

ระบบชาญฉลาดเพื่อควบคุมคุณภาพในโรงงานผลิตปุ๋ย

วิเชียร ศรีชัยปัญญา* ประมินทร์ อาจฤทธิ์ และ อนุชา แสงรุ่ง

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ถนนมิตรภาพ จังหวัดขอนแก่น 40002 *E-mail:wichiasr@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งปรับปรุงคุณภาพของการผลิตปุ๋ยด้วยการลดข้อผิดพลาดในกระบวนการ เนื่องจาก การควบคุมการผลิตจะต้องใช้ความสามารถของพนักงานในการผสมวัตถุดิบ 4 ชนิด คือ ยูเรีย (Urea), ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (Di-Ammonium Phosphate : DAP), มิวเรียตออฟโพแทส (Muriate of Potash : MOP) และ ฟิลเลอร์ (Filler) ซึ่งเกิดความคลาดเคลื่อนในการควบคุมค่อนข้างสูง จึงได้มีการพัฒนารูปแบบ การควบคุมที่อาศัยหลักการของระบบชาญฉลาด (Intelligent Systems) ที่สามารถนำเอาความเข้าใจและ ประสบการณ์ของผู้ควบคุมมาประยุกต์ใช้กับการควบคุมได้ ผลที่ได้จากการศึกษาในโรงงานจริง พบว่า สามารถลดความคลาดเคลื่อนของการผลิตปุ๋ยได้ โดยสูตร 16-16-8 ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยลดลง 3.22%

คำสำคัญ : โครงข่ายประสาทเทียม, วิธีควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ, ปุ๋ย, การควบคุมกระบวนการ

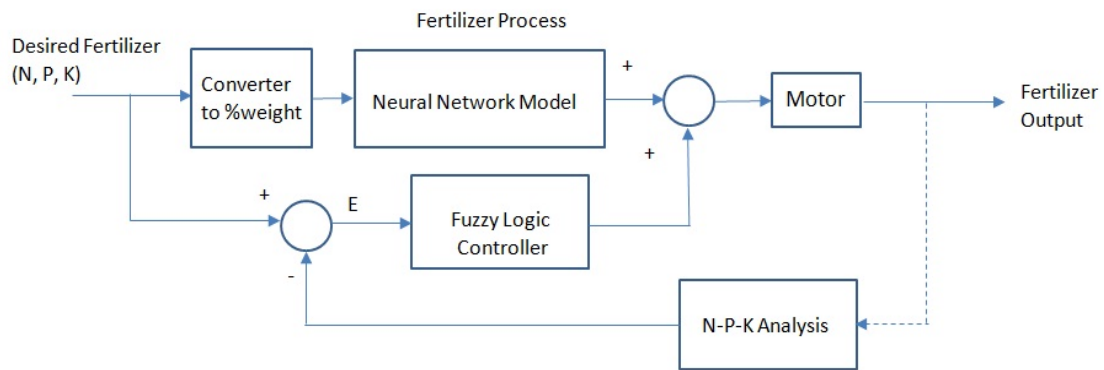
1. บทนำ

ปุ๋ยเคมีจัดได้ว่าเป็นปัจจัยพื้นฐานในการปลูกพืชและการเกษตร คุณภาพของปุ๋ยนั้นจะวัดโดยการหา ค่าทางเคมีของธาตุอาหาร ได้แก่ ค่าไนโตรเจน (Nitrogen : N), ค่าฟอสฟอรัส (Phosphorus : P) และ ค่า โพแทสเซียม (Potassium : K) ผู้ประกอบการผลิตปุ๋ยเคมีมักประสบปัญหาในการผลิตปุ๋ยให้ได้คุณภาพ ซึ่ง การผลิตปุ๋ยดังกล่าวโดยทั่วไปจะมี 2 ระบบ คือ กระบวนการผลิตแบบปุ๋ยป่นเม็ด (Compound Process) และ กระบวนการผลิตแบบปุ๋ยเชิงผสม (Bulk Blending Process) ในระบบปุ๋ยป่นเม็ด ธาตุอาหารจะรวมกันอยู่ใน เม็ดเดียวกัน ในขณะที่ปุ๋ยเชิงผสม ธาตุอาหารแต่ละชนิดจะแยกเม็ดกัน การผลิตปุ๋ยเชิงผสมต้องใช้ ความสามารถของพนักงานในการผสมวัตถุดิบ 4 ชนิดในกระบวนการผลิต อันได้แก่ ยูเรีย (Urea), ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (Di-Ammonium Phosphate : DAP), มิวเรียตออฟโพแทส (Muriate of Potash : MOP) และ ฟิลเลอร์ (Filler) โดยการปรับความเร็วของสายพานป้อนวัตถุดิบ และพบว่าเกิดความคลาดเคลื่อนของ การควบคุมเนื่องจากปัญหาดังนี้

- (1) การไม่มีเครื่องมือวัดค่าทางเคมีในกระบวนการผลิตทันทีทันใดได้แก่ ค่าไนโตรเจน(N), ค่าฟอสฟอรัส (P) และค่าโพแทสเซียม (K)

(2) กระบวนการผลิตปุ๋ยไม่สามารถปรับค่าได้ในขณะที่เกิดความผิดพลาดในการผลิตขึ้น เนื่องจากหากหยุดเพื่อทดสอบเทียบความเร็วในการป้อนวัตถุดิบ ทำให้สูญเสียเวลาและสูญเสียกำลังในการผลิตสินค้า สำหรับโรงงานผลิตปุ๋ยนั้นมีการนำระบบชาญฉลาดมาประยุกต์ใช้กับกระบวนการผลิต โดยในปี ค.ศ. 2010 Liang Chunying และ Wang Xi [1] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการปรับปริมาณการป้อนวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยด้วยการควบคุมแบบ Fuzzy PID Control System พบว่าการปรับปริมาณป้อนวัตถุดิบ โดยการจำลองกับโปรแกรม MATLAB/SIMULINK มีประสิทธิภาพในการควบคุมได้ดีกว่าวิธีการ PID ธรรมดา การตอบสนองเร็วขึ้น ลด Overshoot และทนทานต่อการรบกวนจากภายนอก หลักการของระบบชาญฉลาด (Intelligent System) ยังได้ถูกนำมาใช้ร่วมกันและทำให้เกิดประโยชน์ต่อการควบคุมกระบวนการในหลายหลายลักษณะการใช้งาน เช่น ในปี ค.ศ. 1994 ผลงานที่ประยุกต์ใช้ระบบชาญฉลาดของ T.C. Chen Yuan และ C.Y. Liaw [2] เกี่ยวกับการออกแบบระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์ด้วย Neural Fuzzy Controller พบว่าการนำระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือมาใช้ร่วมกับโครงข่ายประสาทเทียมดังกล่าว สามารถทำให้ลดการตอบสนองชั่วคราว (Transient Response) และควบคุมความเร็วของมอเตอร์ได้ดีขึ้น และในปี ค.ศ. 1999 AI Wu และ P.K.S Tam [3] ได้นำเสนอการควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ปรับตัวได้ (Adaptive Speed Control) โดยใช้ระบบควบคุมที่นำตรรกศาสตร์คลุมเครือหลายชั้นมาเป็นตัวควบคุมและปรับค่าความเป็นสมาชิกด้วยโครงข่ายประสาทเทียมหลายชั้นเช่นกัน (Fuzzy Hierarchy Error Approach) เพื่อแก้ปัญหาความล่าช้าของการเรียนรู้แบบ Back-propagation ในระบบโครงข่ายประสาทเทียมที่ต้องปรับค่าความผิดพลาดของระบบบ่อยครั้ง พบว่าทำให้เกิดประสิทธิภาพในการเรียนรู้ระบบและเกิดประสิทธิภาพในการควบคุมความเร็วมอเตอร์ได้ตามต้องการมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ในปี ค.ศ. 2010 Ismail Yusuf , Nur Iksan และ Nanna Suryana Herman [4] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการปรับน้ำหนักวัตถุดิบของชุดสายพานป้อนเม็ดพลาสติก (Weight-feeder for Plastic Extruder) โดยการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม (Genetic Algorithms) ในการหาฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) ที่เหมาะสม พบว่าการควบคุมความเร็วสายพานในการป้อนเม็ดพลาสติกมีความแน่นอนและได้ค่า Overshoot ที่ต่ำกว่าการใช้ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกจากประสบการณ์ของคน

