

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเพื่อการพยากรณ์

โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

LEARNING REAL PARAMETER AFFECT THE COMPRESSIVE STRENGTH
FOR PREDICTION BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORK



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....**62093**
วัน,เดือน,ปี.....**3 1 ก.ค. 2549**

.บ.....
.น.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LEARNING REAL PARAMETER AFFECT THE COMPRESSIVE STRENGTH
FOR PREDICTION BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORK



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 INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2004

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

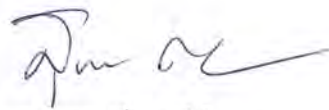
หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเพื่อการพยากรณ์
โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

นักศึกษา นายทนงศักดิ์ กุลพรหม รหัสประจำตัว 44010712
นายไปเวศ สว่างวงศ์ รหัสประจำตัว 44010767
นายภราดร เกรียงศักดิ์พงษ์ รหัสประจำตัว 44010790

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์แหลมทอง เหล่าคงถาวร
ผศ.ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์
ดร.คมสัน มาลีสี

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ศรีกริช	หิรัญมาศ	
ผศ.สุวัฒน์	ฉिरเศรษย์	
ผศ.ดร.สุชัชวีร์	สุวรรณสวัสดิ์	
อ.แหลมทอง	เหล่าคงถาวร	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว


(ผศ.สุพจน์ ศรีนิล)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 30 เดือน เมษายน พ.ศ. 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเพื่อการพยากรณ์ โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

LEARNING REAL PARAMETER AFFECT THE COMPRESSIVE STRENGTH FOR PREDICTION BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

นักศึกษา	นายทงศักดิ์ กุลพรหม	รหัสประจำตัว	44010712
	นายไปเวศ สว่างวงศ์	รหัสประจำตัว	44010767
	นายภราดร เกรียงศักดิ์พงษ์	รหัสประจำตัว	44010790

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์แหลมทอง เหล่าคงอวาร์

ผศ.ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์
ดร.คมสัน มาลีสี

ระดับการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2547

บทคัดย่อ

เป็นที่เข้าใจกันดีว่าคอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีบทบาทสำคัญสำหรับการก่อสร้างในยุคปัจจุบัน และมีผลกระทบโดยตรงต่อระยะเวลาก่อสร้างและค่าก่อสร้าง ดังนั้นการประเมินค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ปริณญาณพนธ์นี้จึงได้นำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการพยากรณ์ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ที่มีอายุการบ่ม 7 วัน และ 28 วัน โดยทำการผสมตัวอย่างคอนกรีตทั้งหมด 384 ตัวอย่าง (128 ข้อมูล) เพื่อนำไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ส่วนข้อมูลที่ใช้ในการทำฐานข้อมูลหลักได้ใช้ข้อมูลส่วนผสมคอนกรีตและผลการทดสอบวัสดุจากบริษัท ทีพีไอ คอนกรีต จำกัด ในส่วนของโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งพัฒนาบนโปรแกรมแมทแล็บ (Mathlab) จากการทดสอบทั้งหมด 18 โครงสร้าง พบว่าโครงสร้างแบบ 2 layers 8 nodes/layer ดีที่สุด คือมีค่า RMSE ต่ำที่สุดเท่ากับ 31.3 จำนวนข้อมูลถูกแบ่งเป็น 950 ข้อมูลสำหรับการ Train และ 300 ข้อมูลสำหรับขั้นตอนการ Test จากผลการทดสอบการทำนายของโปรแกรมโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมได้ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์ประมาณ 9.26 % สำหรับค่ากำลังรับแรงอัดคอนกรีตในช่วง 180 – 390 ksc. ที่อายุ 7 วัน และประมาณ 9.09 % สำหรับค่ากำลังรับแรงอัดคอนกรีตในช่วง 220 – 490 ksc. ที่อายุ 28 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title : LEARNING REAL PARAMETER AFFECT THE COMPRESSIVE STRENGTH FOR PREDICTION BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

Name : MR.TANONGSAK KOOLPROM
MR.PAIWATE SAWANGWONG
MR.PARADORN KRIENGSAKPONG

Field : CIVIL ENGINEERING

Department : CIVIL ENGINEERING

Faculty : ENGINEERING

Advisor : MR.LEAMTHONG LAOKHONGTHAVORN
ASST.PROF.SUCHATVEE SUWANSAWAT
DR.KOMSAN MALEESEE

ABSTRACT

At the present, concrete plays important role for construction materials which influence to construction time and cost. So the prediction compressive strength of concrete is very useful. This research aimed to apply the artificial neural network (ANN) for concrete compressive strength prediction at 7 and 28 days curing time. 384 cylindrical samples were made and tested to get 128 data. These data were analyzed with multiple regression to identify relationship between parameters that effect concrete compressive strength. The 1,250 data collected from concrete mixing plant, were used for testing, 950 data, and training, 350 data, process of ANN on Mathlab program. The 18 pattern of training process were analyze and, then, 2 layers with 8 nodes/hidden-layer was indicated as the suitable module with lowest RMSE, 31.3 ksc. Finally, compressive strength error of prediction result by ANN was 9.26% for 180-390 ksc. compressive strength range at 7 day, and 9.09% for 220-490 ksc. compressive strength range at 28 day.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จได้ด้วยดีต้องกราบขอบพระคุณอาจารย์แหลมทอง เหล่าคงถาวร อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษนี้ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและเสนอแนะแนวทางในการทำงานที่ถูกต้อง รวมถึงกำลังใจในการทำงานยามที่เหนื่อยล้า กราบขอบพระคุณ ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์ ที่ได้คำปรึกษาที่สำคัญเกี่ยวกับระบบ โครงข่ายประสาทเทียม และการพัฒนาระบบส่วนอื่นๆ กราบขอบพระคุณอาจารย์คมสัน มาลีสี ที่ได้คำปรึกษาเกี่ยวกับคอนกรีต และเทคโนโลยีของคอนกรีตใหม่ๆ โดยในตลอดช่วงเวลาที่ได้ทำโครงการพิเศษนี้นักศึกษาผู้จัดทำได้รับการดูแล คำแนะนำ และการสั่งสอนสิ่งต่างๆมากมายนอกเหนือจากการเรียนในห้องเรียน นับตั้งแต่ในการปรึกษาหัวข้อโครงการ การเริ่มดำเนินงาน จนเสร็จสิ้นสมบูรณ์ และกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ด้านการศึกษา ความรู้ทั่วไปจนทำให้ข้าพเจ้าได้นำความรู้ที่ได้รับมาพัฒนาใช้ให้เกิดประโยชน์ในโครงการพิเศษนี้ และทางนักศึกษาผู้จัดทำหวังว่าโครงการพิเศษที่ได้จัดทำขึ้นนี้จะมีประโยชน์ไม่มากก็น้อยต่อผู้ที่พัฒนาความรู้ต่อไปในอนาคต

อนึ่งข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ คุณเอกณรงค์ ปรีวีลย์ บริษัทผลิตภัณฑ์และวัตถุดิบก่อสร้าง จำกัด (CPAC) บริษัท ทีพีไอ คอนกรีต จำกัด บริษัท นำเฮง คอนกรีต จำกัด ที่ช่วยอนุเคราะห์ข้อมูลและอำนวยความสะดวกในการจัดหาข้อมูลต่างๆที่ใช้ในโครงการพิเศษนี้ และขอบขอบคุณความรู้ด้านคอมพิวเตอร์จากพี่ รวิรินทร์ วิรัชพินทุ พี่ที่มีน้ำใจช่วยเหลือด้านโปรแกรม ขอขอบคุณพี่ ชูเกียรติ คูประทุมศิริ ที่ได้คำปรึกษาในด้านการทำโครงการพิเศษนี้ รวมถึงเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกท่าน เพื่อนๆที่ช่วยในการผสมคอนกรีต รวมทั้งคำติชมต่างๆ อีกทั้งกำลังใจที่มีให้แก่นักศึกษาผู้จัดทำด้วยดีเสมอมาจึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

สุดท้ายใคร่ขอขอบพระคุณ บิดา-มารดา และญาติพี่น้องซึ่งได้ให้ความช่วยเหลืออันดีในทุกสิ่งทุกอย่างด้วยดีเสมอมา

นายทนงศักดิ์ กุลพรหม

นายไปเวศ สว่างวงศ์

นายภราดร เกรียงศักดิ์พงศ์

ผู้ประพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน(ภาษาไทย)	ก
	ปกใน(ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอนุมัติ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญตาราง	ญ
	สารบัญรูป	ฎ
1	บทนำ	
	1.1. กล่าวนำ	1
	1.2. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.3. วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
	1.4. ขอบเขตของการศึกษา	2
	1.5. วิธีการศึกษา	3
	1.6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2	วรรณกรรมปริทัศน์	
	2.1. กล่าวนำ	5
	2.2. ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีต	5
	2.3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพยากรณ์ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต	18
	2.3.1. งานวิจัย Jong-In Kim ,Doo Kie Kim ,Maria Q. Feng , Frank Yazdani	18
	2.3.2. งานวิจัย สถาบันเทคโนโลยีมหานคร	19
	2.3.3. งานวิจัย นายชูเกียรติ คูประทุมศิริ และนายรัชญะ สุยะวา (2546)	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.	การพิจารณาเลือกปัจจัยที่เหมาะสมในการพยากรณ์ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต	20
2.4.1.	การวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้โปรแกรม SPSS	22
2.4.1.1.	การตรวจสอบการแจกแจงข้อมูลเชิงปริมาณ โดยใช้สถิติทดสอบเบื้องต้น	22
2.4.1.2.	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)	23
2.4.2.	ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้ใน โครงงานพิเศษ	27
3	โครงข่ายประสาทเทียม	
3.1.	กล่าวนำ	30
3.2.	โครงข่ายประสาทเทียม	30
3.3.	แบบจำลองของ โครงข่ายประสาทเทียม	31
3.4.	สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม	32
3.4.1.	โครงข่ายแบบชั้นเดียวไปข้างหน้า	32
3.4.2.	โครงข่ายแบบหลายชั้นไปข้างหน้า	33
3.4.3.	โครงข่ายแบบรีเคอเรนซ์	34
3.5.	การเรียนรู้ของระบบ โครงข่ายประสาทเทียม	35
3.5.1.	การเรียนรู้แบบชี้แนะ	35
3.5.2.	การเรียนรู้แบบไม่มีผู้ชี้แนะ	36
3.6.	วิธีการแพร่กระจายกลับ	36
4	การเก็บรวบรวมข้อมูล	
4.1.	แหล่งที่มาของข้อมูล	39
4.1.1.	ข้อมูลจากการเตรียมตัวอย่างทดสอบ	39
4.1.1.1.	การกำหนดชนิดข้อมูล และจำนวนข้อมูล	39
4.1.1.2.	การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต	41
4.1.1.3.	วิธีการทดสอบ	42
4.1.2.	ข้อมูลจากโรงงานผสมคอนกรีต	48
4.1.2.1.	ข้อมูลจากบริษัท ผลิตภัณฑ์และวัตถุก่อสร้าง จำกัด	48
4.1.2.2.	ข้อมูลจากบริษัท ทีพีไอ คอนกรีต จำกัด	49

4.1.2.3.	ข้อมูลจากบริษัท นำเฮง คอนกรีต จำกัด	52
4.2.	การจัดเก็บข้อมูล	52
5	การจัดการข้อมูลและฐานข้อมูล	
5.1.	กล่าวนำ	53
5.2.	การจัดการข้อมูลและฐานข้อมูล	53
5.3.	โครงสร้างความสัมพันธ์ของข้อมูล	55
5.4.	สถาปัตยกรรมของโปรแกรม	58
5.4.1.	การวิเคราะห์หาโมเดลที่ดีที่สุดของ Artificial Neural Networks	59
5.4.1.1.	ตรวจสอบความถูกต้องเบื้องต้นของข้อมูล	59
5.4.1.2.	หาวิธีการเรียนรู้และโมเดลที่ดีที่สุด	59
6	ผลการทำงานของโปรแกรม	
6.1.	โปรแกรม	74
6.2.	ผลการทำงานของโปรแกรม	76
6.2.1.	การทดลองการทำงานของโปรแกรม	76
6.2.2.	การหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการทำนาย	77
6.2.3.	สรุปผลการทำงานของโปรแกรม	84
7	สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	
7.1.	สรุปผลการศึกษา	85
7.2.	ข้อเสนอแนะ	85
	รายการอ้างอิง	86
	บรรณานุกรม	87
	ภาคผนวก ก. ตารางมาตรฐานการทดสอบ	ผก1
	ภาคผนวก ข. ผลการทดสอบวัสดุผสมคอนกรีต	ผข1
	ภาคผนวก ค. การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตตามมาตรฐานอเมริกา	ผค1
	ภาคผนวก ง. ข้อมูลที่ได้จากการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต	ผง1
	ภาคผนวก จ. การติดตั้งและการใช้งานของโปรแกรม	ผจ1

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1.	แสดงความหมายของพารามิเตอร์ที่ใช้	28
2.2.	แสดงขนาดหินตามมาตรฐาน ASTM C33 Size Number 67	29
4.1.	แสดงรายละเอียดการหล่อตัวอย่างทดสอบที่มีค่ากำลังรับแรงอัดอยู่ระหว่าง 180-320 ksc.	40
4.2.	แสดงรายละเอียดการหล่อตัวอย่างทดสอบที่ทดลองสุ่มค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต	40
4.3.	แสดงการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตตามมาตรฐานอเมริกา	43
4.4.	แสดงร้อยละของจำนวนข้อมูลกำลังอัดที่อายุ 3 วัน	44
4.5.	แสดงร้อยละของจำนวนข้อมูลกำลังอัดที่อายุ 7 วัน	45
4.6.	แสดงร้อยละของจำนวนข้อมูลกำลังอัดที่อายุ 14 วัน	46
4.7.	แสดงร้อยละของจำนวนข้อมูลกำลังอัดที่อายุ 28 วัน	47
4.8.	แสดงร้อยละของจำนวนข้อมูลกำลังอัดทั้งหมดที่อายุ 7 วัน	50
4.9.	แสดงร้อยละของจำนวนข้อมูลกำลังอัดทั้งหมดที่อายุ 28 วัน	51
5.1.	แสดงข้อมูลที่จัดเรียงในตารางฐานข้อมูล Microsoft Access	56
6.1.	แสดงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการทำนายที่คอนกรีตอายุ 7 วัน	78
6.2.	แสดงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการทำนายที่คอนกรีตอายุ 28 วัน	81
6.3.	แสดงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนในช่วงกำลังอัดต่างๆ ณ อายุคอนกรีตที่ 7 วัน และ 28 วัน	84
ผ.ก.1.	แสดงมาตรฐานการทดสอบ	ผก2
ผ.ค.1.	แสดงการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 180 ksc. Slump 7-10 Coarse 1"	ผค2
ผ.ค.2.	แสดงการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 200 ksc. Slump 7-10 Coarse 1"	ผค3
ผ.ค.3.	แสดงการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 220 ksc. Slump 7-10 Coarse 1"	ผค4
ผ.ค.4.	แสดงการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 240 ksc. Slump 7-10 Coarse 1"	ผค5
ผ.ค.5.	แสดงการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 260 ksc. Slump 7-10 Coarse 1"	ผค6
ผ.ค.6.	แสดงการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 280 ksc. Slump 7-10 Coarse 1"	ผค7
ผ.ค.7.	แสดงการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 300 ksc. Slump 7-10 Coarse 1"	ผค8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
ผ.ค.8.	แสดงการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 320 ksc. Slump 7-10 Coarse 1”	ผค9
ผ.ค.9.	แสดงการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 180 ksc. Slump 10-13 Coarse 1”	ผค10
ผ.ค.10.	แสดงการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 200 ksc. Slump 10-13 Coarse 1”	ผค11
ผ.ค.11.	แสดงการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 220 ksc. Slump 10-13 Coarse 1”	ผค12
ผ.ค.12.	แสดงการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 240 ksc. Slump 10-13 Coarse 1”	ผค13
ผ.ค.13.	แสดงการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 260 ksc. Slump 10-13 Coarse 1”	ผค14
ผ.ค.14.	แสดงการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 280 ksc. Slump 10-13 Coarse 1”	ผค15
ผ.ค.15.	แสดงการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 300 ksc. Slump 10-13 Coarse 1”	ผค16
ผ.ค.16.	แสดงการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 320 ksc. Slump 10-13 Coarse 1”	ผค17



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
1.1.	แสดงขั้นตอนวิธีการศึกษา	4
2.1.	แสดงปัจจัยที่มีผลต่อกำลังคอนกรีต	6
2.2.	กราฟแสดงความสัมพันธ์การทำปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างน้ำกับ สารประกอบในปูนซีเมนต์	8
2.3.	กราฟแสดงความสัมพันธ์ปริมาณมวลละเอียดกับหน่วยน้ำหนัก	10
2.4.	แสดงคุณสมบัติของมวลรวมที่ส่งผลกระทบต่อคอนกรีต	11
2.5.	แสดงการเกิด Bleeding ในคอนกรีต	12
2.6.	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง w/c กับกำลังอัดที่อายุต่างๆ	12
2.7.	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Fly ash กับปริมาณน้ำที่สูญเสีย	15
2.8.	กราฟแสดงผลของอุณหภูมิของการบ่มด้วยไอน้ำที่ความกดดันต่ำต่อ กำลังของคอนกรีตในระยะแรก	16
2.9.	กราฟแสดงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มกับกำลังของคอนกรีต	16
2.10.	กราฟแสดงผลของการบ่มที่มีต่อกำลังอัดของคอนกรีต	17
2.11.	แสดงอิทธิพลจากภายนอกที่ส่งผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีต	17
2.12.	แสดงการแจกแจงข้อมูลเชิงปริมาณ โดยใช้สถิติทดสอบเบื้องต้น	23
2.13.	แสดงการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Bivariate Correlation	25
2.14.	แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Bivariate Correlation	26
3.1.	แสดงโครงข่ายประสาทเทียมแบบ ไปข้างหน้า	31
3.2.	แสดงสถาปัตยกรรมของ โครงข่ายแบบชั้นเดียวไปข้างหน้า	33
3.3.	แสดงสถาปัตยกรรมของ โครงข่ายแบบหลายชั้นไปข้างหน้า	34
3.4.	แสดงสถาปัตยกรรมของ โครงข่ายแบบรีเคอร์เรนท์	35
3.5.	แสดงสัญญาณในกระบวนการปรับค่าน้ำหนักและค่าเบี่ยงเบน	37
3.6.	แสดงโครงสร้างการคำนวณของโครงข่ายประสาทเทียม	38
4.1.	แสดงการกระจายของข้อมูลกำลังอัดที่อายุ 3 วัน	44
4.2.	แสดงการกระจายของข้อมูลกำลังอัดที่อายุ 7 วัน	45
4.3.	แสดงการกระจายของข้อมูลกำลังอัดที่อายุ 14 วัน	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.4.	แสดงการกระจายของข้อมูลกำลังอัดที่อายุ 28 วัน	47
4.5.	แสดงการกระจายของข้อมูลกำลังอัดทั้งหมดที่อายุ 7 วัน	50
4.6.	แสดงการกระจายของข้อมูลกำลังอัดทั้งหมดที่อายุ 28 วัน	51
5.1.	แสดงการเชื่อมโยงข้อมูลตารางฐานข้อมูล	57



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1. กล่าวนำ

การก่อสร้างในยุคปัจจุบันได้มีการเจริญเติบโตขึ้นอย่างมาก มีการพัฒนานำเทคโนโลยีใหม่ๆเข้ามาใช้เสมอ แต่ถึงอย่างไรก็ตามสิ่งที่เป็นปัจจัยสำคัญอย่างยิ่งสำหรับงานก่อสร้างโดยทั่วไปคืองานคอนกรีต โดยงานคอนกรีตนั้นจะเป็นตัวแปรสำคัญตัวหนึ่งที่มีผลต่อต้นทุนในการก่อสร้าง งานคอนกรีตสามารถแบ่งลักษณะย่อยออกไปได้อีก เพื่อให้ได้ลักษณะที่เหมาะสมกับงาน ลักษณะเหมาะสมที่ว่ามันคือ เป็นการแบ่งประเภทของงานที่ต้องการกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่แตกต่างกัน ดังนั้นคอนกรีตที่นำมาใช้งานจึงจำเป็นต้องมีการออกแบบค่ากำลังรับแรงอัด และทดสอบว่าเป็นไปตามที่กำหนดหรือไม่ การออกแบบคอนกรีตให้ได้ค่ากำลังรับแรงอัดใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการถือว่าเป็นสิ่งสำคัญอย่างมาก เพราะถ้าหากได้ค่าต่ำกว่าค่าที่ต้องการ จะทำให้เกิดผลเสียหายต่องานก่อสร้าง เช่น ต้องมีการทุบรื้อและหล่อขึ้นใหม่ หรือต้องออกแบบเสริมความมั่นคงของโครงสร้าง ซึ่งมีผลกระทบต่อต้นทุนการก่อสร้างระยะเวลาการก่อสร้าง คุณภาพของงาน ความน่าเชื่อถือของผู้รับเหมา และหากออกแบบให้มีค่ากำลังรับแรงอัดเกินกว่าค่าที่ต้องการมาก ก็จะทำให้ต้นทุนของงานคอนกรีตมีราคาสูง ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการออกแบบค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่แม่นยำ จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่องานก่อสร้าง

1.2. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าคอนกรีตเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อโดยตรงในด้านงบประมาณการก่อสร้าง เนื่องจากการก่อสร้างโดยทั่วไปต้องมีการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตด้วยทุกครั้ง ซึ่งการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตนั้นต้องใช้เวลาในการรอการทดสอบนาน 28 วัน เนื่องจากต้องรอระยะเวลาการบ่มตามกำหนด อีกทั้งในการทดสอบแต่ละครั้งต้องมีค่าใช้จ่ายในการทดสอบด้วย ดังนั้นการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตให้ได้ค่ากำลังรับแรงอัดที่ต้องการจึงเป็นสิ่งจำเป็นโดยปกติในการออกแบบส่วนผสมจะมีการเพื่อความคลาดเคลื่อน โดยประมาณจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(SD)จากข้อมูลที่มีอยู่ แต่ถ้าหากคอนกรีตที่ต้องการออกแบบมีปัจจัยแตกต่างจากค่าของข้อมูลที่มีอยู่ก็จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าอย่างมาก และเนื่องจากมีปัจจัยในการออกแบบหลายปัจจัยที่มีผลต่อค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต การออกแบบโดยทั่วไปก็ต้องพิจารณาถึงปัจจัยหลายๆ อย่างที่เกี่ยวข้อง ซึ่งเป็นการยากต่อการประมวลผลในเวลาอันสั้นโดยใช้สมองของมนุษย์ และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บางครั้งอาจได้ผลที่ไม่แม่นยำ ดังนั้น โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks, ANN) จึงมีความเหมาะสมในการนำมาใช้ประมวลผลเพื่อทำนายค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต เนื่องจากระบบเองสามารถนำไปใช้ในส่วนแก้ปัญหามีข้อมูลจำนวนมากและไม่สามารถหาความสัมพันธ์จากข้อมูลได้โดยง่าย จึงเป็นผลดีที่จะนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้เรียนรู้ตัวอย่างระบบฐานข้อมูล และนำมาใช้ในการพยากรณ์ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต จากงานวิจัยเดิมที่ศึกษาโดยนายชูเกียรติ คุประทุมศิริ และ นายรัชฎะ สุยะวา (2546) นั้น ได้มีการพัฒนาจัดทำระบบฐานข้อมูลเพื่อให้การพยากรณ์ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมีความแม่นยำ โดยศึกษาจากหลายๆปัจจัยที่เกี่ยวข้อง แต่ตัวระบบโครงข่ายประสาทเทียมที่พัฒนาขึ้นมานั้น มีการเรียนรู้จากฐานข้อมูลตัวอย่างที่ค่อนข้างแคบ ไม่มีความหลากหลายของฐานข้อมูล ตลอดจนค่าบางค่าที่ต้องป้อนลงในตัวโปรแกรมต้องรอผลจากห้องปฏิบัติการ จึงทำให้การทำนายค่ากำลังรับแรงอัดที่ได้มีความคลาดเคลื่อนมาก ในงานศึกษาจึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาปรับปรุงระบบฐานข้อมูลและตัวโปรแกรมให้ดีขึ้น เพื่อที่จะให้ระบบโครงข่ายประสาทเทียมสามารถพยากรณ์ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตได้อย่างแม่นยำและเหมาะสมกับการใช้งานมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้สามารถประหยัดราคาค่าก่อสร้างในส่วนของงานคอนกรีตลงได้

1.3. วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

1. ปรับปรุงระบบฐานข้อมูลสำหรับการพยากรณ์ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต เพื่อให้มีค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตในช่วง 180-480 ksc.
2. พัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมให้มีประสิทธิภาพและสามารถใช้งานได้ดียิ่งขึ้น โดยปรับปรุงการป้อนข้อมูลให้มีความกระชับ ซึ่งจะใช้เป็นค่าเฉลี่ยมาตรฐานแทนผลจากการทดสอบ

1.4. ขอบเขตของการศึกษา

1. ข้อมูลที่ใช้ได้จากการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตให้มีค่ากำลังรับแรงอัด ณ 28 วัน อยู่ระหว่าง 180-320 ksc.
2. ข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลงานออกแบบส่วนผสมคอนกรีตและทดสอบคอนกรีตจากโรงงานคอนกรีตผสมเสร็จ
3. ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในงานวิจัยเป็นปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภท 1 เท่านั้น
4. หินที่ใช้ในงานวิจัยต้องใช้ตามมาตรฐาน ASTM C33 Number 67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5. วิธีการศึกษา

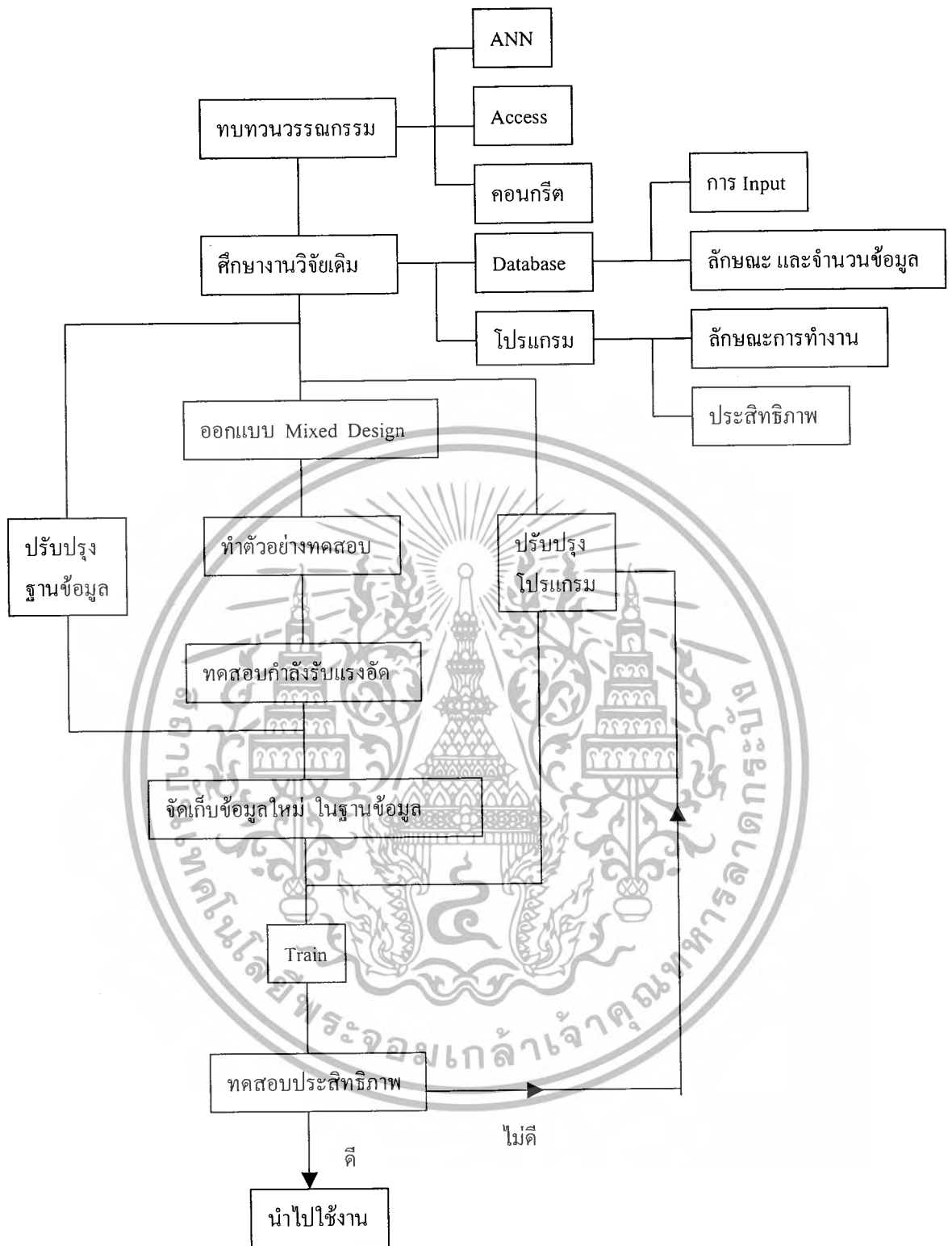
ขั้นตอนการดำเนินงานแบ่งออกเป็นขั้นตอนต่างๆดังนี้

1. ขั้นตอนการทบทวนวรรณกรรม
 - ศึกษาทฤษฎีโครงข่ายประสาทเทียม (ANN)
 - ศึกษาการจัดระบบฐานข้อมูล (Access)
 - ศึกษาทฤษฎีของคอนกรีต
2. ขั้นตอนการศึกษางานวิจัยเดิม
 - ศึกษาฐานข้อมูลที่มีอยู่
 - ศึกษาการทำงานของโปรแกรม
3. ขั้นตอนการปรับปรุงฐานข้อมูล
 - ออกแบบส่วนผสมคอนกรีต
 - ทำตัวอย่างการทดสอบ
 - ทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีต
4. ขั้นตอนการปรับปรุงโปรแกรม
 - การจัดเก็บข้อมูลใหม่ ลงในฐานข้อมูลเดิม
5. ขั้นตอนการฝึกให้โปรแกรมเรียนรู้ฐานข้อมูลใหม่
6. ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของโปรแกรม

1.6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ระบบฐานข้อมูลที่สร้างขึ้นใหม่ จะสามารถทำให้โครงข่ายประสาทเทียมมีการเรียนรู้ที่ดีขึ้น ส่งผลให้มีการพยากรณ์กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่แม่นยำมากขึ้น
2. สามารถพยากรณ์กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตขณะทำการก่อสร้าง และนำไปสู่การหล่อคอนกรีตให้ได้กำลังตามที่กำหนดไว้
3. นำไปสู่การพัฒนาระบบฐานข้อมูลต้นแบบ เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาของงานคอนกรีตที่ใช้ในประเทศไทยทั้งหมด
4. เผยแพร่องค์ความรู้ด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์ที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหาด้านวิศวกรรมโยธา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1. แสดงขั้นตอนวิธีการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1. กล่าวนำ

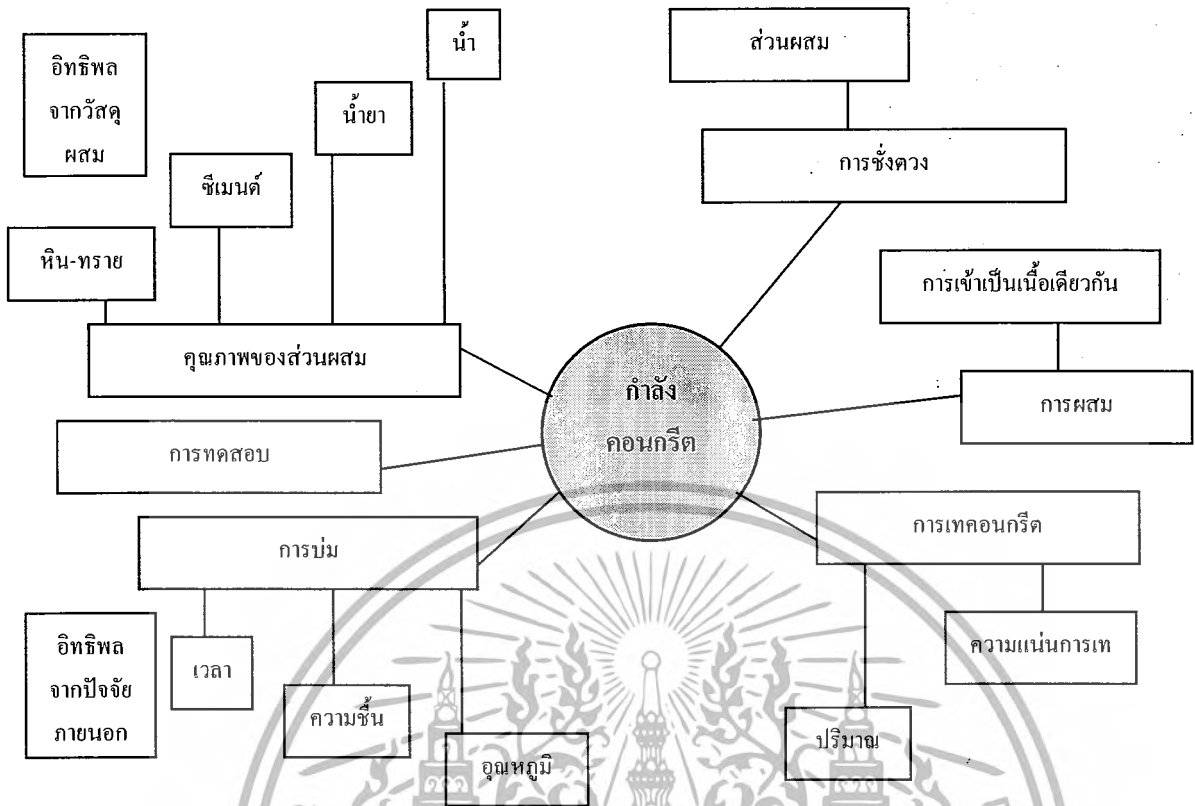
คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เพราะเป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมทั้งด้านราคาและคุณสมบัติต่างๆ ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อกำลังของคอนกรีตนั้นมีอยู่หลายประการด้วยกัน ทั้งปัจจัยจากส่วนผสมและคุณสมบัติของวัสดุเอง ปัจจัยจากภายนอก เช่น การบ่ม การทดสอบการผสม ฯลฯ ถ้าสามารถรวบรวมปัจจัยต่างๆ ได้มาก และถูกต้องก็ย่อมทำให้ความสามารถในการทำนาคำลังอัดของคอนกรีตได้ถูกต้อง จึงก่อให้เกิดทฤษฎีและงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ได้มาซึ่งกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

2.2. ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีต

ปัจจัยที่ส่งผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตมีหลายประการด้วยกัน ทั้งขึ้นอยู่กับทั้งคุณสมบัติของคอนกรีตในขณะที่ยังอยู่ในสภาพไม่คงรูปซึ่งมีความสำคัญขณะก่อสร้างเท่านั้น ในขณะที่คุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว จะมีความสำคัญไปตลอดอายุการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีตนั้น อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติ คุณสมบัติของคอนกรีตทั้ง 2 ลักษณะ จะมีผลต่อกันและกัน การที่จะให้ได้คุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วดี จะต้องมาจากการเลือกสัดส่วนผสมเพื่อให้คอนกรีตที่อยู่ในสภาพเหลวมีความเหมาะสมอย่างมากในการใช้งาน

คุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วได้แก่ กำลัง ความทนทาน และการเปลี่ยนแปลงปริมาตร ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเฉพาะ ปัจจัยที่มีผลต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีต โดยอาจจะแบ่งได้เป็น 2 ปัจจัยใหญ่ๆ คือ ส่วนผสมและคุณสมบัติของวัสดุผสมเอง และปัจจัยจากภายนอก ถ้าสามารถรวบรวมปัจจัยต่าง ๆ ได้มากและถูกต้องก็ย่อมทำให้ความสามารถในการทำนาคำลังของคอนกรีตได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้นแต่ในทางปฏิบัติย่อมไม่อาจทำได้โดยสมบูรณ์โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัจจัยภายนอก เช่น อุณหภูมิในการบ่ม เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1. แสดงปัจจัยที่มีผลต่อกำลังคอนกรีต

ในโครงการวิจัยชิ้นนี้จะคำนึงเฉพาะอิทธิพลของส่วนผสมและคุณสมบัติของวัสดุผสม ส่วนอิทธิพลจากปัจจัยภายนอกจะใช้เพียงบางตัวเท่านั้นเนื่องจากเป็นปัจจัยที่ควบคุมยากและข้อมูลส่วนใหญ่ได้มาจากผู้ผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ ไม่มีการเก็บค่า หรือค่าบางค่าไม่สามารถจัดเก็บได้ เช่น ค่าการผสมที่ดี การเท การลำเลียง เป็นต้น

อิทธิพลของส่วนผสมและคุณสมบัติของวัสดุผสม ที่ส่งผลต่อกำลังอัดของคอนกรีต

1. ปูนซีเมนต์
2. มวลรวม และคุณสมบัติของมวลรวม
3. น้ำ
4. สารผสมเพิ่ม

1. ปูนซีเมนต์ (cement)

ปูนซีเมนต์ เป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญตัวหนึ่งในคอนกรีต เมื่อปูนซีเมนต์รวมตัวกับน้ำ ก็จะทำหน้าที่เสมือนกาวประสานมวลรวมเข้าด้วยกัน เมื่ออายุมากขึ้นก็จะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวมาเป็นกึ่งเหลวกึ่งแข็ง และในเวลาต่อมาก็จะกลายเป็นของแข็งในที่สุด ซึ่งจะสามารถรับกำลังอัดมากขึ้นเรื่อย ๆ ตามอายุที่มากขึ้น จนถึงช่วงเวลาหนึ่ง ความสามารถรับกำลังอัดก็จะเริ่มคงที่

การที่ปูนซีเมนต์รวมตัวกับน้ำแล้ว เกิดการก่อตัวและแข็งตัวของปูนซีเมนต์ขึ้น เราเรียกลักษณะเช่นนี้ว่า “การเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน” ซึ่งเกิดจากสารประกอบในซีเมนต์ ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับน้ำ เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ดังนั้นเราจึงรู้สึกว่าร้อนขึ้นเมื่อสัมผัสกับปูนซีเมนต์ที่ทำปฏิกิริยากับน้ำ

เราสามารถเขียนเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ง่าย ๆ ดังนี้



คำอธิบาย

Cement	หมายถึง	สารประกอบต่าง ๆ ในปูนซีเมนต์
Water	หมายถึง	น้ำที่ทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์
C-S-H gel	หมายถึง	แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate) เป็นองค์ประกอบที่ให้กำลังกับคอนกรีต
Ca(OH) ₂	หมายถึง	ผลที่ได้จากปฏิกิริยา ไฮเดรชัน ทำให้ซีเมนต์เพสต์มีคุณสมบัติเป็นด่างอย่างมาก pH ประมาณ 12.5 ช่วยป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กเสริมได้อย่างดีมาก
Heat	หมายถึง	ความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน

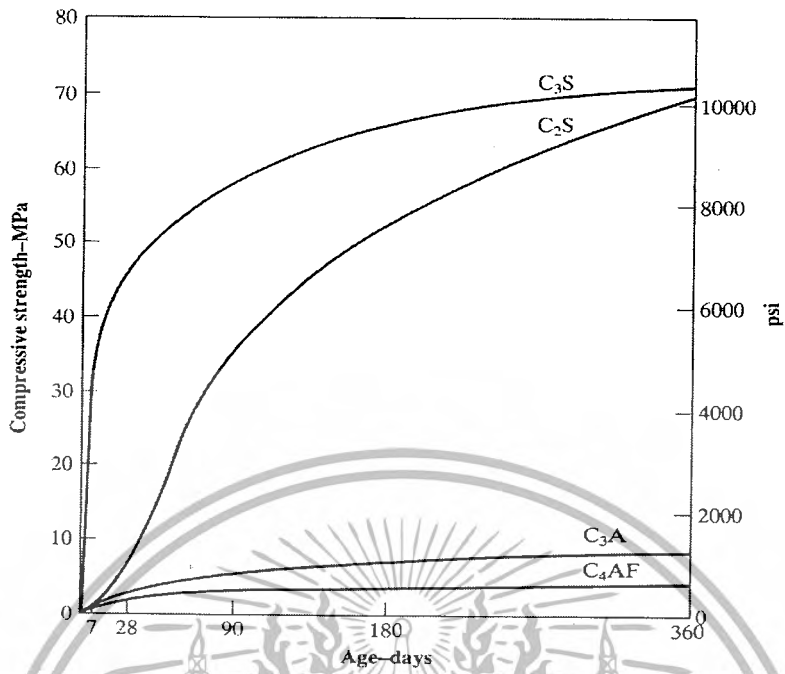
ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ในปูนซีเมนต์

1. องค์ประกอบของปูนซีเมนต์ พบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของสารประกอบหลักแต่ละตัวในซีเมนต์จะแตกต่างกัน
2. ความละเอียดของซีเมนต์ ซีเมนต์ที่มีความละเอียดสูง จะมีพื้นที่ผิวที่จะสัมผัสกับน้ำได้มาก ผลก็คือ

ปฏิกิริยาไฮเดรชันจะเกิดในอัตราที่เร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในช่วงแรกของปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ฟรีสำหรับการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2. กราฟแสดงความสัมพันธ์การทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างน้ำกับสารประกอบในปูนซีเมนต์

2. มวลรวม และคุณสมบัติของมวลรวม

มวลรวม หรือวัสดุผสม คือ วัสดุเหนียว ได้แก่ หิน ทราย กรวด เป็นต้น มวลรวมมี ปริมาตร 70-80 % ของปริมาณของส่วนผสมทั้งหมด จึงมีความสำคัญต่อคุณสมบัติของคอนกรีตมาก อีกทั้งยังช่วยให้คอนกรีตมีความคงทน (Durability) และปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลงมาก (Volume Stability) รวมทั้งมวลรวมยังทำหน้าที่ต้านทานน้ำหนักที่ตกลงบนคอนกรีตด้วย กำลังและคุณสมบัติทางกายภาพอีกหลายของมวลรวม จึงมีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต ทั้งในสภาพที่เป็นคอนกรีตเหลว และคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว (มวลรวม ถ้าแบ่งตามขนาดจะสามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ 1. มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) 2. มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate))

คุณสมบัติของมวลรวมที่ส่งผลกระทบต่อกำลังอัดคอนกรีต

1. ความแข็งแรง (Strength)

มวลรวมจะต้องมีความสามารถรับแรงกดได้ไม่น้อยกว่ากำลังของคอนกรีตที่ต้องการ ซึ่งปกติ มวลรวมทั่วไปจะมีความสามารถรับแรงกดสูงกว่าคอนกรีต คือ ประมาณ 700-3,500 kg/cm²

2. รูปร่างและลักษณะผิว (Partical Shape and Surface Texture)

มวลรวมที่มีผิวหยาบมีรูปร่างแบนยาวจะต้องการปริมาณซีเมนต์เฟสท์ มากกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมรูปร่างกลมหรือเหลี่ยม ที่สามารถเทได้ (Workability) เดียวกัน มวลรวมที่มีรูปร่างแบนและยาวมีโอกาที่จะแตกหัก เนื่องจากแรงคัดได้ง่ายกว่ามวลรวมที่มีรูปร่างกลมหรือเหลี่ยม ส่งผลให้กำลังของคอนกรีตต่ำลง

3. ความคงทนต่อปฏิกิริยาเคมี (Chemical Stability)

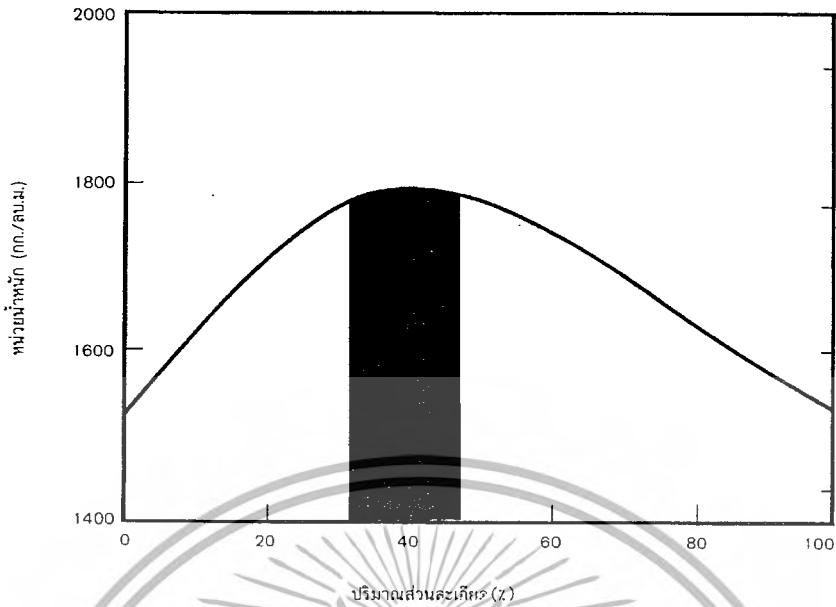
มวลรวมต้องไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมี กับปูนซีเมนต์ หรือสิ่งแวดล้อมภายนอก เพราะอาจทำให้ค่ากำลังอัดคอนกรีตเปลี่ยนแปลงไป

4. ขนาดใหญ่สุด (Maximum Size)

มวลรวมขนาดใหญ่ต้องการปริมาณน้ำน้อยกว่ามวลรวมที่มีขนาดเล็กเพื่อให้การเทได้เท่ากัน เนื่องจาก มีพื้นที่ผิวโดยรวมน้อยกว่าเมื่อน้ำหนักของมวลรวมเท่ากัน ดังนั้น ถ้าให้ปริมาณซีเมนต์และค่ายุบตัวเท่ากัน มวลรวมขนาดใหญ่ก็จะให้กำลังคอนกรีตที่สูงขึ้น (ทั้งนี้ หินที่นำไปใช้ในงานก่อสร้างทั่วไปต้องเป็นไปตามข้อกำหนดคือ มีขนาดไม่เกิน 40 มิลลิเมตร)

5. ขนาดคละ (Gradation)

คอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีขนาดคละดี จะมีส่วนผสมที่เข้ากันเสมอคือ มวลรวมที่มีขนาดเล็กกว่าจะต้องบรรจุอยู่ในช่องว่างระหว่างก้อนของมวลรวมที่มีขนาดใหญ่จะทำให้ช่องว่างเหลือน้อย ส่งผลให้เป็นตัวกำหนดปริมาณของเนื้อซีเมนต์เฟสท์ ที่ต้องการสำหรับคอนกรีตสด ถ้ามวลรวมมีมวลละเอียดมากเกินไป จะทำให้ความสามารถในการเทได้น้อยลง จึงต้องเพิ่มน้ำและเฟสท์ให้มากขึ้น ทำให้ส่งผลต่อกำลังคอนกรีต (มวลรวมคละที่ดี จะมีอัตราส่วนของทรายต่อมวลรวมอยู่ในช่วงระหว่าง 0.40 – 0.50)



รูปที่ 2.3. กราฟแสดงความสัมพันธ์ปริมาณมวลละเอียดกับหน่วยน้ำหนัก

6. ค่าความละเอียด (Fineness Modulus, F.M.)

