

การประยุกต์ใช้ ANFIS สำหรับประเมินกำลังของคอนกรีตงานถนนในระหว่างการก่อสร้าง

APPLICATION OF ANFIS FOR EVALUATING THE STRENGTH OF THE CONCRETE ROAD DURING CONSTRUCTION

สิรภพ นนทรังสี

นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
Email : pakdeen_1@hotmail.com

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพจิตร ผาวัน

อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
Email : pajjit.pa@spu.ac.th

บทคัดย่อ

คุณภาพถนนคอนกรีตในระหว่างการก่อสร้างเป็นขั้นตอนที่ถือได้ว่าเป็นขั้นตอนหนึ่งของการควบคุมงานถึงแม้ว่าการทดสอบคุณภาพของถนนคอนกรีตหลายวิธี เช่น การทดสอบแบบทำลายและการทดสอบแบบไม่ทำลาย ล้วนเป็นวิธีการทำนายคุณภาพของคอนกรีตที่นิยมใช้กันในการทดสอบภาคสนาม บทความนี้ นำเสนอวิธีนิเวโรฟซึ่แบบปรับตัวได้ เพื่อใช้ในการทำนายคุณภาพถนนคอนกรีต จำนวน 40 ตัวอย่าง จากโครงการก่อสร้างถนนของกรมทางหลวงชนบทถูกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ โดย 36 ตัวอย่าง ใช้เพื่อในการฝึกฝนการเรียนรู้สำหรับสร้างโมเดลในการทำนายกำลังของคอนกรีต และส่วนที่เหลืออีก 4 ตัวอย่าง ใช้เพื่อทดสอบความถูกต้องของโมเดล โดยผลการทดสอบพบว่า ANFIS เป็นวิธีการที่มีความแม่นยำเพียงพอและสามารถนำมาใช้ทำนายกำลังของคอนกรีตในงานก่อสร้างถนนระหว่างการก่อสร้างได้

คำสำคัญ : นิเวโรฟซึ่ ถนนคอนกรีต ทำนาย การควบคุมงานก่อสร้าง คุณภาพ

ABSTRACT

The quality of rigid pavement road during construction is an important process for construction supervision. Even though many methods have been proposed, they are based on field test (Destructive and Non-destructive) and there has not been an intelligence-based approach for predicting the quality of concrete. This paper proposes, by applying the principles of the Adaptive Neuro-Fuzzy Inference system (ANFIS), an ANFIS based approach for predicting the quality of concrete of rigid pavement. The total number of 40 examples of coring rigid pavement were acquired from the Department of Rural Roads for study in this research, 36 examples of which were used to train for construction of a new prediction model for the quality of concrete of rigid pavement. The model was then used to predict the quality of concrete of the remaining four examples. A comparison was made between the

predicted results and the practical measurements. The comparison results showed that the proposed ANFIS based approach was accurate enough and could be applied for predicting the quality of concrete of rigid pavement.

KEYWORDS : ANFIS, Rigid Pavement, Predicting, Construction Supervision, Quality

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตกำลังของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ อัตราส่วนน้ำกับปูนซีเมนต์ คุณภาพของวัสดุผสม ชนิดและน้ำหนักปูนซีเมนต์ คือ คุณสมบัติของคอนกรีตที่ดีเมื่อแข็งตัวแล้ว ต้องได้กำลังตามที่ต้องการ มีความสม่ำเสมอทนต่อลมฟ้าอากาศและตัวทำลายอื่นๆ จะต้องไม่หดมากเกินไปเมื่อถูกความเย็นหรือความร้อนจากสภาพอากาศนอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับภาระกระทัดหรือสิ้นคอนกรีตให้แน่น แต่ในการควบคุมงานก่อสร้างมีปัจจัยที่ต่างจากในห้องปฏิบัติการพบว่าคุณภาพของคอนกรีตไม่เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ เนื่องมาจากระยะทางในการเทคอนกรีต อุณหภูมิขณะเทคอนกรีต วิธีการบ่มคอนกรีตและระดับการควบคุมงาน ที่ได้มาจากการเก็บรวบรวมข้อมูลจากรายงานประจำวัน รายงานประจำสัปดาห์ การทดสอบคุณภาพของถนนคอนกรีตมีหลายวิธี เช่น การทดสอบแบบทำลาย และการทดสอบไม่ทำลาย ล้วนเป็นวิธีการทำนายคุณภาพของคอนกรีตที่นิยมใช้กันในการทดสอบภาคสนาม บทความนี้นำเสนอวิธีนิวโรฟัซซีแบบปรับตัวได้ (ANFIS) เพื่อความแม่นยำ ประหยัดค่าใช้จ่ายและรวดเร็ว

แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องสำหรับการคัดเลือกปัจจัยที่มีความสำคัญและมีค่าน้ำหนักมากที่สุด ตามหลักการหาค่าดัชนีความสอดคล้องของนวัตกรรมและแบบทดสอบกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม เป็นการนำผลของผู้เชี่ยวชาญแต่ละท่านมารวมกันคำนวณหาความตรงเชิงเนื้อหา ซึ่งคำนวณจากความสอดคล้องระหว่างประเด็นที่ต้องการวัดกับคำถามที่สร้างขึ้น ดัชนีที่ใช้แสดงค่าความสอดคล้อง เรียกว่า ดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามและวัตถุประสงค์ (Item-Objective Congruence Index: IOC)

โดยผู้เชี่ยวชาญจะต้องประเมินด้วยคะแนน 3 ระดับ คือ

+1 = สอดคล้องหรือแน่ใจว่านวัตกรรมนั้นหรือข้อสอบข้อนั้นวัดจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ระบุไว้จริง

0 = ไม่แน่ใจว่านวัตกรรมนั้นหรือข้อสอบข้อนั้นวัดจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ระบุไว้

-1 = ไม่สอดคล้องหรือแน่ใจว่านวัตกรรมนั้นหรือข้อสอบข้อนั้นไม่ได้วัดจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ระบุไว้

ค่าดัชนีความสอดคล้องที่ยอมรับได้ต้องมีค่าตั้งแต่ 0.50 ขึ้นไป

ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการสร้างระบบอนุมานฟัซซี (Generate Fuzzy Inference System : Generate FIS) โดยเริ่มจากการกำหนดวิธีการอนุมานฟัซซีของข้อมูลเป็นแบบ Subtractive clustering ซึ่งเป็นวิธีที่สอดคล้องกับรูปแบบข้อมูลที่นำเข้าระบบโดยมีรูปแบบการจัดกลุ่มข้อมูลให้มีลักษณะเป็นฟังก์ชันสมาชิก (Membership Function) และกฎฟัซซีแบบถ้า - แล้ว (Fuzzy If-Then Rule) ดังแผนภาพที่ 1

การให้คะแนนระหว่าง 1-3 ตามลำดับความสำคัญ ดังนี้ ระยะทางในการเทคอนกรีต คือ ระยะในการเข้าแบบเพื่อพร้อมเทคอนกรีตซึ่งต่างจากระยะทางในการขนส่ง

1 = สั้น (น้อยกว่า 100 เมตร)

2 = ปานกลาง (100-200 เมตร)

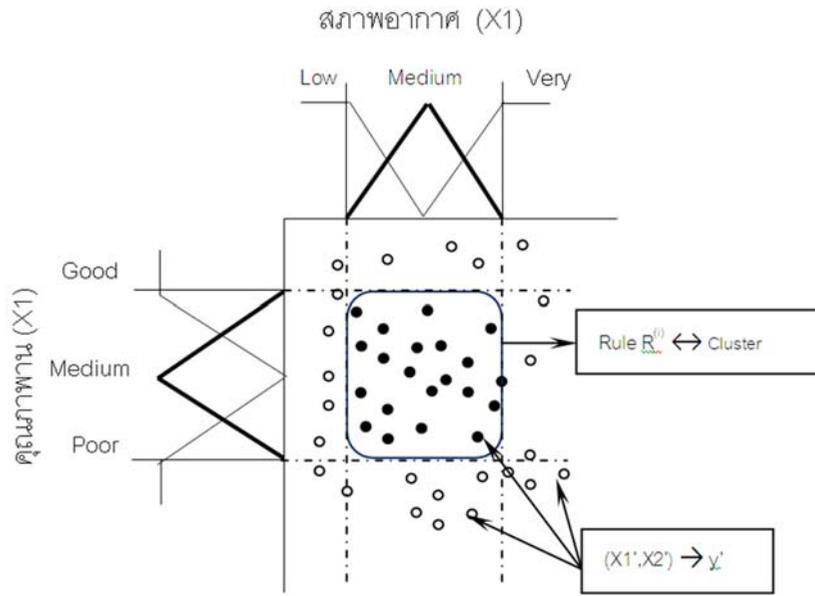
3 = ยาว (มากกว่า 200 เมตร)

อุณหภูมิอากาศขณะเทคอนกรีต คือ อุณหภูมิขณะที่แรงงานกำลังปฏิบัติงาน

1 = เย็น (น้อยกว่า 30 องศาเซลเซียส)

2 = ร้อน (30-35 องศาเซลเซียส)

3 = ร้อนมาก (มากกว่า 35 องศาเซลเซียส)



แผนภาพที่ 1 การจัดกลุ่มข้อมูลด้วยวิธี Subtractive clustering

วิธีการบ่มคอนกรีต คือ วิธีการบ่มคอนกรีตเพื่อรักษาอุณหภูมิของคอนกรีต

- 1 = กระสอบ+น้ำยา
- 2 = น้ำยา
- 3 = กระสอบ

ระดับการควบคุมงาน คือ สภาพความพร้อมของเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ รวมทั้งระดับการทำงานของแรงงานด้วย

