บทที่ 6

การนำเสนอขาเข้าของ ANFIS ในการคำนวณ ATC

ในการคำนวณ ATC ด้วย ANFIS การกำหนดขาเข้าที่เหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญ จากบทที่ผ่านมาได้เห็นถึงแนวคิดในการกำหนดขาเข้าเพื่อใช้คำนวณ ATC ซึ่งกำหนดขาเข้าโดยเลือกใช้ข้อมูลกำลังไฟฟ้าของบัสในระบบที่มีอิทธิพลต่อค่า ATC และมีการรวบรวมปัจจัยอื่น ๆ ให้เป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงสภาวะของระบบ อย่างไรก็ตามจากหลักการฝึกสอน ANFIS และนำไปใช้งาน ค่า ATC ที่ได้จาก ANFIS ย่อมมีความคลาดเคลื่อนจากค่า ATC ที่ได้จากวิธี RPF และถ้าดัชนีที่นำมาเป็นขาเข้าของ ANFIS ไม่สะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงสภาวะของระบบได้ดี ก็จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนมากขึ้นไปอีก

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงแนวคิดในการกำหนดขาเข้าของ ANFIS เพื่อคำนวณ ATC ระหว่างบัสต่อบัส โดยมีจุดประสงค์หลักคือให้ค่า ATC ที่คำนวณจาก ANFIS มีความคลาดเคลื่อนกับวิธี RPF น้อยที่สุด ทั้งนี้จะมองถึงปัจจัยต่าง ๆ ของระบบที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า ATC เพื่อใช้เป็นแนวทางสร้างดัชนีที่เป็นขาเข้าของ ANFIS นอกจากนี้จะพิจารณาถึงระบบที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ FACTS โดยพิจารณาแบบจำลองของ SVC และ TCSC ว่ามีผลต่อค่า ATC อย่างไร จากปัจจัยต่าง ๆ ที่พิจารณาเหล่านี้จะนำไปสู่การกำหนดขาเข้าของ ANFIS ในการคำนวณ ATC ต่อไป

6.1 สมมุติฐาน

จากหลักการการคำนวณ ATC ด้วย ANFIS การที่จะให้ ANFIS คำนวณค่า ATC ได้อย่างถูกต้อง จะต้องใช้ข้อมูลในการฝึกสอนที่ครอบคลุมสถานะของระบบที่สามารถเกิดขึ้นได้ และการกำหนดขาเข้าให้กับ ANFIS จะต้องใช้ตัวแปรที่มีการเปลี่ยนแปลงสอดคล้องกับขาออกที่ต้องการคำนวณ หากระบบที่พิจารณามีจำนวนตัวแปรควบคุมน้อย การกำหนดขาเข้าสามารถทำได้โดยง่ายด้วยการกำหนดตัวแปรควบคุมทั้งหมดให้เป็นขาเข้าของ ANFIS แต่ระบบที่มีขนาดใหญ่มีตัวแปรควบคุมจำนวนมาก การกำหนดให้ตัวแปรควบคุมทั้งหมดเป็นขาเข้าของ ANFIS จะทำให้ ANFIS มีพรีมิสพารามิเตอร์จำนวนมากและคอนซีเควนท์พารามิเตอร์จำนวนมากซึ่งต้องใช้เวลาในการฝึกสอนมากขึ้นตามไปด้วย

ดังนั้นในการคำนวณ ATC ด้วย ANFIS หากมีการกำหนดจำนวนและชนิดขาเข้าที่เหมาะสม จะทำให้ความคลาดเคลื่อนระหว่างค่า ATC ที่ได้จาก ANFIS เทียบกับ ATC ที่ได้จากวิธี RPF มีค่าน้อยลง

6.2 ผลของการกำหนดขาเข้าจำนวนมาก

การกำหนดขาเข้าจะกำหนดจากตัวแปรควบคุมในระบบที่ต้องการจำลองการคำนวณด้วย ANFIS ซึ่งจำนวนขาเข้าจะส่งผลต่อจำนวนพรีมิสพารามิเตอร์ จำนวนกฎ และจำนวนคอนซีเควนท์พารามิเตอร์ดังนี้

6.2.1 จำนวนพรีมิสพารามิเตอร์

จำนวนพรีมิสพารามิเตอร์ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

1.) จำนวนพารามิเตอร์ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต (N_f) ซึ่งฟังก์ชันแต่ละชนิดจะมีจำนวนพารามิเตอร์ที่ต่างกัน ดังตารางด้านล่าง

2.) จำนวนขาเข้าทั้งหมด (N_{input})