โมดูลัสความละเอียด เป็นค่าที่บอกความละเอียดของก้อนวัสดุในมวลรวม มวลรวมที่มีความละเอียดจะต้องใช้น้ำมาก เพื่อให้ความสามารถเท่าเทียมกัน เนื่องจากพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่าเมื่อน้ำหนักเท่ากัน ถ้ามวลรวมมีความหยาบเกินไป ก็จะทำให้ความสามารถในการแทรกผสานเข้าไปในช่องระหว่างมวลรวมหยาบไม่ดีพอ ต้องใช้พลสต์เข้าไปแทนที่ทำให้มีราคาคอนกรีตสูงขึ้น

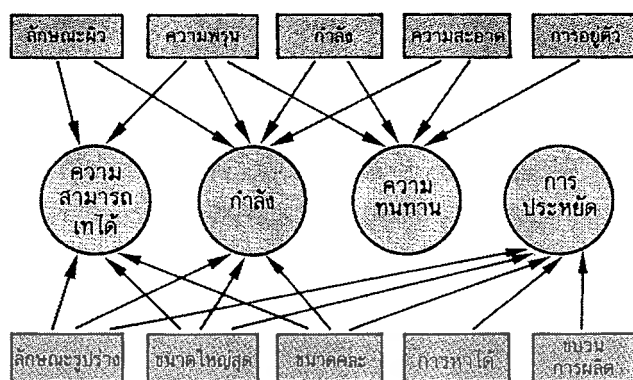
7. ความชื้นและการดูดซึม (Moisture and Absorption)

มวลรวมที่มีรูพรุนภายในบางส่วนติดต่อกับผิวนอก จึงสามารถดูดความชื้นและน้ำได้ คือ ถ้ามวลรวมอยู่ในสภาพแห้งก็จะดูดน้ำที่ผสมเข้าไป ทำให้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์จริงลดลง หากเปียกขึ้นก็จะทำให้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงกว่าที่ควรจะเป็น

8. หน่วยน้ำหนักและช่องว่าง (Unit Weight and Void)

หน่วยน้ำหนัก คือ น้ำหนักของมวลรวมในขนาดกะที่ต่อการต่อหน่วยปริมาตรซึ่งสามารถบอกถึงปริมาตรและช่องว่างระหว่างมวลรวม หน่วยน้ำหนักของมวลรวมที่ใช้อยู่ทั่วไปในประเทศไทยมีค่าประมาณ 1,400-1,600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การนำเอามวลหยาบและมวลละเอียดผสมกันด้วยอัตราส่วนต่างๆจะมีผลกระทบต่อหน่วยน้ำหนัก (หน่วยน้ำหนักสูงสุดเกิดขึ้นเมื่อใช้มวลละเอียดประมาณ 34-40 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4. แสดงคุณสมบัติของมวลรวมที่ส่งผลกระทบต่อคอนกรีต

3. น้ำ (Water)

ปริมาณน้ำและคุณภาพน้ำ เป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อกำลังอัดของคอนกรีต เพราะสิ่งเจือปนต่างๆ ในน้ำ อาจมีผลกระทบต่อคุณสมบัติของคอนกรีต

น้ำที่ใช้ผสมในคอนกรีตทำหน้าที่ 3 ประการคือ

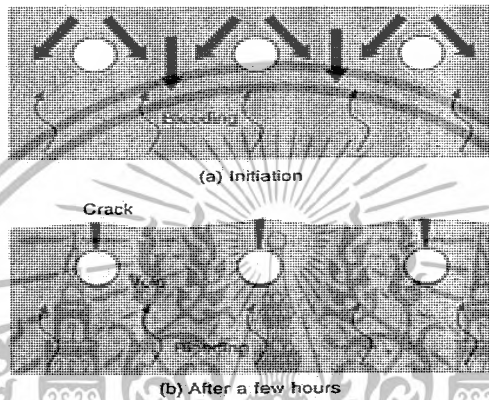
1. ใช้ผสมกับปูนซีเมนต์ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน รวมทั้งทำให้คอนกรีตมีความสามารถในการเทได้
2. ใช้บ่มคอนกรีตให้มีกำลังเพิ่มขึ้น
3. ใช้ล้างมวลรวมที่สกปรก

ดังนั้น ถ้าใช้น้ำ มากหรือน้อยเกินไป จะส่งผลกระทบต่อกำลังอัดของคอนกรีต คือ ยิ่งใช้น้ำน้อยคอนกรีตก็จะมีกำลังอัดที่ดี ถ้าใช้น้ำมากกำลังก็จะตก ความแข็งแรงจะลดลง แต่ต้องคำนึงถึงปริมาณน้ำที่ใช้น้อยสุดในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันด้วย ซึ่งจะใช้น้ำประมาณ 30 ลิตร ต่อปูนซีเมนต์ 100 กิโลกรัม หรือ อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.30 และการเทได้ของคอนกรีตให้เหมาะสมกับงาน

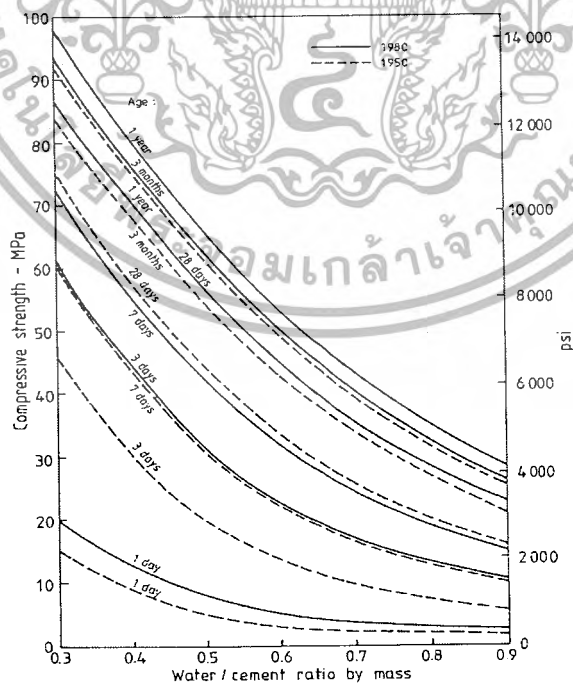
น้ำที่เกินจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน จะถูกเรียกว่า น้ำส่วนเกิน (Excess Water) ซึ่งถ้ามีมากเกินไปจะมีผลเสียต่อคอนกรีตคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เกิดการเยิ้มของน้ำขึ้นมาที่ผิวหน้ามาก (Bleeding)
2. เกิดการแยกตัว
3. กำลังอัดต่ำลง
4. เกิดการหดตัว
5. ทำให้เกิดรูพรุน เนื่องจากการระเหยของน้ำที่ค้างอยู่ใต้ผิวและแองไคทิน มีผลทำให้คอนกรีตขาดความทนทาน และกำลังอัดคอนกรีตต่ำลง



รูปที่ 2.5. แสดงการเกิด Bleeding ในคอนกรีต



รูปที่ 2.6. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง w/c กับกำลังอัดที่อายุต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สารผสมเพิ่ม

สารผสมเพิ่มหรือน้ำยาผสมคอนกรีตหมายถึงสารใด ๆ นอกเหนือไปจากน้ำ ซีเมนต์ หิน ทราย อันใช้เติมลงไปในส่วนผสมของคอนกรีต เพื่อปรับปรุงหรือเพิ่มประสิทธิภาพของคอนกรีตที่ยังเหลวอยู่ หรือแข็งตัวแล้วให้ได้คุณสมบัติตามต้องการ

สารผสมเพิ่มแบ่งได้เป็นกลุ่มใหญ่ ๆ สี่กลุ่มคือ

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

4.1 สารกักกระจายฟองอากาศ

เป็นสารอินทรีย์ที่ทำปฏิกิริยาบนผิว (Organic Surfactants) โดยก่อให้เกิดฟองอากาศในปริมาณที่สามารถควบคุมได้ในเนื้อคอนกรีต ฟองอากาศขนาดเล็กกระจายตัวอยู่สม่ำเสมอและจะคงตัว โดยทั่วไปจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25-1 มิลลิเมตร

ฟองอากาศที่เกิดขึ้นนี้ (Entrain Air) แตกต่างจาก โพรงอากาศ (Entrapped Air) ซึ่งมีขนาดใหญ่ และจะเกิดในบางบริเวณอันเนื่องมาจากการจี้เขย่าคอนกรีตไม่ดีพอ สารกักกระจายฟองอากาศนี้ช่วยทำให้คอนกรีตมีความคงทนต่อการแข็งตัวของน้ำ (Frost) หรือเกลือที่ทำให้น้ำแข็งละลาย (De-Icing Salts) นอกจากนี้ยังช่วยเสริมความสามารถเทได้ของคอนกรีตสดด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 สารเคมีผสมคอนกรีต

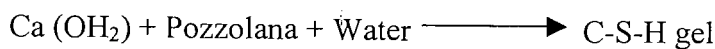
สารเคมีผสมคอนกรีต คือ สารละลายเคมีชนิดต่างๆ ที่ผสมลงในคอนกรีตเพื่อเปลี่ยนเวลาการก่อตัวและลดปริมาณน้ำในส่วนผสมคอนกรีต ตามมาตรฐาน ASTM C494 แบ่งสารเคมีผสมเพิ่มเหล่านี้ออกเป็น 7 ประเภท คือ

1. ประเภท A สารลดปริมาณน้ำ (Water Reducing)
2. ประเภท B สารยัดเวลาการก่อตัว (Retarding)
3. ประเภท C สารเร่งเวลาการก่อตัว และแข็งตัว (Accelerating)
4. ประเภท D สารลดปริมาณน้ำและยัดเวลาการก่อตัว (Water Reducing and Retarding)
5. ประเภท E สารลดปริมาณน้ำและเร่งเวลาการก่อตัว (Water Reducing and Accelerating)
6. ประเภท F สารลดปริมาณน้ำจำนวนมาก (Water Reducing-High Range)
7. ประเภท G สารลดปริมาณน้ำจำนวนมาก และยัดเวลาการก่อตัว (Water Reducing-High Range and Retarding)

4.3 สารประกอบแร่ธาตุผสมเพิ่ม

สารประกอบแร่ธาตุผสมเพิ่ม คือ สารผสมเพิ่มผงละเอียด ซึ่งใส่รวมลงในคอนกรีตเพื่อปรับปรุงความสามารถในการใช้งานคอนกรีตเหลว และเพิ่มความทนทานของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

1. วัสดุที่มีความไวต่อปฏิกิริยาค้ำ หรือวัสดุเฉื่อย (Inert) สารผสมเพิ่มชนิดนี้ใช้เพื่อช่วยเพิ่มความสามารถในการเทได้ของคอนกรีตเหลว โดยเฉพาะในคอนกรีตที่ขาดอนุภาคขนาดเล็กหรือที่มีปริมาณซีเมนต์น้อย คอนกรีตแบบนี้อาจแยกตัวได้ง่าย แต่วิธีการที่ใส่แร่ธาตุชนิดนี้เหมาะสำหรับการปรับปรุงความสามารถในการใช้งานของคอนกรีตที่ไม่ต้องการกำลังอัดสูงเท่านั้น
2. วัสดุชนิด Pozzolana คือวัสดุประเภทซิลิกาซึ่งทำปฏิกิริยาเคมีกับปูนขาวหรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) และเมื่อแข็งตัวก็สามารถรับแรงอัดได้เช่นเดียวกับคอนกรีต ดังแสดงด้วยสมการต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยองค์ประกอบที่ให้กำลังคอนกรีตคือ C-S-H gel สำหรับการใส่สาร Pozzolana มักจะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตต่ำในช่วงแรก แต่กำลังจะสูงขึ้นเมื่อคอนกรีตมีอายุมากขึ้นและจะสูงกว่าคอนกรีตธรรมดาที่อายุมากกว่า 28 วัน แต่ต้องคำนึงเสมอว่าเมื่อใส่สาร Pozzolana จะต้องใช้น้ำในการทำปฏิกิริยาเพื่อให้ได้ C-S-H gel ดังนั้นจำเป็นต้องใส่น้ำเพิ่มเพื่อให้ได้กำลังอัดตามที่ต้องการ

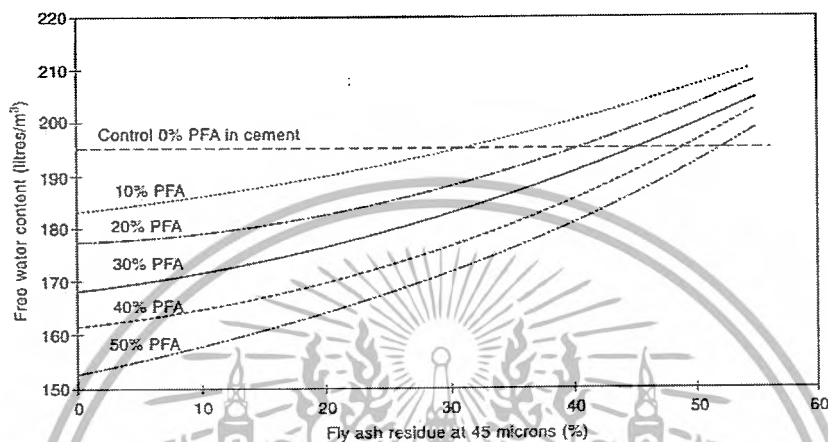


Figure 3.6 Finer fly ash and/or more fly ash reduces water content (Owens, 1979).

รูปที่ 2.7. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Fly ash กับปริมาณน้ำที่สูญเสีย

3. วัสดุที่มีความสามารถเป็นตัวเชื่อมประสาน (Cementitious)

4.4. สารผสมเพิ่มอื่นๆ

สารผสมเพิ่มประเภทนี้มักผลิตขึ้นเพื่อใช้งานจำเพาะเจาะจงบางอย่าง เช่น สารป้องกันซึม สารกันความชื้น สารช่วยให้ปัมง่าย สารอุดประสานหรือสารกรอกเม็ด สารเพิ่มการขยายตัว สารลดการกัดกร่อนเหล็กเสริม สารเชื่อมประสาน เป็นต้น

อิทธิพลจากภายนอกที่ส่งผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีต

1. อายุการบ่มและอุณหภูมิ

การบ่ม หมายถึง การควบคุมอุณหภูมิของคอนกรีต ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิที่สูงจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชันให้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้คุณภาพของคอนกรีตเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะแรก อย่างไรก็ตามการเร่งนี้อาจก่อให้เกิดผลเสียต่อคุณสมบัติของคอนกรีตในระยะยาว

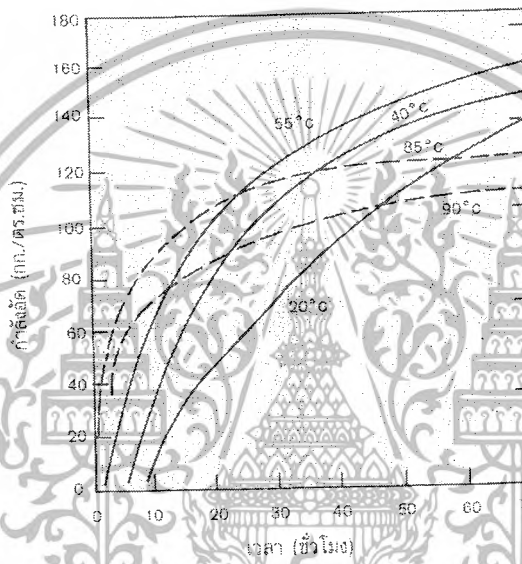
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าที่สำคัญของการบ่มคอนกรีตมีด้วยกัน 2 ประการ คือ

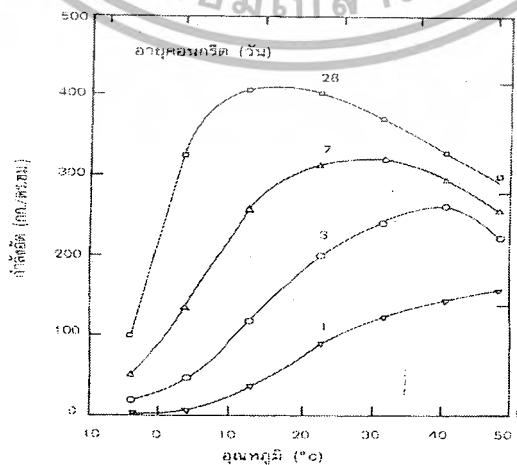
1. ป้องกันการสูญเสียความชื้นจากเนื้อคอนกรีต
2. รักษาระดับอุณหภูมิให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม

อุณหภูมิและเวลาส่งผลกระทบต่อการพัฒนากำลังและการอยู่ตัวของคอนกรีต

ที่อุณหภูมิสูงคอนกรีตจะพัฒนากำลังในช่วงแรกได้เร็วเนื่องจากที่อุณหภูมิสูงปฏิกิริยาเคมีจะเกิดได้เร็วกว่าแต่กำลังในช่วงหลังจะลดลง

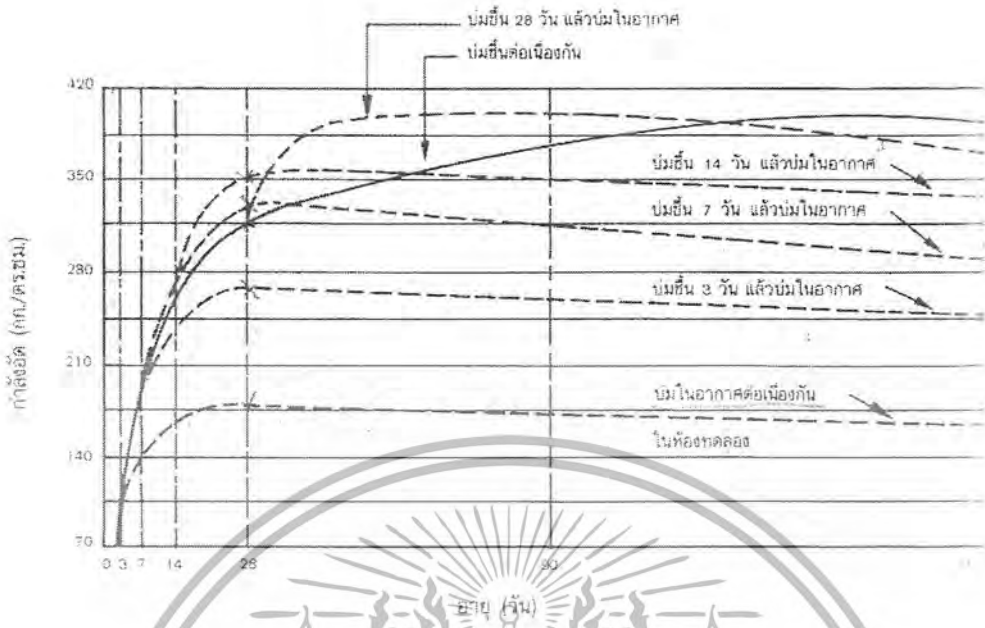


รูปที่ 2.8. กราฟแสดงผลของอุณหภูมิของการบ่มด้วยน้ำที่ความกดดันต่ำต่อกำลังของคอนกรีตในระยะแรก



รูปที่ 2.9. กราฟแสดงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มกับกำลังของคอนกรีต

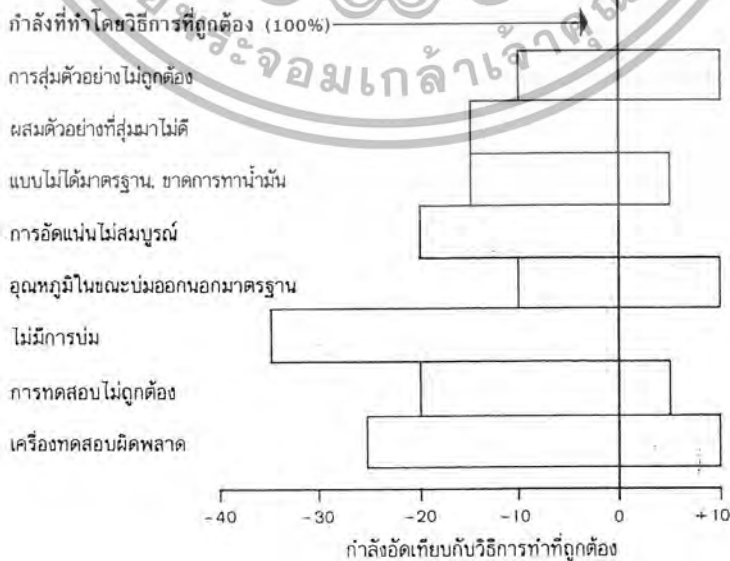
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10. กราฟแสดงผลของการบ่มที่มีต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีต

2. หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตและช่องว่าง (Unit Weight and Void)

หน่วยน้ำหนัก คือ น้ำหนักของมวลรวมต่อหน่วยปริมาตร หน่วยน้ำหนักจะบอกถึง ปริมาตรของช่องว่างในคอนกรีต หน่วยน้ำหนักจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของการบดอัดและสภาพ ความชื้น



รูปที่ 2.11. แสดงอิทธิพลจากภายนอกที่ส่งผลกระทบต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตอย่างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพยากรณ์ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

2.3.1. งานวิจัยของ Jong-In Kim ,Doo Kie Kim ,Maria Q. Feng ,Frank Yazdani

เป็นงานวิจัยที่ใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks ,ANN) ในการทำนายค่ากำลังอัดของคอนกรีต โดยเป็นการรวบรวมข้อมูลจาก 2 บริษัท แต่ได้ทำการวิจัยแยกวิเคราะห์ทีละบริษัท ดังนั้นข้อมูลที่ได้จะสามารถควบคุมปัจจัยภายนอกได้ระดับหนึ่ง เมื่อการเปรียบเทียบปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อกำลังอัดของคอนกรีตพบว่าทั้งสองบริษัทมีการใช้ปัจจัยที่ค่อนข้างเหมือนกัน จะแตกต่างกันเพียงค่า Unit fine aggregate content (crushed sand) เท่านั้นที่บริษัทที่ 1 มีแต่บริษัทที่ 2 ไม่มี

Parameter of company 1

(Application of Neural Networks for Estimation of Concrete Strength)

- Unit cement content (KN/m³)
- Unit fine aggregate content (KN/m³)
- Unit fine aggregate content (crushed sand) (KN/m³)
- Unit coarse content (KN/m³)
- Unit water content (KN/m³)
- Slump (cm)
- Admixture (%)
- Age (28 day)
- Fine aggregate percentage (%)
- Water-cement ratio (%)
- Compressive Strength (kg/cm²)

Parameter of company 2

(Application of Neural Networks for Estimation of Concrete Strength)

- Unit cement content (KN/m³)
- Unit fine aggregate content (KN/m³)
- Unit coarse content (KN/m³)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Unit water content (KN/m³)
- Slump (cm)
- Admixture (%)
- Age (28 day)
- Fine aggregate percentage (%)
- Water-cement ratio (%)
- Compressive Strength (kg/cm²)

จากผลการทดลองพบว่ามีความผิดพลาด ประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์

2.3.2. งานวิจัยของ สถาบันเทคโนโลยีมหานคร

ในงานวิจัยชื่อ โครงสร้างของระบบโครงข่ายประสาทแบบ Back-Propagation ที่ใช้ กับงานวิศวกรรมโยธา

งานวิจัยนี้ส่วนใหญ่พูดถึงการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks ,ANN) และส่วนสุดท้ายได้มีการนำตัวแปรมาใช้พยากรณ์ค่ากำลังอัดของคอนกรีต โดยมี ตัวปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อกำลังอัดของคอนกรีตดังนี้

- Unit cement content (kg/m³)
- Unit fine aggregate content (kg/m³)
- Unit coarse content (kg/m³)
- Unit water content (kg/m³)
- Cement-sand ratio (%)
- Fine aggregate percentage (%)
- Water-cement ratio (%)
- Compressive Strength (kg/cm²)

2.3.3. งานวิจัยของ นายชูเกียรติ ฤประทุมศิริ และ นาย รัชฎะ สุยะวา (2546)

ในงานวิจัยชื่อ การพัฒนาระบบฐานข้อมูลเพื่อการพยากรณ์ค่ากำลังอัดของตัวอย่าง คอนกรีตทรงกระบอกโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยงานวิจัยนี้ได้สร้างโปรแกรมที่สามารถทำนายผลกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต เพื่อมีวัตถุประสงค์ทดสอบหาลำดับของคอนกรีตที่ใช้ในการก่อสร้างสนามบินสุวรรณภูมิ โดยใช้ระบบโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks ,ANN) และได้ทำระบบฐานข้อมูลที่สามารถพยากรณ์ค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตได้ แต่ระบบฐานข้อมูลส่วนใหญ่เป็นข้อมูลที่มีกำลังอัดอยู่ในช่วงที่ค่อนข้างสูง และมีปัจจัยบางตัวไม่เป็นที่รู้จักเช่น ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ (SSA) เป็นต้น อีกทั้งค่าบางค่าผู้ใช้ไม่สามารถใส่ได้ เช่น Slump , Unit Weight เนื่องจากเป็นค่าที่ต้องทำการทดสอบหลังจากผสมคอนกรีตเสร็จเรียบร้อยแล้ว ซึ่งมีตัวปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อกำลังอัดของคอนกรีตดังนี้

- Unit cement content (kg/m^3)
- Unit fine aggregate content (kg/m^3)
- Unit coarse content (kg/m^3)
- Unit water content (kg/m^3)
- Slump (cm)
- SSA rock (cm^2/kg)
- SSA sand (cm^2/kg)
- Fly Ash (kg)
- Admixture (kg)
- Age (day)
- Compressive Strength (kg/cm^2)
- Density of concrete (kg/m^3)

จากผลการทดลองพบว่าค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของข้อมูลอยู่ที่ประมาณ 39 ksc

2.4. การพิจารณาเลือกปัจจัยที่เหมาะสมในการพยากรณ์ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

จากงานวิจัยที่ผ่านมา เมื่อทำการรวมปัจจัยทั้งหมดเข้าด้วยกันจะได้ผลดังนี้

Parameter

- Unit cement content (kg/m^3)
- Unit fine aggregate content (kg/m^3)
- Unit fine aggregate content (crushed sand) (KN/m^3)
- Unit coarse content (kg/m^3)
- Unit water content (kg/m^3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Slump (cm)
- SSA rock (cm^2/kg)
- SSA sand (cm^2/kg)
- Fly Ash (kg)
- Admixture (kg)
- Age (day)
- Cement-sand ratio (%)
- Fine aggregate percentage (%)
- Water-cement ratio (%)
- Compressive Strength (kg/cm^2)
- Density of concrete (kg/m^3)

จากปัจจัยข้างบนเมื่อทำการวิเคราะห์พบว่าค่า SSA ซึ่งเป็นค่าของพื้นที่ผิวจำเพาะที่ทางบริษัท ผลิตภัณฑ์และวัตถุดิบก่อสร้าง จำกัด หรือ ซีแพค ทดลองจัดทำขึ้นเอง ดังนั้นจึงไม่เป็นที่รู้จักจึงไม่เหมาะสมในการนำมาเป็นปัจจัยในงานวิจัย จึงต้องมีการนำค่าอื่นมาทดแทนโดยอาศัยทฤษฎีเบื้องต้นที่ว่าปัจจัยใดที่มีอิทธิพลต่อกำลังอัดของคอนกรีตพบว่าค่าความละเอียด (Fineness Modulus, F.M.) สามารถนำมาทดแทนกันได้ ส่วนคุณสมบัติของมวลรวมที่เหลือเช่น ความแข็งแรง (Strength) พบว่ามวลรวมมีความสามารถรับน้ำหนักกดได้มากกว่ากำลังที่ต้องการของคอนกรีต ส่วนขนาดและรูปร่างต่างของมวลรวมสามารถสรุปเป็นรูปค่าความละเอียด (Fineness Modulus, F.M.) และยังคงคำนึงถึงปริมาณน้ำที่อยู่ในมวลรวมอีกด้วย ดังนั้นจึงมีการปรับปรุงปัจจัยใหม่เป็นดังนี้

Parameter ที่ปรับปรุงใหม่

- Unit cement content (kg/m^3)
- Unit fine aggregate content (kg/m^3)
- Unit fine aggregate content (crushed sand) (KN/m^3)
- Unit coarse content (kg/m^3)
- Unit water content (kg/m^3)
- Slump (cm)
- Fineness Modulus
- Fly Ash (kg)
- Admixture (kg)
- Age (day)
- Cement-sand ratio (%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Fine aggregate percentage (%)
- Water-cement ratio (%)
- Compressive Strength (kg/cm²)
- Density of concrete (kg/m³)

2.4.1. การวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้โปรแกรม SPSS

โปรแกรม SPSS for Windows (Statistical Package for Social Science) เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติที่สามารถสร้างแฟ้มข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยแสดงผลลัพธ์ในรูปแบบตาราง ข้อความ และกราฟ

เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์นั้นมีจำนวนมากและยากต่อการคำนวณ ประกอบด้วยการที่จะวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ของข้อมูลเป็นสิ่งที่จำเป็นยิ่ง ด้วยเหตุประการนี้จึงนำโปรแกรม SPSS ซึ่งเป็น โปรแกรมที่มีประสิทธิภาพและเป็นที่ยอมรับในปัจจุบัน มาใช้ตรวจสอบข้อมูลขั้นต้น และวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของข้อมูล

2.4.1.1. การตรวจสอบการแจกแจงข้อมูลเชิงปริมาณโดยใช้สถิติทดสอบเบื้องต้น

ในส่วนนี้จะเป็นการศึกษาทางสถิติเพื่อแสดงถึงลักษณะที่สำคัญของพารามิเตอร์แต่ละตัว ซึ่งข้อมูลส่วนใหญ่ที่มีอยู่ หรือเก็บรวบรวมได้มักจะเป็นข้อมูลตัวอย่าง จึงต้องมีการวิเคราะห์ข้อมูลตัวอย่างนั้น เพื่ออ้างอิงถึงลักษณะของพารามิเตอร์ จึงจะสามารถนำพารามิเตอร์ไปใช้ในการพยากรณ์ค่าหรือหาความสัมพันธ์ได้ในอนาคต โดยใช้ข้อมูลตัวอย่าง เทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลจะมีเงื่อนไขเกี่ยวกับการแจกแจงของข้อมูล ซึ่งการทดสอบโดยการ ใช้สถิติทดสอบ ประกอบด้วย

1. การนำเสนอข้อมูล เช่น ในรูปของข้อความ ตาราง กราฟ เป็นต้น
2. การวัดค่ากลางของข้อมูล เช่น ค่าเฉลี่ย (Mean) มัชยฐาน (Median) ฐานนิยม (Mode)
3. การวัดการกระจายของข้อมูล เช่น พิสัย (Rang) ค่าแปรปรวน (Variance) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) สัมประสิทธิ์ความแปรผัน (Coefficient of Variation) ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย (standard Error of Mean) การวัดความเบ้ (Skewness) การวัดความโด่ง (Kurtosis)

เมื่อทำการตรวจสอบการแจกแจงข้อมูลเชิงปริมาณ โดยใช้สถิติทดสอบเบื้องต้น

แสดงในรูปที่ 2.12.

	CEMENT	SAND	ROCK	WATER	SLUMP	COMPRES S	ADMIXD	AGE	PFA	UNITY:WEG	FM	CRUSHSAH
N Valid	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250
N Missing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mean	291.6008	868.5330	1099.51	190.774	11.6328	291.3072	1.0590	19.5832	43.1000	2424.8252	2.6811	21.0274
Std. Error of Mean	1.41946	2.06145	.89541	.49278	.08618	2.11903	.01018	.29120	.62203	.37619	.00953	.25571
Median	275.0000	890.3200	1108.00	190.450	10.0000	285.0000	.9400	28.0000	50.0000	2425.8000	2.7300	19.5960
Mode	320.00	888.28	1110.00	196.68	10.00	225.00 ^a	.81	28.00	.00	2425.80	2.86	13.60
Std. Deviation	50.18532	72.88322	21.30386	17.4224	3.04680	74.91911	.35998	10.29539	21.99204	13.30026	.33692	9.04083
Variance	2518.567	5311.963	979.931	303.541	9.28299	5612.873	.12959	105.995	483.650	176.89695	.11352	81.73664
Skewness	1.175	.173	-.724	-.294	1.708	.468	2.131	-.405	-1.085	.826	-.132	1.152
Std. Error of Skewness	.069	.069	.069	.069	.069	.069	.069	.069	.069	.069	.069	.069
Kurtosis	1.299	.688	-.272	2.264	2.161	.029	5.946	-1.839	-.102	1.212	-.809	1.833
Std. Error of Kurtosis	.138	.138	.138	.138	.138	.138	.138	.138	.138	.138	.138	.138
Range	288.00	663.88	205.00	157.50	15.00	444.00	3.73	21.00	96.00	94.80	1.48	52.12
Minimum	212.00	618.52	992.00	97.90	7.00	108.00	.00	7.00	.00	2400.90	2.05	8.20
Maximum	500.00	1282.40	1197.00	255.40	22.00	552.00	3.73	28.00	96.00	2495.70	3.53	60.32
Sum	364501.0	1110666	1374389	238468	14541.0	364134.0	1323.76	24479.00	53875.00	3031031	2351.39	26284.28

a. Multiple modes exist. The smallest value is shown

รูปที่ 2.12. แสดงการแจกแจงข้อมูลเชิงปริมาณ โดยใช้สถิติทดสอบเบื้องต้น

จากแผนภาพ จะสามารถทำการปรับแก้ข้อมูลเบื้องต้นให้ถูกต้องและเหมาะสมได้ เช่น สามารถดูการป้อนค่าผิดโดยดูค่า Maximum หรือ Minimum ของข้อมูลว่าผิดแปลกไปหรือไม่ ดูว่าใส่ค่าครบสมบูรณ์หรือไม่โดยดูค่า Missing นอกจากนี้ยังสามารถดูค่าต่างๆ ที่น่าสนใจทางสถิติได้อีกด้วย เช่น ข้อมูลเป็นการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ เบ้ซ้ายหรือขวา ช่วงของข้อมูล ความโด่งความแบนของข้อมูล เป็นต้น (กราฟแสดงการแจกแจงปกติ ความเบ้ ความแบน อยู่ในภาคผนวก)

2.4.1.2. สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) (ρ) คือ สถิติที่ใช้วัดความสัมพันธ์ของตัวแปร X และ Y ว่ามีความสัมพันธ์กันมากหรือน้อยเพียงใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากเราใช้ข้อมูลตัวอย่าง จึงประมาณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(ρ) ด้วยค่า r โดยที่ค่า r คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ตัวอย่าง (เนื่องจากค่า r ไม่มีหน่วย และมีขอบเขต คือค่าต่ำสุดคือ -1 ค่าสูงสุดคือ 1 จึงสามารถแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง X และ Y ได้

โดยความหมายของค่า r เป็นดังนี้

1. ค่า r เป็นลบ แสดงว่า X และ Y มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้าม คือ ถ้า X เพิ่ม Y จะลด แต่ถ้า X ลด Y จะเพิ่ม
2. ค่า r เป็นบวก แสดงว่า X และ Y มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน คือ ถ้า X เพิ่ม Y จะเพิ่มด้วย แต่ถ้า X ลด Y จะลดด้วย
3. ถ้า r มีค่าเข้าใกล้ 1 หมายถึง X และ Y มีสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน และมีความสัมพันธ์กันมาก
4. ถ้า r มีค่าเข้าใกล้ -1 หมายถึง X และ Y สัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้าม และมีความสัมพันธ์กันมาก
5. ถ้า $r = 0$ แสดงว่า X และ Y ไม่มีความสัมพันธ์กันเลย
6. ถ้า r เข้าใกล้ 0 แสดงว่า X และ Y มีความสัมพันธ์กันน้อย

การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ในงานวิจัยนี้จะใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 2 รูปแบบ คือ

1. Bivariate Correlation เป็นการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปร 2 ตัว และให้ค่า Pearson Correlation (r) โดยไม่คำนึงถึงตัวแปรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องเลย
2. Partial Correlation (สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงส่วน) เนื่องจาก Bivariate Correlation ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ที่แสดงความสัมพันธ์ในรูปเชิงเส้นของตัวแปร 2 ตัว โดยไม่คำนึงถึงตัวแปรอื่นๆ ที่ต้องเกี่ยวข้องเลย จึงคำนวณค่า Pearson Correlation (r) ได้ไม่ถูกต้อง เมื่อมีความสัมพันธ์ที่แท้จริงมากกว่าสองตัว ดังนั้นเมื่อมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องมากกว่าสองตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันต้องใช้การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงส่วน ถึงจะได้ค่า Pearson Correlation (r) ที่ถูกต้อง

เมื่อทำการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Bivariate Correlation สามารถคำนวณหาค่า Pearson Correlation (r) ได้เบื้องต้นดังนี้

Output33 - SPSS Viewer

File Edit View Insert Format Analyze Graphs Utilities Window Help

Correlations

		CEMENT	SAND	cement/sand	water/cement	fine/aggregate
CEMENT	Pearson Correlation	1	-.383**	.946**	.946**	-.218**
	Sig. (2-tailed)	.	.000	.000	.000	.000
	N	749	749	749	749	749
SAND	Pearson Correlation	-.383**	1	-.647**	-.647**	.943**
	Sig. (2-tailed)	.000	.	.000	.000	.000
	N	749	749	749	749	749
cement/sand	Pearson Correlation	.946**	-.647**	1	1.000**	-.500**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.	.	.000
	N	749	749	749	749	749
water/cement	Pearson Correlation	.946**	-.647**	1.000**	1	-.500**
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.	.000
	N	749	749	749	749	749
fine/aggregate	Pearson Correlation	-.218**	.943**	-.500**	-.500**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.000	.000	.
	N	749	749	749	749	749

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

SPSS Processor is ready

Print: 405, Width: 742 pt

รูปที่ 2.13. แสดงการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Bivariate Correlation

จากภาพข้างบนสามารถตัดปัจจัยที่ส่งผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตได้คือ

จากหมายเลข 1 ตัดปัจจัย cement/sand เนื่องจากค่า Pearson Correlation (r) มีความสัมพันธ์กับปัจจัย cement มาก คือเท่ากับ 0.946 ดังนั้น จึงสามารถเลือกตัดออกได้ตัวใดตัวหนึ่ง เพราะเปรียบเสมือนตัวเดียวกัน ในที่นี้เลือกตัด cement/sand (Cement-sand ratio (%)) เพราะถ้าไม่ใส่ค่า cement จะไม่สามารถหาค่า cement/sand ได้

จากหมายเลข 2 ตัดปัจจัย water/cement เนื่องจากค่า Pearson Correlation (r) มีความสัมพันธ์กับปัจจัย cement มาก คือเท่ากับ 0.946 ดังนั้น จึงสามารถเลือกตัดออกได้ตัวใดตัวหนึ่ง เพราะเปรียบเสมือนตัวเดียวกัน ในที่นี้เลือกตัด water/cement (Water-cement ratio(%)) เพราะถ้าไม่ใส่ค่า cement จะไม่สามารถหาค่า water/cemen ได้

จากหมายเลข 3 ตัดปัจจัย fine/aggregate เนื่องจากค่า Pearson Correlation (r) มีความสัมพันธ์กับปัจจัย sand มาก คือเท่ากับ 0.943 ดังนั้น จึงสามารถเลือกตัดออกได้ตัวใดตัวหนึ่งเพราะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบในตัวเดียวกัน ในที่นี้เลือกตัด fine/aggregate (Fine aggregate percentage (%)) เพราะถ้าไม่ใส่ค่า sand จะไม่สามารถหาค่า fine/aggregate ได้

เมื่อเราทำการตัดปัจจัยออกไป และทำการวิเคราะห์ข้อมูลสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Bivariate Correlation ใหม่ สามารถแสดงได้ ดังนี้

		CEMENT	SAND	ROCK	WATER	SLUMP	AGES	DENSITY	compressive
CEMENT	Pearson Correlation	1	-.782*	-.241	-.203	-.328*	.010	.239	.553*
	Sig. (2-tailed)	.	.000	.055	.107	.008	.938	.057	.000
	N	64	64	64	64	64	64	64	64
SAND	Pearson Correlation	-.782*	1	.775*	.600*	.052	.007	-.253*	-.538*
	Sig. (2-tailed)	.000	.	.000	.000	.684	.958	.043	.000
	N	64	64	64	64	64	64	64	64
ROCK	Pearson Correlation	-.241	.775*	1	.872*	-.061	.019	-.162	-.319*
	Sig. (2-tailed)	.055	.000	.	.000	.632	.882	.202	.010
	N	64	64	64	64	64	64	64	64
WATER	Pearson Correlation	-.203	.600*	.872*	1	.358*	.016	-.141	-.319*
	Sig. (2-tailed)	.107	.000	.000	.	.004	.903	.265	.011
	N	64	64	64	64	64	64	64	64
SLUMP	Pearson Correlation	-.328*	.052	-.061	.358*	1	.001	-.035	-.212
	Sig. (2-tailed)	.008	.684	.632	.004	.	.996	.784	.092
	N	64	64	64	64	64	64	64	64
AGES	Pearson Correlation	.010	.007	.019	.016	.001	1	.284*	.556*
	Sig. (2-tailed)	.938	.958	.882	.903	.996	.	.023	.000
	N	64	64	64	64	64	64	64	64
DENSITY	Pearson Correlation	.239	-.253*	-.162	-.141	-.035	.284*	1	.407*
	Sig. (2-tailed)	.057	.043	.202	.265	.784	.023	.	.001
	N	64	64	64	64	64	64	64	64
COMP	Pearson Correlation	.553*	-.538*	-.319*	-.315*	-.212	.556*	.407*	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.010	.011	.092	.000	.001	.
	N	64	64	64	64	64	64	64	64

**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).
*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

รูปที่ 2.14. แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Bivariate Correlation

หลังทำการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Bivariate Correlation แล้วต่อไปเป็นการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Pearson Correlation ซึ่งได้ผลลัพธ์ ดังนี้

--- PARTIAL CORRELATION COEFFICIENTS ---

Controlling for.. CEMENT SAND ROCK WATER

COMPRESS PFA

COMPRESS 1.0000 .2623

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Controlling for.. CEMENT SAND ROCK WATER

COMPRESS ADMIXTURE TYPE D

COMPRESS 1.0000 .2135

Controlling for.. CEMENT SAND ROCK WATER

COMPRESS FM

COMPRESS 1.0000 .2096

Controlling for.. CEMENT SAND ROCK WATER

COMPRESS CRUSHSAN

COMPRESS 1.0000 -.1039

จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS ด้วยวิธีการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ทั้งแบบ Bivariate Correlation และแบบ Partial Correlation (สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงส่วน) สามารถบอกถึงความสัมพันธ์ได้อย่างคร่าวๆ เป็นการยากที่จะสามารถวิเคราะห์ได้ถูกต้องเนื่องจากมีความซับซ้อนของปัจจัยและข้อมูลมีจำนวนมาก จึงมีการนำระบบโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks ,ANN) มาใช้ในงานวิจัยนี้

2.4.2. ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้ในโครงการพิเศษ

ถึงแม้ว่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต (Unit Weight) จะมีผลต่อความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีตแต่ค่านี้ผู้ใช้ไม่สามารถใส่ได้ เนื่องจากเป็นค่าที่ต้องทำการทดสอบหลังจากผสมคอนกรีตเสร็จเรียบร้อยแล้วก่อนถึงสามารถหาค่าได้ จากการวิเคราะห์ข้างต้นทำให้สามารถสรุปปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้ในโครงการพิเศษ ได้ดังนี้

Parameter

- Unit cement content (kg/m^3)
- Unit fine aggregate content (kg/m^3)
- Unit fine aggregate content (crushed sand or sand pass sieve no.200) (KN/m^3)
- Unit coarse content (kg/m^3)
- Unit water content (kg/m^3)
- Fineness Modulus (FM)
- Fly Ash (PFA)(kg)
- Admixture (kg)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Age (day)

ตารางที่ 2.1. แสดงความหมายของพารามิเตอร์ที่ใช้

ชื่อเต็ม	ความหมาย	หน่วย
Unit cement content	ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใส่ในคอนกรีต ปริมาตรรวม 1 ลูกบาศก์เมตร	(kg/m ³)
Unit fine aggregate content	ปริมาณทรายที่ใส่ในคอนกรีตปริมาตรรวม 1 ลูกบาศก์เมตร	(kg/m ³)
crushed sand	ปริมาณทรายละเอียด(ฝุ่น)ที่ใส่ในคอนกรีต ปริมาตรรวม 1 ลูกบาศก์เมตร	(kg/m ³)
Unit coarse content	ปริมาณหินที่ใส่ในคอนกรีตปริมาตรรวม 1 ลูกบาศก์เมตร	(kg/m ³)
Unit water content	ปริมาณน้ำที่ใส่ในคอนกรีตปริมาตรรวม 1 ลูกบาศก์เมตร	(kg/m ³)
Fineness Modulus of Sand (FM)	ค่าความละเอียดของทราย	
Fly Ash (PFA)	สารประกอบแร่ธาตุผสมเพิ่ม (ปูนขาว)	kg
Admixture	สารเคมีผสมคอนกรีตในคอนกรีต	kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะสังเกตว่าปัจจัยที่อยู่ข้างบนไม่มี Fineness Modulus of Rock เนื่องจากหินส่วน
ใหญ่ที่ใช้ในงานโครงสร้างในปัจจุบันจะใช้หินตามมาตรฐาน ASTM C33 Size Number 67 ดังแสดง
ตามตารางที่ 2.2.

