บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีความสำคัญต่อระบบไฟฟ้าและมีราคาต้นทุนสูงมาก ความเสียหายใดๆที่เกิดขึ้น นอกจากจะทำให้งานด้านบริการทางด้านไฟฟ้าหยุดชะงักลงแล้วยังส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์อื่นๆ ในระบบอีกด้วย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะมีการบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้าเชิงป้องกัน(Preventive Maintenance) โดยที่นำผลการตรวจวัดทางน้ำมันและผลการตรวจวัดทางไฟฟ้าเพื่อนำผลมาวิเคราะห์หาความผิดปกติที่เกิดขึ้นภายในหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งเป็นวิธีที่สะดวก ปลอดภัย และประหยัดต้นทุนในการบำรุงรักษา สามารถทำนายความผิดปกติหรือความเสียหายที่จะเกิดขึ้นล่วงหน้าได้ เพื่อจะได้ทำการแก้ไขปัญหาที่จะเกิดขึ้นกับหม้อแปลงไฟฟ้าได้ทันท่วงทีโดยที่ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องตามลำดับดังนี้

2.1 น้ำมันหม้อแปลง[1][5]

น้ำมันหม้อแปลงมีหน้าที่หลักคือเป็นฉนวน และระบายความร้อนจากภายในหม้อแปลงออกสู่บรรยากาศภายนอก โดยฉนวนน้ำมันที่ดีจะต้องมีค่า Breakdown Voltage สูงตามมาตรฐานจะต้องมีค่าคุณสมบัติอื่นๆ ตามมาตรฐาน IEC 296 หรือ BS 148/1978 หรือ ASTWD 3487 น้ำมันที่ดีนอกจากระบายความร้อนได้ดีมีสภาพเป็นฉนวนแล้ว ต้องไม่รวมตัวกับความชื้นได้ง่ายไม่ทำปฏิกิริยากับอุปกรณ์ที่แช่อยู่จะต้องไม่เป็นกรด ด่าง กำมะถัน มีความหนืดต่ำ และตกตะกอนยาก

2.1.1 องค์ประกอบของน้ำมันหม้อแปลง ส่วนประกอบส่วนใหญ่ในน้ำมันหม้อแปลงซึ่งจะมีธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจน ธาตุทั้งสองนี้รวมตัวกันอยู่ในรูปของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมีปริมาณมากกว่า 75%ขึ้นไปส่วนกำมะถัน ไนโตรเจน ออกซิเจน และธาตุอื่นๆ โดยจะอยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ละลายอยู่ในน้ำมันดิบ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีอยู่ในน้ำมันหม้อแปลงนั้นมีขนาดโมเลกุลตั้งแต่เล็กสุดคือ มีเทน ซึ่งมีอะตอมของคาร์บอนเพียง 1 ตัวไปจนถึงขนาดโมเลกุลที่ใหญ่โดยมีอะตอมของคาร์บอนถึง 80 ตัว สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ประเภทใหญ่ๆ ตามลักษณะโครงสร้างของโมเลกุลคือ

- Normal Paraffins หรือที่เรียกกันทางศัพท์เคมีว่า N–Alkanes สารไฮโดรคาร์บอนประเภทนี้มีโครงสร้างเป็นอะตอมของคาร์บอนเรียงต่อกันเป็นเส้นยาวแต่ละตัวของคาร์บอนก็มีอะตอมไฮโดรเจนจับอยู่จนอิ่มตัวขนาดโมเลกุลของสารประเภทนี้ในน้ำมันดิบมีตั้งแต่ตัวที่ประกอบด้วย 1 อะตอม ของคาร์บอนไปจนถึงราว 42 อะตอม มีสูตรทางเคมีดังนี้ C_nH_{2n-2} มี n เป็นจำนวนอะตอมของคาร์บอนในโมเลกุล

- ISO Paraffins หรือที่เรียกกันทางศัพท์เคมีว่า ISO - Alkanes มีลักษณะของโครงสร้างเป็นอะตอมของคาร์บอนเรียงต่อกันโดยแยกสาขาออกด้านข้างด้วยแต่ละตัวของคาร์บอนก็มีอะตอมของไฮโดรเจนจับอยู่จนอิ่มตัวดังนั้นจึงมีสูตรทางเคมีเหมือนกับพวก Normal Paraffins คือ C_nH_{2n-2} พวก Paraffins ทั้งสองประเภทนี้มีอยู่มากในน้ำมันเชื้อเพลิงใส (Distillates)

- Naphthenes หรือที่เรียกกันทางศัพท์เคมีว่า Cyclo – Alkanes มีลักษณะของโครงสร้างโดยประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนต่อเรียงตัวกันเป็นวงอาจจะเป็นวงละ 5 ตัว 6 ตัว หรือ 7 ตัวโดยมีดังตัวอย่างข้างล่างซึ่งมีสูตรทางเคมีเป็น $C_n H_{2n-2} 2R_n$ โดยที่ n เป็นจำนวนอะตอมของคาร์บอน และมี R_n เป็นจำนวนของวงคาร์บอนที่มีอยู่ในโมเลกุล

- Aromatics หรือที่เรียกกันทางศัพท์เคมีว่า Arenes เป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างประกอบด้วย Benzenes Ring

- Mixed Naphtheno - Aromatics เป็นไฮโดรคาร์บอนประเภทที่มีทั้ง Naphthenic Ring และ Aromatic Rings อยู่ในโมเลกุลเดียวกัน

2.1.2 การเกิดก๊าซในน้ำมันหม้อแปลง ถ้านำน้ำมันและกระดาษฉนวนของหม้อแปลงไฟฟ้าไปทำการทดสอบภายในห้องปฏิบัติการ จะทำให้เราทราบผลที่เกิดขึ้นกับหม้อแปลงเมื่อเราเก็บตัวอย่างของข้อมูลดังต่อไปนี้

- กระดาษฉนวนของหม้อแปลงไฟฟ้าส่วนใหญ่ ใช้กระดาษชุบน้ำมันและกระดาษอัดแรง เนื่องจากขีดจำกัดของฉนวนประเภทนี้จะใช้กับอุณหภูมิได้ถึง 105°C เนื่องจากกระดาษสามารถดูดซึมความชื้นได้ง่ายจากบรรยากาศฉะนั้นการฉนวนประเภทนี้ จะต้องปลอดจากความชื้นในขณะใช้งานน้ำมันหม้อแปลงทำหน้าที่เป็นฉนวนและระบายความร้อนโดยวนเวียนผ่านแกนเหล็กและที่ขดลวดอุณหภูมิใช้งานอยู่ในช่วง -40 ถึง +50°C ออกซิเดชั่นอาจเกิดขึ้นในน้ำมันได้ ถ้าหากน้ำมันสัมผัสกับออกซิเจนที่อุณหภูมิสูง ซึ่งจะเป็นผลให้เกิดหยดน้ำ กรด และตะกอน ก่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีกัดกร่อนฉนวนกระดาษและโลหะส่วนตะกอนที่เกิดขึ้น จะทำให้การระบายความร้อนของขดลวดลดลงอุณหภูมิของน้ำมัน จะสูงขึ้นจนแตกตัวออกเป็นไฮโดรเจนและก๊าซไฮโดรคาร์บอนซึ่ง

นำไปสู่การระเบิดของหม้อแปลงไฟฟ้าได้ ซึ่งปัญหาต่างๆที่ได้กล่าวมาแล้วเราสามารถป้องกันและแก้ปัญหาได้โดยการตรวจวัดค่าความเป็นฉนวนของน้ำมันเป็นระยะๆ และอาจต้องกรองน้ำมันเพื่อขจัดสิ่งเจือปนทั้งหลายที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ตามเหตุผลดังที่กล่าวมาแล้วหรือต้องมีการสับเปลี่ยนสารดูดความชื้น(Silicagel) ตามวาระอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง

- เกิดความร้อนสูงภายในกระดาษฉนวน เมื่อกระดาษฉนวนมีความร้อนเกิดขึ้นมากจากการวิเคราะห์ในเบื้องต้นแสดงให้เห็นถึงการเสื่อมสภาพของกระดาษฉนวนที่อุณหภูมิประมาณ 140 องศาเซลเซียส จะเกิดการสะสมก๊าซภายในหม้อแปลงไฟฟ้าดังนี้

คาร์บอนมอนน็อกไซด์(CO)

คาร์บอนไดออกไซด์(CO_2)

น้ำ(H_2O)

- เกิดความเสียหายกับกระดาษฉนวน เมื่อกระดาษฉนวนได้รับความร้อนจนเกิดความเสียหายเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 250 องศาเซลเซียส (สำหรับหม้อแปลงประเภทซีลด์) โดยการเกิดก๊าซคาร์บอนมอนน็อกไซด์(CO) สูงกว่าคาร์บอนไดออกไซด์(CO_2) (หรือในบางครั้งอาจจะสูงกว่า 4 เท่า โดยเทียบกับค่ามาตรฐาน)

