บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

การดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลในหนังสือหรือวิทยานิพนธ์ที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนดังนี้ คือ

3.1 ศึกษาข้อมูล

3.1.1 ศึกษาบทความวิชาการ รายงานการวิจัยต่าง เพื่อศึกษาแนวคิดและทฤษฎีระบบฟัซซี โครงข่ายประสาทเทียมฟัซซี่ วิทยานิพนธ์ที่เกี่ยวข้อง เป็นต้น

3.1.2 ศึกษาการพัฒนาโมเดลด้วยระบบ ANFIS สำหรับงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม MATLAB R2010a ช่วยในการพัฒนาโมเดลก่อนที่จะนำเข้าข้อมูล

ANFIS มีประโยชน์สำหรับการประเมินคุณภาพ เนื่องจากมีความแม่นยำในการประเมิน

3.2 พิจารณาเลือกสถานที่เก็บข้อมูลและพิจารณาเลือกผู้เชี่ยวชาญ

3.2.1 ผู้วิจัยเลือกสถานที่เก็บข้อมูลที่ผู้วิจัยควบคุมงานอยู่ โครงการก่อสร้างถนนสาย นบ.3017 แยก ทล. 346 - บ้านไทรน้อย อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี เป็นระยะทาง 7.865 กิโลเมตร

3.2.2 เพื่อให้เข้าถึงข้อมูลและเข้าถึงผู้เชี่ยวชาญ ผู้วิจัยเลือกผู้เชี่ยวชาญจากข้าราชการปฏิบัติราชการในกรมทางหลวงชนบทระดับตำแหน่งวิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ 3 ท่าน ระดับวิศวกรโยธาชำนาญการ 3 ท่านและระดับนายช่างโยธาชำนาญงาน 2 ท่านรวมทั้งหมดจำนวน 8 ท่าน

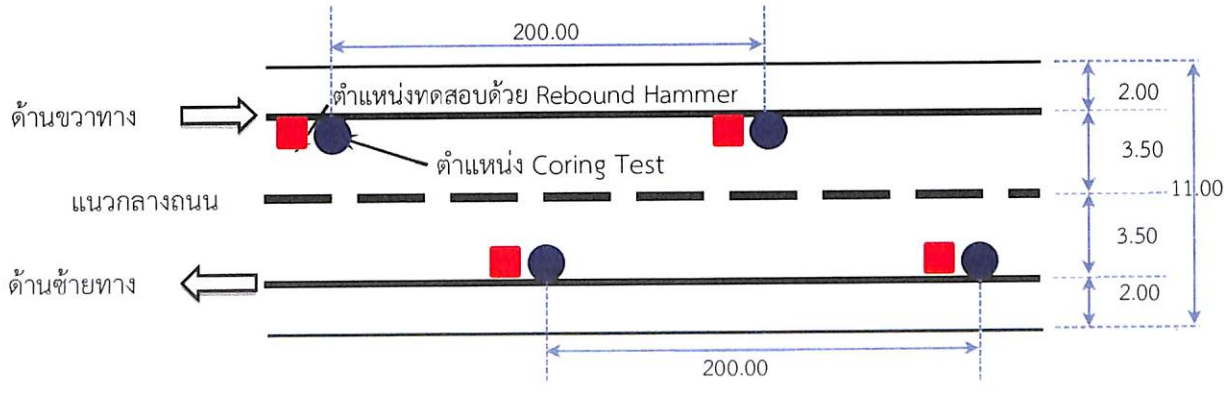
ตารางที่ 3.1 แสดงตำแหน่งประเภทวิชาชีพเฉพาะหรือเชี่ยวชาญเฉพาะ

ตำแหน่ง	คุณสมบัติเฉพาะตำแหน่ง
วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ	1.มีคุณสมบัติเฉพาะสำหรับตำแหน่งระดับปฏิบัติการ และ 2.ดำรงตำแหน่งระดับชำนาญงานการมาแล้วไม่น้อยกว่า 4 ปี และ 3.ปฏิบัติงานตามตำแหน่งหรืองานที่เกี่ยวข้องเหมาะสมกับงานที่ปฏิบัติมาแล้วไม่น้อยกว่า 1 ปี

วิศวกรโยธาชำนาญการ	1.มีคุณสมบัติเฉพาะสำหรับตำแหน่งปฏิบัติการ และ 2.ดำรงตำแหน่งระดับปฏิบัติการมาแล้วไม่น้อยกว่า 6 ปี • กรณีปริญญาโท ให้ลดลงเป็น 4 ปี • กรณีปริญญาเอก ให้ลดลงเป็น 2 ปี และ 3.ปฏิบัติงานตามตำแหน่งหรืองานที่เกี่ยวข้องเหมาะสมกับงานที่ปฏิบัติมาแล้วไม่น้อยกว่า 1 ปี
นายช่างโยธาชำนาญงาน	1.มีคุณสมบัติเฉพาะสำหรับตำแหน่งปฏิบัติงาน และ 2.ดำรงตำแหน่งระดับปฏิบัติงานาแล้วไม่น้อยกว่า 6 ปี 3.ปฏิบัติงานตามตำแหน่งหรืองานที่เกี่ยวข้องเหมาะสมกับงานที่ปฏิบัติมาแล้วไม่น้อยกว่า 1 ปี

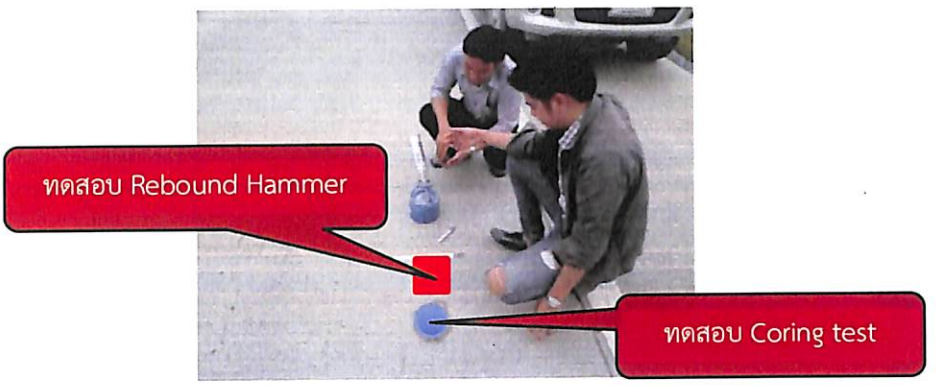
3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูลคุณภาพของถนนคอนกรีต

3.3.1 เก็บรวบรวมข้อมูลก้อนตัวอย่าง ทำการเจาะทดสอบเก็บก้อนตัวอย่าง เก็บข้อมูลจากรายงานประจำวัน ผู้วิจัยได้ทำการจดบันทึกเหตุการณ์ต่างๆ ด้วยตัวเอง



รูปที่ 3.1 แผนผังการ Coring Test และทดสอบด้วย Rebound Hammer

จากรูปที่ 3.1 ผู้วิจัยได้ทำการกำหนดตำแหน่งการ Coring และการทดสอบด้วย Rebound Hammer ผู้วิจัยได้ยึดแนวปฏิบัติตามคู่มือปฏิบัติงานและมาตรฐานการทดสอบในการทำงานและได้รับความร่วมมือจากผู้รับจ้างเป็นอย่างดีในการทดสอบต่างๆ



รูปที่ 3.2 ลักษณะการทดสอบด้วย Rebound Hammer

3.3.2 การสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ

เนื่องจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญด้านการก่อสร้างถนนคอนกรีตในระหว่างก่อสร้างผู้วิจัยเลือกใช้การสัมภาษณ์จากความสนิทและสามารถเข้าถึงการสัมภาษณ์ได้ง่ายกับข้าราชการในกรมทางหลวงชนบท ตำแหน่งวิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ 3 ท่าน ระดับวิศวกรโยธาชำนาญการ 3 ท่านและระดับนายช่างโยธาชำนาญงาน 2 ท่าน รวมทั้งหมดจำนวน 8 ท่าน ผู้วิจัยใช้เวลา 20 นาที ในการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญแต่ละท่าน

รอบที่ 1 ในการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญรอบแรกผู้วิจัยต้องการทราบปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่ทำให้กำลังของคอนกรีตลดลงดัง ตารางที่ 3.2 วิจัยได้สัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด 8 ท่าน แต่ท่านโดยตั้งคำถามว่าปัจจัยทั้งหมด 7 ปัจจัยที่ผู้วิจัยได้คัดเลือกมาจากรายงานและการเก็บข้อมูลหน้างานปัจจัยใดที่ทำให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลงเนื่องจากสภาพการทำหากผู้เชี่ยวชาญเห็นด้วยให้ตอบ 1 หากไม่เห็นด้วยให้ตอบ –1 หากผู้เชี่ยวชาญเห็นว่าเฉยๆหรือไม่เกี่ยวข้องให้ตอบ 0 จากข้อมูลทั้ง 7 ปัจจัยหลังจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญได้สกัดปัจจัยลดลงเหลือ 4 ปัจจัย คือ ระยะทางในการเทคอนกรีต สภาพอากาศขณะเทคอนกรีต วิธีการบ่มคอนกรีต และระดับการทำงาน เท่านั้น

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญในการสกัดปัจจัย

ลำดับที่	ปัจจัยต่างๆ ที่ได้จากรายงานประจำวัน	คนที่ 1			คนที่ 2			คนที่ 3			คนที่ 4			คนที่ 5			คนที่ 6			คนที่ 7			คนที่ 8			ผลรวมของคะแนน
		-1	0	1	-1	0	1	-1	0	1	-1	0	1	-1	0	1	-1	0	1	-1	0	1	-1	0	1	
1	ระยะทางในการเทคอนกรีต		✓				✓	✓					✓		✓				✓			✓			✓	0.50
2	สภาพอากาศขณะเทคอนกรีต			✓			✓		✓				✓			✓			✓			✓		✓		0.75
3	วิธีการบ่มคอนกรีต			✓			✓			✓			✓			✓			✓			✓			✓	1.00
4	ระดับการควบคุมงาน			✓			✓			✓			✓			✓			✓			✓			✓	1.00
5	จำนวนคนงานในการทำงาน		✓			✓			✓		✓				✓				✓		✓				✓	0.13
6	ความพร้อมของเครื่องมืออุปกรณ์	✓			✓					✓			✓			✓			✓		✓				✓	0.38
7	ระยะทางในการขนส่งคอนกรีต	✓				✓			✓				✓		✓				✓		✓				✓	0.25

รอบที่ 2 ผู้วิจัยได้สัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญเพื่อสอบถามการกำหมดเกณฑ์และประเมินกำลังอัดของคอนกรีตที่ได้จากการประเมินปัจจัยนำข้อมูลปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยมาสอบถามผู้เชี่ยวชาญเพื่อประเมินกำลังอัดของคอนกรีต ครั้งนี้ผู้วิจัยใช้เวลา 30 นาทีในการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญแต่ละท่าน มีดังนี้

1) ระยะทางในการเทคอนกรีต

1 = ดี (น้อยกว่า 100 ม.) 2 = ปานกลาง (100-200ม.) 3 = ไม่ดี (มากกว่า 200 ม.)

2) สภาพอากาศขณะเทคอนกรีต

1 = ดี (แจ่มใส) 2 = ปานกลาง (ร้อน) 3 = ไม่ดี (ฝนตก)

3) วิธีการบ่มคอนกรีต

1 = ดี (น้ำยา+กระสอบ) 2 = ปานกลาง (น้ำยา) 3 = ไม่ดี (กระสอบ)

4) ระดับการควบคุมงาน

1 = ดี 2 = ปานกลาง 3 = ไม่ดี

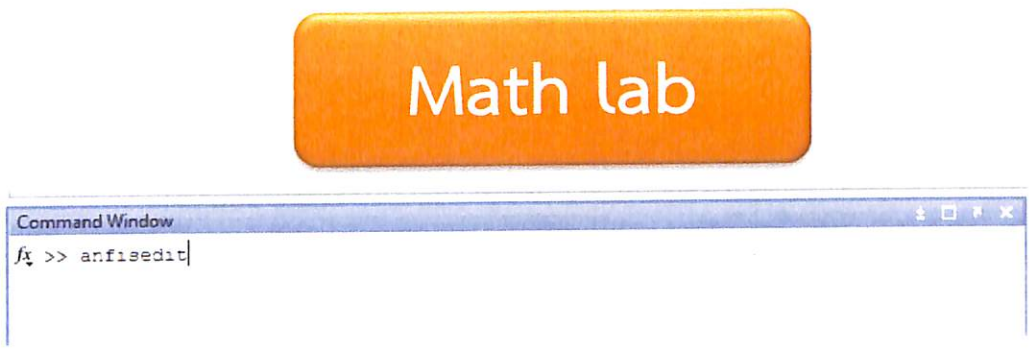
ตารางที่ 3.3 คำตอบจากผู้เชี่ยวชาญประเมินกำลังอัดของคอนกรีต

ผู้เชี่ยวชาญ (คน)	INPUT												Output
	ระยะทางในการเท			สภาพอากาศ			วิธีการบ่ม			ระดับการควบคุมงาน			
	สั้น (1)	ปานกลาง (2)	ยาว (3)	แจ่มใส (1)	ร้อน (2)	ฝนตก (3)	น้ำยา+กระสอบ (1)	น้ำยา (2)	กระสอบ (3)	ดี (1)	ปานกลาง (2)	พอใช้ (3)	กำลังคอนกรีต (KSC)
Experts													
1			✓			✓			✓			✓	340
2		✓			✓			✓			✓		380
3	✓			✓			✓			✓			420
4	✓				✓			✓			✓		390
5		✓				✓			✓	✓			360
6			✓		✓			✓				✓	350
7		✓				✓			✓			✓	340
8		✓		✓			✓				✓		390

จากตารางคำตอบจากผู้เชี่ยวชาญคนที่ 1 ประเมินให้น้ำหนักคะแนนระยะทางในการเทคอนกรีตเท่ากับ 3 = ไม่ดี สภาพอากาศ 3 = ไม่ดี วิธีการบ่มคอนกรีต 3 = ไม่ดี และ ระดับการควบคุมงาน 3 = ไม่ดี กำลังอัดของคอนกรีตจะเท่ากับ 340 ksc. ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้สอบถามผู้เชี่ยวชาญครบทั้ง 8 คน

3.3.3 ขั้นตอนการนำเข้าข้อมูลฝึกฝนการเรียนรู้ด้วยโปรแกรม MATHLAB

3.3.3.1 เปิดระบบ ANFIS จากโปรแกรม MATHLAB โดยการพิมพ์ “anfisedit” หลังเครื่องหมาย >> (the command prompt) แล้วกดปุ่ม Enter ที่คีย์บอร์ดดัง **รูปที่ 3.3**