3.) จำนวนฟัซซีเซตของขาเข้าแต่ละตัว (m_k)

จากปัจจัยดังกล่าวสามารถหาจำนวนพรีมิสพารามิเตอร์ทั้งหมด (N_{pre}) ได้ดังนี้

$$N_{pre} = N_f \sum_{k=1}^{N_{input}} m_k \tag{6.1}$$

ตารางที่ 6.1 จำนวนพารามิเตอร์ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบต่าง ๆ

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก	จำนวนพารามิเตอร์
สามเหลี่ยม	3
สี่เหลี่ยมคางหมู	4
รูประฆัง	3
เกาส์เซียน	2

6.2.2 จำนวนกฎ

กฎของฟัซซีเป็นการใช้ตรรกะ "ถ้า-แล้ว" โดยพรีมิสของกฎจะต้องเป็นการจัดกลุ่มฟัซซีเซตโดยใช้ตรรกะ "และ" โดยจัดกลุ่มที่เป็นไปได้ทั้งหมด ทั้งนี้จำนวนกฎขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้

1.) จำนวนขาเข้าทั้งหมด (N_{input})

2.) จำนวนฟัซซีเซตของขาเข้าแต่ละตัว (m_k)

จากปัจจัยดังกล่าวสามารถคำนวณจำนวนกฎ (N_{rule}) ได้ดังนี้

$$N_{ruie} = \prod_{k=1}^{N_{input}} m_k \tag{6.2}$$

6.2.3 จำนวนคอนซีเควนท์พารามิเตอร์

คอนซีเควนท์พารามิเตอร์อยู่ในส่วนคอนซีเควนท์ของกฎ ซึ่ง ANFIS มีคอนซีเควนท์เป็นสมการโพลิโนเมียลตามแบบจำลองฟัซซีแบบ Sugeno จำนวนคอนซีเควนท์พารามิเตอร์ขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

1.) ชนิดของฟังก์ชันที่ชั้นคอนซีเควนท์ (ชั้นที่ 4 ของ ANFIS) โดยทั่วไปนิยมกำหนดให้เป็นค่าคงที่หรือฟังก์ชันโพลิโนเมียลลำดับที่ 1

2.) จำนวนกฎของ ANFIS (N_{rule})

ในการจำลองการคำนวณที่ซับซ้อนนิยมใช้ฟังก์ชันโพลิโนเมียลลำดับที่หนึ่งในชั้นที่มีคอนซีเควนท์พารามิเตอร์เก็บไว้ จากปัจจัยดังกล่าวในกรณีฟังก์ชันที่ชั้นคอนซีเควนท์เป็นฟังก์ชันโพลิโนเมียลลำดับที่หนึ่งสามารถคำนวณจำนวนคอนซีเควนท์พารามิเตอร์ (N_{cons}) ได้ดังนี้

$$N_{cons} = (N_{input} + 1) \times N_{rule} \tag{6.3}$$

<u>ตัวอย่างที่ 6.1</u>

ใช้ ANFIS ในการจำลองการคำนวณของระบบแบบต่าง ๆ โดยกำหนดให้ขาเข้าแต่ละตัวมีจำนวนฟัซซีเซต 3 เซตเท่ากันทุกขาเข้า ซึ่งมีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรูปสามเหลี่ยม และในชั้นคอนซีเควนท์ใช้สมการโพลิโนเมียลลำดับที่หนึ่ง เปรียบเทียบจำนวนพรีมิสพารามิเตอร์ จำนวนกฎ และจำนวนคอนซีเควนท์พารามิเตอร์ ได้ดังตาราง

ตารางที่ 6.2 เปรียบเทียบจำนวนพารามิเตอร์ของระบบที่มีจำนวนขาเข้าแตกต่างกัน

ระบบที่	N_{input}	m_k	N_{rule}	N_{pre}	N_{cons}	พารามิเตอร์รวม
1	1	3	3	9	6	15
2	2	3	9	18	27	45
3	3	3	27	27	108	135
4	4	3	81	36	405	441
5	5	3	243	45	1,458	1,503
6	6	3	729	54	5,103	5,157
7	7	3	2,187	63	17,496	17,559
8	8	3	6,561	72	59,049	59,121
9	9	3	19,683	81	196,830	196,911
10	10	3	59,049	90	649,539	649,629
11	11	3	177,147	99	2,125,764	2,125,863
12	12	3	531,441	108	6,908,733	6,908,841
13	13	3	1,594,323	117	22,320,522	22,320,639
14	14	3	4,782,969	126	71,744,535	71,744,661
15	15	3	14,348,907	135	229,582,512	229,582,647

จากตารางแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มจำนวนขาเข้าเพียงเล็กน้อยส่งผลต่อจำนวนพารามิเตอร์ที่อยู่ใน ANFIS มากขึ้นอย่างรวดเร็ว จากบทที่ 4 จำนวนพารามิเตอร์จำนวนมากจะทำให้ขนาดของเมตริกซ์ที่ใช้ในการหาคำตอบออปติไมเซชันมีขนาดใหญ่ ซึ่งส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการฝึกสอน ANFIS จะต้องใช้เวลามากขึ้นตามไปด้วย

6.3 ผลของการลดจำนวนตัวแปร

ตามปกติแล้วการคำนวณ ATC โดยใช้วิธี RPF ซึ่งเป็นวิธีบนพื้นฐานของการทำโหลดโฟลว์จะมีจำนวนตัวแปรควบคุมจำนวนมากซึ่งประกอบด้วย

1.) กำลังไฟฟ้าที่ผลิตเข้าสู่บัสต่าง ๆ

2.) โหลดที่บัสต่าง ๆ

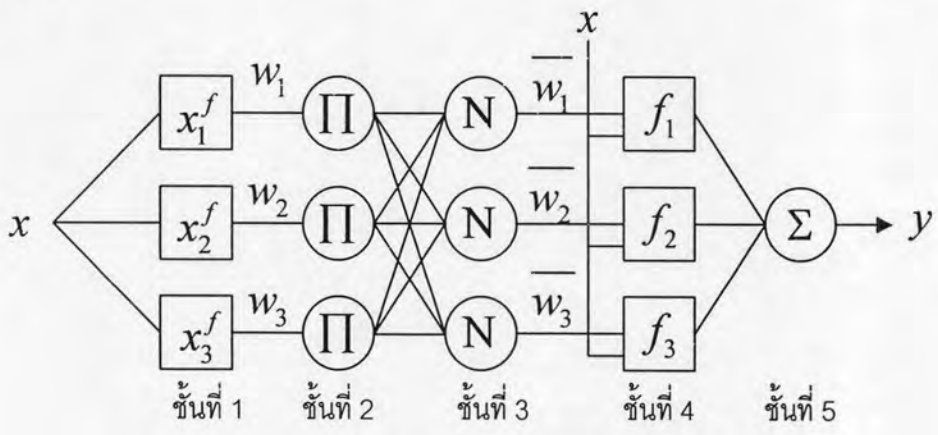
3.) ลักษณะทางกายภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง

จากปัจจัยข้างต้นจะเห็นได้ว่าถ้ามีการกำหนดขาเข้าตามตัวแปรควบคุมข้างต้น จะต้องใช้ขาเข้าจำนวนมาก ซึ่งไม่เหมาะสมดังที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ผ่านมา ดังนั้นในการใช้ ANFIS เพื่อคำนวณ ATC ตามวิธีการของ Khairuddin et al. และ Vinod Kumar et al. จึงได้มีการลดจำนวนขาเข้าลง โดยสร้างขาเข้าที่เป็นค่าดัชนีค่าหนึ่งซึ่งเกิดจากผลรวมของโหลดที่บัสต่าง ๆ เช่น ดัชนีเอนกประสงค์ ซึ่งเป็นการลดจำนวนขาเข้าที่เป็นโหลดที่บัสต่าง ๆ ด้วยการนำค่าโหลดที่บัสต่าง ๆ มารวมกันแล้วตั้งเป็นขาเข้าเพียงค่าเดียว

การลดจำนวนขาเข้าโดยนำตัวแปรต่าง ๆ มาประมวลผลให้ได้ค่าดัชนีแล้วใช้ดัชนีนั้นเป็นขาเข้า อาจเกิดกรณีที่ข้อมูลที่ใช้ฝึกสอนมีค่าขาเข้าเหมือนกันแต่ให้ค่าขาออกต่างกัน ซึ่งเมื่อนำข้อมูลเหล่านี้มาฝึกสอน ANFIS แล้วนำ ANFIS มาคำนวณค่า ค่าขาออกจาก ANFIS จะไม่สอดคล้องกับระบบจริง โดยเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้น ผลของความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากข้อมูลฝึกสอนมีขาเข้าที่มีค่าเท่ากันแต่มีค่าขาออกต่างกันแสดงได้ในตัวอย่างต่อไปนี้