- การเกิดความร้อนภายในน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อฉนวนน้ำมันหม้อแปลงถูกทำให้มีความร้อนสูงเกิน 500 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดสารประกอบไฮโดรคาร์บอนดังนี้

เอททีลีน(C_2H_4)

อีเทน(C_2H_6)

มีเทน(CH_4)

และเมื่อความร้อนต่ำกว่า 500 องศาเซลเซียส จะเกิดสารประกอบของออกซิเจนดังนี้

คาร์บอนไดออกไซด์(CO_2)(400°C)

น้ำ(H_2O)(200°C)

ดังนั้น ก๊าซที่ใช้ในการวิเคราะห์โดยทั่วไปมีอยู่ 7 ก๊าซ ได้แก่ ไฮโดรเจน(H_2), คาร์บอนไดออกไซด์(CO_2), คาร์บอนมอนนอกไซด์(CO), มีเทน(CH_4), อีเทน(C_2H_6), เอทิลีน(C_2H_4), อะเซทิลีน(C_2H_2)

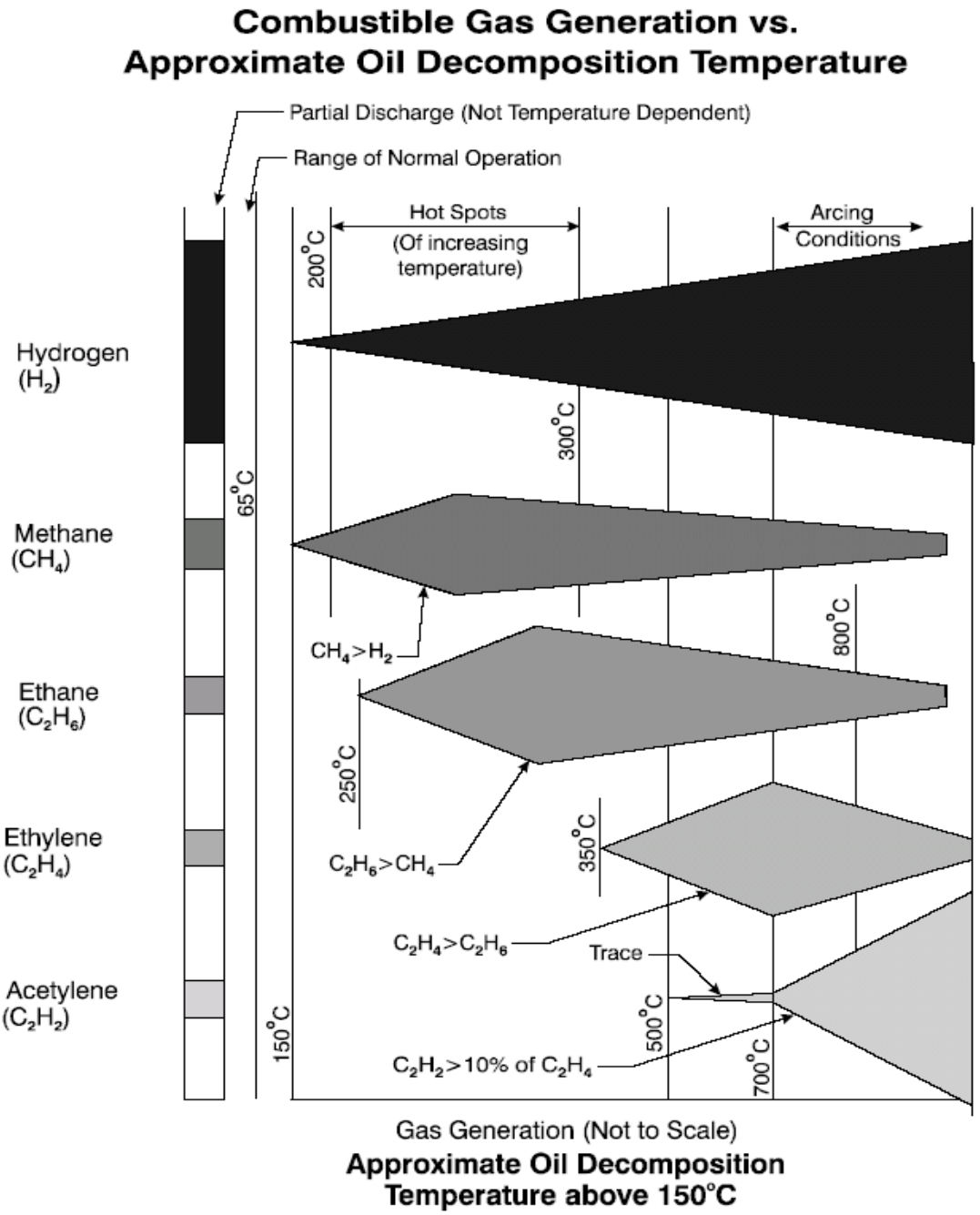
โดยที่ก๊าซแต่ละชนิดเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการเกิดก๊าซจะไม่เท่ากันจะมีเพียง ไฮโดรเจนและอะเซทิลีน ที่มีอัตราเพิ่มมากขึ้นไปตามอุณหภูมิ ส่วนก๊าซที่เหลือจะเพิ่มตามอุณหภูมิไปจนถึงจุดหนึ่งแล้วกลับลดลงมาแม้อุณหภูมิสูงขึ้นไปอีกก็ตามแต่ด้วย การที่ไฮโดรเจนเกิดขึ้นตั้งแต่อุณหภูมิไม่สูงนักและที่สำคัญคืออัตราการเกิดไม่ถูกกระทบด้วยผลของความร้อน

- น้ำมันหม้อแปลงได้รับความร้อนสูงมาก ในกรณีที่ได้รับความเครียดทางไฟฟ้าสูงมากมี Hydrogen Gas สูงและมี Hydrocarbon Gas ต่ำ แสดงถึงเกิด Partial Discharge มี Hydrogen Gas สูง และ มี Hydrocarbon Gas สูง ยกเว้น Acetylene Gas แสดงว่าเกิด Overheat ที่บริเวณจุดต่อถ้าจุดที่เกิดมีฉนวนกระดาษอยู่ด้วยก็จะพบ Carbon Dioxide Gas สูงด้วย สัดส่วนของปริมาณ Hydrocarbon Gas ต่างๆ ที่นำมาจับคู่เปรียบเทียบกันจะทำให้ทราบถึงอุณหภูมิที่จุดนั้นได้มีก๊าซ เช่นเดียวกับกรณีที่เกิด Overheat และพบ Acetylene ด้วยแสดงว่าเกิด Arcing ก๊าซ Carbon Dioxide และ Carbon Monoxide เกิดขึ้นจากการใช้งานปกติ ฉนวนประเภท Cellulose เสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นที่ลวดตัวนำขณะจ่าย Load เช่น อาร์ก จะทำให้เกิดก๊าซภายในน้ำมันหม้อแปลงซึ่งมีปริมาณแตกต่างกันดังต่อไปนี้

ไฮโดรเจน(H_2)	60.0 – 80.0%
อะซิทิลีน(C_2H_2)	10.0 – 25.0%
มีเทน(CH_4)	1.5 – 3.5%
อีเทน(C_2H_6)	1.0 – 2.9%

จากแผนภูมิของก๊าซต้องการแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ชนิดของก๊าซและปริมาณของก๊าซที่เกิดขึ้น จะพบว่า ปริมาณก๊าซของ H_2, CH_4 และ CO จะเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยตามอายุของหม้อแปลงซึ่งถือว่าเป็นเรื่องปกติ การเสื่อมสภาพของฉนวนกระดาษมีสาเหตุมาจากความร้อนและทำให้เกิดก๊าซ CO, CO_2, H_2, CH_4 และ O_2 ซึ่งการเสื่อมสภาพของฉนวนกระดาษจะเริ่มขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 100°C หรือน้อยกว่า ดังนั้นการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าที่อุณหภูมิไม่เกิน 90°C นั้นเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ ซึ่งฟอท์ลจะเป็นผลจากการเกิดจุดร้อนภายในหม้อแปลงไฟฟ้าที่อุณหภูมิสูงกว่านี้และเป็นผลให้เกิดก๊าซเจือปนน้ำมันหม้อแปลง

จากแผนภูมิของก๊าซต้องการแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิชนิดของก๊าซและปริมาณของก๊าซที่เกิดขึ้น



ภาพที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและก๊าซที่เกิดขึ้น

2.2 การตรวจวัดทางน้ำมัน[2]