- 1 = ดี
- 2 = ปานกลาง
- 3 = ไม่ดี

การสร้างโมเดล ANFIS นี้ใช้โปรแกรม Mat lab ในการทำงาน โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. โหลดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ (Training data) มาใช้สำหรับฝึกฝน
2. สร้างระบบฟัซซีเริ่มต้น โดยกำหนดจำนวนรูปแบบฟังก์ชันสมาชิกและหากฎฟัซซีเริ่มต้น
3. โหลดข้อมูลสำหรับการทดสอบ (Testing data) มาใช้ในการทดสอบการเรียนรู้
4. หาดั้วแบบที่มีความแม่นยำมากที่สุดของผลทำนายที่ได้ Root Mean Square Error (RMSE)

การหาตัวแบบที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้ การเรียนรู้กลุ่มข้อมูล (Data Clustering) เช่น การจัดกลุ่มแบบลบออก (Subtractive Clustering) จะใช้เรียนรู้แบบการฝึกฝนจำนวน 50 รอบ เพื่อฝึกฝนให้ตัวแบบเรียนรู้และใช้ชนิดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ใช้ในการทดสอบ คือ ฟังก์ชันสามเหลี่ยม (Triangular membership function), ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal membership function), ฟังก์ชันเกาส์เซียน (Gaussian membership function) และฟังก์ชันระฆังคว่ำ (Bell-shaped membership function) โดยพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนของรากที่สองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) ของการทดสอบ ที่มีค่าต่ำสุดดังแผนภาพที่ 2 แสดงตัวอย่างโครงสร้างง่ายๆ ของ ANFIS ซึ่งมี 2 อินพุต แต่ละอินพุตแบ่งเป็นสองฟัซซีเซตมิติที่ 1 แบ่งฟัซซีเซตเป็น A1 และ A2 มิติที่ 2 แบ่งเป็น B1 และ B2 ส่วนข้อตามมีพารามิเตอร์เป็น r_{10} , r_{11} และ r_{12} โดยโครงสร้างดังกล่าวมีพื้นฐานแบบ Takagi Sugeno Kang Model (TSK) มีกฎจำนวน L กฎ ดังนี้

- Rule1: IF x_1 is A_1 and x_2 is B_1 THEN $y_1 = r_{10} + r_{11}x_1 + r_{12}x_2$
- Rule2: IF x_1 is A_2 and x_2 is B_1 THEN $y_2 = r_{20} + r_{21}x_1 + r_{22}x_2$
- RuleL: IF x_1 is A_2 and x_2 is B_2 THEN $y_2 = r_{l0} + r_{l1}x_1 + r_{l2}x_2$

โครงสร้างหลักของ ANFIS แบ่งเป็น 5 ชั้น ดังแผนภาพที่ 2 ได้แก่

ชั้นที่ 1 ประกอบด้วยฟังก์ชันสมาชิกของตัวแปรอินพุตแต่ละตัว

$$O_j^1 = \mu_{A_i}(x) \quad (1)$$

ชั้นที่ 2 เป็นการคำนวณหาความสัมพันธ์ของอินพุตเวกเตอร์ที่เป็นไปได้ทั้งหมด

$$O_i^2 = W_i = \mu_{A_i}(x) \times \mu_{B_i}(y) \quad (2)$$

ชั้นที่ 3 เป็นการ Normalize เพื่อหาค่าอินพุตเวกเตอร์ที่ได้จากชั้นที่ 2

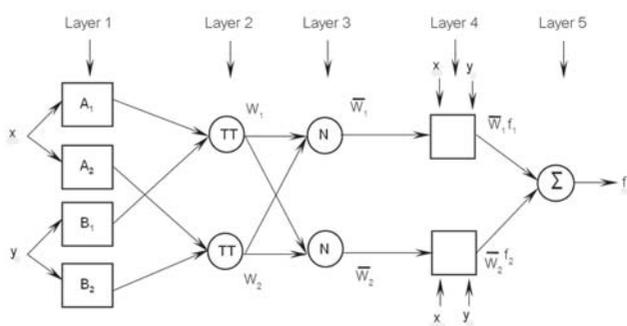
$$O_i^3 = \bar{W}_i = \frac{W_i}{W_1 + W_2} \quad (3)$$

ชั้นที่ 4 เป็นการ Output Membership Function ของกฎแต่ละข้อ จากการรับค่าในชั้นที่ 3 กำหนดด้วยสมการโดย (p, q, r) เรียกว่า Consequent parameter

$$O_i^4 = \bar{W}_i f_i = \bar{W}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad (4)$$

ชั้นที่ 5 เป็นการคำนวณเพื่อหาค่าเอาต์พุตออกที่ได้จากชั้นที่ 4 มาเป็นจำนวนจริงผลลัพธ์ที่ได้สามารถด้วยสมการ

$$O_i^5 = \sum_{i=1}^2 W_i f_i = \frac{\sum_{i=1}^2 W_i^2 f_i}{W_1 + W_2} \quad (5)$$