<u>ตัวอย่างที่ 6.2</u>

กำหนดให้ ANFIS ประกอบด้วยขาเข้า 1 ตัวคือ x และขาออกจำนวน 1 ตัวคือ y ดังรูปด้านล่าง โดยให้ค่าขาเข้า x มีค่าฟัซซี 3 เซต คือ x_1^f x_2^f และ x_3^f ซึ่งมีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกรูปสามเหลี่ยม



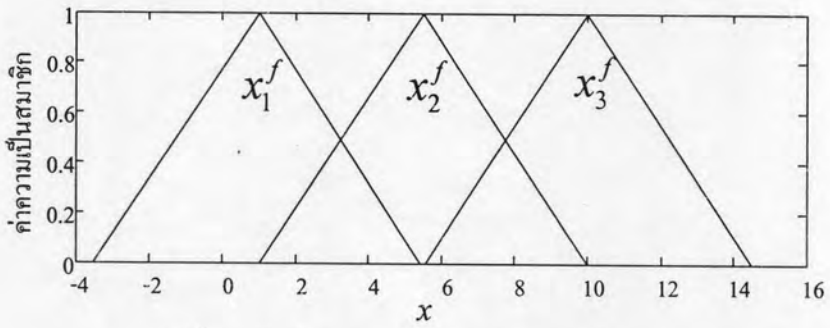
รูปที่ 6.1 ANFIS ในตัวอย่างที่ 6.2

ชุดขาเข้าขาออกตัวอย่างที่ใช้ในการฝึกสอน ANFIS แสดงได้ดังตารางด้านล่างจะเห็นได้ว่าชุดข้อมูลที่ 5 และ 6 มีขาเข้า x=5 ทั้งคู่ แต่มีขาออก y ที่มีค่าแตกต่างกันคือ y=8 และ y=10 ตามลำดับ

ตารางที่ 6.3 ชุดขาเข้าขาออกตัวอย่างที่ใช้ฝึกสอน ANFIS ตัวอย่างที่ 6.2

ชุดข้อมูล	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
X	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
Y	0.0	1.4	3.3	5.5	8.0	10.0	10.8	13.6	16.6	19.8	23.0

จากนั้นทำการฝึกสอน ANFIS แบบไฮบริดจำนวน 10 รอบ หลังจากการฝึกสอน ANFIS ได้ค่าพรีมิสพารามิเตอร์ที่ชั้นที่ 1 สามารถแสดงฟัซซีเซตของขาเข้าได้ดังรูปด้านล่าง และได้ค่าคอนซีเควนท์พารามิเตอร์ที่ชั้นที่ 4 ทำให้สามารถแสดงสมการโพลิโนเมียลที่ชั้นที่ 4 ได้ดัง 6.4-6.6



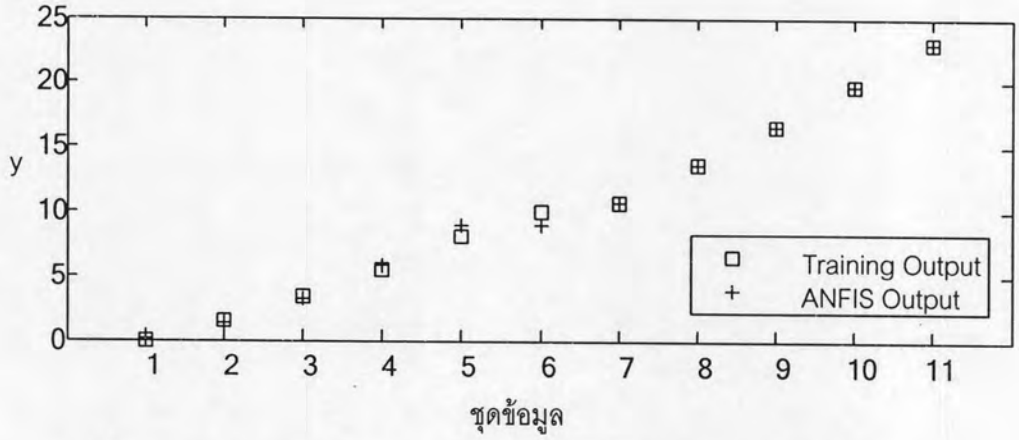
รูปที่ 6.2 ฟัซซีเซตของ x หลังจากผ่านการฝึกสอน