ตารางที่ 2.2. แสดงขนาดหินตามมาตรฐาน ASTM C33 Size Number 67

ขนาดตะแกรง	% ผ่านตะแกรง
1"	100
3/4"	90-100
1/2"	-
3/8"	20-55
NO.4	0-10
NO.8	0-5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

โครงข่ายประสาทเทียม

3.1. คำนำ

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 เซลล์ประสาทเป็นตัวที่ควบคุมส่วนต่างๆ ของร่างกายเช่นการจำรูปแบบต่างๆ เช่น การจำรูปแบบต่างๆ , การรับรู้และการควบคุมการเคลื่อนไหวของร่างกาย ซึ่งเร็วกว่าการคำนวณของคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันหลายเท่าตัว

3.2. โครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียม คือ การออกแบบและสร้างระบบคอมพิวเตอร์ให้มีโครงสร้างการทำงานเลียนแบบการทำงานของเซลล์ในสมองของมนุษย์ หรือที่เรียกว่า "นิวรอล" นั้นมีขั้นตอนในการทำงานในแง่ของสรีระวิทยาประสาท ที่จะเชื่อมโยงกันเป็นโครงข่ายของหน่วยประสาท หรือ Neural Network โดยใช้วิธีการประมวลผลแบบขนานและการกระจายการทำงาน (Parallel Distribute Processing) เพื่อแปลงข้อมูลจากรูปแบบหนึ่งไปเป็นอีกรูปแบบหนึ่งตามที่ต้องการ นอกจากนั้นคุณสมบัติของระบบยังแตกต่างจากหลักการทำงานในเชิงคณิตศาสตร์โดยทั่วไปในเรื่องของ Massively Parallel Processing ซึ่งคุณสมบัติประการแรก คือ Fault Tolerance หมายถึง ระบบประมวลผลจะไม่หยุดกลางคัน ถึงแม้หน่วยประมวลผลบางหน่วยได้รับความเสียหายจนทำงานไม่ได้ก็ตาม คุณสมบัติอีกประการที่สำคัญคือ Generalization หมายถึง โครงข่ายประสาทเทียมยังคงให้ผลลัพธ์ที่ต้องการได้แม้จะมีสัญญาณรบกวนหรือข้อมูลขาดความสมบูรณ์หรือเป็นข้อมูลที่ยุ่งไม่เคยเห็นมาก่อนแล้วก็สามารถที่จะทำงานได้ คุณสมบัติประการสุดท้าย คือ Adaptability หมายถึงระบบสามารถที่จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

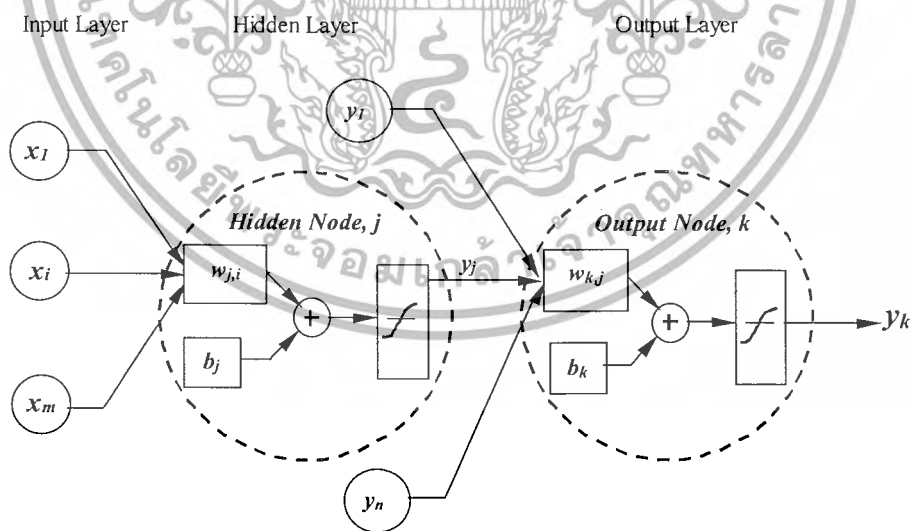
เรียนรู้สภาพแวดล้อมใหม่ที่แตกต่างจากสภาพแวดล้อมเดิมได้อย่างรวดเร็ว การทำงานของระบบจะอยู่ในรูปของการฝึกสอน (Training) เพื่อการปรับพื้นฐานความรู้ด้วยตัวเลขค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) ทำให้ค่าอินพุต (Input) และ เอาท์พุต (Output) ของระบบสอดคล้องกันจากนั้นจึงสามารถนำฐานความรู้ (Knowledge Base) ที่ได้ไปใช้ต่อไป

3.3. แบบจำลองของโครงข่ายประสาทเทียม (Models of Neural Network)

โครงข่ายนี้จะประกอบด้วย 3 ส่วนด้วยกัน คือ

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

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



รูปที่ 3.1. แสดงโครงข่ายประสาทเทียมแบบไปข้างหน้า

ค่าผลลัพธ์จากแต่ละหน่วย จะสามารถหาได้ดังนี้

$$y_j = f\left(\sum_{i=1}^m (w_{j,i} \cdot x_i) + b_j\right) \quad (3.1)$$

$$y_k = f\left(\sum_{j=1}^n (w_{k,j} \cdot y_j) + b_k\right) \quad (3.2)$$

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)

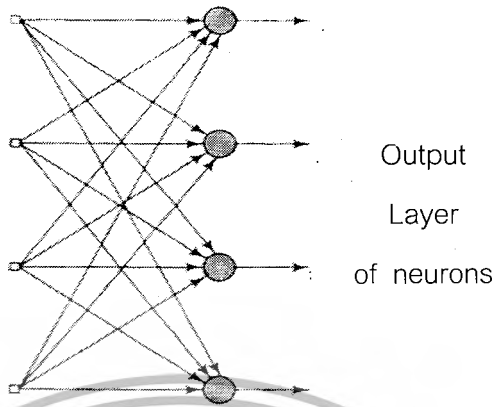
$f(c)$ คือ ฟังก์ชันแปลงค่าความสัมพันธ์ เช่น Linear Function , Sigmoid Function และ Step Function

3.4. สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม (network architecture)

โดยปกติแล้ว เราจะแบ่งสถาปัตยกรรมของโครงข่ายออกเป็น 3 แบบ คือ

3.4.1. โครงข่ายแบบชั้นเดียวไปข้างหน้า (Single-Layer Feed-forward Network)

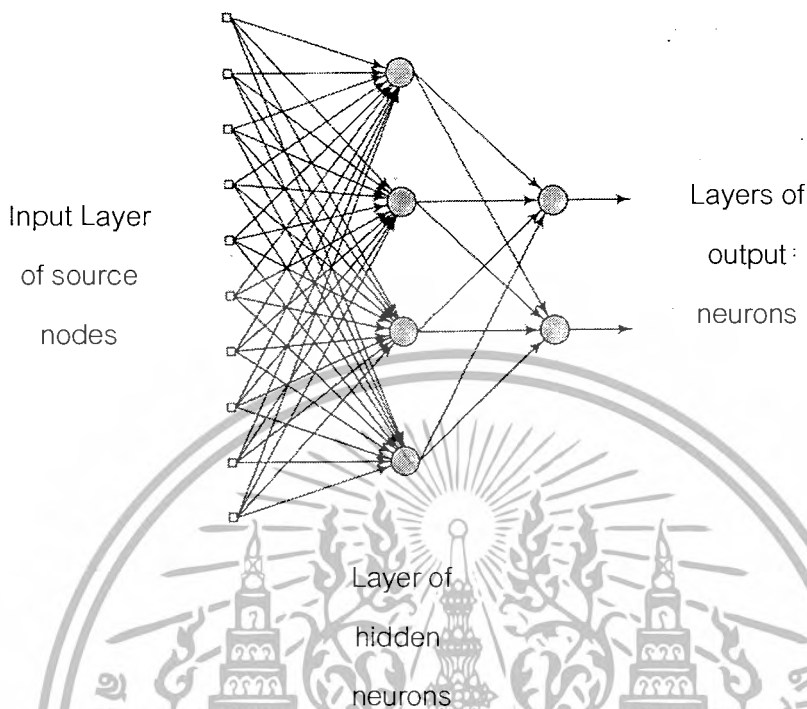
ในระดับโครงข่ายนิเวศจะถูกจัดการให้อยู่ในรูปแบบเป็นชั้นๆ รูปแบบที่ง่ายที่สุดของชั้นโครงข่ายเรามีชั้นอินพุตของแหล่งกำเนิดของหน่วยแฝง (node) ขึ้นไปยัง ชั้นเอาต์พุต ของโครงข่ายแบบนี้ จัดเป็นชนิดแบบไม่ต่อเนื่อง จากรูป 3.2 แสดงกรณีของหน่วยแฝง 4 หน่วยที่อยู่ในรูปของชั้นอินพุตและชั้นเอาต์พุต ซึ่งเราจะเรียกโครงข่ายนี้ว่าโครงข่ายแบบชั้นเดียวไปข้างหน้า ที่เรียกว่าชั้นเดียวนี้ เนื่องจากการอ้างถึง ชั้นเอาต์พุต ของ หน่วยคำนวณแฝง หรือ นิเวศ เราจะไม่นับอินพุตของหน่วยเริ่มต้นเนื่องจากการคำนวณเกิดขึ้นที่หน่วยนั้น



รูปที่ 3.2. แสดงสถาปัตยกรรมของ โครงข่ายแบบชั้นเดียวไปข้างหน้า

3.4.2. โครงข่ายแบบหลายชั้นไปข้างหน้า (Multilayer Feedforward Networks)

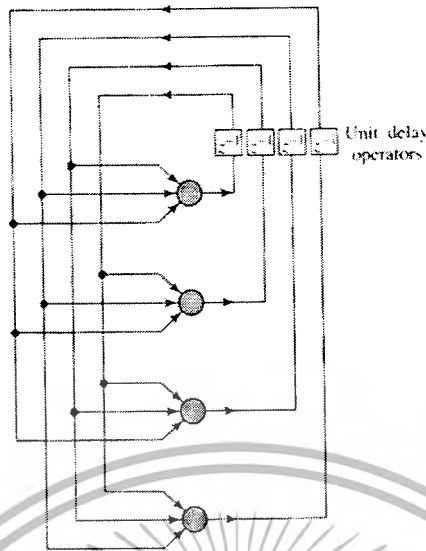
จะเป็นชั้นที่มีการแบ่งแยกด้วยตัวของมันเอง ด้วยการมี ชั้นแฝง(hidden layer) 1 ชั้น หรือมีมากกว่านั้นซึ่งหน่วย(Node)จะมีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกว่าหน่วยแฝง ฟังก์ชันของนิวรอนแฝง จะอยู่ระหว่างค่าที่นำเข้าจากภายนอกและสิ่งที่ได้ออกมาจากโครงข่าย จากรูปที่ 3.3 จะแสดงแผนผังของ หลายชั้นในกรณีที่เป็นโครงข่ายแบบชั้นเดียวไปข้างหน้า (single-hidden layer) ซึ่งจะเป็นโครงข่ายแบบ 10-4-2 เพราะว่ามี 10 แหล่งกำเนิด node (source) node, 4 หน่วยแฝง และ 2 หน่วยแสดงผลตัวอย่าง นอกเหนือจากนี้ คือมี m แหล่งกำเนิด , จำนวนนิวรอน h_1 นิวรอน ที่อยู่ในชั้นแฝงแรก, จำนวน นิวรอน h_2 นิวรอน ที่อยู่ในชั้นแฝงที่สอง และจำนวน นิวรอน q นิวรอน ที่เป็นชั้นเอาต์พุตจะแทนโครงข่ายนี้ ด้วย $m - h_1 - h_2 - q$ จากรูปที่ 3.3.บอกได้ว่าเป็นการเชื่อมต่อกันทุกหน่วย(Fully Connected)เนื่องจาก ทุกๆ หน่วยของแต่ละชั้นถูกเชื่อมโยงไปยังหน่วยอื่นๆ ที่อยู่ถัดออกไป แต่อย่างไรก็ตาม หากว่ามีบางการเชื่อมโยงไม่ได้เชื่อมต่อบน โครงข่ายเราจะเรียก โครงข่ายนี้ว่า การเชื่อมต่อแบบบางส่วน



รูปที่ 3.3. แสดงสถาปัตยกรรมของโครงข่ายแบบหลายชั้น ไปข้างหน้า

3.4.3. โครงข่ายแบบรีเคอร์เรนต์ (Recurrent Network)

โครงข่ายแบบรีเคอร์เรนต์จะแบ่งตัวมันเองออกจาก โครงข่ายทั่วไปด้วยการมีทวนรอบกลับอย่างน้อย 1 วง ตัวอย่างเช่น โครงข่ายแบบรีเคอร์เรนต์จะมีชั้นเดียว ของ นิวรอล ซึ่งแต่ละอันจะเป็นเอาต์พุตซิกแนล ส่งกลับไปส่วนที่นำเข้ามาของนิวรอลอื่น ๆ ทั้งหมดซึ่งแสดงได้จากรูปด้านล่าง ในโครงสร้างนี้จะสามารถบอกได้ว่าไม่มีลูปที่วนกลับมาหาตัวเอง (loop self-feedback) ในโครงข่ายลูปที่ทวนกลับมาหาตัวเอง จะบ่งบอกว่ามันเป็นสถานะที่ส่วนที่มันยื่นออกมาของนิวรอลกลับไปเป็นส่วนที่เข้ามาด้วยตัวของมันเอง



รูปที่ 3.4. แสดงสถาปัตยกรรมของโครงข่ายแบบรีเคอร์เรนต์

3.5. การเรียนรู้ของระบบโครงข่ายประสาทเทียม

การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมจะมีประสิทธิภาพเพียงใดขึ้นอยู่กับค่าถ่วงน้ำหนักของโครงข่าย ซึ่งการฝึกสอน (Training) โครงข่ายก็คือการหาค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมให้กับโครงข่ายนั้นๆ ซึ่งการเรียนรู้มีอยู่ด้วยกัน คือ

3.5.1. การเรียนรู้แบบชี้นำ (Supervised Learning)

การเรียนรู้โดยวิธีนี้จะกำหนดเซตของการเรียนรู้ให้กับโครงข่ายซึ่งเซตนี้ประกอบด้วย อินพุตและเอาต์พุตที่ต้องการ (Target Output) เมื่อป้อนอินพุตให้กับโครงข่าย หลังจากนั้นโครงข่ายก็จะทำการประมวลผลจนได้คำตอบและค่าถ่วงน้ำหนักออกมาชุดหนึ่ง สำหรับคำตอบที่ได้จากโครงข่ายจะถูกนำมาคำนวณค่าความผิดพลาดโดยวัดเป็นระยะทางว่ามีความห่างจากคำตอบที่ต้องการมีค่าน้อยเพียงใด ถ้ายังมีความผิดพลาดสูงอยู่ก็จะทำการปรับแก้ค่าถ่วงน้ำหนักและทำการเรียนรู้ต่อไปจนกว่าค่าความผิดพลาดระหว่างคำตอบของโครงข่ายกับเอาต์พุตที่ต้องการมีค่าน้อยพอที่จะยอมรับได้จึงจะหยุดการเรียนรู้ และค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้ก็เหมือนฟังก์ชันที่ใช้แปลงข้อมูล

3.5.2. การเรียนรู้แบบไม่มีผู้ชี้แนะ (Unsupervised Learning)

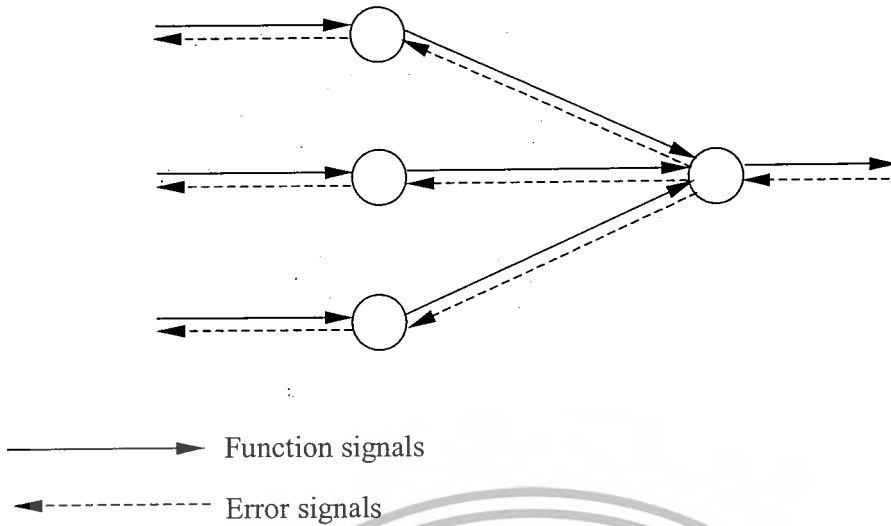
การเรียนรู้วิธีนี้จะป้อนอินพุตเข้าสู่โครงข่าย และภายในโครงข่ายจะมีเอาต์พุตโหนดอยู่หลายโหนดด้วยกัน โดยแต่ละโหนดจะแทนกลุ่มของข้อมูลที่มีคุณสมบัติเหมือนกันเมื่อป้อนอินพุตเข้าสู่โครงข่าย จะทำการคำนวณค่าความสัมพันธ์ที่มีอยู่ในเซตของอินพุตโดยอาศัยค่าความถ่วงน้ำหนักเป็นตัวแยกความแตกต่างของอินพุตไปเก็บไว้ในโหนดเอาต์พุตของโครงข่าย การเรียนรู้วิธีนี้ไม่สามารถสรุปได้ว่า เอาต์พุตโหนดใดเป็นของข้อมูลกลุ่มใดผู้ใช้จะต้องกำหนดเองซึ่งในแบบแรกนั้นสามารถระบุกลุ่มเอาต์พุตได้อย่างแน่นอน

3.6. วิธีการแพร่กระจายกลับ (Back-Propagation)

คุณสมบัติสำคัญของโครงข่ายประสาทเทียม คือ ความสามารถในการเรียนรู้จากตัวอย่างโดยพยายามคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล (Input) และผลลัพธ์ (Output) การเรียนรู้จะเริ่มจากการสุ่มค่าน้ำหนัก (Weight) และค่าเบี่ยงเบนเริ่มต้น (Bias) ค่าผลลัพธ์ที่ได้จากค่าเริ่มต้นจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์จริง ค่าที่แตกต่างจะถูกนำมาปรับค่าน้ำหนักและค่าเบี่ยงเบนโดยวิธีลองผิดลองถูก (Trial and Error) จนได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงหรือตรงกับผลลัพธ์จริง ค่าน้ำหนักและค่าเบี่ยงเบนสุดท้ายจะถูกนำมาใช้ในการพยากรณ์ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากข้อมูล (Input) ใหม่

กระบวนการในการปรับค่าน้ำหนักและค่าเบี่ยงเบนที่นิยมใช้ คือ Back-Propagation ซึ่งจะประกอบด้วยสัญญาณ 2 ส่วน (รูปที่ 3.5.) ดังนี้

1. สัญญาณส่ง (Function Signals) คือ ข้อมูลหรือผลลัพธ์ของแต่ละหน่วยที่ถูกส่งเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียม
2. สัญญาณแก้ไข (Error Signals) คือ ค่าที่แตกต่างระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณและผลลัพธ์จริงที่ถูกส่งกลับสู่โครงข่ายประสาทเทียม เพื่อปรับค่าจนได้ค่าที่ตรงกัน



รูปที่ 3.5. แสดงสัญญาณในกระบวนการปรับค่าน้ำหนักและค่าเบี่ยงเบน

โครงสร้างเบื้องต้น ดังแสดงในรูปที่ 3.5. หน่วย j จะทำหน้าที่คำนวณค่าผลลัพธ์จากสัญญาณ ส่งจากหน่วย i ผลลัพธ์ที่ได้ คือ $y_j(n)$ ซึ่งจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าแตกต่างจากผลลัพธ์จริง คือ $d_j(n)$ ค่าความแตกต่างนี้ คือ $e_j(n)$ ดังสมการที่ 3.3.

$$e_j(n) = d_j - y_j(n) \quad (3.3.)$$

$e_j(n)$ จะถูกแปลงเป็นสัญญาณแก้ไข $E(n)$ ดังสมการที่ 3.4.

$$E(n) = \frac{1}{2} e_j^2(n) \quad (3.4.)$$

ดังแสดงในรูปที่ 3.6. ค่า $v_j(n)$ จะเป็นผลลัพธ์จากการคำนวณจากสมการที่ 3.5.

$$v_j(n) = \sum_{i=0}^m w_{ji}(n) y_i(n) + b_j(n) \quad (3.5.)$$

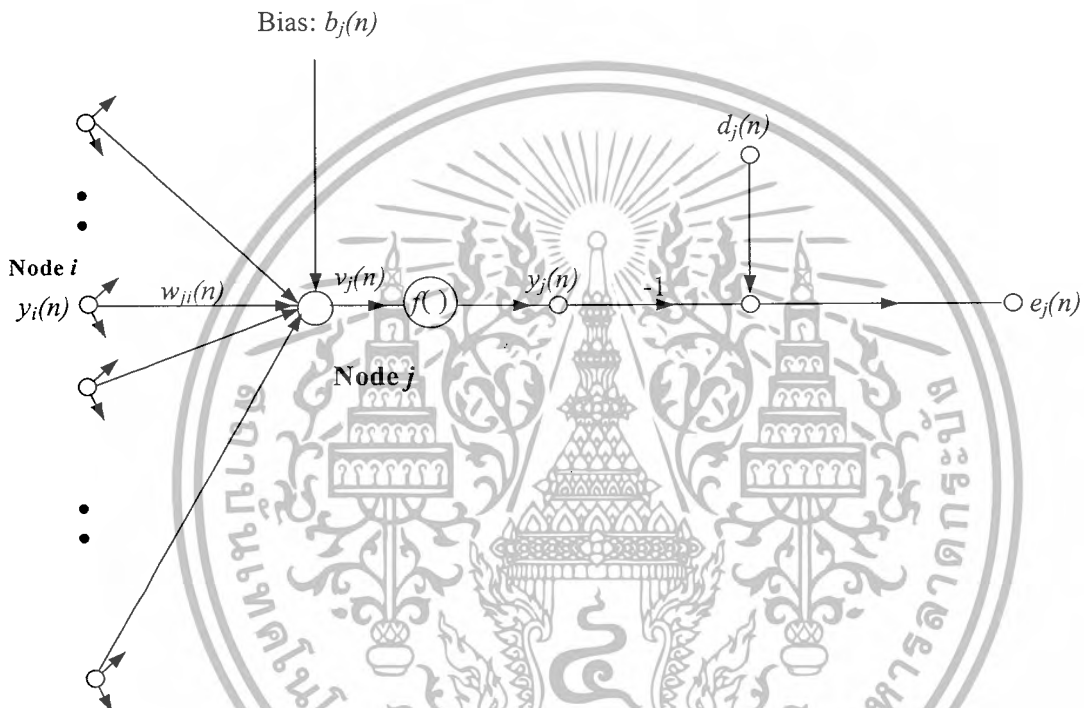
สัญลักษณ์ w คือ ค่าน้ำหนัก สัญลักษณ์ m คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด และ สัญลักษณ์ $b_j(n)$ คือ ค่าเบี่ยงเบนที่ใช้ในหน่วย j ดังนั้น ผลลัพธ์ของหน่วย j คือ

$$y_j(n) = f_j(v_j(n)) \quad (3.6.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี่ Back-Propagation จะปรับค่าน้ำหนักจากสัญญาณแก้ไข $E(n)$ ด้วยวิธี *Chain Rule* ดัง

$$\frac{\partial E(n)}{\partial w_{ji}(n)} = \frac{\partial E(n)}{\partial e_j(n)} \cdot \frac{\partial e_j(n)}{\partial y_j(n)} \cdot \frac{\partial y_j(n)}{\partial v_j(n)} \cdot \frac{\partial v_j(n)}{\partial w_{ji}(n)} \quad (3.7.)$$



รูปที่ 3.6. แสดงโครงสร้างการคำนวณของโครงข่ายประสาทเทียม

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

$$\Delta w_{ji}(n) = -\eta \frac{\partial E(n)}{\partial w_{ji}(n)} \quad (3.8.)$$

การปรับค่าน้ำหนักนี้ จะใช้วิธี *Gradient Descent* จนได้สัญญาณแก้ไขมีค่าน้อยสุด หรือค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณมีค่า เท่ากับหรือใกล้เคียงกับค่าผลลัพธ์จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การเก็บรวบรวมข้อมูล

4.1. แหล่งที่มาของข้อมูล

4.1.1. ข้อมูลจากการเตรียมตัวอย่างทดสอบ

การเตรียมตัวอย่างทดสอบเป็นการทำตัวอย่างส่วนผสมคอนกรีต และนำมาทดสอบหาค่าความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM สิ่งสำคัญในการเตรียมตัวอย่างทดสอบคือ การศึกษาปัจจัยที่จำเป็นต้องนำมาใช้ในโครงการวิจัย และการควบคุมปัจจัยต่างๆ ขณะทำตัวอย่างทดสอบ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีประสิทธิภาพถูกต้องมากที่สุด การเตรียมตัวอย่างทดสอบสามารถแบ่งการดำเนินงานได้ดังนี้

4.1.1.1. การกำหนดชนิดข้อมูล และจำนวนข้อมูล

การจัดหาข้อมูลที่มีประสิทธิภาพจำเป็นต้องมีการกำหนดชนิดของข้อมูลที่ต้องการสำหรับการศึกษาความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีต ชนิดของข้อมูลสามารถแบ่งได้ดังนี้

1. ปูนซีเมนต์ ข้อมูลที่ใช้เป็นปริมาณซีเมนต์ในส่วนผสมของคอนกรีต
2. หิน ข้อมูลที่ใช้เป็นปริมาณของหินในส่วนผสมของคอนกรีต
3. ทราย ข้อมูลที่ใช้เป็นปริมาณของทรายในส่วนผสมของคอนกรีต
4. น้ำ ข้อมูลที่ใช้เป็นปริมาณน้ำในส่วนผสมของคอนกรีต
5. ค่าการยุบตัว ข้อมูลที่ใช้เป็นค่าที่วัดได้จากการทดสอบการยุบตัวของคอนกรีต
6. อายุและการบ่ม ข้อมูลที่ใช้แบ่งออกเป็นการบ่มที่อายุ 3 วัน 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน

สำหรับจำนวนข้อมูลที่ศึกษาสามารถแบ่งเป็นรายละเอียดต่างๆ ซึ่งแสดงไว้ตามตารางที่ 4.1. และตารางที่ 4.2.

ตารางที่ 4.1. แสดงรายละเอียดการหล่อตัวอย่างทดสอบที่มีค่ากำลังรับแรงอัดอยู่ระหว่าง 180-320 ksc.

No.	ค่ากำลังรับแรงอัด ของคอนกรีต (ksc)	การทดสอบ								รวม
		Slump 7-10				Slump 10-13				
		3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	
1	180	3	3	3	3	3	3	3	3	24
2	200	3	3	3	3	3	3	3	3	24
3	220	3	3	3	3	3	3	3	3	24
4	240	3	3	3	3	3	3	3	3	24
5	260	3	3	3	3	3	3	3	3	24
6	280	3	3	3	3	3	3	3	3	24
7	300	3	3	3	3	3	3	3	3	24
8	320	3	3	3	3	3	3	3	3	24
รวมทั้งหมด									192	

ตารางที่ 4.2. แสดงรายละเอียดการหล่อตัวอย่างทดสอบที่ทดลองสู่มค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

No.	ค่ากำลังรับแรงอัด ของคอนกรีต (ksc)	การทดสอบ				รวม
		3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	
1	Trial	3	3	3	3	12
2	Trial	3	3	3	3	12
3	Trial	3	3	3	3	12
4	Trial	3	3	3	3	12
5	Trial	3	3	3	3	12
6	Trial	3	3	3	3	12
7	Trial	3	3	3	3	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2. แสดงรายละเอียดการหล่อตัวอย่างทดสอบที่ทดลองสู่มค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต
(ต่อ)

No.	ค่ากำลังรับแรงอัด ของคอนกรีต (ksc)	การทดสอบ				รวม
		3 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน	
8	Trial	3	3	3	3	12
9	Trial	3	3	3	3	12
10	Trial	3	3	3	3	12
11	Trial	3	3	3	3	12
12	Trial	3	3	3	3	12
13	Trial	3	3	3	3	12
14	Trial	3	3	3	3	12
15	Trial	3	3	3	3	12
16	Trial	3	3	3	3	12
รวมทั้งหมด						192

หมายเหตุ : ตัวอย่างคอนกรีตที่ได้เป็นก้อนตัวอย่างมาตรฐานรูปทรงกระบอก ตาม
มาตรฐานอเมริกาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร

4.1.1.2. การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต เป็นการคำนวณหาอัตราส่วนผสมของปริมาณปูน
ซีเมนต์ หิน ทราย และน้ำ ที่ใช้ในการผสมคอนกรีต การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตตามมาตรฐาน
ของอเมริกาจำเป็นต้องทราบคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

1. ปูนซีเมนต์

- ความถ่วงจำเพาะ ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C188 แต่สามารถใช้ค่า 3.15 สำหรับ
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทั่วไป

2. มวลรวม

- ขนาดคละ ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความถ่วงจำเพาะหิน ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C127
- ความถ่วงจำเพาะทราย ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C128
- ความชื้น ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C70 และมาตรฐาน ASTM C566
- ความละเอียดของทราย ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C125
- หน่วยน้ำหนักของมวลรวม ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C29

การทดสอบวัสดุส่วนผสมคอนกรีตมีมาตรฐานในการทดสอบซึ่งแสดงไว้ใน ภาคผนวก ก

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตตามมาตรฐานอเมริกา สามารถศึกษาได้จากตัวอย่างการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตดังแสดงในตารางที่ 4.3.

4.1.1.3. วิธีการทดสอบ

การทดสอบค่าความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีตใช้มาตรฐาน ASTM C 39 TEST METHOD FOR COMPRESSIVE STRENGTH OF CYLINDRICAL CONCRETE SPECIMENS โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1. วัดและบันทึกค่าความสูง และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของก้อนตัวอย่างทดสอบ
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างทดสอบ และบันทึกค่า
3. ทำการcapหัวก้อนตัวอย่างทดสอบ เพื่อให้พื้นที่ผิวสัมผัสมีลักษณะราบเรียบ
4. นำก้อนตัวอย่างทดสอบวางบนกึ่งกลางของแท่นทดสอบ โดยให้แกนอยู่ในแนวศูนย์กลางของแท่งกด
5. เปิดเครื่องทดสอบ โดยในการทดสอบนี้จะต้องควบคุมน้ำหนักที่กดให้มีอัตราสม่ำเสมอประมาณ 1.4-3.4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที
6. กดก้อนตัวอย่างทดสอบจนพัง บันทึกค่าน้ำหนักที่ได้ นำค่าน้ำหนักดังกล่าวและพื้นที่หน้าตัดของก้อนตัวอย่างทดสอบที่ได้มาหาค่ากำลังอัดเฉลี่ยตามสมการ (4.1.)

$$\text{กำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีต} = \frac{\text{น้ำหนักกดเฉลี่ย}}{\text{พื้นที่หน้าตัดของก้อนตัวอย่างทดสอบ}} \quad (4.1.)$$

หน่วยที่ใช้วัดทั่วไป คือ

1. กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (Ksc.)
2. นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร (N/mm²)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3. แสดงการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตตามมาตรฐานอเมริกา

Mix Design of Concrete

Design Criteria

Ultimate strength of Concrete (f_c')	=	180 ksc
Specific Gravity		
Portland Cement Type 1	=	3.15
Fine Aggregate (Sand)	=	2.63
Coarse Aggregate (Rock)	=	2.76
Water	=	1.00
Unit Weight of Aggregate		
Fine Aggregate (Sand)	=	1736 kg/m ³
Coarse Aggregate (Rock)	=	1666 kg/m ³
Mixing Water	=	1000 kg/m ³
Maximum Size of Aggregate	=	25 mm. (1")
Finess Modulus of Fine Aggregate	=	3.00
Percent of Coarse aggregate by volume	=	0.65 cu.m/cu.m.concrete
Slump of Concrete	=	7-10 cm.

Calculation

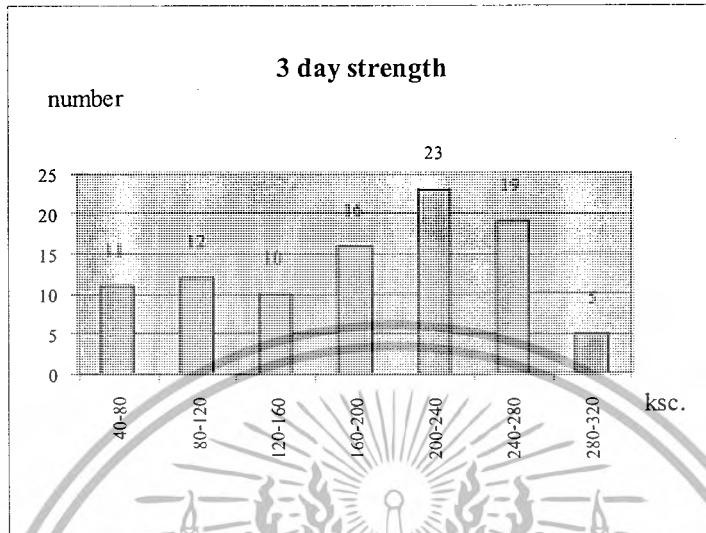
Design Mix	=	180	=	180 ksc.
Use mixing water	=	193.5	kg/cu.m.concrete	
w/c ratio (by weight)	=	0.73		
Use cement	=	$193.5/0.733$	=	264.0 kg/cu.m.concrete
Use Coarse Aggregate	=	0.65×1666	=	1082.9 kg/cu.m.concrete
Volume of cement	=	$264/(3.15 \times 1000)$	=	0.084 cu.m.
Volume of water	=	$193.5/1000$	=	0.194 cu.m.
Volume of Coarse Aggregate	=	$1082.9/(2.76 \times 1000)$	=	0.392 cu.m.
Volume of air void	=	1.50%	=	0.015 cu.m.
Volume of Fine Aggregate	=	$1 - 0.084 - 0.1935 - 0.392 - 0.015$	=	0.315 cu.m.
Use Fine Aggregate	=	$0.315 \times 2.63 \times 1000$	=	828.5 kg/cu.m.concrete

Conclusion Used Material

Material	1cu.m. of concrete		50 kg of cement	
	(kg)	(litres)	(kg)	(litres)
Cement	264	84	50	16
Water	194	194	37	37
Sand	828	315	157	60
Rock	1083	392	205	74
Total	2369	985	449	187

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลที่ได้รับจากการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต สามารถแบ่งเป็นรายละเอียดได้ดังนี้

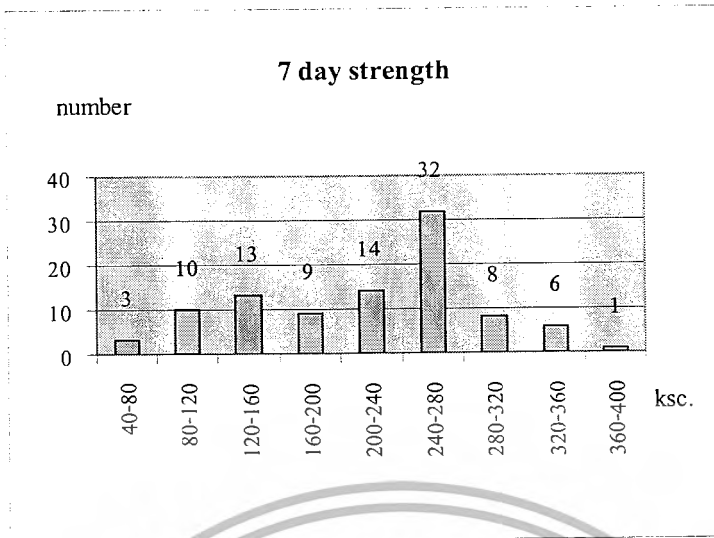


รูปที่ 4.1. แสดงการกระจายของข้อมูลกำลังอัดที่อายุ 3 วัน

ตารางที่ 4.4. แสดงร้อยละของจำนวนข้อมูลกำลังอัดที่อายุ 3 วัน

3 day		
Strength (ksc.)	Number	Percent
40-80	11	11.458
80-120	12	12.500
120-160	10	10.417
160-200	16	16.667
200-240	23	23.958
240-280	19	19.792
280-320	5	5.208
sum	96	100.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

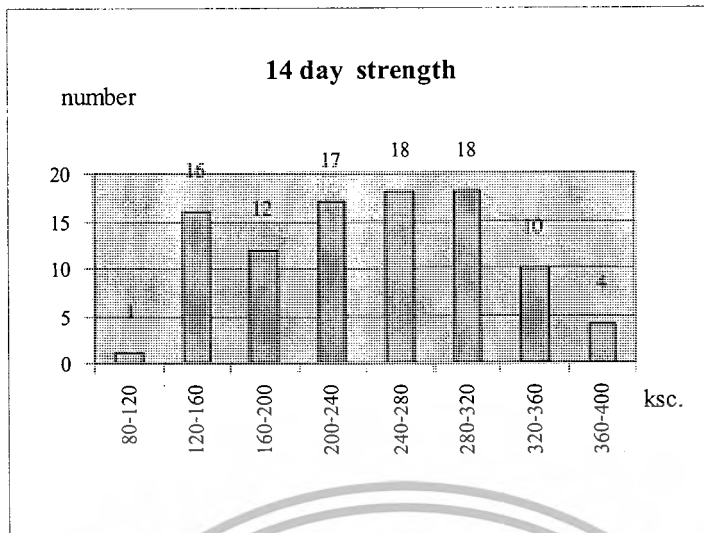


รูปที่ 4.2. แสดงการกระจายของข้อมูลกำลังอัดที่อายุ 7 วัน

ตารางที่ 4.5. แสดงร้อยละของจำนวนข้อมูลกำลังอัดที่อายุ 7 วัน

7 day		
Strength (ksc.)	Number	Percent
40-80	3	3.125
80-120	10	10.417
120-160	13	13.542
160-200	9	9.375
200-240	14	14.583
240-280	32	33.333
280-320	8	8.333
320-360	6	6.250
360-400	1	1.042
sum	96	100.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

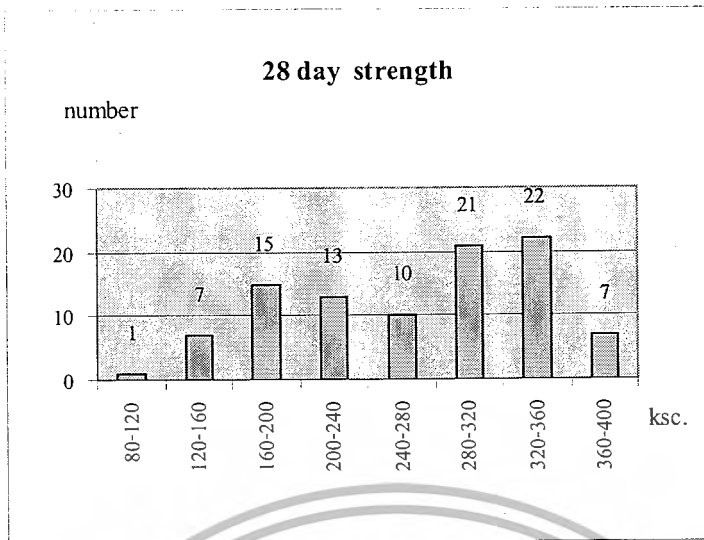


รูปที่ 4.3. แสดงการกระจายของข้อมูลกำลังอัดที่อายุ 14 วัน

ตารางที่ 4.6. แสดงร้อยละของจำนวนข้อมูลกำลังอัดที่อายุ 14 วัน

14 day		
Strength (ksc.)	Number	Percent
80-120	1	1.042
120-160	16	16.667
160-200	12	12.500
200-240	17	17.708
240-280	18	18.750
280-320	18	18.750
320-360	10	10.417
360-400	4	4.167
sum	96	100.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4. แสดงการกระจายของข้อมูลกำลังอัดที่อายุ 28 วัน

ตารางที่ 4.7. แสดงร้อยละของจำนวนข้อมูลกำลังอัดที่อายุ 28 วัน

28 day		
Strength (ksc.)	Number	Percent
80-120	1	1.042
120-160	7	7.292
160-200	15	15.625
200-240	13	13.542
240-280	10	10.417
280-320	21	21.875
320-360	22	22.917
360-400	7	7.292
sum	96	100.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2. ข้อมูลจากโรงงานผสมคอนกรีต

ปัจจุบันมีการใช้คอนกรีตผสมเสร็จมากมายหลายด้าน ทำให้มีหลายบริษัทจัดตั้งโรงงานผสมคอนกรีตมากขึ้น จึงส่งผลให้มีการพัฒนาในส่วนผสมคอนกรีตเพื่อให้ทันกับคู่แข่งในตลาด บางบริษัทมีสูตรการผสมคอนกรีตเป็นของตนเอง โดยเฉพาะ และบางบริษัทเป็นส่วนผสมคอนกรีตโดยทั่วไป

การติดต่อกับทางบริษัทเพื่อขอข้อมูลส่วนผสมคอนกรีตจึงเป็นเรื่องที่ไม่ง่ายนัก บางบริษัทจะสงวนข้อมูลไว้ บางบริษัทเห็นว่าเป็นการศึกษาวิจัยที่มีประโยชน์ก็ให้ความอนุเคราะห์อย่างเต็มที่ ในส่วนการศึกษาวิจัยนี้ได้ติดต่อขอข้อมูลจาก โรงงานผสมคอนกรีตดังนี้

