสอบระบบ	76
6	ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ	78
	6.1. กล่าวนำ	78
	6.2. การวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีความสัมพันธ์ของกำลังของ คอนกรีตกับปัจจัยต่าง ๆ	78
	6.2.1. การวิเคราะห์โดยใช้ Abram's formula	78

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	6.2.2.การวิเคราะห์โดยใช้ Schiller's formula	80
	6.2.3.สรุปผลการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎี	82
	6.3.การวิเคราะห์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม	86
	6.3.1.ขั้นตอนการทดสอบหาโครงข่ายที่เหมาะสมกับชุดข้อมูล	86
	6.4.วิเคราะห์ผลการทดสอบ	105
7	สรุปและข้อเสนอแนะ	
	7.1.สรุปผลการศึกษา	108
	7.2.ข้อเสนอแนะ	108
	รายการหนังสืออ้างอิง	109
	ภาคผนวก ก. การใช้โปรแกรม	
	ภาคผนวก ข. ชุดลำดับคำสั่งในการทดสอบหาโครงข่ายที่เหมาะสม	
	ภาคผนวก ค. ชุดลำดับคำสั่งในการทดสอบของระบบโครงข่ายประสาทเทียม	
	ภาคผนวก ง. ตัวอย่างเอกสาร	

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1.	แสดงออกไซด์หลักที่เป็นสารตั้งต้นในการผลิตซีเมนต์	10
2.2.	แสดงสารประกอบหลักในซีเมนต์	10
2.3.	แสดงเวลาที่สารประกอบหลักใช้ทำปฏิกิริยา 80%	13
2.4.	แสดงสัมประสิทธิ์ของเมอร์ค็อก	18
2.5.	แสดงคุณสมบัติของคอนกรีตที่ผสมด้วยมวลรวมที่มีพื้นผิวจำเพาะเท่ากัน	19
2.6.	แสดงพื้นที่ผิวจำเพาะและกำลังของคอนกรีตผสมด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.6	19
2.8.	แสดงคุณสมบัติของซีเมนต์ลดยืดหยุ่นคุณภาพ เอฟ และ ซี	26
2.9.	แสดงค่าความถ่วงจำเพาะของหินชนิดต่างๆ	31
3.1.	แสดงข้อมูลที่จัดเรียงในตารางฐานข้อมูลPrint Out	44
3.2.	แสดงข้อมูลที่จัดเรียงในตารางฐานข้อมูลDetail	45
3.3.	แสดงข้อมูลที่จัดเรียงในตารางฐานข้อมูลAggregate	45
3.4.	แสดงข้อมูลที่จัดเรียงในตารางฐานข้อมูลTicket	45
3.5.	แสดงร้อยละของจำนวนข้อมูลกำลังอัดทั้งหมดที่อายุ 3 วัน	49
3.6.	แสดงร้อยละของจำนวนข้อมูลกำลังอัดทั้งหมดที่อายุ 7 วัน	50
3.7.	แสดงร้อยละของจำนวนข้อมูลกำลังอัดทั้งหมดที่อายุ 28 วัน	51
3.8.	แสดงร้อยละของจำนวนข้อมูลปริมาณหิน	52
3.9.	แสดงร้อยละของจำนวนข้อมูลปริมาณทราย	53
3.10.	แสดงร้อยละของจำนวนข้อมูลปริมาณซีเมนต์	54
3.11.	แสดงร้อยละของจำนวนข้อมูลน้ำ	55
3.12.	แสดงร้อยละของจำนวนข้อมูลอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์	56
3.13.	แสดงร้อยละของข้อมูลอัตราส่วนมวลรวมต่อซีเมนต์	57
3.14.	แสดงความแปรปรวนของกำลังอัดที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และอายุต่าง	58
3.15.	แสดงค่าเฉลี่ย , พิสัย , ค่ามากที่สุด , ค่าน้อยสุดของข้อมูลต่างๆ	58
3.16.	แสดงเกณฑ์การประเมินการควบคุมการผลิต	59

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
6.1.	แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีโดยใช้ข้อมูลจากสุวรรณภูมิ	82
6.2.	แสดงค่าเปรียบเทียบ RMSE ของ โมเดล A8	87
6.3.	แสดงกรณีตัวอย่างที่ 1 ของระบบประสาทเทียมแบบที่ A8 การทดลองเพิ่มอายุ	89
6.4.	แสดงกรณีตัวอย่างที่ 2 ของระบบประสาทเทียมแบบที่ A8 การทดลองเพิ่มอายุ	90
6.5.	แสดงกรณีตัวอย่างที่ 3 ของระบบประสาทเทียมแบบที่ A8 การทดลองเพิ่มอายุ	90
6.6.	แสดงกรณีตัวอย่างที่ 4 ของระบบประสาทเทียมแบบที่ A8 การทดลองเพิ่มอายุ	90
6.7.	แสดงกรณีตัวอย่างที่ 1 ของระบบประสาทเทียมแบบ B 12 การทดลองเพิ่มอายุ	91
6.8.	แสดงกรณีตัวอย่างที่ 2 ของระบบประสาทเทียมแบบ B 12 การทดลองเพิ่มอายุ	92
6.9.	แสดงกรณีตัวอย่างที่ 3 ของระบบประสาทเทียมแบบ B12 การทดลองเพิ่มอายุ	92
6.10.	แสดงกรณีตัวอย่างที่ 4 ของระบบประสาทเทียมแบบ B12 การทดลองเพิ่มอายุ	92
6.12.	กำลังที่ทำนายได้จากการทดลองเพิ่มปริมาณซีเมนต์กรณีที่ 1 จากระบบประสาทเทียมแบบ A8 และกำลังที่ทำนายได้จากทฤษฎีของ Schiller	93
6.13.	กำลังที่ทำนายได้จากการทดลองเพิ่มปริมาณซีเมนต์กรณีที่ 2 จากระบบประสาทเทียมแบบ A8 และกำลังที่ทำนายได้จากทฤษฎีของ Schiller	94
6.14.	กำลังที่ทำนายได้จากการทดลองเพิ่มปริมาณซีเมนต์กรณีที่ 3 จากระบบประสาทเทียมแบบ A8 และกำลังที่ทำนายได้จากทฤษฎีของ Schiller	94
6.15.	กำลังที่ทำนายได้จากการทดลองเพิ่มปริมาณซีเมนต์กรณีที่ 1 จากระบบประสาทเทียมแบบที่ B12 และกำลังที่ทำนายได้จากทฤษฎีของ Schiller	96
6.15.	กำลังที่ทำนายได้จากการทดลองเพิ่มปริมาณซีเมนต์กรณีที่ 2 จากระบบประสาทเทียมแบบที่ 2 และกำลังที่ทำนายได้จากทฤษฎีของ Schiller	96
6.16.	ตารางที่ 16.6 เปรียบเทียบค่า RMSE ของแต่ละ โมเดล B	98
6.17.	เปรียบเทียบค่า RMSE ของแต่ละ โมเดล C	98
6.18.	กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบ C กับอายุที่เพิ่มขึ้นกรณี 1	100
6.19.	กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบ C กับอายุที่เพิ่มขึ้นกรณี 2	100
6.20.	กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบ C กับอายุที่เพิ่มขึ้นกรณีที่ 3	100

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
6.21.	กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบที่ C กับอายุที่เพิ่มขึ้นกรณีที่ 4	101
6.22.	กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบ C กับปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นกรณีที่ 1	101
6.23.	กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบ C กับปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นกรณีที่ 1.1	102
6.24.	กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบ C กับปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นกรณีที่ 1.2	102
6.25.	กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบ C กับปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นกรณีที่ 2	103
6.26.	กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบ C กับปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นกรณีที่ 2.1	103
6.27.	กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบ C กับปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นกรณีที่ 2.2	104
6.28.	กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบ C กับปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นกรณีที่ 3	104
6.29.	กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบ C กับปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นกรณีที่ 3.1	105
6.30.	กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบ C กับปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นกรณีที่ 3.2	105
6.31.	กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบ C กับปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นกรณีที่ 3.3	105

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
1.1.	แสดงขั้นตอนงานออกแบบและพัฒนาระบบฐานข้อมูล	4
1.2.	แสดงขั้นตอนวิธีการศึกษา	5
2.1.	แสดงกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุต่างๆเป็นฟังก์ชันกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์	8
2.2.	แสดงคุณสมบัติของสารประกอบหลักในซีเมนต์	11
2.3.	แสดงผลของอัตราส่วนมวลรวมต่อซีเมนต์กับกำลังของคอนกรีต	14
2.4.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดทรงกระบอก และปริมาตรของมวลรวมที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์คงที่ ซึ่งเท่ากับ 0.5	14
2.5.	แสดงผลของขนาดใหญ่สุดของมวลรวมต่อกำลังของคอนกรีต	15
2.6.	แสดงกำลังอัดที่ 28 วัน กับขนาดใหญ่สุดของมวลรวมที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่างๆ	15
2.7.	แสดงผลของปริมาณซีเมนต์และมวลรวมใหญ่สุดกับกำลังอัดของคอนกรีตที่มีค่ายุบตัวเท่ากัน , กำลังอัดที่ 28 และ 90 วัน	16
2.8.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวจำเพาะกับขนาดของมวลรวม	17
2.9.	แสดงลักษณะการทำงานของสารลดน้ำ	21
2.10.	แสดงผลของอุณหภูมิต่อการเซตตัวเริ่มต้นของคอนกรีตที่ผสมสารหน่วงการก่อตัว	23
2.11.	แสดงการพัฒนากำลังของคอนกรีตซึ่งมีซีเมนต์ 335 กก.ต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งผสมด้วยซีเมนต์ประเภทต่างๆ	26
2.12.	แสดงความสัมพันธ์ของกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ที่บ่มที่อุณหภูมิต่าง ๆ อุณหภูมิของตัวอย่างคงที่จนถึงขณะทำการทดสอบ	27
2.13.	แสดงผลจากอุณหภูมิต่างระหว่างสองซึ่งโมงแรกหลังจากการหล่อต่อการพัฒนา กำลังของคอนกรีต (ทุกตัวอย่างบ่มที่ 21 องศาเซลเซียสหลังจากอายุสองชั่วโมง)	27
2.14.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความหนาแน่นกับกำลังอัดของคอนกรีต	30
3.1.	แสดงกระบวนการในการประมวลผลข้อมูลเพื่อสารสนเทศ	33
3.2.	แสดงขั้นตอนเก็บรวบรวมข้อมูล	41
3.3.	แสดงการเชื่อมโยงข้อมูลตารางฐานข้อมูล	47

3.4.	แสดงตารางที่เรียกข้อมูลไปใช้จากฐานข้อมูลจริง	48
3.5.	แสดงการกระจายของข้อมูลกำลังอัดทั้งหมดของคอนกรีตที่อายุ 3 วัน	49
3.6.	แสดงการกระจายของข้อมูลกำลังอัดทั้งหมดของคอนกรีตที่อายุ 7 วัน	50
3.7.	แสดงการกระจายของข้อมูลกำลังอัดทั้งหมดที่ 28 วัน	28
3.8.	แสดงการกระจายของข้อมูลปริมาณหิน (kg/m^3)	52
3.9.	แสดงการกระจายของข้อมูลปริมาณทราย (kg/m^3)	53
3.10.	แสดงร้อยละของจำนวนข้อมูลปริมาณซีเมนต์	54
3.11.	แสดงการกระจายของข้อมูลปริมาณน้ำ	55
3.12.	แสดง การกระจายของข้อมูลอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์	56
3.13.	แสดงการกระจายของข้อมูลอัตราส่วนมวลรวมต่อซีเมนต์	57
4.1.	แสดงสถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้า	61
4.2.	แสดงสถาปัตยกรรมของโครงข่ายแบบชั้นเดียวป้อนไปข้างหน้า	63
4.3.	แสดงสถาปัตยกรรมของโครงข่ายแบบหลายชั้นไปข้างหน้า	64
4.4.	แสดงสถาปัตยกรรมของโครงข่ายแบบรีเคอร์เรนต์	64
4.5.	แสดง ฟังก์ชันกระตุ้นชนิดต่างๆ	67
4.6.	แสดงสัญญาณในกระบวนการปรับค่าน้ำหนักและค่าเบี่ยงเบน	68
4.7.	แสดงโครงสร้างการคำนวณของโครงข่ายประสาทเทียม	69
5.1.	แสดงโครงสร้างการทำงานของโปรแกรม	72
5.2.	แสดงตารางข้อมูลในฐานข้อมูลไมโครซอฟท์แอคเซส	73
5.3.	แสดงส่วนติดต่อผู้ใช้ของโปรแกรม	74
5.4.	แสดงการทำงานของโปรแกรมในการให้ระบบเรียนรู้	76
5.5.	แสดงการทำงานของโปรแกรมในการทดสอบระบบ	77
6.1.	แสดง log ของกำลังอัดกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยใช้ข้อมูลจาก สนามบินสุวรรณภูมิของคอนกรีตที่อายุ 3 วัน (Abram's formula)	83
6.2.	แสดง log ของกำลังอัด กับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยใช้ข้อมูลจาก สนามบินสุวรรณภูมิของคอนกรีตที่อายุ 7 วัน (Abram's formula)	83
6.3.	แสดง log ของกำลังอัดกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยใช้ข้อมูลจาก สนามบินสุวรรณภูมิของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน (Abram's formula)	84
6.4.	แสดง log ของกำลังอัดกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยใช้ข้อมูลจาก สนามบินสุวรรณภูมิของคอนกรีตที่อายุ 3 วัน (Schiller's formula)	84
6.5.	แสดง log ของกำลังอัด กับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยใช้ข้อมูลจาก	85

	สนามบิณสูววรรณภูมิของคอนกรีตที่อายุ 7 วัน (Schiller's formula)	
6.6.	แสดง log ของกำลังอัดกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยใช้ข้อมูลจากสนามบิณสูววรรณภูมิของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน (Schiller's formula)	85
6.7.	แสดงกราฟวัดประสิทธิภาพของการเรียนรู้ของ Model ที่ A8	88
6.8.	แสดงกราฟวัดประสิทธิภาพของการทดสอบของ Model ที่ A8	88
6.9.	กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมที่ A8 กับอายุของคอนกรีตจากกรณีตัวอย่างที่ 1 ถึง 4 (ตารางที่ 6.3 ถึง 6.6)	91
6.10.	กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมที่ B12 กับอายุของคอนกรีตจากกรณีตัวอย่างที่ 1 ถึง 4 (ตารางที่ 6.7 ถึง 6.10)	93
6.11	กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบที่ 1 และจากทฤษฎีของ Schiller เทียบกับปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น สำหรับกรณีที่ 1 (ตารางที่ 6.12)	94
6.12	กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบที่ A8 และจากทฤษฎีของ Schiller เทียบกับปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น สำหรับกรณีที่ 2 (ตารางที่ 6.13)	95
6.13	กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบที่ A8 และจากทฤษฎีของ Schiller เทียบกับปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น สำหรับกรณีที่ 3 (ตารางที่ 6.14)	95
6.14	กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบที่ 2 และจากทฤษฎีของ Schiller เทียบกับปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น สำหรับกรณีที่ 1 (ตารางที่ 6.15)	96
6.15	กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบที่ 2 และจากทฤษฎีของ Schiller เทียบกับปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น สำหรับกรณีที่ 2 (ตารางที่ 6.16)	98
6.16	กราฟประสิทธิภาพในการทดสอบ(testing performance) ของระบบประสาทเทียมแบบที่ C	99
6.17	กำลังอัดที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบ C กับอายุที่เพิ่มขึ้น กรณีที่ 1 – 4 (ตารางที่ 6.18 – 6.21)	101
6.18	กำลังอัดที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบ C กับปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น กรณีที่ 1 ถึง 1.2 (ตารางที่ 6.22 – 6.24)	102
6.19	กำลังอัดที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบ C กับปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น กรณีที่ 2 ถึง 2.2 (ตารางที่ 6.25 – 6.27)	103
6.20	กำลังอัดที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบที่ C กับปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น กรณีที่ 3 ถึง 2.23 (ตารางที่ 6.28 – 6.31)	105

บทที่ 1

บทนำ

1.1. กล่าวนำ

ในทศวรรษนี้คอมพิวเตอร์ได้มีบทบาทสำคัญอย่างมากต่องานด้านวิศวกรรม ทั้งในการนำมาใช้ประมวลผล การจัดเก็บข้อมูลและระบบสารสนเทศต่าง ๆ รวมถึงการนำมาใช้แก้ปัญหาเชิงตัวเลข แม้ว่าคอมพิวเตอร์สามารถที่จะทำงานตามขั้นตอนของคำสั่งได้อย่างรวดเร็ว และเที่ยงตรงอย่างไรก็ตามมนุษย์ก็ยังไม่สามารถทำให้คอมพิวเตอร์ทำงานบางอย่างได้อย่างมีประสิทธิภาพเทียบเท่าสมองของสิ่งมีชีวิต เช่น การเข้าใจคำพูด รู้จักใบหน้าของมนุษย์ เป็นต้น นักวิทยาศาสตร์ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญ จึงได้ทำการพัฒนาคอมพิวเตอร์ ไปสู่ระบบประมวลผลชนิดใหม่โดยเลียนแบบระบบการทำงานของประสาทของสิ่งมีชีวิตซึ่งระบบการประมวลผลดังกล่าว คือ “โครงข่ายประสาทเทียม” (Artificial Neural Networks, ANN) ปัจจุบันสามารถนำโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้ช่วยแก้ปัญหาทางวิศวกรรมได้หลายอย่าง โครงข่ายประสาทเทียมมีความน่าสนใจเพราะตัวระบบโครงข่ายสามารถเรียนรู้ได้เองจากข้อมูลตัวอย่าง โครงข่ายประสาทเทียมเหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้แก้ปัญหาที่มีข้อมูลจำนวนมากและไม่สามารถหาความสัมพันธ์จากข้อมูลได้โดยง่ายจึงเป็นผลดีที่จะนำโครงข่ายประสาทเทียมมาพิจารณาเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาด้านวิศวกรรม

1.2. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

การก่อสร้างท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ เป็นโครงการขนาดใหญ่ และใช้งบประมาณมากกว่าแสนล้านบาท ซึ่งงบประมาณจำนวนนี้ส่วนใหญ่ถูกใช้ไปในงานคอนกรีต ทั้งนี้เนื่องจากท่าอากาศยานสุวรรณภูมิประกอบไปด้วยโครงสร้างคอนกรีตจำนวนมาก ไม่ว่าจะเป็นอาคารผู้โดยสาร (Passenger Terminal) ซึ่งมีพื้นที่ถึง 363,000 ตารางเมตร ลู่วิ่งของเครื่องบิน (Runways) ซึ่งมีความกว้างถึง 60 เมตร และยาวกว่า 4 กิโลเมตร อีกทั้งอาคารอำนวยการบิน และอาคารของสายการบินต่าง ๆ การก่อสร้างโครงสร้างคอนกรีตเหล่านี้มีความแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับสภาพการใช้งาน โดยเฉพาะกำลังของคอนกรีต (Strength of Concrete) จะถูกออกแบบให้เหมาะสมและเป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัยระดับนานาชาติ ดังนั้นขณะทำการก่อสร้างจึงจำเป็นต้องทดสอบ กำลังของคอนกรีตเพื่อตรวจสอบว่าเป็นไปตามที่กำหนดไว้หรือไม่ บ่อยครั้งพบว่าจำเป็นต้องผสมคอนกรีตใหม่ขณะก่อสร้าง เพราะกำลังไม่ได้ตามที่กำหนดไว้ส่งผลให้เสียงบประมาณจำนวนมาก อีกทั้งยังก่อให้เกิดความล่าช้าในการก่อสร้างโครงการโดยรวมอีกด้วย

เนื่องจากปริมาณคอนกรีตที่ใช้มีจำนวนมาก ดังนั้นการทดสอบก็ต้องมีจำนวนมากเช่นกัน ระบบฐานข้อมูลจึงสามารถนำมาใช้ในการรวบรวมองค์ประกอบและปัจจัยที่ส่งผลต่อกำลังของคอนกรีต เช่น ชนิดของปูนซีเมนต์ ปริมาณส่วนประกอบของคอนกรีต ขนาดผลของหินที่ใช้ผสม ระยะเวลาบ่มคอนกรีต และตัวแปรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีจำนวนมากและซับซ้อน จึงต้องนำโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks, ANN) มาประยุกต์ใช้เพื่อเรียนรู้จากตัวอย่างจากระบบฐานข้อมูล และนำมาใช้ในการพยากรณ์กำลังของคอนกรีต ขณะทำการก่อสร้างโครงการ ซึ่งส่งผลให้ประหยัดทั้งเวลาและงบประมาณ ที่สูญเสียไปหากคอนกรีตไม่ได้กำลังตามที่กำหนดไว้

1.3.วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

- 1.ทดสอบหากำลังของคอนกรีตที่ใช้ในการก่อสร้างสนามบินสุวรรณภูมิ
- 2.เก็บรวบรวมข้อมูลของปัจจัยหรือตัวแปรที่มีผลกระทบต่อกำลังของคอนกรีต
- 3.พัฒนาระบบฐานข้อมูลสำหรับการหากำลังของคอนกรีต
- 4.ออกแบบสถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks, ANN) ที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการพยากรณ์ค่าความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีต

1.4.ขอบเขตการศึกษา

- 1.ข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลงานออกแบบส่วนผสมคอนกรีตและทดสอบคอนกรีต, ส่วนผสมจากโรงผสมคอนกรีตบริษัท ผลิตภัณฑ์และวัตถุก่อสร้าง จำกัด (CPAC) โครงการก่อสร้างสนามบินสุวรรณภูมิ
- 2.ตัวแปรที่มีผลกระทบกับค่ารับแรงอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่นำมาพิจารณาในโครงการวิจัยนี้ พิจารณาเฉพาะอิทธิพลจากวัสดุผสม ในส่วนคุณภาพส่วนผสม
- 3.ตัวอย่างคอนกรีตที่ได้เป็นก้อนตัวอย่างมาตรฐานรูปทรงกระบอก ตามมาตรฐานอเมริกา ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร

1.5.วิธีการศึกษา

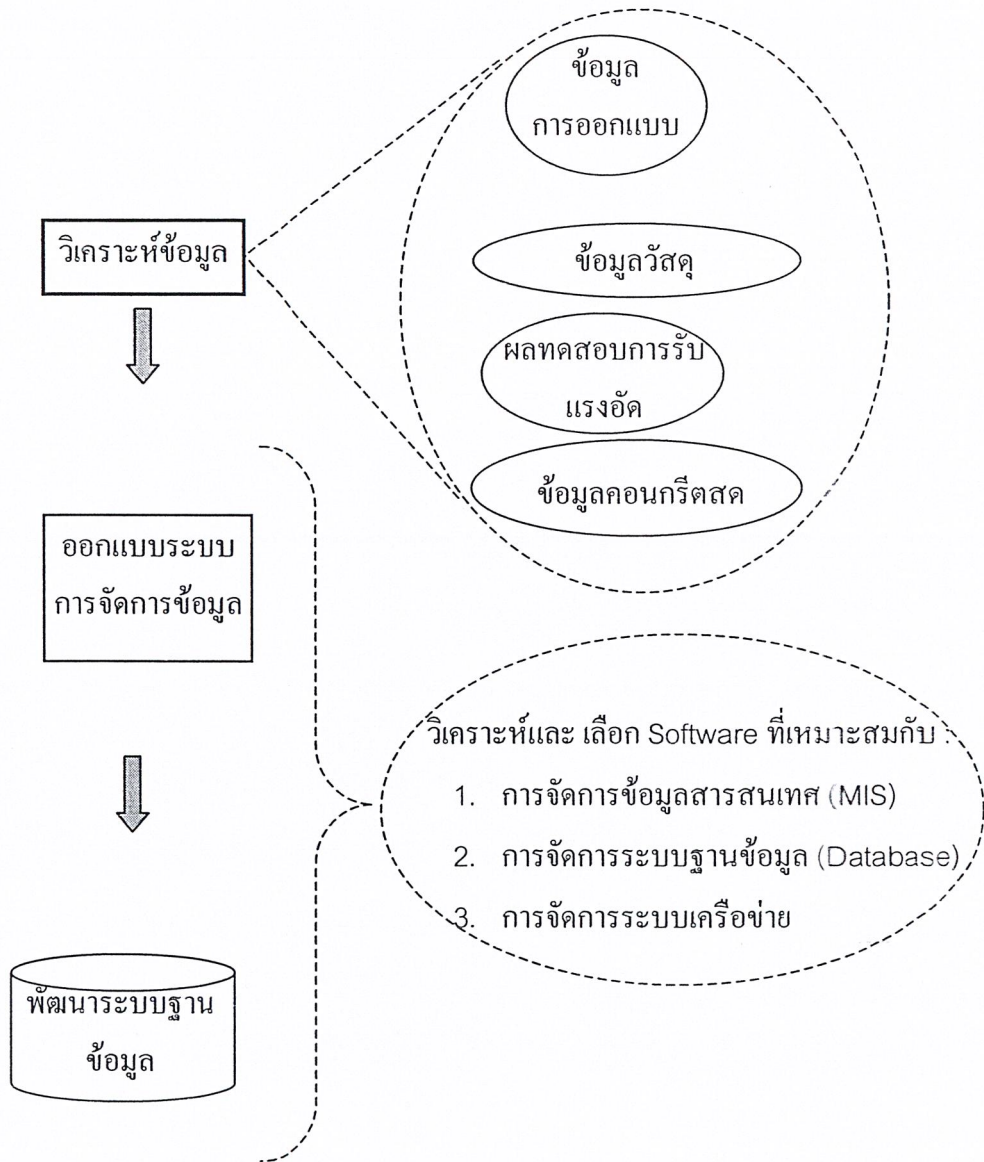
ขั้นตอนการดำเนินงานแบ่งออกเป็นขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

- 1.ขั้นตอนการศึกษาทฤษฎีต่างๆที่นำมาใช้ในโครงการพิเศษ
 - ศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตที่มีผลต่อความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีต
 - ทฤษฎีการจัดการระบบข้อมูลสารสนเทศ (Management Information System, MIS)
 - ทฤษฎีการจัดการฐานข้อมูล (Database Management)

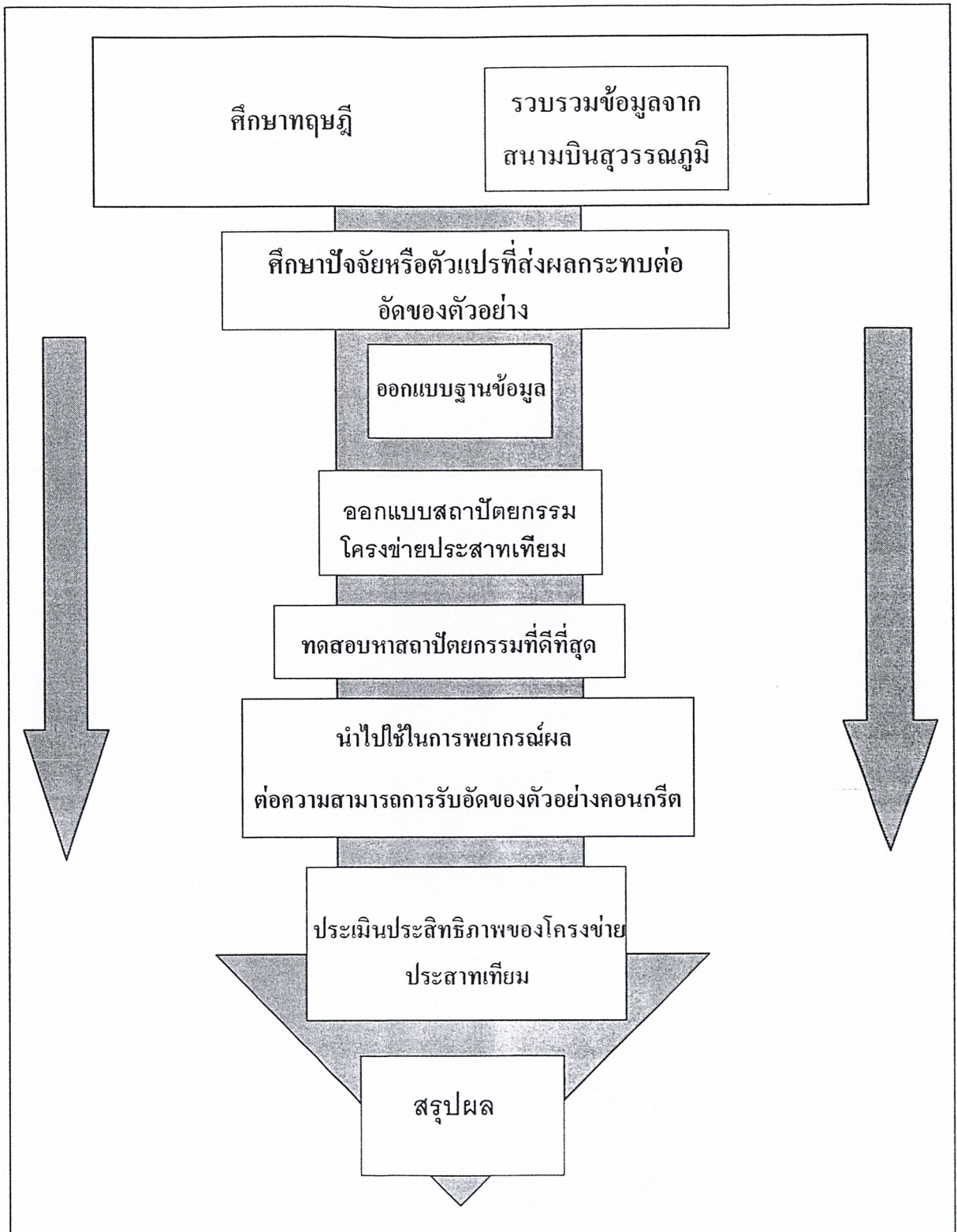
- ศึกษาซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการพัฒนาระบบการจัดการฐานข้อมูล
 - ศึกษาทฤษฎีและการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม
 - ศึกษาคู่มือการใช้งาน แมทแลบ (Matlab)
2. ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล
- ติดต่อองค์กรที่เกี่ยวข้องเพื่อขอข้อมูล โดยนำข้อมูลที่ได้รับมาจำแนกและวิเคราะห์ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องเหมาะสมเพื่อเก็บรวบรวมเป็นฐานข้อมูล
3. ขั้นตอนการออกแบบและพัฒนาฐานข้อมูล
- โดยนำทฤษฎีการจัดการระบบข้อมูลสารสนเทศ การจัดการฐานข้อมูล และชุดข้อมูลที่ได้ผ่านการวิเคราะห์มาออกแบบฐานข้อมูล
4. ขั้นตอนการการออกแบบระบบ โครงข่ายประสาทเทียมและการประเมินผล
- โดยนำทฤษฎีที่ได้จากการศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม และข้อมูลที่ได้ออกแบบและปัจจัยของคอนกรีตที่มีผลต่อความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีต มาทำการช่วยในการออกแบบเพื่อนำไปใช้งาน

1.6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ข้อมูลปัจจัยและตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อกำลังของคอนกรีตจะถูกรวบรวมและสามารถนำไปใช้ในการศึกษาในงานคอนกรีตโครงการก่อสร้างสนามบินสุวรรณภูมิและโครงการอื่นๆ
2. เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยหรือตัวแปร กับกำลังของคอนกรีต
3. สามารถพยากรณ์กำลังของคอนกรีตขณะทำการก่อสร้าง และนำไปสู่การหล่อคอนกรีตให้ได้กำลังตามที่กำหนดไว้
4. นำไปสู่การพัฒนาฐานข้อมูลต้นแบบ เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาของงานคอนกรีตที่ใช้ในประเทศไทยทั้งหมด
5. เผยแพร่องค์ความรู้ด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์ที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหาด้านวิศวกรรมโยธา



รูปที่ 1.1.แสดงขั้นตอนงานออกแบบและพัฒนาระบบฐานข้อมูล (Database Design)



รูปที่ 1.2.แสดงขั้นตอนวิธีการศึกษา

บทที่ 2

ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีต

2.1. กล่าวนำ

ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตมีหลายประการด้วยกันคุณสมบัติของคอนกรีตในขณะที่ยังอยู่ในสภาพเหลวจะมีความสำคัญเพียงขณะก่อสร้างเท่านั้น ในขณะที่คุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว จะมีความสำคัญไปตลอดอายุการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีตนั้น อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติ คุณสมบัติของคอนกรีตทั้ง 2 ลักษณะ จะมีผลต่อกันและกัน การที่จะให้ได้คุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วดี จะต้องมาจากการเลือกสัดส่วนผสมเพื่อให้คอนกรีตที่อยู่ในสภาพเหลวมีความเหมาะสมอย่างมากในการใช้งาน

คุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วได้แก่ กำลัง ความทนทาน และการเปลี่ยนแปลงปริมาตรในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเฉพาะ ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีต โดยอาจจะแบ่งได้เป็นปัจจัยจากส่วนผสมและคุณสมบัติของวัสดุผสมเอง และปัจจัยจากภายนอก เช่น การบ่ม , การทดสอบการผสม ฯลฯ ถ้าสามารถรวบรวมปัจจัยต่าง ๆ ได้มากและถูกต้องก็ย่อมทำให้ความสามารถในการทำนากำลังของคอนกรีตได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้นแต่ในทางปฏิบัติย่อมไม่อาจทำได้โดยสมบูรณ์โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัจจัยภายนอก เช่น อุณหภูมิในการบ่ม เป็นต้น

ทางผู้จัดทำได้รวบรวมข้อมูลจากทางโครงการท่าอากาศยานสุวรรณภูมิอันได้แก่ ข้อมูลส่วนผสมคอนกรีต , ข้อมูลทดสอบคอนกรีตสด , ข้อมูลการทดสอบวัสดุ และข้อมูลการทดสอบกำลังอัด โดยมีข้อมูลดังต่อไปนี้

1. ปริมาณซีเมนต์
2. ปริมาณมวลรวม
3. การทดสอบคุณสมบัติของมวลรวม
4. ปริมาณน้ำ
5. ปริมาณสารผสมเพิ่ม
6. ปริมาณขี้เถ้าลอย
7. ค่ายุบตัว
8. ความหนาแน่นของคอนกรีต

9. การทดสอบกำลังอัด

2.2. ปริมาณน้ำและปริมาณซีเมนต์

2.2.1. อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์หรืออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสาน (water-cement ratio or water-cementation material ratio) อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อกำลังของคอนกรีตมากที่สุด โดยเป็นตัวกำหนดความแข็งแรงของซีเมนต์เพสต์สำหรับเพสต์ที่มีคุณสมบัติอื่น ๆ เหมือนกัน เช่น อัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาซึ่งขึ้นกับชนิดของซีเมนต์และการบ่ม , อายุของเพสต์ , สารอื่น ๆ ที่อยู่ในน้ำเป็นต้นเมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันแล้วจะน้ำที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาจะทำให้เกิดช่องว่างหรือรูพรุนขึ้นในเนื้อเพสต์ซึ่งเป็นตัวลดความแข็งแรงของเพสต์ลง ดังนั้นถ้ามีน้ำที่เหลือจากการทำปฏิกิริยามากหรืออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์มากความแข็งแรงของเพสต์จะลดลง

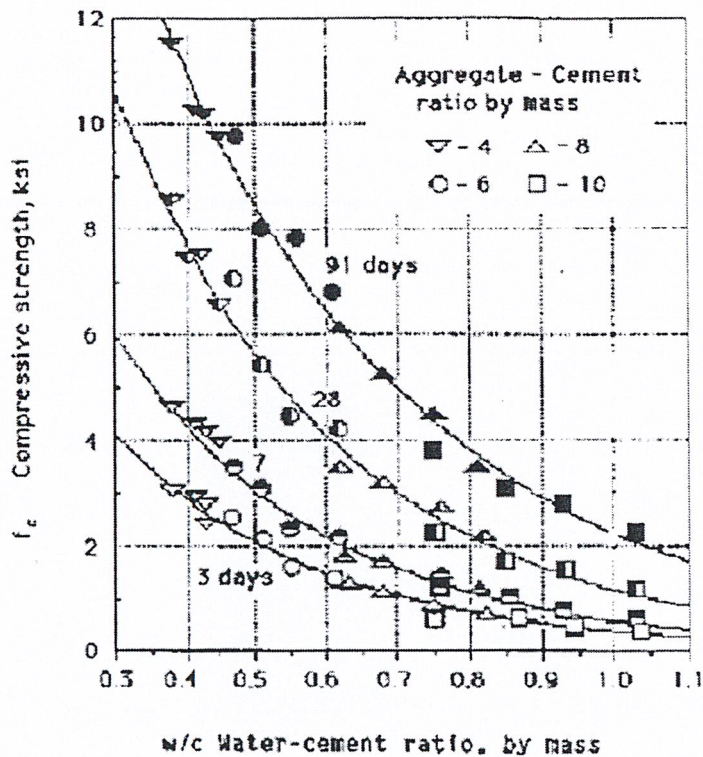
Arbram's law (1918) : คอนกรีตจะมีกำลังต่ำกว่าถ้าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงกว่า คอนกรีตจะมีกำลังสูงกว่าถ้าอัตราส่วนน้ำต่อต่ำกว่าและจะมีกำลังเท่ากันถ้าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากันหรืออาจกล่าวได้ว่ากำลังของคอนกรีตขึ้นกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพียงอย่างเดียวโดยไม่ต้องพิจารณาปัจจัยอย่างอื่นเลย หรือจะพูดได้อีกอย่างว่ากำลังของคอนกรีตขึ้นกับกำลังของซีเมนต์เพสต์เพียงอย่างเดียว (Popvics, 1998)

นอกจากนี้ทฤษฎีนี้กำลังคอนกรีตจะขึ้นกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพียงอย่างเดียวก็ต่อเมื่อเงื่อนไข 10 ข้อต่อไปนี้เป็นจริง

1. ความสามารถในการพัฒนากำลังของคอนกรีตเหมือนกัน
2. ปริมาณผลของสารผสมเพิ่มต่อกำลังเหมือนกัน
3. คอนกรีตตัวอย่างถูกเตรียม , บ่ม , ทดสอบ , ด้วยเงื่อนไขเดียวกัน
4. ส่วนผสมกระจายอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอตลอดตัวอย่าง
5. ปริมาณอากาศเท่ากัน , กระจายอย่างสม่ำเสมอและไม่มีช่องอากาศที่ใหญ่เกินไป
6. มวลรวมแข็งแรงกว่าเมตริกซ์ (เพสต์) นั่นคือรอยร้าวจะแพร่ไปในเมตริกซ์มากกว่า ในมวลรวม
7. แรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวมวลรวมกับเมตริกซ์กับคอนกรีตมากพอที่จะ ส่งผ่านความเค้นจากเมตริกซ์สู่มวลรวมก่อนที่คอนกรีตจะแตก

8. ผลกระทบต่อกำลังทั้งทางกายภาพแลทางเคมี (เช่น การหดตัว , ทางเคมีปฏิกิริยาระหว่างมวลรวมกับเพสท์) ต่อเพสท์ต้องไม่มากเกินไปและต้องเหมือนกัน
9. ความไม่เป็นเนื้อเดียวกันส่งผลต่อกำลังคอนกรีตเท่า ๆ กัน
10. Interlocking ของมวลรวมส่งผลต่อกำลังเท่า ๆ กัน (Popovics, 1998)

จากข้างต้นจะเห็นว่ากำลังไม่ได้ขึ้นกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพียงอย่างเดียวไม่สามารถใช้เป็นตัวทำนายค่ากำลังของคอนกรีตได้โดยสมบูรณ์ ยังมีสูตรหรือสมการที่ได้รวมปัจจัยตัวอื่น ๆ ซึ่งจะได้อภิปรายกันต่อไปในบทที่ 6 ซึ่งเป็นส่วนวิเคราะห์ผลการทดลอง



รูปที่ 2.1. แสดงกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุต่าง ๆ เป็นฟังก์ชันกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (Popovics 1998, citing Kaplan, 1960)

มีสูตรหรือสมการที่พิดกับค่าที่ได้จากกราฟซึ่งใช้ทำนายกำลังจากอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ได้ดังแสดงต่อไปนี้

1. Exponential function or Abram's formula (Abram 1918)

$$f = \frac{A_A}{B_A \frac{w}{c}} + C_A$$

2. Logarithmic function or Schiller's formula (Schiller 1958)

$$f = A_S \log\left(B_S \frac{C}{w}\right) + C_S$$

$$f = A_L - B_L \log\left(\frac{w}{c}\right) = A_L - \log\left[\left(\frac{w}{c}\right)^{B_L}\right]$$

โดยที่ $A, B =$ สัมประสิทธิ์ที่ได้มาจากการทดลองซึ่งไม่ขึ้นกับค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์แต่ขึ้นกับปัจจัยตัวอื่น ๆ เช่น ชนิดและปริมาณของวัสดุ, อายุ, หน่วย ฯลฯ

ในโปรแกรมทำนายค่ากำลังอัดคอนกรีตทางผู้จัดทำได้กำหนดให้ใส่ค่าปริมาณน้ำและปริมาณซีเมนต์ไว้โดยไม่ได้กำหนดให้เป็นอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ไว้ด้วยเหตุผลดังต่อไปนี้

1. ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ค่าหนึ่งมีปริมาณซีเมนต์และปริมาณน้ำได้หลายค่า
2. ทั้งปริมาณน้ำและปริมาณซีเมนต์มีผลต่อคุณสมบัติของอื่น ๆ ของคอนกรีตและคอนกรีตต้องการซีเมนต์เพสต์จำนวนหนึ่งที่น่าไปอุดช่องว่างระหว่างมวลรวมเพื่อให้ได้คอนกรีตที่สมบูรณ์ไม่มีช่องว่าง เช่น ถ้าเรากำหนดให้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5 จากนั้นผสมคอนกรีต 1 ม³. โดยใช้ซีเมนต์ 50 กก. น้ำ 25 กก. เราจะได้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5 ดังต้องการแต่จะไม่ได้กำลังตามที่ต้องการเนื่องจากซีเมนต์ไม่สามารถอุดช่องว่างระหว่างมวลรวมได้ทั้งหมด

2.3. ปูนซีเมนต์และการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แบ่งออกเป็น 5 ชนิดได้แก่

ประเภทหนึ่ง	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา
ประเภทสอง	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลงใช้สำหรับการทำคอนกรีตที่ต้องการให้เกิดความร้อนและทนซัลเฟตได้ปานกลาง
ประเภทสาม	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็ว
ประเภทสี่	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทเกิดความร้อนต่ำ
ประเภทห้า	ปูนซีเมนต์ทนซัลเฟตได้สูง

แต่ในโครงการทำอากาศยานสุวรรณภูมิใช้เพียงปูนซีเมนต์ประเภทหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งเท่านั้น

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เกิดจากการทำปฏิกิริยาของออกไซด์ 2 กลุ่มใหญ่ คือ

- ออกไซด์หลัก ได้แก่ CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ซึ่งรวมกันประมาณ 90 % ของน้ำหนักซีเมนต์
- ออกไซด์รอง ได้แก่ MgO , Na_2O , TiO_2 , P_2O_5 และยิปซัม ปริมาณออกไซด์ที่เป็นองค์ประกอบหลักของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1. ค่าออกไซด์ต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (concrete technology, บ.ผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้างจำกัด[CPAC])

ออกไซด์	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
ออกไซด์หลัก	
CaO	60-67
SiO_2	17-25
Al_2O_3	3-8
Fe_2O_3	0.5-6.0
ออกไซด์รอง	
MgO	0.1-5.5
$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	0.5-1.3
TiO_2	0.1-0.4
P_2O_5	0.1-0.2
SO_3	1-3

ออกไซด์หลักจะรวมตัวในระหว่างการเกิดปูนเม็ดเกิดเป็นสารประกอบที่สำคัญ 4 อย่าง ดังแสดงในตารางที่ 2.2.