$$f_1 = -9.062x + 9.102 \tag{6.4}$$

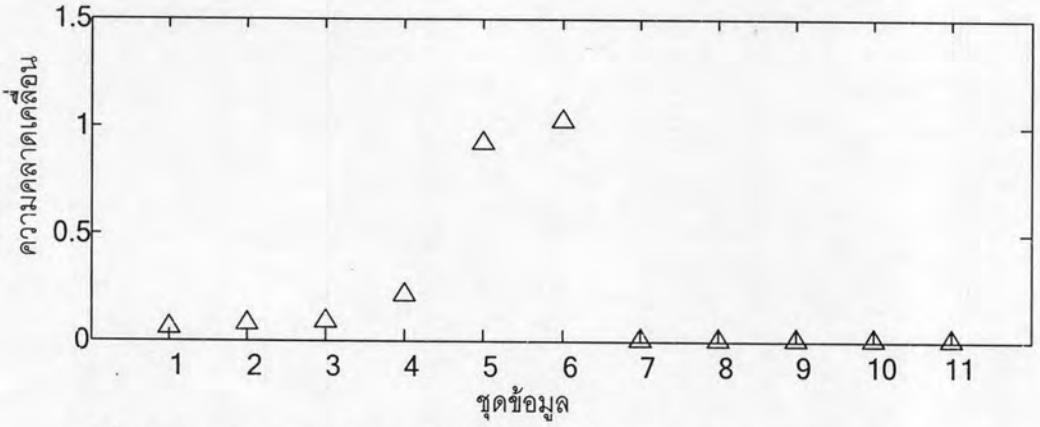
$$f_2 = -7.789x + 52.84 \tag{6.5}$$

$$f_1 = -7.348x + 96.53 \tag{6.6}$$

นำ ANFIS ที่ได้ป้อนขาเข้า x ตามชุดข้อมูลที่ 1 ถึง 11 ในตารางที่ 6.3 ขาออก y ที่ได้แสดงได้ดังรูปที่ 6.3 จากนั้นเปรียบเทียบขาออกที่ได้จาก ANFIS กับค่าขาออก y ของข้อมูลที่นำมาฝึกสอน พบว่าข้อมูลขาออกของ ANFIS ที่มีความคลาดเคลื่อนมากที่สุดสองอันดับแรกคือข้อมูลชุดที่ 6 และ 5 ตามลำดับ ซึ่งเป็นข้อมูลชุดที่มีตัวอย่างขาเข้าซ้ำกันแต่มีค่าขาออกตัวอย่างต่างกัน



รูปที่ 6.3 ผลการคำนวณค่า y ของ ANFIS เปรียบเทียบกับค่า y ของข้อมูลตัวอย่าง



รูปที่ 6.4 ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่า y ของANFIS กับค่า y ของข้อมูลตัวอย่าง

จากตัวอย่างข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ANFIS จะแยกแยะกรณีของขาเข้าต่าง ๆ โดยขาเข้าที่เหมือนกันจะให้ขาออกที่เหมือนกันเสมอ ดังนั้นถ้าข้อมูลฝึกสอนมีข้อมูลบางชุดที่ขาเข้าเหมือนกันแต่มีขาออกที่ต่างกัน ANFIS จะปรับตัวเองให้เกิดค่าขาออกเพียงค่าเดียว ซึ่งเมื่อนำ ANFIS ไปใช้งานจะเกิดความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น

ดังนั้นการกำหนดขาเข้าที่เป็นค่าดัชนีแทนตัวแปรควบคุมจะต้องกำหนดดัชนีที่เพียงพอให้ ANFIS สามารถแยกแยะกรณีของระบบที่มีความแตกต่างกันได้

6.4 แนวคิดในการกำหนดขาเข้าให้ ANFIS ในการคำนวณ ATC

ในการคำนวณ ATC แบบบัสต่อบัส ค่า ATC ระหว่างบัสต้นทางและบัสปลายทางขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาดังนี้

1.) กำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าบัสต้นทาง (P_{source})

2.) กำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าบัสปลายทาง (P_{sink})

3.) กำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าบัสต่าง ๆ (P_i)

4.) คุณสมบัติทางกายภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง เมื่อมีเหตุการณ์ผิดพลาดเกิดขึ้น

ทั้งนี้ในการคำนวณ ATC ปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้จะต้องนำมาเป็นขาเข้าของ ANFIS แต่เนื่องจากหากนำกำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าบัสอื่นทั้งหมดมาเป็นขาเข้าก็จะเกิดจำนวนพารามิเตอร์และจำนวนกฎที่มากเกินไป ดังนั้นการป้อนขาเข้าที่เป็นกำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าบัสต่าง ๆ ควรมีการลดรูปให้เป็นค่าที่สามารถสะท้อนคุณสมบัติต่าง ๆ ของกำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าบัสต่าง ๆ แทน ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าสู่บัสต่าง ๆ จะแทนด้วยดัชนีดังต่อไปนี้