4.1.2.1. ข้อมูลจากบริษัท ผลิตภัณฑ์และวัตถุก่อสร้าง (CPAC)

บริษัท ผลิตภัณฑ์และวัตถุก่อสร้าง เป็นบริษัทที่ดำเนินงานด้านคอนกรีตมาเป็นเวลานานจึงมีคุณภาพการผลิตคอนกรีตที่ดี ข้อมูลที่ได้รับความอนุเคราะห์จากทางบริษัทสามารถแบ่งได้ดังนี้

1. ข้อมูลการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต ข้อมูลที่ได้รับจะอยู่ในรูปแบบสูตรส่วนผสมที่ได้ออกแบบไว้ ไม่ได้เป็นข้อมูลจากการผสมจริง กล่าวคือ ไม่ได้เป็นข้อมูลจากเครื่องผสม โดยตรงทำให้ค่าที่ได้รับเป็นเพียงค่าตามทฤษฎีเท่านั้น
2. ข้อมูลการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต ข้อมูลที่ได้รับจะเป็นข้อมูลจากการเก็บตัวอย่างคอนกรีตที่ผสมแล้ว และนำมาทดสอบเพื่อหาค่ากำลังอัดของคอนกรีต ซึ่งในการทดสอบจะแบ่งตามอายุของคอนกรีต

โครงการวิจัยนี้จำเป็นต้องมีส่วนผสมคอนกรีตที่ได้ผสมจริงจากเครื่องผสม อีกทั้งการทดสอบคอนกรีตต้องมีส่วนสัมพันธ์กับส่วนผสมคอนกรีตนั้นๆ จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับเบื้องต้น ทำให้พิจารณาไม่ใช้ข้อมูลของบริษัท ผลิตภัณฑ์และวัตถุก่อสร้าง เนื่องจากว่าข้อมูลที่ได้รับไม่ตรงตามวัตถุประสงค์ของข้อมูลที่ได้กำหนดไว้

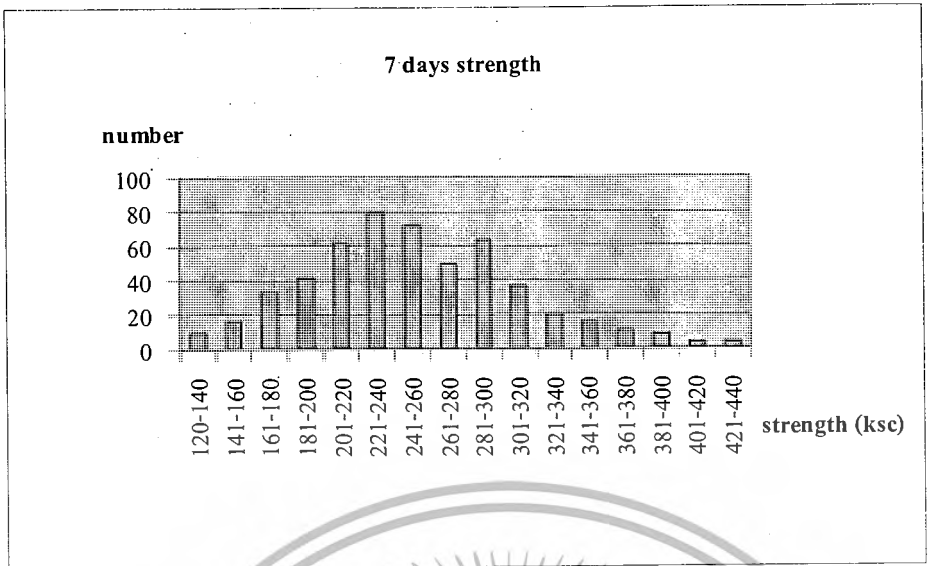
4.1.2.2. ข้อมูลจากบริษัท ทีพีไอ คอนกรีต จำกัด

บริษัท ทีพีไอ คอนกรีต จำกัด เป็นบริษัทที่มีคุณภาพในการผลิตคอนกรีตอีกบริษัทหนึ่ง ข้อมูลที่ได้รับความอนุเคราะห์จากทางบริษัทสามารถแบ่งได้ดังนี้

1. ข้อมูลส่วนผสมคอนกรีตจากเครื่องผสม เป็นข้อมูลอัตราส่วนผสมคอนกรีตจริงที่ได้จากเครื่องผสม
2. ข้อมูลการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต ข้อมูลที่ได้รับจะเป็นข้อมูลจากการเก็บตัวอย่างคอนกรีตที่ผสมแล้ว และนำมาทดสอบเพื่อหาค่ากำลังอัดของคอนกรีต ซึ่งในการทดสอบจะแบ่งตามอายุของคอนกรีตที่ 7 วัน และ 28 วัน
3. ข้อมูลการทดสอบวัสดุผสมคอนกรีต ข้อมูลที่ได้รับจะเป็นการทดสอบมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด ทางบริษัทได้กำหนดให้มีการทดสอบวัสดุผสมคอนกรีตเป็นประจำทุกเดือน ซึ่งผลการทดสอบที่ได้มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากทางบริษัทได้มีการนำเข้าวัสดุจากแหล่งเดียวกันตลอด ผลการทดสอบจะเป็นปัจจัยหนึ่งในการพิจารณาความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีต

จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับทั้ง 3 ส่วน พบว่าข้อมูลตรงตามวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกใช้ข้อมูลจากบริษัท ทีพีไอ คอนกรีต จำกัด ซึ่งจำนวนข้อมูลที่ได้รับมีทั้งสิ้น 1,250 ข้อมูล สามารถแบ่งเป็นรายละเอียดได้ดังนี้



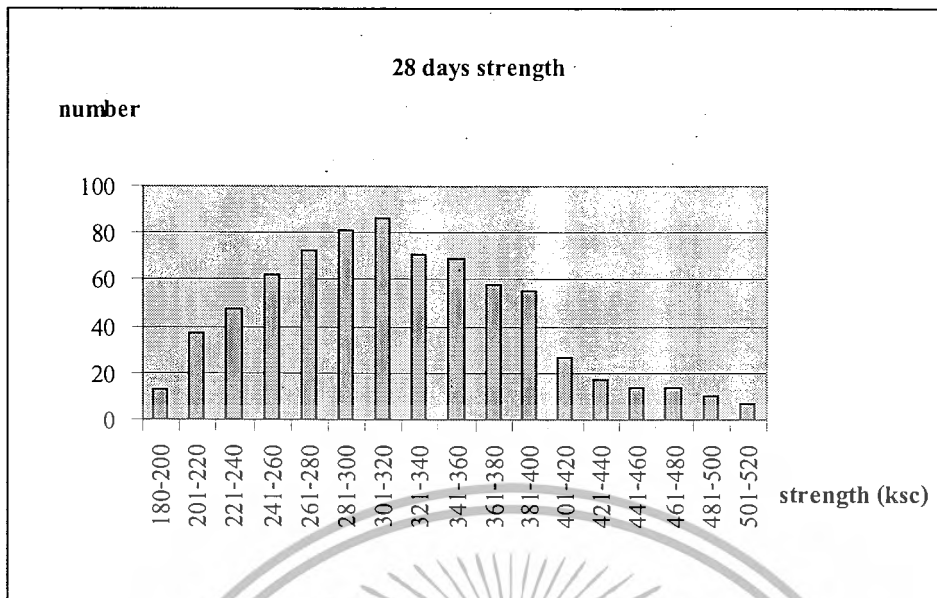


รูปที่ 4.5. แสดงการกระจายของข้อมูลกำลังอัดทั้งหมดที่อายุ 7 วัน

ตารางที่ 4.8. แสดงร้อยละของจำนวนข้อมูลกำลังอัดทั้งหมดที่อายุ 7 วัน

Strength(ksc)	number	percent(%)
120-140	10	1.91
141-160	17	3.25
161-180	33	6.31
181-200	41	7.84
201-220	61	11.66
221-240	79	15.11
241-260	72	13.77
261-280	49	9.37
281-300	64	12.24
301-320	36	6.88
321-340	20	3.82
341-360	15	2.87
361-380	11	2.10
381-400	8	1.53
401-420	3	0.57
421-440	4	0.76
sum	523	100.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6. แสดงการกระจายของข้อมูลกำลังอัดทั้งหมดที่อายุ 28 วัน

ตารางที่ 4.9. แสดงร้อยละของจำนวนข้อมูลกำลังอัดทั้งหมดที่อายุ 28 วัน

Strength (ksc)	number	percent (%)
180-200	13	1.76
201-220	37	5.00
221-240	47	6.35
241-260	62	8.38
261-280	72	9.73
281-300	81	10.95
301-320	86	11.62
321-340	71	9.59
341-360	69	9.32
361-380	58	7.84
381-400	55	7.43
401-420	27	3.65
421-440	17	2.30
441-460	14	1.89
461-480	14	1.89
481-500	10	1.35
501-520	7	0.95
sum	740	100.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.3. ข้อมูลจากบริษัท นำเสง คอนกรีต จำกัด

บริษัท นำเสง คอนกรีต จำกัด เป็นบริษัทที่มีคุณภาพในการผลิตคอนกรีตอีกบริษัทหนึ่ง ข้อมูลที่ได้รับความอนุเคราะห์จากทางบริษัทสามารถแบ่งได้ดังนี้

1. ข้อมูลส่วนผสมคอนกรีตจากเครื่องผสม เป็นข้อมูลอัตราส่วนผสมคอนกรีตจริงที่ได้จากเครื่องผสม แต่ทั้งนี้ทางบริษัทมิได้กำหนดปริมาณน้ำในทรายมาให้ อัตราส่วนของน้ำที่ใช้เป็นส่วนผสมจึงมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากน้ำในทรายอยู่บ้าง
2. ข้อมูลการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต ข้อมูลที่ได้รับจะเป็นข้อมูลจากการเก็บตัวอย่างคอนกรีตที่ผสมแล้ว และนำมาทดสอบเพื่อหาค่ากำลังอัดของคอนกรีต ซึ่งในการทดสอบจะแบ่งตามอายุของคอนกรีตที่ 7 วัน และ 28 วัน
3. ข้อมูลการทดสอบวัสดุผสมคอนกรีต ข้อมูลที่ได้รับจะเป็นการทดสอบมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด ผลการทดสอบจะเป็นปัจจัยหนึ่งในการพิจารณาค่าความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีต

จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับทั้ง 3 ส่วน พบว่าข้อมูลในส่วนผสมคอนกรีตมีความคลาดเคลื่อนในส่วนปริมาณน้ำที่ใช้ เนื่องจากไม่ได้คิดปริมาณน้ำที่อยู่ในทรายร่วมด้วย ดังนั้นจึงพิจารณาไม่ใช้ข้อมูลจากบริษัท นำเสง คอนกรีต จำกัด

4.2. การจัดเก็บข้อมูล

การจัดเก็บข้อมูลให้สามารถนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น จำเป็นต้องมีรูปแบบการจัดเก็บที่มีระบบ สำหรับปัจจุบันโปรแกรม Access นับเป็นโปรแกรมที่นิยมใช้กันมาก โดยเฉพาะในระบบฐานข้อมูลขนาดใหญ่ สามารถสร้างแบบฟอร์มที่ต้องการจะเรียกดูข้อมูลในฐานข้อมูลหลังจากบันทึกข้อมูลในฐานข้อมูลเรียบร้อยแล้ว จะสามารถค้นหาหรือเรียกดูข้อมูลจากเขตข้อมูลใดก็ได้ นอกจากนี้ Access ยังมีระบบรักษาความปลอดภัยของข้อมูล โดยการกำหนดรหัสผ่านเพื่อป้องกันความปลอดภัยของข้อมูลในระบบได้ด้วย และยังติดตั้งได้ง่าย

การจัดเก็บข้อมูลลงในโปรแกรม Access มีส่วนสำคัญอย่างยิ่งสำหรับโครงการวิจัยนี้ เนื่องจากว่าฐานข้อมูลที่อยู่ในโปรแกรม Access สามารถที่จะนำไปใช้งานต่อในส่วนโครงข่ายประสาทเทียมได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด ดังนั้นจึงเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดสำหรับการจัดเก็บข้อมูลในโครงการวิจัยนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การจัดการข้อมูลและฐานข้อมูล

5.1. กล่าวนำ

ในชีวิตประจำวันในปัจจุบันนี้ ไม่ว่าจะดำเนินงานใด ๆ มนุษย์จะต้องเกี่ยวข้องกับข้อมูลอย่างใดอย่างหนึ่งเสมอ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อเทคโนโลยีของโลกได้พัฒนาขึ้น จนกระทั่งปัจจุบันที่มีการใช้คอมพิวเตอร์กันอย่างกว้างขวาง ข้อมูลในด้านต่าง ๆ ซึ่งในอดีตจัดเก็บอยู่บนกระดาษ ปัจจุบันถูกนำมาจัดเก็บในคอมพิวเตอร์แทน เนื่องจากข้อมูลที่มีอยู่นั้นมีจำนวนมาก จึงต้องมีการจัดการข้อมูลและฐานข้อมูล ซึ่งการจัดเก็บจะมีประสิทธิภาพสูงสุด ผู้จัดการจำเป็นต้องรู้ว่าอะไรเป็นข้อมูลที่เราสามารถหาได้และจะเข้าถึงข้อมูลนั้นได้อย่างไร การนำข้อมูลนั้นมาช่วยในการตัดสินใจ ในปัจจุบันข้อมูลที่จะใช้ในการตัดสินใจเกี่ยวกับการจัดการ ส่วนใหญ่จะถูกเก็บในรูปแบบของแฟ้มข้อมูลและฐานข้อมูลทางคอมพิวเตอร์เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการทำงาน

5.2. การจัดการข้อมูลและฐานข้อมูล

การจัดการข้อมูล (Data management) ข้อมูล คือข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้นของกิจกรรมใดกิจกรรมหนึ่ง โดยการสังเกต การจดบันทึก การสัมภาษณ์และการออกแบบสอบถาม ข้อมูลที่ได้มานั้นยังคงเป็นข้อมูลดิบ ไม่สามารถที่จะนำมาใช้ในการตัดสินใจในการกระทำในเชิงการจัดการและข้อมูลที่รวบรวมมามีจะไม่มีการจัดระเบียบอาจจะมีการซ้ำซ้อนของข้อมูลหรือข้อมูลชนิดเดียวกันอาจจะขัดแย้งกันก็ได้ ดังนั้นองค์กรจะต้องมีการวางแผนในการจัดการบริหารฐาน ข้อมูลที่ดีจึงจะได้ประโยชน์จากข้อมูลที่จัดเรียบเรียงไว้ การเรียบเรียงให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมต่อการนำเสนอต่อองค์กร จะถูกเรียกว่า สารสนเทศ (Information)

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

1.เพิ่มข้อมูล (File)

2.ฐานข้อมูล (Database)

ข้อมูลที่เก็บอยู่อาจเป็น เพิ่มข้อมูลเดียว หรือ หลายเพิ่มข้อมูล ส่วนฐานข้อมูลจะเป็น การรวบรวมเพิ่มข้อมูลหลาย ๆ เพิ่มข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันเก็บไว้ในที่ที่เดียวกัน ในหน่วยเก็บข้อมูลสำรอง เช่น งานแม่เหล็ก หรือ ดิสก์ เพื่อให้บุคลากรจากหลาย ๆ หน่วยงานสามารถใช้ฐานข้อมูลที่ ร่วมกันได้ข้อมูลที่เก็บอยู่ในลักษณะเพิ่มข้อมูลจะประกอบไปด้วยข้อมูลหลาย ๆ รายการ ซึ่งแต่ละรายการ เรียกว่า ระเบียบ หรือ เร็คคอร์ด และในแต่ละ เร็คคอร์ด จะประกอบไปด้วย ส่วนย่อย ๆ เรียกว่า เขต ข้อมูล หรือฟิลด์

ฐานข้อมูลเป็นการจัดเก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบ ทำให้ผู้ใช้สามารถใช้ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ในระบบงานต่าง ๆ ร่วมกันได้ โดยที่จะไม่เกิดความซ้ำซ้อนของข้อมูล และยังสามารถหลีกเลี่ยงความขัดแย้งของข้อมูลด้วย อีกทั้งข้อมูลในระบบก็จะต้องเชื่อถือได้ และเป็นมาตรฐานเดียวกัน โดยจะมีการ กำหนดระบบความปลอดภัยของข้อมูลขึ้น

ระบบจัดการฐานข้อมูลเป็นซอฟต์แวร์ชนิดหนึ่งคล้ายระบบปฏิบัติการทั่วไป มีหน้าที่ ให้บริการแก่ผู้ใช้งานฐานข้อมูล และผู้เขียนโปรแกรม ในการจัดการกับข้อมูลใด ๆ ภายในฐานข้อมูล ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบจัดการฐานข้อมูลออกมามากมายเพื่อใช้งานกับเครื่องระดับตั้งแต่ไมโคร คอมพิวเตอร์ จนถึงเครื่องระดับเมนเฟรม แต่ละตัวมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน และมีความสามารถที่แตกต่างกัน ตลอดจนราคาที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ในการใช้ ระบบจัดการฐานข้อมูล จะต้องคำนึงถึงการเข้ากันได้ของระบบฮาร์ดแวร์ที่ใช้อยู่ รวมทั้งระบบปฏิบัติการที่ใช้อยู่ด้วย

โปรแกรมฐานข้อมูลที่น่ามาใช้ได้แก่ โปรแกรม Access นับเป็นโปรแกรมที่นิยมใช้กันมาก โดยเฉพาะในระบบฐานข้อมูลขนาดใหญ่ สามารถสร้างแบบฟอร์มที่ต้องการจะเรียกดูข้อมูลใน ฐานข้อมูล หลังจากบันทึกข้อมูลในฐานข้อมูลเรียบร้อยแล้ว จะสามารถค้นหาหรือเรียกดูข้อมูลจากเขต ข้อมูลใดก็ได้ นอกจากนี้ Access ยังมีระบบรักษาความปลอดภัยของข้อมูล โดยการกำหนดรหัสผ่าน เพื่อป้องกันความปลอดภัยของข้อมูลในระบบได้ด้วย และยังติดตั้งได้ง่าย

ในการที่จะเลือกจัดเก็บข้อมูลจะจัดเก็บโดยต้องอาศัยหลักการในการพิจารณาระบบ ฐานข้อมูลและข้อมูลดังต่อไปนี้ซึ่งในที่นี้เราเลือกระบบไมโครซอฟท์แอคเซสในการจัดการข้อมูลโดยมี การจัดการข้อมูลดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ข้อมูลผลการทดสอบการรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่ได้รับข้อมูลถูกจัดไว้ในฐานข้อมูลไมโครซอฟท์แอคเซส อยู่แล้วซึ่งง่ายในการจัดการ และใช้เวลาในการศึกษาใช้ไม่มาก
2. ในการบันทึกข้อมูลข้อมูลออกแบบส่วนผสมคอนกรีตได้รับข้อมูลเป็นส่วนของปริ้นเอาท์(print out) ซึ่งถูกจกเก็บไว้ในกระดาษที่บันทึกค่าโดยระบบคอมพิวเตอร์ แต่ข้อมูลที่ได้จำเป็นต้องมีการนำค่าที่ได้ไปกระทำกันแบบคณิตศาสตร์ทำให้เริ่มแรกเลือกที่จะบันทึกค่าต่างๆในไมโครซอฟท์แอคเซลล์ (Microsoft Excel) ซึ่งระบบฐานข้อมูลแบบไมโครซอฟท์แอคเซส (Microsoft Access)สามารถที่จะเปลี่ยนได้ง่ายและถูกต้องกว่าระบบฐานข้อมูลอื่นๆ

5.3. โครงสร้างความสัมพันธ์ของข้อมูล

ในการจัดการข้อมูลเพื่อจัดเป็นฐานข้อมูลหลักนั้นจำเป็นต้องทราบถึงหลักการของการจัดการข้อมูลและการจัดการฐานข้อมูลเพื่อสามารถที่จะประเมินค่าของข้อมูลที่ได้รับมาว่ามีความน่าเชื่อถือและความสอดคล้องสัมพันธ์กันอย่างไร และจะได้ข้อมูลที่ครบถ้วนสมบูรณ์

สำหรับข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยการพัฒนาระบบฐานข้อมูลเพื่อการพยากรณ์ค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม โดยทั้งนี้ได้จัดทำการวิเคราะห์ค่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าความสามารถในการต้านทานแรงอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอกดังในบทที่ 2 สำหรับข้อมูลที่รวบรวมได้รับการอนุเคราะห์ข้อมูลมาจากบริษัท ผลิภัณฑ์แล้วตุ๊กก่อสร้าง จำกัด โรงงานผสมคอนกรีต บริษัท ที พี ไอ คอนกรีต จำกัด และ บริษัท น้ำเฮงคอนกรีต จำกัด โดยข้อมูลที่ต้องการและข้อมูลที่ได้รับนั้นได้มานั้นแยกเป็นส่วนต่างๆ ดังแสดงในบทที่ 4 สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลที่มีความสมบูรณ์และสามารถนำมาใช้ในโครงการพิเศษนี้ได้ จะมีแต่ข้อมูลที่ผสมตัวอย่างขึ้นเองกับข้อมูลจาก บริษัท ที พี ไอ คอนกรีต จำกัด เท่านั้นที่มีข้อมูลครบถ้วนตามที่ต้องการ

โดยในฐานข้อมูลได้มีการจัดเรียงข้อมูลที่ไว้วิเคราะห์แล้วลงในฐานข้อมูลไมโครซอฟท์แอคเซส (Microsoft Access) ดังตารางที่ 5.1.

;

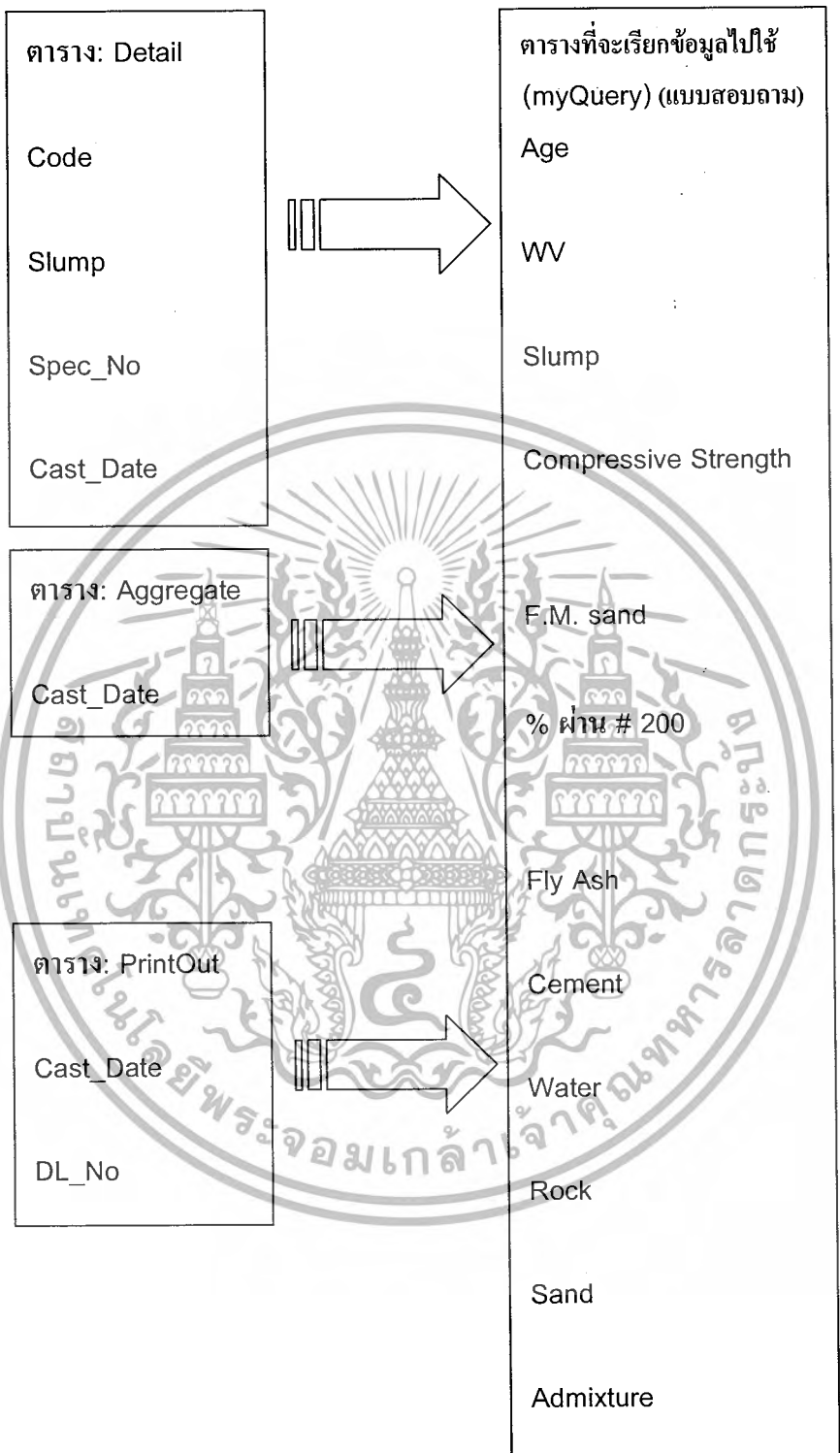
ตารางที่ 5.1. แสดงข้อมูลที่จัดเรียงในตารางฐานข้อมูล ไมโครซอฟท์แอคเซส (Microsoft Access)

Rock	ค่าทศนิยม	
Sand	ค่าทศนิยม	ค่าน้ำหนักทรายที่ใช้ (kg.)
Cement	ค่าทศนิยม	ค่าน้ำหนักซีเมนต์ที่ใช้ (kg.)
Water Reducing and Retarding	ค่าทศนิยม	ค่าน้ำหนักของ Admixture type D ที่ใช้ (kg.)
Fly_Ash	ค่าทศนิยม	ค่าน้ำหนักของ Fly Ash ที่ใช้ (kg.)
Water	ค่าทศนิยม	ค่าน้ำหนักน้ำที่ใช้ (kg.)
Slump	ค่าทศนิยม	ค่า slump ของลูกปูนที่ทำการทดสอบ(cm.)
Ages	จำนวนเต็ม	อายุลูกปูน(วัน)
Compress	ค่าทศนิยม	ค่าความแข็งแรงของคอนกรีตที่ทดสอบได้(kg./ cm ² .)
WV	ค่าทศนิยม	ค่าความหนาแน่น(kg./m ³ .)
% ผ่าน # 200	ค่าทศนิยม	ค่าเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์200ของทราย(cm ² ./kg.)
FM_Sand	ค่าทศนิยม	ค่าโมดูลัสความละเอียดของทราย

การรักษาความปลอดภัยของฐานข้อมูล

การรักษาความปลอดภัยของฐานข้อมูลทำได้โดยกำหนดรหัสผ่าน เป็นการง่ายสำหรับเปิดฐานข้อมูล เมื่อมีการกำหนดรหัสผ่าน กล้องได้ตอบที่ร้องขอรหัสผ่านจะปรากฏขึ้นเมื่อมีการเปิดฐานข้อมูล เฉพาะผู้ใช้ที่พิมพ์รหัสผ่านถูกต้องเท่านั้นที่จะได้รับอนุญาตเปิดฐานข้อมูล วิธีการนี้มีความปลอดภัย (ไมโครซอฟท์แอคเซส จะเข้ารหัสรหัสผ่าน ซึ่งไม่สามารถเข้าถึงจากการอ่านเพิ่มฐานข้อมูลโดยตรง) แต่จะใช้เฉพาะการเปิดฐานข้อมูล ทันทีที่ฐานข้อมูลถูกเปิด วัตถุทั้งหมดจะมีให้ผู้ใช้ใช้ได้ (นอกจากมีการกำหนดค่าระบบความปลอดภัยระดับผู้ใช้)

สำหรับฐานข้อมูลที่ใช้ร่วมกันในกลุ่มผู้ใช้ขนาดเล็ก หรือในผู้ใช้คอมพิวเตอร์เครื่องเดียวแค่การกำหนดรหัสผ่านอย่างเดียวก็เพียงพอ โดยรหัสผ่านในที่นี้ได้ใช้เป็น "44010790"



รูปที่ 5.1. แสดงการเชื่อมโยงข้อมูลตารางฐานข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4. สถาปัตยกรรมของโปรแกรม

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

แม้จะมีได้มีกฎเกณฑ์ที่แน่นอนในการคำนวณหาค่าจำนวนรอบที่เหมาะสม แต่การตรวจสอบแนวโน้มความเปลี่ยนแปลง ของค่า Root mean squares error (RMSE) ในแต่ละรอบที่ใช้สอนมีการแสดงผลเป็นตัวเลขก็ทำให้มั่นใจได้ว่าการทดสอบของระบบได้ค่าความแตกต่างของความผิดพลาดที่ต่ำสุด ระบบสามารถเรียนรู้จำ(Overfit)ไม่เกินความจำเป็นค่าดังกล่าว ในส่วนของค่าผลต่างความผิดพลาดของผลลัพธ์ดังแสดงในสมการที่ 5.1, 5.2, และสมการที่ 5.3.

$$SSE = \sum_{i=1}^n (D_i - D_i^*)^2 \quad (5.1)$$

$$MSE = \frac{SSE}{n} \quad (5.2)$$

$$RMSE = \sqrt{MSE} \quad (5.3)$$

เมื่อ

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

5.4.1. การวิเคราะห์หาโมเดลที่ดีที่สุดของ Artificial Neural Networks

5.4.1.1. ตรวจสอบความถูกต้องเบื้องต้นของข้อมูล

จากการตรวจสอบค่าเฉลี่ยและค่าต่ำสุดสูงสุดของข้อมูลเบื้องต้นพบว่าข้อมูลที่ได้มา มีความถูกต้องอยู่ในระดับหนึ่ง

Parameter	Min	Mean	Max
Unit cement content	212	291.60	500
Unit fine aggregate content	618.52	888.53	1282.40
Unit coarse aggregate content	992	1099.50	1197
Unit water content	97.896	190.77	255.40
Admixture type D	0	1.059	3.73
Age	7	19.583	28
Pulverized fuel ash	0	43.10	96
Fineness modulus	2.05	2.6811	3.53
Dust	8.20	21.027	60.324

5.4.1.2. หาวิธีการเรียนรู้และโมเดลที่ดีที่สุด

หลังจากนำข้อมูลมาจัดเก็บอยู่ฐานข้อมูลในรูปแบบที่พร้อมจะนำมาใช้งานแล้วทดลองให้ระบบนิเวศน์เน็ตเวิร์คทำการเรียนรู้ลักษณะของข้อมูลเบื้องต้น ได้ผลดังนี้

การทดลองที่ 1 : เก็บข้อมูลเบื้องต้น

Model No.	layers	hidden nodes	epochs	RMSE
1	1	7	100	45.419
2	1	7	200	40.903
3	1	8	100	42.165
4	1	8	200	37.660
5	1	9	100	45.826
6	1	9	200	37.990
7	1	10	100	45.408
8	1	10	200	37.185
9	1	11	100	44.596
10	1	11	200	37.452
11	1	12	100	48.045
12	1	12	200	36.663
13	2	7	100	47.441
14	2	7	200	39.017
15	2	8	100	45.119
16	2	8	200	38.342
17	2	9	100	43.851
18	2	9	200	38.552
19	2	10	100	41.666
20	2	10	200	40.970
21	2	11	100	42.660
22	2	11	200	40.549
23	2	12	100	43.552
24	2	12	200	37.344
25	3	7	100	50.938
26	3	7	200	38.939
27	3	8	100	46.273
28	3	8	200	38.598
29	3	9	100	44.714
30	3	9	200	37.276
31	3	10	100	44.080
32	3	10	200	38.767
33	3	11	100	45.241
34	3	11	200	40.382
35	3	12	100	44.139
36	3	12	200	39.906

วิธีการเรียนรู้ของนิเวรอลใช้ Traingdx

(Gradient descent with momentum and adaptive learning rate backpropagation)

จำนวน Epochs อยู่ใน set (100,200) : เพื่อดูแนวโน้มการปรับตัวเบื้องต้น

จำนวน Nodes/layer อยู่ใน set (7,8,9,10,11,12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 60 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลอง สังเกตได้คร่าวๆว่า สำหรับวิธีการเรียนรู้แบบ trainidx จำนวน nodes/layer ที่เหมาะสมสำหรับการเริ่มต้นอยู่ในช่วง 8-12 nodes แต่จำนวนชั้น ยังไม่สามารถระบุได้ชัด เพราะข้อมูลยังน้อยอยู่

ทดลองทำการเปลี่ยนวิธีการเรียนรู้ของตัวนิวรอลเน็ตเวิร์คเป็นวิธีต่างๆ ได้ผลดังนี้

การทดลองที่ 2 : พิสูจน์ความแตกต่างของวิธีการเรียนรู้

Model	layers	nodes/layer	Performance(RMSE train)	Train Method
83	3	12	21.585	trainlm
81	3	10	24.795	trainlm
69	3	10	25.583	trainbr
80	2	13	25.721	trainlm
79	2	12	25.953	trainlm
78	2	11	26.035	trainlm
71	3	12	26.135	trainbr
68	2	13	26.532	trainbr
72	3	13	27.021	trainbr
77	2	10	27.051	trainlm
66	2	11	27.267	trainbr
67	2	12	27.656	trainbr
70	3	11	27.678	trainbr
65	2	10	27.904	trainbr
76	1	13	29.122	trainlm
82	3	11	29.236	trainlm
64	1	13	30.414	trainbr
75	1	12	30.468	trainlm
73	1	10	30.641	trainlm
63	1	12	30.718	trainbr
61	1	10	30.738	trainbr
74	1	11	30.883	trainlm
62	1	11	31.090	trainbr
60	3	13	33.432	trainrp
57	3	10	33.528	trainrp
59	3	12	33.610	trainrp
55	2	12	34.007	trainrp
54	2	11	34.274	trainrp

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 61 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Model	layers	nodes/layer	Performance(RMSE train)	Train Method
53	2	10	34.277	trainrp
58	3	11	34.385	trainrp
56	2	13	34.701	trainrp
51	1	12	35.286	trainrp
50	1	11	35.469	trainrp
49	1	10	35.833	trainrp
52	1	13	35.847	trainrp
13	1	10	40.106	traingda
42	2	11	40.838	traingdx
45	3	10	41.527	traingdx
47	3	12	41.579	traingdx
37	1	10	41.617	traingdx
48	3	13	41.646	traingdx
15	1	12	41.756	traingda
14	1	11	41.763	traingda
43	2	12	41.954	traingdx
16	1	13	41.974	traingda
39	1	12	41.989	traingdx
46	3	11	42.212	traingdx
17	2	10	42.559	traingda
38	1	11	42.869	traingdx
20	2	13	43.449	traingda
18	2	11	43.877	traingda
24	3	13	43.905	traingda
44	2	13	44.241	traingdx
41	2	10	44.245	traingdx
22	3	11	45.054	traingda
23	3	12	45.278	traingda
40	1	13	46.029	traingdx
21	3	10	46.873	traingda
19	2	12	47.319	traingda
36	3	13	47.751	traingdm
10	3	11	52.430	traingd
33	3	10	52.736	traingdm
31	2	12	53.095	traingdm
12	3	13	54.114	traingd
11	3	12	54.469	traingd

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Model	layers	nodes/layer	Performance(RMSE train)	Train Method
32	2	13	55.030	traingdm
9	3	10	55.859	traingd
8	2	13	55.906	traingd
34	3	11	56.175	traingdm
28	1	13	58.708	traingdm
35	3	12	59.040	traingdm
30	2	11	61.165	traingdm
1	1	10	61.482	traingd
27	1	12	66.568	traingdm
6	2	11	69.407	traingd
2	1	11	73.141	traingd
5	2	10	73.927	traingd
29	2	10	76.579	traingdm
25	1	10	77.234	traingdm
7	2	12	79.920	traingd
26	1	11	81.342	traingdm
3	1	12	82.985	traingd
4	1	13	102.57	traingd

เงื่อนไขในการทดลอง

Fixed ทุก parameters ของการเรียนรู้ให้คงที่ (เป็นค่า Default) และเปลี่ยนวิธีการเรียนรู้กับ โครงสร้างของนิวรอนไปในช่วงจำกัด

วิธีการเรียนรู้ที่นำมาใช้ได้แก่

1. traingd

Gradient descent backpropagation

traingd is a network training function that updates weight and bias values according to gradient descent.

2. traingda

Gradient descent with adaptive learning rate backpropagation

traingda is a network training function that updates weight and bias values according to gradient descent with adaptive learning rate.

3. traingdm

Gradient descent with momentum backpropagation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 63 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

traindm is a network training function that updates weight and bias values according to gradient descent with momentum.

4. traingdx

Gradient descent with momentum and adaptive learning rate backpropagation
traingdx is a network training function that updates weight and bias values according to gradient descent momentum and an adaptive learning rate.

5. trainrp

Resilient backpropagation

trainrp is a network training function that updates weight and bias values according to the resilient backpropagation algorithm (RPROP).

6. trainbr

Bayesian regularization backpropagation

trainbr is a network training function that updates the weight and bias values according to Levenberg-Marquardt optimization. It minimizes a combination of squared errors and weights, and then determines the correct combination so as to produce a network that generalizes well. The process is called Bayesian regularization.

7. trainlm

Levenberg-Marquardt backpropagation

trainlm is a network training function that updates weight and bias values according to Levenberg-Marquardt optimization.

สรุปผลการทดลอง

พบว่าค่า RMSE (ของการเทรนระบบ) ของวิธีการที่ต่างกันให้ผลที่ต่างกันมากกว่าการเปลี่ยนโครงสร้างของเครือข่ายนิวรอล จึงออกแบบการทดลองใหม่เพิ่มเติมเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของต่างโมเดลในกรณีที่ใช้กับข้อมูลที่ยังไม่ได้ทำการเรียนรู้ (Unseen data) เพิ่มเติมและเพิ่มการตรวจสอบหาจุดที่นิวรอลมีความใกล้เคียงกับชุดข้อมูลที่สุด โดยการใช้วิธี Early Stopping โดยการแบ่งข้อมูลออกเป็น 3 ชุด ในอัตราส่วน (3:1:1) โดย 3 ส่วนแรกใช้ในการเรียนรู้, ส่วนต่อมาใช้ในการตรวจสอบหาจุดเสถียรของนิวรอลเพื่อป้องกันกรณี Overfitting data ของนิวรอล และส่วนสุดท้ายใช้สำหรับทดสอบหาประสิทธิภาพกับข้อมูลที่ยังไม่เคยเจอมาก่อน (Unseen data)

การทดลองที่ 3 : คัดเลือกวิธีการเรียนรู้ที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด

Model	Layers	Nodes/Layer	RMSE(train)	RMSE(test)	Training Method
1	1	8	45.208	42.230	gd
2	1	9	41.968	42.702	gd
3	1	10	48.943	47.256	gd
4	1	11	46.014	44.061	gd
5	1	12	43.400	44.462	gd
6	1	13	49.054	50.589	gd
7	1	8	38.561	39.926	gda
8	1	9	43.218	44.747	gda
9	1	10	38.965	37.103	gda
10	1	11	40.278	40.411	gda
11	1	12	42.348	43.387	gda
12	1	13	43.665	41.069	gda
13	1	8	44.184	43.144	gdm
14	1	9	53.663	53.526	gdm
15	1	10	45.931	44.684	gdm
16	1	11	48.200	47.041	gdm
17	1	12	42.640	41.987	gdm
18	1	13	44.758	45.320	gdm
19	1	8	38.947	37.643	gdx
20	1	9	37.739	37.540	gdx
21	1	10	39.133	38.198	gdx
22	1	11	36.774	38.044	gdx
23	1	12	35.861	37.293	gdx
24	1	13	36.207	37.758	gdx
25	1	8	34.011	36.922	rp
26	1	9	34.999	37.542	rp
27	1	10	35.715	36.973	rp
28	1	11	35.583	37.186	rp
29	1	12	34.564	37.552	rp
30	1	13	35.867	39.398	rp
31	1	8	32.825	35.903	br
32	1	9	32.775	37.958	br
33	1	10	30.834	37.520	br
34	1	11	32.887	37.082	br
35	1	12	33.138	36.246	br
36	1	13	33.817	36.828	br
37	1	8	31.902	36.162	lm
38	1	9	29.899	38.184	lm
39	1	10	32.474	35.951	lm
40	1	11	30.335	37.329	lm
41	1	12	32.318	37.454	lm
42	1	13	31.126	38.055	lm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เงื่อนไขการทดลอง

Fix parameter อื่นเป็น default ทั้งหมดและใช้ Early Stopping

สรุปผลการทดลอง

วิธีการเรียนรู้แบบ trainlm,trainbr ให้ผลค่อนข้างดี ส่วนวิธีการเรียนรู้แบบ trainrp,traingda และ traingdx ให้ผลในระดับปานกลาง ส่วนวิธีการเรียนรู้แบบ traingd และ traingdm มีประสิทธิภาพต่ำเกินไป

การทดลองที่ 4 : คัดเลือกวิธีการเรียนรู้ที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด

เลือกวิธีการเรียนรู้มา 4 วิธี ได้แก่ trainlm,trainbr,trainrp และ traingdx ทดลองซ้ำอีกครั้ง แต่ทดลองในกรณีหลาย hidden layers เพื่อตรวจสอบเพิ่มเติม ได้ผลดังนี้

Model	layers	nodes/layer	RMSE(train)	RMSE(test)	Method
1	1	8	37.579	37.943	gdx
2	1	9	38.423	38.079	gdx
3	1	10	37.777	37.579	gdx
4	1	11	36.638	37.185	gdx
5	1	12	36.578	37.187	gdx
6	1	13	38.127	36.736	gdx
7	2	8	55.387	49.550	gdx
8	2	9	42.051	41.274	gdx
9	2	10	38.538	39.186	gdx
10	2	11	37.929	37.767	gdx
11	2	12	38.520	39.874	gdx
12	2	13	37.021	40.092	gdx
13	3	8	41.735	41.156	gdx
14	3	9	39.541	38.502	gdx
15	3	10	54.310	51.709	gdx
16	3	11	40.552	41.216	gdx
17	3	12	40.342	40.224	gdx
18	3	13	39.220	38.210	gdx
19	1	8	36.085	37.652	rp
20	1	9	35.560	36.546	rp
21	1	10	34.343	36.576	rp
22	1	11	34.872	37.106	rp
23	1	12	36.877	39.996	rp
24	1	13	34.153	37.725	rp
25	2	8	34.333	39.019	rp
26	2	9	37.210	38.468	rp

Model	layers	nodes/layer	RMSE(train)	RMSE(test)	Method
27	2	10	36.128	37.482	rp
28	2	11	34.784	38.622	rp
29	2	12	34.819	37.179	rp
30	2	13	31.920	39.172	rp
31	3	8	35.092	38.498	rp
32	3	9	34.638	37.593	rp
33	3	10	34.551	37.324	rp
34	3	11	33.762	37.787	rp
35	3	12	34.946	37.753	rp
36	3	13	35.022	37.376	rp
37	1	8	34.027	36.841	br
38	1	9	33.570	36.758	br
39	1	10	30.896	37.624	br
40	1	11	32.241	36.846	br
41	1	12	32.644	38.108	br
42	1	13	31.763	36.830	br
43	2	8	31.287	36.275	br
44	2	9	33.536	35.433	br
45	2	10	32.661	36.243	br
46	2	11	29.029	38.294	br
47	2	12	33.643	36.627	br
48	2	13	30.886	36.315	br
49	3	8	32.559	35.569	br
50	3	9	33.621	35.447	br
51	3	10	33.047	35.951	br
52	3	11	32.310	36.610	br
53	3	12	28.687	38.018	br
54	3	13	32.165	35.585	br
55	1	8	33.352	36.184	lm
56	1	9	30.839	35.510	lm
57	1	10	31.348	37.751	lm
58	1	11	33.261	36.202	lm
59	1	12	32.640	35.485	lm
60	1	13	32.857	35.987	lm
61	2	8	30.702	38.024	lm
62	2	9	34.006	37.291	lm
63	2	10	31.133	38.528	lm
64	2	11	29.846	37.925	lm
65	2	12	30.656	38.552	lm
66	2	13	30.936	37.416	lm
67	3	8	38.345	49.147	lm
68	3	9	29.559	37.523	lm
69	3	10	29.132	36.560	lm
70	3	11	31.447	37.705	lm
71	3	12	31.356	40.965	lm
72	3	13	29.675	41.616	lm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