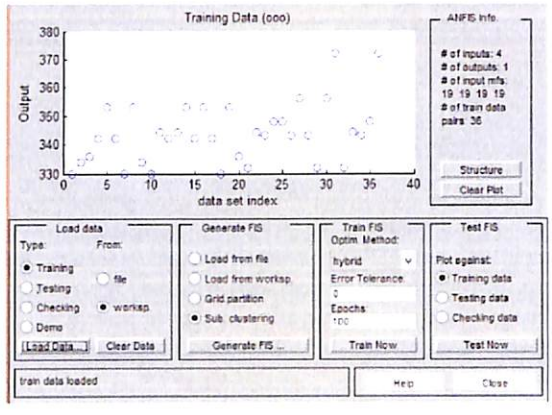


รูปที่ 3.3 การเปิดระบบ ANFIS จากโปรแกรม MATHLAB

3.3.3.2 สร้างตัวแปรจากข้อมูล เพื่อการเรียนรู้ โดยเลือกจาก “New variable” ดัง**รูปที่ 3.4** เมื่อตัวแปร คือหน่วยความจำที่ถูกกำหนดขึ้นจากข้อมูล เป็นชื่อ “thesis9010”

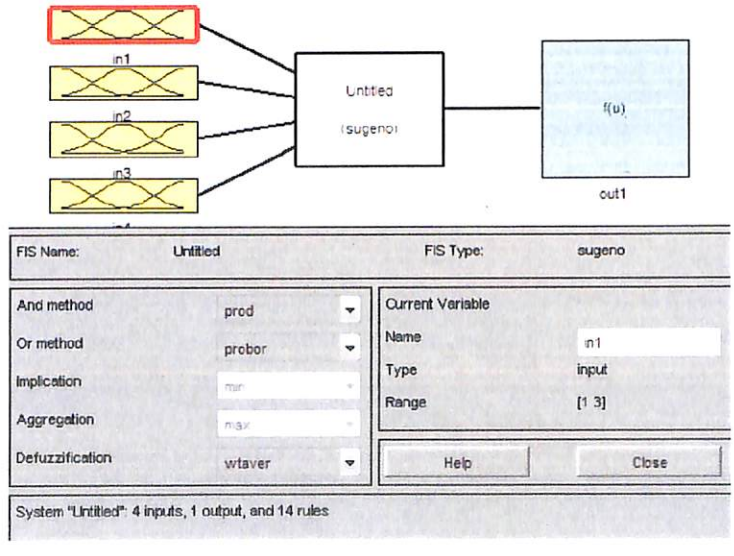
รูปที่ 3.4 สร้างตัวแปรสำหรับการเรียนรู้

3.3.3.3 นำข้อมูล (Load data) สำหรับการเรียนรู้ในระบบ ANFIS โดย “workspace” ดังรูปที่ 3.5 โดยตั้งชื่อตัวแปร (thesis9010) และเลือก Generate FIS) เป็น Sub.clustering



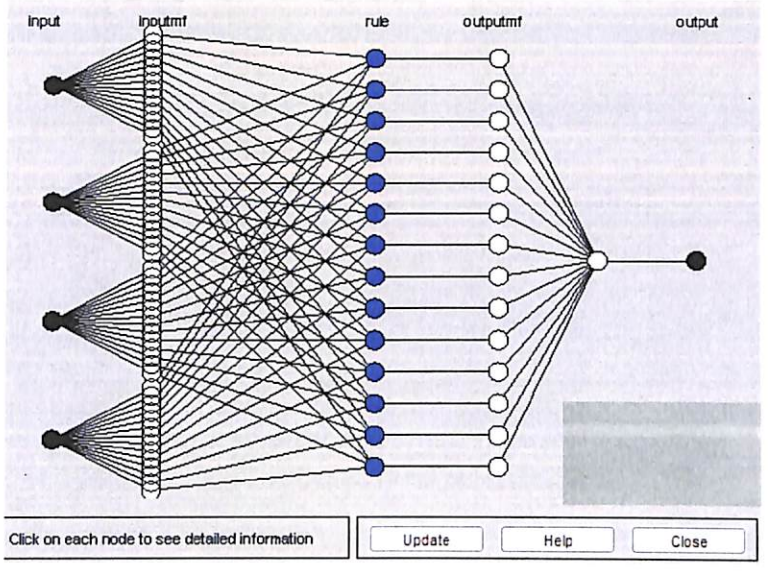
รูปที่ 3.5 การนำข้อมูลเข้าระบบ ANFIS

การนำเข้าข้อมูลเพื่อการเรียนรู้ค่าความน่าจะเป็นไปได้ที่กำลังอัดของคอนกรีตลดลงโดยการควบคุมงานที่ไม่ได้คุณภาพ ในระบบ ANFIS จะแสดงให้เห็นจำนวน 4 ตัวแปร คือ ระยะทางในการเทคอนกรีต สภาพอากาศขณะเทคอนกรีต วิธีการบ่มคอนกรีต และระดับการควบคุมงาน และตัวแปรแสดงผล 1 ตัวแปร คือ กำลังอัดของคอนกรีต ดัง**รูปที่ 3.6**



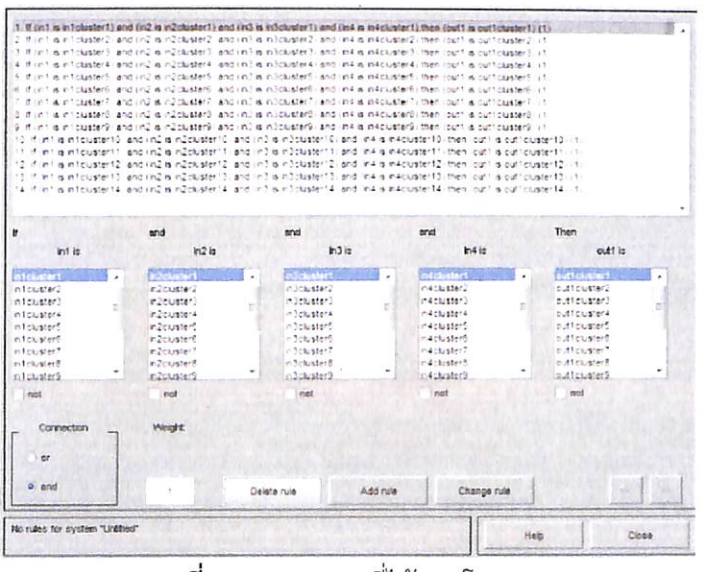
รูปที่ 3.6 แสดงตัวแปรนำเข้าและแสดงผลในระบบ ANFIS

3.3.3.4 ผลลัพธ์การนำเข้าข้อมูลจากการฝึกฝน (Training) ในระบบ ANFIS กำหนดค่า epochs เท่ากับ 100 รอบ เมื่อครบจำนวนรอบที่กำหนด จะได้โครงสร้างโมเดล ดัง**รูปที่ 3.7** โดยระบบทำการปรับและเพิ่มฟังก์ชันสมาชิกเริ่มต้นจาก 4 ระดับความคลุมเครือหรือตัวแปรเชิงภาษาเป็นฟังก์ชันสมาชิกแบบเกาส์เซียน 14 ระดับความคลุมเครือ



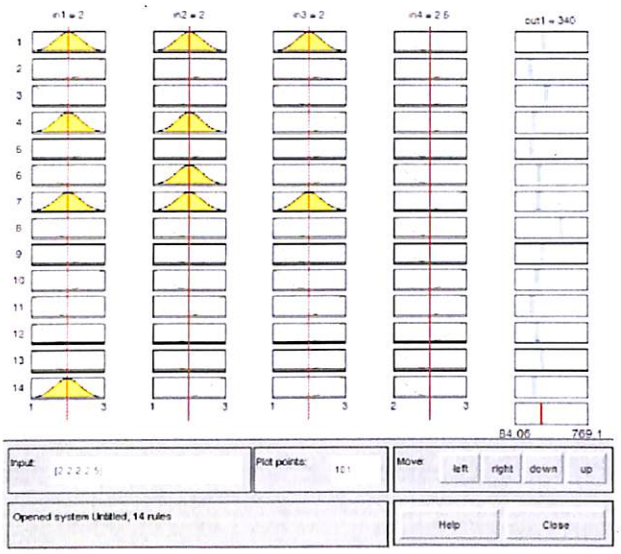
รูปที่ 3.7 แสดงโครงสร้างโมเดล

นอกเหนือผลลัพธ์ที่แสดงออกมาเป็นไครงสร้างโมเดลแล้ว ANFIS ยังสามารถแสดงผลลัพธ์ออกมาเป็นกฎ (Rule) ที่เหมาะสม 14 กฎ ดัง**รูปที่ 3.8**



รูปที่ 3.8 แสดงกฎที่ได้จากโมเดล

การเลือกโมเดลที่ดีที่สุด จะเลือกจากชุดข้อมูล 4 ชุดข้อมูลที่มีค่าแม่นยำที่สุดโดยวัดจากค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง และค่าความคลาดเลื่อนของรากที่สองเฉลี่ย (RMSE) จาก**รูปที่ 3.9** Rule Viewer ที่ได้ในการทดสอบโมเดลต่อไปนี้



รูปที่ 3.9 แสดงการตรวจสอบความแม่นยำโดยใช้ Rule Viewer ที่ได้จากโมเดล

3.4 การนำเข้าข้อมูลเพื่อฝึกฝนการเรียนรู้ (Training Data) ด้วยการโมเดล

การนำเข้าข้อมูลเพื่อการฝึกฝนการเรียนรู้ จากชุดข้อมูล ชุดข้อมูลครั้งละ1 ชุดข้อมูลในตารางแสดงในภาคผนวก ค ดังนี้

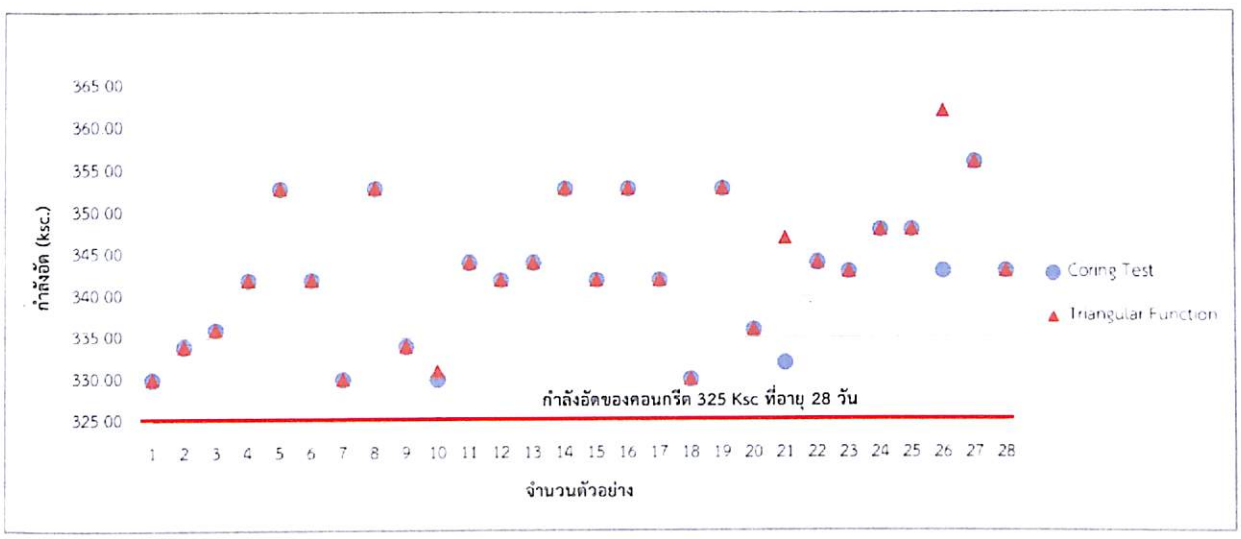
- การฝึกฝนการเรียนรู้ (Training Data) ชุดข้อมูล 70:30 ฟังก์ชันสามเหลี่ยม
- การฝึกฝนการเรียนรู้ (Training Data) ชุดข้อมูล 70:30 ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู
- การฝึกฝนการเรียนรู้ (Training Data) ชุดข้อมูล 70:30 ฟังก์ชันเกาส์เซียน
- การฝึกฝนการเรียนรู้ (Training Data) ชุดข้อมูล 80:20 ฟังก์ชันสามเหลี่ยม
- การฝึกฝนการเรียนรู้ (Training Data) ชุดข้อมูล 80:20 ฟังก์ชันสี่เหลี่มคางหมู
- การฝึกฝนการเรียนรู้ (Training Data) ชุดข้อมูล 80:20 ฟังก์ชันเกาส์เซียน
- การฝึกฝนการเรียนรู้ (Training Data) ชุดข้อมูล 90:10 ฟังก์ชันสามเหลี่ยม
- การฝึกฝนการเรียนรู้ (Training Data) ชุดข้อมูล 90:10 ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู และ
- การฝึกฝนการเรียนรู้ (Training Data) ชุดข้อมูล 90:10 ฟังก์ชันเกาส์เซียน ตามลำดับ

เป็นชุดนำเข้าข้อมูลเพื่อฝึกฝนการเรียนรู้ โดยให้โมเดลเรียนรู้ ด้วยระบบ ANFIS โดยใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อช่วยในการพัฒนาโมเดล มีขั้นตอนที่สำคัญดังนี้