จากงานวิจัยที่ได้กล่าวมานี้ผู้วิจัยจึงนำเอาระบบโครงข่ายประสาทเทียมและการควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือมาใช้ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำที่ใช้ในกระบวนการผลิตปุ๋ย ทำการควบคุมสายพานการผลิตให้เป็นไปตามเงื่อนไขของการผลิตปุ๋ยในแต่ละสูตร เริ่มจากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบการผลิตปุ๋ย ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) จากนั้นนำแบบจำลองที่ได้ไปเชื่อมต่อกับชุดควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy Logic Controller) เพื่อให้ได้การทำงานของระบบมีประสิทธิภาพสูงสุด แสดงดังภาพที่ 1

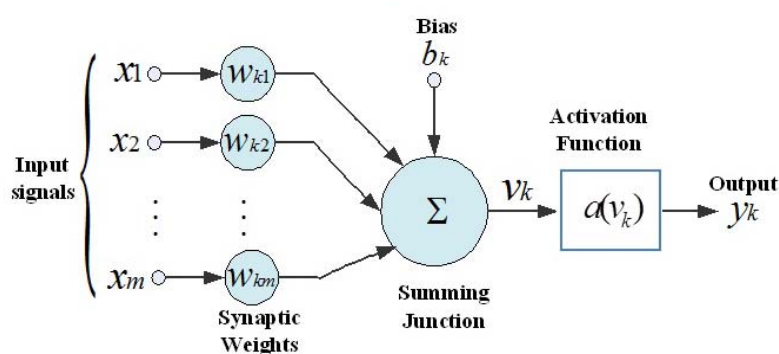


ภาพที่ 1 โครงข่ายประสาทเทียมเชื่อมโยงด้วยวิธีควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ

2. ระบบชาญฉลาด (Intelligent Systems)

2.1 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network)

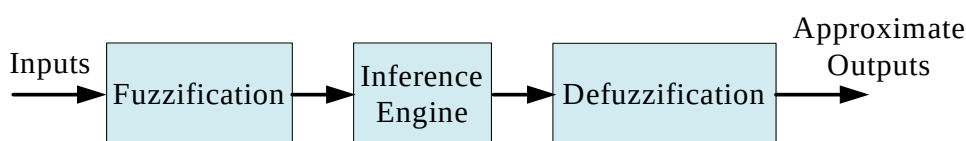
ปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในหลายสาขา เช่น สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ (Modeling), การควบคุม (Control), การรู้จำแบบ (Pattern recognition) และการประมวลผลสัญญาณ (Signal processing) ทั้งในระบบที่เป็นเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้น โดยการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมได้แนวคิดมาจากระบบประสาทในสมองของมนุษย์ที่มีความซับซ้อน ไม่เป็นเชิงเส้น และมีการทำงานควบคู่กันไปพร้อมกัน โดยสัญญาณที่รับเข้ามา (Input signal) จะถูกเชื่อมต่อเข้าสู่เส้นประสาท (Neuron) ผ่านทางจุดประสานประสาท (Synapse) ที่มีน้ำหนัก (Weight) ซึ่งแสดงถึงความรู้ (Knowledge) [5]-[7] โดยแบบจำลองอย่างง่ายของโครงข่ายประสาทเทียมสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แบบจำลองอย่างง่ายของโครงข่ายประสาทเทียม

2.2 การควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy Logic Control)

การควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือได้รับพัฒนามาอย่างต่อเนื่องและใช้กันอย่างแพร่หลาย สามารถทำความเข้าใจได้ง่ายเนื่องจากภาษาในการควบคุมเป็นภาษาธรรมชาติ (Natural language) มีความยืดหยุ่น สามารถรองรับการทำงานได้หลายรูปแบบ สามารถนำประสบการณ์จริงมาช่วยในการสร้างกฎการควบคุมให้มีประสิทธิภาพ แนวความคิดของการควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3 โดยแบ่งหลักการออกเป็นสามส่วนคือ ฟัซซิฟิเคชัน (Fuzzification) อินเฟอร์เรนซ์เอ็นจิน (Inference Engine) และ ดีฟัซซิฟิเคชัน (Defuzzification) [8-10]



ภาพที่ 3 ระบบการควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ

3. การสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิตปุ๋ย

3.1 ข้อมูลความต้องการใช้วัตถุดิบแต่ละชนิดเปรียบเทียบกับโดยน้ำหนัก

โดยในการทดลองนี้ใช้สูตรการผลิตปุ๋ย คือ สูตร 16-16-8 ซึ่งในตารางที่ 1 จะแสดงอัตราส่วนการผลิตวัตถุดิบ 4 ชนิดได้แก่ ยูเรีย (UREA), ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต(DAP), มิวเรียตออฟโพแทส (MOP) และฟิลเลอร์ (Filler)

ตารางที่ 1 อัตราส่วนวัตถุดิบแต่ละตัวโดยน้ำหนักในการผลิตปุ๋ย

สูตรผลิตปุ๋ย	ปริมาณ UREA	ปริมาณ DAP	ปริมาณ MOP	ปริมาณ FILLER
16-16-8	21%	35%	13%	31%

3.2 การปรับความเร็วของมอเตอร์เพื่อป้อนวัตถุดิบแต่ละชนิด

ข้อมูลการปรับความเร็วของมอเตอร์เพื่อป้อนวัตถุดิบแต่ละชนิด เก็บค่ามาจากการทำงานจริงของพนักงานในโรงงานโรงงานผลิตปุ๋ย ณ สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว แสดงในตารางที่ 2