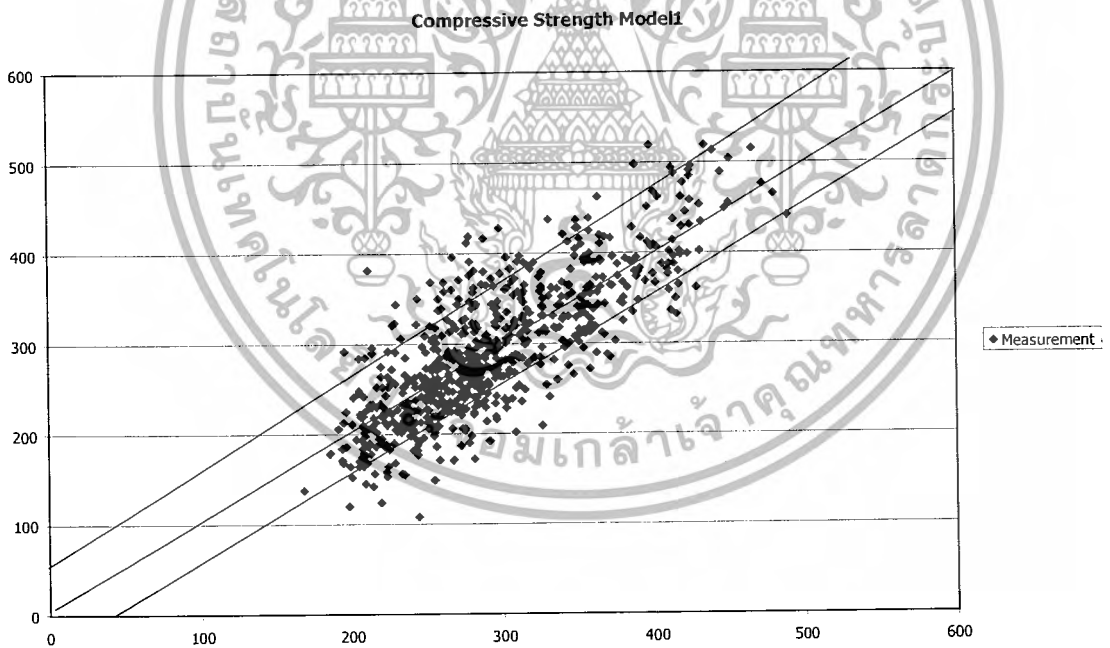
สรุปผลการทดลอง

พบว่าวิธีการเรียนรู้แบบ trainbr ให้ประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยสูงสุด คือ ค่า RMSE ของกรณี Unseen data โดยรวมต่ำกว่าวิธีการอื่นๆ ในความเป็นจริงวิธีการเรียนรู้แบบ trainlm ก็ให้ผลใกล้เคียงกัน แต่มีปัญหาที่วิธีการหลังใช้ memory ในการเรียนรู้มากเกินไปจนความจำเป็น และประสิทธิภาพที่ได้ก็ไม่ต่างกับ trainbr มากนัก จึงสรุปได้ว่าโครงสร้างของระบบนิเวศเน็ตเวิร์คที่เหมาะสมที่สุดกับชุดข้อมูลนี้คือ Algorithms การเรียนรู้แบบ trainbr จำนวน hidden layers อยู่ในช่วง 2-3 ชั้น จำนวน nodes/layer อยู่ในช่วง 8-9 nodes (เลือกได้ 2 โครงสร้าง 2 ชั้น 8 nodes 3 กับ ชั้น 9 nodes)

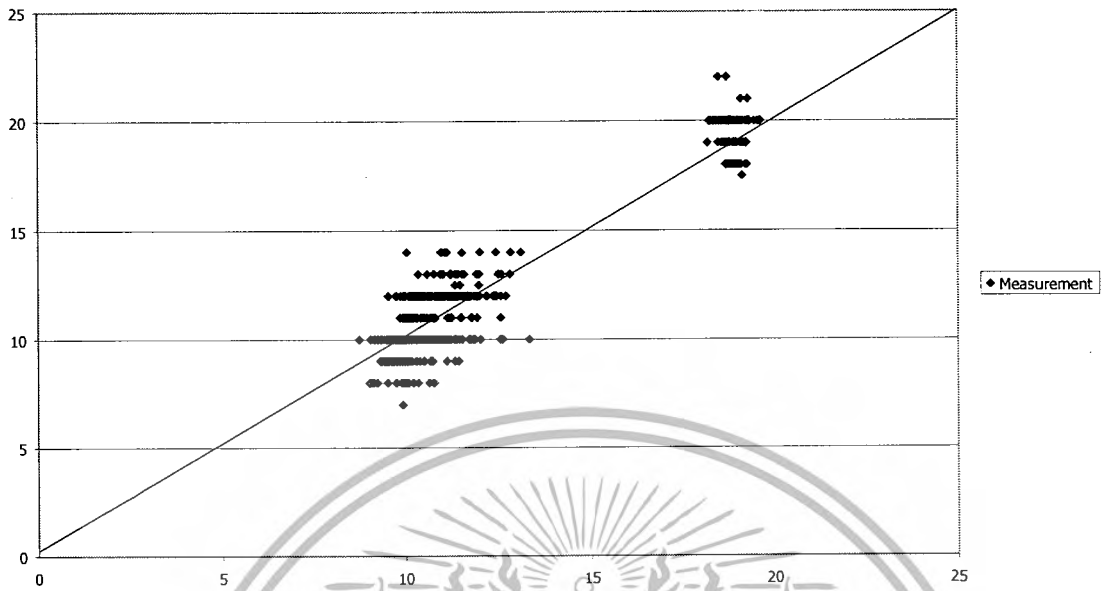
การทดลองที่ 5 : คัดเลือกโมเดลที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด

(ข้อมูลประกอบการวิเคราะห์อยู่ในไฟล์ FinalModels.xls)

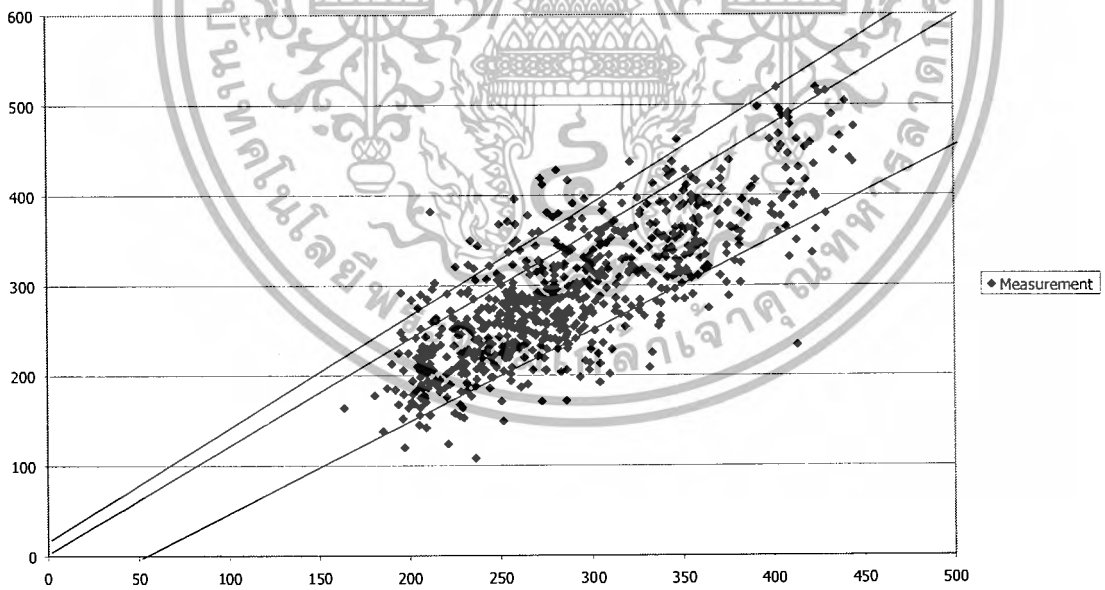
Model	layers	nodes/layer	RMSE(train)	RMSE(test)
1	2	8	31.2888	36.2843
2	3	9	32.6178	35.9472



Slump Model 1

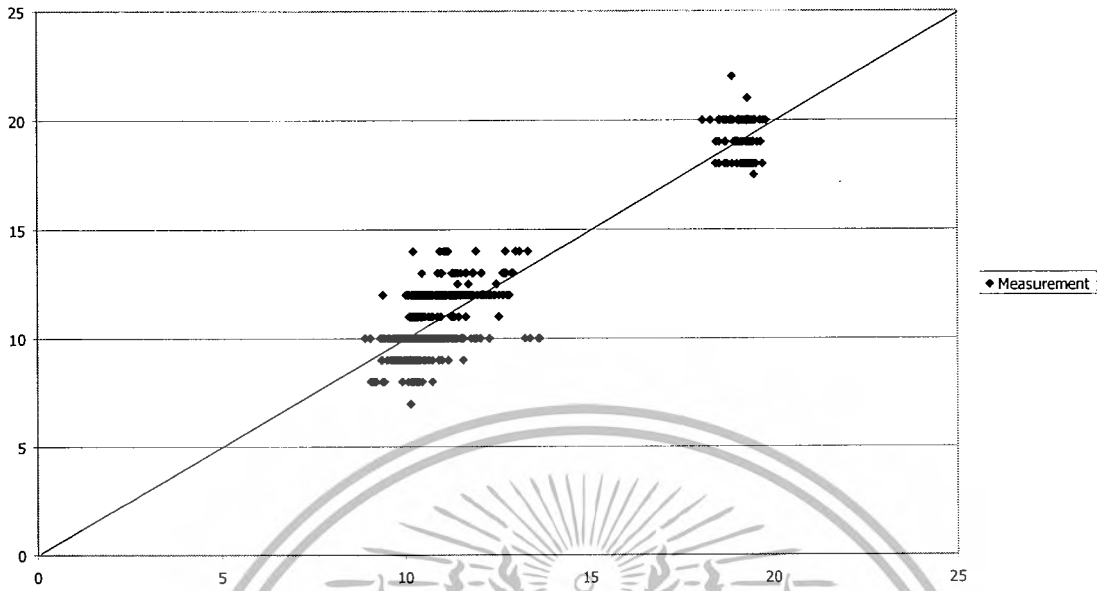


Compressive Strength Model2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Slump Model 2



สรุปผลการทดลอง

โมเดลที่ 1 มีค่าผลรวมดีกว่า (RMSE train+ RMSE test) จึงตกลงใช้โมเดลที่สอง เป็นโครงสร้างจริงในการพัฒนาระบบทำนายค่าของข้อมูลชุดนี้

การทดลองที่ 6 : ตรวจสอบหาสาเหตุของการที่ประสิทธิภาพการ Prediction ต่ำกว่าที่คาดการณ์

จากข้อมูลการทดสอบประสิทธิภาพโดยรวมของข้อมูลชุดนี้ในการทดลองที่ 3 และ 4 เราได้เลือกโมเดลของ Neural network มา 3 ตัวเพื่อเป็นตัวแทนในการทดสอบส่วนต่อไปนี้ เพื่อค้นหาสาเหตุที่ทำให้ประสิทธิภาพของการทำนายค่าของ Neural networks ไม่เป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้

ตัวแทนทั้ง 3 โมเดล คือ

1. 1 hidden ,10 nodes train ด้วยalgorithm traingda
2. 1 hidden ,13 nodes train ด้วยalgorithm traingdx
3. 2 hidden ,9 nodes train ด้วยalgorithm trainbr

หมายเหตุ : ทั้งสาม โมเดลจะแบ่งข้อมูลเป็น 3 ส่วนเหมือนเดิมเพื่อทำ Early stopping และกำหนดค่า Goal ไว้ที่ 0.001 ค่า Learning rate : 0.005 และ Maximum epochs : 2000

โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 รอบ คือ

รอบที่ 1 : ใช้ข้อมูลทั้งหมดที่มี ทำนายทั้งค่า Concrete Strength และ Slump

รอบที่ 2 : ใช้ข้อมูลทั้งหมดที่มี ทำนายเฉพาะค่า Concrete Strength

รอบที่ 3 : ใช้ข้อมูลทั้งหมดที่มี ทำนายเฉพาะค่า Slump

ได้ผลการทดลองดังนี้

Round	Model	RMSE(train)	RMSE(test)
1	1	40.421	38.992
1	2	36.838	37.921
1	3	30.973	36.258
2	1	56.776	56.512
2	2	52.722	54.320
2	3	47.955	52.452
3	1	1.4021	1.4136
3	2	1.2104	1.1969
3	3	1.0486	1.1242

สรุปผลการทดลอง

ข้อมูลชุดนี้สามารถใช้ทำนายค่า Slump ได้ถูกต้องสูงมาก แต่ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ทำนายค่า Concrete Strength เพราะมีค่าความถูกต้องต่ำมากเกินไป

การทดลองที่ 7 : ตรวจสอบหาสาเหตุของการที่ประสิทธิภาพการ Prediction ต่ำกว่าที่คาดการณ์

ทดลองแบ่งข้อมูลเป็น 6 ส่วนตามแหล่งที่มาของข้อมูลแล้วทำการวัดประสิทธิภาพ

Model	Source	Model	RMSE(train)	RMSE(test)
1	A	1	43.615	52.219
2	A	2	37.334	68.382
3	A	3	37.111	45.737
4	B	1	49.234	55.461
5	B	2	48.577	53.254
6	B	3	70.535	74.578
7	C	1	55.694	70.398
8	C	2	52.244	62.526
9	C	3	50.156	53.716
10	D	1	43.924	34.994
11	D	2	37.457	34.311
12	D	3	40.454	29.089
13	E	1	51.946	49.605
14	E	2	123.66	114.50
15	E	3	48.031	47.789

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Model	Source	Model	RMSE(train)	RMSE(test)
16	F	1	52.716	67.998
17	F	2	47.437	52.365
18	F	3	51.790	56.543

ทำการหาค่า min,mean,max และ variance ของข้อมูลทั้งหมด พบว่า

	Cement	Sand	Coarse	Water	AdmixtureD
min	212	618.52	992	97.896	0
mean	291.6	888.53	1099.5	190.77	1.059
max	500	1282.4	1197	255.40	3.730
Variance	2518.6	5312	979.93	303.54	0.12959

	Age	PFA	FMSand	passNo200
min	7	0	2.05	8.2
mean	19.6	43.1	2.6811	21.027
max	28	96	3.53	60.324
Variance	106	483.7	0.11352	81.737

แต่เมื่อนำข้อมูลมาทำการหาอัตราส่วนที่น่าสนใจ 3 ค่าแล้วทำการหาค่าการกระจายตัวของข้อมูล (Variance) พบว่าได้ผลดังนี้

	var(wpcA);	var(fpfB);	var(cpfC);	Rows
A	3.62E-07	0.00016008	0.00080896	288
B	3.55E-07	0.00012536	0.00102130	154
C	1.14E-07	0.00017480	0.00133840	266
D	1.21E-07	0.00011339	0.00373340	158
E	4.82E-08	0.00213570	0.45822000	288
F	4.54E-08	0.00212570	0.45803000	103
All	1.81E-07	0.00017398	0.00483680	1250

หมายเหตุ : ค่า wpcA คือ อัตราส่วน Unit water content / Unit cement content, fpfB คือ อัตราส่วน Unit fine aggregate content/(Unit fine aggregate content+ Unit coarse aggregate content) และ cpfC คืออัตราส่วน Unit cement content / Unit fine aggregate content

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อนำข้อมูลของชุดการทำนายคอนกรีตจากปีก่อนมาทดสอบด้วยวิธีเดียวกัน พบ
ว่าได้ค่าดังนี้

	Cement	Water	Rock	Sand	Ages	SSA_ROCK
min	187.5	117.67	950	716	3	2414
mean	317.11	171.92	1124.7	845.06	12.905	2637.7
max	442	194.80	1422.9	975.24	30	3194
Variance	2592.6	54.328	321.52	2367.6	120.52	36700

	SSA Sand	WV	Slump	AdmixtureD	FlyAsh
min	19843	2285	8	0.19167	0
mean	24392	2398	11.387	1.5684	26.602
max	26732	4063	20	21	213.33
Variance	1.94E+06	943.5	1.0943	0.28956	4857

และเนื่องจากข้อมูลมี fields ที่ต่างกัน จึงวัดค่าอัตราส่วนที่น่าสนใจได้เพียงค่าเดียวคือ
ค่า อัตราส่วน Unit water content / Unit cement content พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.0072412 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าข้อมูลในปีก่อนมีการกระจายตัวของค่ามากกว่าข้อมูลชุดนี้

สรุปผลการทดลองและแนวทางแก้ไข

ปัญหาด้านประสิทธิภาพของการทำนายค่าความแข็งแรงของคอนกรีตในปีนี้เกิดจาก
ข้อมูลที่นำมาใช้ มีการกระจายตัวของข้อมูลที่มีผลต่อความแข็งแรงคอนกรีตน้อย จนทำให้นิรอล
เน็ตเวิร์คไม่สามารถเรียนรู้ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลได้อย่างถูกต้อง

วิธีแก้ปัญหาคือการเตรียมข้อมูลจะต้องทำการเลือกข้อมูลที่มีความแตกต่างของกรณีให้
มากขึ้น และไม่ควรเลือกข้อมูลจากสมการ เนื่องจากอาจจะทำให้ข้อมูลที่ช่วยให้นิรอลเน็ตเวิร์คเรียนรู้
ความสัมพันธ์ของข้อมูลสูญหายไประหว่างการกรอง/เลือกข้อมูล

บทที่ 6

ผลการทำงานของโปรแกรม

6.1. โปรแกรม

โปรแกรม Compressive Strength Prediction 2 ถูกพัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม Matlab ระบบฐานข้อมูลจัดเก็บในโปรแกรม Access การติดต่อเชื่อมโยงฐานข้อมูลใช้ Drivers ODBC

การหาสมการเพื่อการเขียนโปรแกรมเบื้องต้น

1. กำหนดค่าความถ่วงจำเพาะ

Specific gravity of cement	3.15
Specific gravity of fine aggregate	2.65
Specific gravity of coarse aggregate	2.70
Specific gravity of water	1.00

2. ส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้วิเคราะห์

Unit cement	คือ ปริมาณปูนซีเมนต์
Unit fine aggregate content	คือ ปริมาณทราย
Unit coarse aggregate content	คือ ปริมาณหิน
Unit water content	คือ ปริมาณน้ำ

3. สมมติให้คิดปริมาตรทั้งหมดเท่ากับ 1 ม³

4. สมการปริมาตรได้ดังนี้

$$1 = \text{Unit cement} / (3.15 * 1000) + \\ \text{Unit fine aggregate content} / (2.65 * 1000) + \\ \text{Unit coarse aggregate content} / (2.7 * 1000) + \\ \text{Unit water content} / (1 * 1000)$$

หมายเหตุ : จะป้อนเพียง 3 ค่า อีก 1 ค่า จะให้ผลลัพธ์ออกมาอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อจำกัดในการใช้งานของโปรแกรม

Cement	Unit cement	212-500
Sand	Unit fine aggregate content	618-1282
coarse_aggregate	Unit coarse aggregate content	992-1197
water	Unit water content	97-255
AdmixtureD	Admixture type	0-3.73
Age	Day	0-28
PFA	Pulverized fuel ash	0-76
FMsand	Fineness modulus	2.05-3.53
passNO200	Dust	8.2-60.324

การขึ้นเต็อนของโปรแกรมเมื่อค่าไม่อยู่ในช่วง

1. $0.40 \leq \text{Unit fine aggregate content} / (\text{Unit fine aggregate content} + \text{Unit coarse aggregate content}) \leq 0.50$

คำเตือน “ใส่ค่า Unit fine aggregate content หรือ Unit coarse aggregate content ไม่เหมาะสม ควรให้ค่า $0.40 \leq \text{Unit fine aggregate content} / (\text{Unit fine aggregate content} + \text{Unit coarse aggregate content}) \leq .50$ “

2. $0.2 \leq \text{Unit cement} / \text{Unit fine aggregate content} \leq 0.73$

คำเตือน “ใส่ค่า Unit fine aggregate content หรือ Unit cement ไม่เหมาะสม อาจได้ค่า Compressive strength ไม่ถูกต้อง “

3. $0.23 \leq \text{Unit water content} / \text{Unit cement} \leq 1.04$

คำเตือน “ใส่ค่า Unit water content หรือ Unit cement ไม่เหมาะสม อาจได้ค่า Compressive strength ไม่ถูกต้อง “

4. Day = 7,28 วัน

คำเตือน “ใส่ค่า Day = 7 หรือ 28 ถ้าใส่ค่าอื่น อาจได้ค่า Compressive strength ไม่ถูกต้อง “

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2. ผลการทำงานของโปรแกรม

6.2.1. การทดสอบการทำงานของโปรแกรม

ทดลองแยกช่วงข้อมูลออกเป็นส่วนๆ เพื่อทดสอบหาค่าความผิดพลาดของแต่ละกลุ่ม โดยแบ่งจากค่าความแข็งแกร่งของคอนกรีต (Output ของการทำนาย) ออกเป็นช่วง ช่วงละเท่าๆกัน ได้ผลการทดลองดังนี้

Exp.	group	min(data)	max(data)	RMSE(train)	RMSE(test)
1	1	100	600	47.945	53.376
2	1	100	350	38.344	42.459
	2	350	600	42.705	44.039
3	1	100	250	25.290	20.829
	2	250	400	33.517	34.619
	3	400	550	34.605	35.533
4	1	100	200	20.753	22.022
	2	200	300	27.042	26.774
	3	300	400	28.183	28.726
	4	400	500	29.095	28.648
	5	500	600	28.787	8.5755
5	1	100	180	15.297	11.704
	2	180	260	21.411	21.439
	3	260	340	22.782	21.025
	4	340	420	22.176	21.795
	5	420	500	25.529	18.691
	6	500	580	16.494	14.800
6	1	100	160	10.690	17.672
	2	160	220	17.497	16.635
	3	220	280	16.625	18.160
	4	280	340	16.558	16.245
	5	340	400	18.475	17.191
	6	400	460	17.655	15.829
	7	460	520	20.851	22.927

สรุปการทดลอง

การแบ่งกลุ่มข้อมูลช่วยให้ประสิทธิภาพของการทำนายของโครงข่ายประสาทเทียมสูงขึ้นเนื่องจาก output ถูกจำกัดอยู่ในขอบเขตที่แคบลงและจำกัดมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.2. การหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการทำนาย

การหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการทำนาย เป็นการเปรียบเทียบผลการทำนายของโปรแกรมกับค่าทดสอบจริง ซึ่งจะเป็นการประเมินประสิทธิภาพในการทำงานของโปรแกรม ในการประเมินประสิทธิภาพนั้นสามารถทำได้โดย นำข้อมูลที่ประกอบด้วยส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้จริงพร้อมทั้งผลการทดสอบค่ากำลังอัดคอนกรีตมาทดสอบการทำนายด้วยโปรแกรม (ข้อมูลที่นำมาทำนายนั้นจะเป็นข้อมูลที่โปรแกรมไม่เคยเรียนรู้มาก่อน) หลังจากนั้นนำผลการทำนายที่ได้เปรียบเทียบกับค่าทดสอบจริงและหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการทำนาย ซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1. แสดงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการทำนายที่คอนกรีตอายุ 7 วัน

7 day strength														
No.	cement	sand	coarse	water	slump	AdmixtureD	age	pfm	fm	pass 200	compress	prediction	Difference	%error
1	240	920.08	1122	188.08	10	0.84	7	61	2.68	13.89	150	211	61	40.67
2	276	905.24	1114	190.24	11	0.87	7	50	2.68	13.66	158	228	70	44.30
3	253	988.79	1110	186.79	10	0.80	7	44	2.07	46.96	168	293	125	74.40
4	260	868.95	1122	181.95	12	0.91	7	65	2.73	11.56	174	231	57	32.76
5	255	946.58	1103	188.58	10	0.00	7	43	2.93	8.93	179	156	23	12.85
6	261	903.12	1089	209.12	13	1.10	7	65	2.73	11.93	186	219	33	17.74
7	254	933.86	1118	182.86	10	0.81	7	43	2.42	24.67	190	212	22	11.58
8	255	950.30	1112	194.30	10	0.80	7	45	2.30	27.40	194	204	10	5.15
9	260	871.50	1100	191.50	10	0.91	7	65	2.32	23.24	200	222	22	11.00
10	256	980.84	1112	183.84	10	0.81	7	45	2.50	25.31	206	211	5	2.43
11	240	907.20	1122	190.20	10	0.83	7	60	2.32	24.19	210	207	3	1.43
12	255	969.84	1114	184.84	10	0.80	7	45	2.42	28.74	215	207	8	3.72
13	261	892.52	1096	192.52	12	0.90	7	64	2.19	30.31	220	221	1	0.45
14	251	948.30	1116	187.30	12	0.96	7	63	3.00	31.32	225	231	6	2.67
15	300	1032.3	1100	202.30	10	0.76	7	0	2.16	18.60	230	254	24	10.43

No.	cement	sand	coarse	water	slump	AdmixtureD	age	pfm	fm	pass 200	compress	prediction	Difference	%error
16	240	914.78	1113	177.78	10	0.83	7	60	2.66	22.44	233	205	28	12.02
17	319	879.80	1030	192.80	18	1.90	7	55	2.68	13.28	235	279	44	18.72
18	280	871.32	1098	202.32	12	0.97	7	69	2.73	11.51	237	245	8	3.38
19	321	877.68	1032	212.68	18	1.90	7	55	2.73	11.59	241	274	33	13.69
20	254	927.50	1110	164.50	9	0.80	7	45	2.90	20.13	243	213	30	12.35
21	320	879.80	1034	199.80	20	1.91	7	54	2.19	29.88	245	268	23	9.39
22	273	958.72	1146	205.72	10	1.04	7	69	2.05	8.56	248	279	31	12.50
23	310	1075.2	1084	184.20	10	0.79	7	0	3.00	34.56	252	254	2	0.79
24	320	874.50	1033	198.50	18	1.91	7	56	2.19	29.70	253	266	13	5.14
25	320	879.80	1033	202.80	19	1.91	7	55	2.73	11.62	256	276	20	7.81
26	280	914.66	1090	194.66	12	1.18	7	70	2.50	23.60	260	265	5	1.92
27	260	902.01	1123	143.01	10	0.96	7	65	2.83	18.55	262	255	7	2.67
28	319	884.04	1032	199.04	19	1.90	7	55	2.73	11.68	265	278	13	4.91
29	325	1057.28	1090	212.28	10	0.86	7	0	2.86	11.33	271	278	7	2.58
30	275	1117.76	1094	238.76	8	0.71	7	0	2.86	11.98	280	253	27	9.64
31	320	881.92	1030	202.92	18	1.91	7	55	2.19	29.95	285	267	18	6.32
32	321	886.16	1038	227.16	18	1.90	7	55	2.66	21.74	290	256	34	11.72

No.	cement	sand	coarse	water	slump	AdmixtureD	age	pfm	fm	pass 200	compress	prediction	Difference	%error
33	272	1019.2	1070	230.20	10	1.25	7	69	2.86	10.92	292	247	45	15.41
34	319	884.04	1036	208.04	19	1.90	7	55	2.73	11.68	296	275	21	7.09
35	274	918.06	1082	172.06	12	0.96	7	51	3.02	17.16	303	240	63	20.79
36	315	869.04	1086	198.04	12	0.93	7	35	2.16	22.85	313	248	65	20.77
37	320	900.94	1036	199.94	18	1.91	7	55	2.66	21.89	319	270	49	15.36
38	360	936.25	1065	174.25	12	1.15	7	0	3.02	17.50	330	326	4	1.21
39	426	824.68	1080	196.68	11	1.08	7	0	2.16	21.78	343	338	5	1.46
40	320	886.16	1036	203.16	18	1.90	7	55	2.73	11.70	355	276	79	22.25
41	500	771.68	1090	196.68	12	1.30	7	0	2.29	18.93	369	368	1	0.27
42	423	809.84	1072	195.84	12	1.09	7	0	2.16	21.39	389	336	53	13.62
43	399	892.08	1104	175.08	12	1.06	7	0	3.02	16.52	422	341	81	19.19
44	448	829.98	1080	182.98	14	1.17	7	0	2.73	10.96	479	355	124	25.89

ตารางที่ 6.2. แสดงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการทำนายที่คอนกรีตอายุ 28 วัน

28 day strength														
No.	cement	sand	coarse	water	slump	AdmixtureD	age	pfm	fm	pass 200 new	compress	prediction	Difference	%error
1	235	973.70	1110	193.70	10	0.78	28	42	3.14	14.56	177	241	64	36.16
2	235	977.98	1106	184.98	9	0.79	28	41	3.14	14.62	192	236	44	22.92
3	275	926.62	1093	182.62	11	1.12	28	50	3.02	17.32	202	245	43	21.29
4	255	826.26	1077	192.74	11	0.81	28	45	2.14	36.92	207	233	26	12.56
5	255	948.02	1112	202.02	10	0.81	28	45	2.64	14.18	216	260	44	20.37
6	251	790.24	1112	200.76	12	0.97	28	63	3.00	32.33	224	285	61	27.23
7	240	906.15	1113	197.15	10	0.84	28	60	2.32	24.16	228	260	32	14.04
8	255	828.14	1112	182.86	12	0.81	28	44	2.14	37.00	235	250	15	6.38
9	231	802.56	1140	189.44	10	0.89	28	58	3.00	32.83	240	289	49	20.42
10	271	823.25	1110	189.75	10	0.79	28	30	2.16	17.80	246	279	33	13.41
11	274	804.10	1124	187.90	10	0.82	28	50	2.86	10.32	250	283	33	13.20
12	276	905.24	1114	190.24	11	0.87	28	50	2.68	13.66	257	294	37	14.40
13	232	811.36	1140	200.64	9	0.88	28	58	3.04	22.13	262	294	32	12.21
14	255	952.30	1110	184.30	10	0.86	28	44	2.83	19.58	267	262	5	1.87

No.	cement	sand	coarse	water	slump	AdmixtureD	age	pfm	fm	pass 200 new	compress	prediction	Difference	%error
15	239	892.50	1114	192.50	10	0.83	28	60	2.58	13.60	273	263	10	3.66
16	272	798.87	1121	183.13	10	0.86	28	50	2.38	22.33	282	291	9	3.19
17	254	825.32	1116	182.68	10	0.81	28	44	2.50	24.58	288	264	24	8.33
18	254	820.76	1115	185.25	11	0.80	28	45	2.42	28.70	294	259	35	11.90
19	295	807.46	1114	182.54	11	0.86	28	31	2.28	42.95	299	281	18	6.02
20	274	934.18	1091	189.18	12	1.12	28	51	3.02	17.38	304	312	8	2.63
21	319	894.98	1035	212.98	20	1.91	28	56	2.73	11.73	315	347	32	10.16
22	339	854.36	1096	194.36	10	1.00	28	35	2.30	24.99	320	363	43	13.44
23	300	847.44	1093	206.56	8	0.89	28	0	3.24	26.96	325	323	2	0.62
24	300	844.80	1098	194.20	9	0.80	28	0	3.00	34.56	333	302	31	9.31
25	315	894.52	1110	173.52	10	1.00	28	36	2.83	18.39	338	349	11	3.25
26	325	830.72	1090	212.28	10	0.86	28	0	2.86	11.33	342	322	20	5.85
27	310	844.80	1084	184.20	10	0.79	28	0	3.00	34.56	350	300	50	14.29
28	385	784.92	1076	199.08	12	1.00	28	0	2.47	55.70	350	360	10	2.86
29	319	874.50	1030	199.50	18	1.91	28	55	2.66	21.45	357	340	17	4.76
30	320	845.88	1105	171.88	12	1.29	28	54	2.53	20.75	363	418	55	15.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	cement	sand	coarse	water	slump	AdmixtureD	age	pfm	fm	pass 200 new	compress	prediction	Difference	%error
31	272	766.22	1152	186.78	10	1.04	28	68	3.00	30.31	368	384	16	4.35
32	314	890.24	1116	170.24	10	1.00	28	34	2.83	18.30	376	344	32	8.51
33	325	821.92	1068	205.08	10	0.84	28	0	3.24	26.15	388	328	60	15.46
34	325	834.24	1088	226.76	10	0.86	28	0	2.86	11.38	390	326	64	16.41
35	350	839.52	1104	236.48	8	0.94	28	0	3.24	26.71	395	388	7	1.77
36	426	763.28	1084	198.72	12	1.10	28	0	2.86	9.74	402	419	17	4.23
37	350	809.60	1072	210.40	10	0.92	28	0	3.24	25.76	409	369	40	9.78
38	314	898.80	1116	164.80	12	1.00	28	36	2.83	18.48	420	348	72	17.14
39	400	904.89	1112	184.89	12	1.06	28	0	3.14	13.34	431	422	9	2.09
40	425	751.44	1084	198.56	11	1.10	28	0	2.16	25.86	446	412	34	7.62
41	400	909.23	1108	203.23	9	1.06	28	0	3.14	13.41	453	431	22	4.86
42	424	748.47	1086	200.53	12	1.11	28	0	2.16	26.18	468	412	56	11.97
43	425	742.72	1110	220.28	10	1.13	28	0	3.24	23.63	489	444	45	9.20

6.2.3. สรุปผลการทำงานของโปรแกรม

หลังจากการประเมินประสิทธิภาพในการทำงานของโปรแกรม โดยการหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการทำนายพบว่า โปรแกรมสามารถทำนายค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่อายุ 7 วันได้ดีในช่วงที่มีค่ากำลังรับแรงอัดอยู่ระหว่าง 180 – 390 ksc. และสามารถทำนายค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วันได้ดีในช่วงที่มีค่ากำลังรับแรงอัดอยู่ระหว่าง 220 – 490 ksc.

ตารางที่ 6.3. แสดงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ช่วงกำลังอัดต่างๆ ณ อายุคอนกรีตที่ 7 วัน และ 28 วัน

7 days strength		28 days strength	
strength(ksc)	% error	strength(ksc)	% error
< 180	41.00	<220	19.28
181 – 210	8.22	221 - 250	15.78
211 – 240	7.34	251 -280	8.04
241 – 270	7.12	281 - 310	6.42
271 – 300	8.80	311 - 340	7.36
301 – 330	14.53	341 - 370	7.88
331 – 360	11.86	371 - 400	10.54
361 – 390	6.95	401 - 430	10.38
> 390	22.54	431 - 460	4.86
		461 - 490	10.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

7.1. สรุปผลการศึกษา

ระบบโครงข่ายประสาทเทียมที่พัฒนาขึ้นสามารถพยากรณ์ค่าความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีตได้อย่างน่าเชื่อถือ โดยให้ผลการทำนายมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานประมาณ 52 ksc. โปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นมีการพิจารณาเลือกใช้ปัจจัยที่เป็นมาตรฐานสากล อีกทั้งพัฒนาโปรแกรมให้มีความสามารถใช้งานได้ง่าย โดยจะมีการกำหนดขอบเขตของค่าตัวแปรที่ใช้ในการประมวลผล ถ้าหากค่าตัวแปรอยู่นอกขอบเขตที่กำหนดโปรแกรมจะมีการเตือนและแนะนำค่าที่เหมาะสมให้ ดังนั้นจึงทำให้โปรแกรมการพยากรณ์ค่าความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีตที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถใช้งานได้ง่ายยิ่งขึ้น พร้อมทั้งโปรแกรมนี้สามารถทำนายค่าได้ทั้งกำลังอัดและค่า Slump ออกมาพร้อมกันจึงทำให้สามารถรองรับการใช้งานในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ บุคคลผู้สนใจที่มีความรู้เพียงเบื้องต้นก็สามารถใช้งานได้เป็นอย่างดี

7.2. ข้อเสนอแนะ

โปรแกรมการพยากรณ์ค่าความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีตที่พัฒนาขึ้นนี้ มีการกำหนดขอบเขตของค่าตัวแปรที่ใช้ในการประมวลผล ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้สามารถใช้งานได้ง่ายขึ้น อย่างไรก็ตามถ้าหากว่ามีกรณีศึกษาที่อยู่นอกช่วงก็จะไม่สามารถใช้งานโปรแกรมนี้ได้ ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาและกำหนดขอบเขตของค่าตัวแปรที่ใช้ให้มีความครอบคลุมมากยิ่งขึ้น เพื่อรองรับการใช้งานในอนาคต

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นถูกพัฒนามาจากฐานข้อมูลที่มีสูตรในการคิดหาความสัมพันธ์เพียงสูตรเดียว จึงทำให้ระบบโครงข่ายประสาทเทียมมีการเรียนรู้ที่ไม่หลากหลายซึ่งจะส่งผลถึงค่าการทำนาย อีกทั้งฐานข้อมูลที่ใช้ได้มาจากตัวแปรปูนซีเมนต์เพียงประเภทเดียวเท่านั้นคือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 และน้ำยาที่ใช้ผสมคอนกรีตก็เพียงประเภทเดียวคือ น้ำยาประเภท D สิ่งต่างๆเหล่านี้จะถูกนำมาใช้เป็นข้อจำกัดในการใช้งานของโปรแกรม ดังนั้นถ้าหากมีการศึกษาเพิ่มเติมควรมีการพัฒนาฐานข้อมูลให้มีความครอบคลุมมากยิ่งขึ้น เพื่อที่จะรองรับการใช้งานในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอ้างอิง

- นายชูเกียรติ คุประตุมศิริ และ นายรัชฎະ สุยะวา, 2546. การพัฒนาระบบฐานข้อมูลเพื่อการพยากรณ์ค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม. โครงการงานพิเศษ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, 2540. คอนกรีตเทคโนโลยี(CPAC). พิมพ์ครั้งที่ 5 .
- รศ. ศิริวัฒน์ ไชยชนะ, 2542. ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี. 1000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์เอส.เอส.บุ๊คส์เฮ้าส์.
- ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, 2541. คู่มือการทดสอบ หิน ทราาย และคอนกรีต (CPAC). พิมพ์ครั้งที่ 1.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- ดร.ชัยสิทธิ์ เกลิมมีประเสริฐ, 2538. สถิติเพื่อนักบริหาร. 1500 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์ธนพร.
- กิตติ ภัคดีวัฒนกุล จำลอง ครูอุตสาหกรรม, 2542. คัมภีร์ ระบบฐานข้อมูล. พิมพ์ครั้งที่ 2.
- รศ.ดร.กัลยา วานิชย์บัญชา, 2543. การใช้ SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ข้อมูล. พิมพ์ครั้งที่ 6.
- Nevill,A.M.,and Brooks,J.J.,1987. Concrete Technology. First Edition. New York : John Wiley & Sons.
- Nevill,A.M.,1981. Properties of Concrete. Third Edition. Longman Singapore Publishers.
- Sidney Mindess,and Francis Young,J.,1981. Concrete. Prentice-Hall,Inc.,Englewood Cliffs,N.J.
- John Newman,and Ban Seng Choo,2003. Advanced Concrete Technology (Processes). First Edition. Butterworth-Heinemann an imprint of Elsevier Linacre House,Jordan Hill,Oxford.
- John Newman,and Ban Seng Choo,2003. Advanced Concrete Technology (Concrete Properties). First Edition. Butterworth-Heinemann an imprint of Elsevier Linacre House,Jordan Hill,Oxford.
- John Newman,and Ban Seng Choo,2003. Advanced Concrete Technology (Constituent Materials). First Edition. Butterworth-Heinemann an imprint of Elsevier Linacre House,Jordan Hill,Oxford.



ภาคผนวก ก

ตารางมาตรฐานการทดสอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
 FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT'S INSTITUTE
 OF TECHNOLOGY
 LADKRABANG BANGKOK THAILAND TEL 02-326-4216

ตารางที่ ผ.ก.1. แสดงมาตรฐานการทดสอบ

Standard Specification for	Destination
Seive analysis of coarse and fine aggregate	ASTM C136-96a
Specific Gravity and absorption of coarse aggregate	ASTM C127-88
Specific Gravity and absorption of fine aggregate	ASTM C128-93
Unit Weight and Voids in aggregate	ASTM C29-91a
Clay Lump and Friable Particles in aggregate	ASTM C142-78
Material Finer than No.200 sieve in Mineral Aggregate by Washing	ASTM C117-95
Resistant to Degradation of small-size coarse aggregate by abrasion and Impact in the Los Angeles Machine	ASTM C131-96
Soundness of Aggregate by Use of Sodium Sulfate	ASTM C88-90
Organic Impurities in fine aggregate for concrete	ASTM C40-92
Setting Time for Cement Paste	ASTM C187-86 ASTM C191-99
Strength Index	ASTM C109 ASTM C109M-99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบวัสดุผสมคอนกรีต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPECIFIC GRAVITY AND ABSORPTION
OF FINE AGGREGATE

PROJECT : โครงการพิเศษ น.ศ. ปี 4/2547 SAMPLE TYPE : ทรายหยาบ

TESTED BY : ทนงศักดิ์ กุลพรหม TEST DATE : 15 พฤศจิกายน 2547

DETERMINATION NO.	1	2
WT.SAND (SAT.SURE.DRY)(B),g.	604	616
WT.FLASK+SAND (SAT.SURE.DRY)+WATER(W),g.	1956	1961
WT.BOWL ,g.	575	575
WT.BOWL+DRY SAND ,g.	1195	1204
WT.DRY SAND(A),g.	620	629
WT.FLASK+WATER(W _c),g.	1579	1583
BULK SPECIFIC GRAVITY, $A/(B+W_c-W)$	2.73	2.64
BULK SPECIFIC GRAVITY,(SAT.SURE.DRY), $B/(B+WC-W)$	2.66	2.59
APPARENT SPECIFIC GRAVITY, $A/(W_c+A-W)$	2.55	2.51
PERCENT ABSORPTION(%), $(B-A)*100/A$	2.58	2.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPECIFIC GRAVITY AND ABSORPTION
OF COARSE AGGREGATE

PROJECT : โครงการพิเศษ น.ศ. ปี 4/2547 SAMPLE TYPE : หิน 1 นิ้ว

TESTED BY : ทงศักดิ์ กุลพรหม TEST DATE : 15 พฤศจิกายน 2547

DETERMINATION NO.	1
WT.CONTAINER+ SAT.SURE.DRY AGGREGATE ,g.	7241
WT.CONTAINER+ DRY AGGREGATE ,g.	7234
WT.CONTAINER ,g.	2212
WT.SAT.SURE.DRY AGGREGATE (B),g	5029
WT.DRY AGGREGATE(A),g.	5022
WT.SAT.AGGREGATE IN WATER(C),g.	3200
BULK SPECIFIC GRAVITY,(OVEN DRY BASIS),A/(B-C)	2.75
BULK SPECIFIC GRAVITY,(SAT.SURE.DRY BASIS),B/(B-C)	2.76
APPARENT SPECIFIC GRAVITY, A/(A-C)	2.756
PERCENT ABSORPTION(%), [(B-A)/A]*100,%	0.14

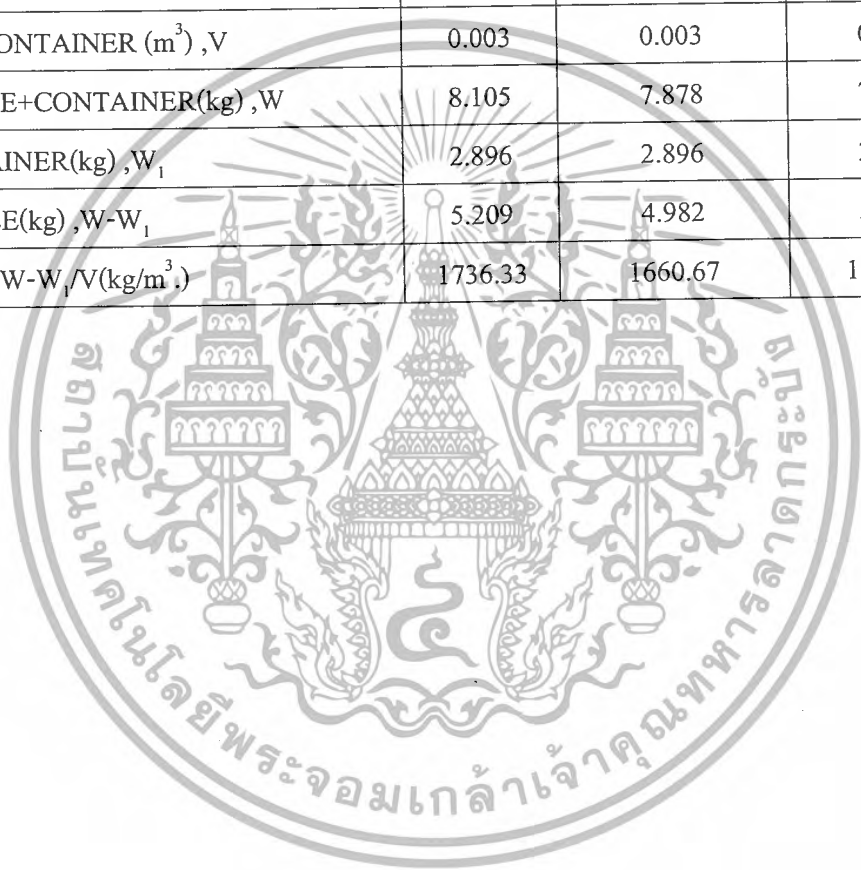
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UNIT WEIGHT OF AGGREGATE

PROJECT : โครงการพิเศษ น.ศ. ปี 4/2547 SAMPLE TYPE : หิน และ ทราย

TESTED BY : ทนงศักดิ์ กุลพรหม TEST DATE : 15 พฤศจิกายน 2547

TRIAL NO.	SAND	COARSE3/4"	COARSE1"
VOLUME OF CONTAINER (m ³), V	0.003	0.003	0.003
WT. OF SAMPLE+CONTAINER(kg), W	8.105	7.878	7.896
WT. OF CONTAINER(kg), W ₁	2.896	2.896	2.896
WT. OF SAMPLE(kg), W-W ₁	5.209	4.982	5.000
UNIT WEIGHT W-W ₁ /V(kg/m ³ .)	1736.33	1660.67	1666.67



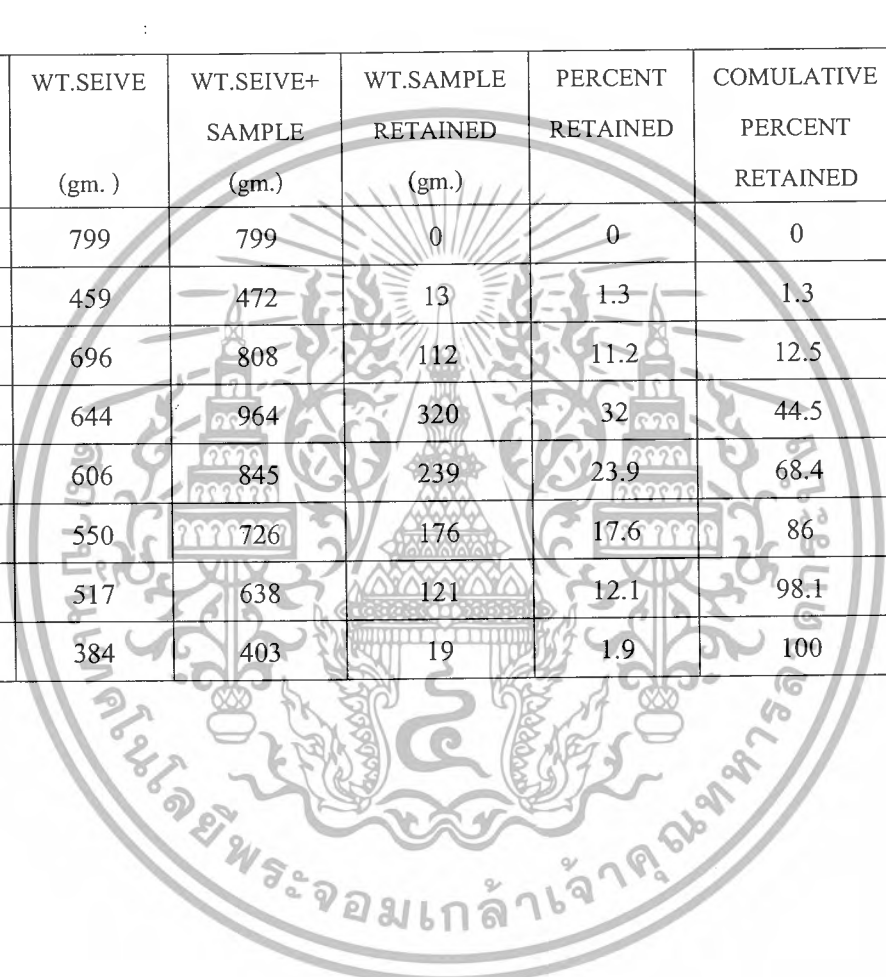
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIEVE ANALYSIS

PROJECT : โครงการพิเศษ น.ศ. ปี 4/2547 SAMPLE TYPE : ทรายหยาบ

TESTED BY : ทนงศักดิ์ . กุลพรหม TEST DATE : 15 พฤศจิกายน 2547

SEIVE NO	SEIVE OPENING (mm.)	WT.SEIVE (gm.)	WT.SEIVE+ SAMPLE (gm.)	WT.SAMPLE RETAINED (gm.)	PERCENT RETAINED	COMULATIVE PERCENT RETAINED	PERCENT FINE OR PASSING
3/8"	9.5	799	799	0	0	0	100
4	4.75	459	472	13	1.3	1.3	98.7
8	2.36	696	808	112	11.2	12.5	87.5
16	1.18	644	964	320	32	44.5	55.5
30	0.6	606	845	239	23.9	68.4	31.6
50	0.3	550	726	176	17.6	86	14
100	0.15	517	638	121	12.1	98.1	1.9
PAN		384	403	19	1.9	100	0



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตตามมาตรฐานอเมริกา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ค.1. แสดงการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 180 ksc. Slump 7-10 Coarse 1”

Mix Design of Concrete

Design Criteria

Ultimate strength of Concrete (fc')	=	180 ksc
Specific Gravity	:	
Portland Cement Type 1	=	3.15
Fine Aggregate (Sand)	=	2.63
Coarse Aggregate (Rock)	=	2.76
Water	=	1.00
Unit Weight of Aggregate	:	
Fine Aggregate (Sand)	=	1736 kg/m ³
Coarse Aggregate (Rock)	=	1666 kg/m ³
Mixing Water	=	1000 kg/m ³
Maximum Size of Aggregate	=	25 mm. (1")
Fines Modulus of Fine Aggregate	=	3.00
Percent of Coarse aggregate by volume	=	0.65 cu.m/cu.m.concrete
Slump of Concrete	=	7-10 cm.