2.2.1 การวิเคราะห์ก๊าซ(Dissolved Gas Analysis) ที่เจือปนอยู่ในน้ำมันหม้อแปลงเป็นการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าในสภาวะวิกฤต เพื่อเฝ้าติดตามการทำงานทางกลและทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งเป็นวิธีการที่มีประโยชน์ อย่างยิ่งต่อการวินิจฉัยความผิดปกติและปัญหาที่เกิดจากการใช้งานกับหม้อแปลงไฟฟ้าและตัวเปลี่ยนแท็ป หรืออุปกรณ์ชนิดฉนวนน้ำมันถูกใช้งานภายใต้สภาวะความร้อนและความเครียดทางสนามไฟฟ้าสูงๆ อาจจะมีโอกาสทำให้เกิดความผิดปกติขึ้นได้ ในที่สุดความผิดปกติอาจจำแนกได้ 3 ประเภทด้วยกันคือ

- การเกิดเบรกดาวน์บางส่วน
- การเกิดความร้อนสูง
- การเกิดอาร์ก

พลังงานที่เกิดขึ้นเหล่านี้จะเป็นผลทำให้เกิดความผิดปกติขึ้น และเป็นสาเหตุทำให้น้ำมันเกิดเบรกดาวน์ผลของการเบรกดาวน์หรือที่เรียกว่าก๊าซที่เจือปนในน้ำมัน ทำให้เกิดการปนเปื้อนซึ่งสามารถทำการตรวจวัดเพื่อหาชนิดและความรุนแรง ของความผิดปกติที่เกิดขึ้นได้การวิเคราะห์น้ำมันหม้อแปลงจากการเกิดก๊าซเจือปนในน้ำมันทำให้เราสามารถตรวจวัดความผิดปกติ ที่เริ่มเกิดได้ก่อนที่จะเกิดความเสียหายกับหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งนำไปสู่การเกิดไฟดับและความสูญเสียอีกหลายอย่างตามมา

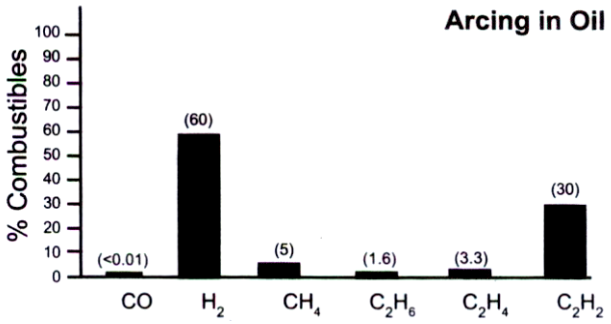
ในการตรวจวัดปริมาณก๊าซที่เจือปนในน้ำมันหม้อแปลงโดยใช้เครื่องมือที่มีชื่อว่า MYRKOS Transformer Fault Gas Analyzer ซึ่งเครื่องมือชนิดนี้ถูกออกแบบมาให้มีความถูกต้องแม่นยำ สำหรับการตรวจวัดก๊าซทั้ง 7 ชนิดซึ่งเกิดจากความผิดปกติภายในหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดฉนวนด้วยน้ำมันได้แก่ ไฮโดรเจน(H_2), คาร์บอนไดออกไซด์(CO_2), คาร์บอนมอนนอกไซด์(CO), มีเทน(CH_4), อีเทน(C_2H_6), เอทิลีน(C_2H_4), อะเซทิลีน(C_2H_2)

- Fault Gas ก๊าซที่เกิดขึ้นในน้ำมันหม้อแปลงและเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปสามารถแสดงได้ตามตารางที่ 2.1 และภาพที่ 2.2 , 2.3 , 2.4 , 2.5

ตารางที่ 2.1 แสดงชนิดการเกิดฟอลท์

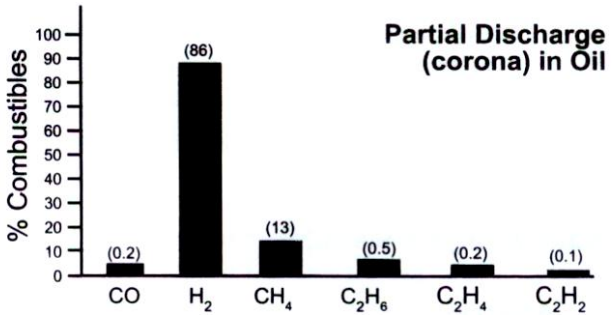
ก๊าซที่ตรวจสอบพบ	ความหมาย
ก๊าซ N_2 +5% หรือน้อยกว่า O_2	การใช้งานปกติของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด Seal Type
ก๊าซ N_2 มากกว่า 5% ของก๊าซ O_2	ตรวจรอยรั่วของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด Seal Type
ก๊าซ N_2 , CO_2 , CO หรือทั้งหมด	หม้อแปลงไฟฟ้าใช้งานโหลดเกินหรือเกิดความร้อนในการทำงานสาเหตุเนื่องจากเกิดเบรกดาวน์ในกระดาษฉนวนให้ตรวจสอบเงื่อนไขการใช้งาน
ก๊าซ N_2 และ H_2	เกิดดิสชาร์จบางส่วน,เกิดแยกน้ำเป็นออกซิเจนหรือเกิดสนิม
ก๊าซ N_2, H_2, CO_2 และ CO	เกิดดิสชาร์จบางส่วนขึ้นภายในกระดาษฉนวนหรือเกิดจากการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าเกินโหลด
ก๊าซ N_2, H_2, CH_4 และเกิดปริมาณก๊าซ C_2H_6 และ C_2H_4 เล็กน้อย	สปาร์คหรือเกิดฟอลท์ประเภทเนื่องจากการเกิดเบรกดาวน์ภายในน้ำมันหม้อแปลง
ก๊าซ N_2 ร่วมกับ H_2 ปริมาณสูงและมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เช่น C_2H_2 เล็กน้อย	เกิดอาร์กชนิดที่มีพลังงานสูงมากสาเหตุเนื่องจากการเสื่อมสภาพของน้ำมันอย่างรวดเร็ว
ก๊าซ N_2 ร่วมกับ H_2 ปริมาณสูง, CH_4และ C_2H_4 ในปริมาณสูงและมี C_2H_2 เล็กน้อย	เกิดอาร์กในน้ำมันที่อุณหภูมิสูงภายในบริเวณแคบๆ ตัวอย่างเช่น เกิดลัดวงจรระหว่างรอบขดลวด
มีปริมาณก๊าซเหมือนข้างบน แต่มี CO_2 และ CO เกิดร่วมอยู่ด้วย	เกิดอาร์กในน้ำมันที่อุณหภูมิสูงภายในบริเวณแคบๆ ของกระดาษฉนวน

Key Gas : อะซิทิลีน (C_2H_2) มีก๊าซชนิดอื่นในปริมาณเล็กน้อย



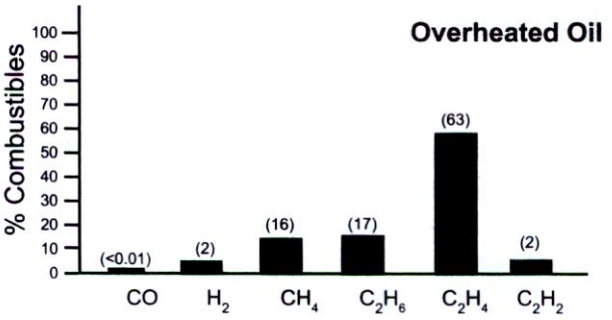
ภาพที่ 2.2 แสดงอาร์กในน้ำมันหม้อแปลง

Key Gas : ไฮโดรเจน (H_2) เกิดในปริมาณที่สูงมาก



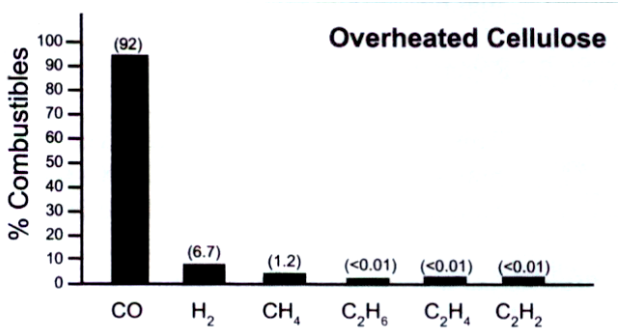
ภาพที่ 2.3 แสดงเบรกดาวน์บางส่วน(โคโรน่า) ในน้ำมันหม้อแปลง

Key Gas : เอทิลีน (C_2H_4) เกิดจากการเสื่อมสภาพของน้ำมันหม้อแปลงเนื่องจากเกิดความร้อนสูง