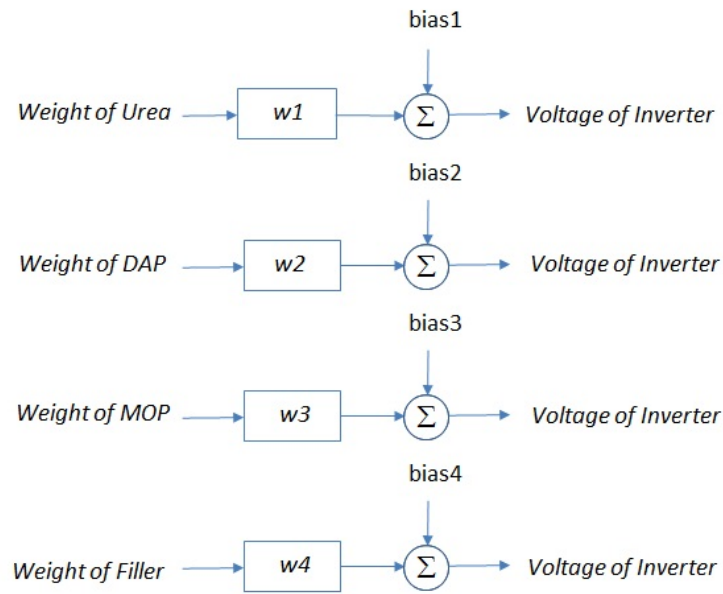
ตารางที่ 2 ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสตรง (V_{DC}) ของอินเวอร์เตอร์ที่เป็นคำสั่งในการควบคุมความเร็วของสายพานป้อนวัตถุดิบแต่ละชนิด สำหรับปฏิกิริยา 16-16-8

สูตรปฏิกิริยา N-P-K	การตั้งค่าอินเวอร์เตอร์	UREA	DAP	MOP	Filler
16-16-8	น้ำหนัก (%)	21%	35%	13%	31%
	ความต่างศักย์ (V_{DC})	2.29	4.13	2.10	2.57
		2.29	4.14	2.20	2.55
		2.32	4.15	2.05	2.54
		2.40	4.16	2.09	2.57
		2.18	4.11	2.00	2.60
		2.19	4.12	2.20	2.59
		2.20	4.18	2.25	2.54
		2.30	4.16	2.30	2.53
		2.25	4.15	2.22	2.67
		2.21	4.10	2.28	2.55

จากตารางที่ 2 จะพบว่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (V_{DC}) ที่ป้อนให้กับอินเวอร์เตอร์จะไม่เป็นเชิงเส้นหรือสัมพันธ์กันเมื่อเปรียบเทียบกับสายพานป้อนวัตถุดิบตัวอื่น ทั้งนี้เนื่องจากผลของความหนาแน่นวัตถุดิบที่ไม่เท่ากัน ความแตกต่างกันทางด้านอุปกรณ์ชุดขับ ขนาดทางออกของวัตถุดิบก่อนออกจากถังป้อน รวมทั้งปัจจัยของสภาพแวดล้อมอื่นๆ ดังนั้นระบบชาญฉลาด (Intelligent System) จึงมีความจำเป็นในการจัดการกับปัญหานี้

3.3 สมการทางคณิตศาสตร์ของระบบการป้อนวัตถุดิบในกระบวนการผลิตปุ๋ย

จากข้อมูลในตารางที่ 2 จะสามารถสร้างโครงข่ายประสาทเทียมที่เป็นการจำลองระบบการป้อนวัตถุดิบในกระบวนการผลิตปุ๋ย โดยพิจารณาสายพานการป้อนวัตถุดิบ 4 ชนิด คือ ยูเรีย (UREA), ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (DAP), มิวเรียตออฟโพแทส (MOP) และ ฟิลเลอร์ (Filler) เพื่อหาน้ำหนักของโครงข่ายประสาทเทียมและค่าไบอัส ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 โครงข่ายประสาทเทียมของระบบการป้อนวัตถุดิบในกระบวนการผลิตปุ๋ย

ภาพที่ 4 เป็นระบบโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้สำหรับการควบคุมสายพานลำเลียงวัตถุดิบในกระบวนการผลิตปุ๋ยแบบเชิงผสม โดยสัญญาณจากระบบโครงข่ายประสาทเทียมของแต่ละชุดของวัตถุดิบจะถูกนำไปใช้สำหรับการควบคุมอินเวอร์เตอร์ทำให้สายพานลำเลียงวัตถุดิบหมุนด้วยความเร็วที่เหมาะสมกับปุ๋ยในแต่ละสูตรการผลิต

โครงข่ายประสาทเทียมที่ออกแบบในการวิจัยนี้ ใช้การเรียนรู้แบบ Adaline Learning rule หรือ Widrow-Hoff Learning rule ที่ความสัมพันธ์ของอินพุตและเอาต์พุต (Input-Output relationship) เป็นเชิงเส้น การหาความสัมพันธ์เชิงเส้นของอินพุตและเอาต์พุต ด้วยการให้ข้อมูลจับคู่ของอินพุตและเอาต์พุตคือ $\{(x^{(1)}, d^{(1)}), (x^{(2)}, d^{(2)}), \dots, (x^{(p)}, d^{(p)})\}$

$$\sum_{j=1}^m w_j x_j^{(k)} + b_j = d^{(k)} \quad (1)$$

โดยที่ w_j คือ ค่าน้ำหนัก (Weight)

b_j คือ ค่าไบอัส (Bias)

จากสมการที่ 1 จะสามารถหาค่าน้ำหนัก (Weight, w_j) และค่าไบอัส (Bias, b_j) ของสายพานป้อนวัตถุดิบแต่ละชนิดได้ดังนี้

1) สายพานป้อนยูเรีย (Urea)

ค่าน้ำหนัก แทนด้วย w_1 และ ค่าไบอัส แทนด้วย b_1 ข้อมูลจับคู่ของอินพุตและเอาต์พุต $\{(x^{(1)}, d^{(1)}), (x^{(2)}, d^{(2)}), \dots, (x^{(p)}, d^{(p)})\} = (\%weight, V_{DC})$ คือ (21, 2.29), (21, 2.32), ..., (21, 2.21) และ ต้องการค่าข้อมูลการจับคู่ในสูตรผลิตอื่นๆมาาร่วมด้วยเพื่อความสะดวกเมื่อเปลี่ยนสูตรการผลิต ซึ่งได้เอาต์พุต w_1 เท่ากับ 0.13 และ b_1 เท่ากับ -0.51

2) สายพานป้อนไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (Di-Ammonium Phosphate : DAP)

ค่าน้ำหนัก แทนด้วย w_2 และ ค่าไบอัส แทนด้วย b_2 ข้อมูลจับคู่ของอินพุตและเอาต์พุต $\{(x^{(1)}, d^{(1)}), (x^{(2)}, d^{(2)}), \dots, (x^{(p)}, d^{(p)})\} = (\%weight, V_{DC})$ คือ (35, 4.13), (35, 4.14), ..., (35, 4.10) และ ต้องการค่าข้อมูลการจับคู่ในสูตรผลิตอื่นๆมาาร่วมด้วยเพื่อความสะดวกเมื่อเปลี่ยนสูตรการผลิต ซึ่งได้เอาต์พุต w_2 เท่ากับ 0.028 และ b_2 เท่ากับ 3.17