3.4.1 การนำเข้าข้อมูลเพื่อฝึกฝนการเรียนรู้ (Training Data) มาใช้สำหรับสร้างโมเดล

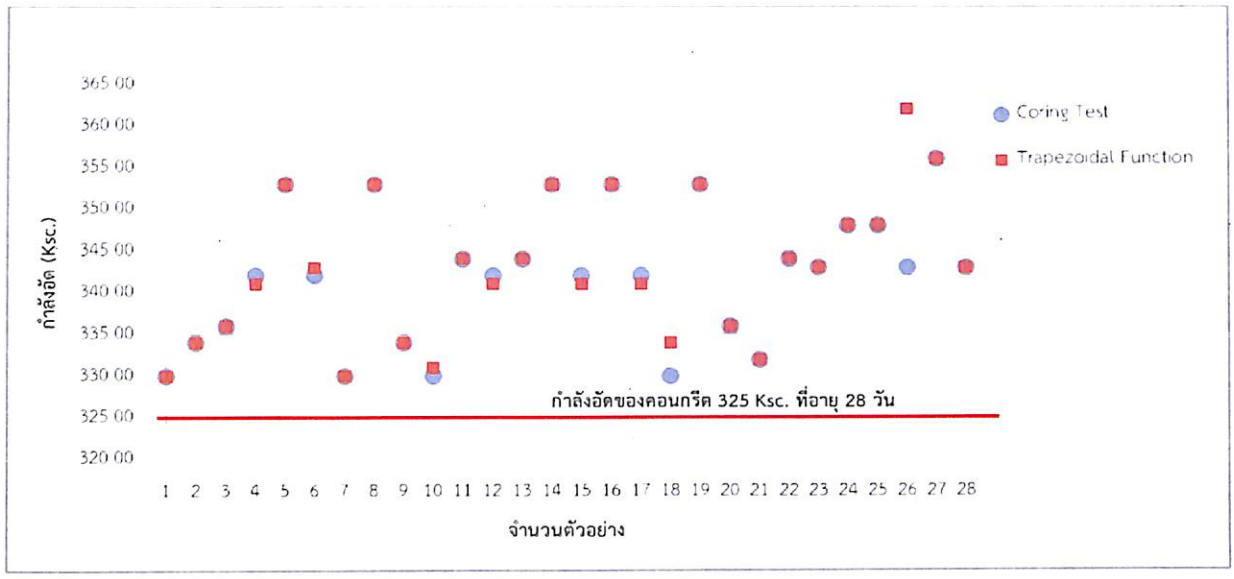
3.4.2 สร้างระบบวินิจฉัยฟัซซี่ โดยกำหนดจำนวนและรูปแบบฟังก์ชันสมาชิกและหากฎฟัซซี่เริ่มต้น

3.4.3 ฝึกฝนให้โมเดลเรียนรู้และปรับรูปแบบฟังก์ชันสมาชิกให้โมเดลมีค่าผิดพลาดน้อยลง โดยการใช้การเรียนรู้แบบผสมผสาน (Hybrid Learning Algorithm) จบครบตามจำนวนรอบที่กำหนด



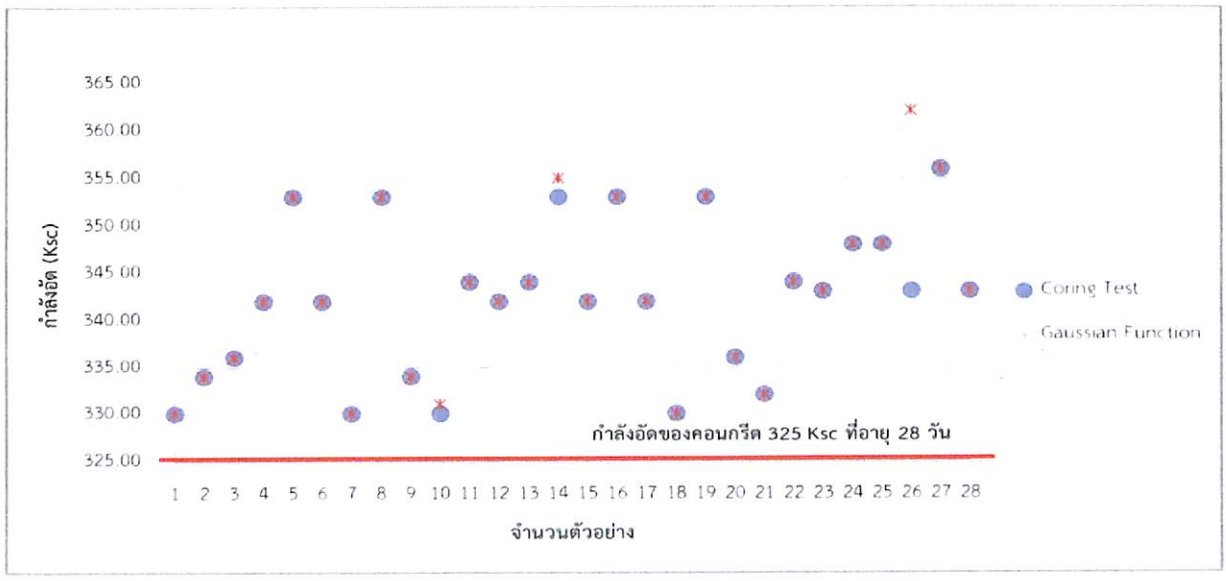
รูปที่ 3.10 กำลังอัดของคอนกรีตระหว่าง Coring Test กับ Triangular Function ของชุดข้อมูล 70:30

จากรูปที่ 3.10 ผลกำลังอัดของคอนกรีต (Output) การฝึกฝนการเรียนรู้ (Training Data) ชุดข้อมูล 70:30 ของ Triangular member ship function ได้จากการ input ข้อมูลทั้งหมดทั้ง 4 ปัจจัย เข้าในโปรแกรม Mathlab เพื่อประเมินกำลังอัดคอนกรีตของแต่ละจุดทดสอบจนครบทั้ง 28 จุดและกำลังอัดของคอนกรีตระหว่าง Coring Test กับ Triangular Function ของชุดข้อมูล 70:30 สัญลักษณ์จุดกลมสีฟ้าหมายถึง กำลังอัดของคอนกรีตจากผลการ Coring test และสัญลักษณ์สามเหลี่ยมสีน้ำตาล หมายถึง กำลังอัดของคอนกรีตจาก Triangular Function และสัญลักษณ์ที่ซ้อนทับกัน คือ กำลังอัดของคอนกรีต Coring test และ Triangular Function จะมีค่ากำลังอัดของคอนกรีตเท่ากัน



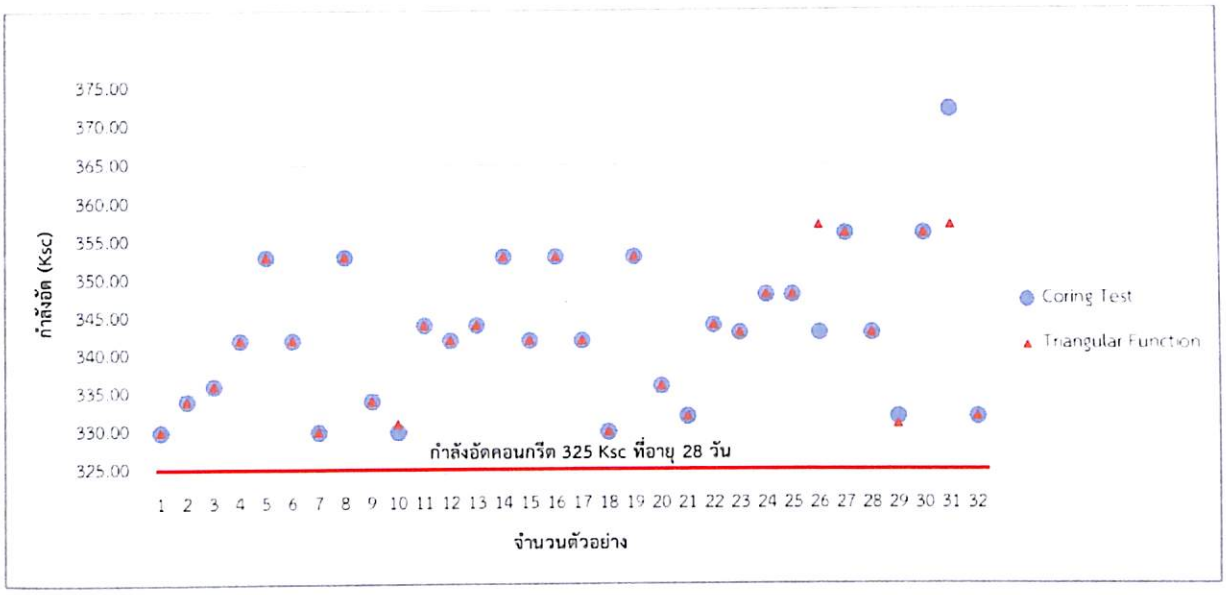
รูปที่ 3.11 กำลังอัดของคอนกรีตระหว่าง Coring Test กับ Trapezoidal Function ของชุดข้อมูล 70:30

จากรูปที่ 3.11 แสดงผลกำลังอัดของคอนกรีต (Output) การฝึกฝนการเรียนรู้ (Training Data) ชุดข้อมูล 70:30 ของ Trapezoidal member ship function ได้จากการ input ข้อมูลทั้งหมดทั้ง 4 ปัจจัย เข้าในโปรแกรม Mathlab เพื่อประเมินกำลังอัดคอนกรีตของแต่ละจุดทดสอบจนครบทั้ง 28 จุด และกำลังอัดของคอนกรีตระหว่าง Coring Test กับ Trapezoidal Function ของชุดข้อมูล 70:30 สัญลักษณ์จุดกลมสีฟ้า หมายถึง กำลังอัดของคอนกรีตจากผลการ Coring test และสัญลักษณ์สี่เหลี่ยมสีน้ำตาล หมายถึง กำลังอัดของคอนกรีตจาก Trapezoidal Function และสัญลักษณ์ที่ซ้อนทับกัน คือ กำลังอัดของคอนกรีต Coring test และ Trapezoidal Function จะมีค่ากำลังอัดของคอนกรีตเท่ากัน



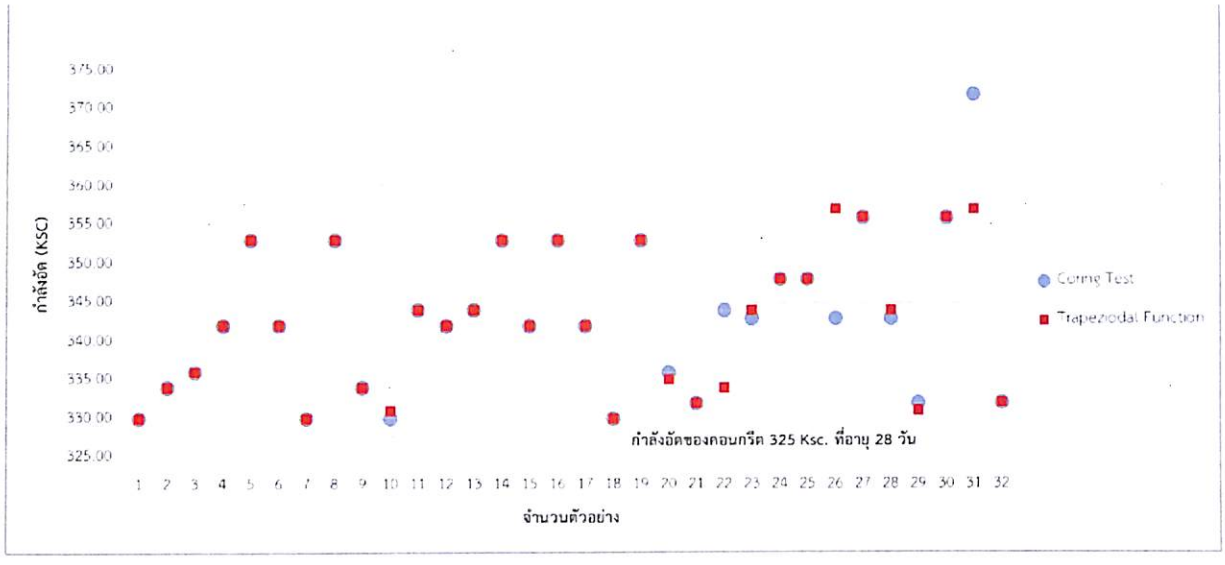
รูปที่ 3.12 กำลังอัดของคอนกรีตระหว่าง Coring Test กับ Gaussian Function ของชุดข้อมูล 70:30

จากรูปที่ 3.12 แสดงผลกำลังอัดของคอนกรีต (Output) การฝึกฝนการเรียนรู้ (Training Data) ชุดข้อมูล 70:30 ของ Guassion member ship function ได้จากการ input ข้อมูลทั้งหมดทั้ง 4 ปัจจัย เข้าในโปรแกรม Mathlab เพื่อประเมินกำลังอัดคอนกรีตของแต่ละจุดทดสอบจนครบทั้ง 28 จุดและกำลังอัดของคอนกรีตระหว่าง Coring Test กับ Gaussian Function ของชุดข้อมูล 70:30 สัญลักษณ์จุดกลมสีฟ้า หมายถึง กำลังอัดของคอนกรีตจากผลการ Coring test และสัญลักษณ์ดอกจันทน์สีน้ำตาล หมายถึง กำลังอัดของคอนกรีตจาก Gaussian Function และสัญลักษณ์ที่ซ้อนทับกัน คือ กำลังอัดของคอนกรีต Coring test และ Gaussian Function จะมีค่ากำลังอัดของคอนกรีตเท่ากัน



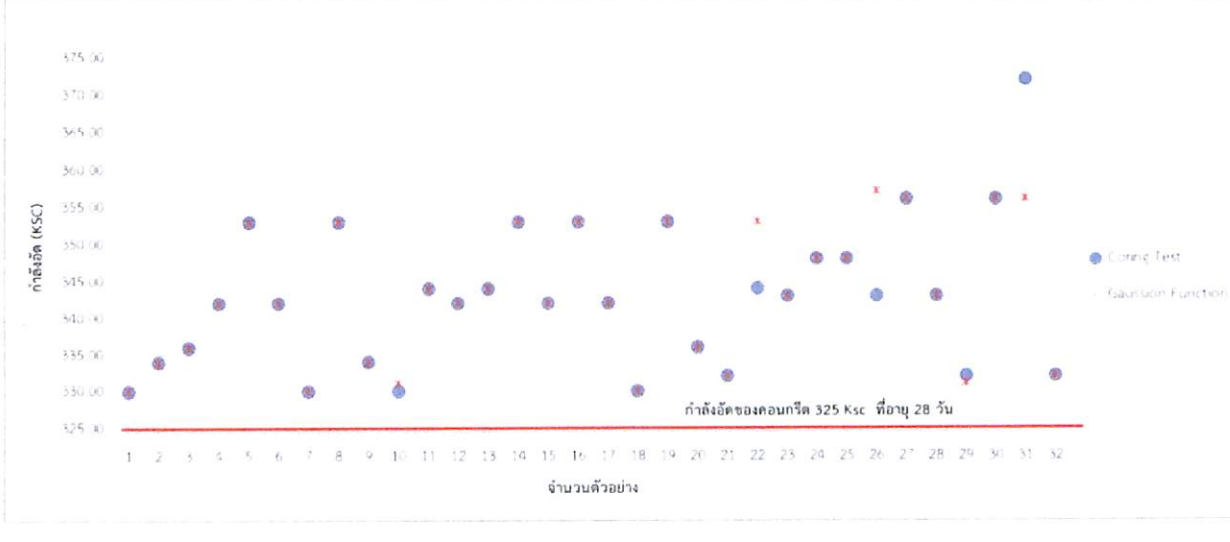
รูปที่ 3.13 กำลังอัดของคอนกรีตระหว่าง Coring Test กับ Triangular Function ของชุดข้อมูล 80:20