ภาพที่ 2.4 แสดงความร้อนสูงในน้ำมันหม้อแปลง

Key Gas : คาร์บอนมอนน็อกไซด์ (CO)



ภาพที่ 2.5 แสดงความร้อนสูงในกระดาษฉนวนของหม้อแปลง

การวินิจฉัยหม้อแปลงไฟฟ้าโดยใช้ค่าของก๊าซที่ลายอยู่ในน้ำมัน คู่มือใช้ในการจำแนกความเสี่ยงที่อาจเป็นไปได้โดยใช้ DGA เพื่อวิเคราะห์ปัญหาที่อาจจะเกิดกับหม้อแปลงไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEEE C-57-104-1991 ซึ่งจะดูจากค่าก๊าซแต่ละชนิดและก๊าซที่เผาไหม้ทั้งหมดเพื่อใช้ในการประเมินหม้อแปลงไฟฟ้าโดยจะมีอยู่สี่เงื่อนไข

Status	H_2	CH_4	C_2H_2	C_2H_4	C_2H_6	CO	CO_2[1]	TDCG
Condition 1	100	120	35	50	65	350	2,500	720
Condition 2	101-700	121-400	36-50	51-100	66-100	351-570	2,500-4,000	721-1,920
Condition 3	701-1,800	401-1,000	51-80	101-200	101-150	571-1,400	4,001-10,000	1,921-4,630
Condition 4	>1,800	>1,000	>80	>200	>150	>1,400	>10,000	>4,630

[1] CO_2 is not included in adding the numbers for TDCG because it is not a combustible gas.

ภาพที่ 2.6 แสดงขีดจำกัดของก๊าซที่ละลายอยู่ในน้ำมันหม้อแปลงส่วนในล้านส่วน (ppm)

เงื่อนไขที่ 1 ก๊าซที่เผาไหม้ทั้งหมดที่ละลายอยู่ในน้ำมัน (TDCG) ต่ำกว่าระดับนี้บ่งชี้ว่าหม้อแปลงไฟฟ้าอยู่ในสภาพที่ดี

เงื่อนไขที่ 2 ก๊าซที่เผาไหม้ทั้งหมดที่ละลายอยู่ในน้ำมัน (TDCG) ในช่วงนี้แสดงถึงการเผาไหม้สูงกว่าปกติควรจะมีการตรวจสอบเพิ่มเติมและควรนำค่า DGA ไปคำนวณก๊าซที่เกิดขึ้นต่อวัน

เงื่อนไขที่ 3 ก๊าซที่เผาไหม้ทั้งหมดที่ละลายอยู่ในน้ำมัน (TDCG) ในช่วงนี้แสดงถึงระดับสูงของการสลายตัวของเซลลูโลสฉนวนหรือน้ำมันควรนำค่า DGA ไปคำนวณและประเมินก๊าซที่ถูกผลิตขึ้นต่อวัน

เงื่อนไขที่ 4 ก๊าซที่เผาไหม้ทั้งหมดที่ละลายอยู่ในน้ำมัน (TDCG) ในช่วงนี้ซึ่งแสดงถึงระดับของการสลายตัวของเซลลูโลสฉนวนหรือน้ำมันมากเกินไปควรที่จะเข้าบำรุงรักษาทันที

2.2.2 การทดสอบแรงดันเบรกดาวน์(Dielectric Breakdown Voltage Test) โดยวิธีการสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับผ่านน้ำมันเป็นการวัดค่าความสามารถของน้ำมันในการคงทนต่อความเครียดสนามไฟฟ้ากระแสสลับ โดยไม่เกิดความเสียหายตามมาตรฐาน ASTM D877, D1816 หรือ IEC156 ค่าความคงทนต่อแรงดันเบรกดาวน์จะบอกให้ทราบถึงสิ่งเจือปนที่อยู่ในน้ำมันในรูปของสิ่งสกปรก(Contamination) เช่น เศษเส้นใยของฉนวนแข็ง , เศษตัวนำ (Conductive Particles), น้ำ, ฝุ่นละออง หรือความสกปรกต่างๆ น้ำมันที่มีความสกปรกปนอยู่มากจะมีค่า Breakdown ต่ำ น้ำมันที่สะอาดหรือผ่านการกรองมาใหม่ๆ จะมีค่า Breakdown สูง ปกติจะทำให้การทดสอบทุก 6 เดือน สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีความสำคัญมาก และจะทำการทดสอบทุก 1 ปี สำหรับหม้อแปลงปกติ ซึ่งตามมาตรฐาน ASTM D877-87 หรือ D1816 , IEC156 กำหนดว่าไม่ควรต่ำกว่า 26 kV จึงจะถือว่าพอใช้งานต่อไปได้อย่างปลอดภัย

ค่าแรงดันเบรกดาวน์ขั้นต่ำของน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าตามข้อกำหนดตามมาตรฐาน ASTM D877–87 สามารถแบ่งสภาพของน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าได้ดังนี้

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าแรงดันเบรกดาวน์

Dielectric Breakdown Voltage at 50Hz [Kv]	ระดับแรงดันไฟฟ้า	Good
ASTM D877	<=69Kv	>26
	69-288Kv	>26
	>345Kv	>26

2.2.3 การตรวจวัดความชื้น(Water Content test) ภายในน้ำมันหม้อแปลงจะทำการตรวจวัดโดยวิธี Coulometric Karl Fisher Titration ด้วย Electricity Titration ซึ่งเป็นการเติมอิเล็กโตรไลต์เข้าไปใน Titration Cell แล้วทำการวัดความชื้นจากการเกิดขึ้นของ Free Iodine ที่ใช้ในการไตรเตรทด้วยเครื่อง Mitsubishi Portable Karl Fisher Moisture Meter Model CA-21 ตามมาตรฐาน ASTM D1533

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าการตรวจวัดความชื้น

Water Content [mg/kg]	ระดับแรงดันไฟฟ้า	Good
มาตรฐาน ASTM D1553	<=69Kv	<=35
	69-288Kv	<=25
	>345Kv	<=20

2.2.4 การวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของฉนวนที่เป็นของแข็ง(Furan) โดยจะถูกสร้างขึ้นมาจากเซลลูโลสในการเสื่อมสภาพของฉนวนกระดาษที่เกิดจากความร้อนที่และเกิดการออกซิเดชันและความเครียดทางไฟฟ้า ความเข้มข้น Furans ที่วัดโดยโครมาโตของเหลวประสิทธิภาพสูง (HPLC) หรือก๊าซ Chromatography - Mass Spectrometry (GC / MS) อยู่บนพื้นฐานตามมาตรฐาน ASTM D 5837

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าการเสื่อมสภาพของฉนวนที่เป็นของแข็ง

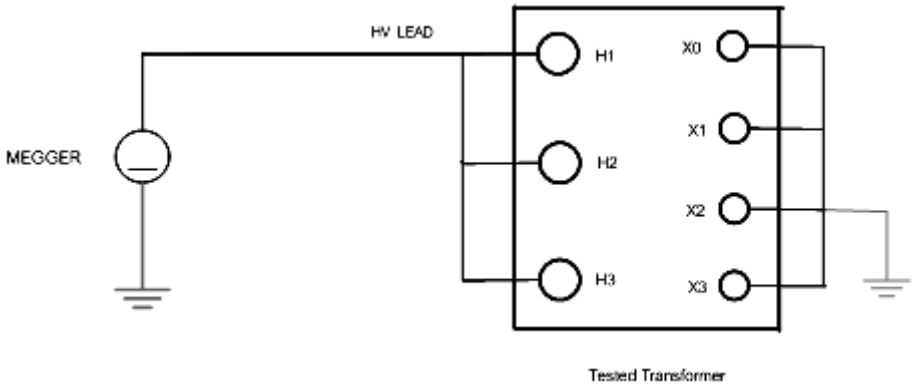
Furan Analysis	Voltage Class	Acceptable value (ppb)
ASTM D5873	> 115 kV	< 1000 for open type < 100 for sealed type

2.3 การตรวจวัดทางไฟฟ้า

2.3.1 การวัดค่าความต้านทานของฉนวน(Insulation Resistance Measurement) วิธีการให้ลัดวงจรของขดลวดในแต่ละชุดของหม้อแปลงเข้าด้วยกันเพื่อที่จะให้แรงดันทดสอบมีค่าเท่ากัน ในแต่ละเฟสถ้าขดลวดทดสอบมีพิกัดแรงดันตั้งแต่ 3,300 Vขึ้นไปให้ทดสอบด้วยแรงดัน 2,500 Vdc และถ้าพิกัดแรงดันน้อยกว่า 3,300 V ลงมาให้ทดสอบด้วยแรงดัน 1,000 Vdc จากนั้นทดสอบตั้งแต่ 1 นาที – 10 นาที แล้วคำนวณค่า Polarization Index (PI) หรือค่าอัตราส่วนความต้านทานฉนวนที่นาทีที่ 10 ต่อนาทีที่ 1 ตามมาตรฐาน IEEE C57.125-1999