Calculation

Design Mix	=	180 = 180 ksc.
Use mixing water	=	193.5 kg/cu.m.concrete
w/c ratio (by weight)	=	0.73
Use cement	=	$193.5/0.733 = 264.0$ kg/cu.m.concrete
Use Coarse Aggregate	=	$0.65 \times 1666 = 1082.9$ kg/cu.m.concrete
Volume of cement	=	$264/(3.15 \times 1000) = 0.084$ cu.m.
Volume of water	=	$193.5/1000 = 0.194$ cu.m.
Volume of Coarse Aggregate	=	$1082.9/(2.76 \times 1000) = 0.392$ cu.m.
Volume of air void	=	1.50% = 0.015 cu.m.
Volume of Fine Aggregate	=	$1 - 0.084 - 0.1935 - 0.392 - 0.015 = 0.315$ cu.m.
Use Fine Aggregate	=	$0.315 \times 2.63 \times 1000 = 828.5$ kg/cu.m.concrete

Conclusion Used Material

Material	1cu.m. of concrete		50 kg of cement	
	(kg)	(litres)	(kg)	(litres)
Cement	264	84	50	16
Water	194	194	37	37
Sand	828	315	157	60
Rock	1083	392	205	74
Total	2369	985	449	187

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ค.2. แสดงการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 200 ksc. Slump 7-10 Coarse 1”

Mix Design of Concrete

Design Criteria

Ultimate strength of Concrete (fc')	=	200 ksc
Specific Gravity	=	3.15
Portland Cement Type 1	=	2.63
Fine Aggregate (Sand)	=	2.76
Coarse Aggregate (Rock)	=	1.00
Water	=	
Unit Weight of Aggregate	=	
Fine Aggregate (Sand)	=	1736 kg/m ³
Coarse Aggregate (Rock)	=	1666 kg/m ³
Mixing Water	=	1000 kg/m ³
Maximum Size of Aggregate	=	25 mm. (1")
Finess Modulus of Fine Aggregate	=	3.00
Percent of Coarse aggregate by volume	=	0.65 cu.m/cu.m.concrete
Slump of Concrete	=	7-10 cm.

Calculation

Design Mix	=	200	=	200 ksc.
Use mixing water	=		=	193.5 kg/cu.m.concrete
w/c ratio (by weight)	=		=	0.69
Use cement	=	193.5/0.69	=	280.4 kg/cu.m.concrete
Use Coarse Aggregate	=	0.65x1666	=	1082.9 kg/cu.m.concrete
Volume of cement	=	280.4/(3.15x1000)	=	0.089 cu.m.
Volume of water	=	193.5/1000	=	0.194 cu.m.
Volume of Coarse Aggregate	=	1082.9/(2.76x1000)	=	0.392 cu.m.
Volume of air void	=	1.50%	=	0.015 cu.m.
Volume of Fine Aggregate	=	1-0.089-0.1935-0.392-0.015	=	0.310 cu.m.
Use Fine Aggregate	=		=	0.310x2.63x1000 = 815.3 kg/cu.m.concrete

Conclusion Used Material

Material	1cu.m. of concrete		50 kg of cement	
	(kg)	(litres)	(kg)	(litres)
Cement	280	89	50	16
Water	194	194	35	35
Sand	815	310	145	55
Rock	1083	392	193	70
Total	2372	985	423	176

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ค.3. แสดงการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 220 ksc. Slump 7-10 Coarse 1”

Mix Design of Concrete

Design Criteria		
Ultimate strength of Concrete (fc')		= 220 ksc
Specific Gravity		= 3.15
Portland Cement Type 1		= 2.63
Fine Aggregate (Sand)		= 2.76
Coarse Aggregate (Rock)		= 1.00
Water		
Unit Weight of Aggregate		= 1736 kg/m3
Fine Aggregate (Sand)		= 1666 kg/m3
Coarse Aggregate (Rock)		= 1000 kg/m3
Mixing Water		
Maximum Size of Aggregate		= 25 mm. (1")
Fines Modulus of Fine Aggregate		= 3.00
Percent of Coarse aggregate by volume		= 0.65 cu.m/cu.m.concrete
Slump of Concrete		= 7-10 cm.
=====		
Calculation		
Design Mix	=	220 = 220 ksc.
Use mixing water	=	193.5 kg/cu.m.concrete
w/c ratio (by weight)	=	0.65
Use cement	=	$193.5/0.654 = 295.9$ kg/cu.m.concrete
Use Coarse Aggregate	=	$0.65 \times 1666 = 1082.9$ kg/cu.m.concrete
Volume of cement	=	$295.9/(3.15 \times 1000) = 0.094$ cu.m.
Volume of water	=	$193.5/1000 = 0.194$ cu.m.
Volume of Coarse Aggregate	=	$1082.9/(2.76 \times 1000) = 0.392$ cu.m.
Volume of air void	=	1.50% = 0.015 cu.m.
Volume of Fine Aggregate	=	$1 - 0.094 - 0.1935 - 0.392 - 0.015 = 0.305$ cu.m.
Use Fine Aggregate	=	$0.305 \times 2.63 \times 1000 = 802.2$ kg/cu.m.concrete

Conclusion Used Material

Material	1 cu.m. of concrete		50 kg of cement	
	(kg)	(litres)	(kg)	(litres)
Cement	296	94	50	16
Water	194	194	33	33
Sand	802	305	136	52
Rock	1083	392	183	66
Total	2374	985	401	166

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ค.4. แสดงการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 240 ksc. Slump 7-10 Coarse 1”

Mix Design of Concrete

Design Criteria

Ultimate strength of Concrete (fc')	=	240 ksc
Specific Gravity	=	3.15
Portland Cement Type 1	=	2.63
Fine Aggregate (Sand)	=	2.76
Coarse Aggregate (Rock)	=	1.00
Water	=	
Unit Weight of Aggregate	=	1736 kg/m3
Fine Aggregate (Sand)	=	1666 kg/m3
Coarse Aggregate (Rock)	=	1000 kg/m3
Mixing Water	=	
Maximum Size of Aggregate	=	25 mm. (1")
Fines Modulus of Fine Aggregate	=	3.00
Percent of Coarse aggregate by volume	=	0.65 cu.m/cu.m.concrete
Slump of Concrete	=	7-10 cm.

Calculation

Design Mix	=	240	=	240 ksc.
Use mixing water	=		=	193.5 kg/cu.m.concrete
w/c ratio (by weight)	=		=	0.62
Use cement	=	$193.5/0.62$	=	312.1 kg/cu.m.concrete
Use Coarse Aggregate	=	0.65×1666	=	1082.9 kg/cu.m.concrete
Volume of cement	=	$312.1/(3.15 \times 1000)$	=	0.099 cu.m.
Volume of water	=	$193.5/1000$	=	0.194 cu.m.
Volume of Coarse Aggregate	=	$1082.9/(2.76 \times 1000)$	=	0.392 cu.m.
Volume of air void	=	1.50%	=	0.015 cu.m.
Volume of Fine Aggregate	=	$1 - 0.099 - 0.1935 - 0.392 - 0.015$	=	0.300 cu.m.
Use Fine Aggregate	=	$0.300 \times 2.63 \times 1000$	=	789.0 kg/cu.m.concrete

Conclusion Used Material

Material	1cu.m. of concrete		50 kg of cement	
	(kg)	(litres)	(kg)	(litres)
Cement	312	99	50	16
Water	194	194	31	31
Sand	789	300	126	48
Rock	1083	392	173	63
Total	2377	985	381	158

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ค.5. แสดงการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 260 ksc. Slump 7-10 Coarse 1”

Mix Design of Concrete

Design Criteria

Ultimate strength of Concrete (fc')	=	260 ksc
Specific Gravity	=	3.15
Portland Cement Type 1	=	2.63
Fine Aggregate (Sand)	=	2.76
Coarse Aggregate (Rock)	=	1.00
Water	=	
Unit Weight of Aggregate	=	1736 kg/m ³
Fine Aggregate (Sand)	=	1666 kg/m ³
Coarse Aggregate (Rock)	=	1000 kg/m ³
Mixing Water	=	
Maximum Size of Aggregate	=	25 mm. (1")
Fines Modulus of Fine Aggregate	=	3.00
Percent of Coarse aggregate by volume	=	0.65 cu.m/cu.m.concrete
Slump of Concrete	=	7-10 cm.

Calculation

Design Mix	=	260 =	260 ksc.
Use mixing water	=	193.5	kg/cu.m.concrete
w/c ratio (by weight)	=	0.59	
Use cement	=	193.5/0.59 =	328.0 kg/cu.m.concrete
Use Coarse Aggregate	=	0.65x1666 =	1082.9 kg/cu.m.concrete
Volume of cement	=	328/(3.15x1000) =	0.104 cu.m.
Volume of water	=	193.5/1000 =	0.194 cu.m.
Volume of Coarse Aggregate	=	1082.9/(2.76x1000) =	0.392 cu.m.
Volume of air void	=	1.50% =	0.015 cu.m.
Volume of Fine Aggregate	=	1-0.104-0.1935-0.392-0.015 =	0.295 cu.m.
Use Fine Aggregate	=	0.295x2.63x1000 =	775.9 kg/cu.m.concrete

Conclusion Used Material

Material	1cu.m. of concrete		50 kg of cement	
	(kg)	(litres)	(kg)	(litres)
Cement	328	104	50	16
Water	194	194	30	30
Sand	776	295	118	45
Rock	1083	392	165	60
Total	2380	985	363	150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ค.6. แสดงการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 280 ksc. Slump 7-10 Coarse 1”

Mix Design of Concrete

Design Criteria

Ultimate strength of Concrete (fc')	=	280 ksc
Specific Gravity	=	3.15
Portland Cement Type 1	=	2.63
Fine Aggregate (Sand)	=	2.76
Coarse Aggregate (Rock)	=	1.00
Water	=	
Unit Weight of Aggregate	=	1736 kg/m3
Fine Aggregate (Sand)	=	1666 kg/m3
Coarse Aggregate (Rock)	=	1000 kg/m3
Mixing Water	=	
Maximum Size of Aggregate	=	25 mm. (1")
Finess Modulus of Fine Aggregate	=	3.00
Percent of Coarse aggregate by volume	=	0.65 cu.m/cu.mconcrete
Slump of Concrete	=	7-10 cm.

Calculation

Design Mix	=	280 = 280 ksc.
Use mixing water	=	193.5 kg/cu.m.concrete
w/c ratio (by weight)	=	0.56
Use cement	=	$193.5/0.56 = 345.5$ kg/cu.m.concrete
Use Coarse Aggregate	=	$0.65 \times 1666 = 1082.9$ kg/cu.m.concrete
Volume of cement	=	$345.5/(3.15 \times 1000) = 0.110$ cu.m.
Volume of water	=	$193.5/1000 = 0.194$ cu.m.
Volume of Coarse Aggregate	=	$1082.9/(2.76 \times 1000) = 0.392$ cu.m.
Volume of air void	=	1.50% = 0.015 cu.m.
Volume of Fine Aggregate	=	$1 - 0.110 - 0.1935 - 0.392 - 0.015 = 0.289$ cu.m.
Use Fine Aggregate	=	$0.289 \times 2.63 \times 1000 = 760.1$ kg/cu.m.concrete

Conclusion Used Material

Material	1cu.m. of concrete		50 kg of cement	
	(kg)	(litres)	(kg)	(litres)
Cement	346	110	50	16
Water	194	194	28	28
Sand	760	289	110	42
Rock	1083	392	157	57
Total	2382	985	345	143

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ค.7. แสดงการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 300 ksc. Slump 7-10 Coarse 1”

Mix Design of Concrete

Design Criteria

Ultimate strength of Concrete (fc')	=	300 ksc
Specific Gravity		
Portland Cement Type 1	=	3.15
Fine Aggregate (Sand)	=	2.63
Coarse Aggregate (Rock)	=	2.76
Water	=	1.00
Unit Weight of Aggregate		
Fine Aggregate (Sand)	=	1736 kg/m ³
Coarse Aggregate (Rock)	=	1666 kg/m ³
Mixing Water	=	1000 kg/m ³
Maximum Size of Aggregate	=	25 mm. (1")
Fines Modulus of Fine Aggregate	=	3.00
Percent of Coarse aggregate by volume	=	0.65 cu.m/cu.m.concrete
Slump of Concrete	=	7-10 cm.

Calculation

Design Mix	=	300	=	300 ksc.
Use mixing water			=	193.5 kg/cu.m.concrete
w/c ratio (by weight)			=	0.54
Use cement	=	$193.5/0.54$	=	358.3 kg/cu.m.concrete
Use Coarse Aggregate	=	0.65×1666	=	1082.9 kg/cu.m.concrete
Volume of cement	=	$358.3/(3.15 \times 1000)$	=	0.114 cu.m.
Volume of water	=	$193.5/1000$	=	0.194 cu.m.
Volume of Coarse Aggregate	=	$1082.9/(2.76 \times 1000)$	=	0.392 cu.m.
Volume of air void	=	1.50%	=	0.015 cu.m.
Volume of Fine Aggregate	=	$1 - 0.114 - 0.1935 - 0.392 - 0.015$	=	0.285 cu.m.
Use Fine Aggregate	=	$0.285 \times 2.63 \times 1000$	=	749.6 kg/cu.m.concrete

Conclusion Used Material

Material	1 cu.m. of concrete		50 kg of cement	
	(kg)	(litres)	(kg)	(litres)
Cement	358	114	50	16
Water	194	194	27	27
Sand	750	285	105	40
Rock	1083	392	151	55
Total	2384	985	333	137

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ค.8. แสดงการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 320 ksc. Slump 7-10 Coarse 1”

Mix Design of Concrete

Design Criteria

Ultimate strength of Concrete (fc')	=	320 ksc
Specific Gravity	=	
Portland Cement Type 1	=	3.15
Fine Aggregate (Sand)	=	2.63
Coarse Aggregate (Rock)	=	2.76
Water	=	1.00
Unit Weight of Aggregate	=	
Fine Aggregate (Sand)	=	1736 kg/m ³
Coarse Aggregate (Rock)	=	1666 kg/m ³
Mixing Water	=	1000 kg/m ³
Maximum Size of Aggregate	=	25 mm. (1")
Fines Modulus of Fine Aggregate	=	3.00
Percent of Coarse aggregate by volume	=	0.65 cu.m/cu.m.concrete
Slump of Concrete	=	7-10 cm.

Calculation

Design Mix	=	320	=	320 ksc.
Use mixing water	=		=	193.5 kg/cu.m.concrete
w/c ratio (by weight)	=		=	0.51
Use cement	=	$193.5/0.51$	=	379.4 kg/cu.m.concrete
Use Coarse Aggregate	=	0.65×1666	=	1082.9 kg/cu.m.concrete
Volume of cement	=	$379.4/(3.15 \times 1000)$	=	0.120 cu.m.
Volume of water	=	$193.5/1000$	=	0.194 cu.m.
Volume of Coarse Aggregate	=	$1082.9/(2.76 \times 1000)$	=	0.392 cu.m.
Volume of air void	=	1.50%	=	0.015 cu.m.
Volume of Fine Aggregate	=	$1 - 0.120 - 0.1935 - 0.392 - 0.015$	=	0.279 cu.m.
Use Fine Aggregate	=	$0.279 \times 2.63 \times 1000$	=	733.8 kg/cu.m.concrete

Conclusion Used Material

Material	1cu.m. of concrete		50 kg of cement	
	(kg)	(litres)	(kg)	(litres)
Cement	379	120	50	16
Water	194	194	26	26
Sand	734	279	97	37
Rock	1083	392	143	52
Total	2390	985	315	130

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ค.9. แสดงการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 180 ksc. Slump 10-13 Coarse 1”

Mix Design of Concrete

Design Criteria

Ultimate strength of Concrete (fc')	=	180 ksc
Specific Gravity		
Portland Cement Type 1	=	3.15
Fine Aggregate (Sand)	=	2.63
Coarse Aggregate (Rock)	=	2.76
Water	=	1.00
Unit Weight of Aggregate		
Fine Aggregate (Sand)	=	1736 kg/m ³
Coarse Aggregate (Rock)	=	1666 kg/m ³
Mixing Water	=	1000 kg/m ³
Maximum Size of Aggregate	=	25 mm. (1")
Finess Modulus of Fine Aggregate	=	3.00
Percent of Coarse aggregate by volume	=	0.65 cu.m/cu.m.concrete
Slump of Concrete	=	10-13 cm.

Calculation

Design Mix	=	180	=	180 ksc.
Use mixing water	=	198.9	kg/cu.m.concrete	
w/c ratio (by weight)	=	0.73		
Use cement	=	$198.9/0.733$	=	271.4 kg/cu.m.concrete
Use Coarse Aggregate	=	0.65×1666	=	1082.9 kg/cu.m.concrete
Volume of cement	=	$271.4/(3.15 \times 1000)$	=	0.086 cu.m.
Volume of water	=	$198.9/1000$	=	0.199 cu.m.
Volume of Coarse Aggregate	=	$1082.9/(2.76 \times 1000)$	=	0.392 cu.m.
Volume of air void	=	1.50%	=	0.015 cu.m.
Volume of Fine Aggregate	=	$1 - 0.086 - 0.1989 - 0.392 - 0.015$	=	0.308 cu.m.
Use Fine Aggregate	=	$0.308 \times 2.63 \times 1000$	=	810.0 kg/cu.m.concrete

Conclusion Used Material

Material	1cu.m. of concrete		50 kg of cement	
	(kg)	(litres)	(kg)	(litres)
Cement	271	86	50	16
Water	199	199	37	37
Sand	810	308	149	57
Rock	1083	392	200	72
Total	2363	985	435	181

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ค.10. แสดงการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 200 ksc. Slump 10-13 Coarse 1”

Mix Design of Concrete

Design Criteria

Ultimate strength of Concrete (fc')	=	200 ksc
Specific Gravity		
Portland Cement Type 1	=	3.15
Fine Aggregate (Sand)	=	2.63
Coarse Aggregate (Rock)	=	2.76
Water	=	1.00
Unit Weight of Aggregate		
Fine Aggregate (Sand)	=	1736 kg/m ³
Coarse Aggregate (Rock)	=	1666 kg/m ³
Mixing Water	=	1000 kg/m ³
Maximum Size of Aggregate	=	25 mm. (1")
Fines Modulus of Fine Aggregate	=	3.00
Percent of Coarse aggregate by volume	=	0.65 cu.m/cu.m.concrete
Slump of Concrete	=	10-13 cm.

Calculation

Design Mix	=	200 =	200 ksc.
Use mixing water	=	198.9	kg/cu.m.concrete
w/c ratio (by weight)	=	0.69	
Use cement	=	$198.9/0.69 = 288.3$	kg/cu.m.concrete
Use Coarse Aggregate	=	$0.65 \times 1666 = 1082.9$	kg/cu.m.concrete
Volume of cement	=	$288.3/(3.15 \times 1000) = 0.092$	cu.m.
Volume of water	=	$198.9/1000 = 0.199$	cu.m.
Volume of Coarse Aggregate	=	$1082.9/(2.76 \times 1000) = 0.392$	cu.m.
Volume of air void	=	1.50%	= 0.015 cu.m.
Volume of Fine Aggregate	=	$1 - 0.092 - 0.1989 - 0.392 - 0.015 = 0.302$	cu.m.
Use Fine Aggregate	=	$0.302 \times 2.63 \times 1000 = 794.3$	kg/cu.m.concrete

Conclusion Used Material

Material	1cu.m. of concrete		50 kg of cement	
	(kg)	(litres)	(kg)	(litres)
Cement	288	92	50	16
Water	199	199	35	35
Sand	794	302	138	52
Rock	1083	392	188	68
Total	2364	985	410	171

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ค.11. แสดงการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 220 ksc. Slump 10-13 Coarse 1”

Mix Design of Concrete

Design Criteria

Ultimate strength of Concrete (fc')	=	220 ksc
Specific Gravity		
Portland Cement Type 1	=	3.15
Fine Aggregate (Sand)	=	2.63
Coarse Aggregate (Rock)	=	2.76
Water	=	1.00
Unit Weight of Aggregate		
Fine Aggregate (Sand)	=	1736 kg/m3
Coarse Aggregate (Rock)	=	1666 kg/m3
Mixing Water	=	1000 kg/m3
Maximum Size of Aggregate	=	25 mm. (1")
Fines Modulus of Fine Aggregate	=	3.00
Percent of Coarse aggregate by volume	=	0.65 cu.m/cu.m.concrete
Slump of Concrete	=	10-13 cm.

Calculation

Design Mix	=	220 =	220 ksc.
Use mixing water	=	198.9	kg/cu.m.concrete
w/c ratio (by weight)	=	0.65	
Use cement	=	$198.9/0.654$	= 304.1 kg/cu.m.concrete
Use Coarse Aggregate	=	0.65×1666	= 1082.9 kg/cu.m.concrete
Volume of cement	=	$304.1 / (3.15 \times 1000)$	= 0.097 cu.m.
Volume of water	=	$198.9 / 1000$	= 0.199 cu.m.
Volume of Coarse Aggregate	=	$1082.9 / (2.76 \times 1000)$	= 0.392 cu.m.
Volume of air void	=	1.50%	= 0.015 cu.m.
Volume of Fine Aggregate	=	$1 - 0.097 - 0.1989 - 0.392 - 0.015$	= 0.297 cu.m.
Use Fine Aggregate	=	$0.297 \times 2.63 \times 1000$	= 781.1 kg/cu.m.concrete

Conclusion Used Material

Material	1cu.m. of concrete		50 kg of cement	
	(kg)	(litres)	(kg)	(litres)
Cement	304	97	50	16
Water	199	199	33	33
Sand	781	297	128	49
Rock	1083	392	178	65
Total	2367	985	389	162

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ค.12. แสดงการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 240 ksc. Slump 10-13 Coarse 1”

Mix Design of Concrete

Design Criteria

Ultimate strength of Concrete (fc')	=	240 ksc
Specific Gravity		
Portland Cement Type 1	=	3.15
Fine Aggregate (Sand)	=	2.63
Coarse Aggregate (Rock)	=	2.76
Water	=	1.00
Unit Weight of Aggregate		
Fine Aggregate (Sand)	=	1736 kg/m ³
Coarse Aggregate (Rock)	=	1666 kg/m ³
Mixing Water	=	1000 kg/m ³
Maximum Size of Aggregate	=	25 mm. (1")
Finess Modulus of Fine Aggregate	=	3.00
Percent of Coarse aggregate by volume	=	0.65 cu.m./cu.m.concrete
Slump of Concrete	=	10-13 cm.

Calculation

Design Mix	=	240 = 240 ksc.
Use mixing water	=	198.9 kg/cu.m.concrete
w/c ratio (by weight)	=	0.62
Use cement	=	$198.9/0.62 = 320.8$ kg/cu.m.concrete
Use Coarse Aggregate	=	$0.65 \times 1666 = 1082.9$ kg/cu.m.concrete
Volume of cement	=	$320.8/(3.15 \times 1000) = 0.102$ cu.m.
Volume of water	=	$198.9/1000 = 0.199$ cu.m.
Volume of Coarse Aggregate	=	$1082.9/(2.76 \times 1000) = 0.392$ cu.m.
Volume of air void	=	1.50% = 0.015 cu.m.
Volume of Fine Aggregate	=	$1 - 0.102 - 0.1989 - 0.392 - 0.015 = 0.292$ cu.m.
Use Fine Aggregate	=	$0.292 \times 2.63 \times 1000 = 768.0$ kg/cu.m.concrete

Conclusion Used Material

Material	1cu.m. of concrete		50 kg of cement	
	(kg)	(litres)	(kg)	(litres)
Cement	321	102	50	16
Water	199	199	31	31
Sand	768	292	120	45
Rock	1083	392	169	61
Total	2371	985	369	154

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ค.13. แสดงการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 260 ksc. Slump 10-13 Coarse 1”

Mix Design of Concrete

Design Criteria

Ultimate strength of Concrete (fc')	=	260 ksc
Specific Gravity		
Portland Cement Type 1	=	3.15
Fine Aggregate (Sand)	=	2.63
Coarse Aggregate (Rock)	=	2.76
Water	=	1.00
Unit Weight of Aggregate		
Fine Aggregate (Sand)	=	1736 kg/m ³
Coarse Aggregate (Rock)	=	1666 kg/m ³
Mixing Water	=	1000 kg/m ³
Maximum Size of Aggregate	=	25 mm. (1")
Fines Modulus of Fine Aggregate	=	3.00
Percent of Coarse aggregate by volume	=	0.65 cu.m/cu.m.concrete
Slump of Concrete	=	10-13 cm.

Calculation

Design Mix	=	260	=	260 ksc.
Use mixing water	=	198.9	kg/cu.m.concrete	
w/c ratio (by weight)	=	0.59		
Use cement	=	$198.9/0.59$	=	337.1 kg/cu.m.concrete
Use Coarse Aggregate	=	0.65×1666	=	1082.9 kg/cu.m.concrete
Volume of cement	=	$337.1/(3.15 \times 1000)$	=	0.107 cu.m.
Volume of water	=	$198.9/1000$	=	0.199 cu.m.
Volume of Coarse Aggregate	=	$1082.9/(2.76 \times 1000)$	=	0.392 cu.m.
Volume of air void	=	1.50%	=	0.015 cu.m.
Volume of Fine Aggregate	=	$1 - 0.107 - 0.1989 - 0.392 - 0.015$	=	0.287 cu.m.
Use Fine Aggregate	=	$0.287 \times 2.63 \times 1000$	=	754.8 kg/cu.m.concrete

Conclusion Used Material

Material	1cu.m. of concrete		50 kg of cement	
	(kg)	(litres)	(kg)	(litres)
Cement	337	107	50	16
Water	199	199	30	30
Sand	755	287	112	43
Rock	1083	392	161	58
Total	2374	985	352	146

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ค.14. แสดงการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 280 ksc. Slump 10-13 Coarse 1”

Mix Design of Concrete

Design Criteria

Ultimate strength of Concrete (fc')	=	280 ksc
Specific Gravity	=	3.15
Portland Cement Type 1	=	2.63
Fine Aggregate (Sand)	=	2.76
Coarse Aggregate (Rock)	=	1.00
Water	=	
Unit Weight of Aggregate	=	
Fine Aggregate (Sand)	=	1736 kg/m ³
Coarse Aggregate (Rock)	=	1666 kg/m ³
Mixing Water	=	1000 kg/m ³
Maximum Size of Aggregate	=	25 mm. (1")
Fines Modulus of Fine Aggregate	=	3.00
Percent of Coarse aggregate by volume	=	0.65 cu.m/cu.m.concrete
Slump of Concrete	=	10-13 cm.

Calculation

Design Mix	=	280	=	280 ksc.
Use mixing water	=	198.9	kg/cu.m.concrete	
w/c ratio (by weight)	=	0.56		
Use cement	=	198.9/0.56	=	355.2 kg/cu.m.concrete
Use Coarse Aggregate	=	0.65x1666	=	1082.9 kg/cu.m.concrete
Volume of cement	=	355.2/(3.15x1000)	=	0.113 cu.m.
Volume of water	=	198.9/1000	=	0.199 cu.m.
Volume of Coarse Aggregate	=	1082.9/(2.76x1000)	=	0.392 cu.m.
Volume of air void	=	1.50%	=	0.015 cu.m.
Volume of Fine Aggregate	=	1-0.113-0.1989-0.392-0.015	=	0.281 cu.m.
Use Fine Aggregate	=	0.281x2.63x1000	=	739.0 kg/cu.m.concrete

Conclusion Used Material

Material	1cu.m. of concrete		50 kg of cement	
	(kg)	(litres)	(kg)	(litres)
Cement	355	113	50	16
Water	199	199	28	28
Sand	739	281	104	40
Rock	1083	392	152	55
Total	2376	985	334	139

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ค.15. แสดงการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 300 ksc. Slump 10-13 Coarse 1”

Mix Design of Concrete

Design Criteria

Ultimate strength of Concrete (fc')	=	300 ksc
Specific Gravity		
Portland Cement Type 1	=	3.15
Fine Aggregate (Sand)	=	2.63
Coarse Aggregate (Rock)	=	2.76
Water	=	1.00
Unit Weight of Aggregate		
Fine Aggregate (Sand)	=	1736 kg/m3
Coarse Aggregate (Rock)	=	1666 kg/m3
Mixing Water	=	1000 kg/m3
Maximum Size of Aggregate	=	25 mm. (1")
Fines Modulus of Fine Aggregate	=	3.00
Percent of Coarse aggregate by volume	=	0.65 cu.m/cu.m.concrete
Slump of Concrete	=	10-13 cm.

Calculation

Design Mix	=	300	=	300 ksc.
Use mixing water	=	198.9	kg/cu.m.concrete	
w/c ratio (by weight)	=	0.54		
Use cement	=	$198.9/0.54$	=	368.3 kg/cu.m.concrete
Use Coarse Aggregate	=	0.65×1666	=	1082.9 kg/cu.m.concrete
Volume of cement	=	$368.3/(3.15 \times 1000)$	=	0.117 cu.m.
Volume of water	=	$198.9/1000$	=	0.199 cu.m.
Volume of Coarse Aggregate	=	$1082.9/(2.76 \times 1000)$	=	0.392 cu.m.
Volume of air void	=	1.50%	=	0.015 cu.m.
Volume of Fine Aggregate	=	$1 - 0.117 - 0.1989 - 0.392 - 0.015$	=	0.277 cu.m.
Use Fine Aggregate	=	$0.277 \times 2.63 \times 1000$	=	728.5 kg/cu.m.concrete

Conclusion Used Material

Material	1cu.m. of concrete		50 kg of cement	
	(kg)	(litres)	(kg)	(litres)
Cement	368	117	50	16
Water	199	199	27	27
Sand	729	277	99	38
Rock	1083	392	147	53
Total	2379	985	323	134

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ค.16. แสดงการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ 320 ksc. Slump 10-13 Coarse 1”

Mix Design of Concrete

Design Criteria

Ultimate strength of Concrete (fc')	=	320 ksc
Specific Gravity	=	3.15
Portland Cement Type 1	=	2.63
Fine Aggregate (Sand)	=	2.76
Coarse Aggregate (Rock)	=	1.00
Water	=	
Unit Weight of Aggregate	=	
Fine Aggregate (Sand)	=	1736 kg/m ³
Coarse Aggregate (Rock)	=	1666 kg/m ³
Mixing Water	=	1000 kg/m ³
Maximum Size of Aggregate	=	25 mm. (1")
Fines Modulus of Fine Aggregate	=	3.00
Percent of Coarse aggregate by volume	=	0.65 cu.m/cu.m.concrete
Slump of Concrete	=	10-13 cm.

Calculation

Design Mix	=	320 = 320 ksc.
Use mixing water	=	198.9 kg/cu.m.concrete
w/c ratio (by weight)	=	0.51
Use cement	=	$198.9/0.51 = 390.0$ kg/cu.m.concrete
Use Coarse Aggregate	=	$0.65 \times 1666 = 1082.9$ kg/cu.m.concrete
Volume of cement	=	$390.0/(3.15 \times 1000) = 0.124$ cu.m.
Volume of water	=	$198.9/1000 = 0.199$ cu.m.
Volume of Coarse Aggregate	=	$1082.9/(2.76 \times 1000) = 0.392$ cu.m.
Volume of air void	=	1.50% = 0.015 cu.m.
Volume of Fine Aggregate	=	$1 - 0.124 - 0.1989 - 0.392 - 0.015 = 0.270$ cu.m.
Use Fine Aggregate	=	$0.270 \times 2.63 \times 1000 = 710.1$ kg/cu.m.concrete

Conclusion Used Material

Material	1cu.m. of concrete		50 kg of cement	
	(kg)	(litres)	(kg)	(litres)
Cement	390	124	50	16
Water	199	199	26	26
Sand	710	270	91	35
Rock	1083	392	139	50
Total	2382	985	305	126

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ข้อมูลที่ได้จากการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผล Compressive Strength ชุดที่ 1

Spec.	Code	Coarse	Cement	Water	Sand	Rock	Cross Section	Height	Weight	Slump	Date of Casted	Date of Test	Ages	Ultimate Load	Comp. Strength	Weight per Volume	Diameter	Diameter	Volume
		no.	kg	kg	kg	kg	cm ²	cm	kg	cm	d/m/y	d/m/y	days	kn	ksc	kg/cu.m.	in	cm	m ³
1	180						176.804	30.01	12.993	10.50	21/11/2004	24/11/2004	3	328.50	189.40	2448.794	5.907	15.00378	0.005306
2	7-10	1"	26.40	19.44	82.80	108.30	176.864	30.00	13.063	10.50	21/11/2004	24/11/2004	3	226.70	130.66	2461.974	5.908	15.00632	0.005306
3							176.864	29.98	12.980	10.50	21/11/2004	24/11/2004	3	249.80	143.97	2447.963	5.908	15.00632	0.005302
4	180						176.624	30.10	13.015	10.50	21/11/2004	30/11/2004	9	332.60	191.96	2448.092	5.904	14.99616	0.005316
5	7-10	1"	26.40	19.44	82.80	108.30	176.864	30.00	13.102	10.50	21/11/2004	30/11/2004	9	399.20	230.08	2469.324	5.908	15.00632	0.005306
6							176.804	30.00	12.913	10.50	21/11/2004	30/11/2004	9	390.30	225.03	2434.527	5.907	15.00378	0.005304
7	180						176.684	30.20	13.127	10.50	21/11/2004	10/12/2004	19	386.70	223.10	2460.149	5.905	14.99870	0.005336
8	7-10	1"	26.40	19.44	82.80	108.30	176.744	30.10	13.006	10.50	21/11/2004	10/12/2004	19	439.30	253.37	2444.742	5.906	15.00124	0.005320
9							176.744	30.20	13.039	10.50	21/11/2004	10/12/2004	19	397.20	229.08	2442.829	5.906	15.00124	0.005338
10	180						176.804	30.10	13.095	10.50	21/11/2004	20/12/2004	29	389.70	224.68	2460.638	5.907	15.00378	0.005322
11	7-10	1"	26.40	19.44	82.80	108.30	176.864	30.20	13.074	10.50	21/11/2004	20/12/2004	29	408.50	235.44	2447.729	5.908	15.00632	0.005341
12							176.804	30.00	12.988	10.50	21/11/2004	20/12/2004	29	341.00	196.60	2448.667	5.907	15.00378	0.005304
1	180						176.923	29.99	12.917	14.00	22/11/2004	25/11/2004	3	259.30	149.40	2434.445	5.909	15.00886	0.005306
2	10-13	1"	24.40	17.90	72.90	97.50	176.864	30.00	12.581	14.00	22/11/2004	25/11/2004	3	334.20	192.62	2371.131	5.908	15.00632	0.005306
3							176.983	30.00	12.948	14.00	22/11/2004	25/11/2004	3	285.10	164.21	2438.648	5.910	15.01140	0.005309
4	180						176.804	30.10	12.996	14.00	22/11/2004	30/11/2004	8	349.10	201.27	2442.035	5.907	15.00378	0.005322
5	10-13	1"	24.40	17.90	72.90	97.50	176.684	29.90	12.964	14.00	22/11/2004	30/11/2004	8	404.70	233.49	2453.978	5.905	14.99870	0.005283
6							176.804	30.00	13.177	14.00	22/11/2004	30/11/2004	8	400.40	230.85	2484.300	5.907	15.00378	0.005304

Spec.	Code	Coarse	Cement	Water	Sand	Rock	Cross Section	Height	Weight	Slump	Date of Casted	Date of Test	Ages	Ultimate Load	Comp. Strength	Weight per Volume	Diameter	Diameter	Volume
		no.	kg	kg	kg	kg	cm ²	cm	kg	cm	d/m/y	d/m/y	days	kn	ksc	kg/cu.m.	in	cm	m3
7	180						176.624	30.20	13.047	14.00	22/11/2004	10/12/2004	18	449.30	259.31	2445.985	5.904	14.99616	0.005334
8	10-13	1"	24.40	17.90	72.90	97.50	176.804	30.10	13.236	14.00	22/11/2004	10/12/2004	18	360.80	208.02	2487.133	5.907	15.00378	0.005322
9							176.804	30.10	13.039	14.00	22/11/2004	10/12/2004	18	360.80	208.02	2450.115	5.907	15.00378	0.005322
10	180						176.744	29.90	13.005	14.00	22/11/2004	20/12/2004	28	400.80	231.16	2460.906	5.906	15.00124	0.005285
11	10-13	1"	24.40	17.90	72.90	97.50	176.864	29.90	13.065	14.00	22/11/2004	20/12/2004	28	335.70	193.48	2470.586	5.908	15.00632	0.005288
12							176.804	30.20	12.995	14.00	22/11/2004	20/12/2004	28	402.00	231.77	2433.762	5.907	15.00378	0.005339
1	200						176.864	30.01	12.803	9.75	22/11/2004	25/11/2004	3	289.20	166.68	2412.168	5.908	15.00632	0.005308
2	7-10	1"	25.20	17.40	73.40	97.50	176.923	29.98	13.104	9.75	22/11/2004	25/11/2004	3	245.10	141.22	2470.512	5.909	15.00886	0.005304
3							176.864	30.00	13.037	9.75	22/11/2004	25/11/2004	3	337.30	194.41	2457.073	5.908	15.00632	0.005306
4	200						176.744	29.90	12.785	9.75	22/11/2004	30/11/2004	8	470.70	271.48	2419.276	5.906	15.00124	0.005285
5	7-10	1"	25.20	17.40	73.40	97.50	176.684	30.00	12.908	9.75	22/11/2004	30/11/2004	8	460.60	265.74	2435.233	5.905	14.99870	0.005301
6							176.864	29.90	13.041	9.75	22/11/2004	30/11/2004	8	396.20	228.35	2466.047	5.908	15.00632	0.005288
7	200						176.684	30.20	13.127	9.75	22/11/2004	10/12/2004	18	432.20	249.36	2460.149	5.905	14.99870	0.005336
8	7-10	1"	25.20	17.40	73.40	97.50	176.624	30.10	13.053	9.75	22/11/2004	10/12/2004	18	460.90	266.00	2455.239	5.904	14.99616	0.005316
9							176.684	30.10	13.031	9.75	22/11/2004	10/12/2004	18	431.90	249.18	2450.271	5.905	14.99870	0.005318
10	200						176.864	30.20	12.948	9.75	22/11/2004	20/12/2004	28	503.30	290.08	2424.139	5.908	15.00632	0.005341
11	7-10	1"	25.20	17.40	73.40	97.50	176.804	30.40	13.013	9.75	22/11/2004	20/12/2004	28	369.80	213.21	2421.099	5.907	15.00378	0.005375
12							176.864	30.30	13.061	9.75	22/11/2004	20/12/2004	28	471.50	271.75	2437.224	5.908	15.00632	0.005359
1	200						176.684	30.01	13.047	12.25	23/11/2004	26/11/2004	3	354.10	204.30	2460.637	5.905	14.99870	0.005302
2	10-13	1"	25.90	17.90	71.50	97.50	176.804	30.00	13.159	12.25	23/11/2004	26/11/2004	3	350.10	201.85	2480.906	5.907	15.00378	0.005304
3							176.624	30.00	13.014	12.25	23/11/2004	26/11/2004	3	348.00	200.84	2456.063	5.904	14.99616	0.005299