จากรูปที่ 3.13 แสดงผลกำลังอัดของคอนกรีต (Output) การฝึกฝนการเรียนรู้ (Training Data) ชุดข้อมูล 80:20 ของ triangular member ship function ได้จากการ input ข้อมูลทั้งหมดทั้ง 4 ปัจจัย เข้าในโปรแกรม Mathlab เพื่อประเมินกำลังอัดคอนกรีตของแต่ละจุดทดสอบจนครบทั้ง 32 จุดและกำลังอัดของคอนกรีตระหว่าง Coring Test กับ Triangular Function ของชุดข้อมูล 80:20 สัญลักษณ์จุดกลมสีฟ้า หมายถึง กำลังอัดของคอนกรีตจากผลการ Coring test และสัญลักษณ์สามเหลี่ยมสีน้ำตาล หมายถึง กำลังอัดของคอนกรีตจาก Triangular Function และสัญลักษณ์ที่ซ้อนทับกัน คือ กำลังอัดของคอนกรีต Coring test และ Triangular Function มีค่ากำลังอัดของคอนกรีตเท่ากัน



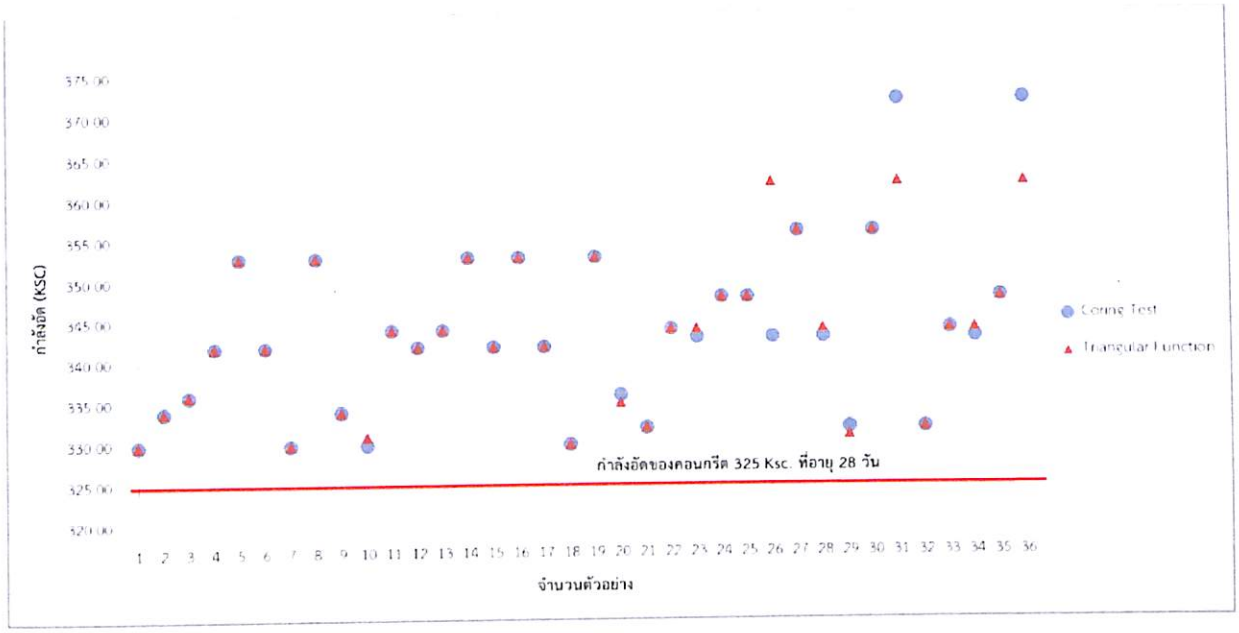
รูปที่ 3.14 กำลังอัดของคอนกรีตระหว่าง Coring Test กับ Trapezoidal Function ของชุดข้อมูล 80:20

จากรูปที่ 3.14 แสดงผลกำลังอัดของคอนกรีต (Output) การฝึกฝนการเรียนรู้ (Training Data) ชุดข้อมูล 80:20 ของ trapezoidal member ship function ได้จากการ input ข้อมูลทั้งหมดทั้ง 4 ปัจจัย เข้าในโปรแกรม Mathlab เพื่อประเมินกำลังอัดคอนกรีตของแต่ละจุดทดสอบจนครบทั้ง 32 จุดและกำลังอัดของคอนกรีตระหว่าง Coring Test กับ Trapezoidal Function ของชุดข้อมูล 80:20 สัญลักษณ์จุดกลมสีฟ้า หมายถึง กำลังอัดของคอนกรีตจากผลการ Coring test และสัญลักษณ์สี่เหลี่ยมสีน้ำตาล หมายถึง กำลังอัดของคอนกรีตจาก Trapezoidal Function และสัญลักษณ์ที่ซ้อนทับกัน คือ กำลังอัดของคอนกรีต Coring test และ Trapezoidal Function มีค่ากำลังอัดของคอนกรีตเท่ากัน



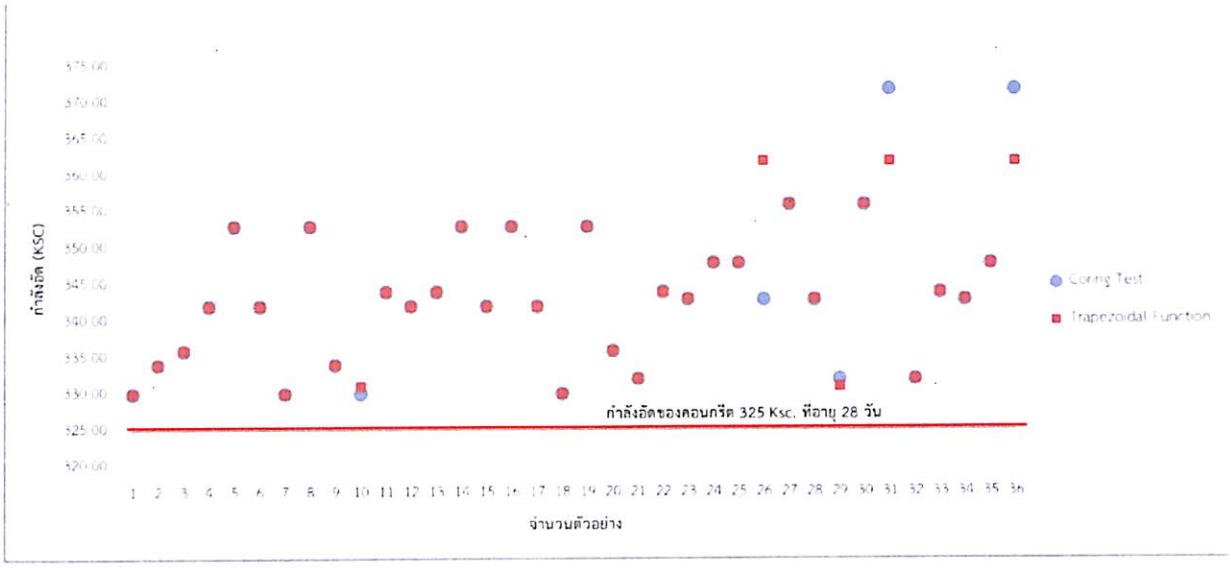
รูปที่ 3.15 กำลังอัดของคอนกรีตระหว่าง Coring Test กับ Gaussian Function ของชุดข้อมูล 80:20

จากรูปที่ 3.15 แสดงผลกำลังอัดของคอนกรีต (Output) การฝึกฝนการเรียนรู้ (Training Data) ชุดข้อมูล 80:20 ของ Gaussian member ship function ได้จากการ input ข้อมูลทั้งหมดทั้ง 4 ปัจจัย เข้าในโปรแกรม Mathlab เพื่อประเมินกำลังอัดคอนกรีตของแต่ละจุดทดสอบจนครบทั้ง 32 จุดและกำลังอัดของคอนกรีตระหว่าง Coring Test กับ Gaussian Function ของชุดข้อมูล 80:20 สัญลักษณ์จุดกลมสีฟ้า หมายถึง กำลังอัดของคอนกรีตจากผลการ Coring test และสัญลักษณ์ดอกจันทน์สีน้ำตาล หมายถึง กำลังอัดของคอนกรีตจาก Gaussian Function และสัญลักษณ์ที่ซ้อนทับกัน คือ กำลังอัดของคอนกรีต Coring test และ Gaussian Function มีค่ากำลังอัดของคอนกรีตเท่ากัน



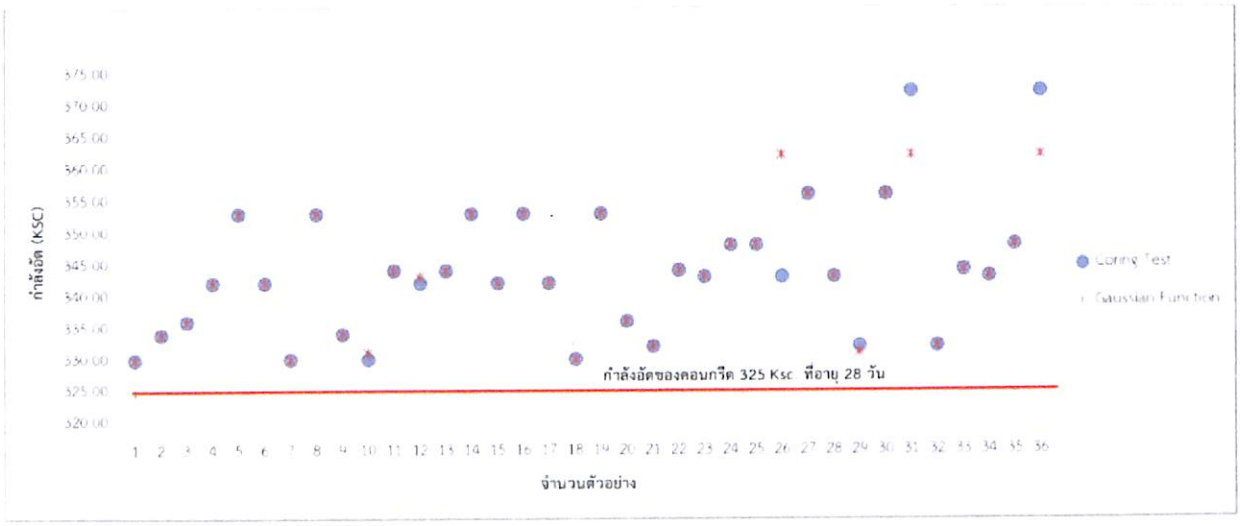
รูปที่ 3.16 กำลังอัดของคอนกรีตระหว่าง Coring Test กับ Triangular Function ของชุดข้อมูล 90:10

จากรูปที่ 3.16 แสดงผลกำลังอัดของคอนกรีต (Output) การฝึกฝนการเรียนรู้ (Training Data) ชุดข้อมูล 90:10 ของ Triangular member ship function ได้จากการ input ข้อมูลทั้งหมดทั้ง 4 ปัจจัย เข้าในโปรแกรม Mathlab เพื่อประเมินกำลังอัดคอนกรีตของแต่ละจุดทดสอบจนครบทั้ง 36 จุดและกำลังอัดของคอนกรีตระหว่าง Coring Test กับ Triangular Function ของชุดข้อมูล 90:10 สัญลักษณ์จุดกลมสีฟ้า หมายถึง กำลังอัดของคอนกรีตจากผลการ Coring test และสัญลักษณ์สามเหลี่ยมสีน้ำตาล หมายถึง กำลังอัดของคอนกรีตจาก Triangular Function และสัญลักษณ์ที่ซ้อนทับกัน คือ กำลังอัดของคอนกรีต Coring test และ Triangular Function มีค่ากำลังอัดของคอนกรีตเท่ากัน



รูปที่ 3.17 กำลังอัดของคอนกรีตระหว่าง Coring Test กับ Trapezoidal Function ของชุดข้อมูล 90:10

จากรูปที่ 3.17 แสดงผลกำลังอัดของคอนกรีต (Output) การฝึกฝนการเรียนรู้ (Training Data) ชุดข้อมูล 90:10 ของ Trapezoidal member ship function ได้จากการ input ข้อมูลทั้งหมดทั้ง 4 ปัจจัย เข้าในโปรแกรม Mathlab เพื่อประเมินกำลังอัดคอนกรีตของแต่ละจุดทดสอบจนครบทั้ง 36 จุดและ กำลังอัดของคอนกรีตระหว่าง Coring Test กับ Trapezoidal Function ของชุดข้อมูล 90:10 สัญลักษณ์จุดกลมสีฟ้า หมายถึง กำลังอัดของคอนกรีตจากผลการ Coring test และสัญลักษณ์สี่เหลี่ยมสีน้ำตาล หมายถึง กำลังอัดของคอนกรีตจาก Trapezoidal Function และสัญลักษณ์ที่ซ้อนทับกัน คือ กำลังอัดของคอนกรีต Coring test และ Triangular Function มีค่ากำลังอัดของคอนกรีตเท่ากัน



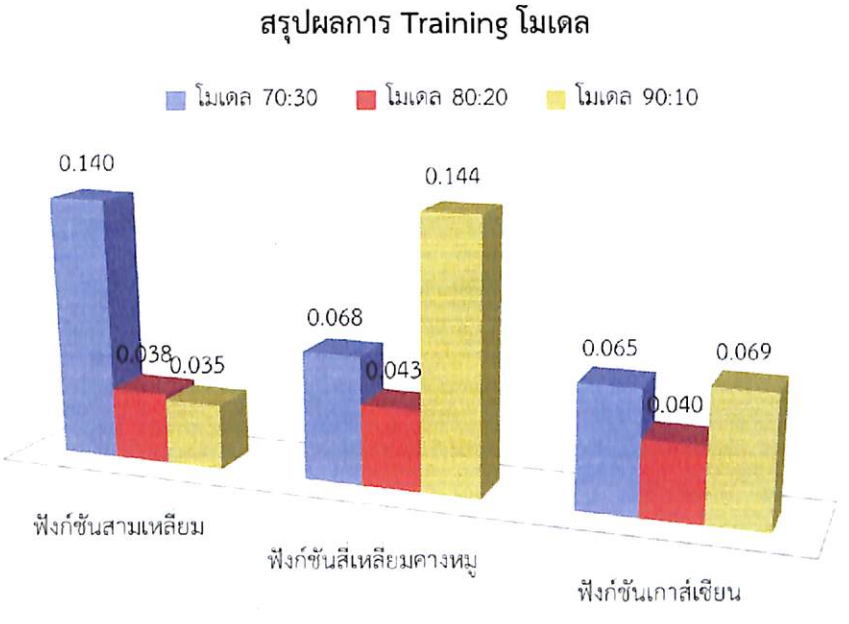
รูปที่ 3.18 กำลังอัดของคอนกรีตระหว่าง Coring Test กับ Gaussian Function ของชุดข้อมูล 90:10