ตารางที่ 2.5 แสดงค่าอัตราส่วนความต้านทานฉนวนที่นาทีที่ 10 ต่อนาทีที่ 1

สภาพ	PI
ดี	มากกว่า 2.0
น่าสงสัย	1.25 – 1.1
อัตราย	น้อยกว่า 1.1

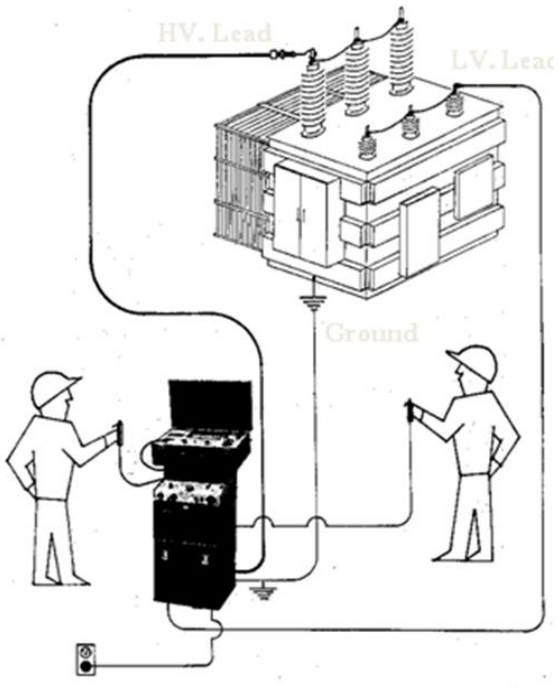


ภาพที่ 2.7 แสดงวงจรวัดค่าความต้านทานฉนวน

2.3.2 การวัดค่าสภาพของฉนวน(Insulation Power – Factor Measurement) วิธีการโดยค่า PI มีค่าระหว่าง 1.1 – 1.15 ให้ทดสอบค่าความสูญเสียและ %PF ที่แรงดัน 2.5 kV ที่พิกัดแรงดัน 3 – 5 kV ทดสอบที่แรงดัน 5 kV ที่พิกัดแรงดัน 5 – 10 kV และทดสอบที่แรงดันมากกว่า 10 kV ที่พิกัดมากกว่า 10 kV ตามมาตรฐาน NETA MTS-05

ตารางที่ 2.6 แสดงค่าสภาพของฉนวน(%PF)

ชนิด	สภาพดี (%PF)	น่าสงสัย (%PF)	อัตราย (%PF)
Power Tx	< 0.5	0.5 – 1.0	> 1.0
Dist Tx	< 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
DRY - Type	< 2.0	2.0 – 5.0	> 5.0
ASKAREL	< 0.5	0.5 – 10.0	> 10.0



Artist's Drawing Showing Doble Test on a
Three-Phase Two-Winding Power Transformer

FIGURE 3

ภาพที่ 2.8 แสดงวงจรวัดค่าสภาพของฉนวน(%PF)

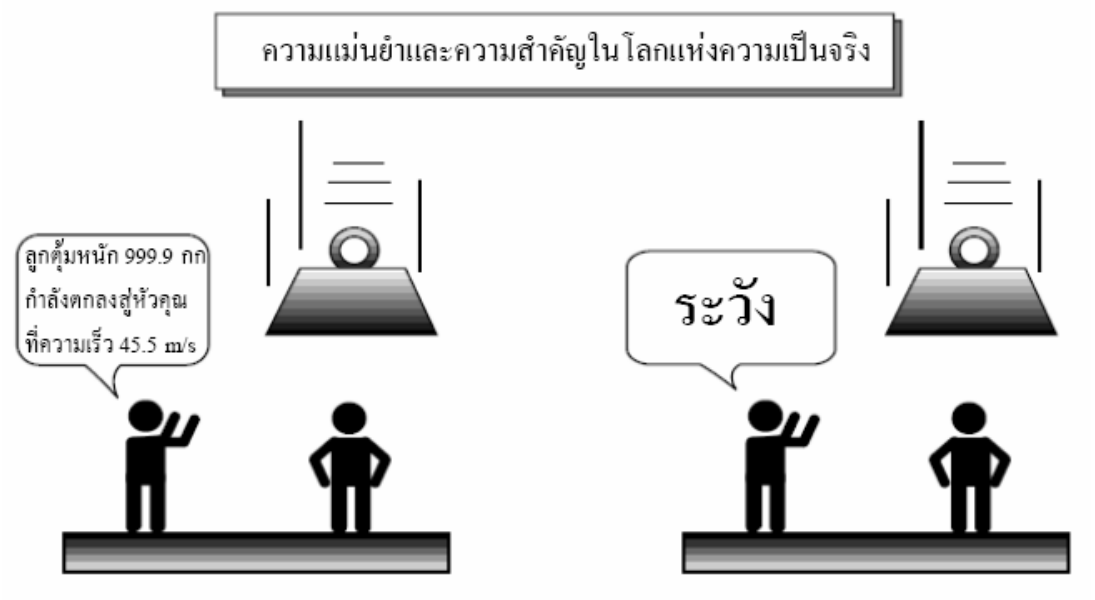
2.3.3 การวัดค่ากระแสกระตุ้นวงจรด้านแรงสูง(High Voltage Exciting Current Measurement) การทดสอบจะใช้เครื่องวัด %PF โดยทำการวัดค่ากระแสกระตุ้นด้วยแรงดันสูงที่ด้านแรงดันสูงของหม้อแปลงเพียงด้านเดียวตามมาตรฐาน NETA MTS-05

ตารางที่ 2.7 แสดงค่ากระแสกระตุ้นวงจรด้านแรงสูง

สภาพ	Ex(mA)
ดี	< 50
น่าสงสัย	≥ 50 and < 100
อันตราย	≥ 100

2.4 ทฤษฎีของฟัซซี่ลอจิก[4]

ฟัซซี่ลอจิก(Fuzzy Logic) คือตรรกะแบบคลุมเครือโดยเป็นคณิตศาสตร์แขนงใหม่ที่มีส่วนสำคัญต่อเทคโนโลยีสารสนเทศเป็นอย่างมาก ฟัซซี่ลอจิกได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานในส่วนด้านต่างๆที่ต้องใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการประมวลผล ช่วยในการสนับสนุนการตัดสินใจ การพยากรณ์ การคาดการเหตุการณ์ การลดความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นจากมนุษย์หรือแม้แต่ในงานด้านวิศวกรรม ฟัซซี่ลอจิกเป็นระบบด้านคอมพิวเตอร์ที่ทำงานโดยอาศัยฟัซซี่เซตที่คิดค้นโดย Dr. Lotfi Zadeh ในปี ค.ศ. 1965 ซึ่งเป็นผลงานวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาเอกฟัซซี่ลอจิกเป็นตรรกะที่อยู่บนพื้นฐานความเป็นจริง ที่ว่าทุกสิ่งบนโลกแห่งความเป็นจริงไม่ใช่มีเฉพาะสิ่งมีความแน่นอนเท่านั้น ฟัซซี่ลอจิกสามารถให้ผลลัพธ์กับเราโดยผลลัพธ์นั้นมีความยืดหยุ่นสูงใกล้เคียงกับความรู้สึกนึกคิดในการตัดสินใจของมนุษย์คือ “ความเหมือนจริง” แต่มีหลายสิ่งหลายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างไม่เที่ยงและไม่แน่นอน อาจเป็นสิ่งที่คลุมเครือไม่ใช่ชัดเจน ยกตัวอย่าง เช่น เซตของน้ำหนักที่ไม่แน่นอนอาจแบ่งเป็น คนที่มีรูปร่างอ้วน คนที่มีรูปร่างผอม คนที่มีรูปร่างดี จะเห็นได้ว่าในแต่ละช่วงน้ำหนักของแต่ละคนไม่สามารถระบุได้แน่ชัดว่า คนไหนจะมีรูปร่างเป็นอย่างไรได้ชัดเจนซึ่งคนนี้มีรูปร่างอ้วนอาจถูกตีความว่า มีน้ำหนักระหว่าง 60 – 70 แต่บางคนอาจตีอีกความว่ามีน้ำหนักในช่วงระหว่าง 80 – 90 ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นตัวอย่างของความไม่แน่นอนเป็นลักษณะทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นทั่วไปเซตของเหตุการณ์ที่ไม่แน่นอน เช่นนี้ถูกเรียกว่า ฟัซซี่เซต(Fuzzy Set)