3) สายพานป้อนมิวเรียตออฟโพแทส (Muriate of Potash : MOP)

ค่าน้ำหนัก แทนด้วย w_3 และ ค่าไบอัส แทนด้วย b_3 ข้อมูลจับคู่ของอินพุตและเอาต์พุต $\{(x^{(1)}, d^{(1)}), (x^{(2)}, d^{(2)}), \dots, (x^{(p)}, d^{(p)})\} = (\%weight, V_{DC})$ คือ (13, 2.10), (13, 2.20), ..., (13, 2.28) และ ต้องการค่าข้อมูลการจับคู่ในสูตรผลิตอื่นๆมาาร่วมด้วยเพื่อความสะดวกเมื่อเปลี่ยนสูตรการผลิต ซึ่งได้เอาต์พุต w_3 เท่ากับ 0.06 และ b_3 เท่ากับ 1.4

4) สายพานป้อนฟิลเลอร์ (Filler)

ค่าน้ำหนัก แทนด้วย w_4 และ ค่าไบอัส แทนด้วย b_4 ข้อมูลจับคู่ของอินพุตและเอาต์พุต $\{(x^{(1)}, d^{(1)}), (x^{(2)}, d^{(2)}), \dots, (x^{(p)}, d^{(p)})\} = (\%weight, V_{DC})$ คือ (31, 2.57), (31, 2.55), ..., (31, 2.67) และ ต้องการค่าข้อมูลการจับคู่ในสูตรผลิตอื่นๆมาาร่วมด้วยเพื่อความสะดวกเมื่อเปลี่ยนสูตรการผลิต ซึ่งได้เอาต์พุต w_4 เท่ากับ 0.07 และ b_4 เท่ากับ 0.44

3.4 การออกแบบระบบควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy Logic Controller)**3.4.1 ค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ของธาตุอาหารปุ๋ย**

การหาความคลาดเคลื่อน(Error) ของธาตุอาหารปุ๋ย จะแทนด้วย $e(k)$ โดยที่ $e(k)$ ถูกกำหนดให้เป็น อินพุตของระบบควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือโดยมีความสัมพันธ์ ดังสมการต่อไปนี้

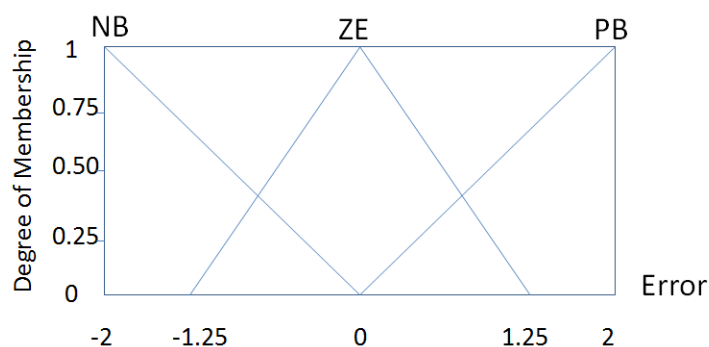
$$e(k) = y_d - y(k) \quad (2)$$

โดยที่ y_d คือ ค่าธาตุอาหารปุ๋ยที่ต้องการ
 $y(k)$ คือ ค่าธาตุอาหารปุ๋ยที่ได้รับ

ค่าความคลาดเคลื่อน $e(k)$ ของธาตุอาหารปุ๋ย มีค่าระหว่าง -2 ถึง 2 โดย Expert Opinion ซึ่งพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้ ช่วงความเป็นสมาชิกของค่าความคลาดเคลื่อน $\mu(e(k))$ หรือ Degree of Membership มีค่า 0 ถึง 1 ดังนี้

- 1) ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนของธาตุอาหารปุ๋ยมีค่า -2 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าที่ต้องการสูงมาก เราจะเรียกว่า Negative Big (NB)
- 2) ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนของธาตุอาหารปุ๋ยมีค่า 0 หรือ ไม่มีความคลาดเคลื่อน เราจะเรียกว่า Zero (ZE)
- 3) ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนของธาตุอาหารปุ๋ยมีค่า 2 ซึ่งมีค่ามากกว่าที่ต้องการสูงมาก เราจะเรียกว่า Positive Big (PB)

ในระหว่าง -2 ถึง 2 ระดับความเป็นสมาชิกของค่าความคลาดเคลื่อนของปุ๋ยจะเปลี่ยนแปลงไปตามภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ระดับการเป็นสมาชิกของค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ของธาตุอาหารปุ๋ย

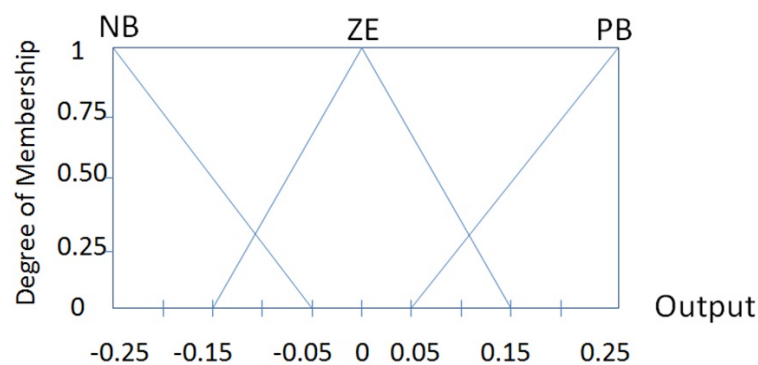
3.4.2 ค่าเอาต์พุตของระบบควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ

ค่าเอาต์พุตของระบบควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ แทนด้วย $z(k)$ ค่าเอาต์พุต(Output) ของระบบควบคุม มีค่าระหว่าง -0.25 ถึง 0.25 โดย Expert Opinion ซึ่งพิจารณาจากค่าเอาต์พุต (Output) สูงสุดที่สามารถปรับตั้งค่าความคลาดเคลื่อนได้ ช่วงความเป็นสมาชิกของค่าเอาต์พุตของระบบควบคุม $\mu(z(k))$ หรือ Degree of Membership มีค่า 0 ถึง 1 ดังนี้

- 1) ถ้าค่าเอาต์พุตของระบบควบคุม มีค่า -0.25 เพื่อชดเชยค่าความคลาดเคลื่อนด้านลบสูงสุด เราจะเรียกว่า Negative Big (NB)

- 2) ถ้าค่าเอาต์พุตของระบบควบคุม มีค่า 0 หรือไม่มีความคลาดเคลื่อน
เราจะเรียกว่า Zero (ZE)
- 3) ถ้าค่าเอาต์พุตของระบบควบคุม มีค่า 0.25 เพื่อชดเชยค่าความคลาดเคลื่อนด้านบวกสูงสุด
เราจะเรียกว่า Positive Big (PB)