จากรูปที่ 3.18 แสดงผลกำลังอัดของคอนกรีต (Output) การฝึกฝนการเรียนรู้ (Training Data) ชุดข้อมูล 90:10 ของ Gaussian member ship function ได้จากการ input ข้อมูลทั้งหมดทั้ง 4 ปัจจัย

เข้าในโปรแกรม Mathlab เพื่อประเมินกำลังอัดคอนกรีตของแต่ละจุดทดสอบจนครบทั้ง 36 จุดและกำลังอัดของคอนกรีตระหว่าง Coring Test กับ Gaussian Function ของชุดข้อมูล 90:10 สัญลักษณ์จุดกลมสีฟ้า หมายถึง กำลังอัดของคอนกรีตจากผลการ Coring test และสัญลักษณ์ดอกจันทน์สีน้ำตาล หมายถึง กำลังอัดของคอนกรีตจาก Gaussian Function และสัญลักษณ์ที่ซ้อนทับกัน คือ กำลังอัดของคอนกรีต Coring test และ Gaussian Function มีค่ากำลังอัดของคอนกรีตเท่ากัน

ตารางที่ 3.4 สรุปผลการฝึกฝนการเรียนรู้ (Training) ด้วยโมเดล

รูปแบบ	ค่าความคลาดเคลื่อน (RMSE)		
	ฟังก์ชันสามเหลี่ยม	ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู	ฟังก์ชั่นเกาส์เซียน
โมเดล 70:30	0.104	0.086	0.065
โมเดล 80:20	0.038	0.043	0.040
โมเดล 90:10	**0.030**	0.144	0.069



รูปที่ 3.19 ผลการฝึกฝนการเรียนรู้ (Training) ด้วยโมเดล

จากตารางที่ 3.4 และรูปที่ 3.19 สรุปผลการฝึกฝนการเรียนรู้ (Training data) ด้วยโมเดล พบว่าโมเดล 70:30 ฟังก์ชั่นเกาส์เซียนมีค่า RMSE =0.065 มีค่าแม่นยำที่สุดเมื่อเทียบกับฟังก์ชันสามเหลี่ยมและฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู ส่วนโมเดล 80:20 พบว่าฟังก์ชั่นสามเหลี่ยมมีค่า RMSE =0.038 มีค่าแม่นยำที่สุดเมื่อเทียบกับฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมูและฟังก์ชันเกาส์เซียนและโมเดล 90:10 ฟังก์ชั่นสามเหลี่ยมมีค่า

RMSE =0.030 มีค่าแม่นยำที่สุดเมื่อเทียบกับฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมูเหลี่ยมและฟังก์ชันเกาส์เซียน ทั้งนี้หากเปรียบเทียบทั้ง 3 โมเดลและ 3 ฟังก์ชัน พบว่าโมเดล 90:10 ของฟังก์ชันสามเหลี่ยมมีค่า RMSE ต่ำสุดและความแม่นยำมากที่สุด

3.5 การนำเข้าข้อมูลเพื่อทดสอบการเรียนรู้ (Testing Data)

การนำเข้าข้อมูลเพื่อการเรียนรู้ จากชุดข้อมูล ชุดข้อมูลครั้งละ1 ชุดข้อมูลในตารางแสดงในภาคผนวก ค ดังนี้

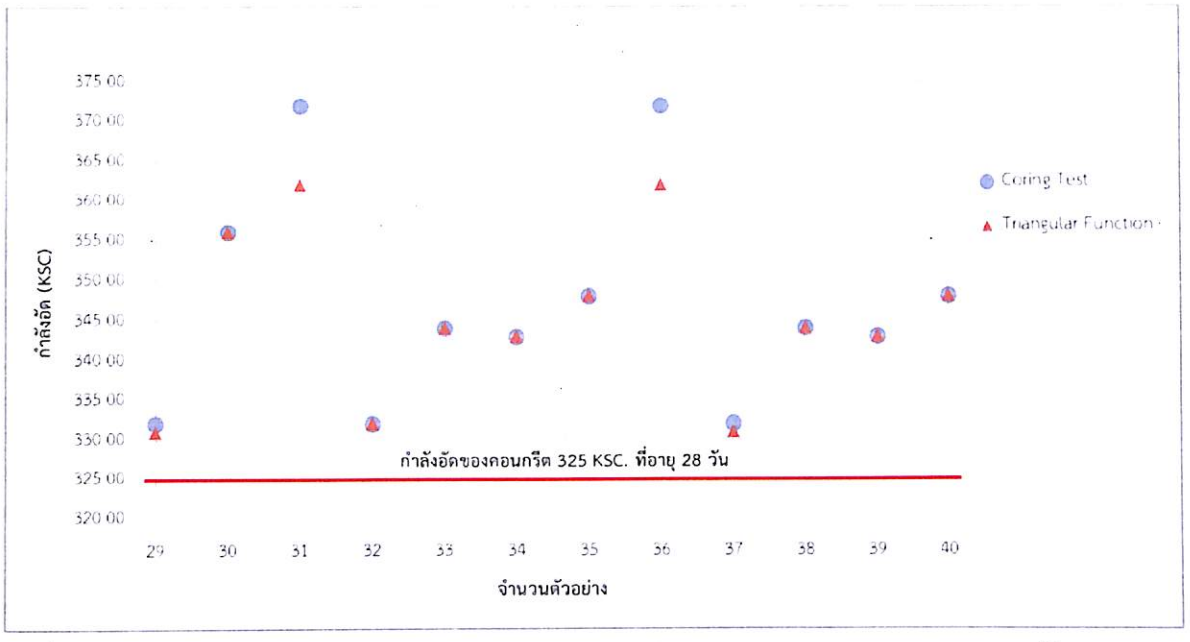
- การทดสอบเรียนรู้ (Test Data) ชุดข้อมูล 70:30 ฟังก์ชันสามเหลี่ยม
- การทดสอบเรียนรู้ (Test Data) ชุดข้อมูล 70:30 ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู
- การทดสอบเรียนรู้ (Test Data) ชุดข้อมูล 70:30 ฟังก์ชันเกาส์เซียน
- การทดสอบเรียนรู้ (Test Data) ชุดข้อมูล 80:20 ฟังก์ชันสามเหลี่ยม
- การทดสอบเรียนรู้ (Test Data) ชุดข้อมูล 80:20 ฟังก์ชันสี่เหลี่มคางหมู
- การทดสอบเรียนรู้ (Test Data) ชุดข้อมูล 80:20 ฟังก์ชันเกาส์เซียน
- การทดสอบเรียนรู้ (Test Data) ชุดข้อมูล 90:10 ฟังก์ชันสามเหลี่ยม
- การทดสอบเรียนรู้ (Test Data) ชุดข้อมูล 90:10 ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู และ
- การทดสอบเรียนรู้ (Test Data) ชุดข้อมูล 90:10 ฟังก์ชันเกาส์เซียน ตามลำดับ

การทดสอบโมเดลด้วยระบบ ANFIS โดยใช้โปรแกรม MATLAB ช่วยในการพัฒนาโมเดล มีขั้นตอนที่สำคัญดังนี้

3.5.1 การนำเข้าข้อมูลเพื่อทดสอบข้อมูล (Testing Data) มาใช้สำหรับสร้างโมเดล

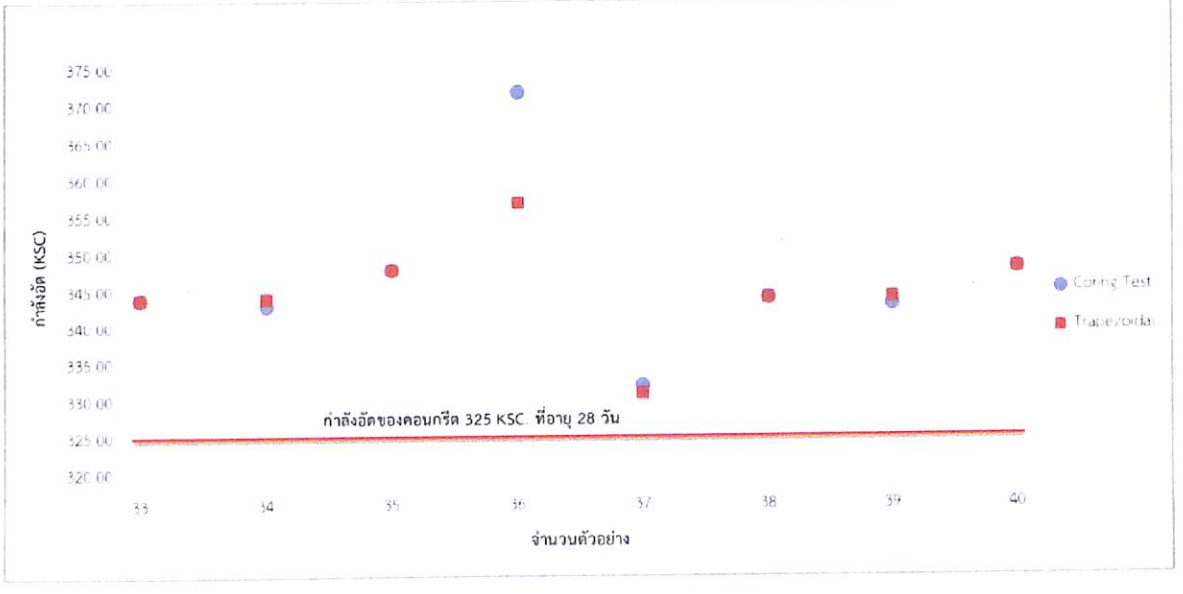
3.5.2 สร้างระบบวินิจฉัยฟัซซี่ โดยกำหนดจำนวนและรูปแบบฟังก์ชันสมาชิกและหากฎฟัซซี่เริ่มต้น

3.5.3 ฝึกฝนให้โมเดลเรียนรู้และปรับรูปแบบฟังก์ชันสมาชิกให้โมเดลมีค่าผิดพลาดน้อยลง โดยการใช้การเรียนรู้แบบผสมผสาน (Hybrid Learning Algorithm) จบครบตามจำนวนรอบที่กำหนด



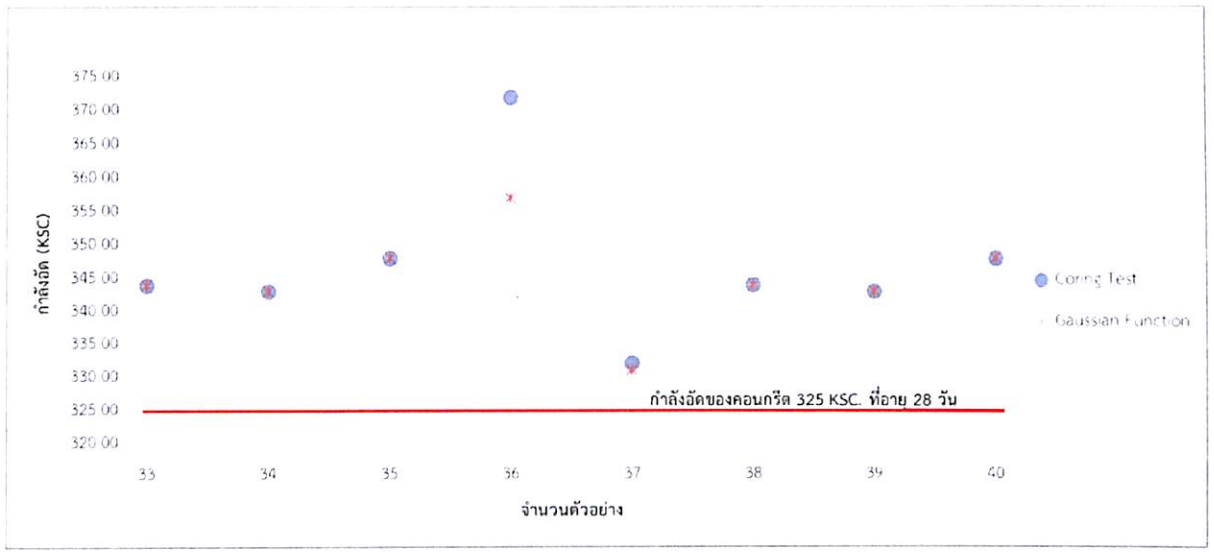
รูปที่ 3.20 กำลังอัดของคอนกรีตระหว่าง Coring Test กับ Triangular Function ของชุดข้อมูล 70:30

จากรูปที่ 3.20 แสดงผลกำลังอัดของคอนกรีต (Output) การทดสอบการเรียนรู้ (Testing Data) ชุดข้อมูล 70:30 ของ Triangular member ship function ได้จากการ input ข้อมูลทั้งหมดทั้ง 4 ปัจจัย เข้าในโปรแกรม Mathlab เพื่อประเมินกำลังอัดคอนกรีตของแต่ละจุดทดสอบจนครบทั้ง 12 จุดและกำลังอัดของคอนกรีตระหว่าง Coring Test กับ Triangular Function ของชุดข้อมูล 70:30 สัญลักษณ์จุดกลมสีฟ้า หมายถึง กำลังอัดของคอนกรีตจากผลการ Coring test และสัญลักษณ์สามเหลี่ยมสีน้ำตาล หมายถึง กำลังอัดของคอนกรีตจาก Triangular Function และสัญลักษณ์ที่ซ้อนทับกัน คือ กำลังอัดของคอนกรีต Coring test และ Triangular Function มีค่ากำลังอัดของคอนกรีตเท่ากัน