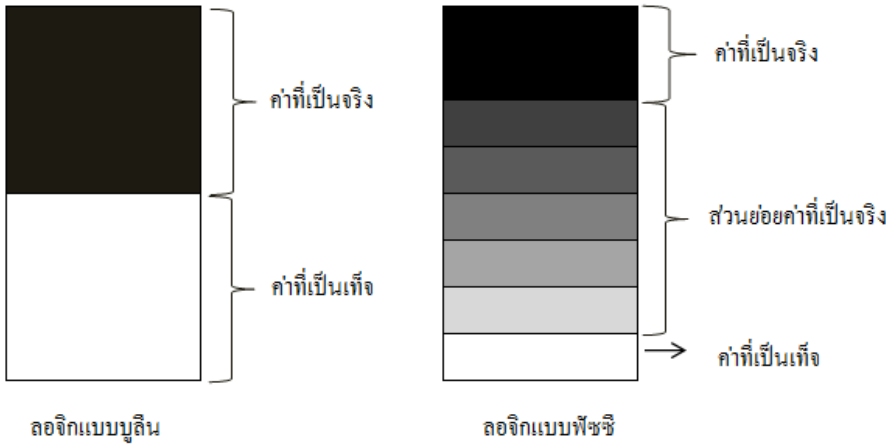
ภาพที่ 2.9 แสดงแนวคิดเกี่ยวกับฟัซซี่ลอจิก

ฟัซซี่จะสร้างวิธีทางคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงความคลุมเครือ ความไม่แน่นอนของระบบซึ่งมีการเกี่ยวข้องกับความคิดความรู้สึกของมนุษย์ เมื่อพิจารณาส่วนประกอบต่างๆ ในความไม่แน่นอน เพื่อกำหนดเงื่อนไขในการตัดสินใจ(Decision Making) โดยมีการอาศัยเซตของความไม่เป็นสมาชิก (Set Membership) ตามภาพที่ 2.9 และภาพที่ 2.10 ความไม่แน่นอน(Uncertainty)

ภาพที่ 2.10 แสดงความไม่แน่นอน(Uncertainty)

2.4.1 โครงสร้าง จากการคิดค้นฟัซซี่ลอจิกโดย Dr. Lotfi Zadeh เกี่ยวกับความไม่แน่นอน ได้มีการขยายแนวคิดเพื่อนำไปพัฒนาและประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ อย่างมากมายจนนับไม่ถ้วนซึ่งมีนักวิจัยได้คิดค้นทฤษฎีเสริมร่วมกับแนวคิดเดิมจนทำให้ฟัซซี่ลอจิกโดดเด่นในวงการคอมพิวเตอร์ โดยมีแนวคิดพื้นฐานในส่วนของฟัซซี่ลอจิกประกอบไปด้วย เซตแบบดั้งเดิม(Classical Set), ฟัซซี่เซต(Fuzzy Set), ฟัซซี่ฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิก(Fuzzy Set Membership Function), ตัวแปรภาษา (Linguistic Variable), กฎฟัซซี่(Fuzzy Rules)

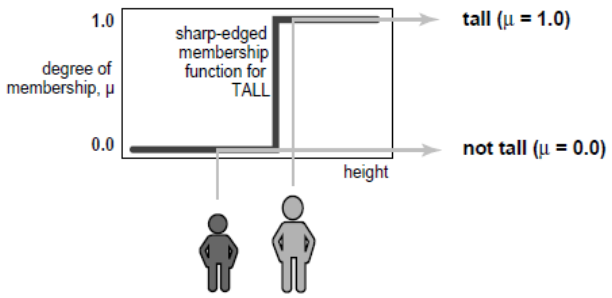
2.4.2 หลักการ ตรรกะแบบคลุมเครือ(Fuzzy Logic) เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจภายใต้ความไม่แน่นอนของข้อมูลโดยยอมให้มีความยืดหยุ่นได้ซึ่งใช้หลักเหตุผลที่ความคล้ายการเลียนแบบวิธีการคิดที่ซับซ้อนในส่วนของมนุษย์ ฟัซซี่ลอจิกมีลักษณะที่พิเศษกว่า ตรรกะแบบบูลีน (Boolean Logic) เป็นแนวคิดที่มีการต่อขยายในส่วนของความจริง โดยค่าความจริงจะอยู่ในช่วงระหว่างค่าจริงกับเท็จเช่น ค่า “0” “0.234” “1” แต่ในส่วนของตรรกศาสตร์แบบบูลีน จะมีค่าเป็นจริงกับเท็จเท่านั้นที่ซึ่งอาจจะมีค่าเป็น “1” กับ “0” โดยความที่เป็นฟัซซี่มีชื่อเรียกว่า มัลติวาลานซ์ (Multivalance) โดยมีค่าความเป็นสมาชิกมากกว่าสองค่าและเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ลอจิกแบบบูลีนจะมีความเป็นสมาชิกเพียงสองค่าเท่านั้นหรืออากเรียกว่า ไบวาลานซ์(Bivalance) โดยจะเห็นความแตกต่างที่ชัดเจนจาก ภาพที่ 2.11



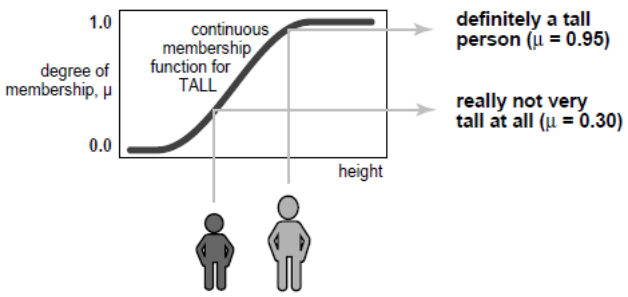
ภาพที่ 2.11 แสดงความแตกต่างระหว่างตรรกะแบบบูลีนกับตรรกะแบบฟัซซี่

ซึ่งแนวคิดพื้นของระบบฟัซซี่ลอจิกมีด้วยกันดังนี้

- เซตแบบดั้งเดิม(Classical Set) และฟัซซี่เซต(Fuzzy Set) ในความแตกต่างเซตแบบดั้งเดิมจะเป็นเซตที่มีค่าความเป็นสมาชิก{0,1} เท่านั้นซึ่งเป็นขอบเขตที่ตัดขาดจากกันแบบทันทีทันใดตามแนวคิดของเลขฐานสองและในส่วนของ ฟัซซี่เซตจะมีขอบเขตที่ราบเรียบโดยฟัซซี่เซตจะมีค่าที่ความเป็นสมาชิกอยู่ในช่วงระหว่าง{0-1}โดยมีความยืดยุ่นในการหาผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงความเป็นจริงที่สุดในที่นี้จะยกตัวอย่างความสูงของสองคนในภาพที่ 2.12 จะแสดงให้เห็นว่าความสูงของคนที่หนึ่งไม่ได้เป็นสมาชิกของเซตแบบดั้งเดิม ส่วนความสูงของคนที่สองได้เป็นสมาชิกของเซตแบบดั้งเดิมและในภาพที่ 2.13 จะแสดงให้เห็นว่าความสูงของทั้งสองคนเป็นสมาชิกในฟัซซี่เซตจากที่ความแตกต่างข้างต้นแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ฟัซซี่เซตมีความยืดยุ่นสูงในการหาผลลัพธ์เมื่อเทียบกับเซตดั้งเดิม



ภาพที่ 2.12 แสดงความเป็นสมาชิกของเซตแบบดั้งเดิม

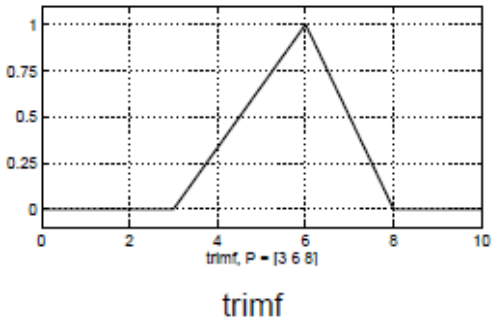


ภาพที่ 2.13 แสดงความเป็นสมาชิกของฟัซซี่เซต

- ฟัซซี่เซตฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิก(Fuzzy Set Membership Function) เป็นฟังก์ชันที่มีการกำหนดระดับความเป็นสมาชิกของตัวแปรที่ ต้องการใช้งานโดยเริ่มจากการแทนที่กับตัวแทนที่มีความไม่ชัดเจน ไม่แน่นอน และคลุมเครือ ดังนั้นส่วนที่สำคัญต่อคุณสมบัติหรือการดำเนินการของฟัซซี่เพราะรูปร่างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีความสำคัญ ต่อกระบวนการคิดและแก้ไขปัญหา โดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะไม่สมมาตรกันหรือสมมาตรกันทุกประการก็ได้ชนิดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ใช้งานทั่วไปมีดังนี้