ในระหว่าง -0.25 ถึง 0.25 ระดับความเป็นสมาชิกของค่าเอาต์พุตของระบบควบคุมจะเปลี่ยนแปลงไปตามภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ระดับการเป็นสมาชิกของค่าเอาต์พุตของระบบควบคุม

3.4.3 กฎการควบคุมของระบบควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ

กฎการควบคุมที่ 1 : IF ($e(k)$ is NB) THEN ($z(k)$ is NB)

กฎการควบคุมที่ 2 : IF ($e(k)$ is ZE) THEN ($z(k)$ is ZE)

กฎการควบคุมที่ 3 : IF ($e(k)$ is PB) THEN ($z(k)$ is PB)

3.4.4 ดีฟัซซิฟิเคชัน (Defuzzification)

เนื่องจากมีเอาต์พุตเดียว เมื่อใช้ วิธี Center of Area (COA) จะได้

$$z_{COA} = \frac{\mu(z(k)) * z(k)}{\mu(z(k))} = z(k) \quad (3)$$

นั่นคือมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง -0.25 ถึง 0.25 ตามกฎควบคุมของระบบควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ

4. การทดลองและผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้จะทำการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของการใช้ระบบชาญฉลาดในกระบวนการผลิตปุ๋ย โดยจะทำการทดลองกับการผลิตปุ๋ยสูตร 16-16-8 ในโรงงานผลิตปุ๋ยจริง โดยจะแสดงให้เห็นถึงผลการตอบสนองที่มีต่อค่าเป้าหมายที่ต้องการ ในการควบคุมจะเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการนำระบบชาญฉลาดมาใช้เป็นเครื่องมือสนับสนุนในการปรับตั้งกระบวนการกับการปรับตั้งกระบวนการโดยการสอบเทียบความเร็วสายพาน โดยสภาพการผลิตต่างๆในโรงงานจะไม่มีเปลี่ยนแปลงหรือเพิ่มเติมระบบเครื่องจักรใดๆเพื่อสอดคล้องกับความต้องการของโรงงานที่ให้มีการผลิตได้อย่างต่อเนื่องและไม่มีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม

4.1 การผลิตปุ๋ยโดยการสอบเทียบความเร็วสายพาน

การผลิตปุ๋ยด้วยระบบการควบคุมความเร็วสายพาน เป็นระบบเดิมที่โรงงานผลิตปุ๋ยกรณีศึกษาใช้ในการผลิตสินค้า โดยในตารางที่ 3 ได้แสดงการปรับตั้งค่าอินเวอร์เตอร์เพื่อเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วสายพานและค่าน้ำหนักของการผลิตปุ๋ย โดยการสอบเทียบจากผู้ชำนาญงาน ซึ่งเป็นระบบที่ยังต้องให้มนุษย์ช่วยในการตัดสินใจ จะเห็นได้ว่าค่าความเร็วของสายพานจะแปรผันตามค่าแรงดันอินพุตของอินเวอร์เตอร์และทำให้สัดส่วนของวัตถุดิบที่ได้รับเปลี่ยนแปลงไปด้วย

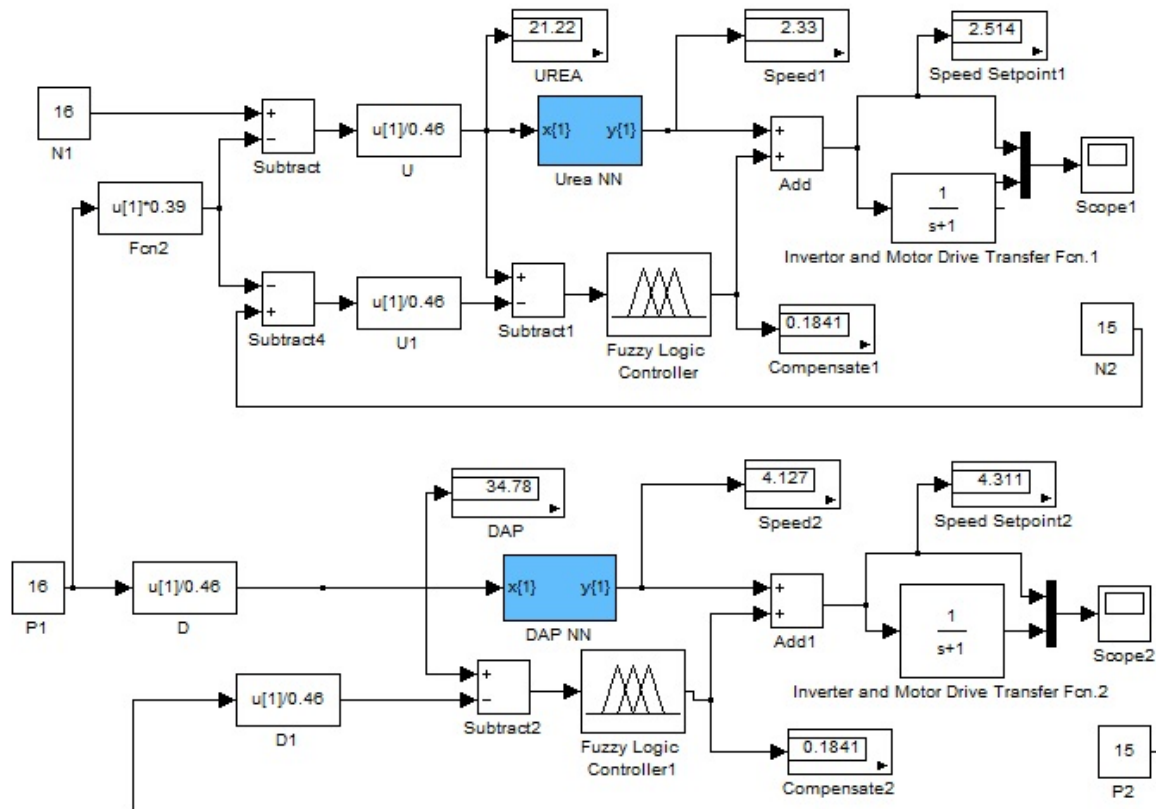
ตารางที่ 3 ความเร็วสายพานกับปริมาณการป้อนของวัตถุดิบโดยการสอบเทียบจากผู้ชำนาญงาน

สูตรปุ๋ย N-P-K	การตั้งค่าอินเวอร์เตอร์	UREA	DAP	MOP	Filler
16-16-8	น้ำหนัก (%)	21%	35%	13%	31%
	ค่าอินเวอร์เตอร์ (V_{DC})	2.29	4.13	2.10	2.57
	ความเร็วสายพาน (cm/s)	1.54	2.06	1.15	1.43
	น้ำหนักที่ได้ (T/hr)	3.78	6.30	2.34	5.58