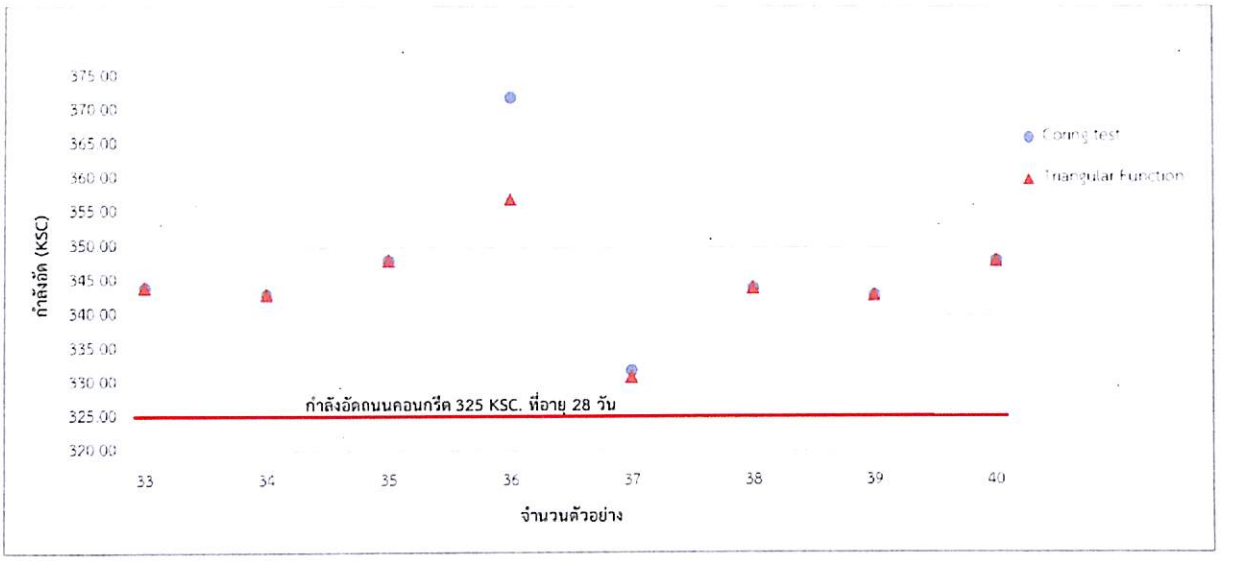
รูปที่ 3.21 กำลังอัดของคอนกรีตระหว่าง Coring Test กับ Trapezoidal Function ของชุดข้อมูล 70:30

จากรูปที่ 3.21 แสดงผลกำลังอัดของคอนกรีต (Output) การทดสอบการเรียนรู้ (Testing Data) ชุดข้อมูล 70:30 ของ Trapezoidal member ship function ได้จากการ input ข้อมูลทั้งหมดทั้ง 4 ปัจจัย เข้าในโปรแกรม Mathlab เพื่อประเมินกำลังอัดคอนกรีตของแต่ละจุดทดสอบจนครบทั้ง 12 จุด และกำลังอัดของคอนกรีตระหว่าง Coring Test กับ Trapezoidal Function ของชุดข้อมูล 70:30 สัญลักษณ์จุดกลมสีฟ้า หมายถึง กำลังอัดของคอนกรีตจากผลการ Coring test และสัญลักษณ์สี่เหลี่ยมสีน้ำตาล หมายถึง กำลังอัดของคอนกรีตจาก Trapezoidal Function และสัญลักษณ์ที่ซ้อนทับกัน คือ กำลังอัดของคอนกรีต Coring test และ Trapezoidal Function มีค่ากำลังอัดของคอนกรีตเท่ากัน



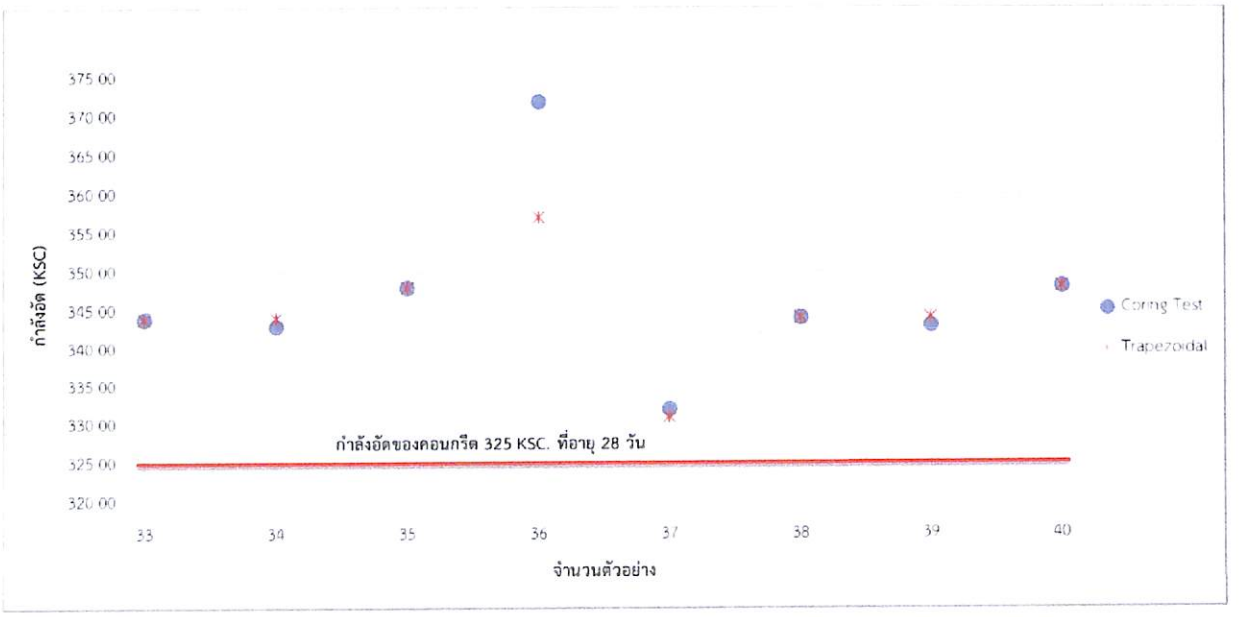
รูปที่ 3.22 กำลังอัดของคอนกรีตระหว่าง Coring Test กับ Gaussian Function ของชุดข้อมูล 70:30

จากรูปที่ 3.22 แสดงผลกำลังอัดของคอนกรีต (Output) การทดสอบการเรียนรู้ (Testing Data) ชุดข้อมูล 70:30 ของ Gaussian member ship function ได้จากการ input ข้อมูลทั้งหมดทั้ง 4 ปัจจัย เข้าในโปรแกรม Mathlab เพื่อประเมินกำลังอัดคอนกรีตของแต่ละจุดทดสอบจนครบทั้ง 12 จุด และกำลังอัดของคอนกรีตระหว่าง Coring Test กับ Gaussian Function ของชุดข้อมูล 70:30 สัญลักษณ์จุดกลมสีฟ้า หมายถึง กำลังอัดของคอนกรีตจากผลการ Coring test และสัญลักษณ์ดอกจันทน์สีน้ำตาล หมายถึง กำลังอัดของคอนกรีตจาก Gaussian Function และสัญลักษณ์ที่ซ้อนทับกัน คือ กำลังอัดของคอนกรีต Coring test และ Gaussian Function มีค่ากำลังอัดของคอนกรีตเท่ากัน



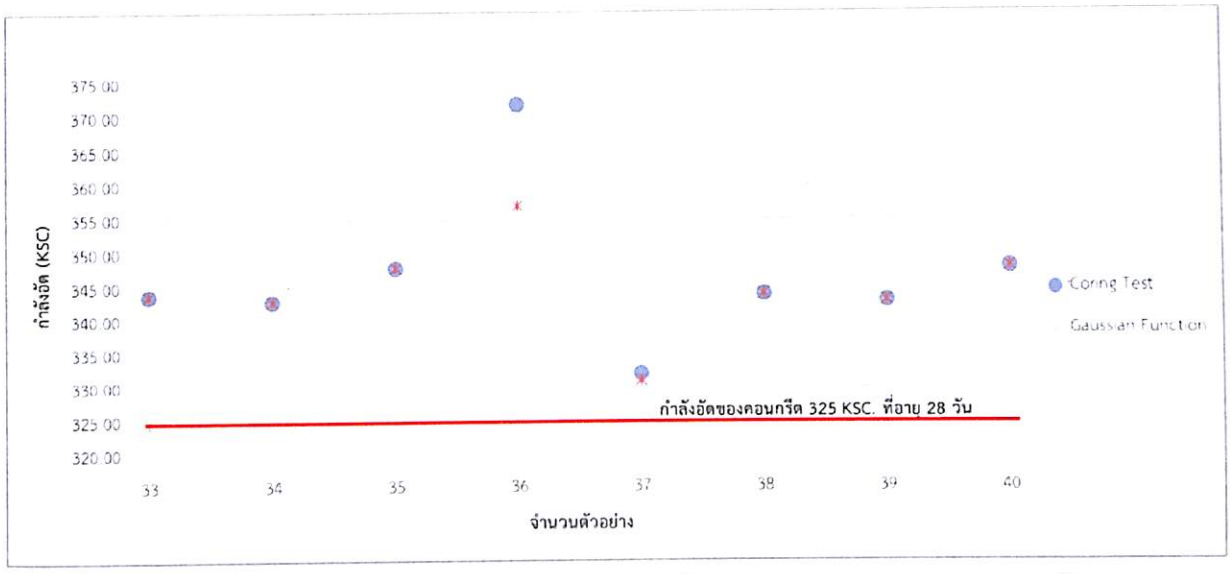
รูปที่ 3.23 กำลังอัดของคอนกรีตระหว่าง Coring Test กับTriangular Function ของชุดข้อมูล 80:20

จากรูปที่ 3.23 แสดงผลกำลังอัดของคอนกรีต (Output) การทดสอบการเรียนรู้ (Testing Data) ชุดข้อมูล 80:20 ของ Triangular member ship function ได้จากการ input ข้อมูลทั้งหมดทั้ง 4 ปัจจัย เข้าในโปรแกรม Mathlab เพื่อประเมินกำลังอัดคอนกรีตของแต่ละจุดทดสอบจนครบทั้ง 8 จุด และกำลังอัดของคอนกรีตระหว่าง Coring Test กับ Triangular Function ของชุดข้อมูล 80:20 สัญลักษณ์จุดกลมสีฟ้าหมายถึง กำลังอัดของคอนกรีตจากผลการ Coring test และสัญลักษณ์สามเหลี่ยมสีน้ำตาล หมายถึง กำลังอัดของคอนกรีตจาก Triangular Function และสัญลักษณ์ที่ซ้อนทับกัน คือ กำลังอัดของคอนกรีต Coring test และ Triangular Function มีค่ากำลังอัดของคอนกรีตเท่ากัน



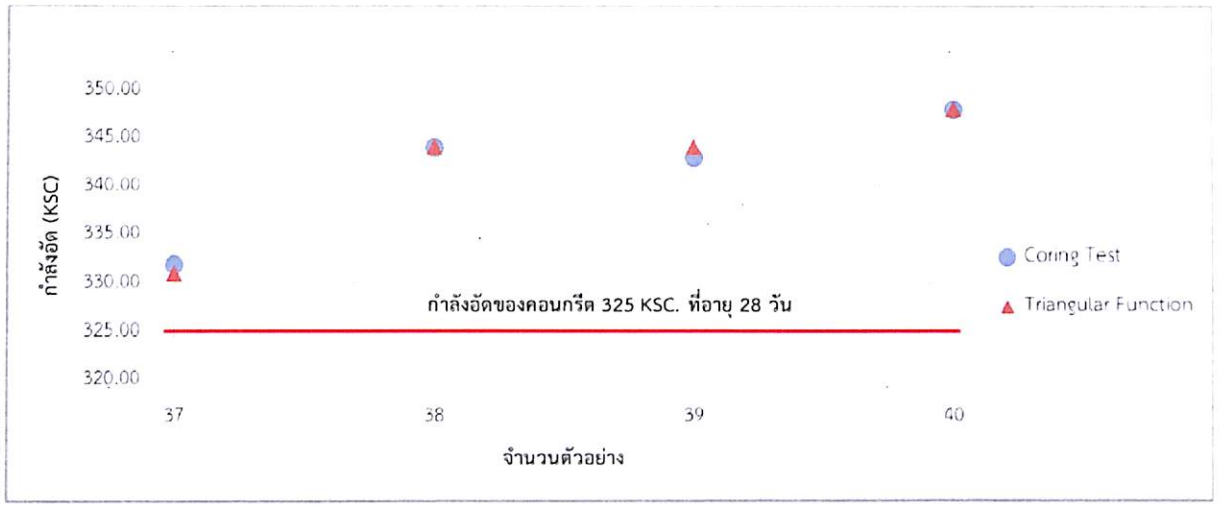
รูปที่ 3.24 กำลังอัดของคอนกรีตระหว่าง Coring Test กับ Trapezoidal Function ของชุดข้อมูล 80:20

จากรูปที่ 3.24 แสดงผลกำลังอัดของคอนกรีต (Output) การทดสอบการเรียนรู้ (Testing Data) ชุดข้อมูล 80:20 ของ Trapezoidal member ship function ได้จากการ input ข้อมูลทั้งหมดทั้ง 4 ปัจจัย เข้าในโปรแกรม Mathlab เพื่อประเมินกำลังอัดคอนกรีตของแต่ละจุดทดสอบจนครบทั้ง 8 จุด และกำลังอัดของคอนกรีตระหว่าง Coring Test กับ Trapezoidal Function ของชุดข้อมูล 80:20 สัญลักษณ์จุดกลมสีฟ้า หมายถึง กำลังอัดของคอนกรีตจากผลการ Coring test และสัญลักษณ์สี่เหลี่ยมคางหมูสีน้ำตาล หมายถึง กำลังอัดของคอนกรีตจาก Trapezoidal Function และสัญลักษณ์ที่ซ้อนทับกัน คือ กำลังอัดของคอนกรีต Coring test และ Trapezoidal Function มีค่ากำลังอัดของคอนกรีตเท่ากัน



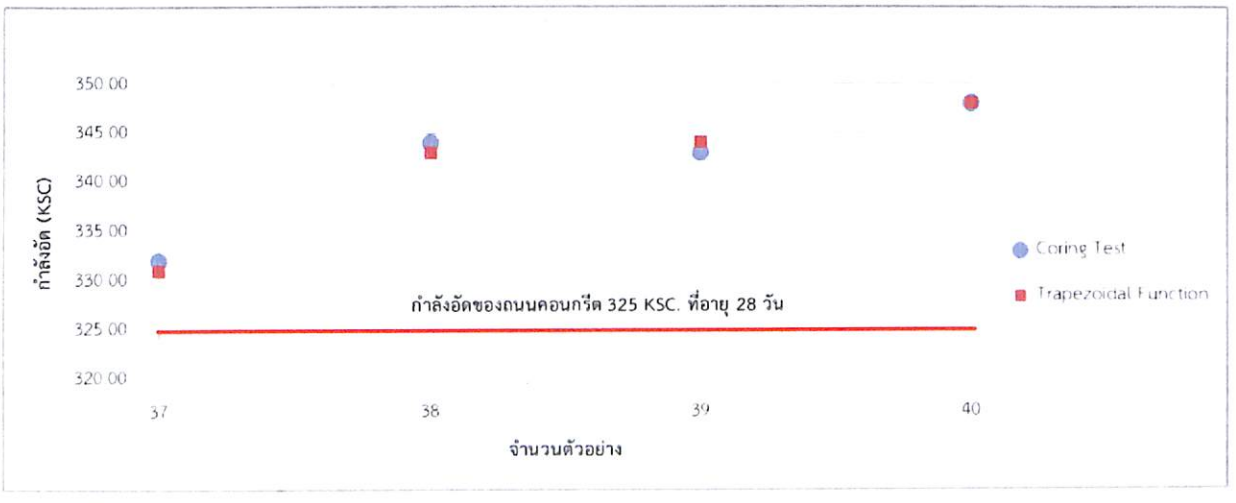
รูปที่ 3.25 กำลังอัดของคอนกรีตระหว่าง Coring Test กับ Gaussian Function ของชุดข้อมูล 80:20