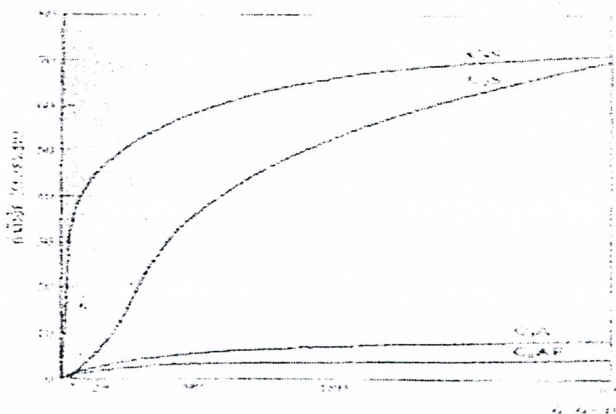
ตารางที่ 2.2 แสดงสารประกอบหลักในซีเมนต์ (concrete technology, CPAC)

ชื่อสารประกอบ	ส่วนประกอบทางเคมี	ชื่อย่อ
ไตรซิลิเกตซีเมนต์ ซิลิเกต (Tricalcium Silicate)	$3 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
ไดซิลิเกตซีเมนต์ ซิลิเกต (Dicalcium Silicate)	$2 \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
ไตรซิลิเกตซีเมนต์ อลูมินาต (Tricalcium Aluminate)	$3 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
เตตราซิลิเกตซีเมนต์ อลูมิเนียมเฟอร์ไรต์ (Tetracalcium Aluminoferrite)	$4 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

2.3.1. สารประกอบหลัก

1. ไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) เป็นสารประกอบที่มีรูปร่างเป็นผลึก 6 เหลี่ยม มีสีเทาเข้ม คุณสมบัติของ ไตรแคลเซียมซิลิเกต เหมือนกับคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เมื่อผสมกับน้ำจะแข็งตัวภายใน 2-3 ชั่วโมง และจะมีกำลังอัดเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงสัปดาห์แรก การเกิดปฏิกิริยากับน้ำจะให้ความร้อน 500 จูลต่อกรัม
2. ไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) เป็นสารประกอบที่มีรูปร่างกลม โดยไดแคลเซียมซิลิเกต มีหลายรูปแบบ แต่มีเพียง βC_2S เท่านั้นที่อยู่ตัว ณ อุณหภูมิทั่วไป มีคุณสมบัติยืดเกาะ เมื่อผสมกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยปล่อยความร้อน 25 จูลต่อกรัม เมื่อแข็งตัวจะพัฒนากำลังอัดอย่างช้า ๆ แต่ในระยะยาวจะได้กำลังอัดใกล้เคียงกับไตรแคลเซียมซิลิเกต ปริมาณไดแคลเซียมซิลิเกต มีประมาณ 15 – 35 %
3. ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A) เป็นสารที่มีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุม สีเทาอ่อน ไตรแคลเซียมอลูมิเนต จะทำปฏิกิริยากับน้ำทันทีทำให้เกิดการเซตตัวทันทีและเกิดความร้อนขึ้นเป็นจำนวนมากประมาณ 850 จูลต่อกรัม การป้องกันการเซตตัวทันทีทำได้โดยการเติมยิปซั่มลงไประหว่างการบดเม็ดปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีปริมาณ ไตรแคลเซียมอลูมิเนตอยู่ในปริมาณ 7- 15 %
4. เตตราอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (C_4AF) ทำปฏิกิริยากับน้ำได้รวดเร็วมากและก่อตัวภายในไม่กี่นาที ความร้อน 420 จูลต่อกรัม กำลังอัดของเตตราอลูมิโนเฟอร์ไรท์ค่อนข้างต่ำ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมีเตตราอลูมิโนเฟอร์ไรท์ อยู่ในปริมาณ 5- 10%

คุณสมบัติของสารประกอบหลักทั้งสี่ชนิดสรุปได้ดังตารางที่ 2.3. และกราฟรูปที่ 2.2



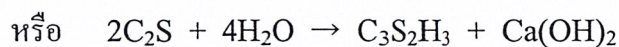
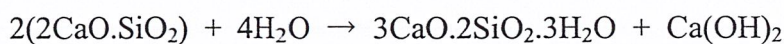
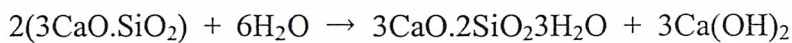
รูปที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติของสารประกอบหลักในซีเมนต์ (concrete technology, CPAC)

2.3.2 ปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์

การก่อตัวและแข็งตัวเกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันขององค์ประกอบหลักของซีเมนต์ เรา
จะแยกพิจารณาปฏิกิริยาไฮเดรชันของสารประกอบหลักของซีเมนต์ดังนี้

2.3.2.1. ปฏิกิริยาไฮเดรชันของคัลเซียมซิลิเกต (C₃S , C₂S)

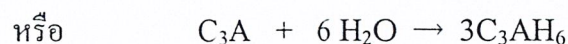
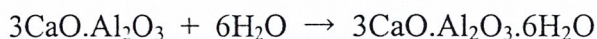
เมื่อคัลเซียมซิลิเกตทำปฏิกิริยากับน้ำจะก่อให้เกิด Ca(OH) และ Calcium Silicate Hydrate (CSH) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวประสานสมการการเกิดปฏิกิริยาเป็นดังนี้



จากปฏิกิริยาไฮเดรชันนี้จะทำให้เกิดเจลซึ่งเมื่อแข็งตัวจะมีลักษณะสำคัญสองประการคือ โครงสร้างไม่สม่ำเสมอและมีรูพรุน องค์ประกอบทางเคมีของ CSH ขึ้นกับ อายุ อุณหภูมิ และอัตราน้ำต่อซีเมนต์ Ca(OH)₂ ที่เกิดขึ้นจะทำให้คอนกรีตเป็นด่างอย่างมากและยังสามารถทำปฏิกิริยากับสารปอซโซลานได้ต่อไปซึ่งจะกล่าวในภายหลัง

2.3.2.2. ปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรคัลเซียมอลูมิเนต (C₃A)

จะเกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วและก่อให้เกิดการแข็งตัวอย่างรวดเร็วของซีเมนต์เพสต์ ดังสมการ



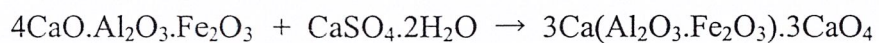
เพื่อหวังไม่ให้เกิดปฏิกิริยานี้เกิดอย่างรวดเร็ว จึงใส่ยิปซัมเข้าไประหว่างกระบวนการบดปูนเม็ด ยิปซัมจะทำปฏิกิริยากับไตรคัลเซียมอลูมิเนต ก่อให้เกิดชั้นของ Ettringite บนผิวของอนุภาคไตรคัลเซียมอลูมิเนต ดังสมการ



ชั้นของ Ettringite ก่อให้เกิดการหน่วงตัว ของไตรแคลเซียมอลูมิเนตและทำให้การก่อตัวในช่วงแรกขึ้นกับปฏิกิริยาของ C₂S และ C₃S เป็นส่วนใหญ่

2.3.2.3.ปฏิกิริยาไฮเดรชันของ อลูมิโนเฟอร์ไรท์ (C₄AF)

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของเตตราอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (C₄AF) จะเกิดในช่วงต้น โดยจะทำปฏิกิริยากับยิปซัมและ Ca(OH)₂ ก่อให้เกิดอนุภาคที่มีรูปร่างเหมือนเข็มของ Sulphoaluminate และ Solphooferritr ดังสมการ



เวลาที่สารประกอบหลักใช้ทำปฏิกิริยา 80% เป็นดังตารางที่ 2.3

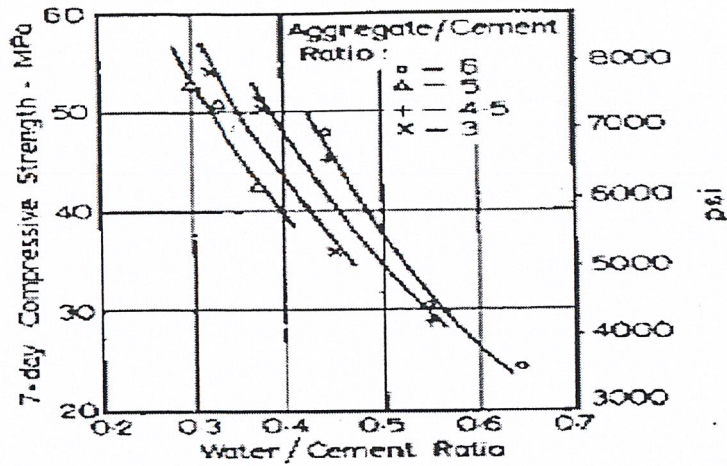
ตารางที่ 2.3.แสดงเวลาที่สารประกอบหลักใช้ทำปฏิกิริยา 80%

สารประกอบหลัก	เวลา (วัน)
C ₃ S	10
C ₂ S	100
C ₃ A	6
C ₄ AF	50

2.4.ปริมาณและคุณสมบัติของมวลรวม

2.4.1.อัตราส่วนมวลรวมต่อซีเมนต์

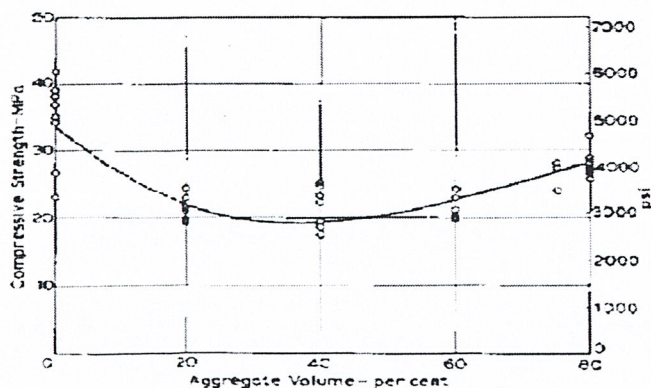
สัดส่วนของปริมาณหินมีผลต่อกำลังของคอนกรีตในช่วงกำลังปานกลางถึงช่วงกำลังสูง (ประมาณ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร(35 เมกกะปาสกาล) หรือมากกว่าขึ้นไป) แม้ว่าอัตราส่วนมวลรวมต่อซีเมนต์เป็นเพียงปัจจัยรองแต่ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์คงที่ส่วนผสมที่ใช้ซีเมนต์น้อยกว่าจะมีกำลังสูงกว่าดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3. แสดงผลของอัตราส่วนมวลรวมต่อซีเมนต์กับกำลังของคอนกรีต (A.M.Nevill, 1981 citting singh, 1958)

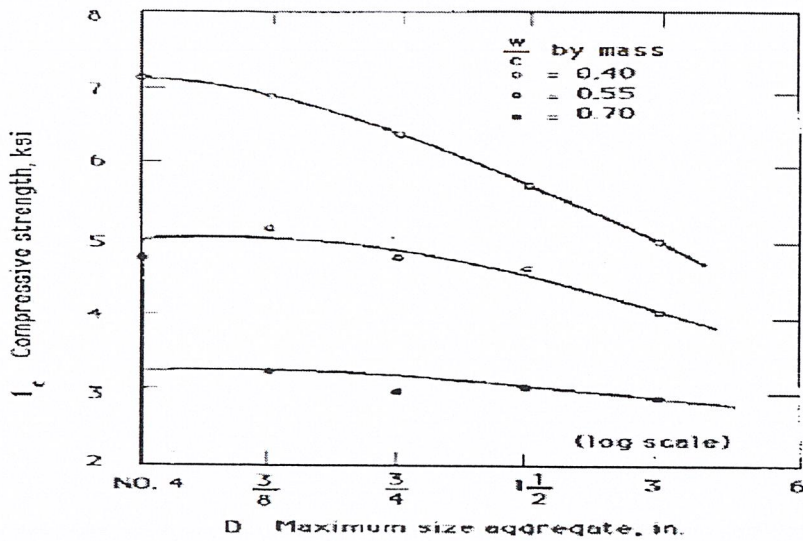
เหตุผลที่อธิบายปรากฏการณ์นี้ยังไม่เป็นที่แน่นอน ในบางกรณีจะมีน้ำบางส่วนถูกดูดซับโดยมวลรวมฉะนั้นถ้ามีปริมาณมวลรวมอยู่มากในส่วนผสมก็จะมีน้ำถูกดูดซับไปมากด้วยทำให้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ลดลงทำให้คอนกรีตมีกำลังสูงขึ้น หรือในอีกกรณีหนึ่งถ้ามีมวลรวมมากการหดตัวและการเย็นลดลงดังนั้นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวลรวมกับกับซีเมนต์เพสต์จะถูกรบกวนน้อยลง

จากการศึกษาผลกระทบของปริมาณมวลรวมต่อกำลังของคอนกรีตที่คุณภาพของซีเมนต์เพสต์เดียวกัน (เช่น อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากัน) เมื่อปริมาตรมวลรวม (เป็นอัตราส่วนปริมาตรมวลรวมต่อปริมาตรคอนกรีตทั้งหมดหน่วยเป็น %) เพิ่มจาก 0 ถึง 20 คอนกรีตจะค่อย ๆ ลดกำลังลงแต่ช่วง 40 ถึง 80 กำลังของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.4 เหตุผลนั้นยังไม่ชัดเจนแต่เกิดขึ้นกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์หลายๆ ค่า

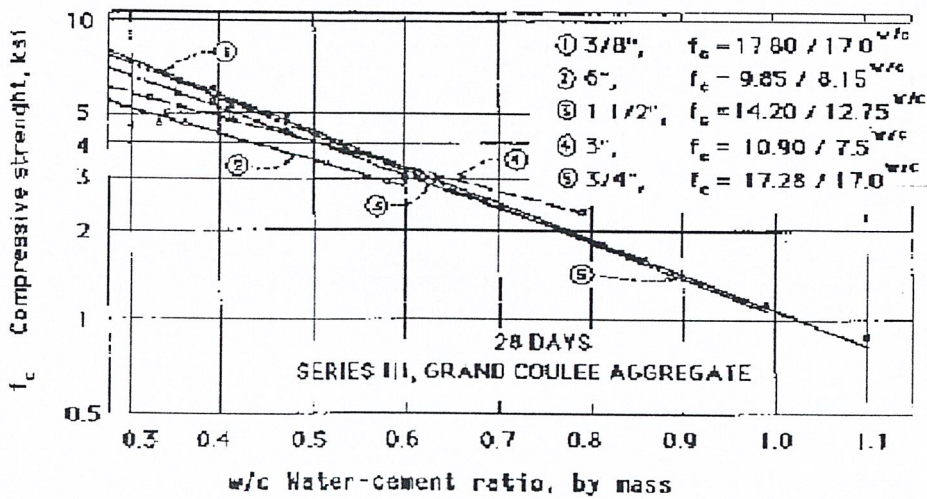


รูปที่ 2.4. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดทรงกระบอก และปริมาตรของมวลรวมที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์คงที่ ซึ่งเท่ากับ 0.5 (A.M.Nevill, 1981 citting Stock, 1979)

2.4.2 ขนาดใหญ่สุดและขนาดละเอียด



รูปที่ 2.5 แสดงผลของขนาดใหญ่สุดของมวลรวมต่อกำลังของคอนกรีต (Povics, 1998 citing Cordon and Gillespie, 1963)



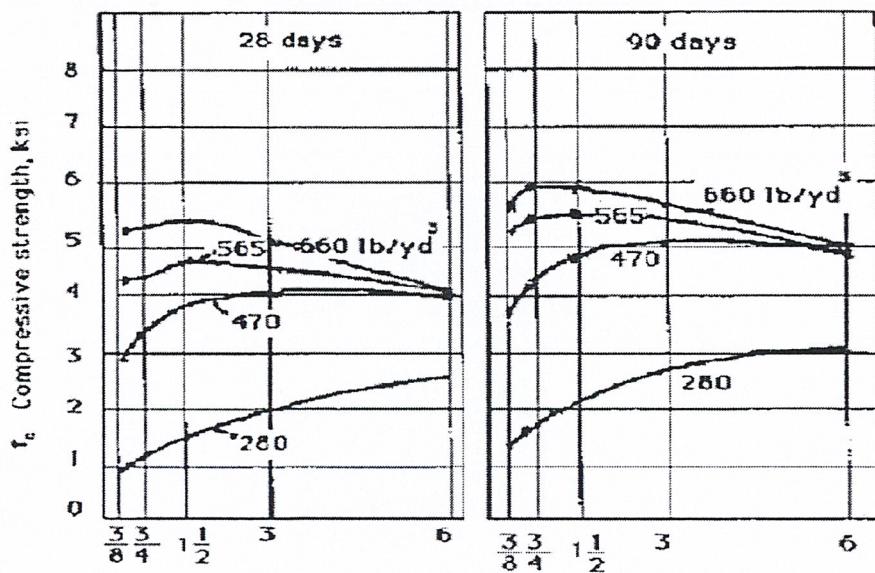
รูปที่ 2.6 แสดงกำลังอัดที่ 28 วัน กับขนาดใหญ่สุดของมวลรวมที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่าง ๆ (Povics, 1998 citing Higginson, Wallace, and Ore, 1963)

จากรูปที่ 2.5. และ 2.6. แสดงกำลังของคอนกรีต (comparable concrete) กับขนาดใหญ่สุดของมวลรวม การทดลองอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกันให้ผลสรุปคล้าย ๆ กัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ คำอธิบายที่น่าจะเป็นที่สุดคือแรงยึดเหนี่ยวของมวลรวมขนาดใหญ่กับซีเมนต์เพศที่น้อยกว่ามวลรวมขนาดเล็กเพราะว่าพื้นผิวจําเพาะน้อยกว่า

แต่ในทางปฏิบัติการที่กำลังลดลงเพราะการเพิ่มขนาดใหญ่สุดของมวลรวมนั้นมีผลน้อยเพราะในคอนกรีตที่มีความชันเหนียวเท่ากัน (identical consistency) เช่นมีค่ายุบตัวเท่ากันเมื่อขนาดใหญ่สุดของมวลรวมก็ต้องบกรน้ำเพื่อให้ได้ความชันเหนียว (เช่นค่ายุบตัว) น้อยลง โดยเฉพาะหินขนาดเล็กซึ่งทำให้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ลดลงและมีผลมากในกรณีที่ใช้ซีเมนต์น้อย

ผลจากปริมาณซีเมนต์มีผลกับความสัมพันธ์ของกำลังกับขนาดใหญ่สุดด้วยผลรวมจากผลการลดลงของกำลังอัด (ณ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์คงที่) กับการใช้น้ำน้อยลง (อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์น้อยลง) จะมีผลมากกับคอนกรีตกำลังสูงซึ่งมีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำและปริมาณซีเมนต์สูงและเมื่อขนาดใหญ่สุดของมวลใหญ่ด้วย ดังรูปที่ 2.7.

หรือในทางกลับกันการใช้มวลรวมขนาดใหญ่ขึ้นจะเพิ่มกำลังคอนกรีตเมื่อความชันเหนียวเท่ากันและใช้ซีเมนต์ปริมาณน้อยจะเน้นคอนกรีตที่มีปริมาณซีเมนต์เพสท์และความชันเหนียวที่กำหนดมาให้ค่าหนึ่งจะมีมวลรวมใหญ่สุดขนาดหนึ่งที่ทำให้กำลังได้สูงสุด

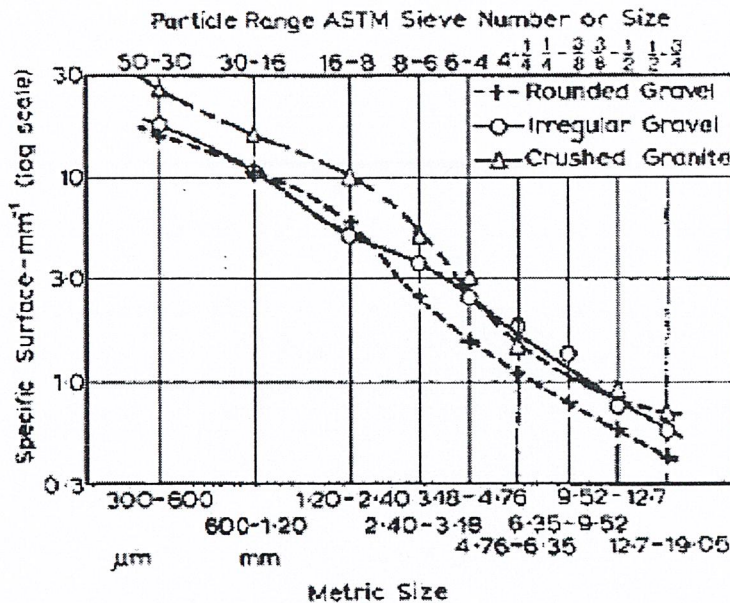


รูปที่ 2.7. แสดงผลของปริมาณซีเมนต์และมวลรวมใหญ่สุดกับกำลังอัดของคอนกรีตที่มีค่ายุบตัวเท่ากัน , กำลังอัดที่ 28 และ 90 วัน (Povics, 1998 citing Higginson, et al., 1963)

สำหรับเรื่องขนาดใหญ่สุดของมวลรวมที่มีผลกับกำลังคอนกรีตในโครงการเนื่องจากข้อมูลที่รวบรวมมาได้มีขนาดมวลรวมใหญ่สุดเพียงขนาดเดียวคือ $\frac{3}{4}$ นิ้ว เท่านั้นจึงไม่อาจนำไปใช้ใน ระบบประสาทเทียมได้ประกอบกับขนาดใหญ่สุดของมวลรวมเพียงอย่างเดียวไม่อาจบอกคุณสมบัติของมวลรวมได้ทั้งหมดจึงไม่ได้นำขนาดใหญ่สุดของมวลรวมมาประกอบการพิจารณา

2.4.3. พื้นที่ผิวจำเพาะของมวลรวม

สมมุติให้มวลรวมมีรูปร่างอย่างง่าย ๆ เช่นเป็นทรงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง D จะได้ อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรเป็น $\frac{6}{D}$ อัตราส่วนนี้, อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตร (หรืออัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อมวลถ้ามวลรวมมีความถ่วงจำเพาะคงที่) เรียกว่าพื้นที่ผิวจำเพาะ สำหรับมวลรวมที่มีรูปร่างอย่างอื่นนอกเหนือจากทรงกลมสัมประสิทธิ์จะไม่ใช่ $\frac{6}{D}$ แต่พื้นที่ผิวจำเพาะยังคงเป็นส่วนกลับกับขนาดมวลรวมดังแสดงในรูปที่



รูปที่ 2.8. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวจำเพาะกับขนาดของมวลรวม(Nevill, 1995 citting Shacklock, and Wallker, 1958)

ในกรณีของมวลรวมขนาดละเอียดและพื้นที่ผิวมีความสัมพันธ์กันแม้ว่าจะมี grading curve หลายโค้งที่ให้ค่าพื้นที่ผิวทั้งหมดเท่ากันก็ตามถ้าเกรดมีขนาดใหญ่ขึ้นพื้นที่ผิวทั้งหมดจะลดลง และน้ำที่ใช้ก็จะน้อยลง จะเห็นว่าถ้าเรามีขนาดละเอียดเราสามารถหาพื้นที่ผิวทั้งหมดของมวลรวมได้โดยใช้พื้นที่ผิวจำเพาะเป็นพารามิเตอร์ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวประมาณจำนวนน้ำที่ใช้ผสมเพื่อให้ได้ความสามารถในการเทได้ที่ต้องการ

การออกแบบส่วนผสมโดยใช้พื้นที่ผิวจำเพาะมีขึ้นครั้งแรกโดย Edwards (L.N. Edwards, Proportioning the mortar and concrete by surface area of aggregate ,

Proc.ASTM, 18, part 2, pp.235-302 (1918) ซึ่งย้อนไปถึงปี 1918 แต่เป็นที่เริ่มสนใจกันในอีก 40 ปีให้หลัง พื้นที่ผิวจำเพาะสามารถหาได้โดยวิธีวอเตอร์เพอมีเอบิลิตี (water permeability) และไม่มีวิธีทดสอบที่ทำในสนามได้ง่าย ๆ และวิธีการคำนวณทางคณิตศาสตร์ก็ทำได้ยากเพราะความผันแปรของรูปร่างมวลรวม อย่างไรก็ตามไม่ใช่เฉพาะเหตุผลนี้เท่านั้นที่ทำให้การออกแบบโดยใช้พื้นที่ผิวจำเพาะไม่เป็นที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป การคำนวณพื้นที่ผิวจำเพาะไม่สามารถใช้ได้กับมวลรวมที่เล็กกว่า 150 μm (No.100 ASTM) และปูนซีเมนต์อนุภาคเหล่านี้พบว่าเป็นตัวหล่อลื่นในส่วนผสมและดูเหมือนว่าไม่ต้องการน้ำเหมือนอนุภาคหยาบกว่า ดังการทดลองของ Glanvill, et, all (3.18)

เนื่องจากการใช้พื้นที่ผิวจำเพาะจะประมาณความสามารถในการเทพิดพิลาตเนื่องจากผลของการประมาณพื้นที่ผิวของอนุภาคละเอียดมากเกินไป Murdock (3.19) จึงแนะนำให้ใช้ดัชนีพื้นผิว (surface index) ดังแสดงในตารางที่ 2.3.1 ค่าในตารางได้มาจากการทดลอง

Table 3.19 Relative Values of Surface Area and Surface Index

Particle size fraction	ASTM sieve No.	Relative surface area	Murdock's surface index ^{3.19}
76.2-38.1 mm	3-1½ in.	½	½
38.1-19.05 mm	1½-¾ in.	1	1
19.05-9.52 mm	¾-½ in.	2	2
9.52-4.76 mm	½-¼ in.	4	4
4.76-2.40 mm	¼ in.-8	8	8
2.40-1.20 mm	8-16	16	12
1.20 mm-600 μm	16-30	32	15
600-300 μm	30-50	64	12
300-150 μm	50-100	128	10
<150 μm	<100	—	1

ตารางที่ 2.4. แสดงสัมประสิทธิ์ของเมอร์ดีค(Neville, 1981)

ผลของพื้นที่ผิวทั้งหมดของมวลรวมหาได้จากการคูณร้อยละของมวลรวมขนาดแต่ละขนาดด้วยสัมประสิทธิ์จากนั้นรวมผลคูณทั้งหมดเข้าด้วยกัน

จากการทดลองของ Davey (Davey, 1954) พบว่าที่พื้นที่ผิวจำเพาะเดียวกันกำลังและความต้องการน้ำจะเท่ากันซึ่งเกิดในขนาดละเอียดเป็นช่วงกว้างและกับขนาดละเอียดที่ต่อเนื่องและขาดช่วง ดังแสดงในตารางที่ 2.5

และสำหรับพื้นที่ผิวจำเพาะที่เพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์คงที่พบว่าทำให้กำลังคอนกรีตลดลง ดังแสดงในตารางที่ 2.6 (Newman and Teychenn'e) ส่วนสาเหตุยังไม่แน่ชัดแต่อาจเป็นทำให้ความหนาแน่นของคอนกรีตลดลงตารางที่

ตาราง 2.5 .แสดงคุณสมบัติของคอนกรีตที่ผสมด้วยมวลรวมที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากัน(Davey, 1954)

Aggregate grading, per cent																	
Size fraction	300-	600-	1.20 mm-	2.40-	4.76-	9.52-	19.05-	Specific surface m ² /kg	Water/cement ratio	Compressive strength		Modulus of rupture					
	150 μm	300 μm	600 μm	1.20 mm	2.40 mm	4.76 mm	9.52 mm			7 days	28 days	7 days	28 days				
ASTM	50-100	30-50	16-30	8-16	7 ⁵ -8	7 ⁵ -16	7 ⁵ -30			MPa	psi	MPa	psi				
Grading																	
A	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2	22.0	22.0	3.2	0.575	23.7	3440	32.9	4770	3.72	539	4.38	636
B	12.9	12.9	12.9	0	0	30.6	30.7	3.2	0.575	24.2	3510	32.3	4690	3.74	543	4.48	651
C	15.4	15.4	0	0	0	34.6	34.6	3.2	0.575	24.6	3570	32.8	4760	3.84	557	4.54	659
D	25.4	0	0	0	0	0	74.6	3.2	0.575	23.3	3380	32.1	4650	3.46	502	4.16	603

ตารางที่ 2.6.แสดงพื้นที่ผิวจำเพาะและกำลังของคอนกรีต ผสมด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.6 และอัตราส่วน 1:6 (ซีเมนต์ : มวลรวมหยาบ) (Nevill, 1995 citing Newman, and Teychenne, Aclassification of sand and its use in concrete mix design, pp. 93 – 175)

พื้นที่ผิวจำเพาะของมวลรวม (m ² /kg)	กำลังที่ 28 วัน		ความหนาแน่นของคอนกรีต	
	Mpa	psi	kg/m ³	Lb/ft ³
2.24	36.1	5240	2330	145.5
2.80	34.9	5060	2325	145.1
4.37	30.3	4390	2305	144.0
5.71	27.5	3990	2260	141.0

2.5.สารผสมเพิ่ม

สารผสมเพิ่มหรือน้ำยาผสมคอนกรีตหมายถึงสารใด ๆ นอกเหนือไปจากน้ำ ซีเมนต์ หิน ทราย อันใช้เติมลงไปเพื่อปรับปรุงหรือเพิ่มประสิทธิภาพของคอนกรีตที่ยังเหลวหรือแข็งตัวแล้วให้ได้คุณสมบัติตามต้องการ

สารผสมเพิ่มแบ่งได้เป็นกลุ่มใหญ่ ๆ สี่กลุ่มคือ

1. สารกักกระจายฟองอากาศ ใช้เพื่อเพิ่มความทนทานของคอนกรีตในกรณีที่คอนกรีตต้องสัมผัสกับ

สภาพเย็นจัด เช่น ในพื้นที่ห้องเย็นหรือในบริเวณที่มีหิมะปกคลุมบางช่วงเวลาและสารผสมเพิ่มนี้ยังปรับปรุงความสามารถในการใช้งานของคอนกรีตในสภาพเหลว

2. สารเคมีผสมคอนกรีตเป็นสารประกอบ ที่ละลายที่เติมลงไปในส่วนผสมคอนกรีตเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติบางประการของคอนกรีต เช่น เพื่อลดปริมาณน้ำในส่วนผสม ควบคุมการก่อตัวและแข็งตัวหรือปรับปรุงความสามารถในการใช้งานของคอนกรีตเป็นต้น
3. สารประกอบแร่ธาตุผสมเพิ่มมีลักษณะเป็นผงละเอียดใช้ปรับปรุงความสามารถในการใช้งานเพิ่มความคงทนทำให้คอนกรีตมีคุณสมบัติในการเกาะตัวดีขึ้นและยังสามารถใช้แทนปูนซีเมนต์ได้บางส่วน
4. สารผสมเพิ่มอื่น ๆ ได้แก่ สารผสมเพิ่มอื่น ๆ ที่ไม่จัดอยู่ในสามประเภทแรก ซึ่งผลิตมาเพื่อใช้งานบางอย่างเท่านั้น เช่น สารกันซึม สี เป็นต้น

สารผสมเพิ่มที่มีในข้อมูลคอนกรีตที่มีได้แก่ สารลดน้ำและยึดเวลาก่อตัว และ ชี้อัดลอย

2.5.1. สารลดน้ำ

สารลดน้ำเป็นสารเคมีผสมคอนกรีตที่ใช้เพื่อลดปริมาณน้ำในส่วนผสม โดยยังคงได้ความชื้นเหลวตามที่ต้องการ เนื่องจากสามารถลดปริมาตรน้ำได้ การใช้สารลดน้ำสามารถใช้ได้สามกรณีคือนอกจากนี้สารลดน้ำบางชนิดจะมีคุณสมบัติยึดเวลาก่อตัวด้วย

1. ใช้สารลดน้ำโดยไม่เปลี่ยนส่วนผสมคอนกรีตจะทำให้คอนกรีตเหลวมากขึ้น
2. ลดปริมาตรน้ำลงโดยให้ความชื้นเหลวเท่าเดิมจะทำให้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำลงทำให้ คอนกรีตมีกำลังสูงขึ้น
3. ลดปริมาณน้ำและซีเมนต์ลงโดยให้มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่าเดิม ซึ่งจะใช้ซีเมนต์เพื่อลดลงราคาของคอนกรีตจะถูกลง

2.5.1.1. องค์ประกอบของสารลดน้ำ

สารลดน้ำได้มาจากสารประกอบหลักสามชนิดคือ

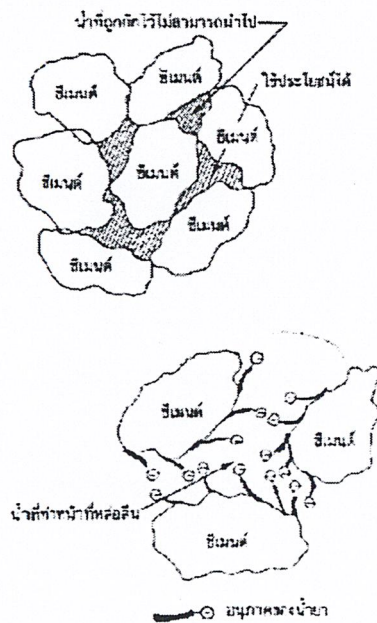
1. เกลือและสารประกอบของ Lisgnosulphonate
2. เกลือและสารประกอบของ Hydroxycarboxylic Acid

3. polymer เช่น Hydroxylate Polymer

โดยที่สารลดน้ำทั่วไปทำมาจากสารสองชนิดแรก คือ เกลือและสารประกอบของ Lisgnosulphonate และ เกลือและสารประกอบของ Hydroxycarboxylic Acid

2.5.1.2. ลักษณะการทำงานของสารลดปริมาณน้ำ

สารลดปริมาณน้ำจะเปลี่ยนของผิวต่อระหว่างน้ำกับของแข็งในคอนกรีตสด ปรกติอนุภาคต่าง ๆ ในคอนกรีตจะมีประจุไฟฟ้าเหลืออยู่บนผิวซึ่งอาจจะเป็นบวกหรือลบก็ได้ อนุภาคที่มีประจุจะดึงดูดกันเป็นกลุ่มก้อนทำให้คุดน้ำได้เป็นจำนวนมากและทำให้เหลือน้ำหล่อลื่นคอนกรีตจำนวนน้อย สารลดน้ำจะทำให้ประจุเป็นกลางหรือเป็นประจุเดียวกันจึงเกิดแรงผลักรังกันและกันและแยกตัวกันในเนื้อเพสต์น้ำที่ผสมในเพสต์ส่วนใหญ่จึงสามารถใช้ลดความหนืดของเพสต์ได้ ดังแสดงในรูปที่



รูปที่ 2.9. แสดงลักษณะการทำงานของสารลดน้ำ (concrete technology, CPAC)

2.5.1.3. ผลของสารลดปริมาณน้ำที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต

โดยแบ่งเป็นผลของสารลดปริมาณน้ำที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตสด และคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว ดังนี้คือ

1. ผลต่อคอนกรีตสด

- ลดปริมาณน้ำที่ต้องใช้เพื่อให้ได้ความชื้นเหลวเท่ากันดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น
- อัตราการเสียน้ำค่าอุบัตว์ในช่วงแรกจะมากกว่าคอนกรีตทั่วไป
- สารลดน้ำที่มาจากเกลือของ Hydroxycarboxylic Acid มีแนวโน้มที่จะก่อให้เกิดการซึมโดยเฉพาะ
คอนกรีตที่มีค่าอุบัตว์มาก
- สารลดน้ำที่มาจาก Lisgnosulphonate จะลดการซึมเนื่องจากจะเกิดฟองอากาศขึ้นเล็กน้อย
ประมาณ
1-3 %
- โดยทั่วไปสารลดน้ำจะหน่วงการก่อตัวเล็กน้อย

2.ผลต่อคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

- ถ้าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากัน(และส่วนผสมอื่น ๆ เหมือนกัน)คอนกรีตที่ใส่สารลดน้ำจะให้กำลัง
สูง
กว่าคอนกรีตทั่วไปเล็กน้อยเนื่องจากอนุภาคซีเมนต์กระจายตัวดีในส่วนผสม
- การหดตัวและการคืบตัวจะไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อความสามารถในการเทได้และกำลังอัดที่ 28 วันเท่า
กัน

2.5.2.สารยืดเวลาการก่อตัว

สารยืดเวลาการก่อเป็นสารที่หน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชัน ซึ่งเป็นการหน่วงการก่อตัวของคอนกรีตด้วยสารยืดเวลาการก่อจะยืดเวลาการก่อตัวทั้งการก่อตัวเริ่มต้นและเวลาก่อตัวสุดท้าย คอนกรีตที่ใช้ปริมาณซีเมนต์จะยืดเวลาการก่อตัวได้มากกว่าที่ใช้ซีเมนต์มาก

2.5.2.1.องค์ประกอบของสารยืดเวลาการก่อตัว

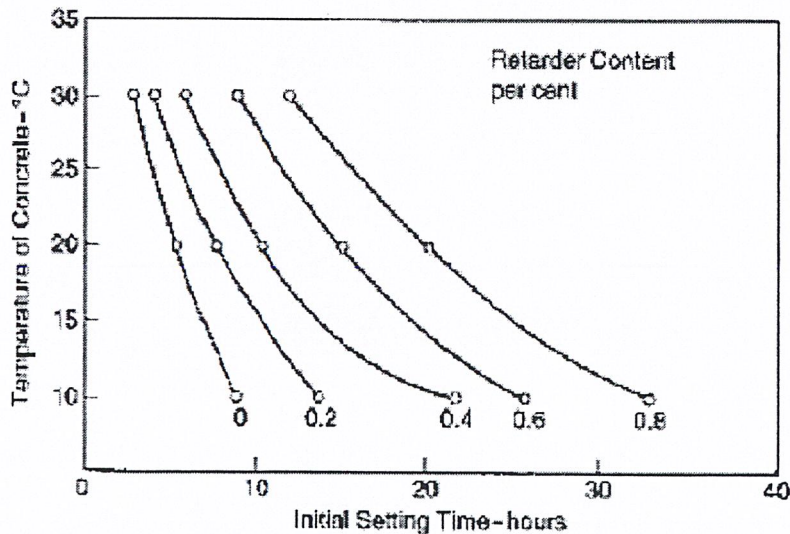
แบ่งเป็นสี่ประเภทตามองค์ประกอบทางเคมีดังนี้

1. กรด Lignosulphonic และเกลือของมัน
2. กรด Hdroxycarbolic และเกลือของมัน
3. น้ำตาลและสารประกอบน้ำตาล
4. เกลืออนินทรีย์

2.5.2.2. ลักษณะการทำงานของสารยัดเวลาการก่อตัว

มีหลายทฤษฎีอธิบายการทำงานของสารผสมเพิ่มชนิดนี้ แต่ทฤษฎีที่สำคัญสามารถอธิบายการทำงานของสารผสมเพิ่มนี้คือสารผสมเพิ่มชนิดยัดเวลาการก่อตัวจะถูกดูดซับไว้ที่ผิวของอนุภาคซีเมนต์ส่งผลให้อัตราการซึมผ่านของน้ำเข้าไปทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ลดลงนั่นคือการหน่วงเวลาการก่อตัวของคอนกรีต ปัจจัยที่ส่งผลต่อการทำงานของสารยัดเวลาการก่อตัวได้แก่

1. ชนิดและปริมาณของสารที่ใช้
2. ชนิดของซีเมนต์และสารประกอบสำหรับซีเมนต์ที่มี C_3A มากจะยัดเวลาการก่อตัวได้มากขึ้นเนื่องจากมี ยิปซัม , เมื่อยิปซัมทำปฏิกิริยากับ C_3A แล้วมันจะไม่ดูดซับสารยัดเวลาการก่อตัว
3. เวลาที่เติมสารยัดเวลาการก่อตัวความสามารถในการยัดเวลาการก่อตัวจะดีขึ้นถ้าใส่สารนี้ 2-3 นาทีหลังจากการใส่น้ำผสม และจะให้ผลเต็มที่เมื่อเติม 10 นาทีหลังผสม ถ้าหากว่าเติมหลัง 2-4 ชั่วโมงจะไม่มีผลในการยัดเวลาการก่อตัว ปริมาณการใช้สารนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น
4. อุณหภูมิสารยัดเวลาการก่อตัวจะมีผลน้อยลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.10. และตารางที่ 2.7.



รูปที่ 2.10. แสดงผลของอุณหภูมิต่อการเซตตัวเริ่มต้นของคอนกรีตที่ผสมสารหน่วงการก่อตัว

Table 5.2 Influence of Air Temperature on the Retardation of the Initial Setting Time of Concrete* by Water-reducing and Set-retarding Admixtures^{5,10} (Copyright ASTM-reproduced with permission)

ASTM C 494-92 Type	Nature of admixture	Retardation in initial setting time (h:min) at temperature of:		
		30°C (86°F)	40°C (104°F)	50°C (122°F)
D	Sodium salt of hydroxylic acid	4:57	1:15	1:10
D	Lignin-based calcium salt	2:20	0:42	0:53
D	Calcium-lignosulfonate-based	3:37	1:07	1:25
B	Phosphate-based	—	3:20	2:30

*Measured by penetration resistance according to ASTM C 403-92.

ตารางที่ 2.7 แสดงผลของอุณหภูมิของอากาศต่อการหน่วงเวลาการก่อตัวเริ่มต้นเมื่อผสมสารลดน้ำและ
หน่วงการก่อตัว

2.5.1.3. ผลของสารยัดเวลาการก่อตัวที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต

โดยแบ่งเป็นผลของสารยัดเวลาการก่อตัวที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตสด และ
คอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว ดังนี้คือ

1. ผลต่อคอนกรีตสด

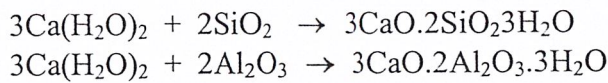
- ผลโดยตรงคือหน่วงเวลาการก่อตัวและแข็งตัวรวมเพิ่มขึ้นรวมทั้งการเสียดำยูนตัวน้อยลง
- หน่วงอัตราการความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันแต่ความร้อนจากปฏิกิริยายังคงเท่าเดิม
- มีแนวโน้มจะเกิดการหดตัว (plastic shrinkage) เนื่องจากคอนกรีตเหลวอยู่นานกว่าปกติ

2. ผลต่อคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

- กำลังอัดของคอนกรีตในช่วงแรกจะลดลงแต่หลังจาก 7 วันกำลังจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยา
- อัตราการเกิดไฮเดรชันลดลง เมื่ออัตราการเกิดไฮเดรชันเพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดโครงสร้าง(ทางกายภาพ) ของเจลที่อ่อนแอกว่า , มีความพรุนกว่าการเกิดปฏิกิริยาซ้ำ

2.5.3 ซีเมนต์ลอย

ปฏิกิริยาเคมีที่สำคัญที่สุดของPozzolanic reaction คือปฏิกิริยาของ ซิลิกาไฮดรอกไซด์ กับ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (ซึ่งเป็นสารผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์) ซึ่งจะ
ได้ผลผลิตเป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตและปฏิกิริยาระหว่างอลูมินาไฮดรอกไซด์กับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ซึ่งจะได้ผลผลิตเป็นแคลเซียมอลูมิเนทไฮเดรตดังแสดงในสมการ



สารผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นสารเชื่อมประสานเช่นเดียวกับที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์ แต่จากการศึกษาพบว่าปฏิกิริยาไฮเดรชันของคอนกรีตที่มีซีเมนต์เป็นส่วนผสมจะช้ากว่าปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์ด้วยเหตุนี้งานคอนกรีตหลายที่ใช้ซีเมนต์เป็นส่วนผสมจึงสามารถทำให้คอนกรีตระบายความร้อนได้ทัน

2.5.3.1. ประเภทของซีเมนต์

ซีเมนต์แบ่งได้เป็นสองชั้นคุณภาพตามมาตรฐาน ASTM C618-94a ‘ 1995 ได้แก่ชั้นคุณภาพ F และชั้นคุณภาพ C

ซีเมนต์ชั้นคุณภาพ F

เป็นซีเมนต์ที่มีผลรวมของซิลิกาไฮดรอกไซด์ เฟอริกออกไซด์ และอลูมินาออกไซด์มากกว่า 70 % โดยน้ำหนัก เกิดจากการเผาถ่านหินชนิดแอนทราไซต์ และบิทูมินัส มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์น้อยกว่าร้อยละ 5 ซึ่งมีคุณสมบัติในการเป็นซีเมนต์อยู่น้อยหรือแทบไม่มีเลย การพัฒนากำลังอัดในช่วงแรกจะต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดาแต่จะค่อย ๆ พัฒนากำลังจนเทียบเท่ากับคอนกรีตธรรมดาในภายหลัง

ซีเมนต์ชั้นคุณภาพ C

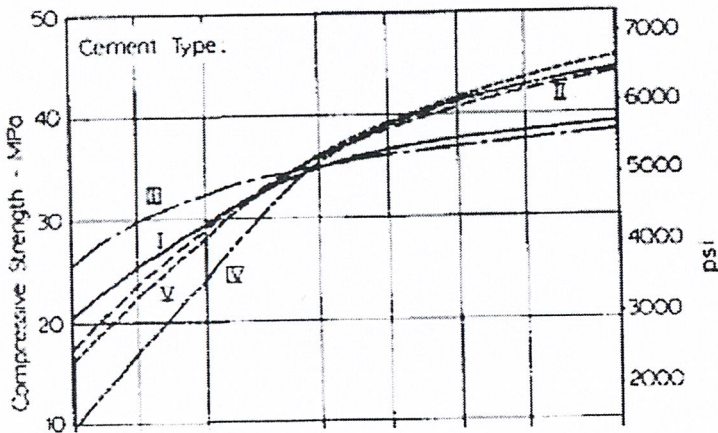
เกิดจากการเผาถ่านหินประเภทลิกไนต์ และซับบิทูมินัส มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์อยู่ประมาณร้อยละ 15 - 23 การพัฒนากำลังอัดในช่วงต้นจะรวดเร็วกว่าชั้นคุณภาพ F

คุณสมบัติ	F	C
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ร้อยละ	70	50
SO_3 มากที่สุดร้อยละ	5	5
ปริมาณความชื้นมากที่สุดร้อยละ	3	3
การสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้มากที่สุดร้อยละ	6	6
ดัชนีกำลังน้อยที่สุดร้อยละ	75	75

ตารางที่ 2.8. แสดงคุณสมบัติของซีเมนต์ลอมลอมยชั้นคุณภาพ F และ C

2.6 อายุและการบ่ม

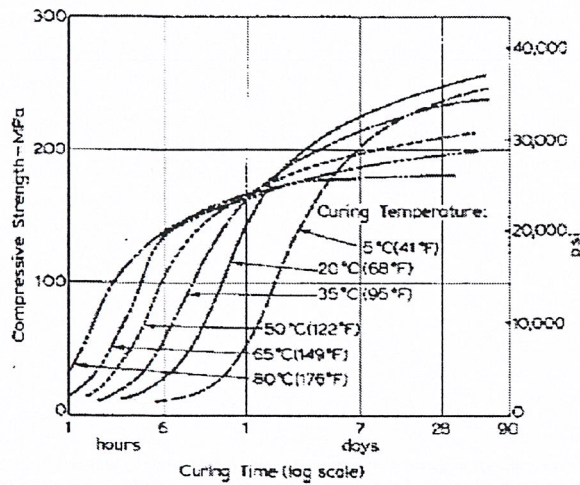
อายุของการบ่มและองค์ประกอบของซีเมนต์มีผลต่อการพัฒนากำลังของคอนกรีตเนื่องจากความแข็งแรงของคอนกรีตส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับความพรุน หรือ ช่องว่างในซีเมนต์เพสต์ที่ยังเพสต์มีความพรุนมากเท่าใดกำลังของคอนกรีตก็ยิ่งลดลงเท่านั้น



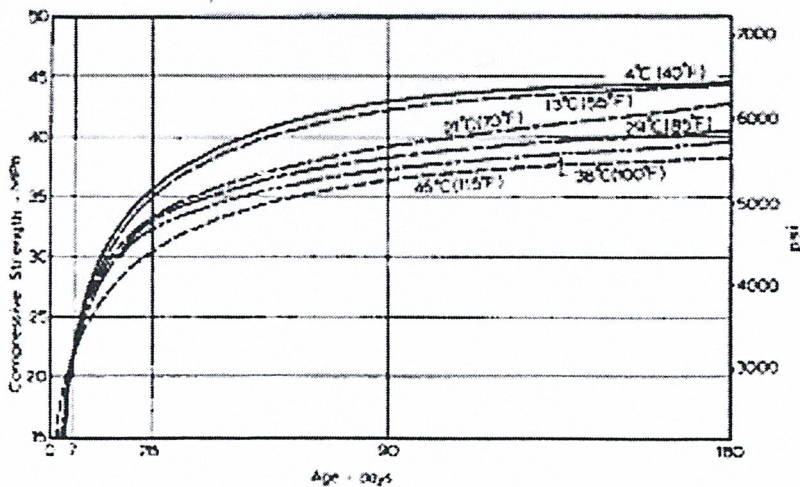
รูปที่ 2.11. แสดงการพัฒนากำลังของคอนกรีตซึ่งมีซีเมนต์ 335 กก. ต่อลูกบาศก์เมตรซึ่งผสมด้วยซีเมนต์ประเภทต่างๆ

จากรูป 2.11 จะเห็นว่าอายุของคอนกรีตมีผลต่อกำลังโดยกำลังจะเพิ่มตามอายุและยังขึ้นกับชนิดของซีเมนต์ด้วยเนื่องจากเวลาผ่านไปนานเท่าใดปฏิกิริยาไฮเดรชันจะเกิดได้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้นทำให้ช่องว่างในเพสต์ลดลง

อุณหภูมิยังส่งผลกระทบต่อการพัฒนากำลังและการอยู่ตัวของคอนกรีต ที่อุณหภูมิสูง คอนกรีตจะพัฒนากำลังในช่วงแรกได้เร็วเนื่องจากที่อุณหภูมิสูงปฏิกิริยาเคมีจะเกิดได้เร็วกว่าแต่กำลังในช่วงหลังจะลดลง ดังแสดงในรูปที่ 2.12.