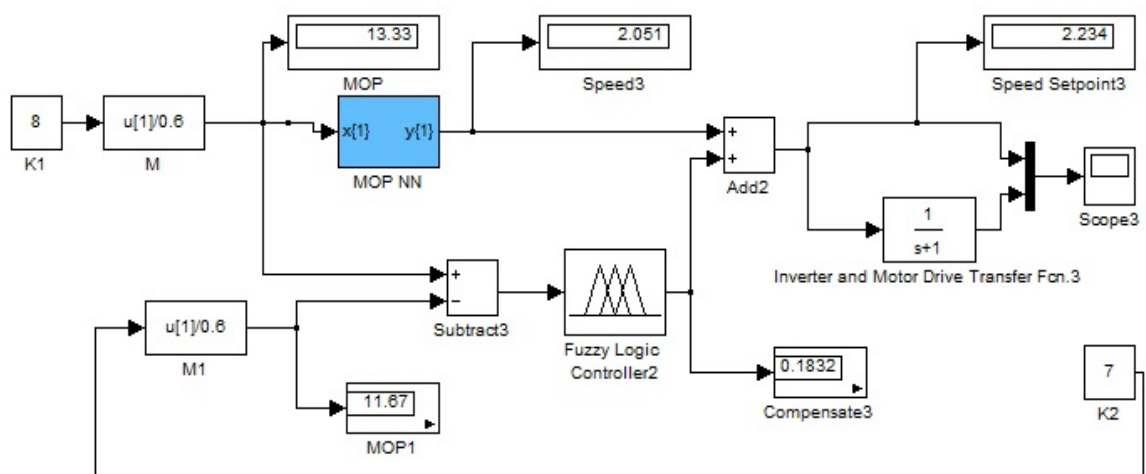
ในตารางที่ 3 จะแสดงให้เห็นว่าความเร็วของสายพานจะแปรผันตามค่าแรงดันอินพุตของอินเวอร์เตอร์ และส่งผลให้ค่าน้ำหนักที่ได้ (T/hr) ของวัตถุดิบแต่ละชนิดเปลี่ยนแปลงไป

4.2 การผลิตปุ๋ยโดยใช้ระบบชาญฉลาดในการสนับสนุนการผลิต

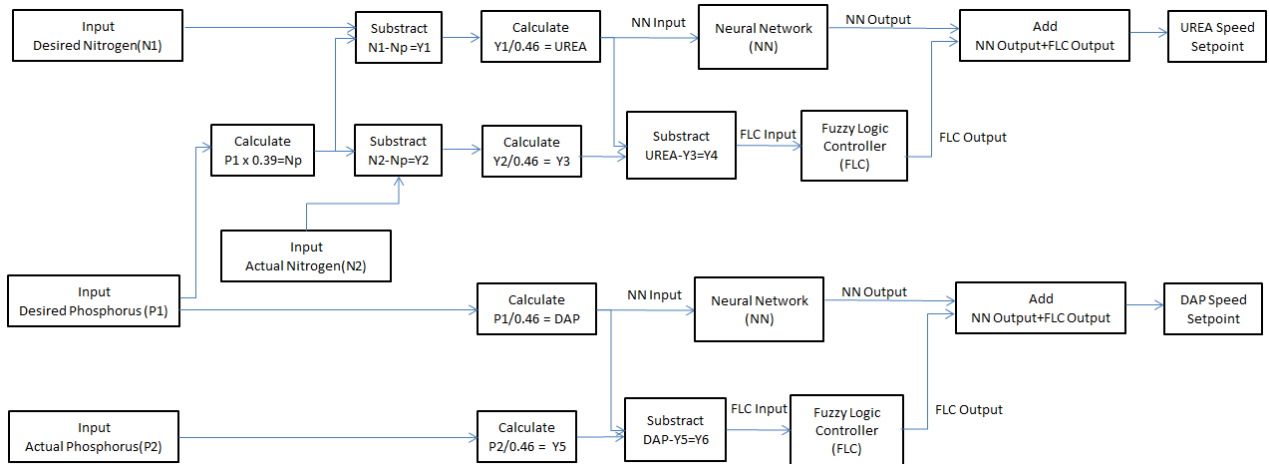
ระบบชาญฉลาดในการผลิตปุ๋ยซึ่งได้แสดงการออกแบบการทดลองไว้แล้วในหัวข้อที่ 3 ในขั้นตอนนี้จะนำมาใช้เป็นเครื่องมือเพื่อสนับสนุนในการปรับค่าความเร็วสายพาน UREA, DAP และ MOP ตามลำดับ ซึ่งระบบดังกล่าวเกิดจากการรวมกันของโครงข่ายประสาทเทียมและการควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ สามารถสร้างระบบโดยใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK ดังแสดงในภาพที่ 7-8



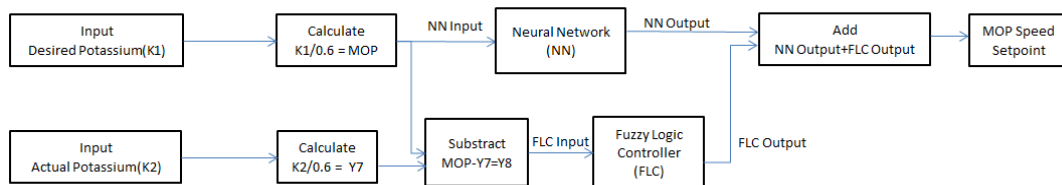
ภาพที่ 7 ระบบโครงข่ายประสาทเทียมและตรรกศาสตร์คลุมเครือสำหรับสายพานป้อน UREA และ DAP



ภาพที่ 8 ระบบโครงข่ายประสาทเทียมและตรรกศาสตร์คลุมเครือสำหรับสายพานป้อน MOP



ภาพที่ 9 การทำงานของโปรแกรมโครงข่ายประสาทเทียมและตรรกศาสตร์คลุมเครือ
สำหรับสายพานป้อนUREA) และ DAP



ภาพที่ 10 การทำงานของโปรแกรมโครงข่ายประสาทเทียมและตรรกศาสตร์คลุมเครือ
สำหรับสายพานป้อนมอป(MOP)

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมจะแสดงตามภาพที่ 9-10 ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 : ป้อนค่าความต้องการไนโตรเจน(N1) ฟอสฟอรัส(P1) และ โพแทสเซียม(K1) ในการผลิตปุ๋ย

ขั้นตอนที่ 2 : ค่าความต่างศักย์เริ่มต้นจะถูกคำนวณตามค่าของ Speed1, Speed2 และ Speed3 ซึ่งจะใช้ในการ
ป้อนค่าเริ่มต้นสำหรับสายพาน UREA, DAP และ MOP ในการผลิตปุ๋ยตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 3 : นำผลวิเคราะห์จากห้องวิเคราะห์คุณภาพปุ๋ยมาทำการป้อนเข้าไปในค่าปริมาณไนโตรเจน (N2)
ฟอสฟอรัส (P2) และ โพแทสเซียม (K2) ที่ได้รับการผลิต