6.4.1 ค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าบัส

กำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าบัสต่าง ๆ เป็นกลุ่มข้อมูลในระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งสามารถใช้ค่าเฉลี่ยเป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงระดับกำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าบัสต่าง ๆ โดยรวมได้ ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$P_{av} = \frac{\sum_{i=1, i\neq N_{source}, N_{sink}}^{N} P_i}{N-2} \tag{6.7}$$

โดย

P_{av} คือ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของบัสต่าง ๆ นอกเหนือจากบัสต้นทางและบัสปลายทาง

P_i คือ กำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าบัสที่ i

N_{source} คือ หมายเลขบัสต้นทาง

N_{sink} คือ หมายเลขบัสปลายทาง

N คือ จำนวนบัสทั้งหมดของระบบไฟฟ้ากำลัง

อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าบัสต่าง ๆ ไม่สามารถบ่งบอกถึงลักษณะการกระจายของข้อมูล ดังนั้นหากใช้ค่าเฉลี่ยเพียงค่าเดียวเป็นขาเข้าตัวแทนของกำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าบัสต่าง ๆ อาจไม่เพียงพอที่จะทำให้ ANFIS แยกแยะสภาวะของกำลังไฟฟ้าที่บัสต่าง ๆ ได้ เนื่องจากอาจเกิดกรณี 2 กรณีที่ข้อมูลกำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าบัสมีค่าเฉลี่ยเท่ากันแต่มีการกระจายตัวของข้อมูลต่างกัน ซึ่งจะส่งผลให้มีค่า ATC ที่ต่างกันไปด้วย

ดังนั้นจึงควรเพิ่มขาเข้าอีกตัว โดยกำหนดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าบัสต่าง ๆ เป็นขาเข้า เพื่อช่วยให้ ANFIS สามารถแยกความแตกต่างในกรณีที่กำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าบัสต่าง ๆ มีการกระจายตัวต่างกัน

6.4.2 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าบัส

การกระจายของข้อมูลกำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าบัสต่าง ๆ สามารถคำนวณได้โดยใช้สูตรค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานดังนี้

$$SD_P = \sqrt{\frac{\sum_{i=1, i\neq N_{source}, N_{sink}}^{N} (P_i - P_{av})^2}{((N-2)-1)}} \tag{6.8}$$

โดย

SD_P คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าบัสต่าง ๆ

P_{av} คือ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของบัสอื่น ๆ นอกเหนือจากบัสต้นทางและบัสปลายทาง

P_i คือ กำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าบัสที่ i

N_{source} คือ หมายเลขบัสต้นทาง

N_{sink} คือ หมายเลขบัสปลายทาง

N คือ จำนวนบัสทั้งหมดของระบบไฟฟ้ากำลัง

ถึงแม้ว่าการกำหนดขาเข้าตัวแทนของกำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าบัสต่าง ๆ ด้วยขาเข้าค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จะสามารถบ่งบอกได้ถึงระดับและการกระจายตัวทำให้ ANFIS สามารถคำนวณค่า ATC ได้ตรงตามกรณีต่าง ๆ ได้ แต่ก็เป็นไปได้ว่าอาจเกิดกรณีที่ระดับและการกระจายตัวของกำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าบัสต่าง ๆ เท่ากัน แต่มีค่า ATC ที่แตกต่างกัน เนื่องจากตำแหน่งของค่ากำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าบัสแตกต่างกัน ดังนั้นจึงควรมีค่าขาเข้าที่สามารถแยกแยะกรณีที่ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากัน

6.4.3 ค่าความสูญเสียในระบบ

ข้อมูลค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่ได้บ่งบอกถึงตำแหน่งของกำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าบัสต่าง ๆ ในกรณีที่ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังไฟฟ้าที่บัสต่าง ๆ มีค่าเท่ากัน แต่