แผนภาพที่ 2 ระบบอนุมานฟัซซีบนฐานโครงข่ายปรับตัวได้

การทดสอบหาความแม่นยำของผลทำนายที่ได้กับค่า Root Mean Square Error (RMSE)

การประเมินผล RMSE คือ การวัดค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริงและค่าที่ประมาณได้ใกล้เคียงกับค่าจริง ดังนั้น

หากค่านี้มีค่าเท่ากับศูนย์แล้วจะหมายความว่าไม่เกิดความคลาดเคลื่อนในแบบจำลองนี้ RMSE คำนวณได้ดังสมการที่ 6

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{d_i - D_i}{D_i} \right)^2} * 100\% \quad (6)$$

ทฤษฎีนิวโรฟัซซีแบบปรับตัวได้ (ANFIS) เป็นการประยุกต์ผสมวิธีการโครงข่ายประสาทเทียมกับฟัซซีลอจิกและได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ เช่น ด้านการแพทย์ ด้านธุรกิจ ด้านอุตสาหกรรม

โครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี เป็นการรวมเอาข้อเด่นของฟัซซีลอจิกและโครงข่ายประสาทเทียมมารวมกัน ฟัซซีลอจิกมีจุดเด่นในเรื่องการมีเหตุผลเชิงตรรกะ โครงสร้างของระบบฟัซซีสามารถเข้าใจได้เนื่องจากความสามารถตีความในรูปถ้า - แล้ว (Fuzzy if-then Rule) ซึ่งสอดคล้องกับตรรกะความคิดของมนุษย์และนอกจากนั้นฟัซซีลอจิกยังช่วยในการตัดสินใจที่คลุมเครือที่ยอมให้การตัดสินใจเป็นแบบบางส่วน ไม่ใช่ผิดหรือถูกเพียงสองสถานะ ดังตรรกะแบบดั้งเดิม แต่จะเป็นดีกรีของความถูกหรือผิดเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติอยู่แล้ว โครงข่ายประสาทเทียมมีจุดเด่นด้านการเรียนรู้จากข้อมูลและมีการปรับแต่งความรู้ที่ซ่อนอยู่ภายในเครือข่ายที่มีการเชื่อมโยงกันอย่างหนาแน่น มีการส่งผ่านข้อมูลที่จะประมวลผลจากอินพุตไปยังเอาต์พุตแบบขนานการประมวลผลของโครงข่ายประสาทเทียมจึงเป็นไปอย่างรวดเร็ว จากข้อเด่นของฟัซซีลอจิกในการให้เหตุผลแบบมนุษย์และข้อเด่นของโครงข่ายประสาทเทียมด้านการเรียนรู้จากข้อมูล เมื่อนำสองระบบนี้มารวมกันจะกลายเป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี ซึ่งเป็นระบบที่มีกระบวนการเรียนรู้ในตัวเองและโครงสร้างของระบบสามารถตีความหมายและให้เหตุผลได้ดีเยี่ยม

นิวโรฟัซซีแบบปรับตัวได้ (ANFIS) เพื่อใช้ในการวินิจฉัยภาวะก่อนเบาหวานชนิด impaired glucose tolerance (IGT) ทำการทดลองสร้างตัวแบบวินิจฉัย ANFIS จากปัจจัยเสี่ยงเบาหวาน 8 ปัจจัย ให้อยู่ในทอมของ 3 ปัจจัยด้วย Factor Analysis ก่อนนำเข้าวินิจฉัยด้วย ANFIS ทำการฝึกสอนและทดสอบตัวแบบ ANFIS ด้วยอัลกอริทึมการเรียนรู้แบบไฮบริด เป็นการผสมผสานระหว่าง วิธีแบคพรอพพาเกชันและวิธีกำลังสองน้อยที่สุด เพื่อหาตัวแบบที่ดีที่สุด คือ โมเดลที่ใช้อัตราส่วนของชุดข้อมูล

เรียนรู้ 90% และชุดข้อมูลทดสอบ 10% ใช้ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู โดยมีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง 84.51% ค่าความไวและความจำเพาะ 83.33% และ 84.75%

ปัจจัยความเสี่ยงในการบริหารโครงการก่อสร้างทาง และสะพานของผู้รับเหมาในจังหวัดเชียงใหม่ ทำการศึกษา สัมภาษณ์เชิงลึกผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นเจ้าของหรือผู้บริหารกิจการ ที่ขึ้นทะเบียนเป็นผู้รับเหมาของกรมทางหลวง ได้แบ่งกลุ่มตัวอย่าง สัมภาษณ์ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ผู้รับเหมาขนาดใหญ่และผู้รับเหมา ขนาดกลาง ผู้รับเหมาขนาดใหญ่เห็นว่าการขาดความรู้และ ประสบการณ์ในการบริหารโครงการเป็นปัจจัยสำคัญอันดับแรก ส่วนผู้รับเหมาขนาดกลางมีต้นทุนทางการเงินที่จำกัดและได้ให้ ความสำคัญแก่ปัจจัยเสี่ยงอันดับแรกคือ การขาดสภาพคล่อง ทางการเงินก็จะทำให้การดำเนินโครงการต้องหยุดชะงัก

ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยความสำเร็จ ในแต่ละขั้นตอน ของกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์กับตัวชี้วัดความสำเร็จของ กระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ เพื่อทำนายแนวโน้มความสำเร็จ ในกลุ่มอุตสาหกรรมชิ้นส่วนเครื่องจักรกล แม่พิมพ์ และยานยนต์ โดยใช้ทฤษฎี ANFIS จากการอินพุตและเอาต์พุต ได้ข้อมูลมาจาก แบบสอบถามเพื่อการวิจัย งานวิจัยนี้สร้างตัวแบบขึ้นมาทำนายผล 21 ตัวแบบตามจำนวนของตัวชี้วัดความสำเร็จทั้ง 4 ด้าน จากหลักสถิติสมมูลของกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ได้ทำการ เลือกอินพุตเพื่อนำมาใช้สร้างตัวแบบแต่ละตัว เพื่อให้มีความแม่นยำ มากที่สุด จากผลการทำนายมีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเฉลี่ย 74.40% การทำนายที่มีความแม่นยำมากที่สุด คือ เอาต์พุต ประสบการณ์และการเรียนรู้ กับจำนวนโครงการพัฒนาที่ประสบ ความสำเร็จ มีความแม่นยำ 87.50%

การใช้ ANFIS ในการพยากรณ์ได้รับความนิยมมากขึ้น ในปัจจุบัน เนื่องจากคุณสมบัติในการเรียนรู้และการใช้เหตุผล ในการเรียนรู้และการใช้เหตุผลทำให้ผลลัพธ์มีความแม่นยำมากขึ้น เช่น การใช้ ANFIS ในการพยากรณ์การใช้พลังงานของอาคาร ในระหว่างการออกแบบอาคารขั้นต้น ซึ่งผลที่ได้สามารถนำไปใช้ เลือกระบบควบคุมที่เหมาะสมได้ ข้อจำกัดของ ANFIS นั้น เวลาที่ ANFIS ใช้ในการเรียนรู้เป็นสิ่งที่ผู้ใช้ ANFIS ต้องตระหนักถึง ปัญหานี้จะทวีความรุนแรงมากขึ้น

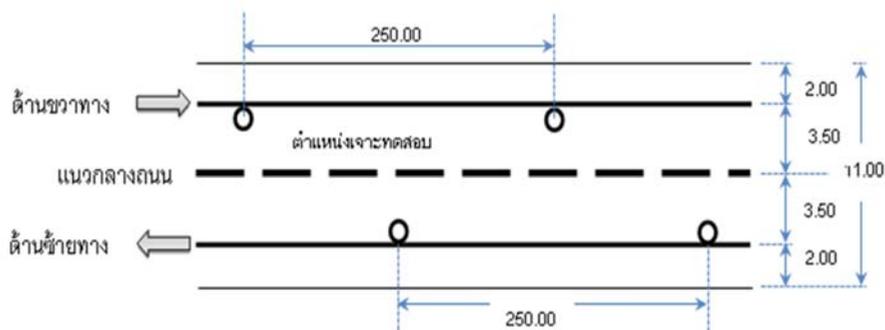
เมื่อใช้กับระบบที่มีพฤติกรรมแบบพลวัตชนิดไม่เชิงเส้น (Non-linear Dynamic Behaviors) เพราะในระบบแบบนี้ จะมีกฎฟuzzyแบบ ถ้า - แล้ว (Fuzzy if-then Rule) จำนวนมาก ทำให้ต้องเรียนรู้เวลานานมากขึ้น จึงไม่เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน แบบทันที (Real time Applications) แต่ก็จะมีวิธีที่จะช่วยจำกัด จำนวนของกฎฟuzzyได้ โดยใช้การเรียนรู้กลุ่มข้อมูล (Data Clustering) เช่น การจัดกลุ่มแบบลบออก (Subtractive Clustering)

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า 4 ปัจจัย ที่มีผลต่อ กำลังของคอนกรีตมี ดังนี้ ระยะทางในการเทคอนกรีต อุณหภูมิ ขณะเทคอนกรีต วิธีการบ่มคอนกรีตและระดับการควบคุมงาน ข้อมูลที่ใช้ในบทความนี้ ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจริงจาก โครงการก่อสร้าง ตรวจสอบหน้างาน โดยทำการเจาะทดสอบ (Coring) พื้นถนนคอนกรีตที่อายุ 28 วัน จำนวน 40 ตัวอย่าง

การเก็บรวบรวมข้อมูล

โดยทำการเจาะทดสอบ พื้นถนนคอนกรีตที่อายุ 28 วัน จำนวน 40 ตัวอย่าง จากระยะทางก่อสร้าง 7.865 กิโลเมตร