รูปที่ 2.12 แสดงความสัมพันธ์ของกำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ที่บ่มที่อุณหภูมิต่าง ๆ อุณหภูมิของตัวอย่างคงที่จนถึงขณะทำการทดสอบ (Cement and Concrete Association, Research and development – Research on material, Annual Report, pp. 14 – 19 (Slough 1976))



รูปที่ 2.13 แสดงผลจากอุณหภูมิระหว่างสองชั่วโมงแรกหลังจากการหล่อต่อการพัฒนากำลังของคอนกรีต (ทุกตัวอย่างบ่มที่ 21 องศาเซลเซียสหลังจากอายุสองชั่วโมง) (Price, 1951)

นอกจากอุณหภูมิต่ำแล้วอุณหภูมิในช่วงแรกของการพัฒนากำลังยังส่งผลกระทบต่อพัฒนา กำลังของคอนกรีตอีกด้วยดังแสดงในรูปที่ 2.13 ซึ่งเป็นเช่นนี้เพราะอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันมีผลต่อ โครงสร้าง (ทางกายภาพ) ซีเมนต์เพสต์ โดยที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาสูง โครงสร้างของเพสต์จะอ่อนแอกว่า

, มีความพรุนมากกว่า ไม่เพียงแต่เฉพาะอุณหภูมิในการบ่มเท่านั้นอุณหภูมิในช่วงแรกในขณะที่คอนกรีตก่อตัวก็มีผลต่อกำลังของคอนกรีตเช่นกันดังการทดลองของ Verbeck และ Helmuth (Verbeck, and Helmuth, 1968) ซึ่งสังเกตว่าการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันอย่างรวดเร็วในช่วงแรกที่อุณหภูมิสูงจะหน่วงการเกิดไฮเดรชันในช่วงหลังและทำให้เกิดการกระจายตัวของผลิตภัณฑ์ไฮเดรชันเนื้อเพสต์เป็นไปอย่างไม่เป็นระเบียบ (nonuniform) เหตุผลเนื่องจากที่อัตราการเกิดไฮเดรชันสูงในช่วงแรกทำให้ไม่มีเวลาพอให้สารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยากระจายตัวออกจากเม็ดซีเมนต์และสำหรับการตกผลึกอย่างเป็นระเบียบอย่างที่เกิดในกรณีที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาช้ากว่า ดังในรูปที่ แสดงผลกระทบจากอุณหภูมิในช่วงสองชั่วโมงแรกหลังการผสมคอนกรีตต่อการพัฒนากำลังของคอนกรีตที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.53 และหลังจากสองชั่วโมงแรกคอนกรีตถูกบ่มที่ 21 °C

นอกจากนี้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์มีผลกระทบต่อการพัฒนากำลังโดยที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำอัตราการพัฒนากำลังในช่วงแรกจะเร็วแต่การอัตราการพัฒนากำลังจะลดลงเร็วกว่าในอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำกว่า

2.7 ค่ายุบตัวและความหนาแน่น

สิ่งที่ทราบกันดีว่ามีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อกำลังอัดและแต่ละปัจจัยก็ส่งผลกระทบในระดับต่าง ๆ กัน อีกทั้งมีปัจจัยบางตัวที่ไม่สามารถรวบรวมได้อย่างครบถ้วนโดยเฉพาะในทางปฏิบัติซึ่งในโครงการพิเศษนี้ใช้ฐานข้อมูลจากสนามบินสุวรรณภูมิซึ่งเป็นงานในทางปฏิบัติดังนั้นการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติของมวลรวม

สำหรับฐานข้อมูลที่รวบรวมมานั้นการทดสอบคุณสมบัติของมวลรวมคือค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของหินและทรายมีความถี่ในการเก็บข้อมูลคือสามงวดต่อเดือนหรือเฉลี่ย 10 วันต่อหนึ่งครั้งจึงไม่อาจแน่ใจได้ว่าระหว่าง 10 วันคุณสมบัติมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร อย่างไรก็ตามคุณสมบัติของมวลรวมจะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติคอนกรีตคือ ค่ายุบตัวและความหนาแน่นดังจะกล่าวต่อไป

2.7.1. ค่ายุบตัวของคอนกรีต

มีปัจจัยหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อค่ายุบตัวของคอนกรีตสดซึ่งขึ้นกับส่วนผสมและคุณสมบัติของมวลรวม สำหรับคอนกรีตที่ไม่ใช้สารกักกระจายฟองอากาศปัจจัยที่ส่งผลต่อค่ายุบตัวคือ

1. ปริมาณน้ำ
2. อัตราส่วนมวลรวมต่อซีเมนต์

3. ขนาดใหญ่สุดและขนาดคละของมวลรวม

4. รูปร่างและพื้นผิวของมวลรวม

ปริมาณน้ำและอัตราส่วนมวลรวมต่อซีเมนต์เป็นสิ่งที่ทราบค่าอยู่แล้วดังนั้นสิ่งที่กระทบกับค่ายุบตัวจึงเหลือเพียงคุณสมบัติของมวลรวมเท่านั้น คือ ขนาดใหญ่สุดและขนาดคละของมวลรวม และรูปร่างและพื้นผิวของมวลรวมอีกทั้งขนาดใหญ่สุดของมวลรวมที่ใช้เป็นฐานข้อมูลในปริญญานิพนธ์นี้มีเพียงค่าเดียวคือ $3/4$ นิ้วเท่านั้น จึงเหลือเพียงขนาดคละ , รูปร่าง และพื้นผิวของมวลรวมที่ส่งผลกระทบต่อค่ายุบตัวของคอนกรีตฉะนั้นแล้วค่ายุบตัวจึงสามารถบอกถึงคุณสมบัติของมวลรวมได้

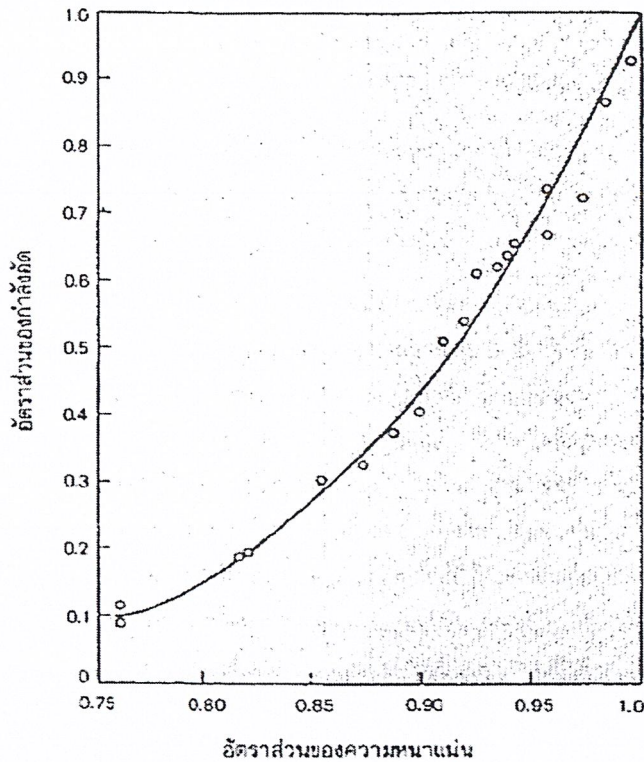
2.7.2. ความหนาแน่นของคอนกรีต

สิ่งที่ส่งต่อความหนาแน่นของคอนกรีตคือ

1. อัตราส่วนมวลรวมต่อซีเมนต์ (ซึ่งทราบค่าอยู่แล้ว)
2. ปริมาณช่องว่างหรือปริมาณอากาศในคอนกรีต
3. หน่วยน้ำหนักของมวลรวม (bulk unit weight) ที่อยู่ในเนื้อคอนกรีต
4. การอัดแน่นในการเตรียมตัวอย่างคอนกรีต

ความหนาแน่นของคอนกรีตในส่วนหนึ่งเป็นการบ่งบอกถึงการอัดแน่นของคอนกรีตซึ่งมีผลต่อกำลังโดยตรงซึ่งขึ้นกับการเตรียมตัวอย่างและความชื้นเหลวของคอนกรีต ถ้าให้อัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของคอนกรีตกับความหนาแน่นของคอนกรีตเดียวกันที่อัดแน่นเต็มที่เรียกว่า อัตราส่วนความหนาแน่นและอัตราส่วนกำลังของคอนกรีตกับกำลังของคอนกรีตเดียวกันที่อัดแน่นเต็มที่เรียกอัตราส่วนกำลังจะให้ความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 2.14

การที่มีช่องว่างในเนื้อคอนกรีตจะเป็นการลดกำลังคอนกรีตลงได้มากเมื่อมีช่องว่างเกิดขึ้น 5 % สามารถกำลังคอนกรีตลงได้ถึง 30 % ช่องว่างนี้เกิดจากสาเหตุสองประการ คือ ช่องว่างจากน้ำส่วนเกินและช่องว่างจากการจับเข้าไม่ดี ช่องว่างจากน้ำส่วนเกินจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์



รูปที่ 2.14. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความหนาแน่นกับกำลังอัดของคอนกรีต (concrete technology, CPAC)

อย่างไรก็ตามการเตรียมตัวอย่างสำหรับทดสอบย่อมมีมาตรฐานควบคุมอยู่และหน่วยงานที่ผลิตคอนกรีตเป็นหน่วยงานที่ได้รับความเชื่อถือหรือพูดได้อีกอย่างว่าการอัดแน่นของคอนกรีตเหมือนกันในทุกตัวอย่าง ดังนั้นหน่วยน้ำหนักของมวลรวม (bulk unit weight) ที่อยู่ในเนื้อคอนกรีตซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของเนื้อมวลรวมส่วนหนึ่ง , การอัดแน่นของคอนกรีตส่วนหนึ่ง และขนาดคละของมวลรวมอีกส่วนหนึ่งจึงขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของมวลรวมและขนาดคละเท่านั้น ความหนาแน่นของมวลรวมขึ้นอยู่กับชนิดของหินหรือทรายที่ใช้ผลิตมวลรวมแม้ว่าจะมีการแปรผันในส่วนนี้แต่มวลรวมที่ใช้เป็นชนิดเดียวกันและจากแหล่งเดียวกันทั้งหมดอีกทั้งความแปรผันของความหนาแน่นค่อนข้างน้อยดังตารางที่ 2.7 ดังนั้นอาจจะประมาณได้ว่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวมในคอนกรีตขึ้นอยู่กับขนาดคละของมวลรวมเองเพียงอย่างเดียว

Table 3.9 Apparent Specific Gravity of Different Rock Groups^{3,7} (Crown copyright)

<i>Rock group</i>	<i>Average specific gravity</i>	<i>Range of specific gravities</i>
Basalt	2.80	2.6–3.0
Flint	2.54	2.4–2.6
Granite	2.69	2.6–3.0
Gritstone	2.69	2.6–2.9
Hornfels	2.82	2.7–3.0
Limestone	2.66	2.5–2.8
Porphyry	2.73	2.6–2.9
Quartzite	2.62	2.6–2.7

ตารางที่ 2.9. แสดงค่าความถ่วงจำเพาะของหินชนิดต่างๆ

(Road Research, Road stone test data, D.I.S.R. Road Note No. 24 (London, H.M.S.O., 1959))

2.8. สรุป

จากข้อมูลที่ได้ในข้างต้นทำให้สามารถระบุได้ว่าปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อค่าความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีต โดยปัจจัยที่ได้สรุปนี้เป็นปัจจัยที่ได้รับจากอิทธิพลจากส่วนผสมซึ่งเป็นส่วนในด้านคุณภาพของส่วนผสม อันได้แก่ ซีเมนต์, หิน, ทราย, น้ำ, สารผสมเพิ่ม, จี๊แล้อยอีกทั้งยังมีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของมวลรวมของหิน, ทราย นอกจากนี้ยังมีส่วนของอายุของคอนกรีตที่ทำการทดสอบ ค่าการยุบตัวและค่าความหนาแน่นของคอนกรีต ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะถูกนำไปเป็นค่าตัวแปรเข้าเพื่อที่จะจัดทำเป็นฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมต่อไป

บทที่ 3

การจัดการข้อมูลและฐานข้อมูล

3.1.ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ (Management Information System : MIS)

ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ (Management Information System : MIS) เป็นระบบที่รวมความสามารถของผู้ใช้งานและคอมพิวเตอร์เข้าด้วยกัน โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ได้มาซึ่งสารสนเทศเพื่อการดำเนินงานการจัดการขององค์การโดยระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการจะต้องใช้อุปกรณ์ทางคอมพิวเตอร์ (Hardware) และโปรแกรม (Software) ร่วมกับผู้ใช้ (People-ware) เข้าด้วยกัน

การจัดโครงสร้างของสารสนเทศโดยแบ่งตามลำดับ การนำไปใช้งานสามารถแบ่งได้ 4 ระดับดังนี้

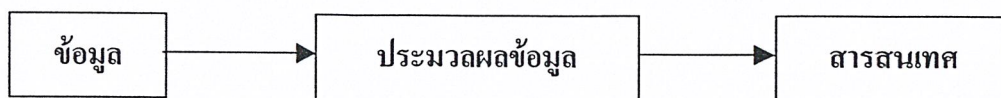
1. ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการในการวางแผนนโยบาย กลยุทธ์ และการตัดสินใจของผู้บริหารระดับสูง
2. ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการในส่วนยุทธวิธีในการวางแผนการปฏิบัติและการตัดสินใจของผู้บริหารระดับกลาง
3. ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการในระดับปฏิบัติการและการควบคุมในขั้นตอนนี้ผู้บริหารระดับล่างจะเป็นผู้ใช้สารสนเทศเพื่อช่วยในการปฏิบัติงาน
4. ระบบสารสนเทศที่ได้จากการประมวลผล

3.1.1.ระบบสารสนเทศ

ข้อมูลและสารสนเทศ เป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญ ของระบบสารสนเทศ ในที่นี้จะขอกล่าวถึงความหมายของ ข้อมูล และสารสนเทศ พอสังเขป ดังนี้

- ข้อมูล (Data) หมายถึง ข้อเท็จจริงต่าง ๆ ที่มีอยู่ในธรรมชาติ เป็นกลุ่มสัญลักษณ์แทนปริมาณหรือการกระทำต่าง ๆ ที่ยังไม่ผ่านการประมวลผล ข้อมูลอาจจะอยู่ในรูปของตัวเลข ตัวหนังสือ และท้ายที่สุดข้อมูลก็คือ วัตถุดิบของสารสนเทศ

- สารสนเทศ (Information) ได้แก่ ข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้รับการประมวลผลแล้วด้วยวิธีการต่าง ๆ เป็นความรู้ที่ต้องการสำหรับใช้ทำประโยชน์ เป็นส่วนผลลัพธ์หรือเอาต์พุตของระบบการประมวลผลข้อมูล เป็นสิ่งซึ่งสื่อความหมายให้ผู้รับเข้าใจและสามารถนำไปกระทำกิจกรรมใดกิจกรรมหนึ่งโดยเฉพาะได้ หรือเพื่อเป็นการย้ำความเข้าใจที่มีอยู่แล้วให้มีมากยิ่งขึ้น และเป็นผลลัพธ์ของระบบสารสนเทศ



รูปที่ 3.1.แสดงกระบวนการในการประมวลผลข้อมูลเพื่อสารสนเทศ

ระบบสารสนเทศจะประกอบไปด้วยส่วนนำเข้า ส่วนกระบวนการหรือส่วนประมวลผลและส่วนผลลัพธ์ ซึ่งตัวข้อมูลจะเป็นวัตถุดิบของระบบในส่วนนำเข้า เพื่อประมวลผลข้อมูลด้วยวิธีการต่าง ๆ กัน และได้สารสนเทศเป็นผลลัพธ์ของระบบสารสนเทศ ระบบสารสนเทศในปัจจุบันนี้ได้นำเอาเครื่องคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้ เพื่อให้การประมวลผลทำได้รวดเร็วขึ้น และเพื่อให้สารสนเทศที่ได้มีคุณภาพที่น่าเชื่อถือมากขึ้น

3.1.2 .ส่วนประกอบของระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ

ระบบสารสนเทศเป็นที่มีขนาดข้อมูลมีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนมาก ทำให้การบริหารข้อมูลทำได้ยาก จึงจำเป็นต้องแบ่งระบบสารสนเทศออกเป็นระบบย่อย 4 ส่วน ได้แก่

1. ระบบประมวลผลรายการ (Transaction Processing System :TPS) ระบบประมวลผลข้อมูลเป็นการนำ คอมพิวเตอร์มาจัดการข้อมูลขั้นพื้นฐานและการเก็บรักษาข้อมูล เพื่อเตรียมข้อมูลสำหรับการเชื่อมกับตัวแปรอื่นๆ
2. ระบบจัดการรายงาน (Management Reporting System :MRS) เป็นระบบที่ช่วยในการจัดเตรียมรายงานเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเตรียมข้อมูลใช้ในการพิจารณาก่อนการตัดสินใจ
3. ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support System :DSS) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการอำนวยความสะดวกในการจัดรูปแบบข้อมูล การนำข้อมูลมาใช้ และการรายงานข้อมูล เพื่อใช้ประโยชน์ในการตัดสินใจของผู้บริหาร

4. ระบบสารสนเทศสำนักงาน (Office Information System :OIS) เป็นระบบสารสนเทศที่ใช้ในสำนักงาน โดยอาศัยอุปกรณ์พื้นฐานทางคอมพิวเตอร์ และยังมีระบบความรู้ สำหรับงานที่ต้องใช้ความรู้เฉพาะทาง

3.1.3. การผลิตสารสนเทศจากข้อมูล

การผลิตสารสนเทศ มีขั้นตอนและวิธีการต่าง ๆ ในการปฏิบัติ 9 วิธี ดังนี้

1. การรวบรวม (Capturing)
ข้อมูลที่ได้จะต้องมีคุณสมบัติ สำคัญ 2 ประการ คือ ตรงตามความต้องการที่กำหนดไว้ และมีความเชื่อถือได้
2. การตรวจสอบ (Veritying)
การตรวจสอบข้อมูลเป็นการค้นหา รวบรวมข้อมูลที่ยังมีความผิดพลาดโดยทั่วไป จะกระทำได้ใน 3 ลักษณะ คือ
 - การตรวจสอบความเป็นไปได้ หรือความสมเหตุ สมผลของข้อมูล
 - การตรวจสอบความสอดคล้องกัน
 - การตรวจสอบความสัมพันธ์ของข้อมูล
3. การจำแนก (Classifying)
เป็นการจัดหมวดหมู่หรือเป็นกลุ่ม ตามคุณสมบัติของข้อมูลในลักษณะที่เหมาะสม
4. การจัดเรียงลำดับ (Arranging)
5. การสรุป (Summarizing)
6. การคำนวณ (Calculating)
7. การจัดเก็บ(Storing)
เป็นการรักษาข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลแล้วไว้ในสื่อต่าง ๆ ที่เหมาะสม เพื่อสามารถนำข้อมูลนั้นกลับมาใช้ใหม่ได้
8. การเรียกใช้ (Retrieving)
9. การเผยแพร่ (Disseminating and Reproducing)

3.1.4. คุณสมบัติของข้อมูลสารสนเทศ

สารสนเทศที่จัดว่าเป็นสารสนเทศที่ดีควรมีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ ถูกต้องทันต่อการใช้งาน ครบถ้วนสมบูรณ์ กระชับรัดกุมและตรงกับความต้องการ ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้จะเป็นตัวบ่งบอกถึงคุณภาพและคุณค่าของสารสนเทศ รายละเอียดของคุณสมบัติแต่ละข้อของสารสนเทศที่ดีควรจะเป็นมีดังนี้คือ

1. ความถูกต้อง ความถูกต้องในที่นี้หมายถึง อัตราส่วนของสารสนเทศที่ถูกต้องกับจำนวนสารสนเทศที่ผลิตขึ้นทั้งหมดในช่วงเวลาหนึ่ง ตัวอย่างเช่น มีสารสนเทศที่ถูกต้องตรงกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริงจำนวน 950 หน่วย ในจำนวนสารสนเทศทั้งสิ้น 1,000 หน่วยที่ผลิตขึ้นภายในเวลา 1 เดือน ดังนั้น ระดับความถูกต้องจะเป็น 0.95 ระดับความถูกต้องขนาดนี้จะถือว่าเพียงพอแล้วหรือไม่ขึ้นอยู่กับตัวสารสนเทศ
2. ความสมบูรณ์ ความสมบูรณ์ของสารสนเทศได้มาจาก การรวบรวมข้อเท็จจริง หรือข้อมูลที่มีอยู่อย่างกระจัดกระจายในองค์ได้ในปริมาณที่เพียงพอต่อการผลิตสารสนเทศนั้น
3. ตรงกับความต้องการ คุณสมบัติข้อนี้หมายถึง สารสนเทศนั้นคือ สารสนเทศที่ต้องการจะรู้ เป็นสารสนเทศที่สามารถสื่อความหมายให้เกิดการกระทำ ความรู้และความเข้าใจต่อผู้บริหาร ดังนั้น ถ้าหากรายงานต่าง ๆ ซึ่งครั้งหนึ่งเคยมีค่าต่อการบริหารงาน แต่ในปัจจุบันไม่เป็นสารสนเทศที่ตรงต่อความต้องการของผู้บริหารแล้ว รายงานดังกล่าวนั้นก็ไมควรถิ่นนำมาใช้งานอีกต่อไป
4. ความละเอียดแม่นยำ ได้แก่ ความละเอียดแม่นยำในการวัดข้อมูล ให้ความเชื่อถือได้สูง
5. การใช้ได้ง่าย ได้แก่ สามารถนำไปใช้ได้ง่ายและรวดเร็ว
6. ชัดเจน ซึ่งหมายถึง การมีความคลุมเครือน้อยที่สุด สามารถทำความเข้าใจได้ง่าย

3.2.การจัดการข้อมูล

การจัดการข้อมูล (Data management) ข้อมูล คือข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้นของกิจกรรมใดกิจกรรมหนึ่ง โดยการสังเกต การจดบันทึก การสัมภาษณ์และการออกแบบสอบถาม ข้อมูลที่ได้มานั้นยังคงเป็นข้อมูลดิบ ไม่สามารถที่จะนำมาใช้ในการตัดสินใจในการกระทำในเชิงการจัดการและข้อมูลที่รวบรวมมานักจะไม่มี การจัดระเบียบอาจจะมี การซ้ำซ้อนของข้อมูลหรือข้อมูลชนิดเดียวกันอาจจะขัดแย้งกัน

ก็ได้ ดังนั้นองค์การจะต้องมีการวางแผนในการจัดการบริหารฐาน ข้อมูลที่ดีจึงจะได้ประโยชน์จากข้อมูล ที่จัดเรียงเรียงไว้ การเรียงเรียงให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมต่อการนำเสนอต่อองค์กร จะถูกเรียกว่า สารสนเทศ (Information)

การจัดการข้อมูลจะมีประสิทธิภาพสูงสุด เมื่อผู้จัดการ ได้รับข้อมูลข่าวสารตามที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว ผู้จัดการจำเป็นจะต้องรู้ว่าอะไรเป็นข้อมูลที่เราสามารถหาได้และจะเข้าถึงข้อมูล นั้นได้อย่างไร การนำข้อมูลนั้นมาช่วยในการตัดสินใจ ในปัจจุบันข้อมูลและสารสนเทศที่จะใช้ในการตัดสินใจเกี่ยวกับการจัดการ ส่วนใหญ่จะถูกเก็บในรูปแบบของแฟ้มข้อมูลและฐานข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ โดยผู้บริหารระดับกลางและระดับล่างมักจะใช้แฟ้มข้อมูลและฐานข้อมูลในการดำเนินงานต่อวันและใช้ในการพัฒนาแผนประกอบ ส่วนผู้บริหารระดับสูงมักจะใช้ข้อมูลทั้งภายในและภายนอก ฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการพัฒนา การจัดทำแผนกลยุทธ์ต่างๆ จะเห็นได้ว่าบริหารทุกระดับจะได้ใช้ประโยชน์จากฐานข้อมูลเพื่อช่วยในการบริหารและการตัดสินใจ

3.2.1.แฟ้มข้อมูลและฐานข้อมูล

ข้อมูล (Stored Data)เป็นข้อมูลที่เก็บรวบรวมไว้ในระบบคอมพิวเตอร์ เพื่อจะถูกนำมาเรียกใช้เพื่อการประมวลผล โดยโปรแกรมประยุกต์ต่าง ๆ ข้อมูลที่เก็บรวบรวมไว้นี้ อาจแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ คือ

1.แฟ้มข้อมูล (File)

2.ฐานข้อมูล (Database)

ข้อมูลที่เก็บอยู่อาจเป็น แฟ้มข้อมูลเดียว หรือ หลายแฟ้มข้อมูล ส่วนฐานข้อมูลจะเป็น การรวบรวมแฟ้มข้อมูลหลาย ๆ แฟ้มข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันเก็บไว้ในที่เดียวกัน ในหน่วยเก็บข้อมูลสำรอง เช่น จานแม่เหล็ก หรือ ดิสก์ เพื่อให้บุคลากรจากหลาย ๆ หน่วยงานสามารถใช้ฐานข้อมูลร่วมกันได้ข้อมูลที่เก็บอยู่ในลักษณะแฟ้มข้อมูลจะประกอบไปด้วยข้อมูลหลาย ๆ รายการ ซึ่งแต่ละรายการเรียกว่า ระเบียบ หรือ เร็คคอร์ด และในแต่ละ เร็คคอร์ด จะประกอบไปด้วย ส่วนย่อย ๆ เรียกว่า เขตข้อมูล หรือฟิลด์

3.2.2.ระบบประมวลผลเพิ่มข้อมูลและฐานข้อมูล

ระบบการประมวลผลเพิ่มข้อมูล คือ เมื่อมีการเริ่มใช้ระบบคอมพิวเตอร์เพื่อการประมวลผลข้อมูลทางธุรกิจ เพื่อสร้างสารสนเทศนั้น จะมีการเก็บกลุ่มของระเบียบต่าง ๆ ไว้ในเพิ่มข้อมูลที่แยกจากกัน เรียกว่า เป็นระบบการประมวลผลเพิ่มข้อมูล ถึงแม้ว่าระบบการประมวลผลเพิ่มข้อมูลนี้จะเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพดีกว่าระบบที่ทำด้วยมือ เช่น เก็บข้อมูลในกระดาษ แต่ระบบเพิ่มข้อมูลยังมีข้อจำกัดหลายอย่าง

ระบบการประมวลผลฐานข้อมูล คือ จากการจำกัดของระบบการประมวลผลเพิ่มข้อมูล จึงได้มีการพยายามคิดหาเทคโนโลยีใหม่ เพื่อมาทำการประมวลผล ให้ชนะข้อจำกัดดังกล่าว เทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาขึ้นมาแทนระบบเก่า คือ ระบบการประมวลผลฐานข้อมูล หมายถึง การเก็บระบบข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันได้ในที่เดียวกันในระบบการประมวลผลฐานข้อมูล จะมีรูปแบบและวิธีการจัดการข้อมูลที่แตกต่างจากระบบเพิ่มข้อมูล คือ มีองค์ประกอบหนึ่งเพิ่มขึ้นมา จากระบบการประมวลผลเพิ่มข้อมูล ได้แก่องค์ประกอบที่เรียกว่า ระบบจัดการฐานข้อมูล หรือ DBMS (Database Management System) เป็น โปรแกรมที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องของระบบการประมวลผลเพิ่มข้อมูลในระบบการประมวลผลฐานข้อมูล เพิ่มข้อมูลต่าง ๆ จะความเกี่ยวข้องของข้อมูล และทำให้ข้อมูลถูกต้องทันสมัยอยู่ตลอดเวลา นอกจากนี้ โปรแกรมประยุกต์ที่เกี่ยวข้องยังไม่ขึ้นกับโครงสร้างข้อมูลอีกด้วยระบบจัดการฐานข้อมูล จะทำหน้าที่เหมือนตัวกลางระหว่างผู้ใช้กับฐานข้อมูล ทำหน้าที่ในการสร้าง,เรียกใช้ข้อมูล หรือ ปรับปรุงฐานข้อมูล ในการทำงานกับฐานข้อมูลจะต้องผ่านระบบจัดการฐานข้อมูลทุกครั้งไป ผู้ใช้จะออกคำสั่งผ่านระบบจัดการฐานข้อมูลแล้วระบบจัดการฐานข้อมูลก็จะทำหน้าที่ไปจัดการตามคำสั่งกับฐานข้อมูลเอง ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องทราบว่า ข้อมูลเก็บอยู่ที่ใด หรือเก็บในลักษณะใด

3.3.การจัดการระบบฐานข้อมูล

3.3.1.ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับระบบฐานข้อมูล

ฐานข้อมูลเป็นการจัดเก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบ ทำให้ผู้ใช้สามารถใช้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องในระบบงานต่าง ๆ ร่วมกันได้ โดยที่จะไม่เกิดความซ้ำซ้อนของข้อมูล และยังสามารถหลีกเลี่ยงความขัด

แย้งของข้อมูลด้วย อีกทั้งข้อมูลในระบบก็จะต้องเชื่อถือได้ และเป็นมาตรฐานเดียวกัน โดยจะมีการกำหนดระบบความปลอดภัยของข้อมูลขึ้น

นับได้ว่าปัจจุบันเป็นยุคของสารสนเทศ เป็นที่ยอมรับกันว่า สารสนเทศเป็นข้อมูลที่ผ่านการกลั่นกรองอย่างเหมาะสม สามารถนำมาใช้ประโยชน์อย่างมากมาย ไม่ว่าจะเป็นการนำมาใช้งานด้านธุรกิจ การบริหาร และกิจการอื่น ๆ องค์กรที่มีข้อมูลปริมาณมาก ๆ จะพบความยุ่งยากลำบากในการจัดเก็บข้อมูล ตลอดจนการนำข้อมูลที่ต้องการออกมาใช้ให้ทันต่อเหตุการณ์ ดังนั้นคอมพิวเตอร์จึงถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการจัดเก็บข้อมูล การประมวลผลข้อมูล ซึ่งทำให้ระบบการจัดเก็บข้อมูลเป็นไปได้อย่างสะดวก ทั้งนี้โปรแกรมแต่ละโปรแกรมจะต้องสร้างวิธีควบคุมและจัดการกับข้อมูลขึ้นเอง ฐานข้อมูลจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญอย่างมาก โดยเฉพาะระบบงานต่าง ๆ ที่ใช้คอมพิวเตอร์ การออกแบบและพัฒนาระบบฐานข้อมูล จึงต้องคำนึงถึงการควบคุมและการจัดการความถูกต้องตลอดจนประสิทธิภาพในการเรียกใช้ข้อมูลด้วย

3.3.2. ระบบจัดการฐานข้อมูล

เรียกได้อีกอย่างว่าระบบจัดการฐานข้อมูลเป็นซอฟต์แวร์ชนิดหนึ่งคล้าย ระบบปฏิบัติการทั่วไป มีหน้าที่ให้บริการแก่ผู้ใช้งานฐานข้อมูล และผู้เขียนโปรแกรม ในการจัดการกับข้อมูลใด ๆ ภายในฐานข้อมูล ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบจัดการฐานข้อมูลออกมามากมายเพื่อใช้งานกับเครื่องระดับตั้งแต่ไมโครคอมพิวเตอร์ จนถึงเครื่องระดับเมนเฟรม แต่ละตัวมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน และมีความสามารถที่แตกต่างกัน ตลอดจนราคาที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ในการใช้ระบบจัดการฐานข้อมูล จะต้องนึกถึงการเข้ากันได้ของระบบฮาร์ดแวร์ที่ใช้อยู่ รวมทั้งระบบปฏิบัติการที่ใช้อยู่ด้วย โปรแกรมฐานข้อมูลที่นำมาใช้ โปรแกรม Access นับเป็นโปรแกรมที่นิยมใช้กันมาก โดยเฉพาะในระบบฐานข้อมูลขนาดใหญ่ สามารถสร้างแบบฟอร์มที่ต้องการจะเรียกดูข้อมูลในฐานข้อมูล หลังจากบันทึกข้อมูลในฐานข้อมูลเรียบร้อยแล้ว จะสามารถค้นหาหรือเรียกดูข้อมูลจากเขตข้อมูลใดก็ได้ นอกจากนี้ Access ยังมีระบบรักษาความปลอดภัยของข้อมูล โดยการกำหนดรหัสผ่านเพื่อป้องกันความปลอดภัยของข้อมูลในระบบได้ด้วย และยังติดตั้งได้ง่าย

ระบบการจัดการฐานข้อมูล จะมีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วนได้แก่

1. ภาษาคำนิยามของข้อมูล [Data Definition Language (DDL)] ในส่วนนี้จะกล่าวถึงส่วนประกอบของระบบการจัดการฐานข้อมูลว่าข้อมูลแต่ละส่วนประกอบด้วยอะไรบ้าง (Data element) ในฐานข้อมูลซึ่งเป็นภาษาทางการที่นักเขียน โปรแกรมใช้ในการสร้างเนื้อหาข้อมูลและโครงสร้างข้อมูลก่อนที่ข้อมูลดังกล่าวจะถูกแปลงเป็นแบบฟอร์มที่ต้องการของ โปรแกรมประยุกต์หรือในส่วนของ DDL จะประกอบด้วยคำสั่งที่ใช้ในการกำหนดโครงสร้างข้อมูลว่ามีคอลัมน์อะไร แต่ละคอลัมน์เก็บข้อมูลประเภทใด รวมถึงการเพิ่มคอลัมน์ การกำหนดดัชนี เป็นต้น

2. ภาษาการจัดการฐานข้อมูล (Data Manipulation Language (DML) เป็นภาษาเฉพาะที่ใช้ในการจัดการระบบฐานข้อมูล ซึ่งอาจจะเป็นการเชื่อม โปรแกรมภาษาในยุคที่สามและยุคที่สี่เข้าด้วยกันเพื่อจัดการข้อมูลในฐานข้อมูล ภาษานี้มักจะประกอบด้วย คำสั่งที่อนุญาตให้ผู้ใช้สามารถสร้าง โปรแกรมพิเศษขึ้นมา รวมถึงข้อมูลต่างๆ ในปัจจุบันที่นิยมใช้ ได้แก่ ภาษา SQL (Structure Query Language) แต่ถ้าหากเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ ระบบจัดการฐานข้อมูล มักจะสร้างด้วยภาษาโคบอล (COBOL language) ภาษาฟอร์แทรน (FORTRAN) และภาษาอื่นในยุคที่สาม

3. พจนานุกรมข้อมูล (Data Dictionary) เป็นเครื่องมือสำหรับการเก็บและการจัดข้อมูลสำหรับการบำรุงรักษาในฐานข้อมูล โดยพจนานุกรมจะมีการกำหนดชื่อของสิ่งต่างๆ (Entity) และระบุไว้ในโปรแกรมฐานข้อมูล เช่น ชื่อของฟิลด์ ชื่อของ โปรแกรมที่ใช้รายละเอียดของข้อมูล ผู้มีสิทธิ์ใช้และผู้ที่ได้รับผิดชอบ แสดงส่วนประกอบของระบบการจัดการฐานข้อมูล

3.3.3. หลักการในการพิจารณาระบบฐานข้อมูล

1. ความสามารถในการเข้าถึงข้อมูล (Access) ได้ง่าย รวดเร็วและถูกต้อง โดยจะต้องมีการกำหนดสิทธิในการเรียกใช้ข้อมูลตามลำดับความสำคัญของผู้ใช้ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. มีวิธีการเชื่อมโยงข้อมูล กลุ่มข้อมูล ที่มีความสัมพันธ์กันเข้าด้วยกัน เพื่อการใช้งาน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
3. จะต้องมีระบบรักษาความปลอดภัยของข้อมูล (Security) ข้อมูลที่จัดเก็บไว้จะต้องมีระบบรักษาความปลอดภัยเพื่อป้องกันการจารกรรมข้อมูล
4. สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขในอนาคตได้ (Edit) ทั้งนี้เนื่องจากแผนที่วางไว้ว่าจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงตามสถานะการณ์จึงทำให้ต้องมีการจัดระเบียบข้อมูล แก้ไขข้อมูล พร้อมทั้งจัดหาข้อมูลมาเพิ่มเติม

5. ข้อมูลที่จัดเก็บอาจจะต้องการจัดแบ่งเป็นส่วนหรือสร้างเป็นตาราง เพื่อง่ายแก่การปรับปรุงข้อมูล ในลักษณะการจัดการฐานข้อมูลแบบสัมพันธ์ (Relational database) ซึ่งจะกล่าวถึงภายหลัง
6. ส่วนต่อประสานผู้ใช้หรือตัวเชื่อมผู้ใช้ (User Interface) หมายถึง อุปกรณ์ที่ช่วยให้ผู้ใช้สามารถ ติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ได้ เช่นจอภาพ (Terminal) แป้นพิมพ์ (Keyboard) เมาส์ (Mouse) และเมนู(Menu) ดังนั้น ผู้ใช้และผู้บริหารจำเป็นจะต้องรู้เกี่ยวกับลักษณะของข้อมูลที่จะนำมาใช้ โปรแกรมการจัดการ และข้อจำกัดในการใช้โปรแกรม ตัวข้อมูลจะแบ่งออกเป็น ดังนี้

1. ตัวอักษร (Character) ได้แก่ ตัวอักษร, ตัวเลข, และสัญลักษณ์พิเศษต่าง ๆ
2. ฟیلด์ (Field) ได้แก่ กลุ่มของตัวอักษรแต่ละตัว มาประกอบกัน
3. เร็คคอร์ด (Record) ได้แก่ กลุ่มของฟیلด์หลายฟیلด์ มารวมกัน เป็น เร็คคอร์ด
4. ไฟล์ (File) เกิดจากการรวมกลุ่มของเร็คคอร์ดชนิดเดียวกัน สามารถแบ่งชนิดของไฟล์ที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูลข้อมูล ได้เป็น 4 จำพวกใหญ่ ดังนี้

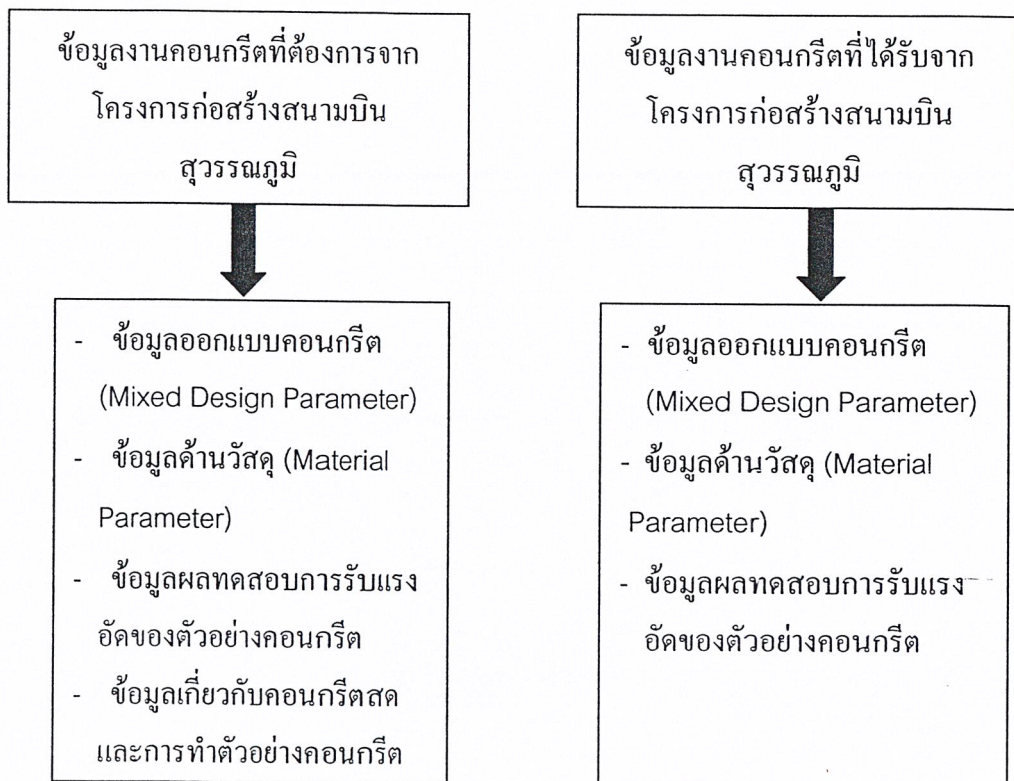
- ◆ ไฟล์หลัก (Master file) จะเก็บข้อมูลถาวร (permanent data) ที่มีความถูกต้องและทันสมัยที่สุด
- ◆ ไฟล์ที่เก็บรายการเปลี่ยนต่าง ๆ (Transaction file) เช่นการเร็คคอร์ด การลบเร็คคอร์ด ซึ่งไฟล์นี้จะ เป็นไฟล์ที่จะนำไปปรับปรุงไฟล์หลัก (Master file) ให้มีความทันสมัยตลอด
- ◆ ไฟล์รายงานข้อมูลจากไฟล์หลัก (Report file)
- ◆ ไฟล์การจัดเรียงข้อมูลให้เป็นลำดับ(Sort file) โดยไฟล์ที่จะถูกจัดเรียงอาจเป็นไฟล์หลัก (Master file) หรือไฟล์ที่เก็บรายการเปลี่ยนต่าง ๆ (Transaction file) หรือ ไฟล์รายงานข้อมูลจากไฟล์หลัก (Report file) ก็ได้

3.4.การจัดการข้อมูลและฐานข้อมูลที่ใช้ในโครงการวิจัย

ในการจัดการข้อมูลเพื่อจัดเป็นฐานข้อมูลหลักนั้นจำเป็นที่จะต้องทราบถึงหลักการของการจัดการข้อมูลและการจัดการฐานข้อมูลรวมถึงหลักการสารสนเทศเพื่อการจัดการทั้งนี้เพื่อสามารถที่จะประเมินค่าของข้อมูลที่ได้รับมาว่ามีความน่าเชื่อถือและความสอดคล้องกันอย่างไร โดยในส่วนข้อมูลจะนำหลักการผลิตสารสนเทศในหัวข้อที่ 3.1.3.ทางด้านฐานข้อมูลจะใช้หลักในหัวข้อที่ 3.3.มาใช้โดยแสดงขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.4.1. การวิเคราะห์ด้านข้อมูล

สำหรับข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยการพัฒนาระบบฐานข้อมูลเพื่อการพยากรณ์ค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ทั้งนี้ได้จัดทำการวิเคราะห์ค่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าความสามารถในการต้านทานแรงอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกคั้งในบทที่ 2 สำหรับข้อมูลที่ได้รับจากการอนุเคราะห์ข้อมูลมาจากบริษัท ผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด (CPAC) โรงงานผสมคอนกรีตสุวรรณภูมิ 1 และ 2 โดยข้อมูลที่ต้องการและข้อมูลที่ได้รับนั้นได้ตามที่ต้องการ โดยข้อมูลที่ได้มานั้นแยกเป็นส่วนต่าง ๆ ดังแสดงรูปที่ 3.2.



รูปที่ 3.2. แสดงขั้นตอนเก็บรวบรวมข้อมูล (Testing and Data Collection)

3.4.1.1. การเก็บรวบรวมข้อมูลและการจำแนกข้อมูล

โดยจำแนกเป็นแบบต่างๆและมีลักษณะข้อมูลดังนี้ คือ

1. ข้อมูลออกแบบส่วนผสมคอนกรีตได้รับข้อมูลเป็นส่วนของปริ้นเอาท์(print out) ซึ่งถูกจกเก็บไว้ในกระดาษที่บันทึกค่าโดยระบบคอมพิวเตอร์ข้อมูลนี้มีข้อมูลตั้งแต่เดือน เมษายน พ.ศ.2545 ถึง เดือน ธันวาคม พ.ศ.2546 โดยข้อมูลจะแสดงค่าของปริมาณซีเมนต์,ทราย,หิน,น้ำ,สารผสมเพิ่มและถ้า ลอยดูรายละเอียดของปริ้นเอาท์(print out) ได้จากภาคผนวก ง
2. ข้อมูลด้านวัสดุศาสตร์ได้รับข้อมูลจากศูนย์ส่งเสริมคุณภาพการผลิต 2 ประจำโครงการท่าอากาศยานสุวรรณภูมิและแผนกผลิตและบริการบางนา ซึ่งข้อมูลถูกจัดเก็บในรูปแบบกระดาษที่บันทึกค่าโดยระบบคอมพิวเตอร์ โดยมีการตรวจสอบ โดยใช้การสุ่มตัวอย่างทดสอบ จัดให้มีการทดสอบทุกๆ 10 วัน ข้อมูลประกอบไปด้วยค่าการทดสอบวัสดุรวม ดูรายละเอียดได้จากภาคผนวก ง
3. ข้อมูลผลทดสอบการรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่ได้รับข้อมูลถูกจัดไว้ในฐานข้อมูล ไมโครซอฟท์ แอคเซส เป็นฐานข้อมูลที่ประกอบไปด้วยข้อมูลด้านผลการทดสอบการรับแรงอัดของคอนกรีต
4. ข้อมูลเกี่ยวกับคอนกรีตสด โดยข้อมูลที่ได้จะรวมอยู่ในส่วนฐานข้อมูลผลทดสอบการรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตมีเพียงค่าการยุบตัว ถูกจัดเก็บในฐานข้อมูลเช่นเดียวกันกับผลทดสอบการรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตสามารถเปิดดูได้จากฐานข้อมูลส่วนที่ชื่อ "Detail"
5. ข้อมูลรายงานการทำก้อนปูน (Ticket) จะเป็นข้อมูลที่ใช้เชื่อมต่อไปหาสามารถโยงความสัมพันธ์ของตารางที่กล่าวมา
การวิเคราะห์รายละเอียดต่างๆดูได้จากรูปที่ 3.5. ถึงรูปที่ 3.13. และข้อมูลจาก ตารางที่ 3.5. ถึงตารางที่ 3.15

3.4.1.2. การตรวจสอบข้อมูล

โดยจะแยกพิจารณาตามการจำแนกข้อมูลดังนี้ คือ

1. ข้อมูลออกแบบส่วนผสมคอนกรีตได้รับข้อมูลเป็นส่วนของปริ้นเอาท์(print out) แม้จะถูกจัดพิมพ์โดยระบบคอมพิวเตอร์แต่ตรวจสอบข้อมูลและสอบถามเจ้าหน้าที่ที่รับผิดชอบพบว่าสาเหตุการผิดพลาดหลายครั้งมาจากการการตั้งค่าวันที่ผิดพลาด และ บางครั้งตัวเลขในข้อมูลที่ได้รับมีสีจางมากหลังจากทำการแยกคัดข้อมูลแล้วสามารถนำมาใช้ได้โดยคัดข้อมูลซึ่งในส่วนที่คัดแล้วพบว่ามีค่าความผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 5 ซึ่งตามหลักแล้วถือว่าใช้ได้
2. ข้อมูลด้านวัสดุศาสตร์ได้รับข้อมูลจากศูนย์ส่งเสริมคุณภาพการผลิต 2 ประจำโครงการท่าอากาศยาน

สุวรรณภูมิและแผนกผลิตและบริการบางนา ซึ่งข้อมูลถูกจัดเก็บในรูปแบบกระดาษที่บันทึกค่าโดยระบบคอมพิวเตอร์ โดยมีการตรวจสอบ โดยใช้การสุ่มตัวอย่างทดสอบ จัดให้มีการทดสอบทุกๆ 10 วัน เนื่องจากระยะที่ทำการผสมค่าต่างๆของผลทดสอบมากไป ซึ่งข้อมูลส่วนนี้อาจเปลี่ยนแปลงได้ทุกวัน เช่น ในวันที่ฝนตก หรือ การใช้มวลรวมเก่าไม่หมด เป็นต้น

3. ข้อมูลผลทดสอบการรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่ได้รับข้อมูลถูกจัดไว้ในฐานข้อมูลไมโครซอฟท์ แอคเซส เป็นฐานข้อมูลที่ประกอบไปด้วยข้อมูลด้านผลการทดสอบการรับแรงอัดของคอนกรีตซึ่งบางครั้งข้อมูลในฐานข้อมูลมีการบันทึกค่าต่างๆผิดพลาดโดยการเช็คข้อมูลในแบบก่อน บันทึก
4. ข้อมูลเกี่ยวกับคอนกรีตสด โดยข้อมูลที่ได้จะรวมอยู่ในรายงานการทำก้อนปูน ตัวอย่างคอนกรีตมีเพียงค่าการยุบตัว นั้นพบว่าจะมีผลจากค่าผิดพลาดเกิดขึ้นในขั้นตอนการเชื่อมโยงข้อมูล
5. ข้อมูลรายงานการทำก้อนปูน (Ticket) จะเป็นข้อมูลที่สำคัญมากใช้เชื่อมต่อให้เราสามารถโยกความล้มพันธ์ของ ค่าการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต ,ข้อมูลด้านทดสอบมวลรวมและค่าการทดสอบการรับแรงอัด คอนกรีต ซึ่งข้อมูลรายงานการทำก้อนปูนนี้ถูกจัดเก็บในรูปแบบของกระดาษที่บันทึกด้วยลายมือ ด้วยเหตุนี้ทำให้จำเป็นต้องมีการตรวจสอบข้อมูลขึ้น เพื่อลด ความผิดพลาดในการในการบันทึกค่าจึงทำให้ข้อมูลที่จะจัดการทำการเชื่อมโยงในระบบฐานข้อมูลถูกต้องมากขึ้น

3.4.2.การจัดการด้านฐานข้อมูล

3.4.2.1.การเลือกระบบฐานข้อมูลที่เหมาะสม

ในการที่จะเลือกเก็บข้อมูลจะจัดเก็บโดยต้องอาศัยหลักการในข้อที่3.3.3.เรื่องหลักการในการพิจารณากระบบฐานข้อมูลและข้อมูลดังต่อไปนี้ซึ่งในที่นี้เราเลือกระบบไมโครซอฟท์แอคเซส

1. ข้อมูลผลทดสอบการรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่ได้รับข้อมูลถูกจัดไว้ในฐานข้อมูลไมโครซอฟท์แอคเซส อยู่แล้วซึ่งง่ายในการจัดการ และใช้เวลาในการศึกษาใช้ไม่มาก
2. ในการบันทึกข้อมูลข้อมูลออกแบบส่วนผสมคอนกรีตได้รับข้อมูลเป็นส่วนของปริ้นเอาท์(print out) ซึ่งถูกจัดเก็บไว้ในกระดาษที่บันทึกค่าโดยระบบคอมพิวเตอร์ แต่ข้อมูลที่ได้จำเป็นต้องมีการนำค่าที่ได้ไปกระทำกันแบบคณิตศาสตร์ทำให้เริ่มแรกเลือกที่จะบันทึกค่าต่างๆในไมโครซอฟท์แอคเซส (Microsoft Excel) ซึ่งระบบฐานข้อมูลแบบไมโครซอฟท์แอคเซส(Microsoft Access)สามารถที่จะเปลี่ยนได้ง่ายและถูกต้องกว่าระบบฐานข้อมูลอื่นๆ

3.4.2.2. ข้อมูลที่จัดเรียงในตารางฐานข้อมูล

โดยในฐานข้อมูลในแต่ละตารางจะมีการจัดเรียงข้อมูลที่ได้วิเคราะห์แล้วลงตามตารางดังตารางที่ 3.1. 3.2. 3.3. และ 3.4. ซึ่งแต่ละตารางจะแสดงชื่อข้อมูล ,ชนิดข้อมูลที่บันทึก และคำอธิบายตามลำดับและมีการเชื่อมโยงตามรูปที่ 3.3. ซึ่งการเชื่อมโยงนี้ได้จัดทำหลังจากที่ได้บันทึกค่าลงในฐานข้อมูลเป็นระบบแยกตารางแล้วสามารถที่จะเรียกดูข้อมูลได้ง่ายตามรูปที่ 3.4. พร้อมทั้งสามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไข ดังจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

ตารางที่ 3.1.แสดงข้อมูลที่จัดเรียงในตารางฐานข้อมูลPrintOut

ตาราง : PrintOut		
Cast_Date	วันที่	วันที่ทำการทดสอบ(วัน/เดือน/ค.ศ.)
DL_No	ตัวเลข	ตัวเลขระบุชุดลูกปูน
Rock	ค่าทศนิยม	ค่าน้ำหนักหินที่ใช้(kg.)
Sand	ค่าทศนิยม	ค่าน้ำหนักทรายที่ใช้(kg.)
Cement	ค่าทศนิยม	ค่าน้ำหนักซีเมนต์ที่ใช้(kg.)
Water Reducing	ค่าทศนิยม	ค่าน้ำหนักของ Admixture type A ที่ใช้(kg.)
Retarding	ค่าทศนิยม	ค่าน้ำหนักของ Admixture type B ที่ใช้(kg.)
Accelerating	ค่าทศนิยม	ค่าน้ำหนักของ Admixture type C ที่ใช้(kg.)
Water Reducing and Retarding	ค่าทศนิยม	ค่าน้ำหนักของ Admixture type D ที่ใช้(kg.)
Water Reducing and Accelerating	ค่าทศนิยม	ค่าน้ำหนักของ Admixture type E ที่ใช้(kg.)
Water Reducing- High Range	ค่าทศนิยม	ค่าน้ำหนักของ Admixture type F ที่ใช้(kg.)
Water Reducing -High Range and Retarding	ค่าทศนิยม	ค่าน้ำหนักของ Admixture type G ที่ใช้(kg.)
Fly_Ash	ค่าทศนิยม	ค่าน้ำหนักของ Fly Ash ที่ใช้(kg.)
Air_Entraining	ค่าทศนิยม	ค่าน้ำหนักของ Air Entraining ที่ใช้(kg.)
Water	ค่าทศนิยม	ค่าน้ำหนักน้ำที่ใช้(kg.)

ตารางที่ 3.2.แสดงข้อมูลที่จัดเรียงในตารางฐานข้อมูลDetail

ตาราง : Detail		
Code	อักษร 5 ตัว	รหัสเฉพาะ
Slump	ค่าทศนิยม	ค่า slump ของลูกปูนที่ทำการทดสอบ(cm.)
Cast_Date	วันที่	วันที่ทำการทดสอบ(วัน/เดือน/ค.ศ.)
Ages	จำนวนเต็ม	อายุลูกปูน(วัน)
Compress	ค่าทศนิยม	ค่าความแข็งแรงของคอนกรีตที่ทดสอบได้(kg./ cm ² .)
WV	ค่าทศนิยม	ค่าความหนาแน่น(kg./m ³ .)

ตารางที่ 3.3.แสดงข้อมูลที่จัดเรียงในตารางฐานข้อมูลAggregate

ตาราง : Aggregate		
Cast_Date	วันที่	วันที่ทำการทดสอบ
SSA_Rock	ค่าทศนิยม	ค่า SSA ของหิน(cm ² ./kg.)
SSA_Sand	ค่าทศนิยม	ค่า SSA ของทราย(cm ² ./kg.)
FM_Sand	ค่าทศนิยม	ค่า FM ของทราย

ตารางที่ 3.4.แสดงข้อมูลที่จัดเรียงในตารางฐานข้อมูลTicket

ตาราง : Ticket		
Cast_Date	วันที่	วันที่ทำการทดสอบ(วัน/เดือน/ค.ศ.)
DL_No	ตัวเลข	ตัวเลขระบุชุดลูกปูน
Code	อักษร 5 ตัว	รหัสเฉพาะ
Slump	ค่าทศนิยม	ค่า slump ของลูกปูนที่ทำการทดสอบ(cm.)