ต่างกันที่ตำแหน่งของกำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าบัส จะส่งผลให้เกิดกำลังสูญเสียในระบบที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงกำหนดให้กำลังสูญเสียในระบบเป็นขาเข้าอีกตัวให้กับ ANFIS ซึ่งคำนวณได้ดังนี้

$$loss = \sum_{i=1}^{N} P_{gi} - \sum_{i=1}^{N} P_{di} \tag{6.9}$$

โดย

$loss$ คือกำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบ

P_{gi} คือกำลังการผลิตที่บัส i

P_{di} คือความต้องการกำลังไฟฟ้าที่บัส i

N คือจำนวนบัสทั้งหมดของระบบไฟฟ้ากำลัง

ดัชนีที่กล่าวมาข้างต้นกำหนดขึ้นเป็นขาเข้าของ ANFIS เพื่อให้ ANFIS สามารถแยกแยะสภาวะของกำลังไฟฟ้าที่บัสต่าง ๆ ทั้งระบบ แทนที่จะกำหนดกำลังไฟฟ้าที่ทุกบัสเป็นขาเข้าของ ANFIS อย่างไรก็ตามในการคำนวณ ATC ยังควรกำหนดขาเข้าที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า ATC ซึ่งก็คือ กำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าบัสต้นทาง (P_{source}) และกำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าบัสปลายทาง (P_{sink}) นอกจากนี้ควรกำหนดดัชนีที่บ่งบอกสภาวะของระบบ (C) เป็นขาเข้าอีกตัว เพื่อให้ ANFIS สามารถแยกแยะกรณีปกติของระบบกับกรณีที่มีเหตุการณ์ผิดพลาดเกิดขึ้น

6.5 วิธีการกำหนดขาเข้าของ ANFIS ที่นำเสนอ เพื่อใช้คำนวณค่า ATC

จากข้างต้น ขาเข้าของ ANFIS เพื่อคำนวณ ATC แบบบัสต่อบัสโดยครอบคลุมตัวแปรควบคุมของระบบทั้งหมด สามารถสรุปได้ดังนี้

1.) กำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าบัสต้นทาง (P_{source})

2.) กำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าบัสปลายทาง (P_{sink})

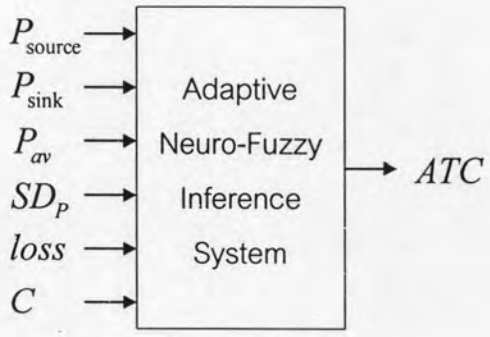
3.) ค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าบัสต่าง ๆ (P_{av})

4.) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าบัสต่าง ๆ (SD_P)

5.) กำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบ ($loss$)

6.) ดัชนีสภาวะ (category index, C) เป็นเลขจำนวนเต็มบ่งบอกถึงสภาวะของระบบ เช่นการเกิดเหตุการณ์ผิดพลาดในระบบ การหยุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในบางจุด เป็นต้น

รูปแบบขาเข้าที่นำเสนอแสดงดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 6.5 รูปแบบขาเข้าของ ANFIS ที่นำเสนอ เพื่อใช้คำนวณค่า ATC

6.6 การกำหนดขาเข้าในกรณีที่มีผลของอุปกรณ์ FACTS

ในกรณีที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ FACTS ในระบบไฟฟ้ากำลัง ผลของอุปกรณ์ FACTS ทำให้ระบบเกิดภาวะละเมิดขีดจำกัดของระบบส่งได้ยากขึ้น [6] ซึ่งส่งผลต่อค่า ATC ดังนั้นในการคำนวณ ATC จึงต้องคิดผลของอุปกรณ์ FACTS เข้าไปด้วย ซึ่งอุปกรณ์ FACTS ที่พิจารณาคือ SVC และ TCSC มีผลต่อการคำนวณ ATC ที่แตกต่างกันดังนี้

6.6.1 กรณีติดตั้ง SVC

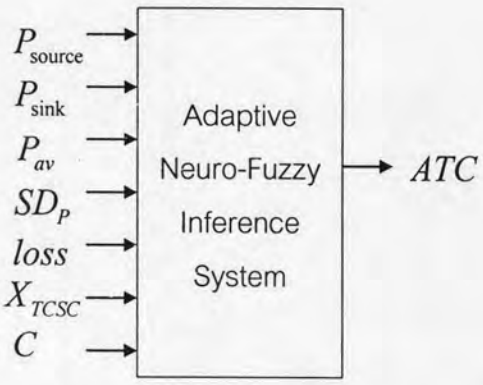
SVC เป็นอุปกรณ์ที่ต่อขนานกับระบบ จุดประสงค์ในการติดตั้ง SVC เพื่อควบคุมแรงดันไฟฟ้าในจุดที่ SVC ติดตั้ง ซึ่งในการทำโหลดโฟลว์จุดที่ติดตั้ง SVC เปรียบเสมือนบัสควบคุมแรงดัน (PV bus) โดยมี SVC เป็นตัวจ่ายกำลังรีแอกทีฟ SVC จึงมีผลต่อการทำโหลดโฟลว์ทำให้ค่า ATC ของระบบที่ติดตั้ง SVC มีค่าแตกต่างจาก ATC ของระบบที่ไม่มีการติดตั้ง SVC