Spec.	Code	Coarse	Cement	Water	Sand	Rock	Cross Section	Height	Weight	Slump	Date of Casted	Date of Test	Ages	Ultimate Load	Comp. Strength	Weight per Volume	Diameter	Diameter	Volume
		no.	kg	kg	kg	kg	cm ²	cm	kg	cm	d/m/y	d/m/y	days	kn	ksc	kg/cu.m.	in	cm	m3
4	200						176.684	30.00	13.154	12.25	23/11/2004	30/11/2004	7	412.20	237.82	2481.644	5.905	14.99870	0.005301
5	10-13	1"	25.90	17.90	71.50	97.50	176.744	29.90	13.215	12.25	23/11/2004	30/11/2004	7	441.00	254.35	2500.643	5.906	15.00124	0.005285
6							176.684	30.20	13.003	12.25	23/11/2004	30/11/2004	7	434.90	250.91	2436.910	5.905	14.99870	0.005336
7	200						176.804	30.10	13.127	12.25	23/11/2004	10/12/2004	17	438.00	252.53	2466.651	5.907	15.00378	0.005322
8	10-13	1"	25.90	17.90	71.50	97.50	176.744	30.00	13.317	12.25	23/11/2004	10/12/2004	17	372.50	214.84	2511.545	5.906	15.00124	0.005302
9							176.804	30.10	13.184	12.25	23/11/2004	10/12/2004	17	455.80	262.79	2477.362	5.907	15.00378	0.005322
10	200						176.864	30.20	13.114	12.25	23/11/2004	21/12/2004	28	541.80	312.27	2455.217	5.908	15.00632	0.005341
11	10-13	1"	25.90	17.90	71.50	97.50	176.804	30.20	13.082	12.25	23/11/2004	21/12/2004	28	513.00	295.77	2450.056	5.907	15.00378	0.005339
12							176.864	30.10	13.046	12.25	23/11/2004	21/12/2004	28	491.80	283.45	2450.601	5.908	15.00632	0.005324
1	220						176.744	29.98	13.138	9.00	23/11/2004	26/11/2004	3	369.50	213.11	2479.439	5.906	15.00124	0.005299
2	7-10	1"	26.60	17.40	72.20	97.50	176.684	29.99	13.045	9.00	23/11/2004	26/11/2004	3	342.40	197.55	2461.901	5.905	14.99870	0.005299
3							176.684	30.00	13.130	9.00	23/11/2004	26/11/2004	3	360.50	207.99	2477.116	5.905	14.99870	0.005301
4	220						176.624	30.20	13.136	9.00	23/11/2004	30/11/2004	7	455.50	262.89	2462.670	5.904	14.99616	0.005334
5	7-10	1"	26.60	17.40	72.20	97.50	176.864	30.00	13.156	9.00	23/11/2004	30/11/2004	7	417.60	240.69	2479.501	5.908	15.00632	0.005306
6							176.744	28.90	13.136	9.00	23/11/2004	30/11/2004	7	442.80	255.38	2571.705	5.906	15.00124	0.005108
7	220						176.804	30.30	13.230	9.00	23/11/2004	10/12/2004	17	456.50	263.20	2469.596	5.907	15.00378	0.005357
8	7-10	1"	26.60	17.40	72.20	97.50	176.864	30.30	13.156	9.00	23/11/2004	10/12/2004	17	396.50	228.53	2454.952	5.908	15.00632	0.005359
9							176.684	30.20	13.196	9.00	23/11/2004	10/12/2004	17	548.80	316.63	2473.080	5.905	14.99870	0.005336
10	220						176.804	30.30	13.099	9.00	23/11/2004	21/12/2004	28	570.00	328.64	2445.143	5.907	15.00378	0.005357
11	7-10	1"	26.60	17.40	72.20	97.50	176.864	30.30	13.100	9.00	23/11/2004	21/12/2004	28	565.80	326.10	2444.502	5.908	15.00632	0.005359
12							176.864	30.30	13.263	9.00	23/11/2004	21/12/2004	28	470.10	270.95	2474.918	5.908	15.00632	0.005359

Spec.	Code	Coarse	Cement	Water	Sand	Rock	Cross Section	Height	Weight	Slump	Date of Casted	Date of Test	Ages	Ultimate Load	Comp. Strength	Weight per Volume	Diameter	Diameter	Volume
		no.	kg	kg	kg	kg	cm ²	cm	kg	cm	d/m/y	d/m/y	days	kn	ksc	kg/cu.m.	in	cm	m ³
1	220						176.744	30.01	12.989	13.50	23/11/2004	26/11/2004	3	363.60	209.71	2448.869	5.906	15.00124	0.005304
2	10-13	1"	27.40	17.90	70.30	97.50	176.744	29.98	12.991	13.50	23/11/2004	26/11/2004	3	260.60	150.30	2451.697	5.906	15.00124	0.005299
3							176.684	30.00	13.104	13.50	23/11/2004	26/11/2004	3	208.00	120.00	2472.211	5.905	14.99870	0.005301
4	220						176.684	30.00	13.020	13.50	23/11/2004	30/11/2004	7	423.00	244.05	2456.363	5.905	14.99870	0.005301
5	10-13	1"	27.40	17.90	70.30	97.50	176.804	30.00	13.065	13.50	23/11/2004	30/11/2004	7	469.60	270.75	2463.184	5.907	15.00378	0.005304
6							176.744	30.00	13.005	13.50	23/11/2004	30/11/2004	7	454.90	262.36	2452.703	5.906	15.00124	0.005302
7	220						176.744	30.40	13.153	13.50	23/11/2004	10/12/2004	17	480.40	277.07	2447.975	5.906	15.00124	0.005373
8	10-13	1"	27.40	17.90	70.30	97.50	176.684	30.10	13.136	13.50	23/11/2004	10/12/2004	17	237.30	136.91	2470.015	5.905	14.99870	0.005318
9							176.624	30.20	13.111	13.50	23/11/2004	10/12/2004	17	419.80	242.28	2457.983	5.904	14.99616	0.005334
10	220						176.804	30.30	13.140	13.50	23/11/2004	22/12/2004	29	474.90	273.81	2452.796	5.907	15.00378	0.005357
11	10-13	1"	27.40	17.90	70.30	97.50	176.864	30.00	13.069	13.50	23/11/2004	22/12/2004	29	484.10	279.02	2463.104	5.908	15.00632	0.005306
12							176.864	30.20	13.122	13.50	23/11/2004	22/12/2004	29	474.00	273.19	2456.715	5.908	15.00632	0.005341
1	240						176.624	30.01	13.055	9.50	24/11/2004	27/11/2004	3	353.90	204.25	2462.980	5.904	14.99616	0.005300
2	7-10	1"	28.10	17.40	71.00	97.50	176.684	29.98	13.000	9.50	24/11/2004	27/11/2004	3	373.30	215.37	2454.226	5.905	14.99870	0.005297
3							176.684	29.98	12.888	9.50	24/11/2004	27/11/2004	3	370.80	213.93	2433.082	5.905	14.99870	0.005297
4	240						176.624	29.99	12.928	9.50	24/11/2004	4/12/2004	10	455.80	263.06	2440.646	5.904	14.99616	0.005297
5	7-10	1"	28.10	17.40	71.00	97.50	176.744	30.01	13.039	9.50	24/11/2004	4/12/2004	10	448.10	258.44	2458.296	5.906	15.00124	0.005304
6							176.624	30.00	13.137	9.50	24/11/2004	4/12/2004	10	446.60	257.75	2479.276	5.904	14.99616	0.005299
7	240						176.744	30.20	13.210	9.50	24/11/2004	10/12/2004	16	410.30	236.64	2474.866	5.906	15.00124	0.005338
8	7-10	1"	28.10	17.40	71.00	97.50	176.864	30.10	13.187	9.50	24/11/2004	10/12/2004	16	412.90	237.98	2477.087	5.908	15.00632	0.005324
9							176.804	30.40	13.334	9.50	24/11/2004	10/12/2004	16	390.00	224.86	2480.822	5.907	15.00378	0.005375

Spec.	Code	Coarse	Cement	Water	Sand	Rock	Cross Section	Height	Weight	Slump	Date of Casted	Date of Test	Ages	Ultimate Load	Comp. Strength	Weight per Volume	Diameter	Diameter	Volume
		no.	kg	kg	kg	kg	cm ²	cm	kg	cm	d/m/y	d/m/y	days	kn	ksc	kg/cu.m.	in	cm	m3
10	240						176.804	29.90	13.021	9.50	24/11/2004	22/12/2004	28	531.20	306.27	2463.099	5.907	15.00378	0.005286
11	7-10	1"	28.10	17.40	71.00	97.50	176.923	30.20	13.282	9.50	24/11/2004	22/12/2004	28	532.60	306.86	2485.829	5.909	15.00886	0.005343
12							176.983	29.90	13.060	9.50	24/11/2004	22/12/2004	28	524.80	302.27	2467.969	5.910	15.01140	0.005292
1	240						176.624	30.01	12.914	12.75	24/11/2004	27/11/2004	3	397.50	229.41	2436.379	5.904	14.99616	0.005300
2	10-13	1"	28.90	17.90	69.10	97.50	176.684	30.00	12.948	12.75	24/11/2004	27/11/2004	3	422.30	243.64	2442.780	5.905	14.99870	0.005301
3							176.684	29.99	12.942	12.75	24/11/2004	27/11/2004	3	398.70	230.03	2442.462	5.905	14.99870	0.005299
4	240						176.624	30.00	12.954	12.75	24/11/2004	4/12/2004	10	455.20	262.71	2444.740	5.904	14.99616	0.005299
5	10-13	1"	28.90	17.90	69.10	97.50	176.684	30.01	13.118	12.75	24/11/2004	4/12/2004	10	473.50	273.18	2474.027	5.905	14.99870	0.005302
6							176.684	30.00	13.062	12.75	24/11/2004	4/12/2004	10	445.40	256.97	2464.287	5.905	14.99870	0.005301
7	240						176.684	29.80	12.960	12.75	24/11/2004	10/12/2004	16	407.20	234.93	2461.453	5.905	14.99870	0.005265
8	10-13	1"	28.90	17.90	69.10	97.50	176.804	30.20	13.050	12.75	24/11/2004	10/12/2004	16	499.00	287.70	2444.063	5.907	15.00378	0.005339
9							176.804	30.30	13.014	12.75	24/11/2004	10/12/2004	16	545.70	314.63	2429.276	5.907	15.00378	0.005357
10	240						176.864	30.10	13.181	12.75	24/11/2004	22/12/2004	28	464.40	267.66	2475.960	5.908	15.00632	0.005324
11	10-13	1"	28.90	17.90	69.10	97.50	176.804	29.90	12.901	12.75	24/11/2004	22/12/2004	28	602.60	347.43	2440.400	5.907	15.00378	0.005286
12							176.923	30.00	13.011	12.75	24/11/2004	22/12/2004	28	598.30	344.72	2451.343	5.909	15.00886	0.005308
1	260						176.624	30.00	12.995	10.00	26/11/2004	30/11/2004	4	485.40	280.14	2452.477	5.904	14.99616	0.005299
2	7-10	1"	29.50	17.40	69.80	97.50	176.684	29.90	12.987	10.00	26/11/2004	30/11/2004	4	419.60	242.09	2458.332	5.905	14.99870	0.005283
3							176.684	30.00	13.143	10.00	26/11/2004	30/11/2004	4	430.80	248.55	2479.569	5.905	14.99870	0.005301
4	260						176.624	30.00	13.180	10.00	26/11/2004	4/12/2004	8	473.80	273.45	2487.391	5.904	14.99616	0.005299
5	7-10	1"	29.50	17.40	69.80	97.50	176.684	29.98	13.048	10.00	26/11/2004	4/12/2004	8	507.90	293.03	2463.288	5.905	14.99870	0.005297
6							176.684	30.01	12.907	10.00	26/11/2004	4/12/2004	8	492.80	284.32	2434.233	5.905	14.99870	0.005302

Spec.	Code	Coarse	Cement	Water	Sand	Rock	Cross Section	Height	Weight	Slump	Date of Casted	Date of Test	Ages	Ultimate Load	Comp. Strength	Weight per Volume	Diameter	Diameter	Volume
		no.	kg	kg	kg	kg	cm ²	cm	kg	cm	d/m/y	d/m/y	days	kn	ksc	kg/cu.m.	in	cm	m3
7	260						176.684	29.98	13.055	10.00	26/11/2004	14/12/2004	18	560.00	323.09	2464.610	5.905	14.99870	0.005297
8	7-10	1"	29.50	17.40	69.80	97.50	176.624	29.98	13.006	10.00	26/11/2004	14/12/2004	18	650.60	375.49	2456.191	5.904	14.99616	0.005295
9							176.684	30.00	13.157	10.00	26/11/2004	14/12/2004	18	407.80	235.28	2482.210	5.905	14.99870	0.005301
10	260						176.864	30.00	13.160	10.00	26/11/2004	27/12/2004	31	567.30	326.97	2480.255	5.908	15.00632	0.005306
11	7-10	1"	29.50	17.40	69.80	97.50	176.804	29.90	13.054	10.00	26/11/2004	27/12/2004	31	662.00	381.68	2469.342	5.907	15.00378	0.005286
12							176.864	29.90	13.070	10.00	26/11/2004	27/12/2004	31	680.50	392.21	2471.531	5.908	15.00632	0.005288
1	260						176.804	29.90	13.012	14.00	26/11/2004	30/11/2004	4	434.90	250.74	2461.397	5.907	15.00378	0.005286
2	10-13	1"	30.30	17.90	68.00	97.50	176.744	29.90	13.003	14.00	26/11/2004	30/11/2004	4	441.90	254.87	2460.527	5.906	15.00124	0.005285
3							176.684	30.00	13.087	14.00	26/11/2004	30/11/2004	4	442.30	255.18	2469.004	5.905	14.99870	0.005301
4	260						176.744	29.99	13.031	14.00	26/11/2004	4/12/2004	8	417.50	240.79	2458.426	5.906	15.00124	0.005301
5	10-13	1"	30.30	17.90	68.00	97.50	176.684	29.98	12.990	14.00	26/11/2004	4/12/2004	8	393.60	227.09	2452.338	5.905	14.99870	0.005297
6							176.684	30.00	12.989	14.00	26/11/2004	4/12/2004	8	401.20	231.47	2450.515	5.905	14.99870	0.005301
7	260						176.744	29.99	13.049	14.00	26/11/2004	14/12/2004	18	496.90	286.59	2461.822	5.906	15.00124	0.005301
8	10-13	1"	30.30	17.90	68.00	97.50	176.744	30.00	13.029	14.00	26/11/2004	14/12/2004	18	485.50	280.01	2457.229	5.906	15.00124	0.005302
9							176.684	29.98	13.016	14.00	26/11/2004	14/12/2004	18	478.00	275.78	2457.247	5.905	14.99870	0.005297
10	260						176.923	29.70	13.029	14.00	26/11/2004	27/12/2004	31	570.30	328.59	2479.530	5.909	15.00886	0.005255
11	10-13	1"	30.30	17.90	68.00	97.50	176.864	29.80	13.928	14.00	26/11/2004	27/12/2004	31	586.60	338.09	2642.617	5.908	15.00632	0.005271
12							176.804	29.90	13.070	14.00	26/11/2004	27/12/2004	31	551.50	317.97	2472.368	5.907	15.00378	0.005286
1	280						176.624	30.01	12.966	9.50	1/12/2004	4/12/2004	3	376.40	217.24	2446.189	5.904	14.99616	0.005300
2	7-10	1"	31.10	17.40	68.40	97.50	176.624	30.00	13.194	9.50	1/12/2004	4/12/2004	3	427.20	246.55	2490.034	5.904	14.99616	0.005299
3							176.684	30.00	13.153	9.50	1/12/2004	4/12/2004	3	399.50	230.49	2481.455	5.905	14.99870	0.005301

Spec.	Code	Coarse	Cement	Water	Sand	Rock	Cross Section	Height	Weight	Slump	Date of Casted	Date of Test	Ages	Ultimate Load	Comp. Strength	Weight per Volume	Diameter	Diameter	Volume
		no.	kg	kg	kg	kg	cm ²	cm	kg	cm	d/m/y	d/m/y	days	kn	ksc	kg/cu.m.	in	cm	m3
4	280						176.804	29.90	13.125	9.50	1/12/2004	10/12/2004	9	416.90	240.37	2482.772	5.907	15.00378	0.005286
5	7-10	1"	31.10	17.40	68.40	97.50	176.744	30.00	13.024	9.50	1/12/2004	10/12/2004	9	576.60	332.55	2456.286	5.906	15.00124	0.005302
6							176.744	30.10	13.180	9.50	1/12/2004	10/12/2004	9	450.20	259.65	2477.449	5.906	15.00124	0.005320
7	280						176.684	30.00	13.083	9.50	1/12/2004	16/12/2004	15	577.60	333.24	2468.249	5.905	14.99870	0.005301
8	7-10	1"	31.10	17.40	68.40	97.50	176.744	29.90	13.032	9.50	1/12/2004	16/12/2004	15	581.00	335.09	2466.015	5.906	15.00124	0.005285
9							176.684	29.90	13.025	9.50	1/12/2004	16/12/2004	15	512.90	295.91	2465.525	5.905	14.99870	0.005283
10	280						175.847	30.20	13.192	9.50	1/12/2004	29/12/2004	28	475.10	275.41	2484.096	5.891	14.96314	0.005311
11	7-10	1"	31.10	17.40	68.40	97.50	176.564	30.20	13.164	9.50	1/12/2004	29/12/2004	28	626.20	361.53	2468.755	5.903	14.99362	0.005332
12							175.489	30.30	13.208	9.50	1/12/2004	29/12/2004	28	530.30	308.04	2483.958	5.885	14.94790	0.005317
1	280						176.684	29.98	13.115	11.50	30/11/2004	4/12/2004	4	501.40	289.28	2475.937	5.905	14.99870	0.005297
2	10-13	1"	32.00	17.90	66.50	97.50	176.624	30.01	13.124	11.50	30/11/2004	4/12/2004	4	469.40	270.91	2475.998	5.904	14.99616	0.005300
3							176.744	30.01	12.980	11.50	30/11/2004	4/12/2004	4	525.60	303.14	2447.172	5.906	15.00124	0.005304
4	280						176.684	30.10	13.220	11.50	30/11/2004	10/12/2004	10	557.00	321.36	2485.809	5.905	14.99870	0.005318
5	10-13	1"	32.00	17.90	66.50	97.50	176.624	30.20	13.078	11.50	30/11/2004	10/12/2004	10	603.60	348.36	2451.796	5.904	14.99616	0.005334
6							176.684	30.10	13.083	11.50	30/11/2004	10/12/2004	10	583.70	336.76	2460.049	5.905	14.99870	0.005318
7	280						176.744	30.00	13.008	11.50	30/11/2004	14/12/2004	14	582.60	336.01	2453.268	5.906	15.00124	0.005302
8	10-13	1"	32.00	17.90	66.50	97.50	176.684	30.01	13.220	11.50	30/11/2004	14/12/2004	14	569.10	328.34	2493.264	5.905	14.99870	0.005302
9							176.684	30.00	13.136	11.50	30/11/2004	14/12/2004	14	577.00	332.90	2478.248	5.905	14.99870	0.005301
10	280						176.864	30.00	13.186	11.50	30/11/2004	27/12/2004	27	559.00	322.18	2485.155	5.908	15.00632	0.005306
11	10-13	1"	32.00	17.90	66.50	97.50	176.804	30.10	13.232	11.50	30/11/2004	27/12/2004	27	556.20	320.68	2486.381	5.907	15.00378	0.005322
12							176.864	30.10	13.187	11.50	30/11/2004	27/12/2004	27	574.30	331.00	2477.087	5.908	15.00632	0.005324

Spec.	Code	Coarse	Cement	Water	Sand	Rock	Cross Section	Height	Weight	Slump	Date of Casted	Date of Test	Ages	Ultimate Load	Comp. Strength	Weight per Volume	Diameter	Diameter	Volume
		no.	kg	kg	kg	kg	cm ²	cm	kg	cm	d/m/y	d/m/y	days	kn	ksc	kg/cu.m.	in	cm	m ³
1	300						176.684	30.01	13.028	9.50	1/12/2004	4/12/2004	3	363.50	209.72	2457.054	5.905	14.99870	0.005302
2	7-10	1"	32.20	17.40	67.50	97.50	176.804	29.98	13.128	9.50	1/12/2004	4/12/2004	3	392.60	226.35	2476.713	5.907	15.00378	0.005301
3							176.744	29.99	13.049	9.50	1/12/2004	4/12/2004	3	451.90	260.63	2461.822	5.906	15.00124	0.005301
4	300						176.744	30.20	13.058	9.50	1/12/2004	10/12/2004	9	553.00	318.94	2446.389	5.906	15.00124	0.005338
5	7-10	1"	32.20	17.40	67.50	97.50	176.804	30.20	13.145	9.50	1/12/2004	10/12/2004	9	522.20	301.08	2461.855	5.907	15.00378	0.005339
6							176.804	30.10	13.101	9.50	1/12/2004	10/12/2004	9	516.50	297.79	2461.766	5.907	15.00378	0.005322
7	300						176.684	30.00	13.188	9.50	1/12/2004	16/12/2004	15	646.40	372.94	2487.681	5.905	14.99870	0.005301
8	7-10	1"	32.20	17.40	67.50	97.50	176.804	29.90	13.200	9.50	1/12/2004	16/12/2004	15	609.50	351.41	2496.959	5.907	15.00378	0.005286
9							176.804	29.90	13.077	9.50	1/12/2004	16/12/2004	15	548.50	316.24	2473.692	5.907	15.00378	0.005286
10	300						176.086	30.30	13.215	9.50	1/12/2004	29/12/2004	28	581.70	336.75	2476.849	5.895	14.97330	0.005335
11	7-10	1"	32.20	17.40	67.50	97.50	175.907	30.20	13.036	9.50	1/12/2004	29/12/2004	28	646.70	374.76	2453.887	5.892	14.96568	0.005312
12							176.086	29.90	13.020	9.50	1/12/2004	29/12/2004	28	587.70	340.22	2472.947	5.895	14.97330	0.005265
1	300						176.684	30.00	12.995	10.75	1/12/2004	4/12/2004	3	378.50	218.37	2451.647	5.905	14.99870	0.005301
2	10-13	1"	33.10	17.90	65.00	97.50	176.684	30.01	13.119	10.75	1/12/2004	4/12/2004	3	385.60	222.47	2474.216	5.905	14.99870	0.005302
3							176.624	30.00	13.078	10.75	1/12/2004	4/12/2004	3	362.30	209.10	2468.142	5.904	14.99616	0.005299
4	300						176.624	30.30	13.074	10.75	1/12/2004	10/12/2004	9	589.90	340.45	2442.957	5.904	14.99616	0.005352
5	10-13	1"	33.10	17.90	65.00	97.50	176.744	30.20	13.085	10.75	1/12/2004	10/12/2004	9	482.00	277.99	2451.447	5.906	15.00124	0.005338
6							176.804	30.10	13.006	10.75	1/12/2004	10/12/2004	9	635.90	366.63	2443.914	5.907	15.00378	0.005322
7	300						176.744	30.00	13.050	10.75	1/12/2004	16/12/2004	15	667.40	384.92	2461.190	5.906	15.00124	0.005302
8	10-13	1"	33.10	17.90	65.00	97.50	176.804	29.90	13.061	10.75	1/12/2004	16/12/2004	15	627.00	361.50	2470.666	5.907	15.00378	0.005286
9							176.804	30.00	13.249	10.75	1/12/2004	16/12/2004	15	329.30	189.86	2497.874	5.907	15.00378	0.005304

Spec.	Code	Coarse	Cement	Water	Sand	Rock	Cross Section	Height	Weight	Slump	Date of Casted	Date of Test	Ages	Ultimate Load	Comp. Strength	Weight per Volume	Diameter	Diameter	Volume
		no.	kg	kg	kg	kg	cm ²	cm	kg	cm	d/m/y	d/m/y	days	kn	ksc	kg/cu.m.	in	cm	m ³
10	300						178.123	30.00	13.201	10.75	1/12/2004	29/12/2004	28	500.10	286.20	2470.389	5.929	15.05966	0.005344
11	10-13	1"	33.10	17.90	65.00	97.50	177.703	30.10	13.187	10.75	1/12/2004	29/12/2004	28	517.40	296.80	2465.389	5.922	15.04188	0.005349
12							176.684	30.00	13.208	10.75	1/12/2004	29/12/2004	28	639.50	368.96	2491.832	5.905	14.99870	0.005301
1	320						176.684	30.00	12.895	7.50	3/12/2004	10/12/2004	7	488.20	281.66	2432.781	5.905	14.99870	0.005301
2	7-10	1"	34.10	17.40	66.10	97.50	176.804	30.00	12.896	7.50	3/12/2004	10/12/2004	7	492.10	283.72	2431.322	5.907	15.00378	0.005304
3							176.744	29.90	12.971	7.50	3/12/2004	10/12/2004	7	435.70	251.29	2454.472	5.906	15.00124	0.005285
4	320						176.684	30.01	12.238	7.50	3/12/2004	14/12/2004	11	443.90	256.11	2308.061	5.905	14.99870	0.005302
5	7-10	1"	34.10	17.40	66.10	97.50	176.684	29.98	13.084	7.50	3/12/2004	14/12/2004	11	556.00	320.78	2470.084	5.905	14.99870	0.005297
6							176.744	30.00	13.091	7.50	3/12/2004	14/12/2004	11	365.90	211.03	2468.922	5.906	15.00124	0.005302
7	320						176.804	30.00	13.169	7.50	3/12/2004	17/12/2004	14	538.60	310.53	2482.792	5.907	15.00378	0.005304
8	7-10	1"	34.10	17.40	66.10	97.50	176.864	29.90	13.034	7.50	3/12/2004	17/12/2004	14	584.80	337.05	2464.724	5.908	15.00632	0.005288
9							176.804	30.00	13.185	7.50	3/12/2004	17/12/2004	14	550.00	317.10	2485.808	5.907	15.00378	0.005304
10	320						176.864	30.10	13.158	7.50	3/12/2004	31/12/2004	28	545.10	314.17	2471.639	5.908	15.00632	0.005324
11	7-10	1"	34.10	17.40	66.10	97.50	176.804	30.00	13.106	7.50	3/12/2004	31/12/2004	28	520.70	300.21	2470.914	5.907	15.00378	0.005304
12							176.864	30.00	13.333	7.50	3/12/2004	31/12/2004	28	317.20	182.82	2512.860	5.908	15.00632	0.005306
1	320						176.744	29.90	12.878	11.00	3/12/2004	10/12/2004	7	467.20	269.46	2436.874	5.906	15.00124	0.005285
2	10-13	1"	35.10	17.90	63.90	97.50	176.804	30.00	12.867	11.00	3/12/2004	10/12/2004	7	471.30	271.73	2425.855	5.907	15.00378	0.005304
3							176.684	30.00	13.017	11.00	3/12/2004	10/12/2004	7	420.10	242.37	2455.797	5.905	14.99870	0.005301
4	320						176.624	30.02	13.203	11.00	3/12/2004	14/12/2004	11	428.60	247.36	2490.072	5.904	14.99616	0.005302
5	10-13	1"	35.10	17.90	63.90	97.50	176.684	30.00	13.162	11.00	3/12/2004	14/12/2004	11	451.20	260.32	2483.153	5.905	14.99870	0.005301
6							176.624	29.99	12.947	11.00	3/12/2004	14/12/2004	11	500.60	288.92	2444.233	5.904	14.99616	0.005297

Spec.	Code	Coarse	Cement	Water	Sand	Rock	Cross Section	Height	Weight	Slump	Date of Casted	Date of Test	Ages	Ultimate Load	Comp. Strength	Weight per Volume	Diameter	Diameter	Volume
		no.	kg	kg	kg	kg	cm ²	cm	kg	cm	d/m/y	d/m/y	days	kn	ksc	kg/cu.m.	in	cm	m3
7	320						176.804	30.10	13.159	11.00	3/12/2004	17/12/2004	14	472.40	272.36	2472.664	5.907	15.00378	0.005322
8	10-13	1"	35.10	17.90	63.90	97.50	176.864	30.00	13.059	11.00	3/12/2004	17/12/2004	14	488.50	281.55	2461.220	5.908	15.00632	0.005306
9							176.864	30.00	13.062	11.00	3/12/2004	17/12/2004	14	517.50	298.27	2461.785	5.908	15.00632	0.005306
10	320						176.804	30.00	13.245	11.00	3/12/2004	31/12/2004	28	661.80	381.56	2497.120	5.907	15.00378	0.005304
11	10-13	1"	35.10	17.90	63.90	97.50	176.804	30.10	13.298	11.00	3/12/2004	31/12/2004	28	564.40	325.41	2498.783	5.907	15.00378	0.005322
12							176.864	30.10	13.196	11.00	3/12/2004	31/12/2004	28	630.80	363.57	2478.777	5.908	15.00632	0.005324



ตารางบันทึกผล Compressive Strength ชุดที่ 2

Spec.	Code	Coarse	Cement	Water	Sand	Rock	Cross Section	Height	Weight	Slump	Date of Casted	Date of Test	Ages	Ultimate Load	Comp Strength	Weight per Volume	Diameter	Diameter	Volume
		no.	kg	kg	kg	kg	cm ²	cm	kg	cm	d/m/y	d/m/y	days	kn	ksc	kg/cu.m.	in	cm	m ³
1							176.684	30.00	12.732	5.50	21/12/2004	27/12/2004	6	261.20	150.70	2402.029	5.905	14.99870	0.005301
2	ชุดที่ 1	1"	21.00	16.20	79.30	98.40	176.804	30.10	12.725	5.50	21/12/2004	27/12/2004	6	293.10	168.99	2391.113	5.907	15.00378	0.005322
3							176.923	29.90	12.825	5.50	21/12/2004	27/12/2004	6	284.60	163.98	2424.381	5.909	15.00886	0.005290
4							176.864	30.00	12.973	5.50	21/12/2004	28/12/2004	7	264.30	152.33	2445.011	5.908	15.00632	0.005306
5	ชุดที่ 1	1"	21.00	16.20	79.30	98.40	176.744	30.10	12.801	5.50	21/12/2004	28/12/2004	7	291.90	168.35	2406.208	5.906	15.00124	0.005320
6							178.785	30.10	13.170	5.50	21/12/2004	28/12/2004	7	280.50	159.93	2447.311	5.940	15.08760	0.005381
7							176.624	30.00	12.801	5.50	21/12/2004	6/01/2005	16	347.00	200.27	2415.865	5.904	14.99616	0.005299
8	ชุดที่ 1	1"	21.00	16.20	79.30	98.40	176.684	30.00	12.761	5.50	21/12/2004	6/01/2005	16	328.60	189.58	2407.500	5.905	14.99870	0.005301
9							176.804	29.95	12.866	5.50	21/12/2004	6/01/2005	16	321.50	185.36	2429.716	5.907	15.00378	0.005295
10							176.804	30.20	12.849	5.50	21/12/2004	18/01/2005	28	394.30	227.34	2406.418	5.907	15.00378	0.005339
11	ชุดที่ 1	1"	21.00	16.20	79.30	98.40	176.864	30.00	12.860	5.50	21/12/2004	18/01/2005	28	379.00	218.44	2423.714	5.908	15.00632	0.005306
12							176.864	30.10	12.922	5.50	21/12/2004	18/01/2005	28	357.10	205.82	2427.308	5.908	15.00632	0.005324
1							176.804	29.90	12.945	13.00	21/12/2004	27/12/2004	6	481.40	277.55	2448.723	5.907	15.00378	0.005286
2	ชุดที่ 2	1"	31.20	17.60	71.50	93.90	176.864	30.00	13.000	13.00	21/12/2004	27/12/2004	6	405.60	233.77	2450.100	5.908	15.00632	0.005306
3							176.983	30.10	13.017	13.00	21/12/2004	27/12/2004	6	400.00	230.39	2443.499	5.910	15.01140	0.005327
4							176.564	30.10	12.927	13.00	21/12/2004	28/12/2004	7	498.40	287.74	2432.363	5.903	14.99362	0.005315
5	ชุดที่ 2	4"	31.20	17.60	71.50	93.90	176.864	29.90	12.935	13.00	21/12/2004	28/12/2004	7	343.30	197.86	2446.003	5.908	15.00632	0.005288
6							176.744	30.20	12.987	13.00	21/12/2004	28/12/2004	7	484.10	279.20	2433.087	5.906	15.00124	0.005338

Spec.	Code	Coarse	Cement	Water	Sand	Rock	Cross Section	Height	Weight	Slump	Date of Casted	Date of Test	Ages	Ultimate Load	Comp Strength	Weight per Volume	Diameter	Diameter	Volume
		no.	kg	kg	kg	kg	cm ²	cm	kg	cm	d/m/y	d/m/y	days	kn	ksc	kg/cu.m.	in	cm	m ³
7							176.804	30.00	12.948	13.00	21/12/2004	6/01/2005	16	419.00	241.58	2441.126	5.907	15.00378	0.005304
8	ชุดที่ 2	1"	31.20	17.60	71.50	93.90	176.624	30.00	13.012	13.00	21/12/2004	6/01/2005	16	554.00	319.74	2455.686	5.904	14.99616	0.005299
9							176.744	30.00	13.014	13.00	21/12/2004	6/01/2005	16	401.20	231.39	2454.400	5.906	15.00124	0.005302
10							176.804	30.10	12.971	13.00	21/12/2004	18/01/2005	28	550.40	317.34	2437.338	5.907	15.00378	0.005322
11	ชุดที่ 2	1"	31.20	17.60	71.50	93.90	176.923	30.00	13.003	13.00	21/12/2004	18/01/2005	28	571.90	329.51	2449.836	5.909	15.00886	0.005308
12							176.804	30.10	12.939	13.00	21/12/2004	18/01/2005	28	568.40	327.71	2431.325	5.907	15.00378	0.005322
1							176.864	29.80	12.896	3.00	22/12/2004	27/12/2004	5	303.10	174.69	2446.811	5.908	15.00632	0.005271
2	ชุดที่ 3	1"	25.50	16.90	76.00	95.50	176.804	30.20	12.940	3.00	22/12/2004	27/12/2004	5	330.70	190.67	2423.461	5.907	15.00378	0.005339
3							176.804	30.10	13.107	3.00	22/12/2004	27/12/2004	5	338.10	194.93	2462.893	5.907	15.00378	0.005322
4							176.804	30.30	12.891	3.00	22/12/2004	29/12/2004	7	395.30	227.91	2406.316	5.907	15.00378	0.005357
5	ชุดที่ 3	1"	25.50	16.90	76.00	95.50	177.343	30.10	13.027	3.00	22/12/2004	29/12/2004	7	320.10	183.99	2440.418	5.916	15.02664	0.005338
6							176.804	30.10	12.858	3.00	22/12/2004	29/12/2004	7	360.50	207.85	2416.104	5.907	15.00378	0.005322
7							176.684	29.94	12.917	3.00	22/12/2004	6/01/2005	15	430.80	248.55	2441.815	5.905	14.99870	0.005290
8	ชุดที่ 3	1"	25.50	16.90	76.00	95.50	176.684	29.97	12.983	3.00	22/12/2004	6/01/2005	15	466.50	269.14	2451.835	5.905	14.99870	0.005295
9							176.804	30.00	12.960	3.00	22/12/2004	6/01/2005	15	398.00	229.47	2443.388	5.907	15.00378	0.005304
10							176.864	30.40	12.756	3.00	22/12/2004	19/01/2005	28	539.60	311.00	2372.480	5.908	15.00632	0.005377
11	ชุดที่ 3	1"	25.50	16.90	76.00	95.50	176.804	30.30	12.839	3.00	22/12/2004	19/01/2005	28	529.90	305.52	2396.610	5.907	15.00378	0.005357
12							176.864	30.40	12.828	3.00	22/12/2004	19/01/2005	28	522.40	301.09	2385.872	5.908	15.00632	0.005377
1							176.804	30.10	13.064	6.50	22/12/2004	27/12/2004	5	299.30	172.56	2454.813	5.907	15.00378	0.005322
2	ชุดที่ 4	1"	27.20	16.10	77.40	94.40	176.804	30.00	12.919	6.50	22/12/2004	27/12/2004	5	343.30	197.93	2435.658	5.907	15.00378	0.005304
3							176.864	30.00	12.972	6.50	22/12/2004	27/12/2004	5	340.70	196.37	2444.823	5.908	15.00632	0.005306

Spec.	Code	Coarse	Cement	Water	Sand	Rock	Cross Section	Height	Weight	Slump	Date of Casted	Date of Test	Ages	Ultimate Load	Comp Strength	Weight per Volume	Diameter	Diameter	Volume
		no.	kg	kg	kg	kg	cm ²	cm	kg	cm	d/m/y	d/m/y	days	kn	ksc	kg/cu.m.	in	cm	m3
4							177.223	29.90	13.061	6.50	22/12/2004	29/12/2004	7	398.70	229.33	2464.820	5.914	15.02156	0.005299
5	ชุดที่ 4	1"	27.20	16.10	77.40	94.40	177.403	30.10	12.926	6.50	22/12/2004	29/12/2004	7	364.90	209.67	2420.679	5.917	15.02918	0.005340
6							175.967	30.10	12.877	6.50	22/12/2004	29/12/2004	7	428.00	247.94	2431.185	5.893	14.96822	0.005297
7							176.744	30.00	12.762	6.50	22/12/2004	6/01/2005	15	438.80	253.08	2406.874	5.906	15.00124	0.005302
8	ชุดที่ 4	1"	27.20	16.10	77.40	94.40	176.684	30.00	12.764	6.50	22/12/2004	6/01/2005	15	339.20	195.70	2408.066	5.905	14.99870	0.005301
9							176.744	30.00	12.767	6.50	22/12/2004	6/01/2005	15	445.30	256.83	2407.817	5.906	15.00124	0.005302
10							176.864	30.00	12.727	6.50	22/12/2004	19/01/2005	28	467.20	269.27	2398.648	5.908	15.00632	0.005306
11	ชุดที่ 4	1"	27.20	16.10	77.40	94.40	176.804	30.10	12.729	6.50	22/12/2004	19/01/2005	28	524.20	302.23	2391.864	5.907	15.00378	0.005322
12							176.744	30.10	12.757	6.50	22/12/2004	19/01/2005	28	536.00	309.14	2397.938	5.906	15.00124	0.005320
1							176.923	30.10	13.129	4.50	22/12/2004	27/12/2004	5	457.60	263.65	2465.357	5.909	15.00886	0.005325
2	ชุดที่ 5	1"	28.90	15.80	78.80	92.90	176.983	29.90	13.925	4.50	22/12/2004	27/12/2004	5	443.20	255.27	2631.430	5.910	15.01140	0.005292
3							176.684	29.90	13.953	4.50	22/12/2004	27/12/2004	5	434.60	250.74	2641.188	5.905	14.99870	0.005283
4							176.744	30.10	12.850	4.50	22/12/2004	29/12/2004	7	476.50	274.82	2415.419	5.906	15.00124	0.005320
5	ชุดที่ 5	1"	28.90	15.80	78.80	92.90	176.744	30.10	13.009	4.50	22/12/2004	29/12/2004	7	459.00	264.73	2445.306	5.906	15.00124	0.005320
6							176.804	30.00	12.887	4.50	22/12/2004	29/12/2004	7	440.10	253.74	2429.625	5.907	15.00378	0.005304
7							176.804	29.96	12.960	4.50	22/12/2004	6/01/2005	15	510.80	294.50	2446.651	5.907	15.00378	0.005297
8	ชุดที่ 5	1"	28.90	15.80	78.80	92.90	176.744	29.97	12.913	4.50	22/12/2004	6/01/2005	15	532.10	306.89	2437.790	5.906	15.00124	0.005297
9							176.804	29.99	12.945	4.50	22/12/2004	6/01/2005	15	551.20	317.80	2441.374	5.907	15.00378	0.005302
10							176.804	30.40	13.049	4.50	22/12/2004	19/01/2005	28	531.50	306.44	2427.797	5.907	15.00378	0.005375
11	ชุดที่ 5	1"	28.90	15.80	78.80	92.90	176.804	30.20	12.994	4.50	22/12/2004	19/01/2005	28	559.60	322.64	2433.575	5.907	15.00378	0.005339
12							176.864	30.30	12.849	4.50	22/12/2004	19/01/2005	28	520.10	299.76	2397.664	5.908	15.00632	0.005359

Spec.	Code	Coarse	Cement	Water	Sand	Rock	Cross Section	Height	Weight	Slump	Date of Casted	Date of Test	Ages	Ultimate Load	Comp Strength	Weight per Volume	Diameter	Diameter	Volume
		no.	kg	kg	kg	kg	cm ²	cm	kg	cm	d/m/y	d/m/y	days	kn	ksc	kg/cu.m.	in	cm	m ³
1							176.744	30.00	12.912	11.00	23/12/2004	27/12/2004	4	181.70	104.80	2435.163	5.906	15.00124	0.005302
2	ชุดที่ 6	1"	22.10	18.00	73.10	98.90	176.804	30.00	12.610	11.00	23/12/2004	27/12/2004	4	147.90	85.27	2377.402	5.907	15.00378	0.005304
3							176.983	29.90	12.543	11.00	23/12/2004	27/12/2004	4	197.90	113.98	2370.271	5.910	15.01140	0.005292
4							176.804	30.00	12.710	11.00	23/12/2004	30/12/2004	7	212.40	122.46	2396.255	5.907	15.00378	0.005304
5	ชุดที่ 6	1"	22.10	18.00	73.10	98.90	176.864	30.10	12.786	11.00	23/12/2004	30/12/2004	7	233.20	134.41	2401.762	5.908	15.00632	0.005324
6							176.804	30.00	12.684	11.00	23/12/2004	30/12/2004	7	233.70	134.74	2391.353	5.907	15.00378	0.005304
7							176.684	30.02	12.691	11.00	23/12/2004	6/01/2005	14	236.60	136.51	2392.699	5.905	14.99870	0.005304
8	ชุดที่ 6	1"	22.10	18.00	73.10	98.90	176.624	30.01	12.785	11.00	23/12/2004	6/01/2005	14	183.70	106.02	2412.041	5.904	14.99616	0.005300
9							176.684	29.95	12.820	11.00	23/12/2004	6/01/2005	14	252.00	145.39	2422.669	5.905	14.99870	0.005292
10							176.804	30.20	12.890	11.00	23/12/2004	20/01/2005	28	342.50	197.47	2414.097	5.907	15.00378	0.005339
11	ชุดที่ 6	1"	22.10	18.00	73.10	98.90	176.864	29.90	12.684	11.00	23/12/2004	20/01/2005	28	310.10	178.73	2398.539	5.908	15.00632	0.005288
12							176.864	30.10	12.708	11.00	23/12/2004	20/01/2005	28	347.20	200.11	2387.110	5.908	15.00632	0.005324
1							176.804	29.90	12.800	15.50	23/12/2004	27/12/2004	4	268.20	154.63	2421.294	5.907	15.00378	0.005286
2	ชุดที่ 7	1"	29.80	17.10	71.50	96.40	176.923	30.00	12.705	15.50	23/12/2004	27/12/2004	4	200.70	115.64	2393.691	5.909	15.00886	0.005308
3							176.923	30.00	12.834	15.50	23/12/2004	27/12/2004	4	263.60	151.88	2417.995	5.909	15.00886	0.005308
4							176.744	30.00	12.811	15.50	23/12/2004	30/12/2004	7	297.70	171.70	2416.115	5.906	15.00124	0.005302
5	ชุดที่ 7	1"	29.80	17.10	71.50	96.40	176.684	29.90	12.734	15.50	23/12/2004	30/12/2004	7	281.80	162.58	2410.441	5.905	14.99870	0.005283
6							176.744	29.90	12.948	15.50	23/12/2004	30/12/2004	7	326.60	188.37	2450.120	5.906	15.00124	0.005285
7							176.804	30.00	13.019	15.50	23/12/2004	6/01/2005	14	408.20	235.35	2454.512	5.907	15.00378	0.005304
8	ชุดที่ 7	1"	29.80	17.10	71.50	96.40	176.684	30.00	12.855	15.50	23/12/2004	6/01/2005	14	404.40	233.32	2425.234	5.905	14.99870	0.005301
9							176.744	29.97	12.946	15.50	23/12/2004	6/01/2005	14	379.50	218.88	2444.019	5.906	15.00124	0.005297