3.4.2.3. การแก้ไขเพิ่มเติมข้อมูลลงในฐานข้อมูล

เปิดไฟล์ Strength (ไฟล์ Access) ซึ่งจะอยู่ในโฟลเดอร์เดียวกับที่ลงโปรแกรมไว้ ดังรูปที่ 3.4. เมื่อต้องการเพิ่มเติมข้อมูลก็สามารถเข้าไปแก้ไขเพิ่มเติมภายในตารางต่างๆ ได้ตามต้องการ เพียงแต่ห้ามทำการแก้ไขชื่อ แอดทริบิวต์ ของตารางเท่านั้น ระบบก็จะยังสามารถทำงานได้อย่างปกติ

3.4.2.4.การรักษาความปลอดภัยของฐานข้อมูล

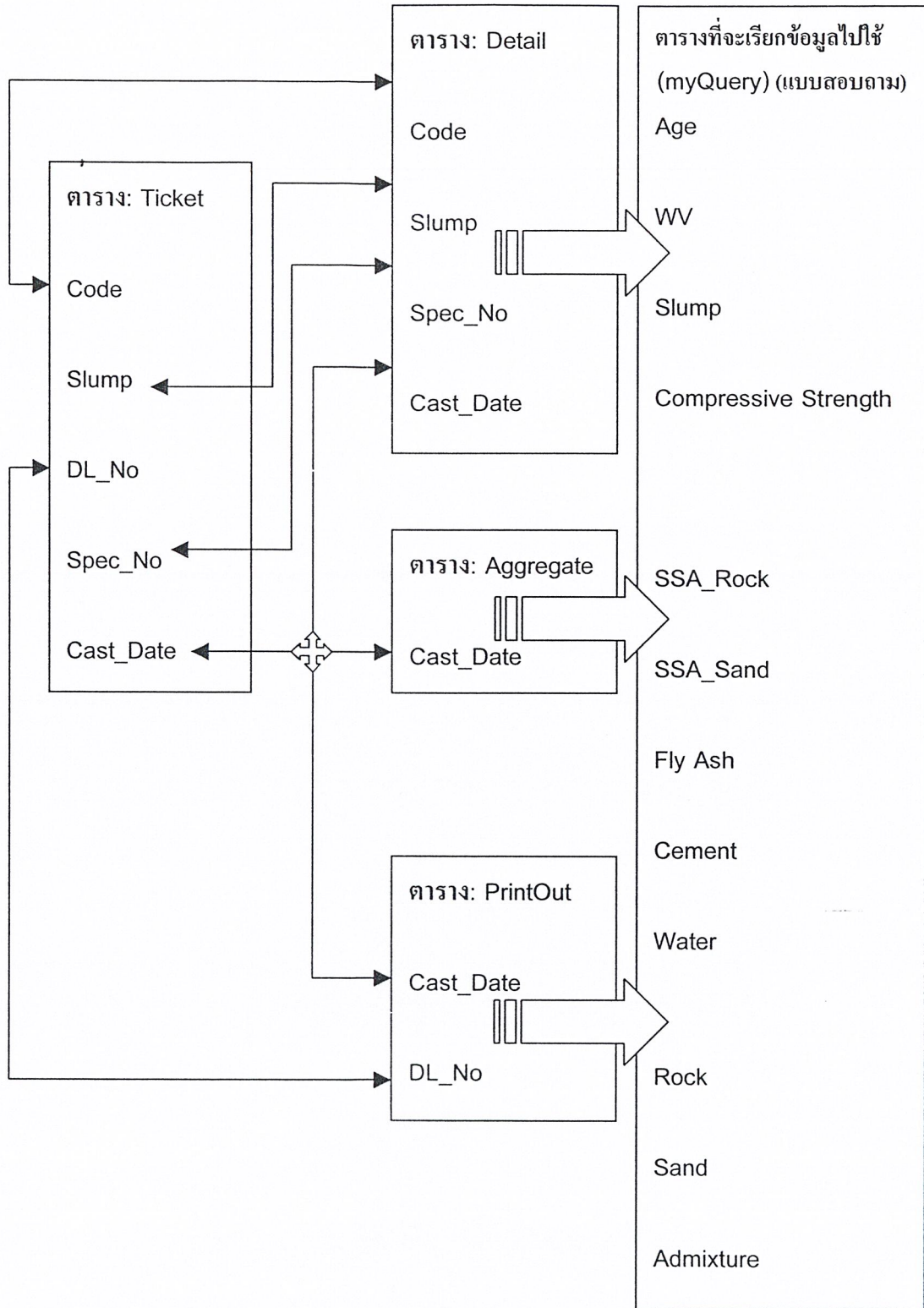
การรักษาความปลอดภัยของฐานข้อมูลทำได้โดยกำหนดรหัสผ่าน เป็นการง่ายสำหรับเปิดฐานข้อมูล เมื่อมีการกำหนดรหัสผ่าน กล่องได้ตอบที่ร้องขอรหัสผ่านจะปรากฏขึ้นเมื่อมีการเปิดฐานข้อมูล เฉพาะผู้ใช้ที่พิมพ์รหัสผ่านถูกต้องเท่านั้นที่จะได้รับอนุญาตเปิดฐานข้อมูล วิธีการนี้มีความปลอดภัย (ไม่ใครซอฟต์แวร์แอสเซส จะเข้ารหัสรหัสผ่าน ซึ่งไม่สามารถเข้าถึงจากการอ่านเพิ่มฐานข้อมูลโดยตรง) แต่จะใช้เฉพาะการเปิดฐานข้อมูล ทันทีที่ฐานข้อมูลถูกเปิด วัตถุประสงค์จะมีให้ผู้ใช้ได้ (นอกจากมีการกำหนดค่าระบบความปลอดภัยระดับผู้ใช้)

สำหรับฐานข้อมูลที่ใช้ร่วมกันในกลุ่มผู้ใช้ขนาดเล็ก หรือในผู้ใช้คอมพิวเตอร์เครื่องเดียว แต่การกำหนดรหัสผ่านอย่างเดียวก็น่าเพียงพอ

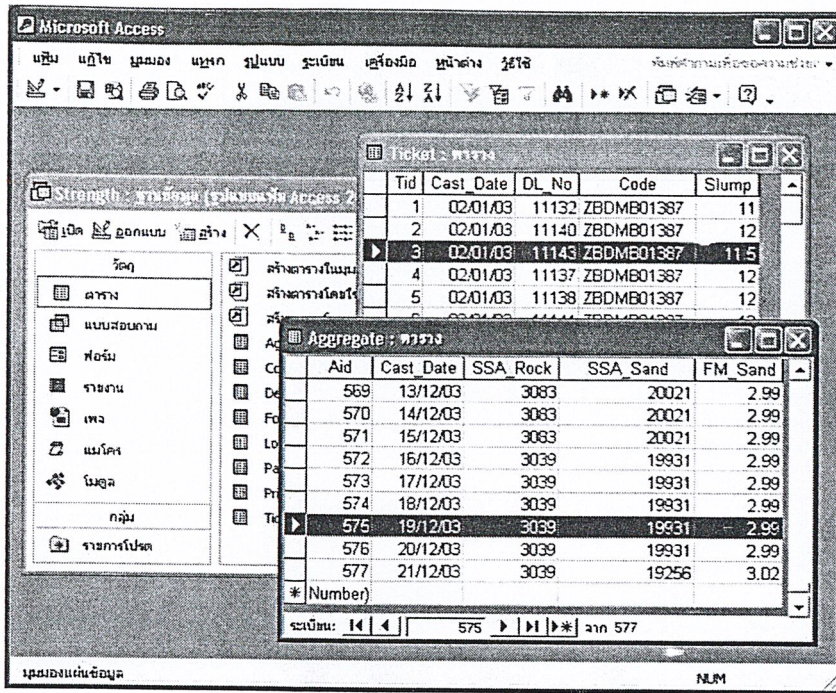
โดยรหัสผ่านในที่นี้ได้ใช้เป็น“FpTk,skgmr”

3.4.2.5.การติดต่อข้อมูลจากฐานข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม

ในการติดต่อกับฐานข้อมูล โดยปกติแล้ว Visual Basic;VB จะเชื่อมโยงผ่านทางดาต้าเบสเอ็นจิน ที่เรียกว่า JET จึงอาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่า JET ก็คือ ไดรเวอร์ชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นตัวเชื่อมโยงให้ VB สามารถติดต่อกับฐานข้อมูลได้โดยที่ฐานข้อมูลหลัก (Default) ที่ VB กำหนดไว้ก็คือ Access แต่ Visual Basic สามารถติดต่อกับฐานข้อมูลได้แทบทุกชนิด โดยอาศัยเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน สำหรับฐานข้อมูลที่น่าเสนอ จะใช้ฐานข้อมูลของ Access เป็นหลัก โดยจะติดต่อผ่านทาง ODBC โดยตรง (ODBC Direct) เป็นการติดต่อกับฐานข้อมูลแบบ 32 บิต ที่สนับสนุนมาตรฐาน ODBC (Open DataBase Connectivity) ที่ JET Engine ไม่สามารถจัดการได้



รูปที่ 3.3. แสดงการเชื่อมโยงข้อมูลตารางฐานข้อมูล

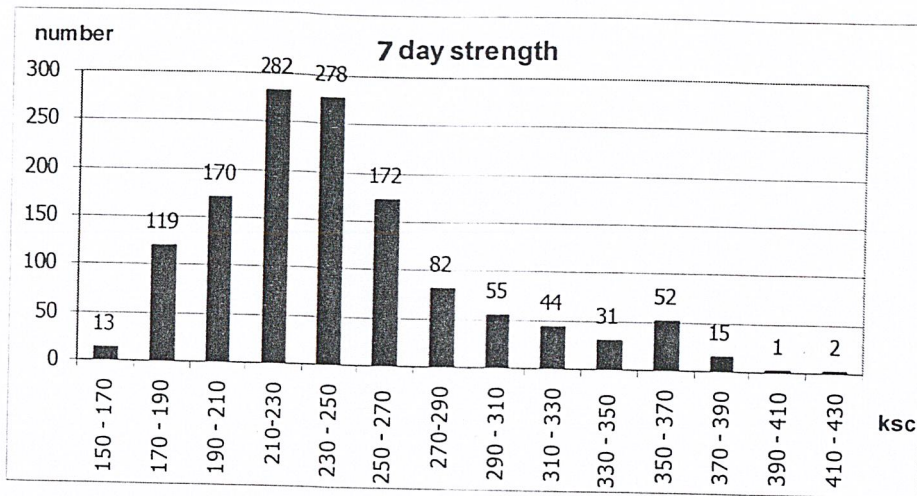


Microsoft Access - [m/ks/ty/...]

Code - Tabana

Code	Cement	Water	Rock	Sand	Ages	SSA_Rock	SSA_Sand	WV	Slump	Admixture0	Fly_Ash	Compress	Code
314	176.4	1120	890	7	3105	25264	2390.36	12	1.50	0	275.14	ZBDMB01407	
315	176.67	1116.67	890	7	3105	25264	2370.34	12	1.50333333	0	309.27	ZBDMB01407	
315	176.67	1116.67	890	7	3105	25264	2390.36	12	1.50333333	0	275.14	ZBDMB01407	
314	176.4	1120	890	28	3105	25264	2373.56	12	1.50	0	275.36	ZBDMB01407	
314	176.4	1120	890	28	3105	25264	2394.13	12	1.50	0	315.59	ZBDMB01407	
315	176.67	1116.67	890	28	3105	25264	2373.56	12	1.50333333	0	275.36	ZBDMB01407	
315	176.67	1116.67	890	28	3105	25264	2394.13	12	1.50333333	0	315.59	ZBDMB01407	
313.3333	176.33	1120	863	3	3105	25264	2390.17	12	1.56666667	0	198.26	ZBDMB01407	
313.3333	176.33	1120	863	3	3105	25264	2390.73	12	1.56666667	0	198.83	ZBDMB01407	
313.3333	176.33	1120	863	7	3105	25264	2390.17	12	1.56666667	0	292.86	ZBDMB01407	
313.3333	176.33	1120	863	7	3105	25264	2392.24	12	1.56666667	0	278.75	ZBDMB01407	
313.3333	176.33	1120	863	28	3105	25264	2376.02	12	1.56666667	0	363.31	ZBDMB01407	
313.3333	176.33	1120	863	28	3105	25264	2393.94	12	1.56666667	0	352.07	ZBDMB01407	
314	175.6	1100	894	3	2716	24886	2381.32	12	1.6	0	213.75	ZBDMB01407	
314	175.6	1100	894	7	2716	24886	2371.3	12	1.6	0	264.12	ZBDMB01407	
314	175.6	1100	894	29	2716	24886	2411.03	12	1.6	0	355.7	ZBDMB01407	
310	176	1120	867	3	2716	24886	2395.26	12	1.525	0	230.62	ZBDMB01407	
310	176	1120	867	3	2716	24886	2382.26	12	1.525	0	220.75	ZBDMB01407	
310	176	1120	867	12	2716	24886	2397.9	12	1.525	0	323.59	ZBDMB01407	
310	176	1120	867	12	2716	24886	2388.47	12	1.525	0	334.95	ZBDMB01407	
310	176	1120	867	28	2716	24886	2389.6	12	1.525	0	380.93	ZBDMB01407	
310	176	1120	867	28	2716	24886	2387.98	12	1.525	0	359.13	ZBDMB01407	
314	176	1112	864	3	2716	24886	2404.6	12	1.53	0	177.26	ZBDMB01407	
314	176	1112	864	11	2716	24886	2404.6	12	1.53	0	309.5	ZBDMB01407	
314	176	1112	864	29	2716	24886	2390.36	12	1.53	0	346.33	ZBDMB01407	
314	176.8	1124	676	3	2707	25318	2393.8	12	1.53	0	166.93	ZBDMB01407	
314	176.8	1124	676	7	2707	25318	2390.36	12	1.53	0	245.7	ZBDMB01407	
314	176.8	1124	676	28	2707	25318	2389.2	12	1.53	0	375.5	ZBDMB01407	
314	176.4	1124	672	3	2707	25318	2386.6	12	1.54	0	171.58	ZBDMB01407	
314	176.4	1124	672	7	2707	25318	2392.05	12	1.54	0	246.71	ZBDMB01407	
314	176.4	1124	672	20	2707	25318	2391.9	12	1.54	0	306.75	ZBDMB01407	
314.7368	176.42	1136.84	672	3	2707	25318	2384.4	12	1.54736842	0	186.1	ZBDMB01407	
314.7368	176.42	1136.84	672	7	2707	25318	2387	12	1.54736842	0	261.02	ZBDMB01407	
314.7368	176.42	1136.84	672	28	2707	25318	2390.7	12	1.54736842	0	328.03	ZBDMB01407	

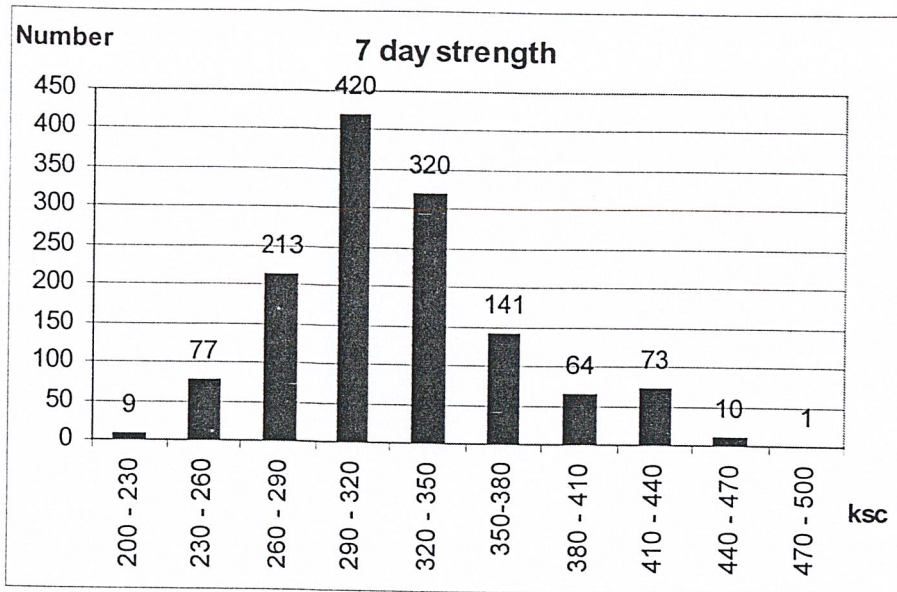
รูปที่ 3.4 แสดงตารางที่เรียกข้อมูล ไปใช้จากฐานข้อมูลจริง



รูปที่ 3.5. แสดงการกระจายของข้อมูลกำลังอัดทั้งหมดของคอนกรีตที่อายุ 3 วัน

Strength (ksc)	Number	Precent	Strength (ksc)	Number	Precent
150 - 170	13	0.987841945	290 - 310	55	4.179331307
170 - 190	119	9.042553191	310 - 330	44	3.343465046
190 - 210	170	12.91793313	330 - 350	31	2.3556231
210 - 230	282	21.42857143	350 - 370	52	3.951367781
230 - 250	278	21.12462006	370 - 390	15	1.139817629
250 - 270	172	13.06990881	390 - 410	1	0.075987842
270 - 290	82	6.23100304	410 - 430	2	0.151975684
			sum	1316	100

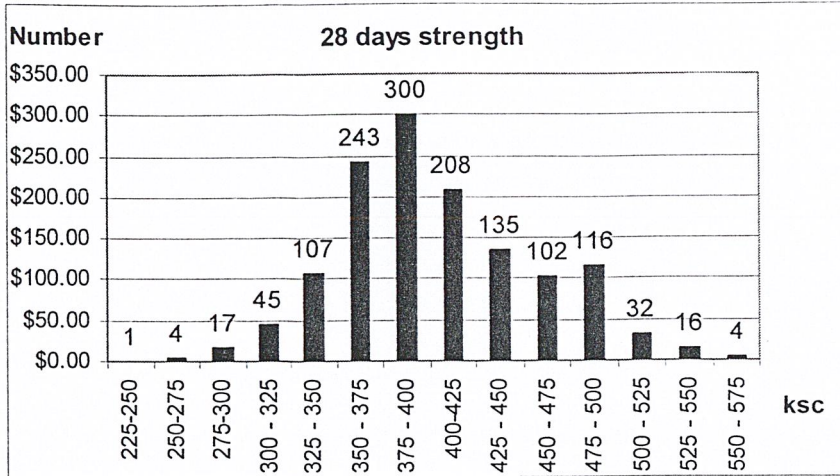
ตารางที่ 3.5. แสดงร้อยละของจำนวนข้อมูลกำลังอัดทั้งหมดที่อายุ 3 วัน



รูปที่ 3.6.แสดงการกระจายของข้อมูลกำลังอัดทั้งหมดของคอนกรีตที่อายุ 7 วัน

Strength (ksc)	Number	Precent
200 - 230	9	0.677710843
230 - 260	77	5.798192771
260 - 290	213	16.03915663
290 - 320	420	31.62650602
320 - 350	320	24.09638554
350-380	141	10.61746988
380 - 410	64	4.819277108
410 - 440	73	5.496987952
440 - 470	10	0.753012048
470 - 500	1	0.075301205
sum	1328	100

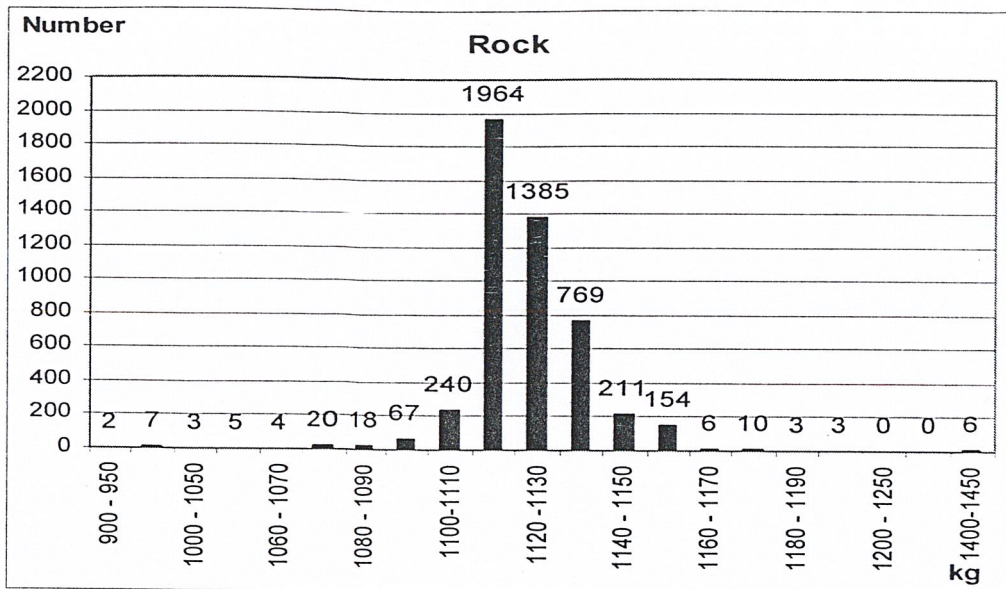
ตารางที่ 3.6.แสดงร้อยละของจำนวนข้อมูลกำลังอัดทั้งหมดที่อายุ 7 วัน



รูปที่ 3.7. แสดงการกระจายของข้อมูลกำลังอัดทั้งหมดที่ 28 วัน

Strength (ksc)	Number	Precent
225-250	1	0.076452599
250-275	4	0.305810398
275-300	17	1.29969419
300 - 325	45	3.440366972
325 - 350	107	8.180428135
350 - 375	243	18.57798165
375 - 400	300	22.93577982
400-425	208	15.90214067
425 - 450	135	10.32110092
450 - 475	102	7.798165138
475 - 500	116	8.868501529
500 - 525	32	2.44648318
525 - 550	16	1.22324159
550 - 575	4	0.305810398
sum	1308	100

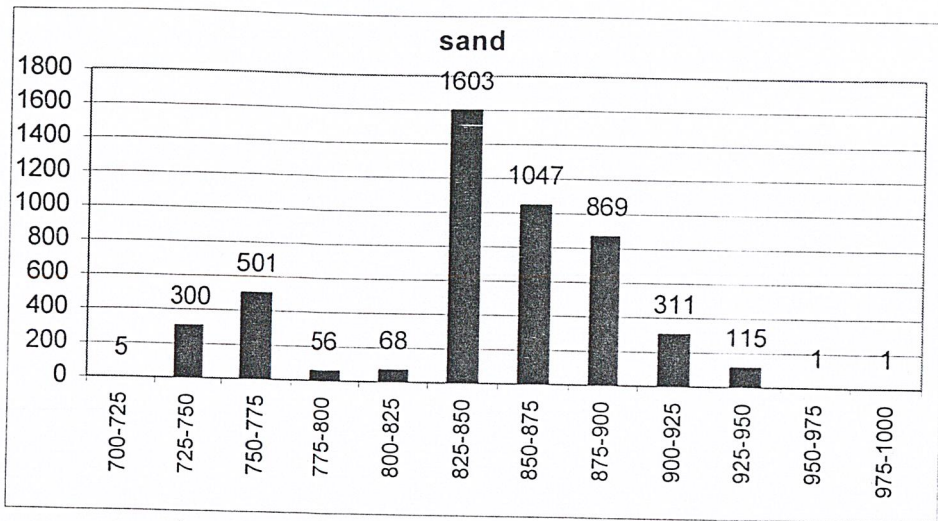
ตารางที่ 3.7. แสดงร้อยละของจำนวนข้อมูลกำลังอัดทั้งหมดที่อายุ 28 วัน



รูปที่ 3.8.แสดงการกระจายของข้อมูลปริมาณหิน (kg/m³)

ตารางที่ 3.8.แสดงร้อยละของจำนวนข้อมูลปริมาณหิน

Rock(kg)	Number	Percent	Rock(kg)	Number	Percent
900 - 950	2	0.041008817	1130 - 1140	769	15.7678901
950 - 1000	7	0.143530859	1140 - 1150	211	4.326430182
1000 - 1050	3	0.061513225	1150 - 1160	154	3.157678901
1050 - 1060	5	0.102522042	1160 - 1170	6	0.123026451
1060 - 1070	4	0.082017634	1170 - 1180	10	0.205044084
1070 - 1080	20	0.410088169	1180 - 1190	3	0.061513225
1080 - 1090	18	0.369079352	1190 - 1200	3	0.061513225
1090 - 1100	67	1.373795366	1200 - 1250	0	0
1100-1110	240	4.921058027	1350-1400	0	0
1110 - 1120	1964	40.27065819	1400-1450	6	0.123026451
1120 - 1130	1385	28.3986057	sum	4877	100

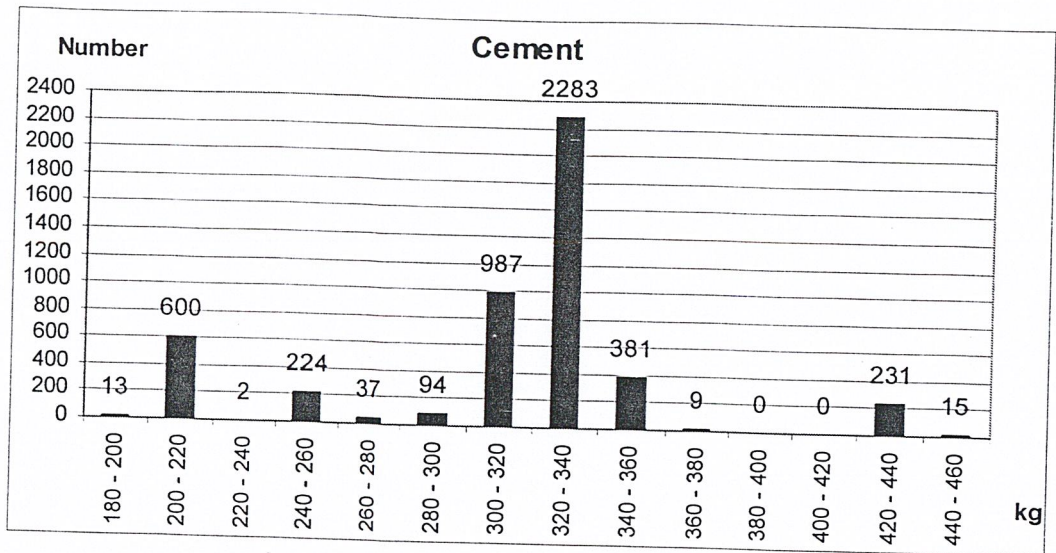


รูปที่ 3.9.แสดงการกระจายของข้อมูลปริมาณทราย (kg./m³)

ตารางที่ 3.9.แสดงร้อยละของจำนวนข้อมูลปริมาณทราย

Sand (kg)	number	percent
700-725	5	0.102522042
725-750	300	6.151322534
750-775	501	10.27270863
775-800	56	1.148246873
800-825	68	1.394299774
825-850	1603	32.86856674

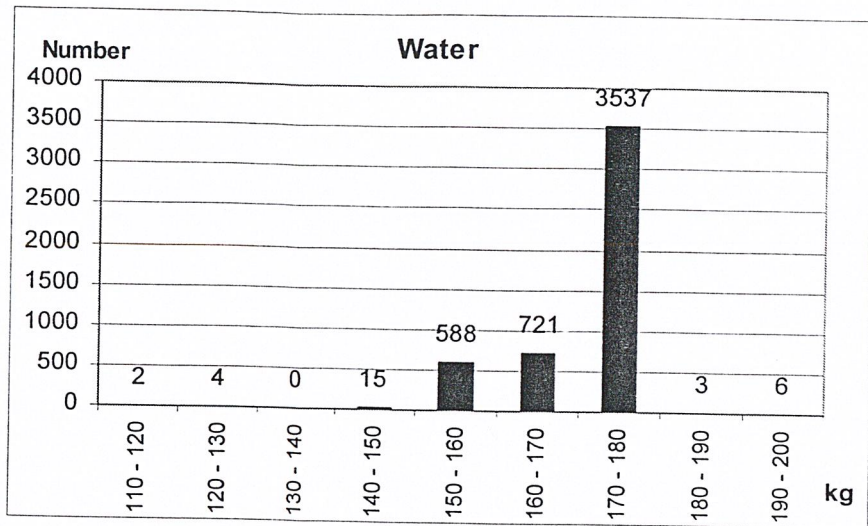
Sand (kg)	number	percent
850-875	1047	21.46811564
875-900	869	17.81833094
900-925	311	6.376871027
925-950	115	2.358006971
950-975	1	0.020504408
975-1000	1	0.020504408
sum	4877	100



รูปที่ 3.10.แสดงการกระจายของข้อมูลปริมาณซีเมนต์

ตารางที่ 3.10.แสดงร้อยละของจำนวนข้อมูลปริมาณซีเมนต์

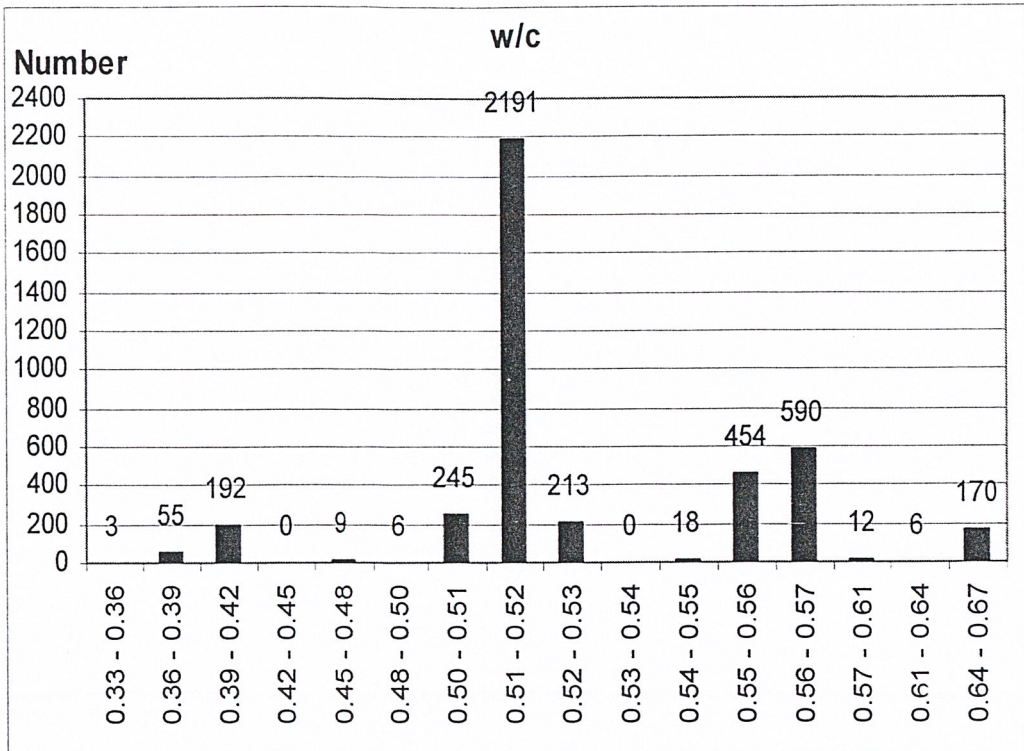
Cement (kg)	number	precent	Cement (kg)	number	precent
180 - 200	13	0.266611977	320 - 340	2283	46.82116489
200 - 220	600	12.30516817	340 - 360	381	7.813
220 - 240	2	0.041017227	360 - 380	9	0.18457752
240 - 260	224	4.59392945	380 - 400	0	0
260 - 280	37	0.758818704	400 - 420	0	0
280 - 300	94	1.92780968	420 - 440	231	4.7374897
300 - 320	987	20.24200164	440 - 460	15	0.30762
	sum			4876	100



รูปที่ 3.11.แสดงการกระจายของข้อมูลปริมาณน้ำ

ตารางที่ 3.11.แสดงร้อยละของจำนวนข้อมูลน้ำ

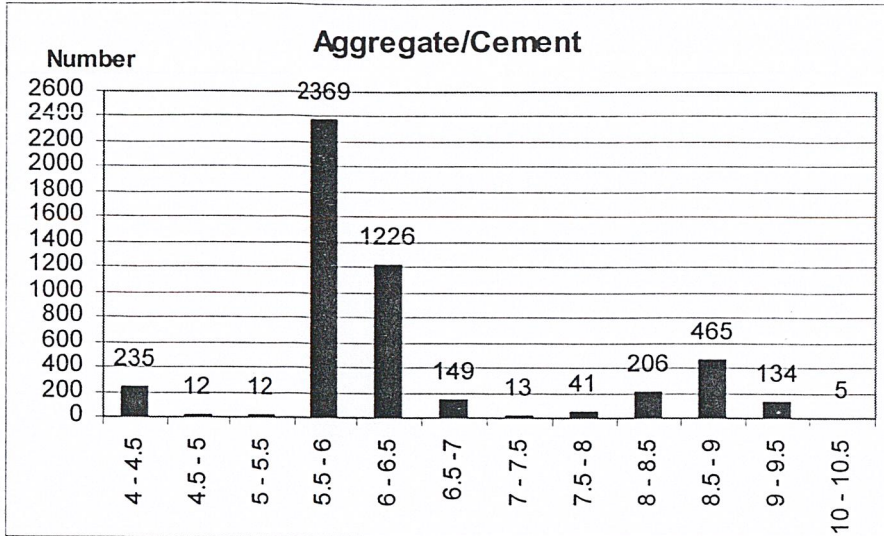
Water (kg)	Number	Percent
110 - 120	2	0.041017227
120 - 130	4	0.082034454
130 - 140	0	0
140 - 150	15	0.307629204
150 - 160	588	12.05906481
160 - 170	721	14.78671042
170 - 180	3537	72.53896637
180 - 190	3	0.061525841
190 - 200	6	0.123051682
sum	4876	100



รูปที่ 3.12.แสดง การกระจายของข้อมูลอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

ตารางที่ 3.12.แสดง ร้อยละของจำนวนข้อมูลอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

W/C	number	Precent	W/C	number	Precent
0.3 - 0.33	0	0	0.53 - 0.54	0	0
0.33 - 0.36	3	0.07051	0.54 - 0.55	18	0.42303
0.36 - 0.39	55	1.2926	0.55 - 0.56	454	10.6698
0.39 - 0.42	192	4.51234	0.56 - 0.57	590	13.866
0.42 - 0.45	0	0	0.57 - 0.61	12	0.28202
0.45 - 0.48	9	0.21152	0.61 - 0.64	6	0.14101
0.50 - 0.51	245	5.75793	0.64 - 0.67	170	3.9953
0.51 - 0.52	2191	51.4924	0.67 - 0.70	91	2.13866
0.52 - 0.53	213	5.00588	sum	4255	100



รูปที่ 3.13. แสดงการกระจายของข้อมูลอัตราส่วนมวลรวมต่อซีเมนต์

Strength (ksc)	number	precent
4 - 4.5	235	4.828436408
4.5 - 5	12	0.246558455
5 - 5.5	12	0.246558455
5.5 - 6	2369	48.6747483
6 - 6.5	1226	25.19005548
6.5 - 7	149	3.061434148
7 - 7.5	13	0.267104993
7.5 - 8	41	0.842408054
8 - 8.5	206	4.232586809
8.5 - 9	465	9.554140127
9 - 9.5	134	2.75323608
10 - 10.5	5	0.10273269
sum	4867	100

ตารางที่ 3.13. แสดงร้อยละของข้อมูลอัตราส่วนมวลรวมต่อซีเมนต์

ตารางที่ 3.14.แสดงความแปรปรวนของกำลังอัดที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และอายุต่าง ๆ

w/c	Age	SD.	C.V.	Average strength	Range	Min	Max	Number
0.45 - 0.53	3	39.4707	0.156745	251.8143	208.53	165.73	374.26	691
0.55 - 0.57	3	41.36848	0.181892	227.43481	254.27	159.7	413.97	268
0.45 - 0.53	7	41.56884	0.126087	329.68337	246.55	208.01	454.56	759
0.55 - 0.57	7	32.4679	0.105689	307.2018	212.03	231.43	443.46	300
0.45 - 0.53	28	48.78991	0.12167	401.00068	312.96	240.47	553.43	762
0.55 - 0.57	28	42.09436	0.112006	375.8223	260.99	295.1	556.09	244
Average		42.03077	0.133766		253.02			

ตารางที่ 3.15.แสดงค่าเฉลี่ย , พิสัย , ค่ามากที่สุด , ค่าน้อยสุดของข้อมูลต่าง ๆ

	กำลังอัด ที่ 3 วัน	กำลังอัดที่ 7 วัน	กำลังอัดที่ 28 วัน	ปริมาณ หิน	ปริมาณ ทราย	ปริมาณ ซีเมนต์	ปริมาณ น้ำ
Range	254.27	268.82	315.62	472.8571	259.2381	254.5	77.13333
Min	159.7	208.01	240.47	950	716	187.5	117.6667
Max	413.97	476.83	556.09	1422.857	975.2381	442	194.8
Average	243.656	322.1996	403.5635	1124.71	845.0613	317.0818	171.9175

ตารางที่ 3.15.(ต่อ)แสดงค่าเฉลี่ย , พิสัย , ค่ามากที่สุด , ค่าน้อยสุดของข้อมูลต่าง ๆ

	อัตราส่วนน้ำ ต่อซีเมนต์	อัตราส่วนมวล รวมต่อซีเมนต์
Range	0.343023	6.149121
Min	0.356566	4.144213
Max	0.699588	10.29333
Average	0.52929	6.399172

สรุปได้ว่าจากข้อมูลที่ได้จากโครงการทำอากาศยานสุวรรณภูมิไม่ได้ออกแบบมาเพื่อการรวบรวมข้อมูลส่วนผสมคอนกรีตจึงไม่สามารถใช้สูตรผสมคอนกรีตเพื่อจำแนกคอนกรีตแต่ละสูตรผสมออกจากกันได้ ดังนั้นจึงใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และอัตราส่วนมวลรวมต่อซีเมนต์เพื่อจำแนกสูตรผสมแต่ละส่วนออกจากกันจากตารางที่ 3.14 ความแปรปรวนมาตรฐาน (SD) ของกำลังอัดเฉลี่ยเท่ากับ 42.031 ksc นั่นคือกำลังของคอนกรีตเฉลี่ยแล้วกระจายออกจากค่าเฉลี่ย 42.031 ksc และจากตารางที่ 3.16 จะได้ว่าความผันแปรในกระบวนการผลิต เช่น ความแม่นยำในการชั่งส่วนผสม , การเตรียมตัวอย่าง และการบ่มอยู่ในระดับดีถึงพอใช้

ตารางที่ 3.16 เกณฑ์การประเมินการควบคุมการผลิต

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (กก./ตร.ซม.)	น้อยกว่า 28	28 - <35	35 - <42	42 - < 49	มากกว่า 49
ระดับการควบคุมการผลิต	ดีเลิศ	ดีมาก	ดี	พอใช้	ต้องปรับปรุง

บทที่ 4

โครงข่ายประสาทเทียม

4.1. กล่าวนำ

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks, ANN) เป็นแขนงหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence, AI) ซึ่งมีโครงสร้างเชิงสถาปัตยกรรม และการทำงาน คล้ายคลึงกับเซลล์สมอง หรือระบบประสาทของมนุษย์ โดยสามารถเรียนรู้จากประสบการณ์ และให้คำตอบในปัญหาที่ซับซ้อนได้น่าเชื่อถือ โดยทั่วไปแล้วนั้น เราจะกล่าวถึงโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) ซึ่งได้แรงบันดาลใจมาจากการเริ่มต้นของการที่มนุษย์จำได้โดยที่เกิดจากการคำนวณจากสมองของมนุษย์ ซึ่งแตกต่างจากการคำนวณที่ได้จากคอมพิวเตอร์โดยสิ้นเชิง สมองจะมีความซับซ้อนสูง และมีระบบการประมวลผลแบบคู่ขนาน มีความสามารถที่จะจัดการโครงสร้างที่มีส่วนประกอบ ซึ่งรู้จักกันว่า เซลล์ประสาทเป็นตัวยุติที่ควบคุมส่วนต่างๆ ของร่างกายเช่นการจำรูปแบบต่างๆ เช่น การจำรูปแบบต่างๆ , การรับรู้และการควบคุมการเคลื่อนไหวของร่างกาย ซึ่งเร็วกว่าการคำนวณของคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันหลายเท่าตัว

4.2. โครงข่ายประสาทเทียม

คือ การออกแบบและสร้างระบบคอมพิวเตอร์ให้มีโครงสร้างการทำงานเลียนแบบการทำงานของเซลล์ในสมองของมนุษย์ หรือที่เรียกว่า “นิวรอล” นั้นมีขั้นตอนในการทำงานในแง่ของสรีระวิทยาประสาท ที่จะเชื่อมโยงกันเป็นโครงข่ายของหน่วยประสาท หรือ Neural Network โดยใช้วิธีการประมวลผลแบบขนานและการกระจายการทำงาน (Parallel Distribute Processing) เพื่อแปลงข้อมูลจากรูปแบบหนึ่งไปเป็นอีกรูปแบบหนึ่งตามที่ต้องการนอกจากนั้นคุณสมบัติของระบบยังแตกต่างจากหลักการทำงานในเชิงคณิตศาสตร์โดยทั่วไปในเรื่องของ Massively Parallel Processing ซึ่งคุณสมบัติประการแรก คือ Fault Tolerance หมายถึง ระบบประมวลผลจะไม่หยุดกลางคัน ถึงแม้หน่วยประมวลผลบางหน่วยได้รับความเสียหายจนทำงานไม่ได้ก็ตาม คุณสมบัติอีกประการที่สำคัญคือ Generalization หมายถึง โครงข่ายประสาทเทียมยังคงให้ผลลัพธ์ที่ต้องการได้แม้จะมีสัญญาณรบกวนหรือข้อมูลขาดความสมบูรณ์หรือเป็นข้อมูลที่ยังไม่เคยเห็นมาก่อนแล้วก็สามารถที่จะทำงานได้ คุณสมบัติประการสุดท้าย คือ Adaptability หมายถึงระบบสามารถที่จะเรียนรู้สภาพแวดล้อมใหม่ที่แตก

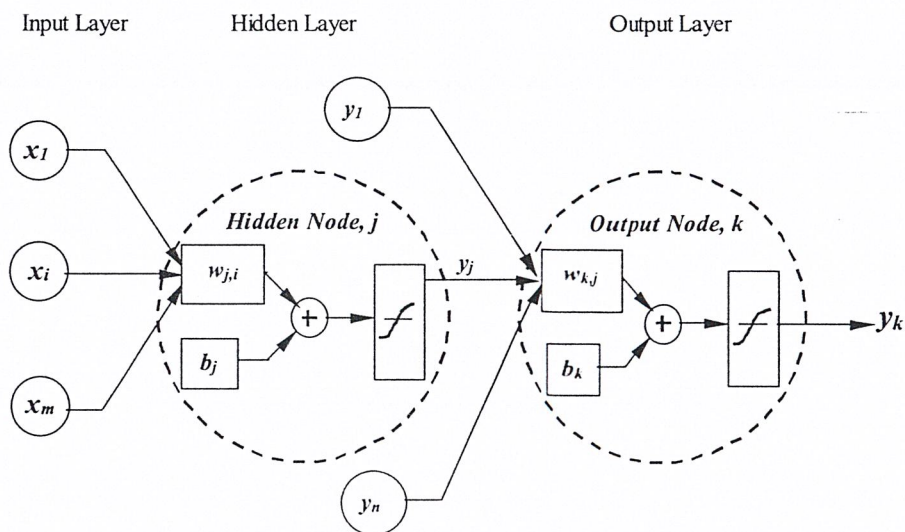
ต่างจากสภาพแวดล้อมเดิมได้อย่างรวดเร็ว การทำงานของระบบจะอยู่ในรูปของการฝึกสอน (Training) เพื่อการปรับพื้นฐานความรู้ด้วยตัวเลขค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) ทำให้ค่าอินพุท (Input) และ เอาท์พุท (Output) ของระบบสอดคล้องกันจากนั้นจึงสามารถนำฐานความรู้ (Knowledge Base) ที่ได้ไปใช้ต่อไป

4.3.แบบจำลองของโครงข่ายประสาทเทียม (Models of Neural Network)

โครงข่ายนี้จะประกอบด้วย 3 ส่วนด้วยกัน คือ

1. ชั้นรับข้อมูล (Input Layer)
2. ชั้นแฝง (Hidden Layer) และ
3. ชั้นแสดงผล (Output Layer)

โดยแต่ละชั้นจะประกอบด้วย หน่วย (Neuron) ซึ่งจะทำหน้าที่ประมวลผล หรือ ส่งต่อผลลัพธ์ไปยังชั้นต่อไป โดยปกติจำนวนของหน่วย (Neuron) จะขึ้นอยู่กับชนิดและความซับซ้อนของปัญหา จากรูปแสดงโครงสร้างเบื้องต้นของโครงข่ายประสาทเทียม แบบไปข้างหน้า (Feed-Forward)



รูปที่ 4.1.แสดงโครงข่ายประสาทเทียมแบบไปข้างหน้า

ค่าผลลัพธ์จากแต่ละหน่วย จะสามารถหาได้ดังนี้

$$y_j = f\left(\sum_{i=1}^m (w_{j,i} \cdot x_i) + b_j\right) \quad (1)$$

$$y_k = f\left(\sum_{j=1}^n (w_{k,j} \cdot y_j) + b_k\right) \quad (2)$$

โดย x_i คือ ข้อมูลเริ่มต้น (Input)

y_j คือ ค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลของ ชั้นแฝง (Hidden Layer)

y_k คือ ค่าผลลัพธ์จากชั้นแสดงผล

w คือ ค่าน้ำหนัก (weight)

b คือ ค่าเบี่ยงเบน (bias)

$f(c)$ คือ ฟังก์ชันแปลงค่าความสัมพันธ์ เช่น Linear Function , Sigmoid Function และ Step Function

4.4. สถาปัตยกรรมของโครงข่าย (network architecture)

โดยปกติแล้ว เราจะแบ่งสถาปัตยกรรมของโครงข่ายออกเป็น 3 แบบ คือ

4.4.1. โครงข่ายแบบชั้นเดียวป้อนไปข้างหน้า (Single-Layer Feed-forward Network)

ในระดับโครงข่ายนิเวศจะถูกจัดการให้อยู่ในรูปแบบเป็นชั้นๆ รูปแบบที่ง่ายที่สุดของชั้นโครงข่ายเราจะมีชั้นอินพุทของแหล่งกำเนิดของหน่วยแฝง (node) ขึ้นไปยัง ชั้นเอาต์พุท ของโครงข่ายแบบนี้ จัดเป็นชนิดแบบไม่ต่อเนื่อง จากรูป 4.2.แสดงกรณีของหน่วยแฝง 4 หน่วยที่อยู่ในรูปของชั้นอินพุทและชั้นเอาต์พุท ซึ่งเราจะเรียกโครงข่ายนี้ว่าโครงข่ายแบบชั้นเดียวไปข้างหน้า ที่เรียกว่าชั้นเดียวนี้ เนื่องจากการอ้างอิงถึง ชั้นเอาต์พุท ของ หน่วยคำนวณแฝง หรือ นิเวศ เราจะไม่นับอินพุทของหน่วยเริ่มต้นเนื่องจากการไม่มีการคำนวณเกิดขึ้นที่หน่วยนั้น

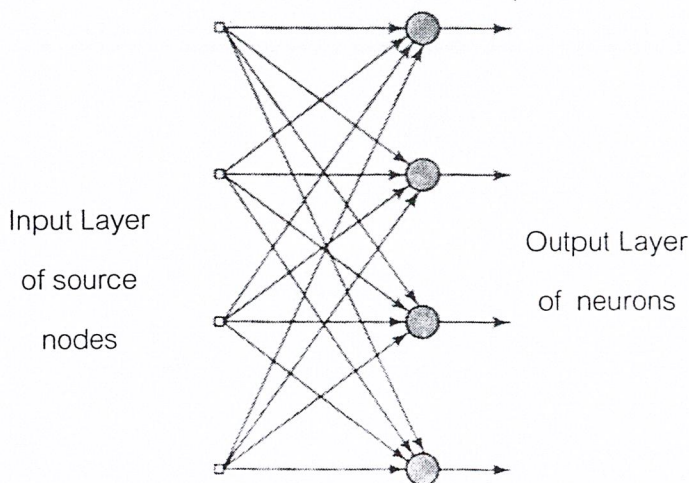
4.4.2. โครงข่ายแบบหลายชั้นป้อนไปข้างหน้า (Multilayer Feedforward Networks)

จะเป็นชั้นที่มีการแบ่งแยกด้วยตัวของมันเอง ด้วยการมี ชั้นแฝง(hidden layer) 1 ชั้น หรือมีมากกว่านั้นซึ่งหน่วย(Node)จะมีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกว่าหน่วยแฝง ฟังก์ชันของนิเวศแฝง จะอยู่