ในการคำนวณ ATC ผลของ SVC จะแสดงออกมาในส่วนของการทำโหลดโฟลว์ โดย SVC จะส่งผลต่อแรงดันตรงจุดติดตั้ง ซึ่งค่าแรงดันที่บัสต่าง ๆ จะได้จากการทำโหลดโฟลว์โดยใช้ข้อมูลเบื้องต้นซึ่งประกอบด้วยกำลังการผลิตที่บัสต่าง ๆ และลักษณะทางกายภาพของระบบ ดังนั้นในการใช้ ANFIS คำนวณ ATC ของระบบที่มี SVC ติดตั้งอยู่ ทำได้โดยการนำข้อมูลฝึกสอนที่มาจากผลการทำ RPF ของระบบที่ติดตั้ง SVC มาฝึกสอน ANFIS ได้ทันทีโดยไม่ต้องมีการกำหนดขาเข้าเพิ่มเติม

6.6.2 กรณีติดตั้ง TCSC

TCSC เป็นอุปกรณ์ที่ต่ออนุกรมกับสายส่งไฟฟ้ากำลัง จุดประสงค์ในการติดตั้ง TCSC เพื่อควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายส่ง โดย TCSC เปรียบเสมือนรีแอกแตนส์ปรับค่าได้ ซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของระบบส่ง การเปลี่ยนค่ารีแอกแตนส์ของ TCSC จึงมีผลต่อกำลังไฟฟ้าที่ไหลภายในสายส่งทุกเส้นในระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งส่งผลต่อค่า ATC ตามมา

การเปลี่ยนแปลงค่ารีแอกแตนส์ของ TCSC ทำให้ค่าเมตริกส์แอดมิตแตนส์ของระบบเปลี่ยนไป ซึ่งเมตริกส์แอดมิตแตนส์เป็นค่าตั้งต้นในการทำโหลดโฟลว์ ในการคำนวณ ATC ด้วยวิธี RPF จึงต้องกำหนดค่ารีแอกแตนส์ของ TCSC ก่อนที่จะทำโหลดโฟลว์ให้ได้ค่า ATC และค่า ATC ที่ได้ก็จะเป็นค่า ATC ของกรณีโหลดและกำลังผลิตที่พิจารณาในขณะที่ปรับตั้งรีแอกแตนส์ของ TCSC ค่าหนึ่ง ดังนั้นในการคำนวณ ATC ด้วย ANFIS จึงต้องกำหนดรีแอกแตนส์ของ TCSC (X_{TCSC}) ให้เป็นขาเข้าตัวหนึ่งของ ANFIS ดังรูป



รูปที่ 6.6 รูปแบบขาเข้าของ ANFIS ที่นำเสนอ เพื่อใช้คำนวณค่า ATC โดยรวมผลของ TCSC

6.7 สรุป

การกำหนดขาเข้าที่นำเสนอในบทนี้ มีแนวคิดพื้นฐานเพื่อที่จะให้ ANFIS สามารถแยกแยะสภาวะต่าง ๆ ของระบบได้ โดยพยายามให้มีขาเข้ามีจำนวนน้อยแต่เพียงพอที่จะสะท้อนสภาวะของระบบที่แตกต่างกันได้ นำไปสู่การคำนวณค่า ATC ที่แม่นยำขึ้น แนวคิดในการกำหนดขาเข้าในบทนี้จะแตกต่างจากแนวคิดการกำหนดขาเข้าของ ANFIS ในการคำนวณ ATC ที่นำเสนอก่อนหน้านี้ โดย Khairuddin et al. และ Vinod Kumar et al. นอกจากนี้ในบทนี้ได้นำเสนอการกำหนดขาเข้าของ ANFIS ในกรณีที่มีอุปกรณ์ FACTS ติดตั้งในระบบ ซึ่งรูปแบบขาเข้าที่นำเสนอเหล่านี้จะนำไปใช้ทดสอบคำนวณ ATC ในบทต่อไป