ฟังก์ชันสามเหลี่ยม(Triangular Membership Function)

ฟังก์ชันสามเหลี่ยมมีทั้งหมด 3 พารามิเตอร์คือ $\{a, b, c\}$

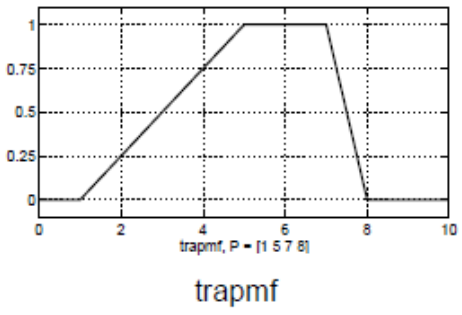


$$rimf\,(x{:}a,b,c)=\begin{cases}0 & x<a\\ (x-a)/(b-a) & a\le x<b\\ (c-x)/(c-b) & b\le x\le c\\ 0 & x>c\end{cases} \qquad (2.1)$$

ภาพที่ 2.14 แสดงฟังก์ชันสามเหลี่ยม(Triangular Membership Function)

ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู(Trapezoidal Membership Function)

ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมูมีทั้งหมด 4 พารามิเตอร์คือ $\{a, b, c, d\}$

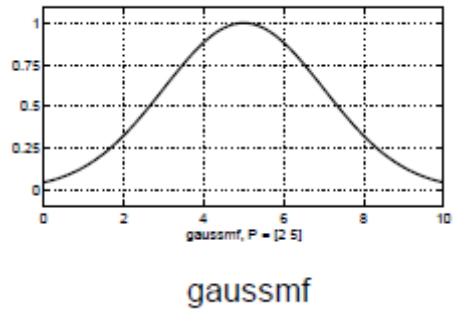


$$trapmf\,(x:a,b,c,d)=\begin{cases}0 & x<a\\ (x-a)/(b-a) & a\le x<b\\ 1 & b\le x<c\\ (d-x)/(d-c) & c\le x<d\\ 0 & x\ge d\end{cases} \qquad (2.2)$$

ภาพที่ 2.15 แสดงฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู(Trapezoidal Membership Function)

ฟังก์ชันเกาส์เซียน(Gaussian Membership Function)

ฟังก์ชันเกาส์เซียนมีทั้งหมด 2 พารามิเตอร์คือ $\{m, \sigma\}$ ซึ่ง m หมายถึงค่าเฉลี่ย และ σ หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

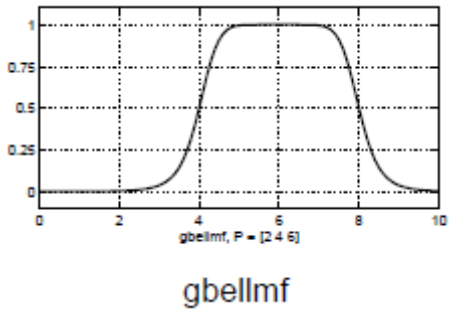


$$guassian(x : m, \sigma) = \exp\left(-\frac{\left(x-m\right)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2.3)$$

ภาพที่ 2.16 แสดงฟังก์ชันเกาส์เซียน(Gaussian Membership Function)

ฟังก์ชันระฆังคว่ำ(Bell-shaped Membership Function)

ฟังก์ชันรูประฆังคว่ำมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 3 ค่าคือ $\{a, b, c\}$

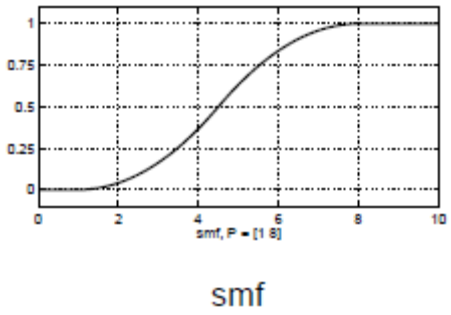


$$gbellmf\,(x : a, b, c) = \frac{1}{1+\left|\frac{x-c}{a}\right|^{2b}} \quad (2.4)$$

ภาพที่ 2.17 แสดงฟังก์ชันระฆังคว่ำ(Bell-shaped Membership Function)

ฟังก์ชันตัวเอส(Smooth Membership Function)

ฟังก์ชันรูปตัวเอสมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 2 ค่าคือ $\{a, b\}$

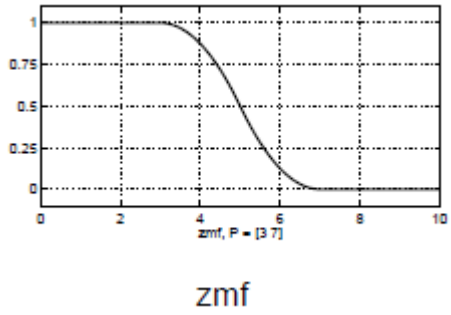


$$smf(x:a,b) = \begin{cases} 0 & x < a \\ 2\left(\dfrac{x-b}{b-a}\right)^2 & a \le x < \dfrac{a+b}{2} \\ 1-2\left(\dfrac{x-b}{b-a}\right)^2 & \dfrac{a+b}{2} \le x < b \\ 1 & x \ge b \end{cases} \quad (2.5)$$

ภาพที่ 2.18 แสดงฟังก์ชันตัวเอส(Smooth Membership Function)

ฟังก์ชันตัวแซด(Z-Membership Function)

ฟังก์ชันรูปตัวเอสมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 2 ค่าคือ $\{a, b\}$



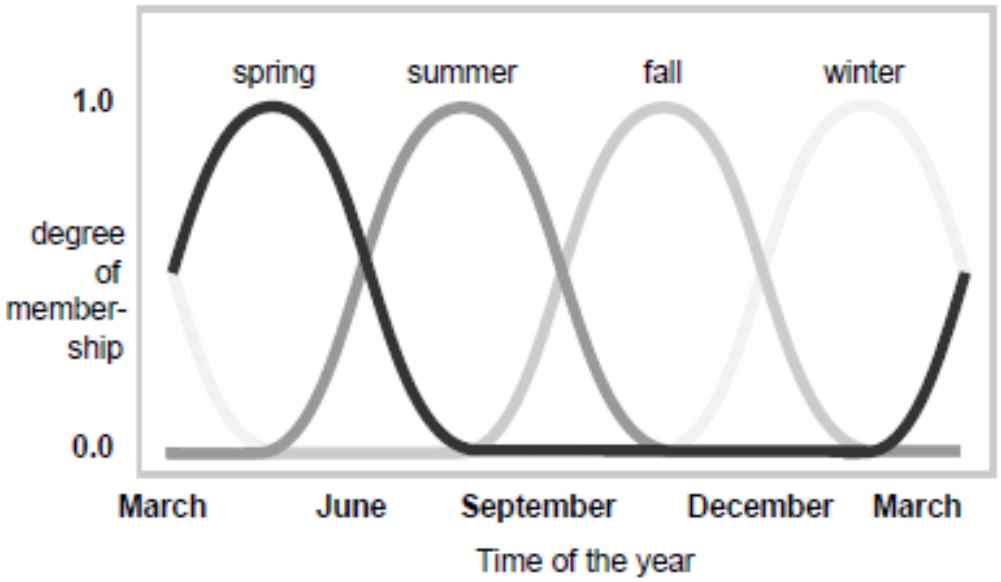
$$Z(x:a,b) = \begin{cases} 1 & x \le a \\ 1-2\left(\dfrac{x-a}{b-a}\right)^2 & a \le x \le \dfrac{a+b}{2} \\ 2\left(b-\dfrac{x}{b-a}\right)^2 & \dfrac{a+b}{2} \le x \le b \\ 0 & x \ge b \end{cases} \quad (2.6)$$

ภาพที่ 2.19 แสดงฟังก์ชันตัวแซด(Z-Membership Function)

การเลือกฟังก์ชันของความเป็นสมาชิกจะต้องเลือกตามความเหมาะสม ครอบคลุมของข้อมูลที่จะรับเข้ามาโดยสามารถที่ทับซ้อนกันเพื่อให้การดำเนินงานราบเรียบ ซึ่งมีความเป็นสมาชิกหลายค่าได้ และฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเปลี่ยนแปลงแก้ไขให้เหมาะตามความต้องการ

- ตัวแปรเชิงภาษา(Linguistic Variable) เซตแบบฟัซซี่สามารถประยุกต์ใช้ในการอธิบายค่าของตัวแปรซึ่งเป็นแนวคิดที่สำคัญมากในตรรกะแบบฟัซซี่ ตัวแปรภาษาช่วยกำหนดค่าของสิ่งที่จะ