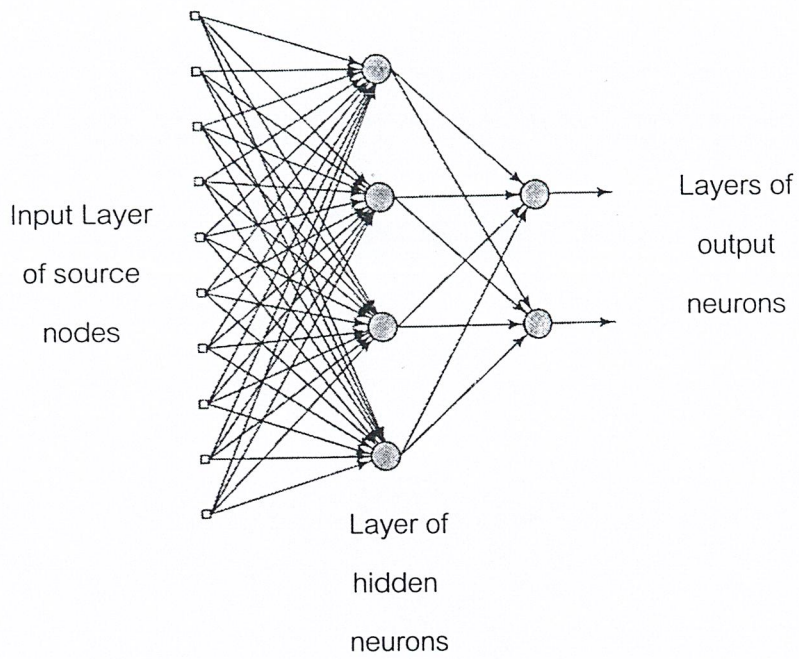
ระหว่างค่าที่นำเข้าจากภายนอกและสิ่งที่ได้ออกมาจากโครงข่าย จากรูปที่ 4.3. จะแสดงแผนผังของหลายชั้นในกรณีที่เป็นโครงข่ายแบบชั้นเดี่ยวไปข้างหน้า (single-hidden layer) ซึ่งจะเป็นโครงข่ายแบบ 10-4-2 เพราะว่ามี 10 แหล่งกำเนิด node (source) node, 4 หน่วยแฝง และ 2 หน่วยแสดงผลตัวอย่างนอกเหนือจากนี้ ก็จะมี m แหล่งกำเนิด, จำนวนนิวรอน h_1 นิวรอน ที่อยู่ในชั้นแฝงแรก, จำนวน นิวรอน h_2 นิวรอน ที่อยู่ในชั้นแฝงที่สอง และจำนวน นิวรอน q นิวรอน ที่เป็นชั้นเอาต์พุตจะแทนโครงข่ายนี้ด้วย $m - h_1 - h_2 - q$ จากรูปที่ 4.3.บอกได้ว่าเป็นการเชื่อมต่อกันทุกหน่วย(Fully Connected)เนื่องจากทุกๆ หน่วยของแต่ละชั้นถูกเชื่อมโยงไปยังหน่วยอื่นๆ ที่อยู่ถัดออกไป แต่อย่างไรก็ตาม หากว่ามีบางการเชื่อมโยงไม่ได้เชื่อมต่อบน โครงข่ายเราจะเรียก โครงข่ายนี้ว่า การเชื่อมต่อแบบบางส่วน

4.4.3.โครงข่ายแบบรีเคอเรนซ์(Recurrent Network)

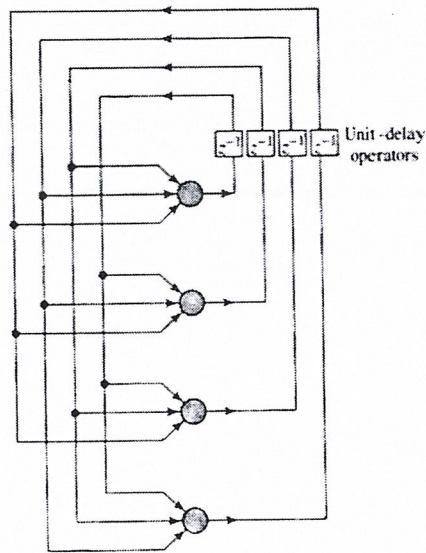
โครงข่ายแบบรีเคอเรนซ์จะแบ่งตัวมันเองออกจาก โครงข่ายทั่วไปด้วยการมีทวนรอบกลับอย่างน้อย 1 วง ตัวอย่างเช่น โครงข่ายแบบรีเคอเรนซ์จะมีชั้นเดี่ยว ของ นิวรอน ซึ่งแต่ละอันจะเป็นเอาต์พุตซิกแนล ส่งกลับไปส่วนที่นำเข้ามาของนิวรอนอื่น ๆ ทั้งหมดซึ่งแสดงได้จากรูปด้านล่าง ในโครงสร้างนี้จะสามารถบอกได้ว่า ไม่มีลูปที่วนกลับมาหาตัวเอง (loop self-feedback) ในโครงข่าย ; ลูปที่ทวนกลับมาหาตัวเอง จะบ่งบอกว่ามันเป็นสถานะที่ส่วนที่มันยื่นออกมาของนิวรอนกลับไปเป็นส่วนที่เข้ามาด้วยตัวของมันเอง



รูปที่ 4.2.แสดงสถาปัตยกรรมของโครงข่ายแบบชั้นเดี่ยวไปข้างหน้า



รูปที่ 4.3.แสดงสถาปัตยกรรมของโครงข่ายแบบหลายชั้น ไปข้างหน้า



รูปที่ 4.4.แสดงสถาปัตยกรรมของโครงข่ายแบบรีเคอร์เรนต์

4.5. การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมจะมีประสิทธิภาพเพียงใดขึ้นอยู่กับค่าถ่วงน้ำหนักของโครงข่าย ซึ่งการฝึกสอน (Training) โครงข่ายก็คือการหาค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมให้กับโครงข่ายนั้นๆ ซึ่งการเรียนรู้มีอยู่ด้วยกัน คือ

4.5.1. การเรียนรู้แบบชี้แนะ (Supervised Learning)

การเรียนรู้โดยวิธีนี้จะกำหนดเขตของการเรียนรู้ให้กับโครงข่ายซึ่งเขตนี้ประกอบด้วยอินพุตและเอาต์พุตที่ต้องการ (Target Output) เมื่อป้อนอินพุตให้กับโครงข่าย หลังจากนั้นโครงข่ายก็จะทำการประมวลผลจนได้คำตอบและค่าถ่วงน้ำหนักออกมาชุดหนึ่ง สำหรับคำตอบที่ได้จากโครงข่ายจะถูกนำมาคำนวณค่าความผิดพลาดโดยวัดเป็นระยะทางว่ามีความห่างจากคำตอบที่ต้องการมีค่ามากน้อยเพียงใด ถ้ายังมีความผิดพลาดสูงอยู่ก็จะทำการปรับแก้ค่าถ่วงน้ำหนักและทำการเรียนรู้ต่อไปจนกว่าค่าความผิดพลาดระหว่างคำตอบของโครงข่ายกับเอาต์พุตที่ต้องการมีค่าน้อยพอที่จะยอมรับได้จึงจะหยุดการเรียนรู้ และค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้ก็เหมือนฟังก์ชันที่ใส่แปลงข้อมูล

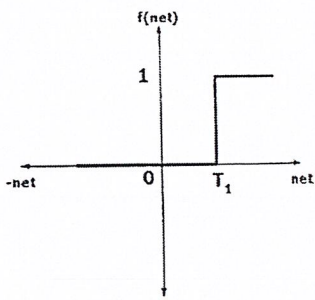
4.5.2. การเรียนรู้แบบไม่มีผู้ชี้แนะ (Unsupervised Learning)

การเรียนรู้วิธีนี้จะป้อนอินพุตเข้าสู่โครงข่าย และภายในโครงข่ายจะมีเอาต์พุตโหนดอยู่หลายโหนดด้วยกัน โดยแต่ละโหนดจะแทนกลุ่มของข้อมูลที่มีคุณสมบัติเหมือนกันเมื่อป้อนอินพุตเข้าสู่โครงข่าย จะทำการคำนวณค่าความสัมพันธ์ที่มีอยู่ภายในเขตของอินพุต โคนอาศัยค่าความถ่วงน้ำหนักเป็นตัวแยกความแตกต่างของอินพุตไปเก็บไว้ในโหนดเอาต์พุตของโครงข่าย การเรียนรู้วิธีนี้ไม่สามารถสรุปได้ว่าเอาต์พุตโหนดใดเป็นของข้อมูลกลุ่มใดผู้ใช้จะต้องกำหนดเองซึ่งในแบบแรกนั้นสามารถระบุกลุ่มเอาต์พุตได้อย่างแน่นอน

4.6. ฟังก์ชันกระตุ้น

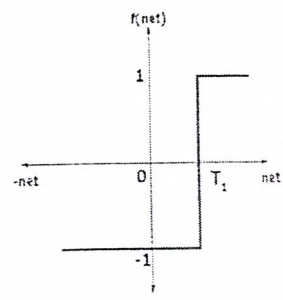
ฟังก์ชันกระตุ้นที่ใช้ในการตัดสินใจเอาที่พูดของโครงข่ายมีอยู่หลายชนิด ดังแสดงในรูปที่ 4.2 มีทั้งชนิดที่เป็นฟังก์ชันแบบต่อเนื่อง และฟังก์ชันแบบไม่ต่อเนื่องค่าที่ได้จากฟังก์ชันเหล่านี้มีอยู่ 2 ลักษณะ คือ แบบไบโพลาร์ (Bipolar) ซึ่งโดเมนของ $f(\text{net})$ จะอยู่ในช่วงปิด $[-1,1]$ และยูนิโพลาร์ (Unipolar) ซึ่งโดเมนของ $f(\text{net})$ จะอยู่ในช่วงปิด $[0,1]$ ซึ่งในการเลือกใช้ฟังก์ชันกระตุ้นนั้นไม่มีหลักเกณฑ์กำหนดแน่นอนว่าควรใช้ฟังก์ชันชนิดใดสำหรับโครงข่ายรูปแบบใด การเลือกจึงขึ้นอยู่กับลักษณะของแต่ละปัญหาที่จะต้องพิจารณาให้มีความเหมาะสมกับปัญหานั้นๆ

กำหนดให้ $\text{net} = W \cdot X = \sum_{i=1}^n w_i x_i$ ส่วนสัญลักษณ์ T_1 และ T_2 ที่ปรากฏในรูปเป็นค่าเทรชโฮลด์



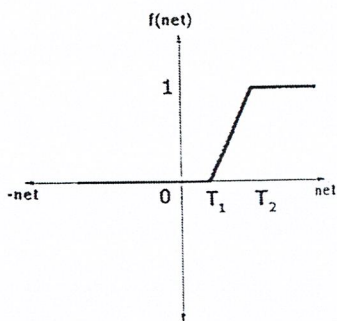
$$f(\text{net}) = \begin{cases} 0; & \text{ถ้า } \text{net} < T_1 \\ 1; & \text{ถ้า } \text{net} \geq T_1 \end{cases}$$

(ก)

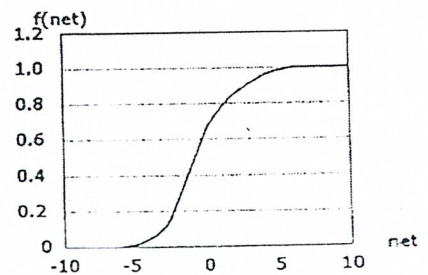


$$f(\text{net}) = \begin{cases} 1; & \text{ถ้า } \text{net} < T_1 \\ -1; & \text{ถ้า } \text{net} \geq T_1 \end{cases}$$

(ข)



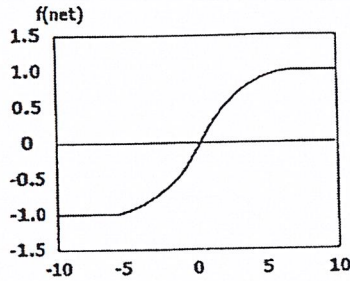
$$f(\text{net}) = \begin{cases} 1; & \text{ถ้า } \text{net} \geq T_2 \\ \frac{1}{T_2 - T_1} (T_2 - \text{net}); & \text{ถ้า } T_1 \leq \text{net} < T_2 \\ 0; & \text{ถ้า } \text{net} < T_1 \end{cases}$$



$$f(\text{net}) = \frac{1}{1 + e^{-\text{net}}}$$

(ค)

(ง)



$$f(\text{net}) = \frac{2}{1 + e^{-\text{net}}} - 1$$

(จ)

รูปที่ 4.5. แสดงฟังก์ชันกระตุ้นชนิดต่างๆ (ก) Threshold (ข) Bipolar Binary (ค) Linear Threshold (ง) Sigmoid (จ) Bipolar Continuous

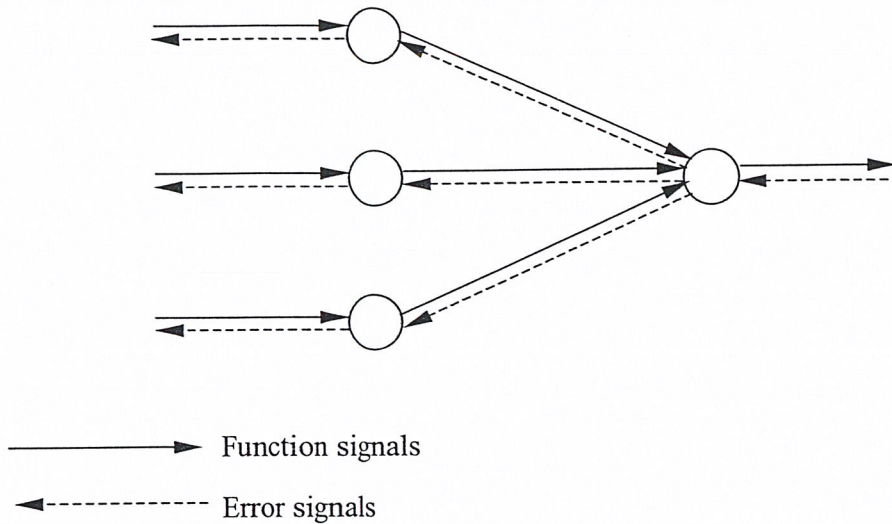
4.7. วิธีการแพร่กระจายกลับ (Back-Propagation)

คุณสมบัติสำคัญของโครงข่ายประสาทเทียม คือ ความสามารถในการเรียนรู้จากตัวอย่าง โดยพยายามคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล (Input) และผลลัพธ์ (Output) การเรียนรู้จะเริ่มจากการสุ่มค่าน้ำหนัก (Weight) และค่าเบี่ยงเบนเริ่มต้น (Bias) ค่าผลลัพธ์ที่ได้จากค่าเริ่มต้นจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์จริง ค่าที่แตกต่างจะถูกนำมาปรับค่าน้ำหนักและค่าเบี่ยงเบน โดยวิธีลองผิดลองถูก (Trial and Error) จนได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงหรือตรงกับผลลัพธ์จริง ค่าน้ำหนักและค่าเบี่ยงเบนสุดท้ายจะถูกนำมาใช้ในการพยากรณ์ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากข้อมูล (Input) ใหม่

กระบวนการในการปรับค่าน้ำหนักและค่าเบี่ยงเบนที่นิยมใช้ คือ Back-Propagation ซึ่งจะประกอบด้วยสัญญาณ 2 ส่วน (รูปที่ 4.6.) ดังนี้

(1) สัญญาณส่ง (Function Signals) คือ ข้อมูลหรือผลลัพธ์ของแต่ละหน่วยที่ถูกส่งเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม

(2) สัญญาณแก้ไข (Error Signals) คือ ค่าที่แตกต่างระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณและผลลัพธ์จริงที่ถูกส่งกลับสู่โครงข่ายประสาทเทียม เพื่อปรับค่าจนได้ค่าที่ตรงกัน



รูปที่ 4.6. แสดงสัญญาณในกระบวนการปรับค่าน้ำหนักและค่าเบี่ยงเบน

โครงสร้างเบื้องต้น ดังแสดงในรูปที่ 4.6. หน่วย j จะทำหน้าที่คำนวณค่าผลลัพธ์จากสัญญาณ ส่งจากหน่วย i ผลลัพธ์ที่ได้ คือ $y_j(n)$ ซึ่งจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าแตกต่างจากผลลัพธ์จริง คือ $d_j(n)$ ค่าความแตกต่างนี้ คือ $e_j(n)$ ดังสมการที่ 3

$$e_j(n) = d_j - y_j(n) \tag{3}$$

$e_j(n)$ จะถูกแปลงเป็นสัญญาณแก้ไข $E(n)$ ดังสมการที่ 4

$$E(n) = \frac{1}{2} e_j^2(n) \tag{4}$$

ดังแสดงในรูปที่ 4.7. ค่า $v_j(n)$ จะเป็นผลลัพธ์จากการคำนวณจากสมการที่ 5

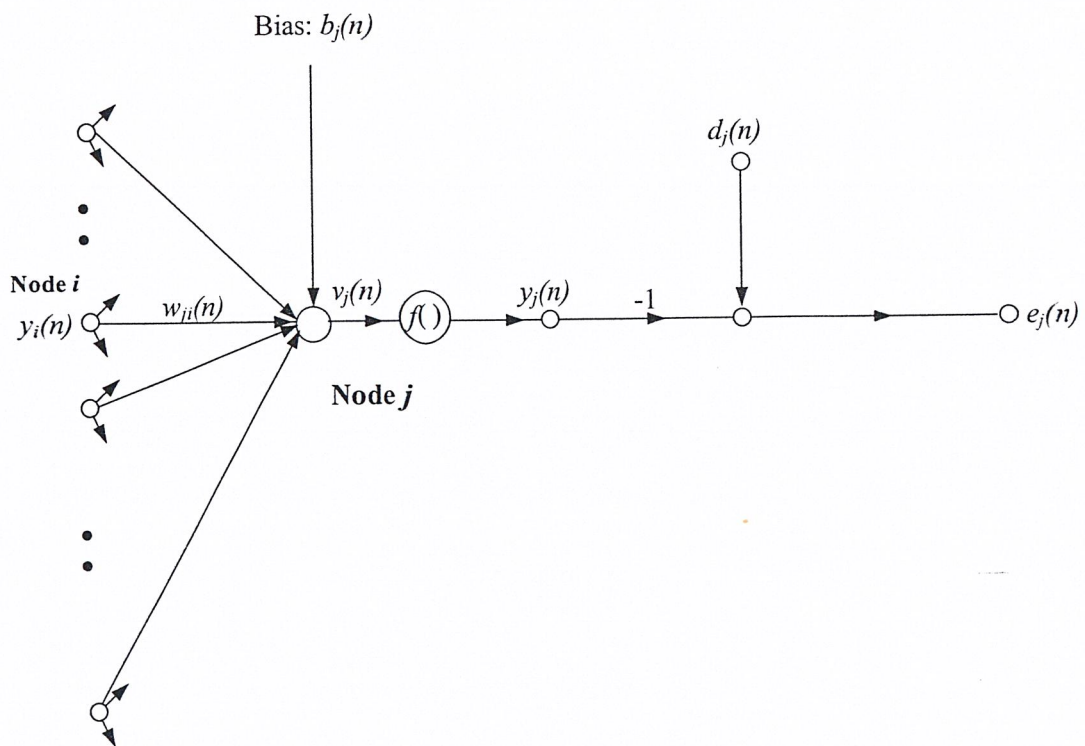
$$v_j(n) = \sum_{i=0}^m w_{ji}(n) y_i(n) + b_j(n) \tag{5}$$

สัญลักษณ์ w คือ ค่าน้ำหนัก และ สัญลักษณ์ m คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด สัญลักษณ์ $b_j(n)$ คือ ค่าเบี่ยงเบนที่ใช้ในหน่วย j ดังนั้น ผลลัพธ์ของหน่วย j คือ

$$y_j(n) = f_j(v_j(n)) \quad (6)$$

Back-Propagation จะปรับค่าน้ำหนักจากสัญญาณแก้ไข $E(n)$ ด้วยวิธี Chain Rule ดังนี้

$$\frac{\partial E(n)}{\partial w_{ji}(n)} = \frac{\partial E(n)}{\partial e_j(n)} \cdot \frac{\partial e_j(n)}{\partial y_j(n)} \cdot \frac{\partial y_j(n)}{\partial v_j(n)} \cdot \frac{\partial v_j(n)}{\partial w_{ji}(n)} \quad (7)$$



รูปที่ 4.7.แสดงโครงสร้างการคำนวณของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมจะปรับค่าน้ำหนัก $\Delta w_{ji}(n)$ ตามอัตราการเรียนรู้ η

$$\Delta w_{ji}(n) = -\eta \frac{\partial E(n)}{\partial w_{ji}(n)} \quad (8)$$

การปรับค่าน้ำหนักนี้ จะใช้วิธี *Gradient Descent* จนได้สัญญาณแก้ไขมีค่าน้อยสุดหรือค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณมีค่า เท่ากับหรือใกล้เคียงกับค่าผลลัพธ์จริง

4.8. การหาสถาปัตยกรรมโครงข่ายที่เหมาะสมกับข้อมูล

การหาสถาปัตยกรรมที่เหมาะสมในการพยากรณ์ค่าความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีตของโครงข่ายประสาทเทียมจะมีประสิทธิภาพเพียงใดขึ้นอยู่กับค่าถ่วงน้ำหนักของโครงข่าย ซึ่งการฝึกสอน (Training) โครงข่ายก็คือการหาค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมให้กับโครงข่ายนั้นๆ โดยใช้ การทดลองเพื่อหาจำนวนชั้นแฝง (Hidden layers) และจำนวนหน่วยแฝง (nodes) ต่อชั้นที่เหมาะสม ยังรวมถึงค่าของจำนวนรอบการเรียนรู้ (Epochs) เพื่อให้ได้ค่าจากการประมวลผลของโครงข่ายประสาทเทียมถูกต้องมากขึ้นหรือมีความผิดพลาดน้อย โดยเมื่อกำหนดจำนวนชั้นแฝง จำนวนหน่วยแฝง และจำนวนรอบการเรียนรู้ และทำการเปรียบเทียบค่า Root mean squares error (RMSE) ผลลัพธ์ที่แท้จริงกับค่าผลลัพธ์ที่ระบบได้ทำการคำนวณในแต่ละแบบที่เราได้ทำการเลือกได้ และต้องแน่ใจว่าความต่างของค่าผิดพลาดดังกล่าวต่ำที่สุด และไม่เกิดปรากฏการณ์ที่ระบบรู้จำมากเกินไป (Overfit) หรือเกินความจำเป็น

แม้จะมีได้มีกฎเกณฑ์ที่แน่นอนในการคำนวณหาค่าจำนวนรอบที่เหมาะสม แต่การตรวจสอบแนวโน้มความเปลี่ยนแปลง ของค่า Root mean squares error (RMSE) ในแต่ละรอบที่ใส่สอนมีการแสดงผลเป็นตัวเลขก็ทำให้มั่นใจได้ว่าการทดสอบของระบบได้ค่าความแตกต่างของความผิดพลาดที่ต่ำสุด ระบบสามารถเรียนรู้จำ(Overfit)ไม่เกินความจำเป็นค่าดังกล่าว ในส่วนของค่าผลต่างความผิดพลาดของผลลัพธ์ดังแสดงในสมการที่ 4.9. 4.10. และ สมการที่ 4.11.

$$SSE = \sum_{i=1}^n (D_i - D_i^*)^2 \quad (4.9.)$$

$$MSE = \frac{SSE}{n} \quad (4.10.)$$

$$RMSE = \sqrt{MSE} \quad (4.11.)$$

SSE : The sum of squares due to error

MSE : mean squared error

RMSE : Root mean squares error

D_i : ผลลัพธ์ที่ทราบค่าจากตัวอย่างแต่ละข้อมูล

D_i^* : ค่าผลลัพธ์ที่ได้บนเส้นความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกับตัวแปรอิสระเดียวกับผลลัพธ์ D_i

n : จำนวนข้อมูล

4.9. โปรแกรมเมทแลบ

MATLAB เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ขั้นสูง (High Level Language) สำหรับการคำนวณทางเทคนิคที่ประกอบด้วย การคำนวณเชิงตัวเลข กราฟฟิกที่ซับซ้อน และการจำลองแบบเพื่อให้มองเห็นภาพได้ง่ายและชัดเจน

ชื่อ MATLAB ย่อมาจาก matrix laboratory เดิมเป็นโปรแกรมที่เขียนขึ้นเพื่อใช้ในการคำนวณทาง matrix ที่พัฒนาจากโปรเจก LINKPACK และ EISPACK

MATLAB ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาต่างๆ เช่น ทางด้านคณิตศาสตร์วิศวกรรม และ วิทยาศาสตร์แขนงต่างๆ ตลอดจนในด้านอุตสาหกรรมได้นำไปเป็นเครื่องมือสำหรับงานวิจัย พัฒนา และวิเคราะห์ โดยอาศัยโปรแกรมเฉพาะทาง (Toolbox) ของแต่ละสาขา ซึ่ง MATLAB จะมีฟังก์ชันต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาในสาขานั้นๆ ให้เลือกประยุกต์ใช้งานเป็นจำนวนมาก

ข้อดีของการทดลองวิจัยด้วยโปรแกรมเมทแลบ

1. มีฟังก์ชันที่ใช้ในทางคณิตศาสตร์ที่มากมายหลากหลาย
2. การพัฒนา Algorithm ทำได้ง่าย และไม่ยุ่งยาก เมื่อเทียบกับภาษาอื่นๆ เช่น C Fortran Basic เป็นต้น
3. สามารถวิเคราะห์ตรวจสอบได้ง่ายและรวดเร็ว
4. นำไปใช้ในด้านกราฟฟิกได้ดี ทั้ง 2 D , Surface และ Contour
5. สามารถสร้างส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (Graphic User Interface) ได้
6. สามารถประมวลผลร่วมกับโปรแกรมอื่นและทำงานติดต่อกับฐานข้อมูลภายนอกได้

บทที่ 5

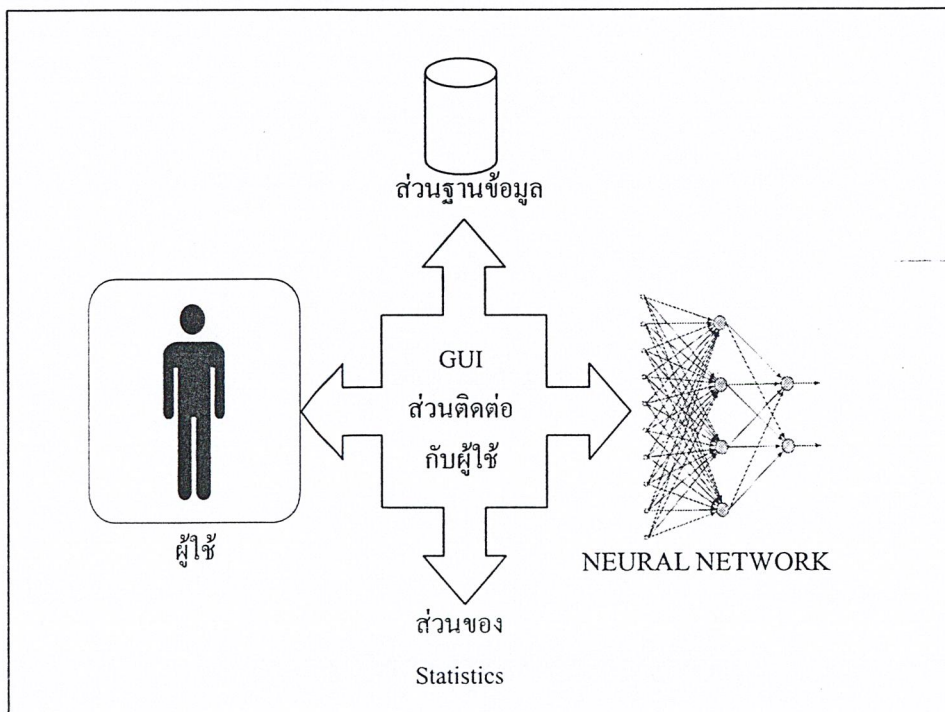
โครงสร้างความสัมพันธ์และการทำงานของโปรแกรม

5.1. กล่าวนำ

โปรแกรมพยากรณ์ค่าความสามารถในการต้านทานแรงอัดของคอนกรีต ถูกพัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรมแมทแลบ ด้วยเหตุผลในการสร้างและทดสอบตัวโปรแกรมที่พัฒนาได้รวดเร็วและมีความถูกต้องสูงในการทำงาน และมีส่วนของทูลบ็อกซ์ทางโครงข่ายประสาทเทียม ที่จำเป็นต่องานวิจัย

5.2. โครงสร้างความสัมพันธ์ของโปรแกรม

โปรแกรมพยากรณ์ค่าความสามารถในการต้านทานแรงอัดของคอนกรีต แบ่งออกได้เป็น 4 ส่วนหลักๆ ดังนี้

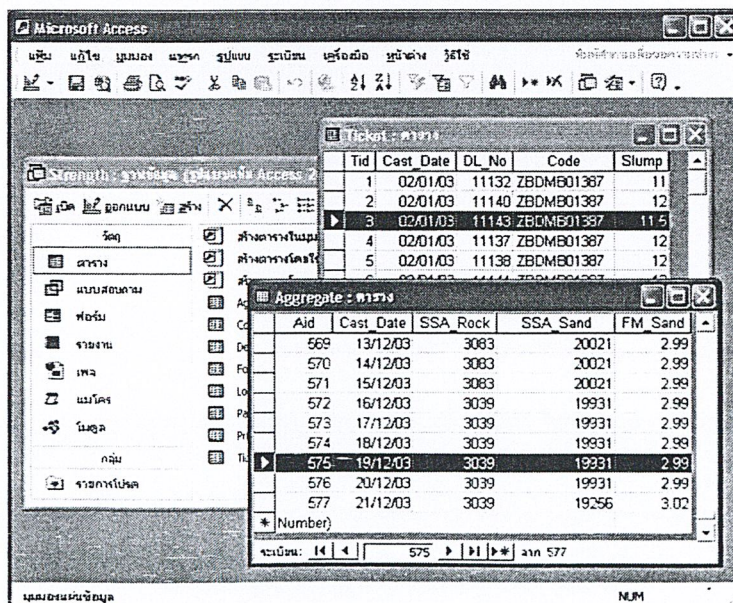


รูปที่ 5.1. แสดงโครงสร้างการทำงานของโปรแกรม

5.2.1. ส่วนฐานข้อมูล

โดยปกติแล้ว การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต และผลการทดสอบความการรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีต ในแต่ละโครงการ จะมีการทำกันอยู่แล้ว เพียงแต่ไม่ได้มีผู้รวบรวมเพื่อนำไปใช้ประโยชน์แต่อย่างใด และส่วนใหญ่แล้ว ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตก็จะได้ไม่บอกข้อมูลอย่างครบถ้วนสมบูรณ์ ดังนั้นระบบฐานข้อมูลที่จะถูกพัฒนาในโครงการทำวิจัยนี้จะทำหน้าที่เก็บรวบรวมข้อมูลพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มี เกี่ยวกับการออกแบบคอนกรีต และการทดสอบความสามารถรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีต ข้อมูลที่ได้จากโครงการก่อสร้างสนามบินสุวรรณภูมิ ในงานวิจัยนี้จำนวนทั้งสิ้น 4,877 ข้อมูล เพื่อนำไปเก็บเข้าสู่ระบบฐานข้อมูลส่วนกลาง (Main Database) ระบบฐานข้อมูลส่วนกลางจะถูกออกแบบให้มีการปรับปรุงได้ เพื่อให้สามารถเพิ่มข้อมูลใหม่เข้าไปได้ ข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งไปยังโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network Module) เพื่อคำนวณหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆกับความสามารถรับแรงอัดของคอนกรีต

ในที่นี้ได้เลือกใช้ไมโครซอฟท์แอคเซส เป็นระบบฐานข้อมูลตัวหลัก เนื่องจากเป็นระบบที่มีใช้กันอย่างแพร่หลาย มีข้อดีที่เรียนรู้การใช้งานได้ง่ายและสะดวกต่อการแลกเปลี่ยนข้อมูลกันได้ง่ายกับระบบเอกสาร (ซึ่งมักเป็นไมโครซอฟท์เอกเซล) โดยส่วนสำคัญของตารางฐานข้อมูลโดยส่วนผสมที่ใช้จะเป็นค่าที่อยู่ในอัตราส่วนคอนกรีตต่อลูกบาศก์เมตรซึ่งเราสามารถที่จะเพิ่มเติม/แก้ไขข้อมูลได้



รูปที่ 5.2. แสดงตารางข้อมูลในฐานข้อมูลไมโครซอฟท์แอคเซส

5.2.2. ส่วนติดต่อผู้ใช้ (Graphics User Interface)

การเชื่อมต่อกับผู้ใช้ทางกราฟฟิก (Graphics User Interface(GUI)) เป็นวิธีการเชื่อมต่อกันระหว่างผู้ใช้และคอมพิวเตอร์ โดยคอมพิวเตอร์จะถูกใช้งานก็ต่อเมื่อผู้ใช้ได้ป้อนข้อมูลที่ต้องการผ่านทางคีย์บอร์ด เมาส์และไมโครโฟนอย่างใดอย่างหนึ่งให้กับคอมพิวเตอร์ คอมพิวเตอร์จะแสดงตัวอักษรและกราฟฟิกต่างๆบนจอภาพ ซึ่งในส่วนการสร้างได้มีการอธิบายไว้อย่างละเอียดใน Help ของตัวแมทแลบ

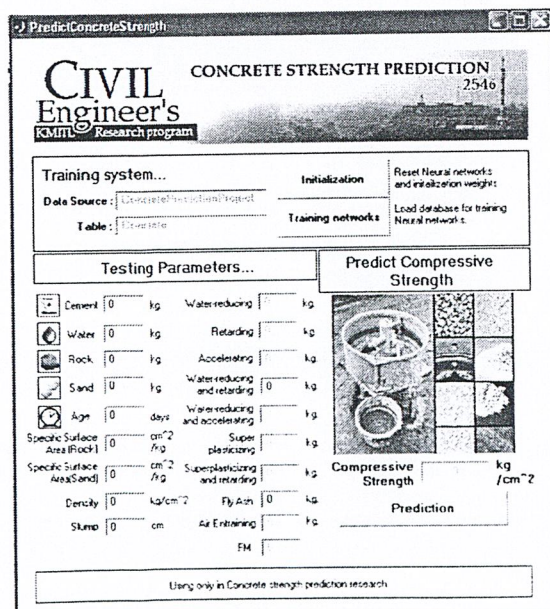
5.2.2.1. การทำงานของปุ่มและช่องกรอกข้อมูล

ปุ่ม Initialization : ยกเลิกการให้ระบบทำการเรียนรู้ข้อมูล เริ่มต้นใหม่ทั้งหมด

ปุ่ม Training networks : โหลดข้อมูลจากฐานข้อมูล วิเคราะห์ความสัมพันธ์ และให้ระบบทำการเรียนรู้ความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งหมด(ใช้เวลานาน)และเมื่อเรียนรู้เสร็จสิ้นจะแสดงค่าขั้นต่ำของข้อมูลไว้ในช่องกรอกข้อมูล

ช่องกรอกข้อมูล : ใส่ค่าสำหรับทำการทดสอบการทำนายของโปรแกรมโดยให้ใส่ค่าได้เฉพาะตัวเลขในกรณีที่กรอกค่าข้อมูลไม่อยู่ในขอบเขตของข้อมูลที่เคยทำการเรียนรู้ จะแสดงค่าเตือน

ปุ่ม Prediction : ทำการทำนายผลลัพธ์ของข้อมูลที่กรอกใส่เข้าไป ออกมาเป็นค่าความสามารถในการต้านทานแรงอัด (Compressive Strength)



รูปที่ 5.3. แสดงส่วนติดต่อผู้ใช้ของโปรแกรม

5.2.3. ส่วนสถิติ

ทำหน้าที่ปรับค่าข้อมูลให้อยู่ในช่วงเดียวกันเพื่อให้เหมาะสมในการเรียนรู้ของระบบโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Networks)

5.2.3.1. การปรับค่าข้อมูล (Normalization)

ทำการปรับค่าข้อมูลให้อยู่ในช่วงเดียวกันทั้งหมดเพื่อให้ระบบโครงข่ายประสาทเทียมสามารถทำการเรียนรู้และปรับค่าน้ำหนัก (Weight) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีวิธีการดังนี้

2.1 หากค่ามากและน้อยที่สุดของแต่ละชุดข้อมูล(ของข้อมูลแต่ละประเภท)

2.2 แทนค่าข้อมูลในช่วง ให้อยู่ในขอบเขต $[-1,1]$ ด้วยการเทียบอัตราส่วนข้อมูลกับค่า มากและน้อยที่สุดเพื่อให้สามารถใช้งานกับ Transfer function ของ Neural networks ซึ่งใช้ Tan-sigmoid function ในการคำนวณ (ค่าอยู่ในช่วง $[-1,1]$ เช่นกัน)

5.2.4. ส่วน ของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม เป็นแบบการแพร่กระจายกลับ (Backpropagation) การเรียนรู้ของระบบประกอบไปส่วนต่างๆ คือ

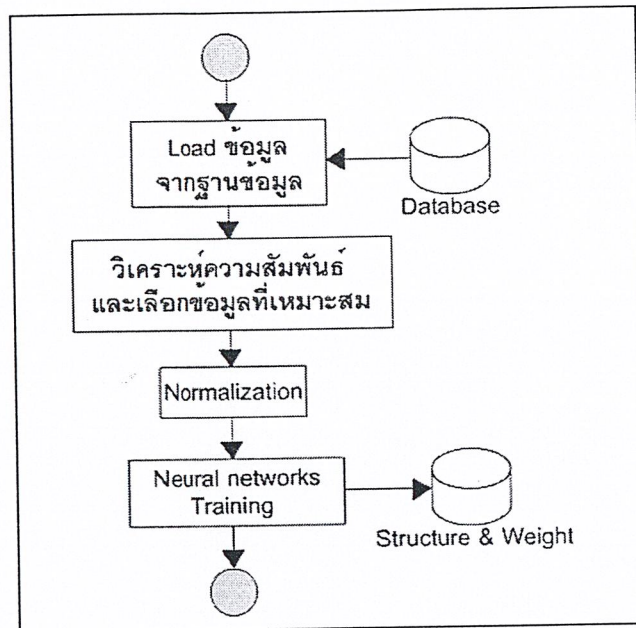
- การรวบรวมข้อมูล (Data acquisition)
- การกำหนดลักษณะโครงสร้างหรือสถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียม (Architecture determination)
- รูปแบบการเรียนรู้ (Learning process)
- การสอนโครงข่ายประสาทเทียม (Training of network)
- การทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม (Testing of network)

5.3. การทำงานของโปรแกรมพยากรณ์ค่าการต้านทานแรงอัดของคอนกรีต

ขั้นตอนการทำงานจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

5.3.1. การทำงานของโปรแกรมในการให้ระบบเรียนรู้

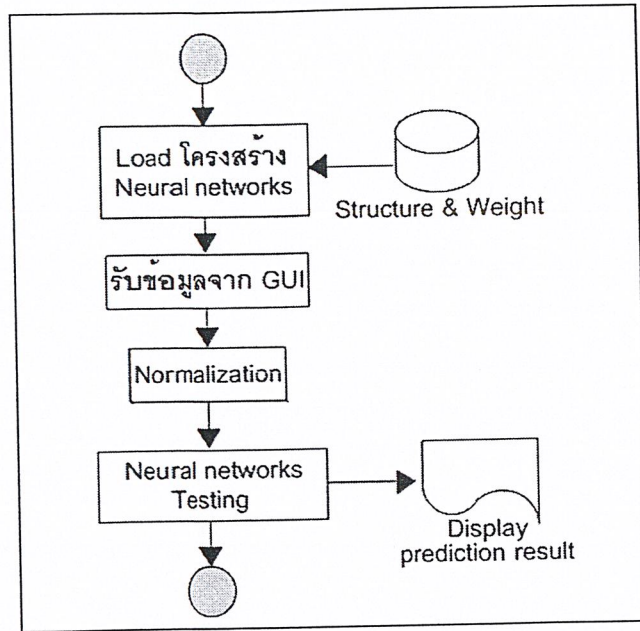
การให้ระบบเรียนรู้ลักษณะความสัมพันธ์ของข้อมูลจากข้อมูลที่มีอยู่ในฐานข้อมูลหลัก โดยเริ่มแรกทำการโหลดข้อมูลจากฐานข้อมูลที่ได้ทำการเชื่อมโยงค่าที่ต้องการตามที่ได้วิเคราะห์ในบทที่ 2 จากนั้นทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์และทำการเลือกข้อมูลที่เหมาะสมกับข้อมูล ขั้นตอนต่อมาทำการปรับค่า (normalization) เพื่อเข้าสู่กระบวนการต่อไปคือการให้ระบบเรียนรู้ข้อมูลโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งเมื่อระบบทำการเรียนรู้ข้อมูลก็จะได้โครงสร้างและหน่วยการปรับน้ำหนักแล้ว ขั้นตอนทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 5.4.



รูปที่ 5.4.แสดงการทำงานของโปรแกรมในการให้ระบบเรียนรู้

5.3.2.การทำงานของโปรแกรมในการทดสอบระบบ

การทำงานของโปรแกรมในการทดสอบระบบที่ผ่านการเรียนรู้มาใช้งาน หรือ การทดสอบประสิทธิภาพระบบโดยเริ่มจากการโหลดโครงสร้างที่ได้ผ่านการเรียนรู้มาแล้ว(ถ้าจากโปรแกรมที่ได้จัดทำก็คือ ปุ่ม Training networks) จากนั้นใส่ข้อมูลเข้าที่ช่องกรอกโดยสามารถจัดการได้จากหน้าจอรับข้อมูลจากนั้นเมื่อกดปุ่ม Prediction ระบบจะทำการปรับค่า (normalization) จากนั้นระบบจะทดสอบและพยากรณ์ค่าการรับแรงอัดของคอนกรีตออกมาที่หน้าจอ ขั้นตอนทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 5.5.



รูปที่ 5.5.แสดงการทำงานของโปรแกรมในการทดสอบระบบ

บทที่ 6

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

6.1. กล่าวนำ

การวิเคราะห์จะแบ่งเป็นสองส่วนเพื่อเปรียบเทียบกันคือ

1. การวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีความสัมพันธ์ของกำลังของคอนกรีตกับปัจจัยต่าง ๆ ที่เคยมีผู้เคยทำการทดลองมาก่อนหน้าแล้ว
2. การวิเคราะห์โดยระบบประสาทเทียม

6.2. การวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีความสัมพันธ์ของกำลังของคอนกรีตกับปัจจัยต่าง ๆ

ทฤษฎีที่ใช้วิเคราะห์จะแบ่งออกเป็น 2 ทฤษฎีดังต่อไปนี้ คือ

1. Exponential function or Abram's formula (Popovics, 1998 citing Abram, 1918)

ซึ่งมีสมการคือ
$$f = \frac{A_A}{B_A \frac{w}{c}} + C_A \quad (6.1)$$

2. Logarithmic function or Schiller's formula (Popovics, 1998 citing Schiller, 1958)

ซึ่งมีสมการคือ
$$f = A_S \log(B_S \frac{c}{w}) + C_S \quad (6.2)$$

$$f = A_L - B_L \log(\frac{w}{c}) = A_L - \log[(\frac{w}{c})^{B_L}] \quad (6.3)$$

6.2.1. การวิเคราะห์โดยใช้ Exponential function or Abram's formula (Abram 1918)

ทฤษฎีนี้มีสมการดังแสดงดังต่อไปนี้

$$f = \frac{A_A}{B_A^{\frac{w}{c}}} + C_A$$

หรือจัดรูปสมการใหม่ได้เป็น

$$f = A_A + 10^{-(\log B_A)^{\frac{w}{c}}} + C_A \quad (6.4)$$

โดยที่

f คือ กำลังอัดประลัยของคอนกรีต

A_A , B_A และ C_A คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้มาจากการทดลอง

จากข้อมูลที่ได้จากสูตรรณภูมิจะได้ค่าสัมประสิทธิ์และสมการของคอนกรีตที่อายุ 3 วันเป็นดังต่อไปนี้

$$A_A = -0.696 \quad (-0.6957782192)$$

$$\text{Log } B_A = 2.757 \quad (2.7570311435)$$

$$C_A = 0$$

และได้สมการเป็น

$$\text{Log } f = -0.696 \left(\frac{w}{c}\right) + 2.757$$

จากข้อมูลตัวอย่างจะได้ค่า

$$R^2 = 0.243379$$

และความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์

$$(\text{SE}_{\text{est}}, \text{RMSE}) = 41.67 \text{ ksc}$$

ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปที่ 6.1.

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์และสมการของคอนกรีตที่อายุ 7 วันเป็นดังต่อไปนี้

$$A_A = -0.388 \quad (-0.387781832)$$

$$\text{Log } B_A = 2.716 \quad (2.715646475)$$

$$C_A = 0$$

และได้สมการเป็น

$$\text{Log } f = -0.388 \left(\frac{w}{c}\right) + 2.716$$

จากข้อมูลตัวอย่างจะได้ค่า

$$R^2 = 0.116458$$

และความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์

$$(\text{SE}_{\text{cst}}, \text{RMSE}) = 41.96 \text{ ksc}$$

ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปที่ 6.2.

และค่าสัมประสิทธิ์และสมการของคอนกรีตที่อายุ 28 วันเป็นดังต่อไปนี้

$$A_A = -0.337 \quad (-0.337019)$$

$$\text{Log } B_A = 2.776 \quad (2.776263)$$

$$C_A = 0$$

และได้สมการเป็น

$$\text{Log } f = -0.337 \left(\frac{w}{c}\right) + 2.77$$

จากข้อมูลตัวอย่างจะได้ค่า

$$R^2 = 0.117589$$

และความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์

$$(\text{SE}_{\text{est}}, \text{RMSE}) = 49.38 \text{ ksc}$$

ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปที่ 6.3.

6.2.2. การวิเคราะห์โดยใช้ Logarithmic function or Schiller's formula (Schiller 1958)

ซึ่งมีสมการคือ $f = A_s \log(B_s \frac{c}{w}) + C_s$

$$f = A_L - B_L \log\left(\frac{w}{c}\right) = A_L - \log\left[\left(\frac{w}{c}\right)^{B_L}\right]$$

โดยที่

f คือ กำลังอัดประลัยของคอนกรีต

A_L และ B_L คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้มาจากการทดลอง

และค่าสัมประสิทธิ์และสมการของคอนกรีตที่อายุ 3 วันเป็นดังต่อไปนี้

$$A_L = 102.243 \quad (102.242720)$$

$$B_L = -526.3 \quad (-526.300509)$$

และได้สมการเป็น

$$f = -526.3 \log\left(\frac{w}{c}\right) + 102.243$$

จากข้อมูลตัวอย่างจะได้ค่า

$$R^2 = 0.246670305$$

และความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์ (SE_{est} , RMSE) = 41.38 ksc

ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปที่ 6.4.

และค่าสัมประสิทธิ์และสมการของคอนกรีตที่อายุ 7 วันเป็นดังต่อไปนี้

$$A_L = 214.799$$

$$B_L = -403.023$$

และได้สมการเป็น

$$f = -403.023 \log\left(\frac{w}{c}\right) + 214.799$$

จากข้อมูลตัวอย่างจะได้ค่า

$$R^2 = 0.121553$$

และความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์ (SE_{est} , RMSE) = 41.62 ksc

ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปที่ 6.5.

และค่าสัมประสิทธิ์และสมการของคอนกรีตที่อายุ 28 วันเป็นดังต่อไปนี้

$$A_L = 281.169$$

$$B_L = -424.686$$

และได้สมการเป็น

$$f = -424.6860 \log\left(\frac{w}{c}\right) + 281.1690$$

จากข้อมูลตัวอย่างจะได้ค่า

$$R^2 = 0.129261$$

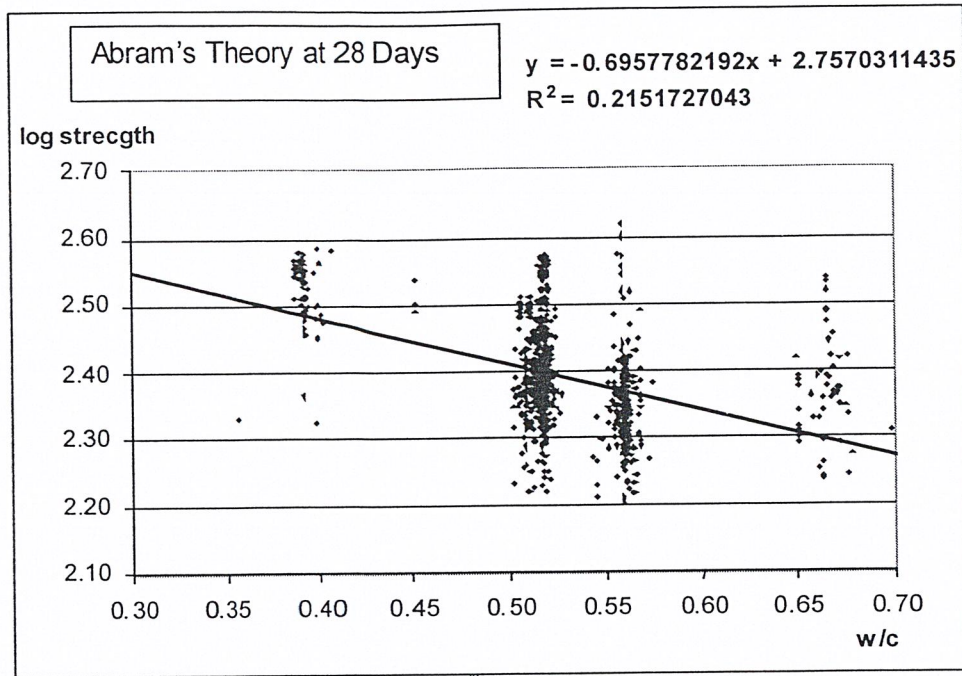
และความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์ (SE_{est} , RMSE) = 48.93 ksc

ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปที่ 6.6.