จากรูปที่ 3.25 แสดงผลกำลังอัดของคอนกรีต (Output) การทดสอบการเรียนรู้ (Testing Data) ชุดข้อมูล 80:20 ของ Gaussian member ship function ได้จากการ input ข้อมูลทั้งหมดทั้ง 4 ปัจจัย เข้าในโปรแกรม Mathlab เพื่อประเมินกำลังอัดคอนกรีตของแต่ละจุดทดสอบจนครบทั้ง 8 จุด และกำลังอัดของคอนกรีตระหว่าง Coring Test กับ Gaussian Function ของชุดข้อมูล 80:20 สัญลักษณ์จุดกลมสีฟ้า หมายถึง กำลังอัดของคอนกรีตจากผลการ Coring test และสัญลักษณ์ดอกจันทน์สีน้ำตาล หมายถึง กำลังอัดของคอนกรีตจาก Gaussian Function และสัญลักษณ์ที่ซ้อนทับกัน คือ กำลังอัดของคอนกรีต Coring test และ Gaussian Function มีค่ากำลังอัดของคอนกรีตเท่ากัน



รูปที่ 3.26 กำลังอัดของคอนกรีตระหว่าง Coring Test กับ Triangular Function ของชุดข้อมูล 90:10

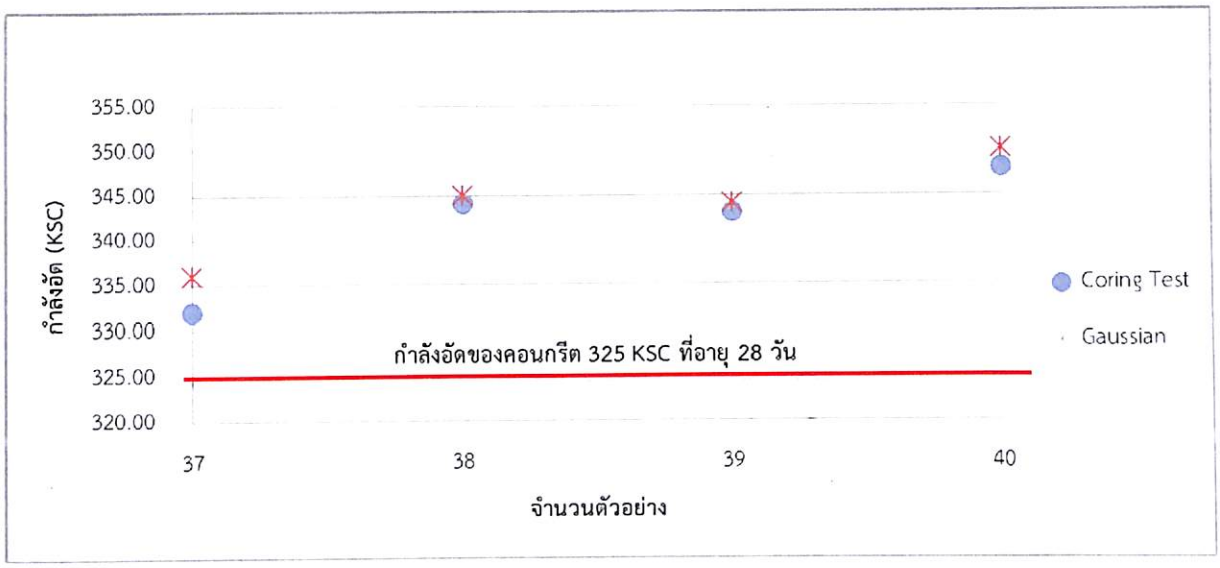
จากรูปที่ 3.26 แสดงผลกำลังอัดของคอนกรีต (Output) การทดสอบการเรียนรู้ (Testing Data) ชุดข้อมูล 90:10 ของ Triangular member ship function ได้จากการ input ข้อมูลทั้งหมดทั้ง 4 ปัจจัย เข้าในโปรแกรม Mathlab เพื่อประเมินกำลังอัดคอนกรีตของแต่ละจุดทดสอบจนครบทั้ง 4 จุดและกำลังอัดของคอนกรีตระหว่าง Coring Test กับ Triangular Function ของชุดข้อมูล 90:10 สัญลักษณ์จุดกลมสีฟ้า หมายถึง กำลังอัดของคอนกรีตจากผลการ Coring test และสัญลักษณ์สามเหลี่ยมสีน้ำตาล หมายถึง กำลังอัดของคอนกรีตจาก Triangular Function และสัญลักษณ์ที่ซ้อนทับกัน คือ กำลังอัดของคอนกรีต Coring test และ Triangular Function มีค่ากำลังอัดของคอนกรีตเท่ากัน



รูปที่ 3.27 กำลังอัดของคอนกรีตระหว่าง Coring Test กับ Trapezoidal Function ของชุดข้อมูล 90:10

จากรูปที่ 3.27 แสดงผลกำลังอัดของคอนกรีต (Output) การทดสอบการเรียนรู้ (Testing Data) ชุดข้อมูล 90:10 ของ Trapezoidal member ship function ได้จากการ input ข้อมูลทั้งหมดทั้ง 4 ปัจจัย เข้าในโปรแกรม Mathlab เพื่อประเมินกำลังอัดคอนกรีตของแต่ละจุดทดสอบจนครบทั้ง 4 จุด และกำลังอัดของ

คอนกรีตระหว่าง Coring Test กับ Trapezoidal Function ของชุดข้อมูล 90:10 สัญลักษณ์จุดกลมสีฟ้า หมายถึง กำลังอัดของคอนกรีตจากผลการ Coring test และสัญลักษณ์สี่เหลี่ยมคางหมูสีน้ำตาล หมายถึง กำลังอัดของคอนกรีตจาก Trapezoidal Function และสัญลักษณ์ที่ซ้อนทับกัน คือ กำลังอัดของคอนกรีต Coring test และ Trapezoidal Function มีค่ากำลังอัดของคอนกรีตเท่ากัน

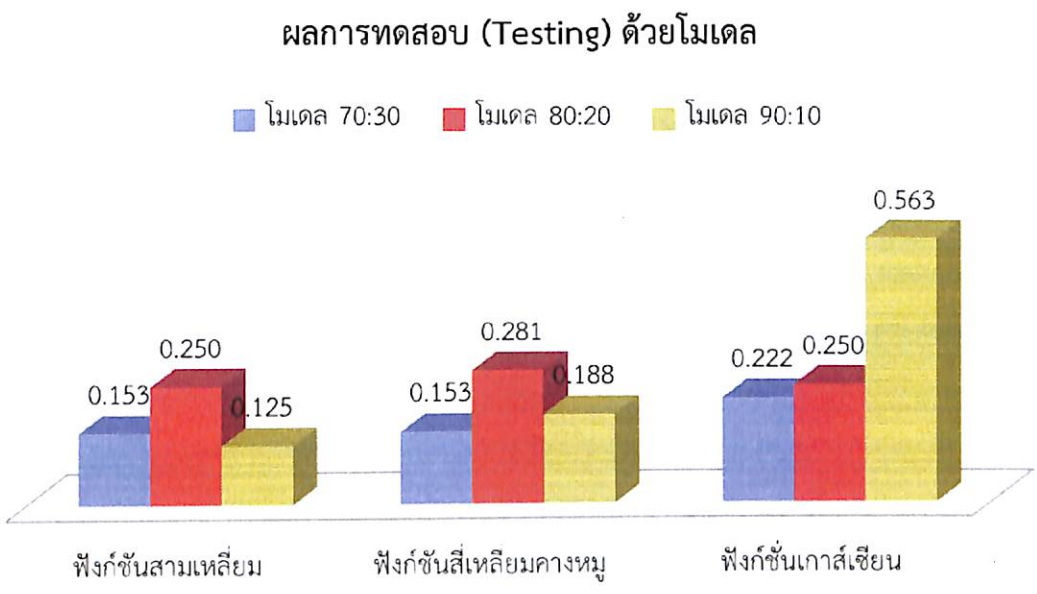


รูปที่ 3.28 กำลังอัดของคอนกรีตระหว่าง Coring Test กับ Gaussian Function ของชุดข้อมูล 90:10

จากรูปที่ 3.28 แสดงผลกำลังอัดของคอนกรีต (Output) การทดสอบการเรียนรู้ (Testing Data) ชุดข้อมูล 90:10 ของ Gaussian member ship function ได้จากการ input ข้อมูลทั้งหมดทั้ง 4 ปัจจัย เข้าในโปรแกรม Mathlab เพื่อประเมินกำลังอัดคอนกรีตของแต่ละจุดทดสอบจนครบทั้ง 4 จุด และกำลังอัดของคอนกรีตระหว่าง Coring Test กับ Gaussian Function ของชุดข้อมูล 90:10 สัญลักษณ์จุดกลมสีฟ้า หมายถึง กำลังอัดของคอนกรีตจากผลการ Coring test และสัญลักษณ์ดอกจันทน์สีน้ำตาล หมายถึง กำลังอัดของคอนกรีตจาก Gaussian Function และสัญลักษณ์ที่ซ้อนทับกัน คือ กำลังอัดของคอนกรีต Coring test และ Gaussian Function มีค่ากำลังอัดของคอนกรีตเท่ากัน

ตารางที่ 3.5 สรุปผลการการทดสอบ (Testing) ด้วยโมเดล

รูปแบบ	ค่าความคลาดเคลื่อน (RMSE)		
	ฟังก์ชันสามเหลี่ยม	ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู	ฟังก์ชั่นเกาส์เซียน
โมเดล 70:30	0.153	0.153	0.222
โมเดล 80:20	0.250	0.281	0.250
โมเดล 90:10	**0.125**	0.188	0.563



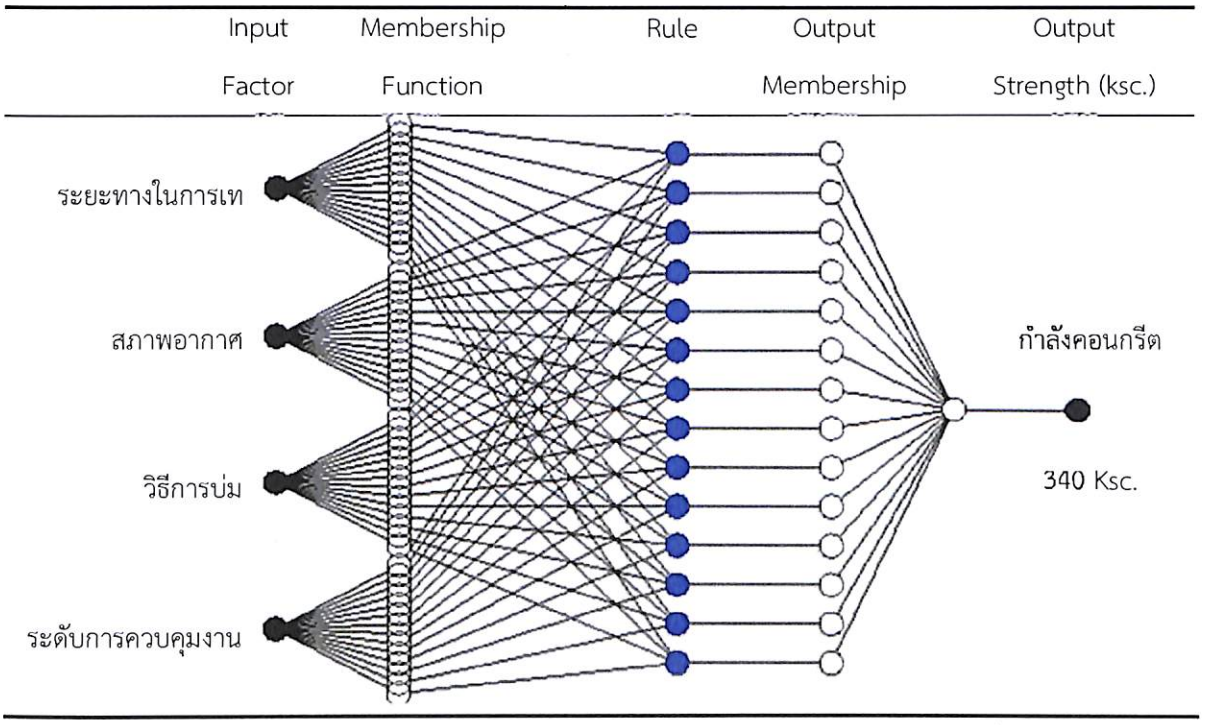
รูปที่ 3.29 ผลการทดสอบ (Testing) ด้วยโมเดล

จากตารางที่ 3.4 และรูปที่ 3.29 สรุปผลการทดสอบการเรียนรู้ (Testing data) ด้วยโมเดล พบว่า โมเดล 70:30 ฟังก์ชันสามเหลี่ยมและฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู RMSE =0.153 มีค่าแม่นยำที่สุดเมื่อเทียบกับฟังก์ชั่นเกาส์เซียนมีค่า ส่วนโมเดล 80:20 พบว่าฟังก์ชั่นสามเหลี่ยมและฟังก์ชันเกาส์เซียน มีค่า RMSE =0.250 มีค่าแม่นยำที่สุดเมื่อเทียบกับฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมูและโมเดล 90:10 ฟังก์ชั่นสามเหลี่ยมมีค่า RMSE =0.150 มีค่าแม่นยำที่สุดเมื่อเทียบกับฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมูเหลี่ยมและฟังก์ชันเกาส์เซียน ทั้งนี้หากเปรียบเทียบทั้ง 3 โมเดลและ 3 ฟังก์ชัน พบว่าโมเดล 90:10 ของฟังก์ชันสามเหลี่ยมมีค่า RMSE ต่ำสุดและความแม่นยำมากที่สุด