ขั้นตอนที่ 4 : ค่าความคลาดเคลื่อนการผลิตจะถูกคำนวณ

ขั้นตอนที่ 5 : ระบบควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือจะคำนวณค่าชดเชยจากความคลาดเคลื่อนการผลิต

ขั้นตอนที่ 6 : ผลการคำนวณในขั้นตอนที่ 5 จะถูกบวกเข้าไปกับผลลัพธ์จากขั้นตอนที่ 2 ได้ค่าเป็น Speed
Setpoint1, Speed Setpoint2 และ Speed Setpoint3

ขั้นตอนที่ 7 : Speed Setpoint1, Speed Setpoint2 และ Speed Setpoint3 จะถูกใช้ป้อนค่าปรับตั้งความเร็ว
สายพาน UREA, DAP และ MOP ตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 8 : ทำซ้ำขั้นตอนที่ 3-7 เมื่อยังคงมีค่าคลาดเคลื่อนในการผลิตเกินค่าที่ยอมรับได้

จากการคำนวณด้วยของระบบชาญฉลาด ค่าเอาต์พุตที่เหมาะสมจากโปรแกรมเพื่อปรับอัตราส่วนน้ำหนักของวัตถุดิบ UREA, DAP, MOP และ Filler ที่ต้องการ แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าปรับตั้งอินเวอร์เตอร์ที่ได้จากการคำนวณของระบบชาญฉลาด

สูตรปุ๋ย N-P-K	การตั้งค่าอินเวอร์เตอร์	UREA	DAP	MOP	Filler
16-16-8	น้ำหนัก (%)	21%	35%	13%	31%
	ค่าอินเวอร์เตอร์ (V_{DC}) เมื่อ Error ของ N,P,K= 0	2.290	4.130	2.100	2.570
	ค่าอินเวอร์เตอร์ (V_{DC}) เมื่อ Error ของ N,P,K= 1	2.514	4.311	2.234	2.538
	ค่าอินเวอร์เตอร์ (V_{DC}) เมื่อ Error ของ N,P,K= 0.5	2.452	4.249	2.124	2.538
	ค่าอินเวอร์เตอร์ (V_{DC}) เมื่อ Error ของ N,P,K= -0.5	2.210	4.006	1.978	2.538
	ค่าอินเวอร์เตอร์ (V_{DC}) เมื่อ Error ของ N,P,K= -1	2.146	3.942	1.867	2.538

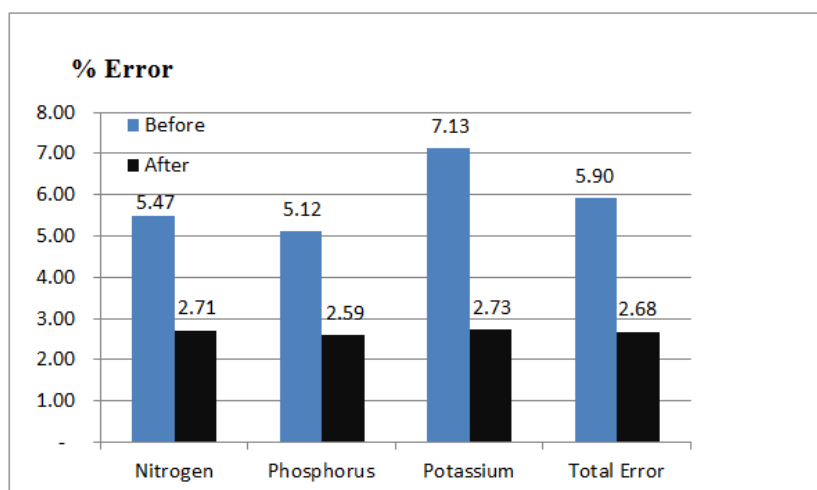
4.3 การเปรียบเทียบผลการทดลอง ปุ๋ยสูตร 16-16-8

จากผลการทดลองทั้งหมด 22 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย(AVG) ของสัดส่วนวัตถุดิบจริง (Actual) ก่อนและหลังการใช้ระบบชาญฉลาด รวมไปถึงการหาเฉลี่ยค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่าเมื่อใช้ระบบชาญฉลาดค่าไนโตรเจนลดลงจาก 16.48% เป็น 16.32%, ค่าฟอสฟอรัสลดลงจาก 16.28% เป็น 15.70% และ ค่าโพแทสเซียมลดลงจาก 8.41% เป็น 8.04% ตามลำดับ

เมื่อทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนดังกล่าว ได้แก่ ความไม่แน่นอนของความเร็วในการป้อนเนื่องจากการรบกวนต่างๆและการขาดอุปกรณ์ป้อนกลับสัญญาณวัดค่าธาตุอาหาร ความไม่แน่นอนจากปริมาณธาตุอาหารในวัตถุดิบแต่ละตัวที่ทำให้ปริมาณวัตถุดิบที่ได้รับให้ค่าธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส หรือ โพแทสเซียมไม่ตรงกับความต้องการ ความหนาแน่นที่แตกต่างกันของวัตถุดิบขณะอยู่บนสายพานทำให้น้ำหนักวัตถุดิบผิดพลาดได้ รวมทั้งการรบกวนระบบอื่นๆที่ไม่สามารถระบุได้ ซึ่งส่งผลต่อปริมาณธาตุอาหารที่ต้องการ ระบบการผลิตแบบเดิมไม่สามารถชดเชยสาเหตุของการรบกวนนี้ได้ แต่ระบบชาญฉลาดสามารถทำการชดเชยผลดังกล่าวและให้ค่าผลลัพธ์ออกมาที่ดีกว่า ดังนี้

ตารางที่ 5 ผลการผลิตสินค้าสูตร 16-16-8 เมื่อใช้ระบบชาญฉลาดเปรียบเทียบกับระบบผลิตแบบเดิม