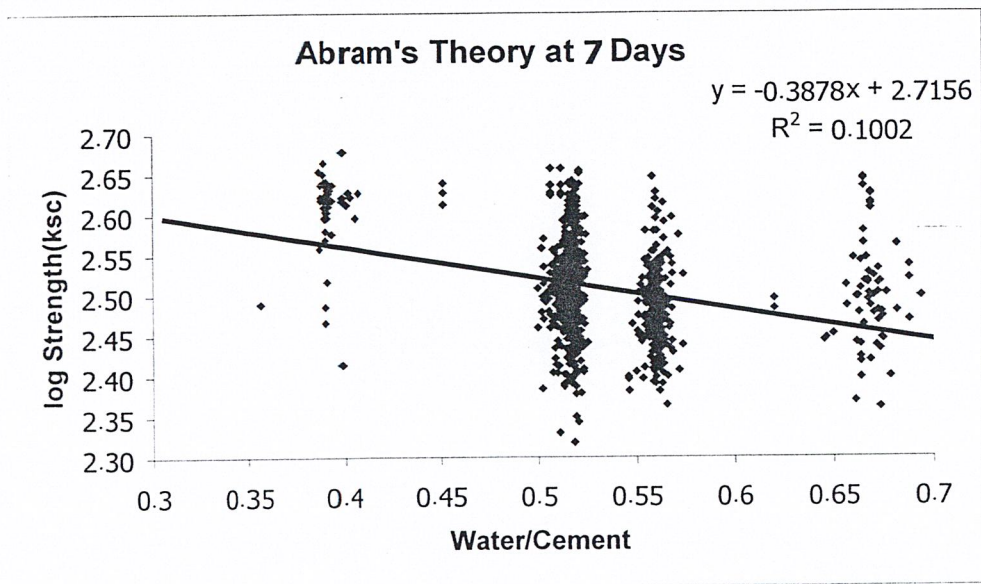
6.2.3.สรุปผลการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎี

ตารางที่ 6.1 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีโดยใช้ข้อมูลจากสุวรรณภูมิ

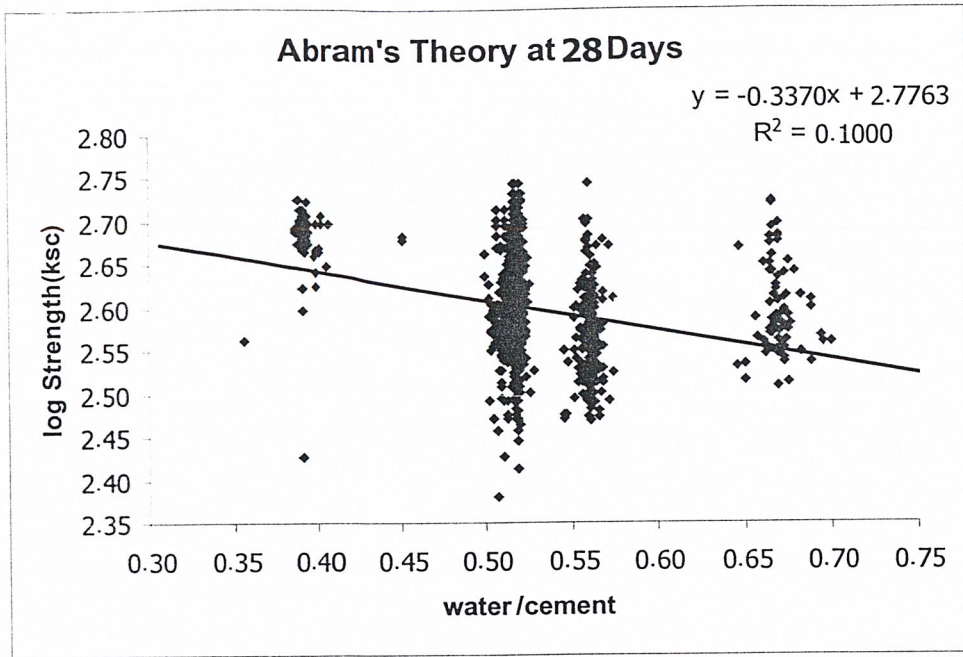
อายุ	จำนวนข้อมูล	Abram's formula		Schiller's formula	
		R ² (Prediction-Actual)	RMSE	R ² (Prediction-Actual)	RMSE
3 วัน	1110	0.243379	41.67	0.246670	41.38
7 วัน	1182	0.116458	41.96	0.126553	41.21
28 วัน	1163	0.117589	49.38	0.129610	48.93
เฉลี่ย		0.1576151	44.36	0.1661724	43.86



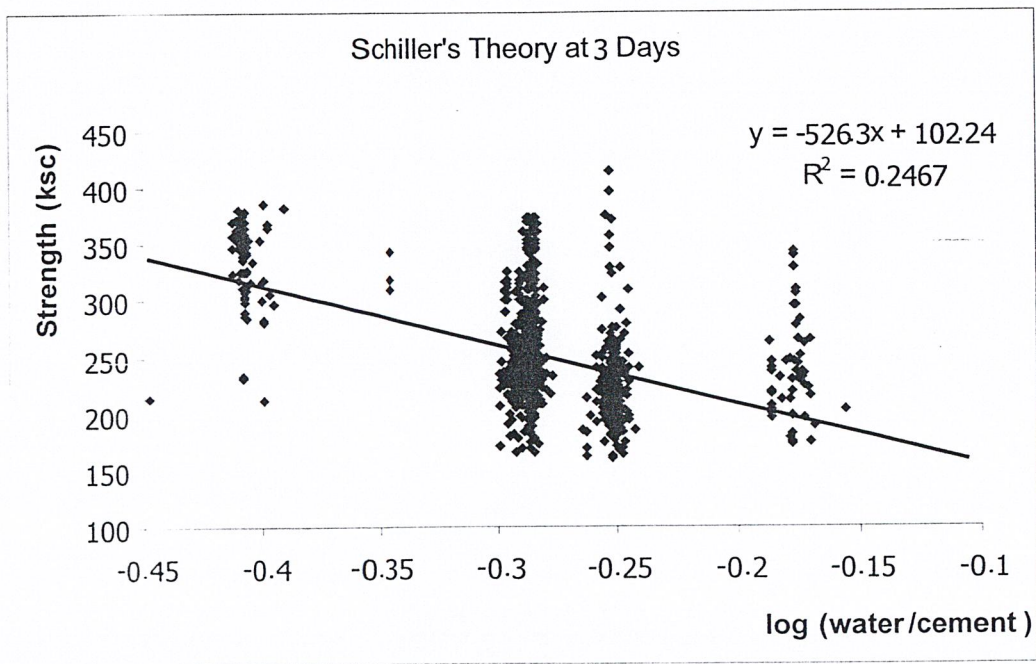
รูปที่ 6.1. แสดง log ของกำลังอัดกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์(Abram's) โดยใช้ข้อมูลจากสนามบินสุวรรณภูมิของคอนกรีตที่อายุ 3 วัน



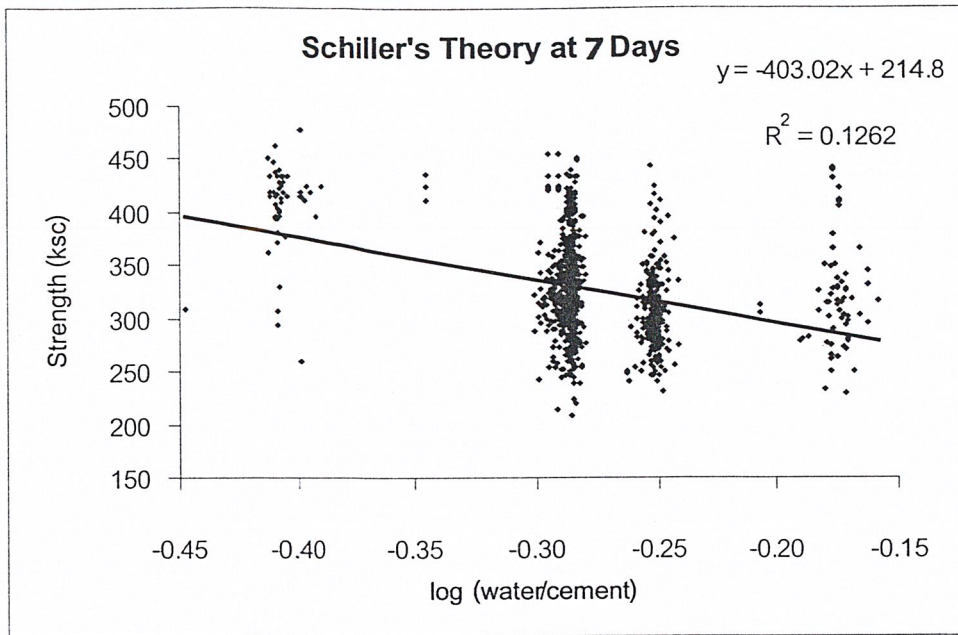
รูปที่ 6.2. แสดง log ของกำลังอัด กับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์(Abram's) โดยใช้ข้อมูลจากสนามบินสุวรรณภูมิของคอนกรีตที่อายุ 7 วัน



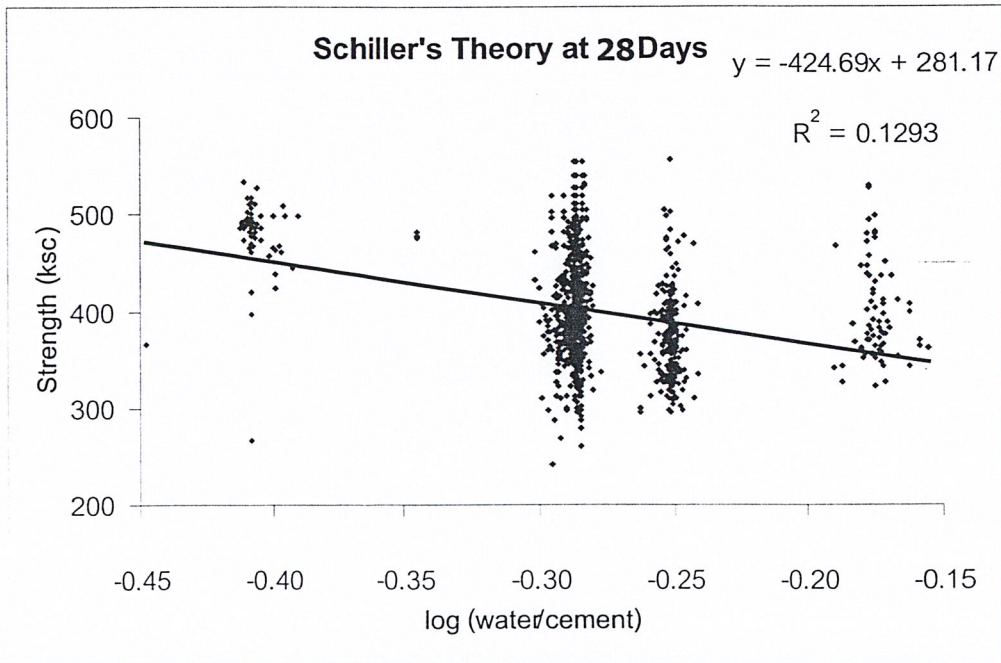
รูปที่ 6.3. แสดง log ของกำลังอัดกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดย(Abram's) ใช้ข้อมูลจากสนามบินสุวรรณภูมิของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน



รูปที่ 6.4 กำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 3 วัน กับ log ของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์(Schiller's) โดยใช้ข้อมูลจากสนามบินสุวรรณภูมิ



รูปที่ 6.5 กำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 7 วัน กับ log ของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดย (Schiller's) ใช้ข้อมูลจากสนามบินสุวรรณภูมิ



รูปที่ 6.6 กำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน กับ log ของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดย (Schiller's) ใช้ข้อมูลจากสนามบินสุวรรณภูมิ

6.3.การวิเคราะห์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

การทดสอบในส่วนของโครงข่ายประสาทเทียมนี้จะประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆ โดยจะกล่าวถึงตั้งแต่ขั้นตอนการหาสถาปัตยกรรมโครงข่ายที่เหมาะสม จนถึงขั้นตอนการทดสอบข้อมูล ซึ่งแสดงได้ดังนี้

6.3.1.ขั้นตอนการทดสอบหาโครงข่ายที่เหมาะสมกับชุดข้อมูล

1. ทำการโหลดข้อมูลจากฐานข้อมูลหลัก
2. แบ่งข้อมูลจากฐานข้อมูลออกเป็น 10 ส่วน โดย 9 ส่วนแรกนำไปให้ระบบเรียนรู้ และอีก 1 ส่วนใช้เพื่อให้ระบบทำการทดสอบเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบค่า Root Mean Square Error : RMSE โดยดูจากสมการในบทที่ 4 (สมการที่ 4.9, 4.10, และ 4.11.) ดังแสดงต่อไปนี้

$$SSE = \sum_{i=1}^n (D_i - D_i^*)^2$$

$$MSE = \frac{SSE}{n}$$

$$RMSE = \sqrt{MSE}$$

โดยที่

SSE = The sum of squares due to error

MSE = mean squared error

RMSE = Root mean squares error

D_i = ผลลัพธ์ที่ทราบค่าจากตัวอย่างแต่ละข้อมูล

D_i^* = ค่าผลลัพธ์ที่ได้บนเส้นความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกับตัวแปรอิสระเดียวกับผลลัพธ์

n = จำนวนข้อมูล

3. นำข้อมูลที่แบ่งไว้ในข้อที่ 2 มาทดสอบโดยหารูปแบบ(Model)ที่เหมาะสม โดยทดสอบแบบวนรอบ โดยรูปแบบที่ได้นั้นทำการควบคุม 3 ตัวแปรคือ

3.1. จำนวนชั้นแฝงของโครงข่าย(hidden Layer) โดยพิจารณาจากลักษณะของข้อมูลและปัญหา แล้วเหมาะสมจะใช้ 1 ชั้น และ 2 ชั้น

3.2. จำนวนหน่วยแฝงของโครงข่าย(Node) เท่ากับ 9, 10, 11, 12 หน่วยแฝง/ชั้นแฝง

3.3.จำนวนรอบการเรียนรู้(Epochs) กำหนดให้เท่ากับ 1,000 รอบ ถึง 2,000 รอบ

โดยแต่ละครั้งจะนำข้อมูลทั้ง 2 ส่วนมาทำการทดสอบผลลัพธ์หลังจากที่ระบบโครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้เสร็จแล้ว

4.นำผลการทดสอบจากข้อที่ 3. มาคำนวณหาค่า Root Mean Square Error : RMSE ของแต่ละกรณี

5.ทำซ้ำจนครบทุกรูปแบบ แล้วนำค่ามาเปรียบเทียบ ดังตารางที่ 6.2. โดยเลือกรูปแบบที่ RMSE(Testing) ที่น้อยที่สุด

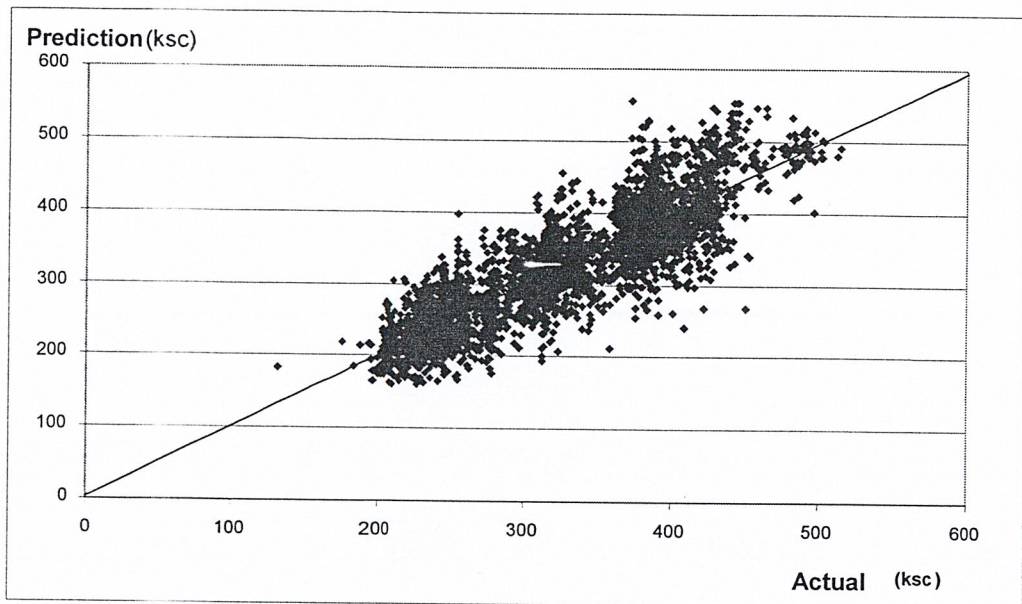
ตารางที่ 6.2. แสดงค่าเปรียบเทียบ RMSE ของโมเดลที่ทดสอบหา(ระบบแบบที่ A)

รูปแบบที่A (Mode A)	จำนวนชั้นแฝง(Hidden Layers)	Nodes/Layer	จำนวนรอบการคำนวณ (Epochs)	RMSE(Training)	RMSE(Testing)
1	1	9	1000	40.421	41.392
2	1	9	2000	40.184	39.988
3	1	10	1000	39.83	40.095
4	1	10	2000	39.789	39.596
5	1	11	1000	39.744	41.38
6	1	11	2000	39.597	40.092
7	2	9	1000	39.971	41.116
8	2	9	2000	38.453	39.053
9	2	10	1000	40.382	41.145
10	2	10	2000	39.378	40.093
11	2	11	1000	40.052	40.318
12	2	11	2000	39.132	39.466

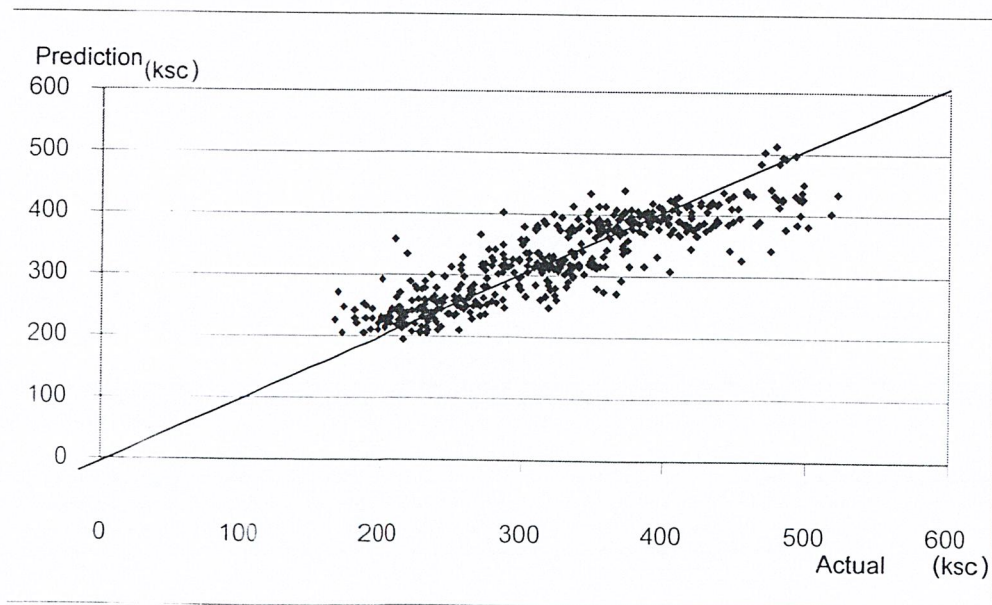
จากตารางที่ 6.2. จะเห็นว่า RMSE ของ Model A8 ในส่วนที่แรเงา (ชั้นแฝงจำนวน 2 ชั้น, หน่วยแฝงจำนวน 11 หน่วย และจำนวนรอบการเรียนรู้เท่ากับ 2,000 รอบ) มีค่าความผิดพลาดน้อยที่

สุดท้ายเปรียบเทียบกับค่าของรูปแบบอื่นๆ ซึ่งสามารถแสดงค่าในรูปแบบโครงข่ายที่ A8 ได้โดยแสดงเป็น 2 แบบ คือ

- ผลการเปรียบเทียบค่าของชุดข้อมูลที่ให้ระบบเรียนรู้ (จำนวนข้อมูลเท่ากับ 4,390 ข้อมูล) ดังแสดงในรูปที่ 6.7.
- ผลการเปรียบเทียบค่าชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบระบบ (จำนวนข้อมูลเท่ากับ 487 ข้อมูล) ดังแสดงในรูปที่ 6.8.



รูปที่ 6.7.แสดงกราฟวัดประสิทธิภาพของการเรียนรู้ของ Model A8



รูปที่ 6.8.แสดงกราฟวัดประสิทธิภาพของการทดสอบของ Model A8

สำหรับค่าของข้อมูลที่ใช้ระบบเรียนรู้และข้อมูลที่ใช้ทดสอบโครงข่ายนั้นในส่วนที่เป็นข้อมูลโดยละเอียดได้แยกออกให้สามารถตรวจสอบค่าได้โดยสามารถที่จะเปิดดูข้อมูลส่วนนี้ได้จากโปรแกรมแมทแลบ (MATLAB)

ในขั้นตอนการทดสอบหาโครงข่ายที่เหมาะสมพบว่าถ้าโครงข่ายนั้นมีความซับซ้อนรูปแบบและจำนวนรอบการเรียนรู้มาก เวลาที่ทำการทดสอบก็จะมากไปด้วย

สำหรับกระบวนการหยุดเรียนรู้ของระบบโครงข่ายประสาทเทียมนั้นจะขึ้นอยู่กับ 2 ประการด้วยกัน คือ

- 1.ความผิดพลาดที่ยอมรับได้ โดยถ้าหากค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลกับผลลัพธ์ที่ถูกต้อง กระบวนการเรียนรู้จะหยุด เมื่อผลต่างกำลังสองของค่าความผิดพลาด (Sum Squared Error , SSE) และค่ามัธยฐาน (Mean Square Error , MSE) มีค่าต่ำสุด(ถึงที่กำหนดไว้)
- 2.จำนวนรอบการเรียนรู้ (Epochs) จะหยุดเมื่อครบรอบที่กำหนดไว้

ทางผู้ศึกษาได้เพิ่มการทดสอบความถูกต้องในการทำนายของระบบประสาทเทียมโดยการทดลองเพิ่มปริมาณของปัจจัยต่าง ๆ ที่ป้อนแก่ระบบประสาทเทียมแล้วตรวจสอบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการทำนายโดยระบบประสาทเทียมให้ผลลัพธ์อย่างที่ควรจะเป็นหรือไม่อย่างไร โดยได้ทดลองเพิ่มอายุและปริมาณซีเมนต์ดังแสดงในตาราง 6.3 ถึง 6.6 และรูป 6.9 ดังต่อไปนี้ โดยกรณีที่ยกตัวอย่างได้มาจากฐานข้อมูลที่ใช้ระบบประสาทเทียมเรียนรู้แล้วเพิ่มอายุและปริมาณซีเมนต์โดยให้ส่วนผสมอื่น ๆ คงเดิม

ตารางที่ 6.3 กรณีตัวอย่างที่ 1 ของระบบประสาทเทียมแบบที่ A8 การทดลองเพิ่มอายุ

Cement (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Rock (kg/m ³)	Sand (kg/m ³)	Age (days)	SSA Rock (cm ² /kg)	SSA Sand (cm ² /kg)	Density (kg/m ³)	Slump (cm)	Admixture Type D (kg/m ³)	Fly Ash (kg/m ³)	Prediction (ksc)
340	173.33	1110	853	3	2414	22390	2423.11	11.5	1.65	0	243.08
340	173.33	1110	853	7	2414	22390	2403.65	11.5	1.65	0	323.99
340	173.33	1110	853	14	2414	22390	2403.65	11.5	1.65	0	375.37
340	173.33	1110	853	21	2414	22390	2403.65	11.5	1.65	0	384.65
340	173.33	1110	853	28	2414	22390	2403.65	11.5	1.65	0	395.84
340	173.33	1110	853	60	2414	22390	2403.65	11.5	1.65	0	453.83
340	173.33	1110	853	90	2414	22390	2403.65	11.5	1.65	0	513.03
340	173.33	1110	853	180	2414	22390	2403.65	11.5	1.65	0	663.76
340	173.33	1110	853	360	2414	22390	2403.65	11.5	1.65	0	726.38

ตารางที่ 6.4 กรณีตัวอย่างที่ 2 ของระบบประสานเทียมแบบที่ A8 การทดลองเพิ่มอายุ

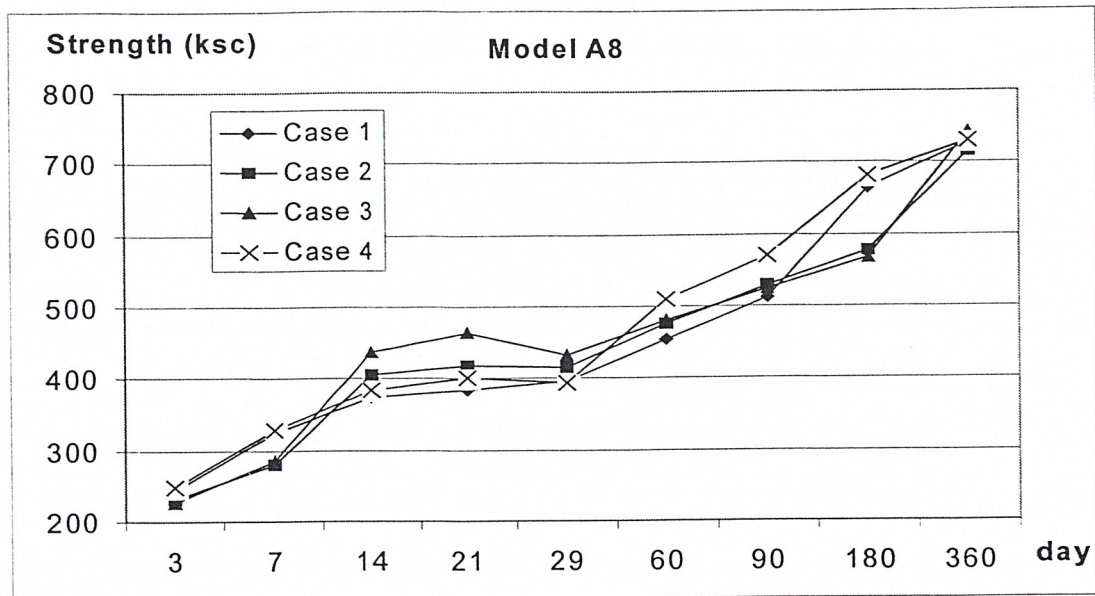
Cement (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Rock (kg/m ³)	Sand (kg/m ³)	Age (days)	SSA Rock (cm ² /kg)	SSA Sand (cm ² /kg)	Density (kg/m ³)	Slump (cm)	Admixture Type D (kg/m ³)	Fly Ash (kg/m ³)	Prediction (ksc)
210	155.6	1124	748	4	2482	25735	2405.92	12	1.15	210.83	231.43
210	155.6	1130	748	7	2482	25735	2418.79	12	1.15	210.83	279.01
210	155.6	1130	748	14	2482	25735	2412.54	12	1.15	210.83	405.14
210	155.6	1130	748	21	2482	25735	2412.54	12	1.15	210.83	417.34
210	155.6	1130	748	28	2482	25735	2412.9	12	1.15	210.83	414.97
210	155.6	1130	748	60	2482	25735	2412.54	12	1.15	210.83	476.36
210	155.6	1130	748	90	2482	25735	2412.54	12	1.15	210.83	529.86
210	155.6	1130	748	180	2482	25735	2412.54	12	1.15	210.83	577.66

ตารางที่ 6.5 กรณีตัวอย่างที่ 3 ของระบบประสานเทียมแบบที่ A8 การทดลองเพิ่มอายุ

Cement (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Rock (kg/m ³)	Sand (kg/m ³)	Age (days)	SSA Rock (cm ² /kg)	SSA Sand (cm ² /kg)	Density (kg/m ³)	Slump (cm)	Admixture Type D (kg/m ³)	Fly Ash (kg/m ³)	Prediction (ksc)
210	155	1126.67	750	4	0.369	8.094	2428.08	11.5	1.15	210	226.36
210	155	1126.67	750	7	0.369	8.094	2400.98	11.5	1.15	210	284.4
210	155	1126.67	750	14	0.369	8.094	2414.18	11.5	1.15	210	414.75
210	155	1126.67	750	21	0.369	8.094	2414.18	11.5	1.15	210	462.6
210	155	1126.67	750	28	0.369	8.094	2413.49	11.5	1.15	210	433.46
210	155	1126.67	750	60	0.369	8.094	2414.18	11.5	1.15	210	316.66
210	155	1126.67	750	90	0.369	8.094	2414.18	11.5	1.15	210	296.78
210	155	1126.67	750	180	0.369	8.094	2414.18	11.5	1.15	210	302.9
210	155	1126.67	750	360	0.369	8.094	2414.18	11.5	1.15	210	318.31

ตารางที่ 6.6 กรณีตัวอย่างที่ 4 ของระบบประสานเทียมแบบที่ A8 การทดลองเพิ่มอายุ

Cement (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Rock (kg/m ³)	Sand (kg/m ³)	Age (days)	SSA Rock (cm ² /kg)	SSA Sand (cm ² /kg)	Density (kg/m ³)	Slump (cm)	Admixture Type D (kg/m ³)	Fly Ash (kg/m ³)	Prediction (ksc)
255	171	1146.67	933	3	0.671	8.157	2381.32	11.5	1.25	0	260.85
255	171	1146.67	933	7	0.671	8.157	2347.18	11.5	1.25	0	269.88
255	171	1146.67	933	14	0.671	8.157	2378.01	11.5	1.25	0	355.26
255	171	1146.67	933	21	0.671	8.157	2378.01	11.5	1.25	0	400.12
255	171	1146.67	933	28	0.671	8.157	2405.54	11.5	1.25	0	378.49
255	171	1146.67	933	60	0.671	8.157	2378.01	11.5	1.25	0	298.54
255	171	1146.67	933	90	0.671	8.157	2378.01	11.5	1.25	0	300.51
255	171	1146.67	933	180	0.671	8.157	2378.01	11.5	1.25	0	316.34
255	171	1146.67	933	360	0.671	8.157	2378.01	11.5	1.25	0	318.41



รูปที่ 6.9 กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมที่ A8 กับอายุของคอนกรีตจากกรณีตัวอย่างที่ 1 ถึง 4 (ตารางที่ 6.3 ถึง 6.6)

ตารางและรูปต่อไปนี้เป็นกรณีตัวอย่างการทดลองเพิ่มอายุของคอนกรีตและผลการทำนายจากระบบประสาทเทียมแบบ B 12

ตารางที่ 6.7 กรณีตัวอย่างที่ 1 ของระบบประสาทเทียมแบบ B 12 การทดลองเพิ่มอายุ

Cement (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Rock (kg/m ³)	Sand (kg/m ³)	Age (days)	SSA Rock (cm ² /kg)	SSA Sand (cm ² /kg)	Density (kg/m ³)	Slump (cm)	Admixture Type D (kg/m ³)	Fly Ash (kg/m ³)	Prediction (ksc)
340	173.33	1110	853	3	0.508	5.775	2403.65	11.5	1.65	0	238.978
340	173.33	1110	853	7	0.508	5.775	2403.65	11.5	1.65	0	313.51
340	173.33	1110	853	14	0.508	5.775	2403.65	11.5	1.65	0	418.6
340	173.33	1110	853	21	0.508	5.775	2403.65	11.5	1.65	0	439.31
340	173.33	1110	853	28	0.508	5.775	2403.65	11.5	1.65	0	406.84
340	173.33	1110	853	60	0.508	5.775	2403.65	11.5	1.65	0	307.6
340	173.33	1110	853	90	0.508	5.775	2403.65	11.5	1.65	0	295.89
340	173.33	1110	853	180	0.508	5.775	2403.65	11.5	1.65	0	312.79
340	173.33	1110	853	360	0.508	5.775	2403.65	11.5	1.65	0	318.39

ตารางที่ 6.8 กรณีตัวอย่างที่ 2 ของระบบประสานเทียมแบบ B12 การทดลองเพิ่มอายุ

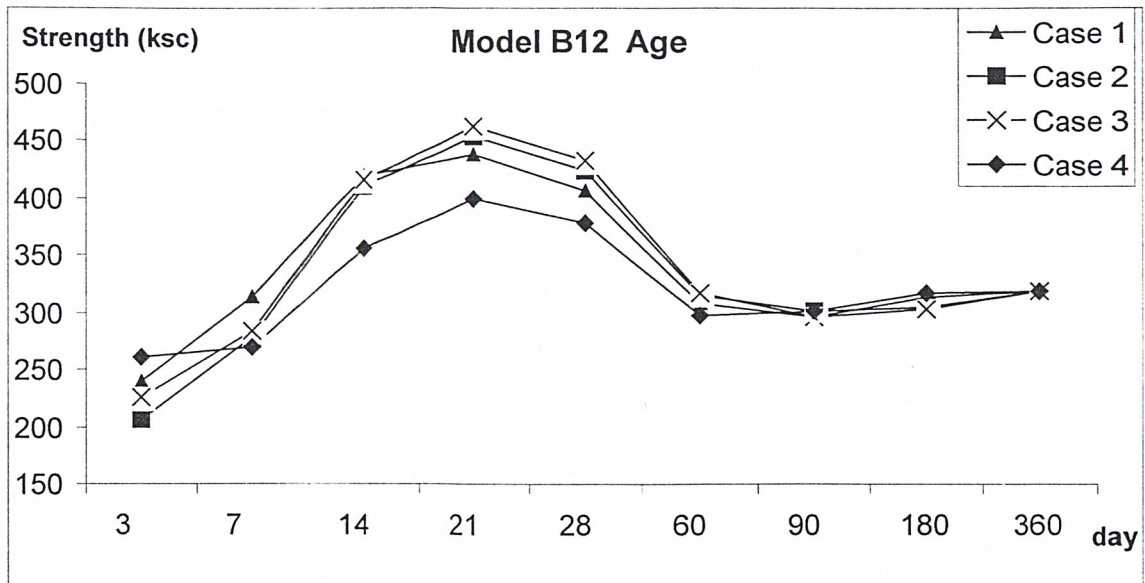
Cement (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Rock (kg/m ³)	Sand (kg/m ³)	Age (days)	SSA Rock (cm ² /kg)	SSA Sand (cm ² /kg)	Density (kg/m ³)	Slump (cm)	Admixture Type D (kg/m ³)	Fly Ash (kg/m ³)	Prediction (ksc)
210	155.7	1130	760	3	0.369	9.000	2430.15	12	1.15	210.83	205.44
210	155.7	1130	760	7	0.369	9.000	2393.16	12	1.15	210.83	279.01
210	155.7	1130	760	14	0.369	9.000	2430.15	12	1.15	210.83	410.1
210	155.7	1130	760	21	0.369	9.000	2395.89	12	1.15	210.83	454.96
210	155.7	1130	760	28	0.369	9.000	2364.73	12	1.15	210.83	425
210	155.7	1130	760	60	0.369	9.000	2395.89	12	1.15	210.83	314.97
210	155.7	1130	760	90	0.369	9.000	2395.89	12	1.15	210.83	302
210	155.7	1130	760	180	0.369	9.000	2395.89	12	1.15	210.83	304.68
210	155.7	1130	760	360	0.369	9.000	2395.89	12	1.15	210.83	318.33

ตารางที่ 6.9 กรณีตัวอย่างที่ 3 ของระบบประสานเทียมแบบ B12 การทดลองเพิ่มอายุ

Cement (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Rock (kg/m ³)	Sand (kg/m ³)	Age (days)	SSA Rock (cm ² /kg)	SSA Sand (cm ² /kg)	Density (kg/m ³)	Slump (cm)	Admixture Type D (kg/m ³)	Fly Ash (kg/m ³)	Prediction (ksc)
210	155	1126.67	750	4	2591	24355	2428.08	11.5	1.15	210	226.13
210	155	1126.67	750	7	2591	24355	2400.98	11.5	1.15	210	283.59
210	155	1126.67	750	14	2591	24355	2414.18	11.5	1.15	210	436.64
210	155	1126.67	750	21	2591	24355	2414.18	11.5	1.15	210	462.6
210	155	1126.67	750	28	2591	24355	2413.49	11.5	1.15	210	431.07
210	155	1126.67	750	60	2591	24355	2414.18	11.5	1.15	210	481.13
210	155	1126.67	750	90	2591	24355	2414.18	11.5	1.15	210	524
210	155	1126.67	750	180	2591	24355	2414.18	11.5	1.15	210	568.3
210	155	1126.67	750	360	2591	24355	2414.18	11.5	1.15	210	741.96

ตารางที่ 6.10 กรณีตัวอย่างที่ 4 ของระบบประสานเทียมแบบ B12 การทดลองเพิ่มอายุ

Cement (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Rock (kg/m ³)	Sand (kg/m ³)	Age (days)	SSA Rock (cm ² /kg)	SSA Sand (cm ² /kg)	Density (kg/m ³)	Slump (cm)	Admixture Type D (kg/m ³)	Fly Ash (kg/m ³)	Prediction (ksc)
255	171	1146.67	933	3	2626	24469	2381.32	11.5	1.25	0	249.32
255	171	1146.67	933	7	2626	24469	2347.18	11.5	1.25	0	328.87
255	171	1146.67	933	14	2626	24469	2378.01	11.5	1.25	0	383.6
255	171	1146.67	933	21	2626	24469	2378.01	11.5	1.25	0	400.12
255	171	1146.67	933	29	2626	24469	2405.54	11.5	1.25	0	392.57
255	171	1146.67	933	60	2626	24469	2378.01	11.5	1.25	0	508.79
255	171	1146.67	933	90	2626	24469	2378.01	11.5	1.25	0	570.2
255	171	1146.67	933	180	2626	24469	2378.01	11.5	1.25	0	682.22
255	171	1146.67	933	360	2626	24469	2378.01	11.5	1.25	0	728.71



รูปที่ 6.10 กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมที่ B12 กับอายุของคอนกรีตจากกรณีตัวอย่างที่ 1 ถึง 4 (ตารางที่ 6.7 ถึง 6.10)

ตัวอย่างการเพิ่มปริมาณซีเมนต์แสดงดังรูปและตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 6.12 กำลังที่ทำนายได้จากการทดลองเพิ่มปริมาณซีเมนต์กรณีที่ 1 จากระบบประสาทเทียมแบบ A8 และกำลังที่ทำนายได้จากทฤษฎีของ Schiller

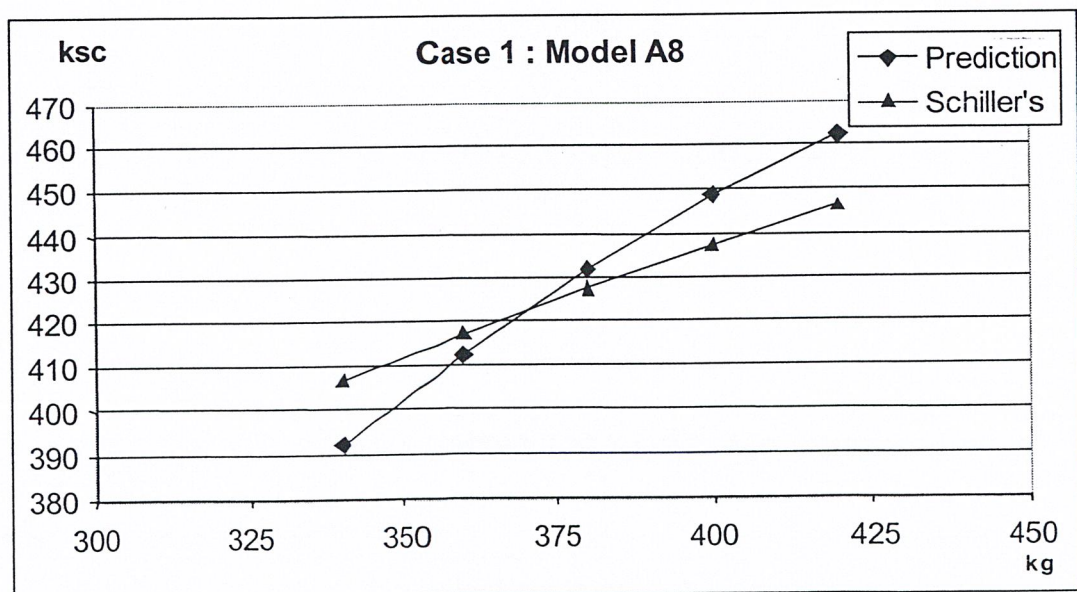
Cement (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Rock (kg/m ³)	Sand (kg/m ³)	Age (days)	SSA Rock (cm ² /kg)	SSA Sand (cm ² /kg)	Density (kg/m ³)	Slump (cm)	Admixture Type D (kg/m ³)	Fly Ash (kg/m ³)	Prediction (ksc)	Schiller's (kg/m ³)
340	173.33	1110	853	28	2414	22390	2403.65	11.5	1.65	0	392.16	406.9
360	173.33	1110	853	28	2414	22390	2403.65	11.5	1.65	0	412.44	417.566
380	173.33	1110	853	28	2414	22390	2403.65	11.5	1.65	0	431.81	427.656
400	173.33	1110	853	28	2414	22390	2403.65	11.5	1.65	0	448.59	437.228
420	173.33	1110	853	28	2414	22390	2403.65	11.5	1.65	0	462.31	446.332

ตารางที่ 6.13 กำลังที่ทำนายได้จากจากการทดลองเพิ่มปริมาณซีเมนต์กรณีที่ 2 จากระบบประสาทเทียมแบบ A8 และกำลังที่ทำนายได้จากทฤษฎีของ Schiller

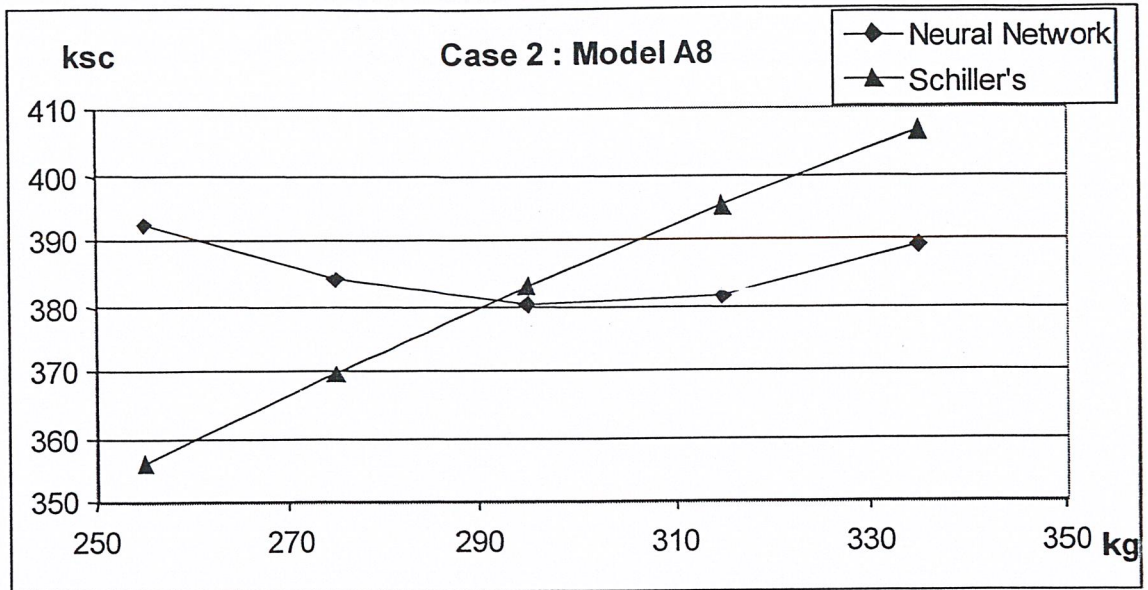
Cement (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Rock (kg/m ³)	Sand (kg/m ³)	Age (days)	SSA Rock (cm ² /kg)	SSA Sand (cm ² /kg)	Density (kg/m ³)	Slump (cm)	Admixture Type D (kg/m ³)	Prediction (ksc)	Schiller's (kg/m ³)
255	171	1146.67	933	29	2626	24469	2405.54	11.5	1.25	392.57	355.74
275	171	1146.67	933	29	2626	24469	2405.54	11.5	1.25	384.28	369.831
295	171	1146.67	933	29	2626	24469	2405.54	11.5	1.25	380.12	382.932
315	171	1146.67	933	29	2626	24469	2405.54	11.5	1.25	381.37	395.173
335	171	1146.67	933	29	2626	24469	2405.54	11.5	1.25	389	406.66

ตารางที่ 6.14 กำลังที่ทำนายได้จากจากการทดลองเพิ่มปริมาณซีเมนต์กรณีที่ 3 จากระบบประสาทเทียมแบบ A8 และกำลังที่ทำนายได้จากทฤษฎีของ Schiller

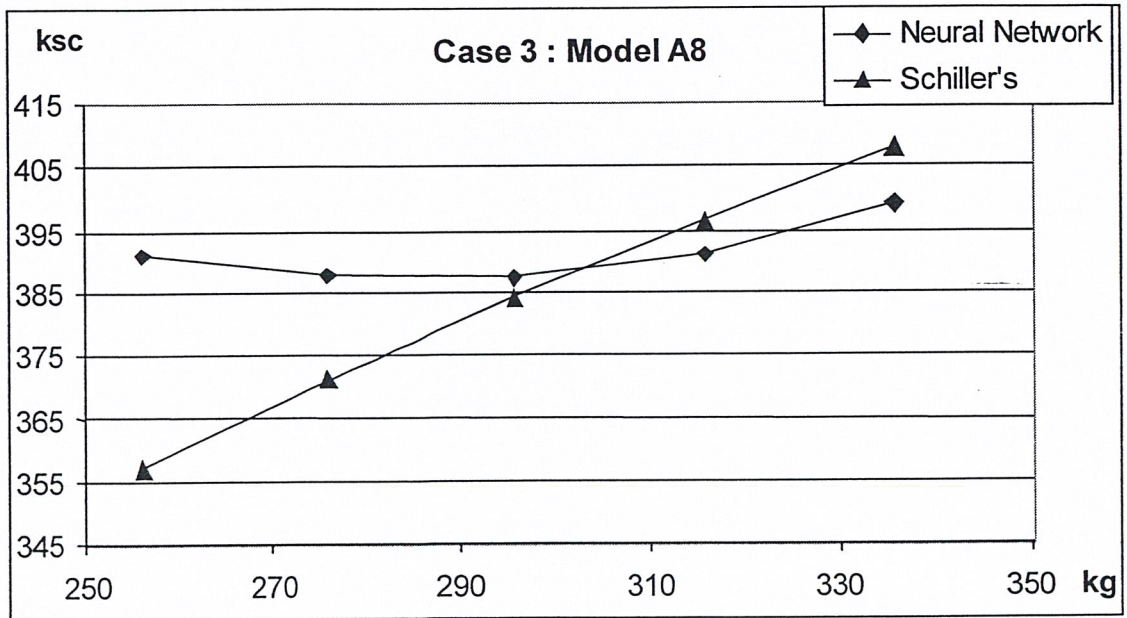
Cement (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Rock (kg/m ³)	Sand (kg/m ³)	Age (days)	SSA Rock (cm ² /kg)	SSA Sand (cm ² /kg)	Density (kg/m ³)	Slump (cm)	Admixture Type D (kg/m ³)	Prediction (ksc)	Schiller's (kg/m ³)
255.8	170.33	1150	920	28	2676	25751	2414.82	11.5	1.25	391.13	357.078
275.8	170.33	1150	920	28	2676	25751	2414.82	11.5	1.25	387.72	371.124
295.8	170.33	1150	920	28	2676	25751	2414.82	11.5	1.25	387.46	384.187
315.8	170.33	1150	920	28	2676	25751	2414.82	11.5	1.25	391.02	396.395
335.8	170.33	1150	920	28	2676	25751	2414.82	11.5	1.25	399.15	407.853



รูปที่ 6.11 กำลังที่ทำนายได้จากจากระบบประสาทเทียมแบบที่ 1 และจากทฤษฎีของ Schiller เทียบกับปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น สำหรับกรณีที่ 1 (ตารางที่ 6.12)



รูปที่ 6.12 กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบที่ A8 และจากทฤษฎีของ Schiller เทียบกับ ปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น สำหรับกรณีที่ 2 (ตารางที่ 6.13)



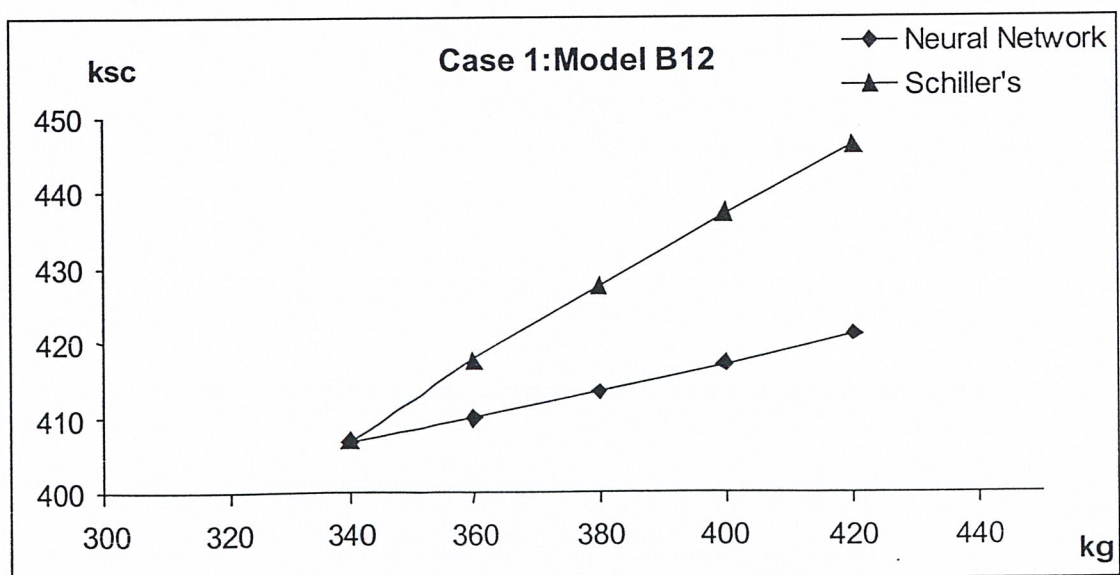
รูปที่ 6.13 กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบที่ A8 และจากทฤษฎีของ Schiller เทียบกับ ปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น สำหรับกรณีที่ 3 (ตารางที่ 6.14)