การทดสอบโมเดล เพื่อพิจารณาโมเดลที่ดีที่สุดคือ โมเดลของชุดข้อมูล 90:10 ที่ฟังก์ชันสามเหลี่ยมมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานได้หรือไม่นั้น พิจารณาจากค่า RMSE ต่ำที่สุดเป็นโมเดลที่มีความ

เหมาะสม สำหรับข้อมูลที่ใช้ตรวจสอบความถูกต้อง (Validation Data) เป็นชุดข้อมูลที่ไม่ได้นำไปใช้ในการพัฒนาโมเดล แต่จะเป็นข้อมูลที่ใช้ตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำ

เนื่องจากข้อมูลนำเข้าของโมเดลทำนายค่าความเป็นไปได้มีหลายชนิดและแต่ละชนิดก็มีรายละเอียดแตกต่างกัน ทำให้มีความยุ่งยากในการอ้างถึง ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้กำหนดสัญลักษณ์เพื่อแทนความหมายของข้อมูลให้มีความกระชับและสะดวกในการอ้างถึง สัญลักษณ์ข้อมูลเพื่อนำเข้าเพื่อทำนายค่าระดับความเป็นไปได้ที่จะเกิดปัจจัยที่ทำให้กำลังคอนกรีตลดลง ดัง**รูปที่ 3.30**



รูปที่ 3.30 โมเดลที่ใช้ทำนายกำลังของคอนกรีต

ข้อมูล A, B, C และ D ที่ใช้ในการทดสอบโมเดลมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานได้หรือไม่นั้นพิจารณาจากค่า RMSE ต่ำที่สุดเป็นโมเดลที่มีความเหมาะสม สำหรับข้อมูลที่ใช้ตรวจสอบความถูกต้อง (Validation Data) เป็นชุดข้อมูลที่ไม่ได้นำไปใช้ในการพัฒนาโมเดล แต่จะเป็นข้อมูลที่ใช้ตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำ ดังสมการ (4.1) งานวิจัยนี้จัดให้มีจำนวนชุดข้อมูลที่ใช้ตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำเท่ากับ 4 ชุดข้อมูล A, B, C และ D ดังแสดงตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ตรวจสอบโมเดล A, B, C และ D ของปัจจัย "ระยะทางในการเทคอนกรีต"

		ชุดข้อมูล			
		A	B	C	D
ทดสอบ ชุดที่ 1	ตำแหน่งทดสอบที่	1	5	9	13
	Coring Test (น้ำหนักคะแนน)	330	353	344	344
	ANFIS (น้ำหนักคะแนน)	330	353	344	344
	APE (%)	0.00	0.00	0.00	0.00
ทดสอบ ชุดที่ 2	ตำแหน่งทดสอบที่	2	6	10	14
	Coring Test (น้ำหนักคะแนน)	334	342	330	353
	ANFIS (น้ำหนักคะแนน)	334	342	331	353
	APE (%)	0.00	0.00	0.03	0.00
ทดสอบ ชุดที่ 3	ตำแหน่งทดสอบที่	3	7	11	15
	Coring Test (น้ำหนักคะแนน)	336	330	344	342
	ANFIS (น้ำหนักคะแนน)	336	330	344	342
	APE (%)	0.00	0.00	0.00	0.00
ทดสอบ ชุดที่ 4	ตำแหน่งทดสอบที่	4	8	12	16
	Coring Test (น้ำหนักคะแนน)	342	353	342	353
	ANFIS (น้ำหนักคะแนน)	342	353	342	353
	APE (%)	0.00	0.00	0.00	0.00
RMSE		**0.00**	**0.00**	**0.125**	**0.00**

ขั้นตอนต่างๆ ข้างต้น เป็นการพัฒนาโมเดลการประเมินกำลังของคอนกรีตงานถนนในระหว่างการก่อสร้าง (ANFIS) ที่เป็นโมเดลที่ดีที่สุด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำไปใช้ในการประเมินกำลังของคอนกรีตงานถนนในระหว่างการก่อสร้างปัจจัย “ระยะทางในการเท” คอนกรีตเท่านั้น สำหรับปัจจัยที่ทำให้กำลังของคอนกรีตงานถนนในระหว่างการก่อสร้างลดลงอื่นๆ ก็สามารถทำได้เช่นเดียวกันกับปัจจัยนี้

ทั้งนี้ผู้วิจัยได้เพิ่มเติมทำการทดสอบการประเมินกำลังอัดของคอนกรีตงานถนนระหว่างการก่อสร้างเพิ่มเติมอีก 3 สถานการณ์ และผู้วิจัยเพิ่มเติมของปัจจัย “สภาพอากาศขณะเทคอนกรีต” จัดให้มีจำนวนชุดข้อมูลที่ใช้ตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำเท่ากับ 4 ชุดข้อมูล E, F, G และ H ดังแสดงตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ตรวจสอบโมเดล E, F, G และ H ของปัจจัย “สภาพอากาศขณะเทคอนกรีต”

		ชุดข้อมูล			
		E	F	G	H
ทดสอบชุดที่ 5	ตำแหน่งทดสอบที่	5	9	13	17
	Coring Test (น้ำหนักคะแนน)	353	344	344	342
	ANFIS (น้ำหนักคะแนน)	353	344	344	342
	APE (%)	0.00	0.00	0.00	0.00
ทดสอบชุดที่ 6	ตำแหน่งทดสอบที่	6	10	14	18
	Coring Test (น้ำหนักคะแนน)	342	330	353	330
	ANFIS (น้ำหนักคะแนน)	342	331	353	330
	APE (%)	0.00	0.03	0.00	0.00
ทดสอบชุดที่ 7	ตำแหน่งทดสอบที่	7	11	15	19
	Coring Test (น้ำหนักคะแนน)	330	344	342	353
	ANFIS (น้ำหนักคะแนน)	330	344	342	353
	APE (%)	0.00	0.00	0.00	0.00

ทดสอบ ชุดที่ 8	ตำแหน่งทดสอบที่	8	12	16	20
	Coring Test (น้ำหนักคะแนน)	353	342	353	336
	ANFIS (น้ำหนักคะแนน)	353	342	353	335
	APE (%)	0.00	0.00	0.00	0.03
RMSE		**0.00**	**0.125**	**0.00**	**0.125**

ผู้วิจัยเพิ่มเติมของปัจจัย "วิธีการบ่มคอนกรีต" จัดให้มีจำนวนชุดข้อมูลที่ใช้ตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำเท่ากับ 5 ชุดข้อมูล I, J, K, L และ M ดังแสดงตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 ตรวจสอบโมเดล I, J, K, L และ M ของปัจจัย "วิธีการบ่มคอนกรีต"

		ชุดข้อมูล				
		I	J	K	L	M
ทดสอบ ชุดที่ 9	ตำแหน่งทดสอบที่	10	14	18	22	26
	Coring Test (น้ำหนักคะแนน)	330	353	330	344	343
	ANFIS (น้ำหนักคะแนน)	331	353	330	344	362
	APE (%)	0.03	0.00	0.00	0.00	5.54
ทดสอบ ชุดที่ 10	ตำแหน่งทดสอบที่	11	15	19	23	27
	Coring Test (น้ำหนักคะแนน)	344	342	353	343	356
	ANFIS (น้ำหนักคะแนน)	344	342	353	344	356
	APE (%)	0.00	0.00	0.00	0.29	0.00
ทดสอบ ชุดที่ 11	ตำแหน่งทดสอบที่	12	16	20	24	28
	Coring Test (น้ำหนักคะแนน)	342	353	336	348	343

	ANFIS (น้ำหนักคะแนน)	342	353	335	348	344
	APE (%)	0.00	0.00	0.03	0.00	0.29
ทดสอบ ชุดที่ 12	ตำแหน่งทดสอบที่	13	17	21	25	29
	Coring Test (น้ำหนักคะแนน)	344	342	332	348	332
	ANFIS (น้ำหนักคะแนน)	344	342	332	348	331
	APE (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
RMSE		0.125	0.00	0.125	0.125	2.625

ผู้วิจัยเพิ่มเติมของปัจจัย “ระดับการควบคุมงาน” จัดให้มีจำนวนชุดข้อมูลที่ใช้ตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำเท่ากับ 5 ชุดข้อมูล N, P, Q, R และ S ดังแสดงตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 ตรวจสอบโมเดล N, P, Q, R และ S ของปัจจัย “ระดับการควบคุมงาน”

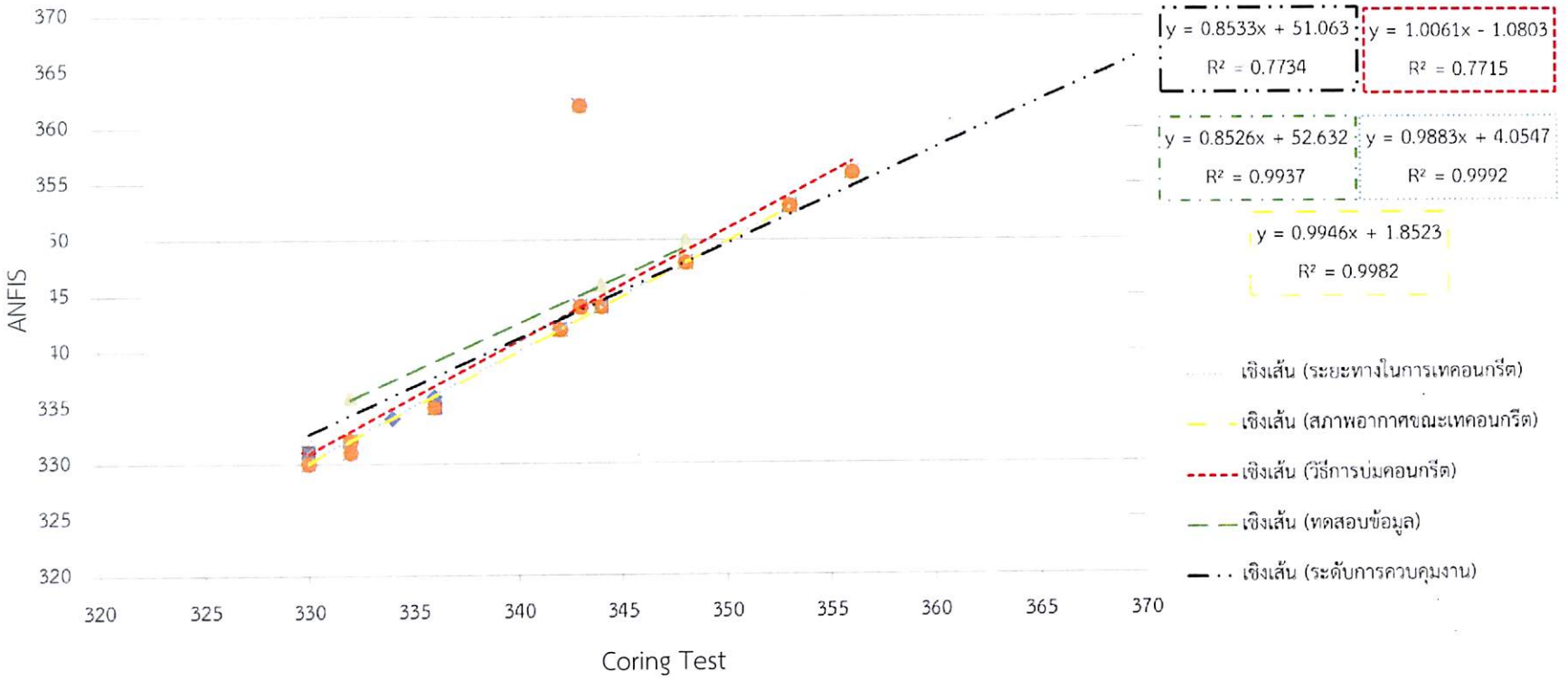
		ชุดข้อมูล				
		N	P	Q	R	S
ทดสอบ ชุดที่ 13	ตำแหน่งทดสอบที่	15	19	23	27	31
	Coring Test (น้ำหนักคะแนน)	342	353	343	356	372
	ANFIS (น้ำหนักคะแนน)	342	353	344	356	362
	APE (%)	0.00	0.00	0.29	0.00	2.69
ทดสอบ ชุดที่ 14	ตำแหน่งทดสอบที่	16	20	24	28	32
	Coring Test (น้ำหนักคะแนน)	353	336	348	343	332
	ANFIS (น้ำหนักคะแนน)	353	335	348	344	332
	APE (%)	0.00	0.03	0.00	0.29	0.00

ทดสอบ ชุดที่ 15	ตำแหน่งทดสอบที่	17	21	25	29	33
	Coring Test (น้ำหนักคะแนน)	342	332	348	332	344
	ANFIS (น้ำหนักคะแนน)	342	332	348	331	344
	APE (%)	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00
ทดสอบ ชุดที่ 16	ตำแหน่งทดสอบที่	18	22	26	30	34
	Coring Test (น้ำหนักคะแนน)	330	344	343	356	343
	ANFIS (น้ำหนักคะแนน)	330	344	362	356	344
	APE (%)	0.00	0.00	5.54	0.00	0.29
RMSE		**0.00**	**0.125**	**2.500**	**0.250**	**1.375**

ผู้วิจัยเพิ่มเติมของปัจจัย "การทดสอบโมเดล" จัดให้มีจำนวนชุดข้อมูลที่ใช้ตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำเท่ากับ 4 ชุดข้อมูล T, U, V และ W ดังแสดงตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 ตรวจสอบโมเดล T, U, V และ W ของปัจจัย "การทดสอบโมเดล"

		ชุดข้อมูล			
		T	U	V	W
ทดสอบ ชุดที่ 17	ตำแหน่งทดสอบที่	37	38	39	40
	Coring Test (น้ำหนักคะแนน)	332	344	343	348
	ANFIS (น้ำหนักคะแนน)	336	346	344	350
	APE (%)	1.20	0.58	0.29	0.57
RMSE		**4.00**	**2.00**	**1.00**	**2.00**



รูปที่ 30.31 ความถูกต้องแม่นยำระหว่างข้อมูล Coring test เทียบกับการทำนายโดย ANFIS

จากตารางแสดง ค่า R^2 ของปัจจัย “ระยะทางในการเทคอนกรีต” ของชุดข้อมูล A, B, C และ D ค่า R^2 ของปัจจัย “สภาพอากาศขณะเทคอนกรีต” ของชุดข้อมูล E, F, G และ H ค่า R^2 ของปัจจัย “วิธีการเทคอนกรีต” ของชุดข้อมูล I, J, K, L และ M ค่า R^2 ของปัจจัย “ระดับการควบคุมงาน” ของชุดข้อมูล N, P, Q, R และ S ค่า R^2 ของปัจจัย “การทดสอบข้อมูล” ของชุดข้อมูล T, U, V และ W