Sample	Nitrogen (Target =16)				Phosphorus (Target =16)				Potassium (Target =8)			
	Before		After		Before		After		Before		After	
	Actual	Error(%)	Actual	Error(%)	Actual	Error(%)	Actual	Error(%)	Actual	Error(%)	Actual	Error(%)
1	16.11	0.69	16.05	0.31	12.80	20.00	15.76	1.50	8.88	11.00	7.46	6.75
2	17.63	10.19	15.95	0.31	17.25	7.81	15.70	1.88	8.00	0.00	7.82	2.25
3	16.29	1.81	15.67	2.06	15.41	3.69	15.81	1.19	8.05	0.63	8.00	0.00
4	17.92	12.00	16.14	0.88	15.60	2.50	16.09	0.56	7.58	5.25	8.20	2.50
5	16.07	0.44	15.82	1.13	15.24	4.75	15.36	4.00	8.16	2.00	8.16	2.00
6	15.78	1.38	16.65	4.06	15.30	4.38	16.15	0.94	8.11	1.37	7.45	6.88
7	15.64	2.25	16.82	5.13	16.25	1.56	14.98	6.38	8.23	2.88	7.94	0.75
8	15.54	2.88	16.46	2.88	16.10	0.63	15.54	2.88	8.20	2.50	7.81	2.38
9	16.54	3.37	16.47	2.94	16.57	3.56	15.41	3.69	7.90	1.25	8.39	4.88
10	16.99	6.19	16.29	1.81	16.96	6.00	15.77	1.44	7.21	9.88	8.20	2.50
11	16.88	5.50	16.29	1.81	15.80	1.25	15.53	2.94	8.08	1.00	7.95	0.62
12	15.51	3.06	16.70	4.38	16.10	0.63	15.63	2.31	9.76	22.00	8.33	4.13
13	16.00	0.00	16.42	2.63	16.99	6.19	15.62	2.38	7.58	5.25	8.19	2.37
14	18.30	14.38	16.55	3.44	16.17	1.06	15.46	3.37	8.87	10.88	8.24	3.00
15	15.94	0.38	15.97	0.19	16.87	5.44	15.22	4.88	8.57	7.13	8.10	1.25
16	16.46	2.88	16.38	2.37	16.45	2.81	15.87	0.81	8.91	11.38	7.92	1.00
17	15.94	0.38	16.26	1.63	17.24	7.75	15.33	4.19	8.32	4.00	8.05	0.63
18	15.60	2.50	16.55	3.44	16.27	1.69	15.84	1.00	8.90	11.25	8.08	1.00
19	20.20	26.25	17.60	10.00	15.87	0.81	16.98	6.13	9.03	12.88	8.87	10.88
20	17.51	9.44	15.30	4.38	17.11	6.94	15.50	3.13	9.28	16.00	7.85	1.88
21	14.78	7.63	16.35	2.19	18.42	15.13	15.87	0.81	8.42	5.25	7.88	1.50
22	14.91	6.81	16.27	1.69	17.28	8.00	15.90	0.62	9.04	13.00	7.92	1.00
AVG	16.48	5.47	16.32	2.71	16.28	5.12	15.70	2.59	8.41	7.13	8.04	2.73



ภาพที่ 11 ค่าความคลาดเคลื่อนการผลิตสูตร 16-16-8 ก่อนการปรับปรุง(Before)และหลังการปรับปรุง(After)

4.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์สูตร 16-16-8 ที่ได้จากการใช้ระบบการป้อนความเร็วอย่างเดียวของกระบวนการผลิตแบบเดิมมีความคลาดเคลื่อนในการผลิตสูงกว่าระบบชาญฉลาดที่นำมาประยุกต์ใช้ตามภาพที่ 11 นั่นคือค่าไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม มีค่าเบี่ยงเบนจากเป้าหมายสูงกว่า โดยพบว่าเมื่อใช้ระบบชาญฉลาดค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของไนโตรเจนลดลงจาก 5.47% เป็น 2.71%, ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของฟอสฟอรัสลดลงจาก 5.12% เป็น 2.59% และ ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของโพแทสเซียมลดลงจาก 7.13% เป็น 2.74% หรือ คิดเป็นค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนทั้งหมดลดลง 3.22% จาก 5.90% เป็น 2.68%

5. สรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการออกแบบระบบชาญฉลาด เพื่อเป็นเครื่องมือสนับสนุนในการผลิตปุ๋ย โดยการคงสภาพเครื่องจักรต่างๆของโรงงานเช่นเดิม เพื่อให้สามารถผลิตปุ๋ยได้อย่างต่อเนื่อง การออกแบบระบบดังกล่าวต้องทำการสร้างโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับสายพานป้อนวัตถุดิบแต่ละตัว และการสร้างระบบควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ เพื่อชดเชยค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากสาเหตุต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นความไม่แน่นอนของความเร็วในการป้อนเนื่องจากการรบกวนต่างๆและขาดอุปกรณ์ป้อนกลับสัญญาณธาตุอาหารปุ๋ย ความไม่แน่นอนจากปริมาณธาตุอาหารในวัตถุดิบแต่ละตัวที่ทำให้ปริมาณวัตถุดิบที่ได้รับให้ค่าธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส หรือ โพแทสเซียมไม่ตรงกับความต้องการ, ความหนาแน่นที่แตกต่างกันของวัตถุดิบขณะอยู่บนสายพานทำให้น้ำหนักวัตถุดิบผิดพลาดได้ รวมทั้งการรบกวนระบบอื่นๆที่ไม่สามารถระบุได้ ซึ่งส่งผลต่อปริมาณธาตุอาหารที่ต้องการ ข้อมูลการคำนวณที่ได้จากระบบชาญฉลาดจะนำมาป้อนเพื่อปรับตั้งกระบวนการผลิต ทำให้ระบบการผลิตมีการควบคุมคุณภาพที่ดีขึ้น ทั้งในเชิงค่าความคลาดเคลื่อนทั้งหมดของสูตรผลิต และความค่าความคลาดเคลื่อนของธาตุอาหารแต่ละตัว

เอกสารอ้างอิง

- [1] Liang Chunying and Wang Xi, " Variable-Rate Fertilization Control System Based on Fuzzy PID Control System", in *Proceedings of the International Conference on Electrical and Control Engineering*, 2010, pp. 2511 -2514 .
- [2] T.C.Chen Yuan and C.Y.Liaw, " Design of A Neural Fuzzy Controller for Induction Motor Speed Control", in *Proceedings of the 20th International Conference on Industrial Electronics Control and Instrumentation*, 1994 ,vol 1, pp. 611-616 .
- [3] A.I.Wu and P.K.S Tam, " An Adaptive Speed Control for Induction Motor Drive Using Fuzzy Neural Network Based on Fuzzy Hierarchy Error Approach" , in *Proceedings of the International Conference on Electric Machines and Drives*, 1999, pp. 284-286.
- [4] Ismail Yusuf, Nur Iksan, and Nanna Suryana Herman , "Weight-feeder Control for Plastic Extruder Using Fuzzy Genetic Algorithms", in *Proceedings of the 2nd Computer and Automation Engineering International Conference*, 2010, vol 3, pp. 145-149.
- [5] Simon Haykin, *Neural Networks A Comprehensive Foundation*. New Jersey:Prentice Hall ,1999.
- [6] Chin-Teng Lee and C.S. George Lee, *Neural Fuzzy Systems A Neuro-Fuzzy Synergism to intelligent Systems*. New Jersey : Prentice Hall, 1996.
- [7] Tommy W S Chow and Siu-Yeung Cho, *Neural Networks and Computing Learning Algorithms and Applications*. London : Imperial College Press, 2007.
- [8] Jan Jantzen, *Foundations of Fuzzy Control*. Chichester :John Wiley & Sons ,2007.

- [9] Shehu S. Farinwata, Dimitar Filev, and Reza Langari, *Fuzzy Control Synthesis and Analysis*. Chichester : John Wiley & Sons, 2000.
- [10] Hao Ying , *Fuzzy Control and Modeling Analytical Foundations and Applications*. New Jersey : IEEE Press, 2000.

บทความนี้ส่งเข้ามาเมื่อ 28 มีนาคม 2557 และได้รับพิจารณาให้ตีพิมพ์เมื่อ 22 เมษายน 2557