ตารางที่ 6.15 กำลังที่ทำนายได้จากการทดลองเพิ่มปริมาณซีเมนต์กรณีที่ 1 จากระบบประสาทเทียมแบบที่ B12 และกำลังที่ทำนายได้จากทฤษฎีของ Schiller

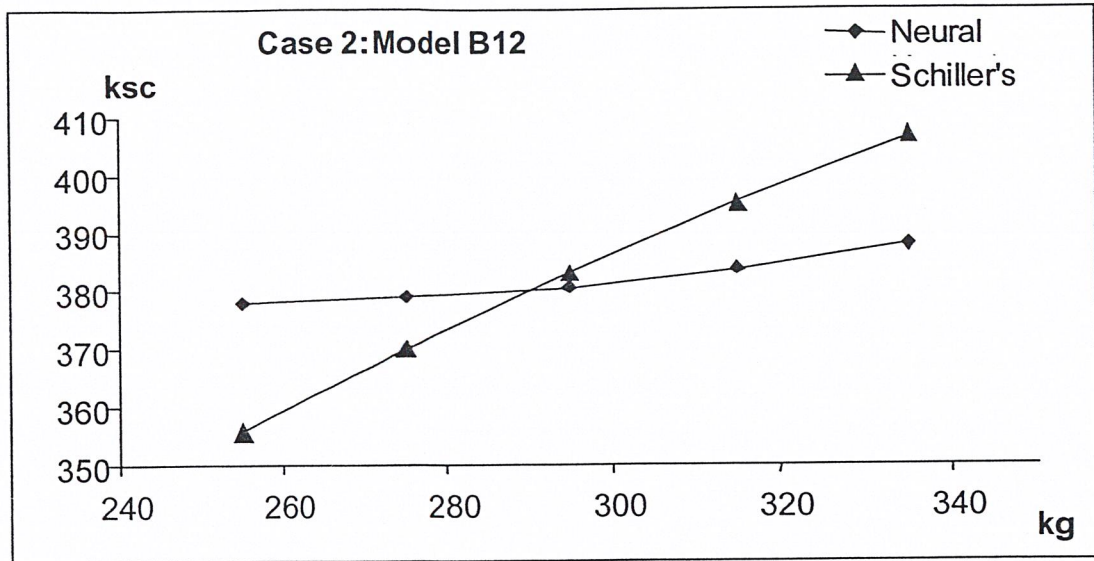
Cement (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Rock (kg/m ³)	Sand (kg/m ³)	Age (days)	w/c	A/c	Density (kg/m ³)	Slump (cm)	Admixture Type D (kg/m ³)	Prediction (ksc)	Schiller's (kg/m ³)
340	173.33	1110	853	28	0.5098	5.7735	2403.65	11.5	1.65	406.84	406.9
360	173.33	1110	853	28	0.4815	5.4528	2403.65	11.5	1.65	409.98	417.566
380	173.33	1110	853	28	0.4561	5.1658	2403.65	11.5	1.65	413.38	427.656
400	173.33	1110	853	28	0.4333	4.9075	2403.65	11.5	1.65	417.09	437.228
420	173.33	1110	853	28	0.4127	4.6738	2403.65	11.5	1.65	421	446.332

ตารางที่ 6.16 กำลังที่ทำนายได้จากการทดลองเพิ่มปริมาณซีเมนต์กรณีที่ 2 จากระบบประสาทเทียมแบบที่ 2 และกำลังที่ทำนายได้จากทฤษฎีของ Schiller

Cement (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Rock (kg/m ³)	Sand (kg/m ³)	Age (days)	w/c	A/c	Density (kg/m ³)	Slump (cm)	Admixture Type D (kg/m ³)	Prediction (ksc)	Schiller's (kg/m ³)
255	171	1146.67	933	28	0.6706	8.1556	2378.01	11.5	1.25	377.93	355.74
275	171	1146.67	933	28	0.6218	7.5624	2378.01	11.5	1.25	379.02	369.831
295	171	1146.67	933	28	0.5797	7.0497	2378.01	11.5	1.25	380.64	382.932
315	171	1146.67	933	28	0.5429	6.6021	2378.01	11.5	1.25	383.83	395.173
335	171	1146.67	933	28	0.5104	6.2080	2378.01	11.5	1.25	387.87	406.66



รูปที่ 6.14 กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบที่ 2 และจากทฤษฎีของ Schiller เทียบกับปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น สำหรับกรณีที่ 1 (ตารางที่ 6.15)



รูปที่ 6.15 กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบที่ 2 และจากทฤษฎีของ Schiller เทียบกับ ปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น สำหรับกรณีที่ 2 (ตารางที่ 6.16)

ทางผู้ศึกษาสร้างระบบประสาทเทียมขึ้นมาอีก 2 โมเดลคือโมเดล B และ C มีพื้นฐาน มาจากระบบเดิมแต่มีข้อแตกต่างกันคือตัวแปรที่ให้ระบบเรียนรู้และจำนวน node , layer และ epoch หรือจำนวนรอบการคำนวณ โดยในส่วนของตัวแปรที่ให้ระบบเรียนรู้สำหรับโมเดลที่ B ต่างจากโมเดล แรกคือ ในค่าของพื้นที่ผิวจำเพาะของหินและทรายโมเดลที่ 2 จะเป็นค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (อัตรา ส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสาน นั่นคือรวมซีเมนต์ลงไปด้วย) และอัตราส่วนมวลรวมต่อซีเมนต์ตาม ลำดับ (อัตราส่วนของหินรวมกับทรายต่อซีเมนต์เพียงอย่างเดียว)

และโมเดล B แม่นยำกว่าโมเดลแรกเพียงเล็กน้อยคือค่า RMSE เท่ากับ 38.698 ดัง แสดงในตารางที่ 6.16

ตารางที่ 16.6 เปรียบเทียบค่า RMSE ของแต่ละโมเดลที่ทดสอบหา (ระบบแบบ B)

Model	Layer	Node	Epoch	RMSE(Training)	RMSE(Testing)
1	1	9	1000	40.028	39.21
2	1	9	2000	39.932	39.31
3	1	10	1000	40.393	40.124
4	1	10	2000	39.444	39.027
5	1	11	1000	40.046	39.836
6	1	11	2000	39.668	39.143

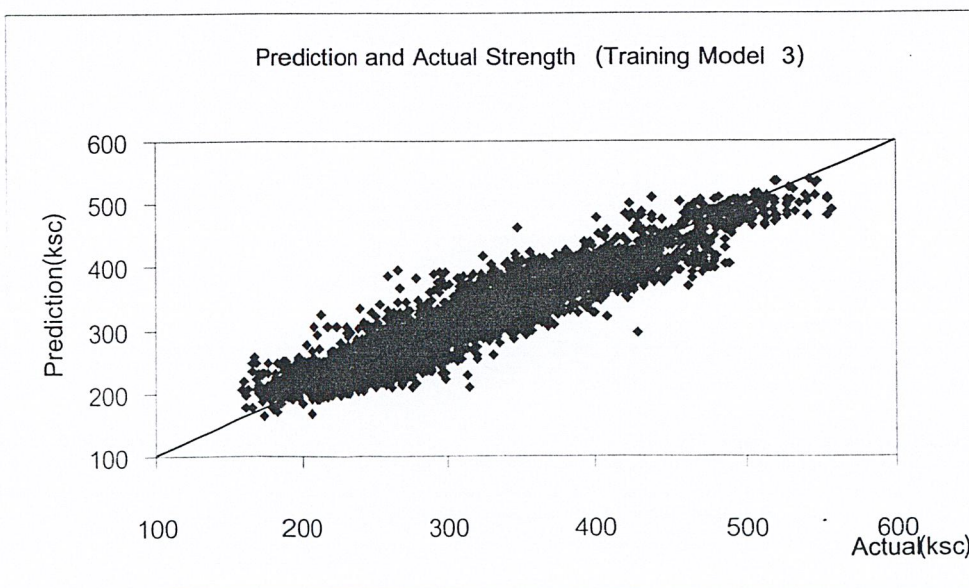
ตารางที่ 6.16 (ต่อ) เปรียบเทียบค่า RMSE ของแต่ละโมเดลที่ทดสอบหา(ระบบแบบ B)

Model	Layer	Node	Epoch	RMSE(Training)	RMSE(Testing)
7	2	9	1000	40.574	40.359
8	2	9	2000	39.235	38.812
9	2	10	1000	40.235	40.122
10	2	10	2000	39.874	40.615
11	2	11	1000	39.255	38.706
12	2	11	2000	39.339	38.698

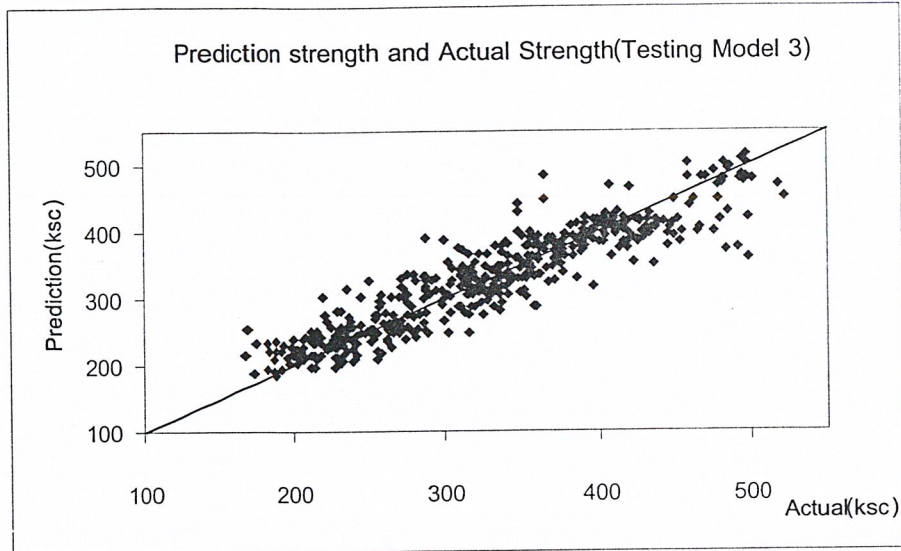
และอีกโมเดลคือโมเดลที่ 3 สำหรับโมเดลที่ 3 นี้การเรียนรู้ของระบบไม่ได้ใช้การเรียนรู้แบบ back propagation ดังเช่นสองโมเดลแรกแต่ข้อมูลที่ป้อนให้ระบบยังคงเป็นข้อมูลชุดเดิมโดยที่ในช่องข้อมูลพื้นผิวจำเพาะของมวลรวมเป็นพื้นผิวจำเพาะเช่นเดียวกับโมเดลที่ A

ตารางที่ 6.17 เปรียบเทียบค่า RMSE ของแต่ละโมเดลที่ทดสอบหา(ระบบแบบ C)

Model	Layers	Node/Layers	Epochs	RMSE(Training)	RMSE(Testing)
1	3	11	400	26.597	30.325
2	3	11	500	27.445	32.234
3	3	11	600	26.979	31.618



รูปที่ 6.15 กราฟประสิทธิภาพในการเรียนรู้(training performance)ของระบบประสาทเทียมแบบ C



รูปที่ 6.16 กราฟประสิทธิภาพในการทดสอบ(testing performance)ของระบบประสาทเทียมแบบที่ C

ระบบแบบ B นี้ให้ความแม่นยำในการทำนายมากกว่าสองโมเดลที่ผ่านมาโดยที่ให้ค่า RMSE เท่ากับ 29.979 และ 31.618 ksc สำหรับการเรียนรู้ (training) และการทดสอบ (teating) ตามลำดับ และค่า R^2 เท่ากับ 0.8897 และ 0.8493 ตามลำดับและเมื่อทดสอบความถูกต้องของการทำนายโดยทดลองเพิ่มหรือลดปริมาณส่วนผสม เปรียบเทียบกับกำลังของคอนกรีตว่ามีแนวโน้มเป็นไปได้ในทางที่ควรหรือไม่ดังที่ได้ทดสอบมากับสองโมเดลแรกดังแสดงในรูปและตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 6.18 กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบ C กับอายุที่เพิ่มขึ้นกรณี 1

Cement (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Rock (kg/m ³)	Sand (kg/m ³)	Age (days)	SSA Rock (cm ² /kg)	SSA Sand (cm ² /kg)	Density (kg/m ³)	Slump (cm)	Admixture Type D (kg/m ³)	Prediction (ksc)	Schiller's (kg/m ³)
340	173.33	1110	853	3	2414	22390	2423.11	11.5	1.65	0	244
340	173.33	1110	853	7	2414	22390	2403.65	11.5	1.65	0	322
340	173.33	1110	853	14	2414	22390	2403.65	11.5	1.65	0	392
340	173.33	1110	853	21	2414	22390	2403.65	11.5	1.65	0	392
340	173.33	1110	853	28	2414	22390	2403.65	11.5	1.65	0	398
340	173.33	1110	853	60	2414	22390	2403.65	11.5	1.65	0	732
340	173.33	1110	853	90	2414	22390	2403.65	11.5	1.65	0	1034
340	173.33	1110	853	180	2414	22390	2403.65	11.5	1.65	0	1164
340	173.33	1110	853	360	2414	22390	2403.65	11.5	1.65	0	1213

ตารางที่ 6.19 กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบ C กับอายุที่เพิ่มขึ้นกรณีที่ 2

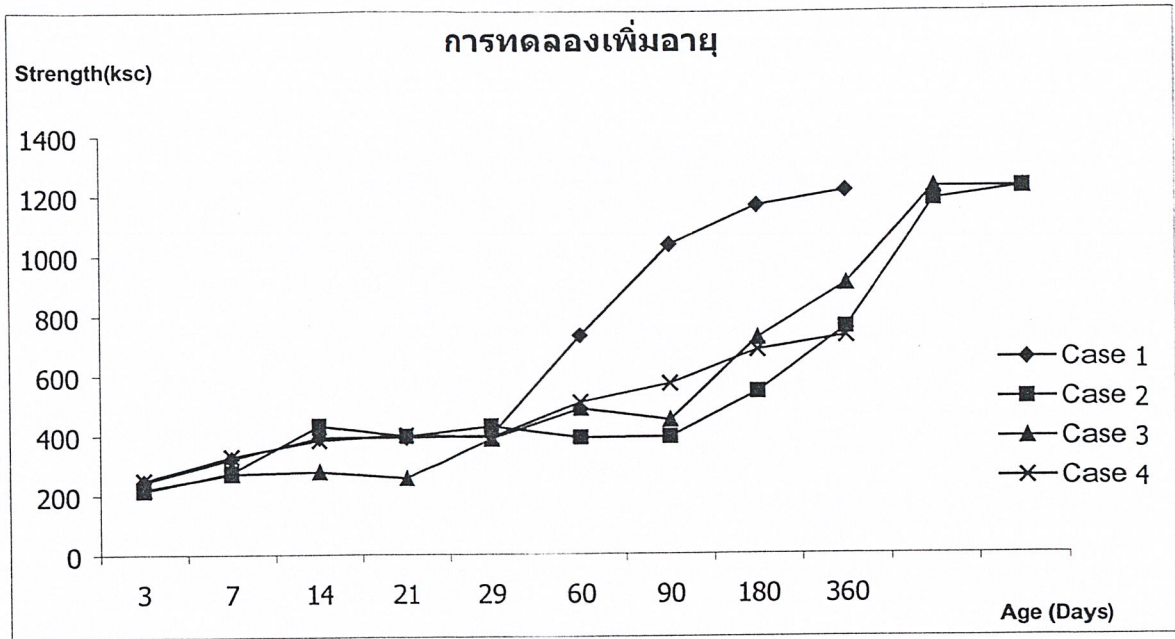
Cement (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Rock (kg/m ³)	Sand (kg/m ³)	Age (days)	SSA Rock (cm ² /kg)	SSA Sand (cm ² /kg)	Density (kg/m ³)	Slump (cm)	Admixture Type D (kg/m ³)	Prediction (ksc)	Schiller's (kg/m ³)
210	155.6	1124	748	4	2482	25735	2405.92	12	1.15	210.83	214
210	155.6	1130	748	7	2482	25735	2418.79	12	1.15	210.83	276
210	155.6	1130	748	14	2482	25735	2412.54	12	1.15	210.83	432
210	155.6	1130	748	21	2482	25735	2412.54	12	1.15	210.83	396
210	155.6	1130	748	28	2482	25735	2412.9	12	1.15	210.83	429
210	155.6	1130	748	60	2482	25735	2412.54	12	1.15	210.83	391
210	155.6	1130	748	90	2482	25735	2412.54	12	1.15	210.83	393
210	155.6	1130	748	180	2482	25735	2412.54	12	1.15	210.83	542
210	155.6	1130	748	360	2482	25735	2412.54	12	1.15	210.83	758
210	155.6	1130	748	1800	2482	25735	2412.54	12	1.15	210.83	1184
210	155.6	1130	748	3600	2482	25735	2412.54	12	1.15	210.83	1225

ตารางที่ 6.20 กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบ C กับอายุที่เพิ่มขึ้นกรณีที่ 3

Cement (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Rock (kg/m ³)	Sand (kg/m ³)	Age (days)	SSA Rock (cm ² /kg)	SSA Sand (cm ² /kg)	Density (kg/m ³)	Slump (cm)	Admixture Type D (kg/m ³)	Prediction (ksc)	Schiller's (kg/m ³)
210	155	1126.67	750	4	2591	24355	2428.08	11.5	1.15	210	220
210	155	1126.67	750	7	2591	24355	2400.98	11.5	1.15	210	271
210	155	1126.67	750	14	2591	24355	2414.18	11.5	1.15	210	278
210	155	1126.67	750	21	2591	24355	2414.18	11.5	1.15	210	256
210	155	1126.67	750	28	2591	24355	2413.49	11.5	1.15	210	386
210	155	1126.67	750	60	2591	24355	2414.18	11.5	1.15	210	487
210	155	1126.67	750	90	2591	24355	2414.18	11.5	1.15	210	449
210	155	1126.67	750	180	2591	24355	2414.18	11.5	1.15	210	722
210	155	1126.67	750	360	2591	24355	2414.18	11.5	1.15	210	903
210	155	1126.67	750	1800	2591	24355	2414.18	11.5	1.15	210	1226
210	155	1126.67	750	3600	2591	24355	2414.18	11.5	1.15	210	1225

ตารางที่ 6.21 กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบที่ C กับอายุที่เพิ่มขึ้นกรณีที่ 4

Cement (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Rock (kg/m ³)	Sand (kg/m ³)	Age (days)	SSA Rock (cm ² /kg)	SSA Sand (cm ² /kg)	Density (kg/m ³)	Slump (cm)	Admixture Type D (kg/m ³)	Prediction (ksc)	Schiller's (kg/m ³)
255	171	1146.67	933	3	2626	24469	2381.32	11.5	1.25	0	249.32
255	171	1146.67	933	7	2626	24469	2347.18	11.5	1.25	0	328.87
255	171	1146.67	933	14	2626	24469	2378.01	11.5	1.25	0	383.6
255	171	1146.67	933	21	2626	24469	2378.01	11.5	1.25	0	400.12
255	171	1146.67	933	29	2626	24469	2405.54	11.5	1.25	0	392.57
255	171	1146.67	933	60	2626	24469	2378.01	11.5	1.25	0	508.79
255	171	1146.67	933	90	2626	24469	2378.01	11.5	1.25	0	570.2
255	171	1146.67	933	180	2626	24469	2378.01	11.5	1.25	0	682.22
255	171	1146.67	933	360	2626	24469	2378.01	11.5	1.25	0	728.71



รูปที่ 6.17 กำลังอัดที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบ C กับอายุที่เพิ่มขึ้น กรณีที่ 1 – 4 (ตารางที่ 6.18 – 6.21)

ตารางที่ 6.22 กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบ C กับปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นกรณีที่ 1

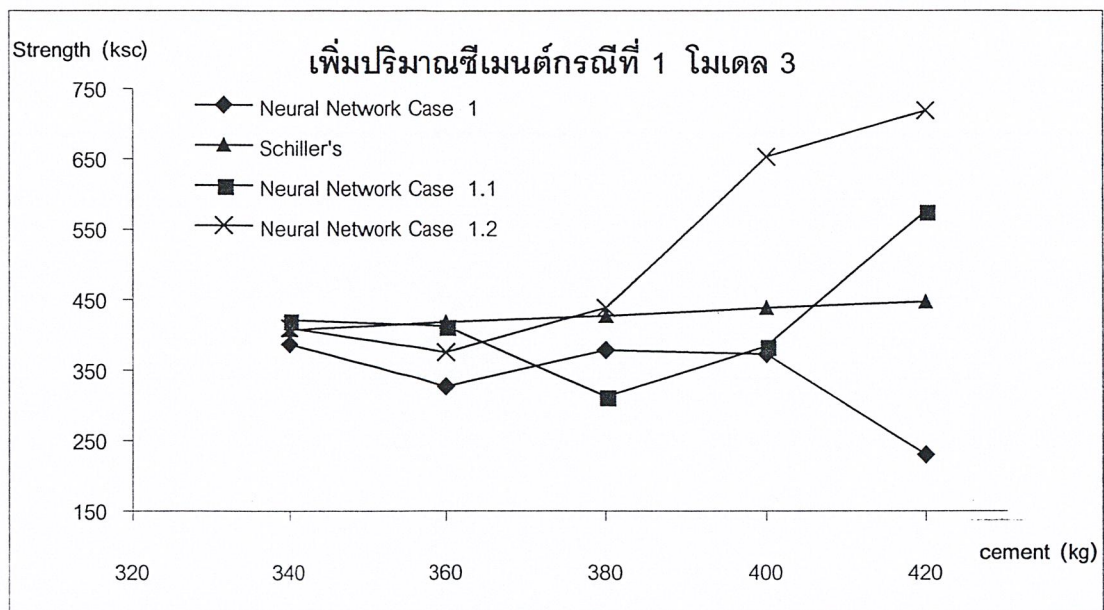
Cement (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Rock (kg/m ³)	Sand (kg/m ³)	Age (days)	SSA Rock (cm ² /kg)	SSA Sand (cm ² /kg)	Density (kg/m ³)	Slump (cm)	Admixture Type D (kg/m ³)	Prediction (ksc)	Schiller's (kg/m ³)
340	173.33	1110	853	28	2414	22390	2403.65	11.5	1.65	387	406.9
360	173.33	1110	853	28	2414	22390	2403.65	11.5	1.65	328	417.566
380	173.33	1110	853	28	2414	22390	2403.65	11.5	1.65	379	427.656
400	173.33	1110	853	28	2414	22390	2403.65	11.5	1.65	373	437.228
420	173.33	1110	853	28	2414	22390	2403.65	11.5	1.65	231	446.332

ตารางที่ 6.23 กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบ C กับปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นกรณีที่ 1.1

Cement (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Rock (kg/m ³)	Sand (kg/m ³)	Age (days)	SSA Rock (cm ² /kg)	SSA Sand (cm ² /kg)	Density (kg/m ³)	Slump (cm)	Admixture Type D (kg/m ³)	Prediction (ksc)	Schiller's (kg/m ³)
340	176.333	1120	853.3	28	2552	23357	2384.5	12	1.65	422	406.9
360	176.333	1120	853.3	28	2552	23357	2384.5	12	1.65	414	417.566
380	176.333	1120	853.3	28	2552	23357	2384.5	12	1.65	314	427.656
400	176.333	1120	853.3	28	2552	23357	2384.5	12	1.65	384	437.228
420	176.333	1120	853.3	28	2552	23357	2384.5	12	1.65	577	446.332

ตารางที่ 6.24 กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบ C กับปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นกรณีที่ 1.2

Cement (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Rock (kg/m ³)	Sand (kg/m ³)	Age (days)	SSA Rock (cm ² /kg)	SSA Sand (cm ² /kg)	Density (kg/m ³)	Slump (cm)	Admixture Type D (kg/m ³)	Prediction (ksc)	Schiller's (kg/m ³)
340	170.667	1126.67	840	28	2552	23357	2386.6	12	1.65	409	424.18
360	170.667	1126.67	840	28	2552	23357	2386.6	12	1.65	377	424.18
380	170.667	1126.67	840	28	2552	23357	2386.6	12	1.65	438	424.18
400	170.667	1126.67	840	28	2552	23357	2386.6	12	1.65	653	424.18
420	170.667	1126.67	840	28	2552	23357	2386.6	12	1.65	719	424.18



รูปที่ 6.18 กำลังอัดที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบ C กับปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น กรณีที่ 1 ถึง 1.2 (ตารางที่ 6.22 – 6.24)

ตารางที่ 6.25 กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบ C กับปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นกรณีที่ 2

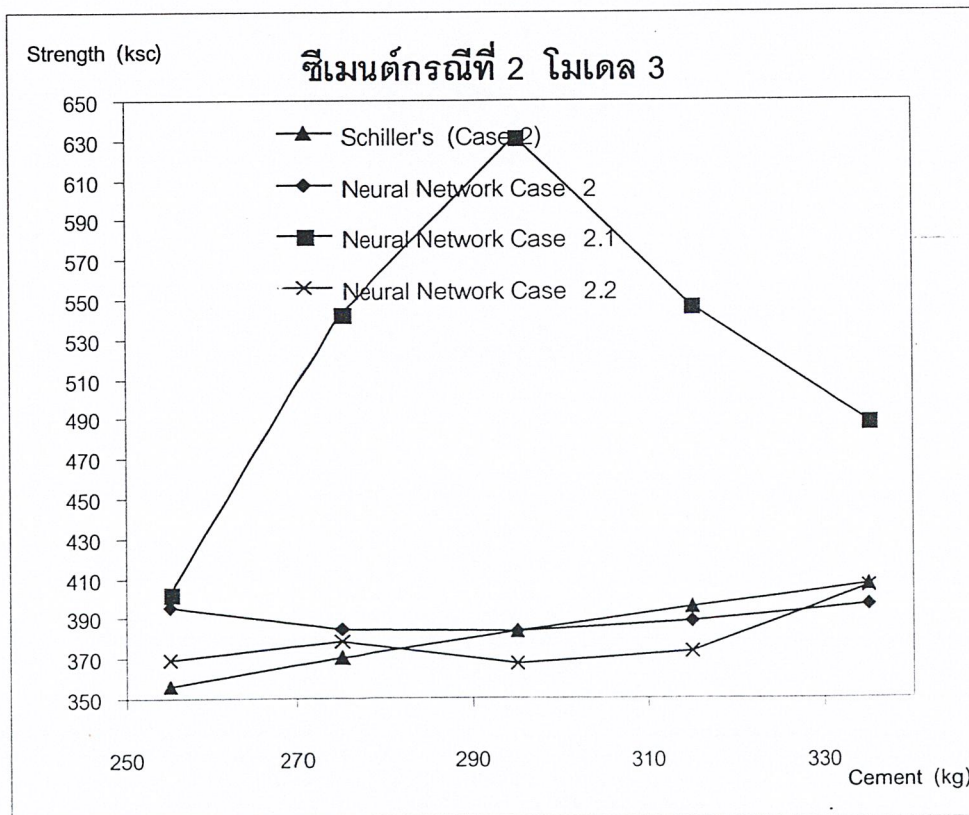
Cement (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Rock (kg/m ³)	Sand (kg/m ³)	Age (days)	SSA Rock (cm ² /kg)	SSA Sand (cm ² /kg)	Density (kg/m ³)	Slump (cm)	Admixture Type D (kg/m ³)	Prediction (ksc)	Schiller's (kg/m ³)
255	171	1146.67	933	29	2626	24469	2405.54	11.5	1.25	395	355.74
275	171	1146.67	933	29	2626	24469	2405.54	11.5	1.25	384	369.831
295	171	1146.67	933	29	2626	24469	2405.54	11.5	1.25	383	382.932
315	171	1146.67	933	29	2626	24469	2405.54	11.5	1.25	388	395.173
335	171	1146.67	933	29	2626	24469	2405.54	11.5	1.25	396	406.66

ตารางที่ 6.26 กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบ C กับปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นกรณีที่ 2.1

Cement (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Rock (kg/m ³)	Sand (kg/m ³)	Age (days)	SSA Rock (cm ² /kg)	SSA Sand (cm ² /kg)	Density (kg/m ³)	Slump (cm)	Admixture Type D (kg/m ³)	Prediction (ksc)
255	170.333	1146.67	920	28	2791	26732	2380.8	12	1.25	403
275	170.333	1146.67	920	28	2791	26732	2380.8	12	1.25	543
295	170.333	1146.67	920	28	2791	26732	2380.8	12	1.25	632
315	170.333	1146.67	920	28	2791	26732	2380.8	12	1.25	547
335	170.333	1146.67	920	28	2791	26732	2380.8	12	1.25	488

ตารางที่ 6.27 กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบ C กับปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นกรณีที่ 2.2

Cement (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Rock (kg/m ³)	Sand (kg/m ³)	Age (days)	SSA Rock (cm ² /kg)	SSA Sand (cm ² /kg)	Density (kg/m ³)	Slump (cm)	Admixture Type D (kg/m ³)	Prediction (ksc)
255	171	1146.67	906.7	28	2591	24355	2394.5	12	1.25	369
275	171	1146.67	906.7	28	2591	24355	2394.5	12	1.25	378
295	171	1146.67	906.7	28	2591	24355	2394.5	12	1.25	367
315	171	1146.67	906.7	28	2591	24355	2394.5	12	1.25	373
335	171	1146.67	906.7	28	2591	24355	2394.5	12	1.25	406



รูปที่ 6.19 กำลังอัดที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบ C กับปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น กรณีที่ 2 ถึง 2.2 (ตารางที่ 6.25 – 6.27)

ตารางที่ 6.28 กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบ C กับปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นกรณีที่ 3

Cement (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Rock (kg/m ³)	Sand (kg/m ³)	Age (days)	SSA Rock (cm ² /kg)	SSA Sand (cm ² /kg)	Density (kg/m ³)	Slump (cm)	Admixture Type D (kg/m ³)	Fly Ash (kg/m ³)	Prediction (ksc)
210	155.333	1123.33	763.3	28	2591	24355	2415.4	11.5	1.15	211.67	434
220	155.333	1123.33	763.3	28	2591	24355	2415.4	11.5	1.15	211.67	455
240	155.333	1123.33	763.3	28	2591	24355	2415.4	11.5	1.15	211.67	419
260	155.333	1123.33	763.3	28	2591	24355	2415.4	11.5	1.15	211.67	394
280	155.333	1123.33	763.3	28	2591	24355	2415.4	11.5	1.15	211.67	440

ตารางที่ 6.29 กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบ C กับปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นกรณีที่ 3.1

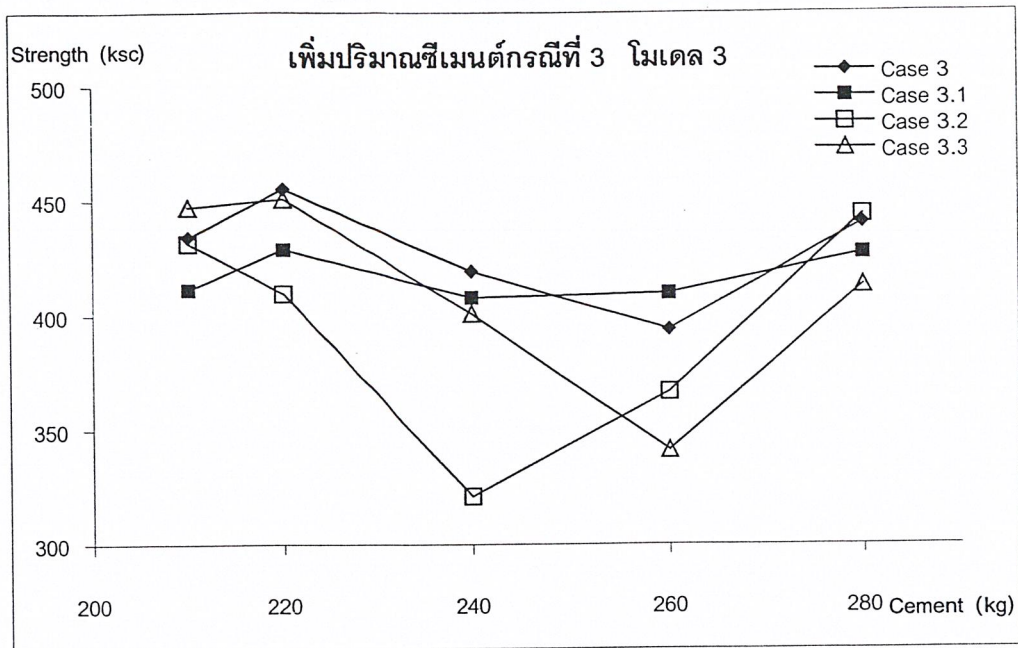
Cement (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Rock (kg/m ³)	Sand (kg/m ³)	Age (days)	SSA Rock (cm ² /kg)	SSA Sand (cm ² /kg)	Density (kg/m ³)	Slump (cm)	Admixture Type D (kg/m ³)	Fly Ash (kg/m ³)	Prediction (ksc)
210	154.333	1133.33	753.3	28	2591	24355	2391.2	11	1.15	210	411
220	154.333	1133.33	753.3	28	2591	24355	2391.2	11	1.15	210	429
240	154.333	1133.33	753.3	28	2591	24355	2391.2	11	1.15	210	408
260	154.333	1133.33	753.3	28	2591	24355	2391.2	11	1.15	210	410
280	154.333	1133.33	753.3	28	2591	24355	2391.2	11	1.15	210	427

ตารางที่ 6.30 กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบ C กับปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นกรณีที่ 3.2

Cement	Water	Rock	Sand	Age	SSA Rock	SSA Sand	Density	Slump	Admixture Type D	Fly Ash	Neural Network
210	155.6	1124	748	28	2482	25735	2412.9	12	1.15	210	432
220	155.6	1124	748	28	2482	25735	2412.9	12	1.15	210	410
240	155.6	1124	748	28	2482	25735	2412.9	12	1.15	210	321
260	155.6	1124	748	28	2482	25735	2412.9	12	1.15	210	367
280	155.6	1124	748	28	2482	25735	2412.9	12	1.15	210	444

ตารางที่ 6.31 กำลังที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบ C กับปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นกรณีที่ 3.3

Cement	Water	Rock	Sand	Age	SSA Rock	SSA Sand	Density	Slump	Admixture Type D	Fly Ash	Neural Network
210	156.167	1140	740	28	2552	23357	2399.5	11.5	1.15	210	447
220	156.167	1140	740	28	2552	23357	2399.5	11.5	1.15	210	451
240	156.167	1140	740	28	2552	23357	2399.5	11.5	1.15	210	401
260	156.167	1140	740	28	2552	23357	2399.5	11.5	1.15	210	341
280	156.167	1140	740	28	2552	23357	2399.5	11.5	1.15	210	413



รูปที่ 6.20 กำลังอัดที่ทำนายได้จากระบบประสาทเทียมแบบที่ C กับปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น กรณีที่ 3 ถึง 2.23 (ตารางที่ 6.28 – 6.31)

6.4.วิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากตารางที่ 6.2 และ 6.16 การทดสอบหารูปแบบโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมในแต่ละรูปแบบนั้นมีค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาดของข้อมูลไม่แตกต่างกันมากนักซึ่งจะได้รูปแบบที่เหมาะสมกับชุดข้อมูลที่สุ่ม คือ รูปแบบที่มีชั้นแฝงจำนวน 2 ชั้น, หน่วยแฝงจำนวน 11 หน่วยต่อ 1 หน่วยชั้นแฝง และจำนวนรอบการเรียนรู้เท่ากับ 2,000 รอบ ค่า RMSE (หรือค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์, Standard Error of Estimate (SE_{est})) ของตัวอย่างข้อมูลที่ให้ระบบเรียนรู้และข้อมูลที่ใช้ทดสอบสำหรับระบบประสาทเทียม โมเดลที่ 1 เท่ากับ 38.453 ksc และ 39.053 ksc ตามลำดับ, สำหรับโมเดลที่ 2 เท่ากับ 39.339 ksc และ 38.698 ksc ตามลำดับ และสำหรับโมเดลที่ 3 เท่ากับ 26.979 และ 31.618 ksc ตามลำดับ

และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้นี้กับค่าการวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีความสัมพันธ์ของกำลังของคอนกรีตกับปัจจัยต่าง ๆ ซึ่งแยกออกเป็นการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎี Abram's formula และวิเคราะห์ด้วยทฤษฎี Schiller's formula โดยค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาดที่คำนวณได้เท่ากับ 44.364 และ 43.861 ksc ตามลำดับ จะเห็นว่าค่าที่คำนวณได้จากโครงข่ายประสาทเทียมมีความถูกต้องมากกว่าการคำนวณด้วยทฤษฎี

เมื่อเปรียบเทียบกับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ในตารางที่ 3.14 กับค่า RMSE ซึ่งค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังอัดเฉลี่ยเท่ากับ 42.031 จะเห็นว่ามากกว่าค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการพยากรณ์โดยใช้ระบบประสาทเทียมซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบประสาทเทียมที่พัฒนาขึ้นมา มีประสิทธิภาพในการทำนายสำหรับข้อมูลปรัญญาณิพนธ์นี้ ดังอธิบาย , ความคลาดเคลื่อนของกำลังอัด เกิดจาก 1 ความคลาดเคลื่อนในปริมาณส่วนผสม 2 ความคลาดเคลื่อนในการชั่งตวงส่วนผสม 3 ความคลาดเคลื่อนที่เกิดโดยธรรมชาติของคอนกรีตเอง (เช่น คุณสมบัติของมวลรวมและการเรียงตัวของหินย้อมมีผลต่อกำลังเป็นต้น) 4 ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการทดสอบและการเตรียมตัวอย่าง ข้อ 2 ถึงข้อ 4 ที่กล่าวมานั้นไม่มีวิธีใดที่สามารถวัดค่าได้เลย ในการผสมคอนกรีตแต่ละสูตรผสมจะมีปริมาณส่วนผสมกำหนดไว้ตายตัวและทางผู้ผลิตย่อมพยายามควบคุมให้ได้ตามที่กำหนดไว้ แต่การที่ระบบประสาทเทียมสามารถทำนายได้โดยให้ค่า RMSE น้อยกว่าค่า SD นั้นแสดงให้เห็นว่ามีประสิทธิภาพ โดยสามารถลดข้อผิดพลาดของข้อ 1 ลงไปได้ในระดับหนึ่ง

เมื่อเปรียบเทียบระบบประสาทเทียมทั้งสามโมเดล ทั้งสามโมเดลให้ค่าความคลาดเคลื่อนไม่ต่างกันมากนักแต่เมื่อทดลองเพิ่มปัจจัยบางตัว เช่น อายุ และปริมาณซีเมนต์จะเห็นว่าให้ผลลัพธ์ต่างกันโดย

ด้านอายุทั้งสามโมเดลให้ผลลัพธ์ที่มีแนวโน้มต่างจากความเป็นจริงเมื่อคอนกรีตมีอายุมากกว่าที่มีในฐานข้อมูล (มากกว่าประมาณ 28 วันขึ้นไป) แต่เมื่ออายุคอนกรีตมาก ๆ เช่น เกินกว่า 1 ปี ผลจากการทำนายของทั้งสามโมเดลจะให้ค่ากำลังอัดที่คงที่

ด้านกำลังอัดในความเป็นจริงเมื่อเพิ่มปริมาณซีเมนต์กำลังอัดต้องเพิ่มมากขึ้นแต่ในกรณีของโมเดลที่ 1 ที่ปริมาณซีเมนต์ประมาณ 255 kg/m^3 ระบบให้ผลการทำนายที่ขัดต่อความเป็นจริง (รูปที่ 6.12 และ 6.13) แม้ว่า ค่าปัจจัยต่าง ๆ ที่ใส่เข้าไปในระบบ เช่น ค่ายุบตัว และหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต (ซึ่งมีผลต่อการทำนายของระบบ) จะเปลี่ยนไปเมื่อปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นก็ตามแต่จะมีค่าไม่มาก โดยเฉพาะค่ายุบตัว ประกอบกับทางผู้จัดทำไม่มีข้อมูลคอนกรีตในส่วนนี้จึงไม่อาจบอกค่าความคลาดเคลื่อนในการทำนายที่แน่นอนได้แต่สามารถตรวจความถูกต้องของผลการทำนายได้จากแนวโน้มของกำลังที่ทำนายโดยระบบ เมื่อดูจากรูปที่ 3.10 จะเห็นว่าไม่มีข้อมูลปริมาณซีเมนต์เพียงแค่ประมาณ 250 ค่าเท่านั้นซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบกับข้อมูลทั้งหมดแต่ที่ปริมาณซีเมนต์เท่ากับ 340 kg/m^3 ระบบให้ค่ากำลังอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างที่เราควรจะเป็น

สำหรับโมเดลที่ 2 ซึ่งนำอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และอัตราส่วนมวลรวมต่อซีเมนต์มาใช้ในการทำนายกำลังอัดด้วย ค่ากำลังอัดที่ทำนายโดยระบบเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณซีเมนต์เพิ่มขึ้นแม้ว่าปริมาณซีเมนต์จะอยู่ในช่วงประมาณ 255 kg/m^3 เช่นเดียวกับโมเดลที่ 1 ก็ตามแต่ผลการทำนายให้ค่ากำลังอัดสูงขึ้นเมื่อปริมาณซีเมนต์เพิ่มขึ้นแม้ว่าจะน้อยกว่าที่คาดจากทฤษฎีของ Schiller แต่ไม่อาจวัดความคลาดเคลื่อนที่แน่นอนเนื่องจากเหตุผลที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

อาจจะเนื่องจากโมเดลที่ 2 มีปัจจัยที่ป้อนเข้าระบบต่างจากโมเดลที่ 1 คือ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และอัตราส่วนมวลรวมต่อซีเมนต์ ซึ่งทั้งสองปัจจัยเป็นฟังก์ชันของปัจจัยตัวอื่น ๆ ที่ป้อนเข้าระบบเช่นกัน คือ น้ำ , ซีเมนต์ และมวลรวม และโดยเฉพาะอย่างยิ่งอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ หรืออาจจะพูดได้ว่าการเลือกปัจจัยที่ป้อนให้ระบบมีผลต่อความแม่นยำในการทำนายโดยเฉพาะอย่างยิ่งการทำนายจากข้อมูลที่มีลักษณะต่างจากที่ระบบได้เรียนรู้มามาก

สำหรับโมเดลที่สามซึ่งเป็นโมเดลที่ให้ค่า RMSE ต่ำที่สุดแต่เมื่อทดลองเพิ่มปริมาณซีเมนต์แล้วให้แนวโน้มกำลังอัดที่ไม่สัมพันธ์กับความเป็นจริงเลยในทุกกรณีตัวอย่างที่ยกมาโดยเฉพาะกับปริมาณซีเมนต์ (จากข้อมูลจริง) เท่ากับ 340 และ 255 kg แม้ว่าจะมีจำนวนข้อมูลมากที่สุด ถ้าสังเกตกราฟรูปที่ 6.18 และ 6.19 จะเห็นว่าช่วงปริมาณซีเมนต์ใกล้เคียงกับข้อมูลที่ระบบเรียนรู้มา กำลังอัดมีแนวโน้มต่างจากที่ควรเล็กน้อย เมื่อปริมาณซีเมนต์เพิ่มมากขึ้นนั่นคือข้อมูลยิ่งห่างออกจากที่เรียนรู้มา ระบบให้แนวโน้มที่ผิดความเป็นจริงมากขึ้นยิ่งกว่านั้นระบบให้ผลการทำนายที่ขัดแย้งกันเอง โดยที่ผลการทำนายจากกรณีที่มีข้อมูลใกล้เคียงกันมาก (ข้อมูลที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญกับกำลัง) แต่ผลการทำนายกลับมีความขัดแย้งกันเอง เป็นที่น่าสังเกตว่าสำหรับกราฟรูปที่ 6.18 ข้อมูลลักษณะนี้มีเป็นจำนวนมาก , มากที่สุดในจำนวนข้อมูลทั้งหมดข้อมูลตัวอย่างที่เลือกมาให้มีกำลังทดสอบจริงใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยเพื่อหลีกเลี่ยงความคลาดเคลื่อนในการผลิตคอนกรีต , การเตรียมตัวอย่าง และการทดสอบ แต่เมื่อปริมาณซีเมนต์เพิ่มมากขึ้นผลการทำนายยังมีความแปรปรวนมาก

จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าระบบที่พัฒนาขึ้นยังไม่มีควมน่าเชื่อถือพอที่จะนำไปใช้ได้จริง เมื่อพิจารณาถึงกรณีทดลองเพิ่มอายุแม้ว่าระบบให้แนวโน้มไม่ตรงความจริงเมื่ออายุมากกว่า 28 วัน ก็ตามแต่ทุกโมเดลให้ค่ากำลังอัดเมื่อคอนกรีตมีอายุมาก ๆ คงที่ ที่น่าสังเกตคือข้อมูลด้านอายุที่มีอยู่มีลักษณะพิเศษคือมีความหลากหลายมากกว่าและกระจายในช่วงกว้าง ในส่วนของตัวอายุเองมีข้อมูลกระจายอยู่ที่ 3 , 7 และ 28 วัน เป็นส่วนใหญ่และใกล้เคียงกันอยู่เป็นส่วนใหญ่ ในส่วนมิติของข้อมูลมีข้อมูลอื่น ๆ ทุกชนิดข้อมูล เช่น ปริมาณซีเมนต์ ถูกโยงเข้ากับอายุโดยมีชุดข้อมูลที่มีส่วนผสมเดียวกัน (อาจจะมาจากการผสมครั้งเดียวกัน)จะ โยงเข้ากับอายุที่เพิ่มขึ้นหรืออายุที่ต่างกัน หรืออาจจะพูดได้ว่าข้อมูลอายุมีความสมบูรณ์กว่าข้อมูลอื่น ๆ ทำให้ผลการทำนายใกล้เคียงกับความเป็นจริง

บทที่ 7

สรุปและเสนอแนะ

สรุปผลการศึกษา

ระบบประสาทเทียมที่พัฒนาขึ้นสามารถทำนายกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ในโครงการท่าอากาศยานสุวรรณภูมิได้อย่างน่าเชื่อถือโดยให้ผลการทำนายดังนี้ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์เท่ากับ 39.053 ในขณะที่การพยากรณ์โดยใช้ทฤษฎีของ Abram และทฤษฎีของ Schiller ได้ค่าเท่ากับ 44.364 และ 43.681 ตามลำดับใน ขณะที่ค่ามาตรฐานของความแปรปรวนเท่ากับ 42.03 เนื่องจากระบบประสาทเทียมพิจารณาตัวแปรหลายตัวต่างจากทฤษฎีซึ่งใช้เพียงตัวแปรเดียวคืออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ จากที่กล่าวมาทั้งหมดชี้ให้เห็นว่าระบบประสาทเทียมมีความได้เปรียบกว่าคือสามารถพิจารณาตัวแปรได้พร้อมกันหลายตัวทำให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำกว่า แต่อย่างไรก็ตามระบบประสาทเทียมให้ผลลัพธ์ที่ดีเพียงเฉพาะข้อมูลที่ใกล้เคียงกับช่วงข้อมูลที่เรียนรู้มาเท่านั้น แต่เมื่อข้อมูลเปลี่ยนจากที่ได้เรียนรู้มาระบบให้ผลการทำนายที่ผิดพลาดจากความเป็นจริงอยู่มาก (ดังแสดงในบทที่ 6 แม้ว่าข้อมูลตัวแปรหลายตัวในบทที่ 6 จะถูกสมมุติขึ้นมาและไม่ได้มีการทดสอบจริงก็ตาม) ในข้อนี้อาจเป็นเพราะจำนวนและลักษณะการกระจายของข้อมูล

ดังนั้นระบบประสาทเทียมยังไม่สามารถใช้งานได้จริงต้องการการปรับปรุง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของคุณสมบัติให้ระบบเรียนรู้

ข้อเสนอแนะ

ถึงแม้ว่าข้อมูลมีปริมาณมากแต่ยังกระจุกตัวอยู่เป็นช่วง ๆ อาจจะทำความสับสนแก่ระบบประสาทเทียม ด้วยเหตุผลสองประการคือ

- 1 ขาดข้อมูลในบางช่วงไป
- 2 เพราะข้อมูลมีปริมาณมากแต่กระจุกตัวอยู่ทำให้ผลจากความแปรปรวนของกำลังคอนกรีตที่มีตามธรรมชาติไปบดบังปัจจัยสำคัญ ๆ ที่มีผลต่อกำลัง ในส่วนนี้ควร

จะมีการทดลองลดจำนวนข้อมูลลงโดยตัดข้อมูลที่ห่างจากค่าเฉลี่ยมาก ๆ ออก แล้วทดลองหาผลการทำนายว่าใกล้เคียงความเป็นจริงขึ้นบ้างหรือไม่

ข้อมูลบางตัวเช่นพื้นที่ผิวจำเพาะของทราย , หินและขนาดคละมีความถี่ในการเก็บข้อมูลน้อยทำให้ข้อมูลที่ได้อาจไม่ตรงความจริงถึงแม้ว่าตัวแปรนี้จะส่งผลต่อค่ายุบตัวและความหนาแน่นก็ตาม จากที่กล่าวมาอาจจะทดลองนำตัวแปรอื่น ๆ มาแทนตัวแปรนี้ เช่น อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ หรือ อัตราส่วนมวลรวมต่อซีเมนต์ แต่เมื่อเปลี่ยนตัวแปรหรือเปลี่ยนฐานข้อมูลที่ระบบประสาทเทียมเรียนรู้แล้วอาจจะต้องปรับแก้ระบบประสาทเทียมเพื่อให้ได้ระบบที่เหมาะสมที่สุด

หนังสืออ้างอิง

- กิตติ ภัคดีวัฒนะกุลและจำลอง ทรูตสาหะ, 2542. คัมภีร์ระบบฐานข้อมูล. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ไทยเจริญการพิมพ์.
- ลัดดาวัลย์ วณิชชานัยและณรงค์เดช วิทยกุล, 2546. การเรียนรู้การใช้งานโปรแกรม Microsoft Access 2000. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.
- ชัชวาล เศรษฐบุตร, 2536. คอนกรีตเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์เดอะพริ้นท์อินเตอร์เนชั่นแนล.
- ชัชวาล เศรษฐบุตร, 2544. Concrete technology. กรุงเทพฯ : บริษัท ผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้าง จำกัด.
- วราภรณ์ โกวิทวารงกูร, 2535. ระบบฐานข้อมูลและการออกแบบ. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์พิทักษ์อักษร.
- ดร.วินิต ช่อวิเชียร, 2539. คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ : ป.สัมพันธ์พานิชย์.
- รศ.ดร.มนัส สัจจวรศิลป์และวรรรัตน์ ภัทรอมรกุล, 2543. คู่มือการใช้งาน MATLAB ฉบับสมบูรณ์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์อินโฟเพรส.
- Haykin, s.,1999. Neural Networks A Comprehensive Foundation. Macmillon Collage Publishing Company.
- Neville A.M., 1981. Properties of concrete Third edition. Singapor : Longman.
- Popovics, S., 1998. Strength and relate properties of concerte a quantitative approach. U.S.A.:Wiley.