แผนภาพที่ 3 แปลนตำแหน่งการเจาะทดสอบ

โมเดลการประเมินคุณภาพคอนกรีตถนนในระหว่างการก่อสร้าง

โมเดลการประเมินค่าความเป็นไปได้ที่จะเกิดความเสี่ยงนี้เป็นส่วนแรกของกรอบแนวทางการประเมินคุณภาพคอนกรีตถนนในระหว่างการก่อสร้าง มีวัตถุประสงค์เพื่อทำนายคุณภาพของถนนคอนกรีต ซึ่งประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ขั้นตอนที่ 1 เป็นการแสวงหาความรู้ (Knowledge Acquisition) ขั้นตอนที่ 2 เป็นการพัฒนาแบบจำลองการประเมินคุณค่าความเป็นไปได้ของคุณภาพคอนกรีต (ANFIS Model Development) โดยอาศัยกระบวนการ นิวโรฟuzzy (ANFIS)

การแสวงหาความรู้ เริ่มจากโครงการก่อสร้างถนนคอนกรีตและพิจารณาผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้ ความสามารถ และประสบการณ์ โดยพิจารณา ดังนี้

1. เลือกโครงการและผู้เชี่ยวชาญ

โครงการก่อสร้างถนนคอนกรีตโดยทั่วไปมักจะมีเหตุการณ์มากจนทำให้คุณภาพของถนนเมื่อเปิดการใช้งานไปแล้วได้ไม่นานก็มีลักษณะการแตกร้าวและพังเสียหาย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้พิจารณาโครงการก่อสร้างถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก ในการเก็บข้อมูลและทำวิจัย ทั้งนี้ผู้เชี่ยวชาญจึงมีความจำเป็นอย่างมาก

ในการขจัดตัวแปร ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำแบบสอบถามเพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญ 6 ท่าน ในกรมทางหลวงชนบท (ทช.)

2. การแสวงหาความรู้จากผู้เชี่ยวชาญเพื่อนำไปใช้ในระบบ ANFIS

ผู้เชี่ยวชาญมีความสำคัญอย่างมากในการขจัดตัวแปรในฐานความรู้ หากไม่สามารถหาผู้เชี่ยวชาญมาช่วยได้ก็ไม่สามารถใช้ระบบนิวโรฟuzzyได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการพัฒนาโมเดลจึงเริ่มจากการสร้างชุดข้อมูล (Data set) ด้วยการสอบถามความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับระดับความเป็นไปได้ที่จะทำให้คุณภาพของถนนคอนกรีตลดลง โดยกำหนดปัจจัย ดังตารางที่ 1

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นในการการปัจจัยที่มีผลกับคุณภาพของถนนคอนกรีตในระหว่างการก่อสร้าง เพื่อลดความยุ่งยากและค่าใช้จ่ายในการเจาะทดสอบหาเพื่อกำลัษณ์อดีตของถนนคอนกรีตที่ได้จากการเจาะ

3. การสร้างชุดข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญ

การสร้างชุดข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญ เพราะระบบ ANFIS แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุดข้อมูล คือ ข้อมูลเพื่อใช้ฝึกสอน (Training Data) และข้อมูลเพื่อใช้ในการทดสอบ (Testing Data) สำหรับการนำข้อมูลเพื่อฝึกสอนจำนวน 36 สถานการณ์ และสำหรับ

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลจากการสอบถามผู้เชี่ยวชาญ

จุดทดสอบ	Input												Output กำลังของคอนกรีต (fc')
	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)	
Experts													
1			✓			✓			✓			✓	335
2		✓			✓			✓				✓	375
3	✓			✓			✓			✓			415
4	✓				✓			✓				✓	385
5		✓				✓			✓	✓			365
6			✓		✓			✓				✓	355
7		✓				✓			✓			✓	345
8		✓		✓			✓					✓	395
9	✓			✓				✓		✓			405

การทดสอบการเรียนรู้ จำนวน 4 สถานการณ์ จากสถานการณ์ ทั้งหมด 40 สถานการณ์ โดยแบ่งชุดข้อมูล (Data set) 2 ชุดข้อมูล 80:20 และ 90:10 โดยปกติแล้วจำนวนชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบ จะมีจำนวนประมาณ 10% ถึง 30% ของจำนวนชุดข้อมูลที่ใช้ฝึกสอน งานวิจัยนี้ได้เลือกให้มีข้อมูลประมาณ 25% ของจำนวนชุดข้อมูลที่ใช้ฝึกสอน เช่น ถ้ามีจำนวนชุดข้อมูลที่ใช้สอนเท่ากับ 100 ชุดข้อมูล ก็จะมีจำนวนชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบเท่ากับ 25 ชุดข้อมูล