Spec.	Code	Coarse	Cement	Water	Sand	Rock	Cross Section	Height	Weight	Slump	Date of Casted	Date of Test	Ages	Ultimate Load	Comp Strength	Weight per Volume	Diameter	Diameter	Volume
		no.	kg	kg	kg	kg	cm ²	cm	kg	cm	d/m/y	d/m/y	days	kn	ksc	kg/cu.m.	in	cm	m ³
10							176.923	30.00	12.952	15.50	23/12/2004	20/01/2005	28	476.30	274.43	2440.227	5.909	15.00886	0.005308
11	ชุดที่ 7	1"	29.80	17.10	71.50	96.40	176.744	30.20	12.897	15.50	23/12/2004	20/01/2005	28	442.80	255.38	2416.226	5.906	15.00124	0.005338
12							176.804	30.00	12.861	15.50	23/12/2004	20/01/2005	28	349.70	201.62	2424.724	5.907	15.00378	0.005304
1							176.804	29.90	12.711	10.50	23/12/2004	27/12/2004	4	439.20	253.22	2404.458	5.907	15.00378	0.005286
2	ชุดที่ 8	1"	34.00	16.70	72.20	93.20	176.864	29.90	12.638	10.50	23/12/2004	27/12/2004	4	401.70	231.52	2389.840	5.908	15.00632	0.005288
3							176.864	29.90	12.789	10.50	23/12/2004	27/12/2004	4	419.30	241.67	2418.394	5.908	15.00632	0.005288
4							176.684	30.00	12.725	10.50	23/12/2004	30/12/2004	7	461.90	266.49	2400.708	5.905	14.99870	0.005301
5	ชุดที่ 8	1"	34.00	16.70	72.20	93.20	176.804	30.10	12.879	10.50	23/12/2004	30/12/2004	7	441.90	254.78	2420.050	5.907	15.00378	0.005322
6							176.804	30.00	12.906	10.50	23/12/2004	30/12/2004	7	463.40	267.17	2433.208	5.907	15.00378	0.005304
7							176.744	30.00	12.898	10.50	23/12/2004	6/01/2005	14	530.20	305.79	2432.523	5.906	15.00124	0.005302
8	ชุดที่ 8	1"	34.00	16.70	72.20	93.20	176.684	30.00	12.919	10.50	23/12/2004	6/01/2005	14	496.10	286.22	2437.309	5.905	14.99870	0.005301
9							176.684	30.00	13.068	10.50	23/12/2004	6/01/2005	14	497.50	287.03	2465.419	5.905	14.99870	0.005301
10							176.864	29.90	12.920	10.50	23/12/2004	20/01/2005	28	592.50	341.49	2443.166	5.908	15.00632	0.005288
11	ชุดที่ 8	1"	34.00	16.70	72.20	93.20	176.744	30.00	12.863	10.50	23/12/2004	20/01/2005	28	565.40	326.09	2425.922	5.906	15.00124	0.005302
12							176.864	29.90	12.817	10.50	23/12/2004	20/01/2005	28	604.50	348.41	2423.689	5.908	15.00632	0.005288
1							176.804	29.90	12.474	21.50	27/12/2004	30/12/2004	3	131.00	75.53	2359.627	5.907	15.00378	0.005286
2	ชุดที่ 9	1"	23.80	18.50	73.10	95.90	176.864	29.80	12.798	21.50	27/12/2004	30/12/2004	3	97.50	56.19	2428.217	5.908	15.00632	0.005271
3							176.804	29.90	12.771	21.50	27/12/2004	30/12/2004	3	84.80	48.89	2415.808	5.907	15.00378	0.005286
4							176.864	29.90	12.425	21.50	27/12/2004	3/01/2005	7	190.10	109.57	2349.562	5.908	15.00632	0.005288
5	ชุดที่ 9	1"	23.80	18.50	73.10	95.90	176.804	29.80	12.553	21.50	27/12/2004	3/01/2005	7	138.20	79.68	2382.539	5.907	15.00378	0.005269
6							176.804	29.80	12.352	21.50	27/12/2004	3/01/2005	7	149.00	85.91	2344.389	5.907	15.00378	0.005269

Spec.	Code	Coarse	Cement	Water	Sand	Rock	Cross Section	Height	Weight	Slump	Date of Casted	Date of Test	Ages	Ultimate Load	Comp Strength	Weight per Volume	Diameter	Diameter	Volume
		no.	kg	kg	kg	kg	cm ²	cm	kg	cm	d/m/y	d/m/y	days	kn	ksc	kg/cu.m.	in	cm	m ³
7							176.804	29.90	12.558	21.50	27/12/2004	10/01/2005	14	231.00	133.18	2375.516	5.907	15.00378	0.005286
8	ชุดที่ 9	1"	23.80	18.50	73.10	95.90	176.864	30.10	12.714	21.50	27/12/2004	10/01/2005	14	219.10	126.28	2388.237	5.908	15.00632	0.005324
9							176.884	29.90	12.547	21.50	27/12/2004	10/01/2005	14	253.70	146.37	2375.044	5.905	14.99870	0.005283
10							176.864	29.90	12.551	21.50	27/12/2004	24/01/2005	28	290.80	167.61	2373.389	5.908	15.00632	0.005288
11	ชุดที่ 9	1"	23.80	18.50	73.10	95.90	176.804	29.80	12.604	21.50	27/12/2004	24/01/2005	28	252.70	145.70	2392.219	5.907	15.00378	0.005269
12							176.864	29.60	12.731	21.50	27/12/2004	24/01/2005	28	262.70	151.41	2431.826	5.908	15.00632	0.005235
1							176.744	30.00	12.764	21.50	27/12/2004	30/12/2004	3	161.80	93.32	2407.251	5.906	15.00124	0.005302
2	ชุดที่ 10	1"	25.50	18.00	73.10	95.90	176.804	29.90	12.692	21.50	27/12/2004	30/12/2004	3	196.90	113.52	2400.864	5.907	15.00378	0.005286
3							176.804	29.90	12.699	21.50	27/12/2004	30/12/2004	3	153.70	88.62	2402.188	5.907	15.00378	0.005286
4							176.744	30.00	12.697	21.50	27/12/2004	3/01/2005	7	212.70	122.67	2394.615	5.906	15.00124	0.005302
5	ชุดที่ 10	1"	25.50	18.00	73.10	95.90	176.804	30.00	12.776	21.50	27/12/2004	3/01/2005	7	176.70	101.88	2408.698	5.907	15.00378	0.005304
6							176.804	29.90	12.767	21.50	27/12/2004	3/01/2005	7	209.80	120.96	2415.052	5.907	15.00378	0.005286
7							176.744	29.80	12.724	21.50	27/12/2004	10/01/2005	14	325.20	187.56	2415.812	5.906	15.00124	0.005267
8	ชุดที่ 10	1"	25.50	18.00	73.10	95.90	176.804	30.10	12.666	21.50	27/12/2004	10/01/2005	14	336.70	194.13	2380.026	5.907	15.00378	0.005322
9							176.804	30.10	12.805	21.50	27/12/2004	10/01/2005	14	340.10	196.09	2406.145	5.907	15.00378	0.005322
10							176.923	29.90	12.672	21.50	27/12/2004	24/01/2005	28	379.90	218.88	2395.459	5.909	15.00886	0.005290
11	ชุดที่ 10	1"	25.50	18.00	73.10	95.90	176.744	30.00	12.763	21.50	27/12/2004	24/01/2005	28	332.60	191.83	2407.062	5.906	15.00124	0.005302
12							176.684	30.00	12.791	21.50	27/12/2004	24/01/2005	28	320.40	184.85	2413.160	5.905	14.99870	0.005301
1							176.864	29.80	12.680	21.00	27/12/2004	30/12/2004	3	122.50	70.60	2405.829	5.908	15.00632	0.005271
2	ชุดที่ 11	1"	22.70	17.10	76.90	96.90	176.804	29.80	12.930	21.00	27/12/2004	30/12/2004	3	134.10	77.32	2454.093	5.907	15.00378	0.005269
3							176.804	29.90	12.620	21.00	27/12/2004	30/12/2004	3	153.90	88.73	2387.245	5.907	15.00378	0.005286

Spec.	Code	Coarse	Cement	Water	Sand	Rock	Cross Section	Height	Weight	Slump	Date of Casted	Date of Test	Ages	Ultimate Load	Comp Strength	Weight per Volume	Diameter	Diameter	Volume
		no.	kg	kg	kg	kg	cm ²	cm	kg	cm	d/m/y	d/m/y	days	kn	ksc	kg/cu.m.	in	cm	m3
4							176.864	29.80	12.745	21.00	27/12/2004	3/01/2005	7	232.40	133.95	2418.161	5.908	15.00632	0.005271
5	ဖုတ် 11	1"	22.70	17.10	76.90	96.90	176.864	30.00	12.778	21.00	27/12/2004	3/01/2005	7	229.80	132.45	2408.260	5.908	15.00632	0.005306
6							176.744	29.80	12.703	21.00	27/12/2004	3/01/2005	7	190.10	109.64	2411.825	5.906	15.00124	0.005267
7							176.864	30.00	12.714	21.00	27/12/2004	10/01/2005	14	293.70	169.28	2396.198	5.908	15.00632	0.005306
8	ဖုတ် 11	1"	22.70	17.10	76.90	96.90	176.923	30.10	12.550	21.00	27/12/2004	10/01/2005	14	310.60	178.96	2356.633	5.909	15.00886	0.005325
9							176.804	30.10	12.626	21.00	27/12/2004	10/01/2005	14	238.60	137.57	2372.510	5.907	15.00378	0.005322
10							176.804	29.90	12.770	21.00	27/12/2004	24/01/2005	28	364.80	210.33	2415.619	5.907	15.00378	0.005286
11	ဖုတ် 11	1"	22.70	17.10	76.90	96.90	176.923	29.90	12.704	21.00	27/12/2004	24/01/2005	28	300.10	172.91	2401.508	5.909	15.00886	0.005290
12							176.923	29.60	12.941	21.00	27/12/2004	24/01/2005	28	290.80	167.55	2471.103	5.909	15.00886	0.005237
1							176.804	29.90	12.725	22.50	28/12/2004	31/12/2004	3	140.90	81.24	2407.107	5.907	15.00378	0.005286
2	ဖုတ် 12	1"	27.20	17.80	68.90	99.40	176.864	29.80	12.687	22.50	28/12/2004	31/12/2004	3	181.80	104.78	2407.157	5.908	15.00632	0.005271
3							176.804	29.80	12.809	22.50	28/12/2004	31/12/2004	3	132.10	76.16	2431.127	5.907	15.00378	0.005269
4							176.804	29.80	12.680	22.50	28/12/2004	4/01/2005	7	174.80	100.78	2406.643	5.907	15.00378	0.005269
5	ဖုတ် 12	1"	27.20	17.80	68.90	99.40	176.804	29.90	12.743	22.50	28/12/2004	4/01/2005	7	231.20	133.30	2410.512	5.907	15.00378	0.005286
6							176.864	29.80	12.782	22.50	28/12/2004	4/01/2005	7	193.20	111.35	2425.182	5.908	15.00632	0.005271
7							176.744	30.00	12.818	22.50	28/12/2004	11/01/2005	14	244.40	140.96	2417.435	5.906	15.00124	0.005302
8	ဖုတ် 12	1"	27.20	17.80	68.90	99.40	176.684	30.10	12.734	22.50	28/12/2004	11/01/2005	14	227.50	131.25	2394.425	5.905	14.99870	0.005318
9							176.744	30.10	12.707	22.50	28/12/2004	11/01/2005	14	291.40	168.06	2388.539	5.906	15.00124	0.005320
10							176.684	30.10	12.687	22.50	28/12/2004	25/01/2005	28	330.20	190.51	2385.587	5.905	14.99870	0.005318
11	ဖုတ် 12	1"	27.20	17.80	68.90	99.40	176.744	29.90	12.935	22.50	28/12/2004	25/01/2005	28	340.40	196.33	2447.660	5.906	15.00124	0.005285
12							176.684	29.80	12.837	22.50	28/12/2004	25/01/2005	28	382.10	220.45	2438.092	5.905	14.99870	0.005265

Spec.	Code	Coarse	Cement	Water	Sand	Rock	Cross Section	Height	Weight	Slump	Date of Casted	Date of Test	Ages	Ultimate Load	Comp Strength	Weight per Volume	Diameter	Diameter	Volume
		no.	kg	kg	kg	kg	cm ²	cm	kg	cm	d/m/y	d/m/y	days	kn	ksc	kg/cu.m.	in	cm	m ³
1							176.864	29.90	12.569	22.50	28/12/2004	31/12/2004	3	192.60	111.01	2376.792	5.908	15.00632	0.005288
2	ชุดที่ 13	1"	28.40	18.90	69.80	94.40	176.864	30.00	12.530	22.50	28/12/2004	31/12/2004	3	206.70	119.13	2361.519	5.908	15.00632	0.005306
3							176.804	29.80	12.615	22.50	28/12/2004	31/12/2004	3	222.60	128.34	2394.306	5.907	15.00378	0.005269
4							176.923	29.90	12.797	22.50	28/12/2004	4/01/2005	7	220.10	126.81	2419.088	5.909	15.00886	0.005290
5	ชุดที่ 13	1"	28.40	18.90	69.80	94.40	176.804	29.90	12.564	22.50	28/12/2004	4/01/2005	7	214.90	123.90	2376.651	5.907	15.00378	0.005286
6							176.864	30.00	12.601	22.50	28/12/2004	4/01/2005	7	219.30	126.40	2374.901	5.908	15.00632	0.005306
7							176.864	30.00	12.985	22.50	28/12/2004	11/01/2005	14	276.60	159.42	2447.273	5.908	15.00632	0.005306
8	ชุดที่ 13	1"	28.40	18.90	69.80	94.40	176.804	29.90	13.134	22.50	28/12/2004	11/01/2005	14	283.60	163.51	2484.475	5.907	15.00378	0.005286
9							176.804	30.00	12.918	22.50	28/12/2004	11/01/2005	14	323.10	186.28	2435.470	5.907	15.00378	0.005304
10							176.804	29.90	12.710	22.50	28/12/2004	25/01/2005	28	340.10	196.09	2404.269	5.907	15.00378	0.005286
11	ชุดที่ 13	1"	28.40	18.90	69.80	94.40	176.864	29.90	12.847	22.50	28/12/2004	25/01/2005	28	291.70	168.12	2429.362	5.908	15.00632	0.005288
12							176.864	29.80	12.914	22.50	28/12/2004	25/01/2005	28	310.50	178.96	2450.226	5.908	15.00632	0.005271
1							176.983	30.00	12.856	19.50	28/12/2004	31/12/2004	3	288.30	166.05	2421.321	5.910	15.01140	0.005309
2	ชุดที่ 14	1"	35.40	18.30	67.50	92.40	176.864	30.10	12.939	19.50	28/12/2004	31/12/2004	3	392.10	225.99	2430.502	5.908	15.00632	0.005324
3							176.804	30.10	13.059	19.50	28/12/2004	31/12/2004	3	325.80	187.84	2453.873	5.907	15.00378	0.005322
4							176.864	30.00	13.077	19.50	28/12/2004	4/01/2005	7	500.10	288.24	2464.612	5.908	15.00632	0.005306
5	ชุดที่ 14	1"	35.40	18.30	67.50	92.40	176.804	30.00	13.093	19.50	28/12/2004	4/01/2005	7	319.20	184.04	2468.463	5.907	15.00378	0.005304
6							176.804	29.90	13.044	19.50	28/12/2004	4/01/2005	7	338.40	195.11	2467.450	5.907	15.00378	0.005286
7							176.864	30.00	12.841	19.50	28/12/2004	11/01/2005	14	558.10	321.67	2420.133	5.908	15.00632	0.005306
8	ชุดที่ 14	1"	35.40	18.30	67.50	92.40	176.923	30.20	12.692	19.50	28/12/2004	11/01/2005	14	554.30	319.37	2375.406	5.909	15.00886	0.005343
9							176.744	30.00	12.884	19.50	28/12/2004	11/01/2005	14	593.40	342.24	2429.882	5.906	15.00124	0.005302

Spec.	Code	Coarse	Cement	Water	Sand	Rock	Cross Section	Height	Weight	Slump	Date of Casted	Date of Test	Ages	Ultimate Load	Comp Strength	Weight per Volume	Diameter	Diameter	Volume
		no.	kg	kg	kg	kg	cm ²	cm	kg	cm	d/m/y	d/m/y	days	kn	ksc	kg/cu.m.	in	cm	m3
10							176.923	30.30	13.055	19.50	28/12/2004	25/01/2005	28	595.40	343.05	2435.280	5.909	15.00886	0.005361
11	ชุดที่ 14	1"	35.40	18.30	67.50	92.40	176.804	29.90	13.036	19.50	28/12/2004	25/01/2005	28	584.20	336.82	2465.937	5.907	15.00378	0.005286
12							176.923	30.00	13.127	19.50	28/12/2004	25/01/2005	28	590.10	339.99	2473.198	5.909	15.00886	0.005308
1							176.804	30.00	12.748	15.00	28/12/2004	31/12/2004	3	118.70	68.44	2403.419	5.907	15.00378	0.005304
2	ชุดที่ 15	1"	22.10	16.00	75.50	101.80	176.804	30.10	12.808	15.00	28/12/2004	31/12/2004	3	153.70	88.62	2406.709	5.907	15.00378	0.005322
3							176.864	30.10	12.870	15.00	28/12/2004	31/12/2004	3	131.40	75.73	2417.541	5.908	15.00632	0.005324
4							176.684	30.00	12.760	15.00	28/12/2004	4/01/2005	7	204.50	117.99	2407.312	5.905	14.99870	0.005301
5	ชุดที่ 15	1"	22.10	16.00	75.50	101.80	176.804	30.10	12.950	15.00	28/12/2004	4/01/2005	7	177.50	102.34	2433.392	5.907	15.00378	0.005322
6							176.804	30.00	12.963	15.00	28/12/2004	4/01/2005	7	184.30	106.26	2443.954	5.907	15.00378	0.005304
7							176.804	30.00	12.818	15.00	28/12/2004	11/01/2005	14	240.10	138.43	2416.617	5.907	15.00378	0.005304
8	ชุดที่ 15	1"	22.10	16.00	75.50	101.80	176.804	30.10	12.828	15.00	28/12/2004	11/01/2005	14	225.20	129.84	2410.467	5.907	15.00378	0.005322
9							176.864	30.10	12.858	15.00	28/12/2004	11/01/2005	14	244.90	141.15	2415.286	5.908	15.00632	0.005324
10							176.684	30.20	13.101	15.00	28/12/2004	25/01/2005	28	211.40	121.97	2455.276	5.905	14.99870	0.005336
11	ชุดที่ 15	1"	22.10	16.00	75.50	101.80	176.923	30.40	13.130	15.00	28/12/2004	25/01/2005	28	238.30	137.30	2441.214	5.909	15.00886	0.005378
12							176.983	30.20	13.087	15.00	28/12/2004	25/01/2005	28	200.10	115.25	2448.504	5.910	15.01140	0.005345
1							176.864	30.00	12.511	20.50	28/12/2004	31/12/2004	3	128.20	73.89	2357.939	5.908	15.00632	0.005306
2	ชุดที่ 16	1"	25.50	18.50	82.80	84.50	176.923	30.10	12.633	20.50	28/12/2004	31/12/2004	3	108.50	62.51	2372.219	5.909	15.00886	0.005325
3							176.804	30.00	12.521	20.50	28/12/2004	31/12/2004	3	131.60	75.87	2360.622	5.907	15.00378	0.005304
4							176.744	29.90	12.595	20.50	28/12/2004	4/01/2005	7	176.20	101.62	2383.322	5.906	15.00124	0.005285
5	ชุดที่ 16	1"	25.50	18.50	82.80	84.50	176.744	29.80	12.560	20.50	28/12/2004	4/01/2005	7	135.10	77.92	2384.675	5.906	15.00124	0.005267
6							176.744	29.70	12.525	20.50	28/12/2004	4/01/2005	7	94.00	54.21	2386.037	5.906	15.00124	0.005249

Spec.	Code	Coarse	Cement	Water	Sand	Rock	Cross Section	Height	Weight	Slump	Date of Casted	Date of Test	Ages	Ultimate Load	Comp Strength	Weight per Volume	Diameter	Diameter	Volume
		no.	kg	kg	kg	kg	cm ²	cm	kg	cm	d/m/y	d/m/y	days	kn	ksc	kg/cu.m.	in	cm	m ³
7							176.804	30.00	12.818	20.50	28/12/2004	11/01/2005	14	223.20	128.69	2416.617	5.907	15.00378	0.005304
8	ชุดที่ 16	1"	25.50	18.50	82.80	84.50	176.923	30.00	12.643	20.50	28/12/2004	11/01/2005	14	220.10	126.81	2382.010	5.909	15.00886	0.005308
9							176.744	29.80	12.389	20.50	28/12/2004	11/01/2005	14	243.20	140.27	2352.208	5.906	15.00124	0.005267
10							176.864	29.80	12.452	20.50	28/12/2004	25/01/2005	28	271.50	156.48	2362.569	5.908	15.00632	0.005271
11	ชุดที่ 16	1"	25.50	18.50	82.80	84.50	176.744	29.90	12.640	20.50	28/12/2004	25/01/2005	28	263.60	152.03	2391.838	5.906	15.00124	0.005285
12							176.744	30.00	12.598	20.50	28/12/2004	25/01/2005	28	257.30	148.40	2375.944	5.906	15.00124	0.005302



ภาคผนวก จ

การติดตั้งและการทำงานของโปรแกรม Compressive Strength Prediction 2

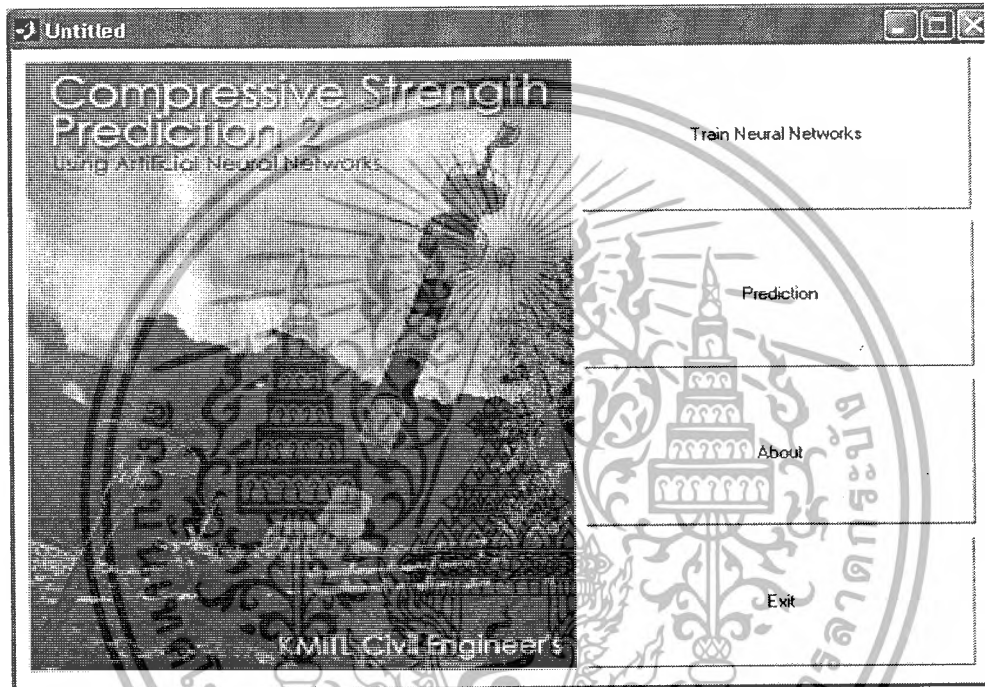


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดตั้งและการใช้งานของโปรแกรม

1. การติดตั้งโปรแกรม Compressive Strength Prediction 2 (Installation)

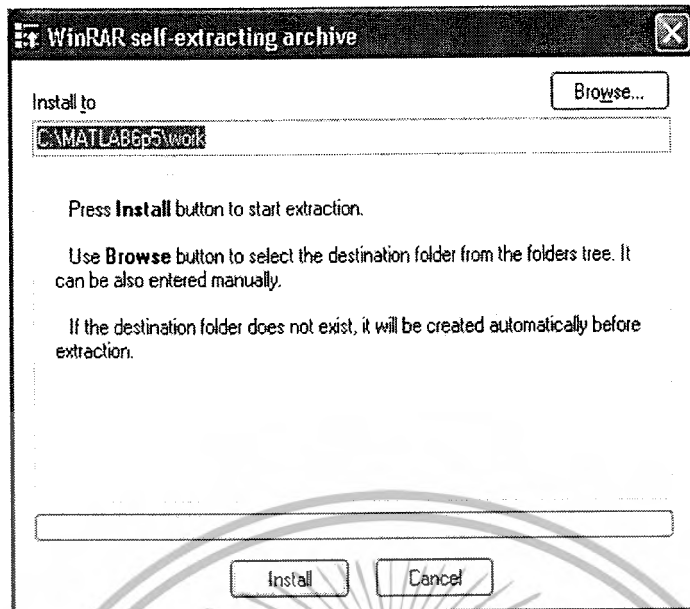
โปรแกรม Compressive Strength Prediction 2



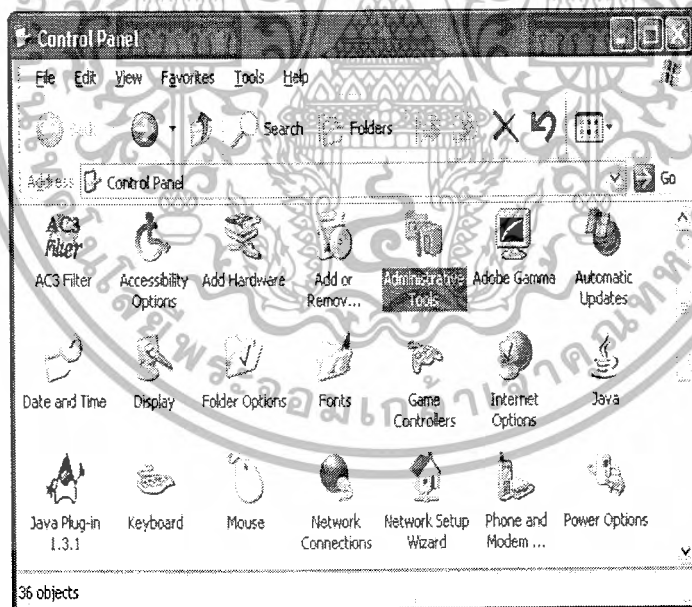
วิธีการ

1. ติดตั้งโปรแกรม Matlab version 6.5 ลงใน Path C:\MATLAB6p5\
2. ทำการติดตั้งโปรแกรมจากไฟล์ Concrete2Setup.exe เลือก Path เป้าหมายไปที่ C:\MATLAB6p5\work

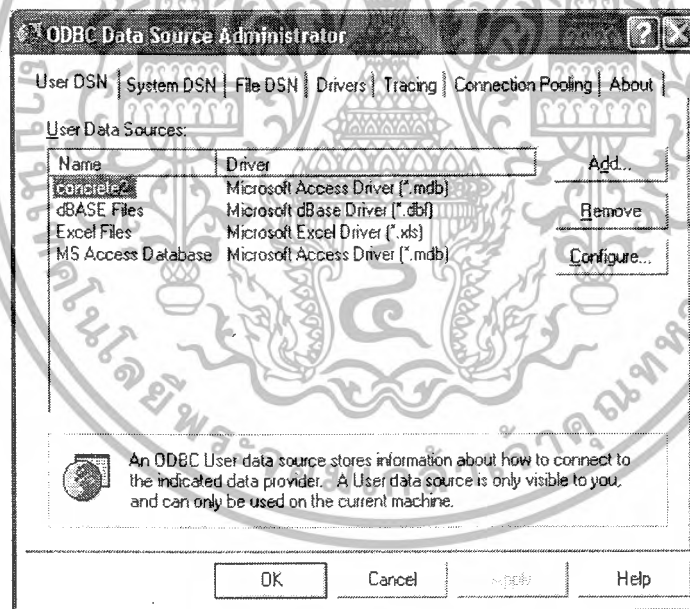
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



3. ไปที่ Control panel -> Administrative Tools -> Data Sources (ODBC)
ที่ Tab User DSN , กดปุ่ม Add...



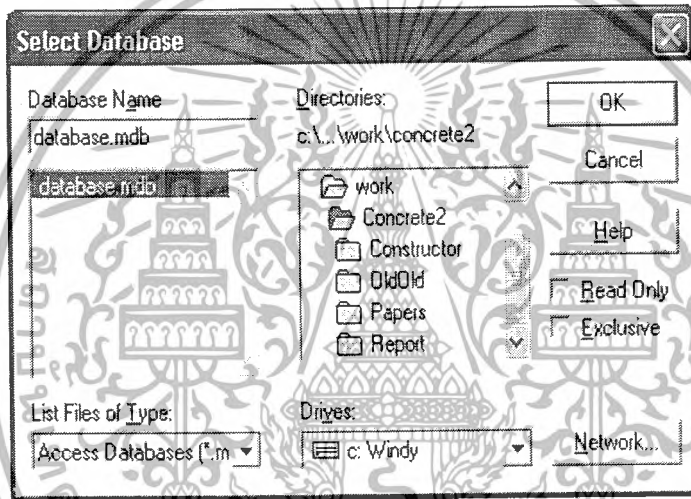
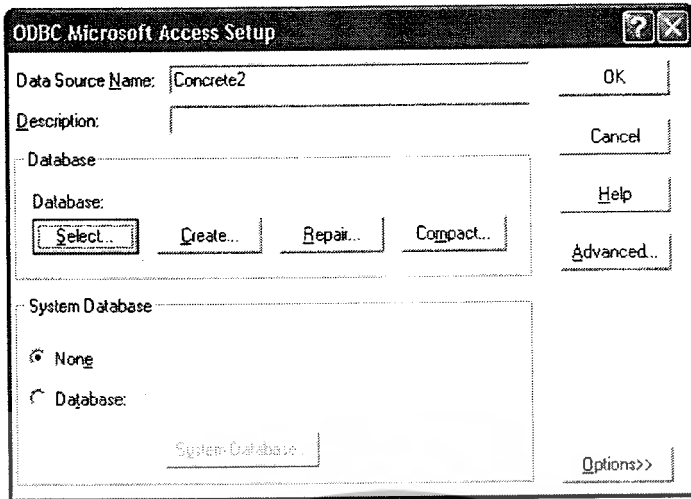
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



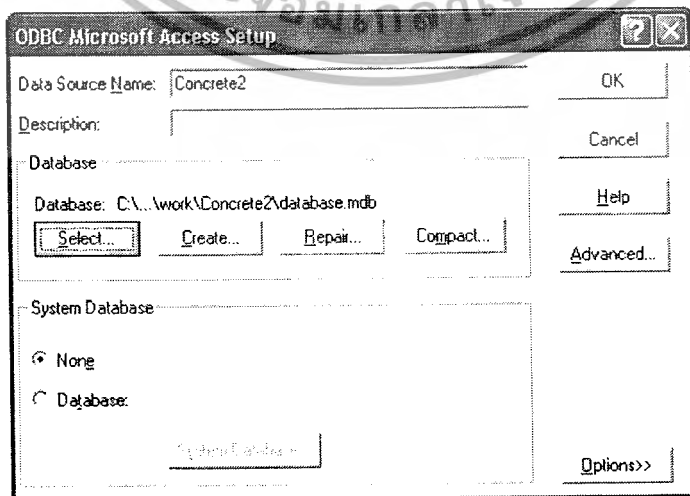
3.1. หน้าจอ Create New Data Source ให้เลือก “Microsoft Access Driver (*.mdb)” แล้วกด Finish

3.2. หน้าจอ ODBC Microsoft Access Setup ให้กรอกค่าตามนี้ในช่อง Data Source Name : Concrete2 แล้วกดปุ่ม Select... แล้วไปยัง Path C:\MATLAB6p5\work\Concrete2 เลือกไฟล์ที่ชื่อ database.mdb แล้วกด OK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4. ปิดหน้าต่างทั้งหมดโดยการกด OK เป็นอันเสร็จสิ้น

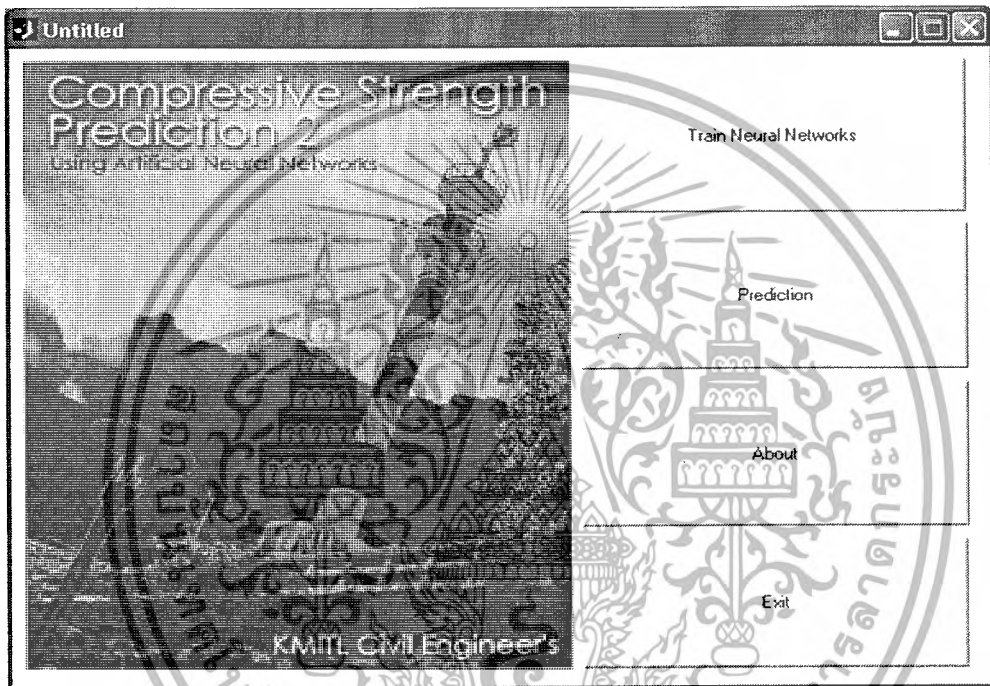


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การใช้งานโปรแกรม Compressive Strength Prediction 2

ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม Compressive Strength Prediction 2

1. เปิดโปรแกรม Matlab6p5
2. พิมพ์ cd Concrete2 (กด Enter)
3. พิมพ์ Concrete2 (กด Enter) จะขึ้นหน้าจอมาดังนี้

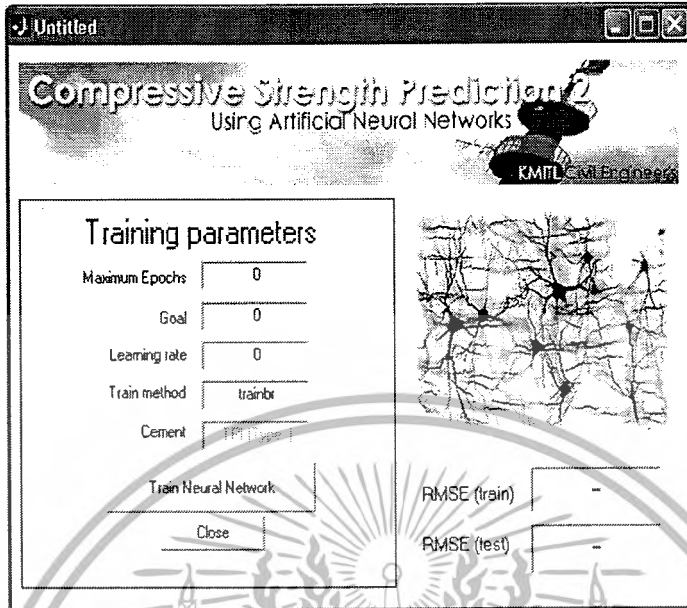


ในหน้าจอแรกจะมีปุ่ม 4 ปุ่มให้เลือก คือ

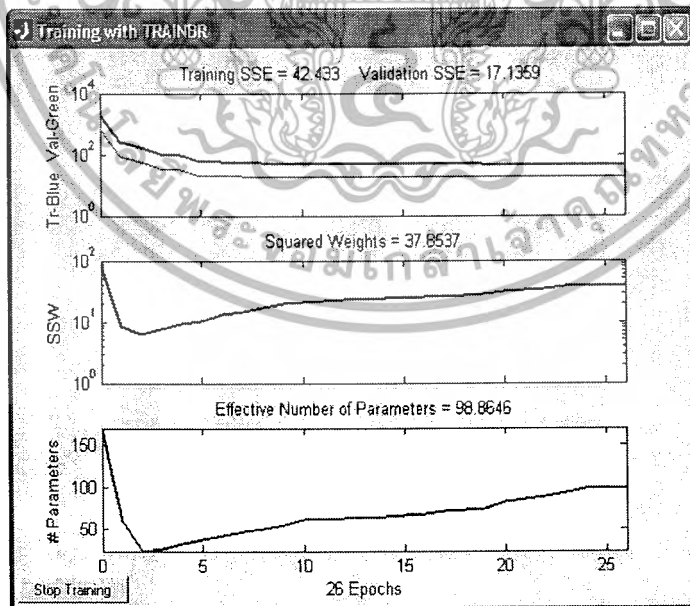
1. Train Neural Networks – ให้ระบบดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลมาทำการเรียนรู้
2. Prediction – ทดสอบทำนายค่าจากการรับข้อมูลจากผู้ใช้
3. About – รายละเอียดผู้พัฒนาโปรแกรม
4. Exit – จบและปิดโปรแกรมกลับไปสู่โปรแกรม Matlab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

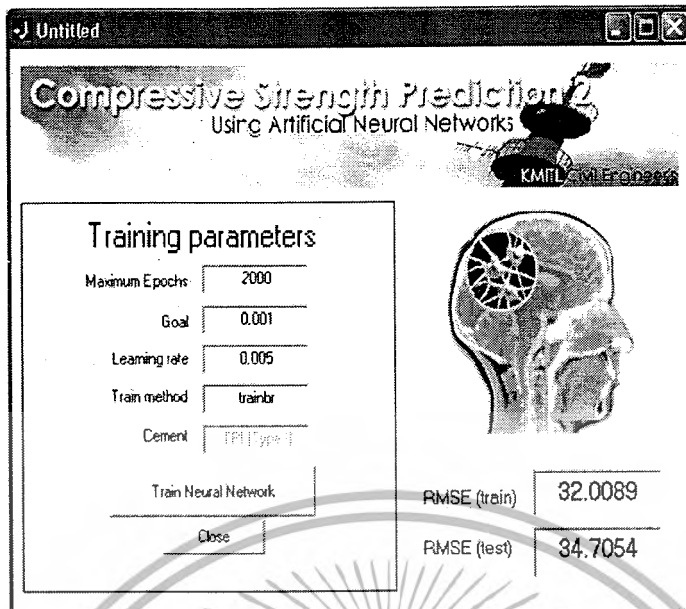
1. Train Neural Networks – ให้ระบบดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลมาทำการเรียนรู้



การใช้งานคือกดปุ่ม Train Neural Network ระบบจะทำการดึงข้อมูลและปรับค่า Weights, Bias ของตัว Neural networks ไปจนกระทั่งระบบเสถียรหน้าจอจะแสดงค่า RMSE ของขั้นตอนการเรียนรู้/ทดสอบและเปลี่ยนเป็นรูปดังนี้

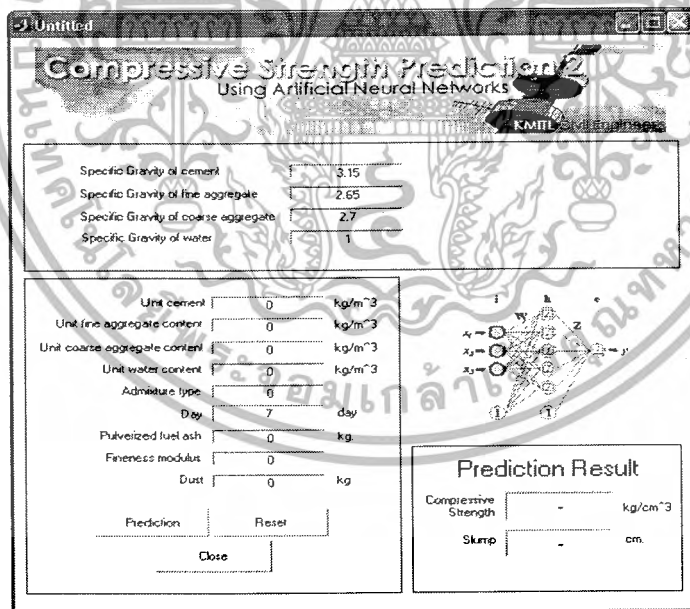


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



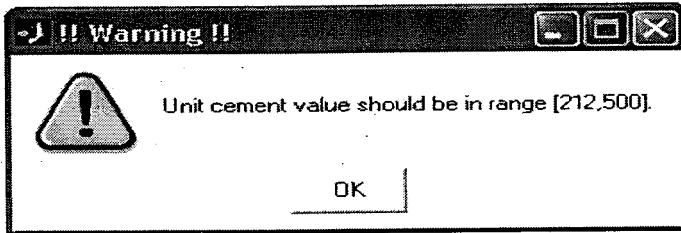
เมื่อทำการเรียนรู้เสร็จแล้วให้กดปุ่ม Close เพื่อปิดหน้าจอส่วนนี้ไป

2. Prediction – ทดสอบทำนายค่าจากการรับข้อมูลจากผู้ใช้



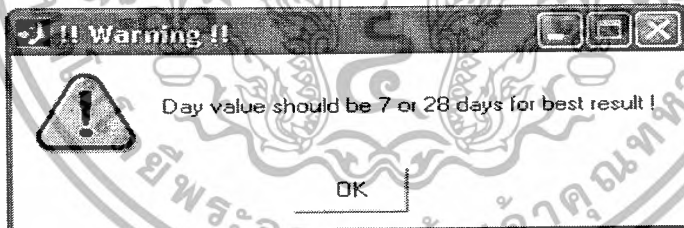
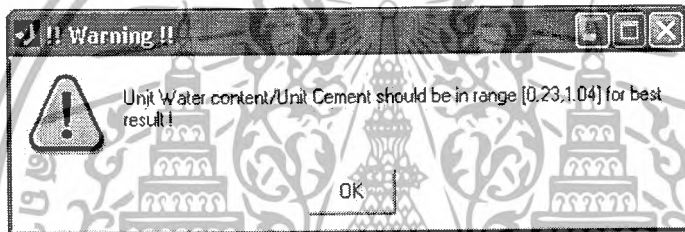
จะมีช่องสำหรับให้ผู้ใช้ใส่ค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นให้กับระบบ โดยจะมีการตรวจสอบขอบเขตของข้อมูลในแต่ละส่วน ถ้าหากมีการกรอกข้อมูลเกินขอบเขตที่ระบบเคยทำการเรียนรู้มา ระบบจะทำการเตือน เพื่อให้ผู้ใช้รู้ถึงขอบเขตข้อมูลนั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



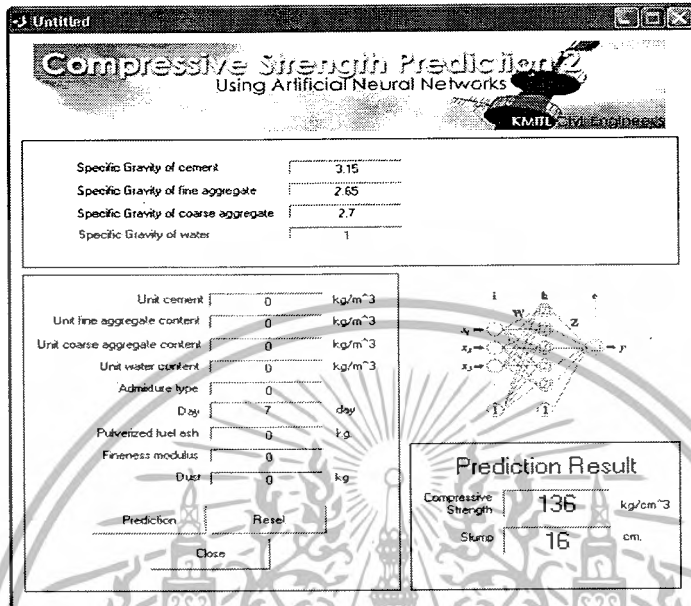
เมื่อกรอกข้อมูลครบ และต้องการทำนายค่าของ Compressive Strength และ Slump ให้กดปุ่ม Prediction

ระบบจะทำการเช็คความถูกต้องของข้อมูลและค่าความสัมพันธ์ของอัตราส่วนตามสมการที่ตั้งไว้ หากค่าเกินจากอัตราส่วนที่กำหนด ระบบจะทำการเตือน

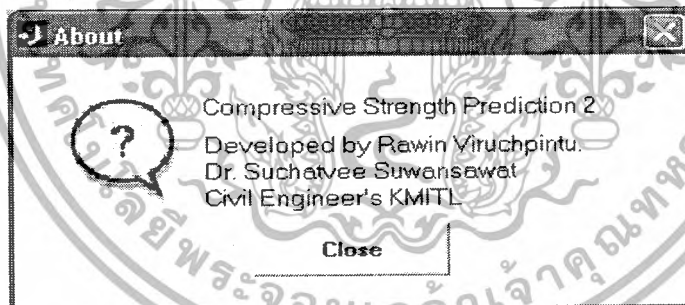


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าข้อมูลผ่านเงื่อนไขที่กำหนดระบบจะทำการทำนายค่าทั้งสองออกมาดังรูป



3. About – รายละเอียดผู้พัฒนาโปรแกรม



4. Exit – จบและปิดโปรแกรมกลับเข้าสู่โปรแกรม Matlab

ถ้าต้องการออกจากโปรแกรม Matlab ให้ พิมพ์ exit แล้วกด Enter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้