ภาคผนวก ก

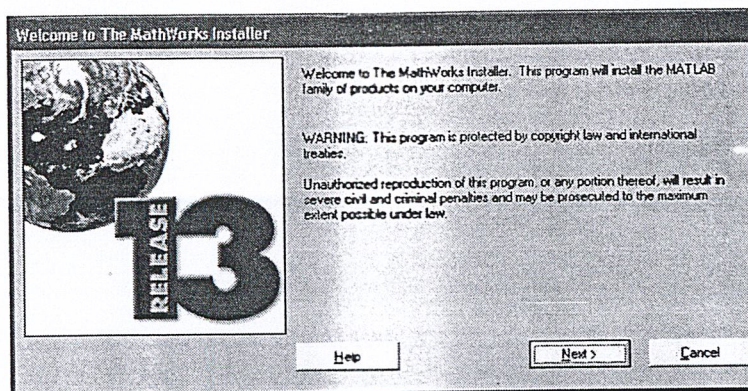
การใช้โปรแกรม

โปรแกรมทำนายความแข็งแกร่งของคอนกรีต

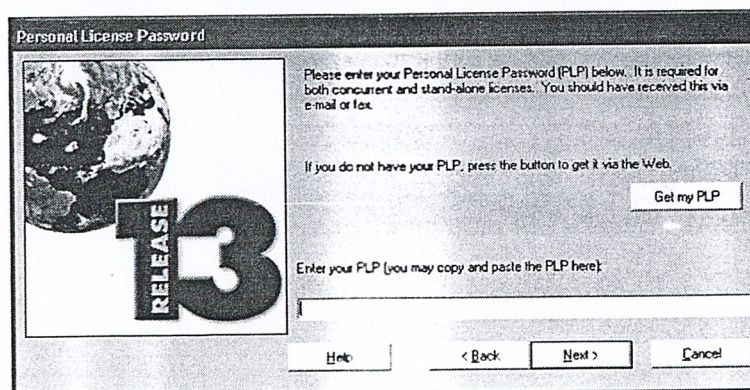
โปรแกรมทำนายความแข็งแกร่งของคอนกรีต ถูกพัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม Matlab,ระบบฐานข้อมูลด้วยไฟล์ของ Access XP และ ใช้ Drivers ODBC ในการติดต่อฐานข้อมูล

ขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรม

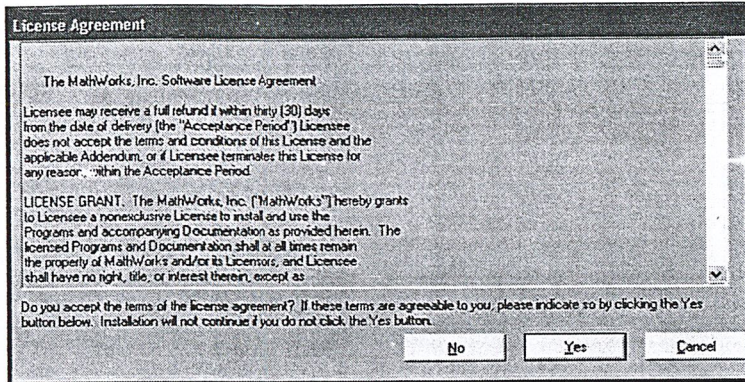
1.ติดตั้งโปรแกรม Matlab (เวอร์ชัน 6.5 เป็นอย่างน้อย)



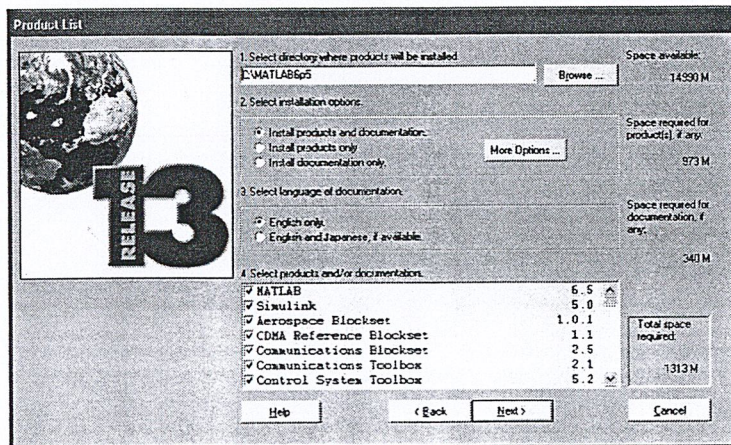
หน้าจอแสดงการเริ่มติดตั้งโปรแกรม Matlab version 6.5



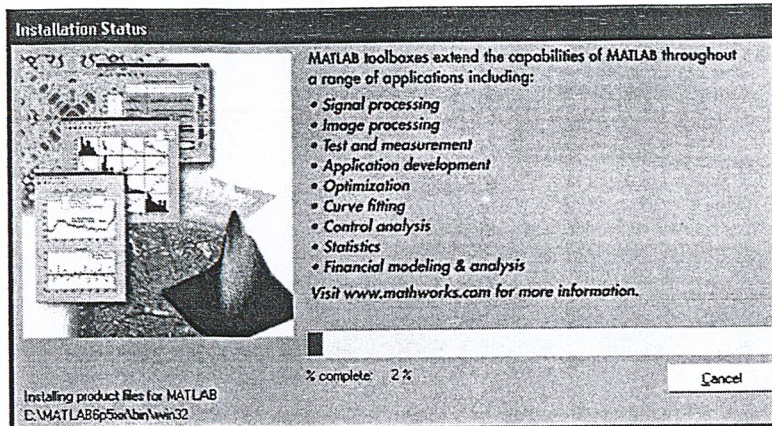
ใส่รหัส PLP



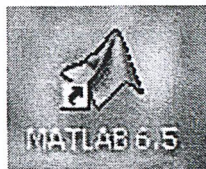
ข้อตกลงทางการใช้ Software



หน้าจอเลือกติดตั้งส่วนประกอบต่างๆที่ต้องการ

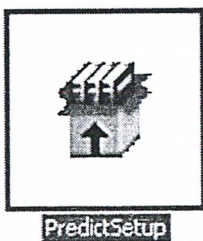


เริ่มทำการติดตั้งโปรแกรมลงเครื่อง

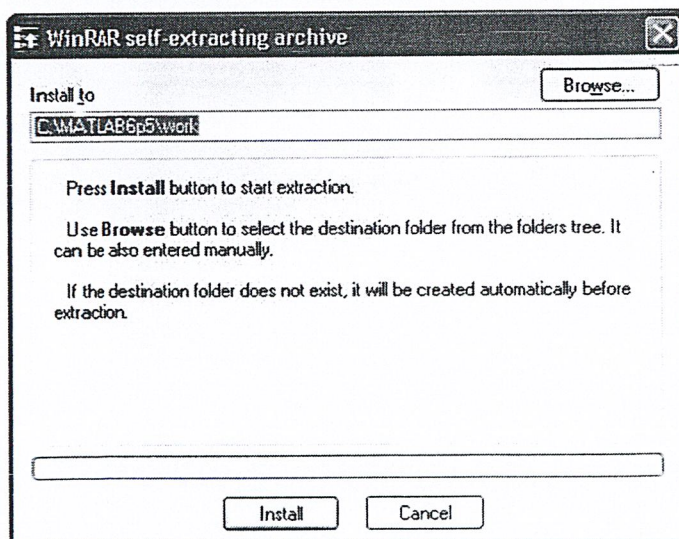


หลังจากเสร็จจะขึ้นไอคอนสำหรับเรียกใช้โปรแกรม Matlab

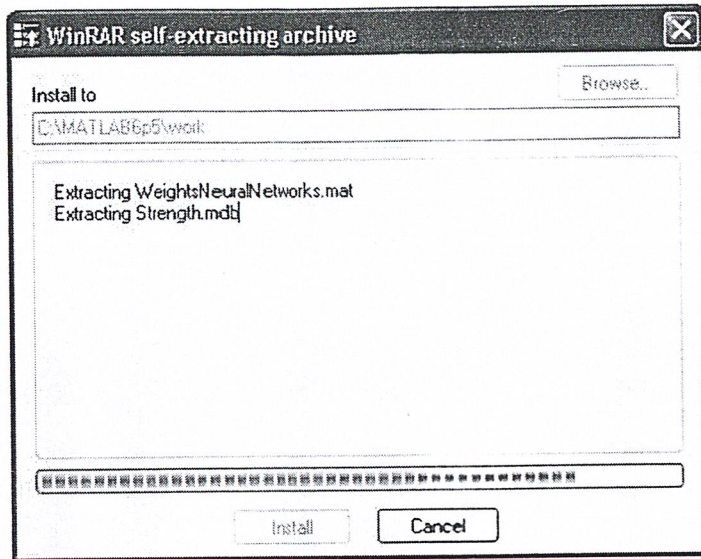
2. Double click ไฟล์ PredictSetup.exe โปรแกรมจะทำการติดตั้งระบบทำนายลงในเครื่องไว้ใน Folder work ของโปรแกรม Matlab (ปกติจะเป็น c:\matlab6p5\work)



ภาพตัวอย่าง (Installer)



หน้าจอกำหนดตำแหน่งที่จะทำการติดตั้ง



ขณะทำการติดตั้งโปรแกรม

3. เรียก Control Panel จากปุ่ม Start->Setting->Control Panel (Windows XP)

เลือก Administrative Tools และ Data Sources (ODBC)

ใน tab User DSN กดปุ่ม Add

เลือก Microsoft Access Driver (*.mdb)

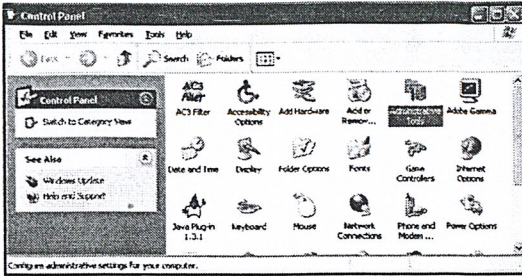
พิมพ์ชื่อในช่อง Data Source Name: ConcretePrediction

หมายเหตุ: ต้องถูกต้องทั้งตัวอักษรใหญ่เล็กและไม่มีช่องว่างระหว่างคำ

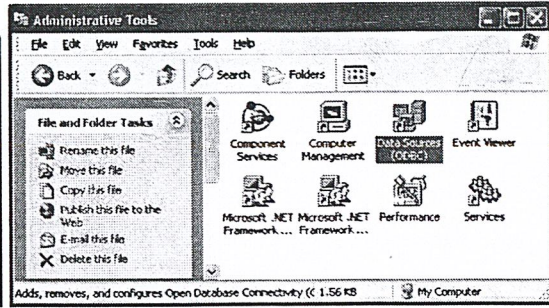
ไม่เช่นนั้นระบบจะติดต่อฐานข้อมูลไม่ได้

กด Select เพื่อเลือกไฟล์ฐานข้อมูล (ปกติจะเป็น c:\matlab6p5\work ที่เดียวกับที่ลงโปรแกรมไว้)

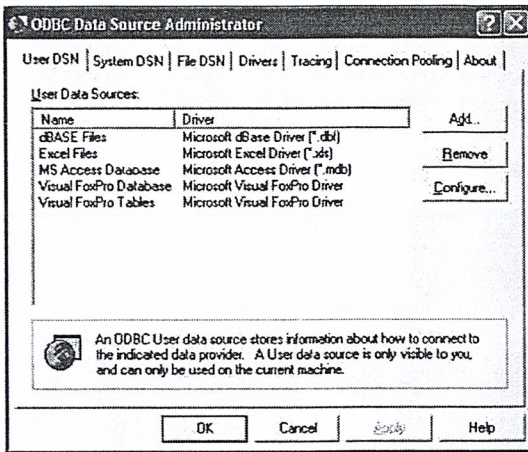
กด OK แล้วปิดหน้าต่างไป



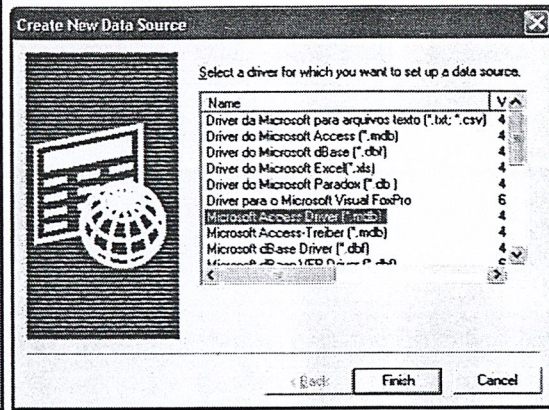
Control Panel



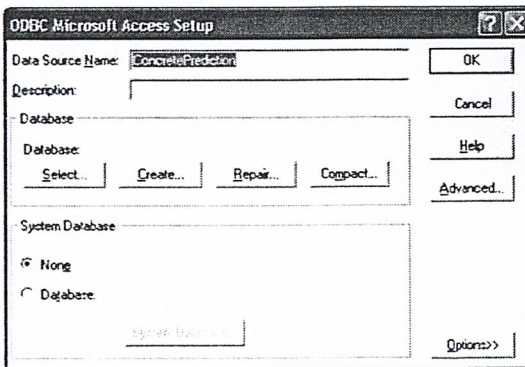
Data Sources (ODBC)



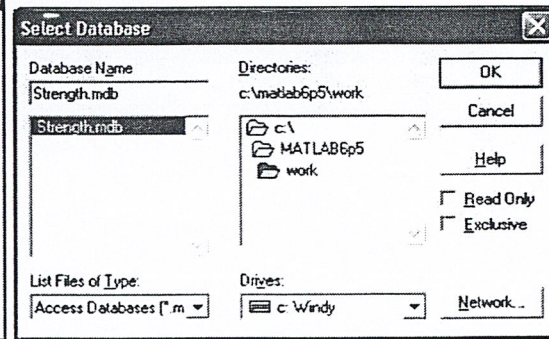
กด Add



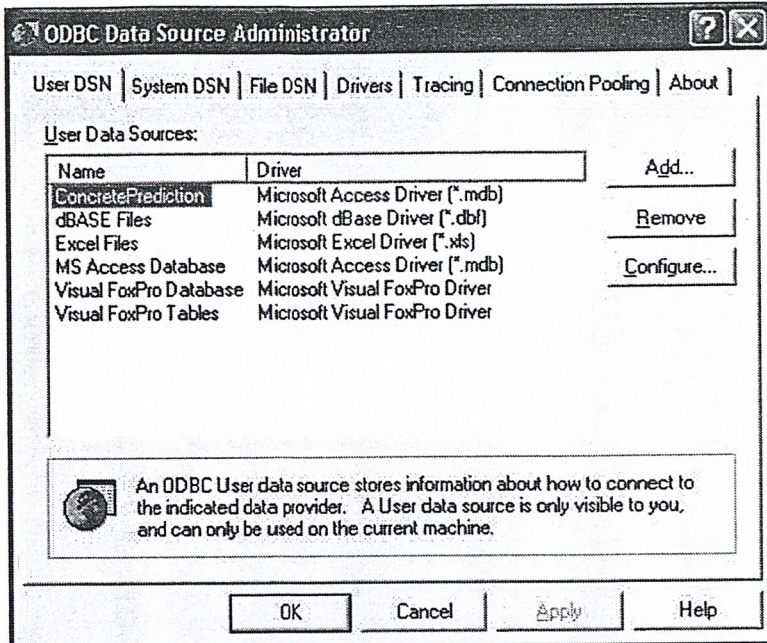
เลือก Microsoft Access Driver (*.mdb)



พิมพ์ ConcretePrediction



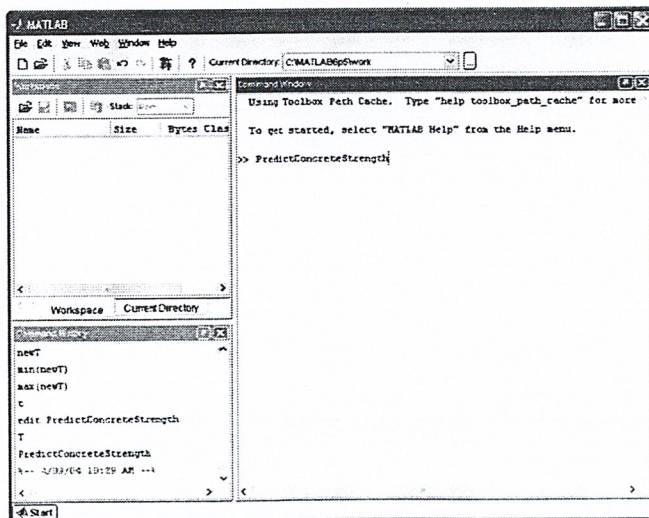
กด Select เลือกหาไฟล์ Strength.mdb



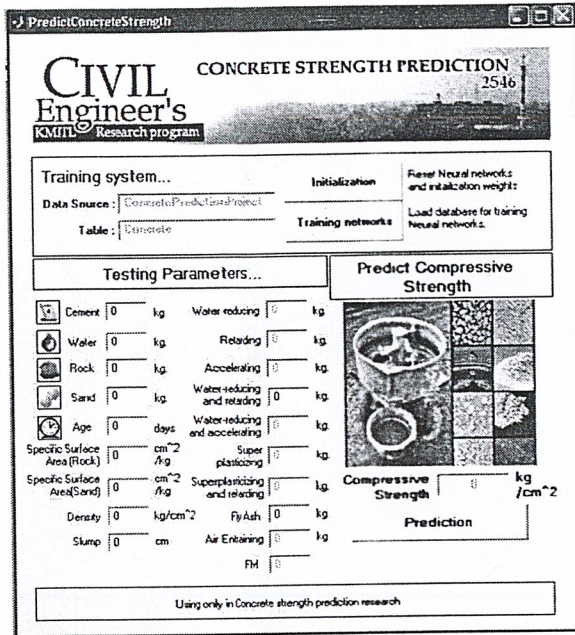
ติดตั้งเสร็จสิ้น (มีคำว่า ConcretePrediction ปรากฏ)

การใช้งานระบบทำนายความแข็งแรงของคอนกรีต

1. เปิดโปรแกรม Matlab



2. พิมพ์ PredictConcreteStrength แล้วกด Enter จะปรากฏหน้าจอพร้อมทำงาน



การทำงานของปุ่มและช่องกรอกข้อความ

ปุ่ม **Initialization**: ชกคลิกการให้ระบบทำการเรียนรู้ข้อมูล เริ่มต้นใหม่ทั้งหมด

ปุ่ม **Training networks**: โหลดข้อมูลจากฐานข้อมูล วิเคราะห์ความสัมพันธ์ และให้ระบบทำการเรียนรู้ความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งหมด(ใช้เวลานาน)

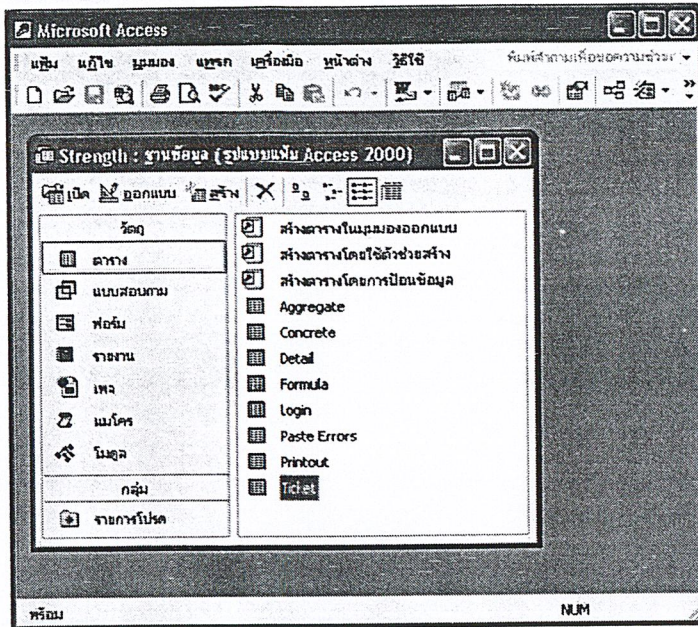
ช่องกรอกข้อมูล: ใส่ค่าสำหรับการทดสอบการทำงานของโปรแกรม โดยให้ใส่ค่าได้เฉพาะตัวเลข

ปุ่ม **Prediction**: ทำการคำนวณผลลัพธ์ของข้อมูลที่กรอกใส่เข้าไป ออกมาเป็นค่า Compressive Strength

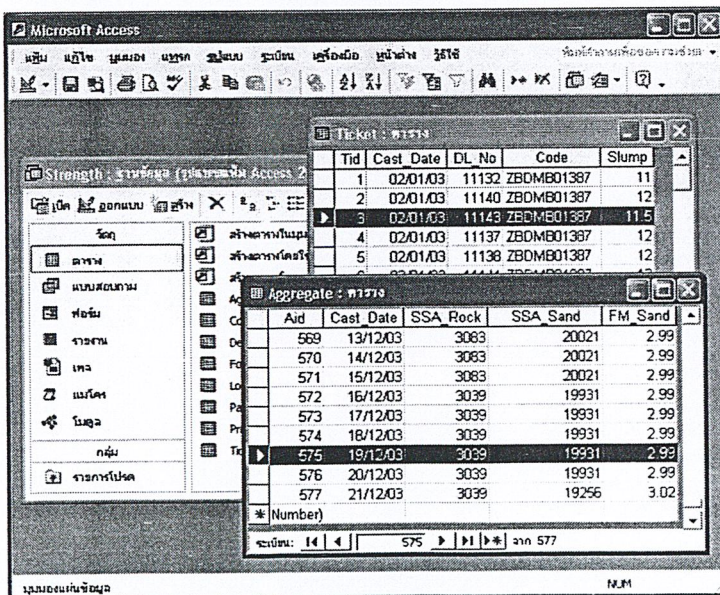
การแก้ไข/เพิ่มเติมข้อมูลลงในฐานข้อมูล

เปิดไฟล์ Strength (ไฟล์ Access) ซึ่งจะอยู่ใน Folder เดียวกับที่ลงโปรแกรมไว้

(ปกติจะเป็น c:\matlab6p5\work) จะปรากฏข้อมูลดังรูป



เมื่อต้องการเพิ่มเติมข้อมูลก็สามารถเข้าไปแก้ไขเพิ่มเติมภายในตารางต่างๆ ได้ตามต้องการ เพียงแต่ห้ามทำการแก้ไขชื่อ Attribute ของตารางเท่านั้น ระบบก็จะยังสามารถทำงานได้อย่างปกติ



แสดงค่าในฐานข้อมูลแต่ละตาราง

ภาคผนวก ข

ชุดลำดับคำสั่งในการทดสอบหาโครงข่ายที่เหมาะสม

```

clear all;
close all;
load DataReloaded;

[pn,minp,maxp,tn,mint,maxt] = premmmx(p,t);

[R,Q] = size(pn);
itrain = [1:10:Q 2:10:Q 3:10:Q 4:10:Q 5:10:Q 6:10:Q 7:10:Q 8:10:Q 9:10:Q];
itest = 10:10:Q;
%ival = 2:4:Q;

%val.P = pn(:,ival);
%val.T = tn(:,ival);
test.P = pn(:,itest);
test.T = tn(:,itest);

ptr = pn(:,itrain);
ttr = tn(:,itrain);

%x = [8 9 10 11];
%y = [1000 2000];
my_counter = 1;

Performances = [];
Regression_Relating_Train = [];
Regression_Relating_Test = [];

for L = 1:1:2
for i = 9:1:11
for j = 1000:1000:2000
clear net;
fprintf('Neural network : %d nodes , %d epochs... ',i,j);

if (L == 1)
net = newff(minmax(ptr),[i i 1],{'tansig' 'purelin'},'traingdx');
else
net = newff(minmax(ptr),[i i 1],{'tansig' 'tansig' 'purelin'},'traingdx');
end;
net.trainParam.epochs = j;
net.trainParam.goal = 1e-3;
net.trainParam.lr = 0.005;
[net,tr]=train(net,ptr,ttr);

%net = newff(minmax(ptr),[i i 1],{'tansig' 'tansig' 'purelin'},'trainbr');
%[net,tr]=train(net,ptr,ttr,[],[],val,test);

%Inicializa value of counter...
ir = (my_counter-1)*2;

y = sim(net,ptr);
y_ = postmnmx(y,mint,maxt);
t_ = postmnmx(ttr,mint,maxt);
e = t_ - y_;
perf_train = sqrt(mse(e));
%subplot(1,2,1);
%[m,b,r] = postreg(y_,t_)

Regression_Relating_Train(:,ir+1) = y_';
Regression_Relating_Train(:,ir+2) = t_';

%y = sim(net,val.P);
%y_ = postmnmx(y,mint,maxt);
%t_ = postmnmx(val.T,mint,maxt);
%e = t_ - y_;
%perf_validate = sqrt(mse(e));

y = sim(net,test.P);
y_ = postmnmx(y,mint,maxt);

```

```

t_ = postmnmx(test.T,mint,maxt);
e = t_ - y_;
perf_test = sqrt(mse(e));
%subplot(1,2,2);
%[m,b,r] = postreg(y_,t_)

    Regression_Relating_Test(:,ir+1) = y_;
    Regression_Relating_Test(:,ir+2) = t_;

Performances(my_counter,:) = [my_counter L i j perf_train perf_test];

my_counter = my_counter + 1;
end;
end;
end;

%Performances;
%Regression_Relating_Train
%Regression_Relating_Test
clear EstablishConnect L Q R ans e i j ir itrain itest j maxp maxt minp mint my_counter net;
clear p pn t tn perf_test perf_train ptr ttr t_test tr yy_;
save ResultData;

```

ภาคผนวก ค

ชุดลำดับคำสั่งในการทดสอบของระบบโครงข่ายประสาทเทียม

```

function varargout = PredictConcreteStrength(varargin)
% PREDICTCONCRETESTRENGTH M-file for PredictConcreteStrength.fig
% PREDICTCONCRETESTRENGTH, by itself, creates a new PREDICTCONCRETESTRENGTH or raises the existing
% singleton*.
%
% H = PREDICTCONCRETESTRENGTH returns the handle to a new PREDICTCONCRETESTRENGTH or the handle to
% the existing singleton*.
%
% PREDICTCONCRETESTRENGTH('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
% function named CALLBACK in PREDICTCONCRETESTRENGTH.M with the given input arguments.
%
% PREDICTCONCRETESTRENGTH('Property','Value',...) creates a new PREDICTCONCRETESTRENGTH or raises the
% existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
% applied to the GUI before PredictConcreteStrength_OpeningFunction gets called. An
% unrecognized property name or invalid value makes property application
% stop. All inputs are passed to PredictConcreteStrength_OpeningFcn via varargin.
%
% *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
% instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help PredictConcreteStrength

% Last Modified by GUIDE v2.5 03-Apr-2004 10:26:39

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
    'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
    'gui_OpeningFcn', @PredictConcreteStrength_OpeningFcn, ...
    'gui_OutputFcn', @PredictConcreteStrength_OutputFcn, ...
    'gui_LayoutFcn', [], ...
    'gui_Callback', []);

```

```

if nargin & isstr(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before PredictConcreteStrength is made visible.
function PredictConcreteStrength_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to PredictConcreteStrength (see VARARGIN)

% Choose default command line output for PredictConcreteStrength
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes PredictConcreteStrength wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

axes(handles.Logo);
handles.Logo = imread('StrengthPredictionLogo.jpg');
imshow(handles.Logo);

%set(handles.axesview,'Units','pixels');

```

```
axes(handles.axesview);
```

```
handles.axesview = imread('Initialization.jpg');
```

```
imshow(handles.axesview);
```

```
axes(handles.axescement);
```

```
handles.axescement = imread('iconcement.jpg');
```

```
imshow(handles.axescement);
```

```
axes(handles.axeswater);
```

```
handles.axeswater = imread('iconwater.jpg');
```

```
imshow(handles.axeswater);
```

```
axes(handles.axesrock);
```

```
handles.axesrock = imread('iconrock.jpg');
```

```
imshow(handles.axesrock);
```

```
axes(handles.alexessand);
```

```
handles.alexessand = imread('iconsand.jpg');
```

```
imshow(handles.alexessand);
```

```
axes(handles.axesage);
```

```
handles.axesage = imread('iconage.jpg');
```

```
imshow(handles.axesage);
```

```
% --- Outputs from this function are returned to the command line.
```

```
function varargout = PredictConcreteStrength_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```
% varargout cell array for returning output args (see VARARGOUT);
```

```
% hObject handle to figure
```

```
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
```

```
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% Get default command line output from handles structure
```

```

varargout{1} = handles.output;

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function icement_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to icement (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function icement_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to icement (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of icement as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of icement as a double
load WeightsNeuralNetworks;

t_cement = str2double(get(handles.icement,'String'));

if ((t_cement < minp(1)) | (t_cement > maxp(1)))

    warndlg('Cement value out of bound.!!! Warning !!!');

end;

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function iwater_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to iwater (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function iwater_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to iwater (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of iwater as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of iwater as a double
load WeightsNeuralNetworks;

t_water = str2double(get(handles.iwater,'String'));

if ((t_water < minp(2)) | (t_water > maxp(2)))

    warndlg('Water value out of bound.!!! Warning !!!');

end;

% --- Executes during object creation, after setting all properties.

```

```

function isand_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to irock (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function isand_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to irock (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of irock as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of irock as a double
load WeightsNeuralNetworks;

t_sand = str2double(get(handles.isand,'String'));

if ((t_sand < minp(4)) | (t_sand > maxp(4)))

    warndlg('Sand value out of bound.!! Warning !!');

end;

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function irock_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to irock (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function irock_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to irock (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of irock as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of irock as a double
load WeightsNeuralNetworks;

t_rock = str2double(get(handles.irock,'String'));

if ((t_rock < minp(3)) | (t_rock > maxp(3)))

    warndlg('Rock value out of bound.!! Warning !!');

end;

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function iages_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to iages (see GCBO)

```

```

% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function iages_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to iages (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of iages as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of iages as a double
load WeightsNeuralNetworks;

t_ages = str2double(get(handles.iages,'String'));

if ((t_ages < minp(5)) | (t_ages > maxp(5)))

    warndlg('Ages value out of bound.',!! Warning !!);

end;

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function issasand_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to issasand (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function issasand_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to issasand (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of issasand as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of issasand as a double
load WeightsNeuralNetworks;

t_sasand = str2double(get(handles.issasand,'String'));

if ((t_sasand < minp(7)) | (t_sasand > maxp(7)))

    warndlg('Specific Surface Area (Sand) value out of bound.',!! Warning !!);

end;

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function issarock_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to issarock (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function issarock_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to issarock (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of issarock as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of issarock as a double
load WeightsNeuralNetworks;

t_ssarock = str2double(get(handles.issarock,'String'));

if ((t_ssarock < minp(6)) | (t_ssarock > maxp(6)))

    warndlg('Specific Surface Area (Rock) value out of bound.',!!! Warning !!!);

end;

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function idensity_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to idensity (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function idensity_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to idensity (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of idensity as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of idensity as a double
load WeightsNeuralNetworks;

t_WV = str2double(get(handles.idensity,'String'));

if ((t_WV < minp(8)) | (t_WV > maxp(8)))

    warndlg('Density value out of bound.',!!! Warning !!!);

end;

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function ocompress_strength_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to ocompress_strength (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

```

```

function ocompress_strength_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to ocompress_strength (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of ocompress_strength as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of ocompress_strength as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit12_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit12 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

```

```

function edit12_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit12 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit12 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit12 as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit13_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit13 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

```

```

function edit13_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit13 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit13 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit13 as a double

```

```

% --- Executes on button press in resetbutton.
function resetbutton_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to resetbutton (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
load WeightsNeuralNetworks;

net = init(net);

    tmpHandle = handles;

    clear handles;

    save WeightsNeuralNetworks;

    handles = tmpHandle;

    clear tmpHandle;

axes(handles.axesview);

handles.axesview = imread('Initialization.jpg');

imshow(handles.axesview);

% --- Executes on button press in trainingbutton.
function trainingbutton_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to trainingbutton (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

%conn = database('Karto','') % Establish ODBC Connection
conn = database('ConcretePrediction','administrator','FpTk,skgmr');

    axes(handles.axesview);

    handles.axesview = imread('Initialization.jpg');

    imshow(handles.axesview);

EstablishConnect = isconnection(conn);

if (EstablishConnect > 0)

    %curs=exec(conn, ['select * from Bread']); % Execute SQL statement and open cursor
    curs=exec(conn, ['select * from MyQuery']);

    setdbprefs('DataReturnFormat','numeric'); % specific the format for the retrieved data as numeric

    % insert(conn, 'tab', colnames, exdata)

    % update(conn, 'tab', colnames, exdata, 'whereclause')

    % mycurs=exec(conn, ['update Concretes set Water = 77 where id = 0'])

    % colnum = input('Enter your country: ', 's')

```

```

curs = fetch(curs); % Import data into MATLAB

numrows = rows(curs);

%temp = curs.Data

%load data from database

P = curs.data(:,1:11);
T = curs.data(:,12);

%attributes = attr(curs) % Get attributes of columns in fetched data set
%curs=fetch(curs,1); % Fetch a next row from database
%curs.Data

close(curs);
close(conn);
%clear curs;
%clear conn;

%%%%%%%%%%%% Data clustering %%%%%%%%%%%%%
%Y = pdist(P);
%Z = linkage(Y);
%G = cluster(Z,cophenet(Z,Y));

%save ClusteredData;
%load ClusteredData;

%newP = [];
%newT = [];
%for i = 1:max(G)
% F = find(G==i);
% newP(i,:) = P(F(1),:);
% newT(i) = T(F(1));
%end;

% Transpose data for propriate training

```

```

%p = newP';
%t = newT';

p = P';
t = T';
clear P T conn curs;

%tmpHandle = handles;
%clear handles;
%save PreparedData;
%handles = tmpHandle;
%clear tmpHandle;

%load PreparedData;

%net = init(net);
clear net;
[pn,minp,maxp,tn,mint,maxt] = premmnx(p,t);
net=newff(minmax(pn),[9 9 1],{'tansig','purelin'},'traingdx');
net.trainParam.epochs = 1000;
net.trainParam.goal = 1e-3;
net.trainParam.lr = 0.005;
[net,tr]=train(net,pn,tn);

%upgrade technology of neuralnetworks to maximum performance of learning
%[pn,minp,maxp,tn,mint,maxt] = premmnx(p,t);

%[R,Q] = size(pn);
%iitrain = [1:4:Q 3:4:Q];
%iitest = 2:4:Q;
%iival = 4:4:Q;

%val.P = pn(:,ival);
%val.T = tn(:,ival);

```

```

%test.P = pn(:,itest);
%test.T = tn(:,itest);

%ptr = pn(:,itrain);
%tr = tn(:,itrain);

%clear net;
%net = init(net);
%net = newff(minmax(ptr),[11 1],{'tansig' 'purelin'},'trainbr');
%[net,tr]=train(net,ptr,ttr,[],[],val,test);

tmpHandle = handles;
clear handles;
save WeightsNeuralNetworks;
handles = tmpHandle;
clear tmpHandle;

set(handles.icement,'String',num2str(minp(1)));
set(handles.iwater,'String',num2str(minp(2)));
set(handles.irock,'String',num2str(minp(3)));
set(handles.isand,'String',num2str(minp(4)));
set(handles.iages,'String',num2str(minp(5)));

set(handles.issarock,'String',num2str(minp(6)));
set(handles.issasand,'String',num2str(minp(7)));
set(handles.idensity,'String',num2str(minp(8)));
set(handles.islump,'String',num2str(minp(9)));
%set(handles.iA,'String',num2str(minp(1)));

%set(handles.iB,'String',num2str(minp(1)));
%set(handles.iC,'String',num2str(minp(10)));
set(handles.iD,'String',num2str(minp(10)));
%set(handles.iE,'String',num2str(minp(1)));
%set(handles.iF,'String',num2str(minp(1)));

```

```

%set(handles.iG,'String',num2str(minp(1)));

set(handles.iflyash,'String',num2str(minp(1)));

%set(handles.iair,'String',num2str(minp(1)));

%set(handles.iFM,'String',num2str(minp(1)));

end;
% --- Executes on button press in testbutton.
function testbutton_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to testbutton (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
% clear all; % don't clear becoz handles can't save

load WeightsNeuralNetworks;

t_cement = str2double(get(handles.icement,'String'));
t_water = str2double(get(handles.iwater,'String'));
t_rock = str2double(get(handles.irock,'String'));
t_sand = str2double(get(handles.isand,'String'));
t_ages = str2double(get(handles.iages,'String'));

t_ssarock = str2double(get(handles.issarock,'String'));
t_ssasand = str2double(get(handles.issasand,'String'));
t_WV = str2double(get(handles.idensity,'String'));
t_slump = str2double(get(handles.islump,'String'));
%t_A = str2double(get(handles.iA,'String'));

%t_B = str2double(get(handles.iB,'String'));
%t_C = str2double(get(handles.iC,'String'));
t_D = str2double(get(handles.iD,'String'));
%t_E = str2double(get(handles.iE,'String'));
%t_F = str2double(get(handles.iF,'String'));

%t_G = str2double(get(handles.iG,'String'));
t_flyash = str2double(get(handles.iflyash,'String'));
%t_air = str2double(get(handles.iair,'String'));
%t_FM = str2double(get(handles.iFM,'String'));

```

```
DatainHand = [t_cement t_water t_rock t_sand t_ages t_ssarock t_sasand t_WV t_slump t_D t_flyash];
```

```
pnewn = trammx(DatainHand,minp,maxp);
```

```
%% Warning: Some maximums and minimums are equal. Those inputs won't be transformed.
```

```
%DatainHand = [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
```

```
anewn = sim(net,pnewn);
```

```
Result = postmnmx(anewn, mint, maxt);
```

```
set(handles.ocompress_strength,'String',num2str(Result));
```

```
axes(handles.axesview);
```

```
if (Result < 100)
```

```
    handles.axesview = imread('Concrete1.jpg');
```

```
elseif (Result < 200)
```

```
    handles.axesview = imread('Concrete2.jpg');
```

```
else
```

```
    handles.axesview = imread('Concrete3.jpg');
```

```
end;
```

```
imshow(handles.axesview);
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
```

```
function iA_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```
% hObject handle to iA (see GCBO)
```

```
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
```

```
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
```

```
% See ISPC and COMPUTER.
```

```
if ispc
```

```
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
```

```
else
```

```
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
```

```
end
```

```
function iA_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
% hObject handle to iA (see GCBO)
```

```
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
```

```
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of iA as text
```

```
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of iA as a double
```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function iB_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to iB (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

```

```

function iB_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to iB (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of iB as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of iB as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function iC_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to iC (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

```

```

function iC_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to iC (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of iC as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of iC as a double
load WeightsNeuralNetworks;

```

```

t_C = str2double(get(handles.iC,'String'));

if ((t_C < minp(10)) | (t_C > maxp(10)))

    warndlg('Accelerating value out of bound.',!! Warning !!);

end;

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function iD_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to iD (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');

```

```

else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

```

```

function iD_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to iD (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of iD as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of iD as a double
load WeightsNeuralNetworks;

```

```
t_D = str2double(get(handles.iD,'String'));

```

```
if ((t_D < minp(10)) | (t_D > maxp(10)))

```

```
    warndlg('Water-reducing and retarding value out of bound.!!! Warning !!!');

```

```
end;

```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.

```

```
function iE_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to iE (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.

```

```
% See ISPC and COMPUTER.

```

```
if ispc

```

```
    set(hObject,'BackgroundColor','white');

```

```
else

```

```
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));

```

```
end

```

```
function iE_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```
% hObject handle to iE (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of iE as text

```

```
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of iE as a double

```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.

```

```
function iF_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to iF (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.

```

```
% See ISPC and COMPUTER.

```

```
if ispc

```

```
    set(hObject,'BackgroundColor','white');

```

```
else

```

```
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));

```

```
end

```

```

function iF_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to iF (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of iF as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of iF as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function iG_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to iG (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function iG_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to iG (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of iG as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of iG as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function iFM_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to iFM (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function iFM_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to iFM (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of iFM as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of iFM as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function ifm_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to ifm (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc

```

```

    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

```

```

function ifm_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to ifm (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of ifm as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of ifm as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function ig_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to ig (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

```

```

function ig_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to ig (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of ig as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of ig as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function islump_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to islump (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

```

```

function islump_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to islump (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of islump as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of islump as a double
load WeightsNeuralNetworks;

```

```

t_slump = str2double(get(handles.islump,'String'));

```

```

if ((t_slump < minp(9)) | (t_slump > maxp(9)))
    warndlg('Slump value out of bound.',!! Warning !!);
end;

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function iflyash_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to iflyash (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function iflyash_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to iflyash (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of iflyash as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of iflyash as a double
load WeightsNeuralNetworks;

t_flyash = str2double(get(handles.iflyash,'String'));

if ((t_flyash < minp(11)) | (t_flyash > maxp(11)))
    warndlg('Fly ash value out of bound.',!! Warning !!);
end;

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function iair_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to iair (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function iair_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to iair (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of iair as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of iair as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function isandy_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

```

```
% hObject handle to isand (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end
```

```
function isandy_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to isand (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of isand as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of isand as a double
```

ภาคผนวก ง

ตัวอย่างเอกสาร

- ง2. เอกสารข้อมูลออกแบบส่วนผสมคอนกรีต
- ง3. เอกสารข้อมูลด้านวัสดุศาสตร์
- ง4. เอกสารรายงานการทำก่อนปูน

REPORTS: CPAC DP No. 520728 DL.No. 5207
 U-no.: 11a
 REF: SUVARNAHARI 2 Ph.: (02)3250286
 11 280KSC/12cm.

Qty.: 6,00 m³ Ret.concr: 00,00 m³ Ordered : 9999,00 m³ Delivered: 3360,50 m³ Rest: 6638,50
 : 11/MS01387(95) Strength : 280 /95 Consist. : KP Max. grain: 3/4
 Value: 0,52 Duration for work: 0 h
 k : 710/F-1710 Driver: S/JUNR
 -cl: kg/m³ Add.-c2: kg/m³ Add.-f: kg/m³
 ial work : 0/ 0/ 0/ 0/
 er is : sunny +37 ±C / 42 % humidity.

ROCKS/4"		SAND		ROCKS/4"		CEMENT		F4BR		used frsh warm n-water total													
620	810	500	0	0	0	340	0	0	1,65	0,00	0	176	0	176									
kg Silo	kg Silo	kg Silo	kg Silo	kg Silo	kg Silo	kg Silo	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg									
1860	3	2600	2	1500	1	0	0	0	0	1020	1	0	0	0	4,95	1	0,00	0	0	358	0	170	
0A	7,0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A
1860	3	2600	2	1500	1	0	0	0	0	1025	1	0	0	0	4,95	1	0,00	0	0	360	0	170	
0A	7,0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A
3720	3	5200	2	3000	1	0	0	0	0	2045	1	0	0	0	9,90	1	0,00	0	0	718	0	340	718
0A	7,0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A
3720	3	5200	2	3000	0	0	0	0	0	2040	0	0	0	0	9,90	0,00	0	0	0	716	0	340	716
0A	7,0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A
er.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0,00	0,00	0	0	0	2	0	0	2
icizer / quantity at construction site :	0,00	l	W/C-Value:	0,51	maximal addition of water at the construction site :	000	kg																
l water: Req. Recipe:	1056	kg	Act:	0718	kg	Water of moisture :	340	kg	Manual water correction:	000	kg	Water correction of order:	0000	kg									

REPORTS: CPAC DP No. 520823 DL.No. 5208
 U-no.: 11a
 REF: SUVARNAHARI 2 Ph.: (02)3250286
 11 280KSC/12cm.

Qty.: 6,00 m³ Ret.concr: 00,00 m³ Ordered : 9999,00 m³ Delivered: 3360,50 m³ Rest: 6638,50
 : 11/MS01387(95) Strength : 280 /95 Consist. : KP Max. grain: 3/4
 Value: 0,52 Duration for work: 0 h
 k : 286/B-1286 Driver: 16/SUNAT
 -cl: kg/m³ Add.-c2: kg/m³ Add.-f: kg/m³
 ial work : 0/ 0/ 0/ 0/
 er is : sunny +37 ±C / 42 % humidity.

ROCKS/4"		SAND		ROCKS/4"		CEMENT		F4BR		used frsh warm n-water total													
620	810	500	0	0	0	340	0	0	1,65	0,00	0	176	0	176									
kg Silo	kg Silo	kg Silo	kg Silo	kg Silo	kg Silo	kg Silo	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg									
1860	3	2600	2	1480	1	0	0	0	0	1015	1	0	0	0	4,90	1	0,00	0	0	360	0	169	
0A	7,0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A
1860	3	2620	2	1500	1	0	0	0	0	1020	1	0	0	0	4,95	1	0,00	0	0	358	0	170	
0A	7,0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A
3720	3	5220	2	2980	1	0	0	0	0	2035	1	0	0	0	9,85	1	0,00	0	0	718	0	339	718
0A	7,0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A
3720	3	5199	2	3000	0	0	0	0	0	2040	0	0	0	0	9,90	0,00	0	0	0	717	0	339	717
0A	7,0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A	0A
er.	0	21	-20	0	0	0	0	0	0	-5	0	0	0	0	-0,05	0,00	0	0	0	-1	0	0	1
icizer / quantity at construction site :	0,00	l	W/C-Value:	0,51	maximal addition of water at the construction site :	000	kg																
l water: Req. Recipe:	1056	kg	Act:	0218	kg	Water of moisture :	339	kg	Manual water correction:	000	kg	Water correction of order:	0000	kg									

รายงานการทำก้อนปูน

หน้าที่ 10-017

วันที่ D/P ๑๕, ๐๖, ๔๖
 ชื่อผู้ทำ ดิเรก ๑๖๖๖๖ 110

รหัสสินค้า Z B D M ๖ ๐ ๑ ๓ ๓ ๓

ศูนย์บริการการผลิต อ.น.จ.น.ท.

รหัส ๑๐๐๖๑๕๖

ชื่อหน่วยงาน NBPA-110 JV-MTB-W

รหัส ๑๓๓๕๕๕

ชนิดก้อนปูนทำเครื่องแบบ ลงในร่อง

ทรงลูกบาศก์ (CUBE)

ทรงกระบอก (CYLINDER)

คาน (BEAM)

หมายเลข D/P (D/P No.)	หมายเลขก้อนปูน		กำหนดอายุทดสอบ (เฉพาะเจ้าหน้าที่ LAB)				เฉพาะนครหลวง (LAB)		รหัสโรงงาน ที่ผลิต คอนกรีต	เบอร์รต	ค่าขยุ้ม (Slump) (cm)	เวลา ที่ท่า	โครงสร้าง ที่ท	จำนวนก้อนปูน		สถานที่ทำก้อนปูน		
	ชุด	หมายเลข ก้อนปูน	หมายเลขก้อนปูน	อายุ (วัน)	วันที่ทดสอบ	สภาพก้อนปูน (n)	ทดสอบ ได้ ไม่ได้	ลูกเต๋า						CPAC	หน่วยงาน	โรงงาน		
๑๐๑๓๐๑๒๒๐๔	E	๑ ถึง ๓							31-32	๓๐๘	๑๒๐	๑๒.๐๐	SIGN-ZONE 2/1 LEVEL 2 - LANE 5-B-5A	3	-	✓	-	
๑๐๑๓๐๑๒๒๐๖	F	๑ ถึง ๓							31-32	๒๒๖	๑๒.๐	๑๒.๕๐		3	-	✓	-	
		ถึง																
		ถึง																
บันทึกเพิ่มเติม			ผู้กำหนดอายุทดสอบ				ผู้รับก้อนปูน		* สำหรับ concrete ที่ 10 M (cm) ไม่บังคับในร่องทำปูน									

หมายเหตุสภาพก้อนปูน

(๑) 1 - มีสีเหลืองอ่อน, 2 - บิ่น, 3 - มีริ้วแตกปกปิดตามก้อนปูน, 4 - แผลง, 5 - มีกลิ่นเนื่องจากประกอบแบบไม่สนิท
 6 - สภาพปกติ, 7 - เจียน้ำ, 8 - มีรูพรุน, 9 - มีภาพรื้น, 10 - ยี่งไม่แข็งตัว, 11 - เขียวไม่ขนาน, 12 - ผิวไม่เรียบ

ผู้ทำก้อนปูน... ๑๑๑๐๐ - ๑๑๑๑๑

(ด้วยตัวเอง)

ผู้ตรวจสอบ

(ด้วยตัวเอง)