เนื่องจากข้อมูลนำเข้าของโมเดลทำนายคุณภาพของถนนคอนกรีตมีหลายชนิด และแต่ละชนิดก็มีรายละเอียดแตกต่างกัน ทำให้มีความยุ่งยากในการอ้างอิง ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้กำหนดสัญลักษณ์เพื่อแทนความหมายของข้อมูลนำเข้าให้มีความกระชับและสะดวกในการอ้างอิง ดังแผนภาพที่ 4

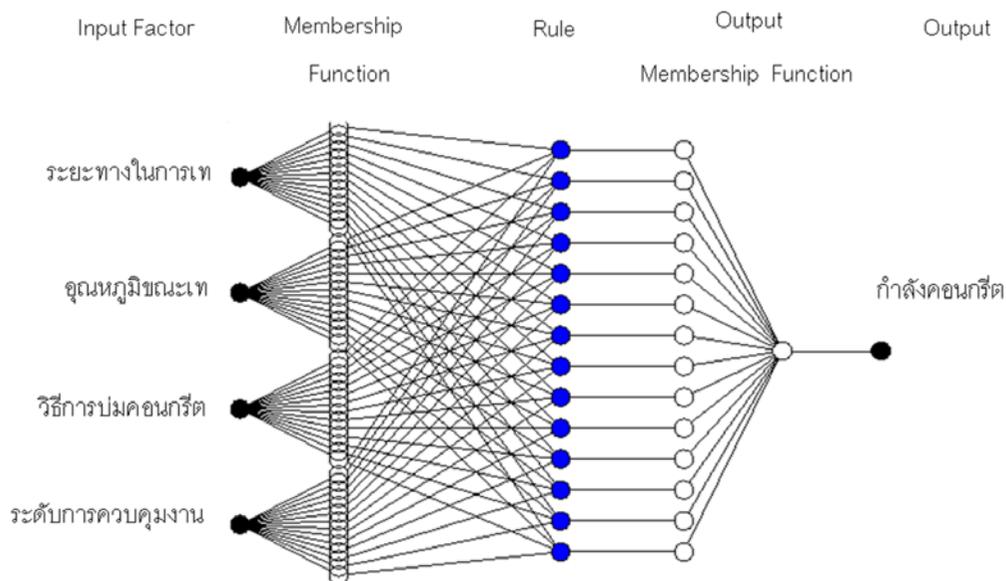
ผลการวิจัย

จากการทดสอบโมเดล ทั้ง 2 โมเดลและฟังก์ชันทั้ง 4 ฟังก์ชัน คือโมเดล 90:10 ของฟังก์ชันรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal membership function) ได้ค่า RMSE เท่ากับ 9.30% มีความแม่นยำมากที่สุดตามแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลของการทดสอบ

Membership Function	Model 80:20		Model 90:10	
	RMSE	RMSE (%)	RMSE	RMSE (%)
Triangular	0.160	16.00%	0.145	14.50%
Trapezoidal	0.160	16.00%	0.093	9.30%
Gaussian	0.167	16.70%	0.203	20.30%
Bell-Shaped	0.225	22.50%	0.216	21.60%

บทความฉบับนี้ได้นำเสนอทั้งโมเดล 80:20 และ 90:10 ผลที่ได้ของโมเดล 80:20 ฟังก์ชันทั้ง 4 ฟังก์ชันคือ สามเหลี่ยม 16.00% สามเหลี่ยมคางหมู 16.00% เกาส์เซียน 16.70% และระฆังคว่ำ 22.50% ส่วนผลของโมเดล 90:10 ผลที่ได้ของฟังก์ชันทั้ง 4 ฟังก์ชันคือ สามเหลี่ยม 14.50% สามเหลี่ยมคางหมู 9.30% เกาส์เซียน 20.30% และระฆังคว่ำ 21.60% เพื่อช่วยในการประเมินความสามารถในการรับกำลังอัดของคอนกรีตเบื้องต้น โดยใช้ปัจจัยความไม่แน่นอนต่าง ๆ และได้นำข้อมูลเข้าสู่โมเดล ANFIS ผลของการทดลองพบว่าโมเดล 90:10 ของฟังก์ชันรูปสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal membership function) มีค่า RMSE



แผนภาพที่ 4 โมเดลที่แสดง Output ที่ได้

เท่ากับ 9.30% แสดงให้เห็นว่า ANFIS มีความแม่นยำมากกว่า และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรมอื่นๆ ได้

ข้อเสนอแนะ

การวิจัยเรื่องการประยุกต์ใช้ ANFIS สำหรับการประเมินกำลังของคอนกรีตงานถนนในระหว่างการก่อสร้างผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะในการวิจัยดังต่อไปนี้

1. ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลการวิจัยไปใช้

การเก็บข้อมูลจริงที่หน้างานได้ทำการเก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบ จึงทำให้ได้ผลการทำนายแม่นยำขึ้นและมีความน่าเชื่อถือมาก ในขณะที่ทำการทดสอบกรีตวิศวกรรมหรือผู้ควบคุมงานควรระวังและทำการจดบันทึกปัจจัยต่างๆ ที่คิดว่ามีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีต เช่น ระยะทางในการเทคอนกรีต สภาพอากาศขณะเทคอนกรีต วิธีการบ่มคอนกรีต ระดับการควบคุมงาน จำนวนคนงานในการทำงาน ความพร้อมของเครื่องมืออุปกรณ์ ระยะทางในการขนส่งคอนกรีต ปริมาณคอนกรีตที่เทต่อวัน การจลาจลระหว่างทำการเทคอนกรีตและจุดบันทึกเหตุการณ์ระหว่างทำการเทคอนกรีต ซึ่งปัจจัยดังกล่าวไม่เกี่ยวกับการออกแบบกำลังของคอนกรีต

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ในการวิจัยครั้งต่อไปในอนาคต ผู้วิจัยเห็นว่าควร

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการอนุเคราะห์ข้อมูลจากโครงการก่อสร้างฯ ถนนของกรมทางหลวงชนบท

เอกสารอ้างอิง

- นันทชัย กานตานันทะ. 2552. "การพยากรณ์ด้วยวิธีเชิงสาเหตุ." *วารสารวิศวกรรมศาสตร์*, 4(1), 35-48.
- พยุ่ง มีสีจ. 2552. *ระบบฟัซซีและโครงข่ายประสาทเทียม*. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- พรวาทพรรณ อาสาสรพกิจ ลูติพงษ์ จิระเจริญวงศ์ และ อนิรุทธ์ ธงไชย. 2554. "ปัจจัยความเสี่ยงในการบริหารโครงการก่อสร้างทางและสะพาน สำหรับผู้รับเหมาในจังหวัดเชียงใหม่". *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธา*

แห่งชาติ ครั้งที่ 16 ประจำปี 2554. วันที่ 18-20 พฤษภาคม 2554 ณ โรงแรมเดอะซายน์ (The Zign Hotel) พัทยา จังหวัดชลบุรี, 226-231.

พัฒน์พงศ์ เฉลิมเมือง มณฑลธิ ศาสสนันท์ และเสฏฐา ศาสสนันท์. 2551. "การประยุกต์ใช้ทฤษฎี ANFIS ในการวิเคราะห์ปัจจัยสำคัญสู่ความสำเร็จของกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์". *การประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติ ครั้งที่ 5 ประจำปี 2551*. วันที่ 24-25 กรกฎาคม 2551 ณ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ (นิด้า), 86-92.

ยุพดี ปรีดีและบุษดี ศิริแสงตระกูล. 2553. "การวินิจฉัยภาวะก่อนเบาหวานชนิด IGT โดยเทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัยและนิวโรฟัซซีแบบปรับตัวได้". *การประชุมวิชาการนานาชาติร่วมสาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์และวิศวกรรมซอฟต์แวร์ ครั้งที่ 7 ประจำปี 2553*. วันที่ 12-14 พฤษภาคม 2553 ณ มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 22-27.

วินิต ช่อวิเชียร. 2539. *คอนกรีตเทคโนโลยี*. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพมหานคร: ป.สัมพันธ์พาณิชย์.

Askari, M., And Amir, H. D. M. 2012. "A new evolving compact optimized Takagi-Sugeno fuzzy model and its application to nonlinear system identification." *International Journal of System Science*, 4, 776-785.

Bektas, E.B., and Aksoy, T. U. 2011. "Prediction of building energy needs in early stage of design by using ANFIS." *Expert Systems with Applications*, 5, 5352-5358.

Roger jang, J-S., 1993. "ANFIS: Adaptive-Network-based Fuzzy Inference System." *IEEE Transactions on System Men and Cybernetics*, 3, 656-685

Jin, X. H., 2011, "Model for efficient Risk Allocation in Privately Finance Public Infrastructure Project using Neuro-Fuzzy Techniques." *Journal of Construction Engineering and Management*, 11, 1003-1014.

Sadeh, L. A., 1965. "Fuzzy sets." *Information and Control*, 3, 338-353.



>> **สิรภพ นนทรังสี**

สำเร็จการศึกษา ระดับปริญญาโท (วศ.ม.) สาขาวิศวกรรมโยธา จากมหาวิทยาลัยศรีปทุม ปริญญาตรี (ร.บ.) สาขารัฐศาสตร์ จากมหาวิทยาลัยรามคำแหง และระดับปริญญาตรี (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมโยธา จากมหาวิทยาลัยศรีปทุม

ปัจจุบันดำรงตำแหน่งวิศวกรโยธา กรมทางหลวงชนบท



>> **ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพจิตร ผาวัน**

สำเร็จการศึกษา ระดับปริญญาเอก (ปร.ด) สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ระดับปริญญาโท (วศ.ม.) สาขาวิศวกรรมและการบริหารการก่อสร้าง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และระดับปริญญาตรี (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมก่อสร้าง มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธาและการพัฒนาเมือง และรักษาการอาจารย์ที่ปรึกษารอบนอกเวลาราชการ หลักสูตรวิศวกรรมโยธา