อธิบายทั้งในรูปคุณภาพโดยใช้พจน์ภาษา(Linguistic Term) และในรูปปริมาณโดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก(Membership Function) ซึ่งแสดงความของของเซตแบบฟัซซี่พจน์ภาษาใช้สำหรับการแสดงแนวคิดและองค์ความรู้ในการสื่อสารของมนุษย์ ส่วนฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีประโยชน์ในการจัดการกับอินพุตที่เป็นข้อมูลเชิงตัวเลขจาก ภาพที่ 2.20

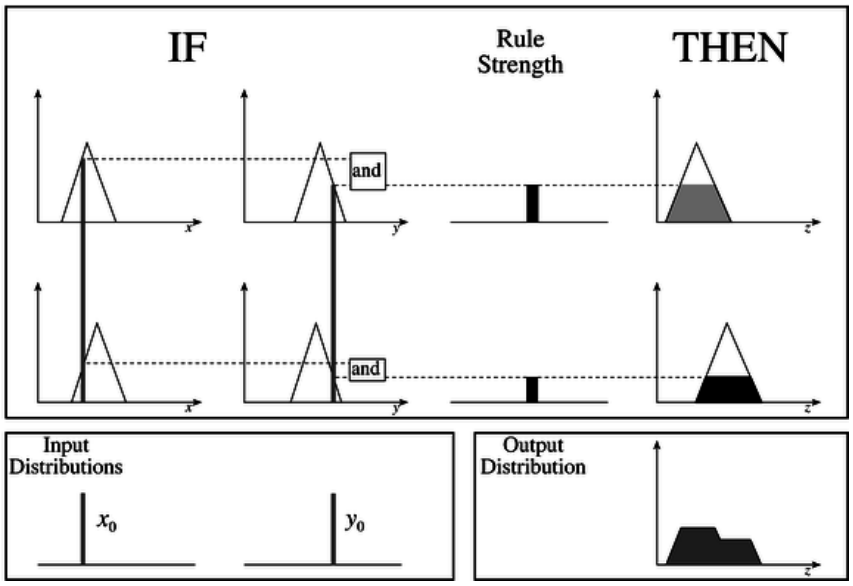


ภาพที่ 2.20 แสดงฤดูกาลในแต่ละเดือนซึ่งแสดงในเชิงตัวเลข

- กฎฟัซซี่(Fuzzy Rules) มีจำนวนมากแต่ที่นิยมและการประยุกต์ใช้งานมากที่สุดคือกฎฟัซซี่แบบ ถ้า-แล้ว(fuzzy if-then rule) เช่น

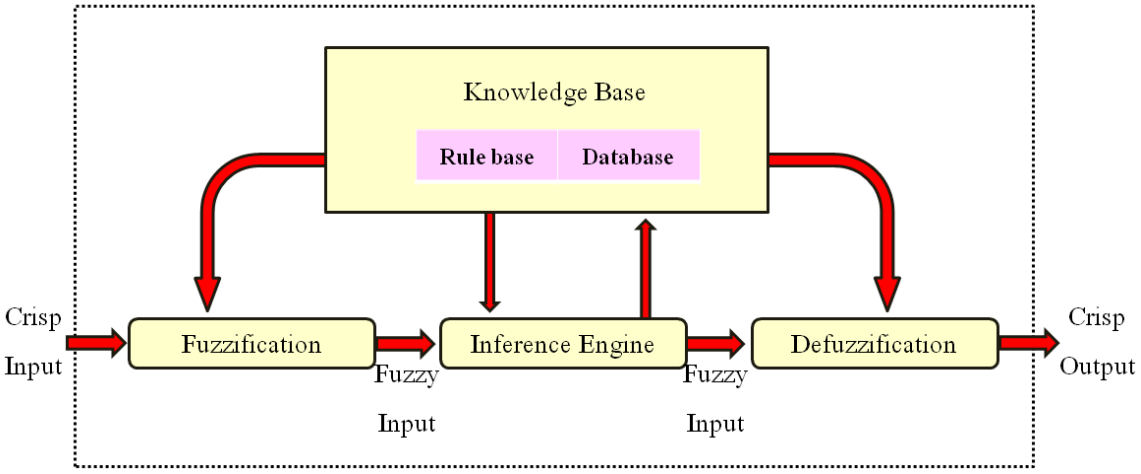
$$\textbf{if } x \textbf{ is } x_0 \textbf{ then } y \textbf{ is } y_0$$

ค่าภาษาที่กำหนดโดยชุดฟัซซี่ในช่วงที่ x_0 และ y_0 มี x และ y ตามลำดับ โดย x_0 มีค่าเป็น x ข้อสรุปคือ y_0 จะมีค่าเป็น y ดัง ภาพที่ 2.21



ภาพที่ 2.21 แสดงกฎฟัซซี่

2.4.3 การทำงานของระบบฟัซซี่ โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซี่ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 4 ส่วนดัง ภาพที่ 2.22



ภาพที่ 2.22 แสดงการทำงานของระบบฟัซซี่

- อินพุตแบบตัวแปรฟัซซี่(Fuzzification) เป็นส่วนที่แปลงอินพุตทั่วไปเปลี่ยนเป็นอินพุตแบบตัวแปรฟัซซี่หรือในรูปแบบฟัซซี่เซตหรือเรียกว่าเป็นตัวแปรภาษา(Linguistic Variable)

- ฐานความรู้(Knowledge Base) เป็นส่วนที่จัดเก็บรวบรวมข้อมูลในการควบคุมประกอบ 2 ส่วนคือ ฐานกฎ(Rulebase) และฐานข้อมูล(Database)

- ฐานกฎ(Rulebase) ส่วนของการกำหนดวิธีการควบคุม ซึ่งได้จากผู้เชี่ยวชาญในรูปแบบของชุดข้อมูลแบบกฎของภาษา(Linguistic Rule)

- ฐานข้อมูล(Database) เป็นการจัดเตรียมส่วนที่จำเป็นเพื่อที่จะใช้ในการกำหนดกฎการควบคุมและการจัดการข้อมูลของตรรกศาสตร์ฟัซซี่

- การอนุมานหรือการตีความ(Inference Engine) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ตรวจสอบข้อเท็จจริงและกฎเพื่อใช้ในการตีความหาเหตุผล เหมือนกลไกสำหรับควบคุมการใช้ความรู้ในการแก้ไขปัญหารวมทั้งการกำหนดวิธีการของการตีความเพื่อหาคำตอบ

- ส่วนที่แปลงเอาต์พุตให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม(Defuzzification) เป็นการทำการแปลงข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบฟัซซี่ให้เป็นค่าที่สรุปผลหรือค่าการควบคุมระบบ

2.4.4 การประมวลผลของระบบฟัซซี่ลอจิก มีขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซี่ลอจิกอยู่ 5 ขั้นตอนหลัก

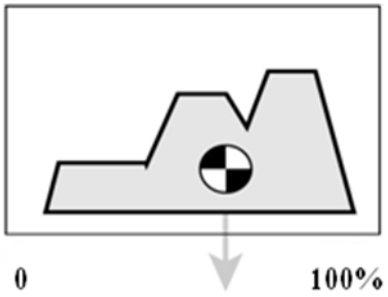
- เป็นการแปลงการอินพุตแบบทวินัยเปลี่ยนเป็นการอินพุตแบบตัวแปรฟัซซี่โดยจะสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิก โดยไม่จำเป็นต้องมีลักษณะเดียวกัน ขึ้นกับคุณลักษณะของแต่ละการอินพุต(Input) และความสำคัญต่อการเอาต์พุต(Output) ที่น่าสนใจโดยฟังก์ชันจะมีลักษณะเป็นการกำหนดภาษาสามัญ เพื่อให้เป็นฟัซซี่อินพุต

- เป็นการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างการอินพุตทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับเอาต์พุตที่อาศัยหลักการของการหาเหตุและผล อาจจะสร้างการเก็บข้อมูล การคาดการณ์จากการตัดสินใจของมนุษย์ หรือค่าจากการทดลอง โดยเขียนเป็นกฎการควบคุมระบบซึ่งจะมีลักษณะอยู่ในรูปแบบ ถ้า(If), แล้ว(Then), และ(And), หรือ(Or) ซึ่งเป็นภาษาสามัญ นำกฎทั้งหมดมาประมวลผลรวมกันเพื่อการหาตัดสินใจที่เหมาะสม

- เป็นการหาฟัซซี่เอาต์พุตโดยการนำกฎการควบคุม ที่สร้างขึ้นในขั้นตอนที่ 2 มาประมวลผลกับฟัซซี่อินพุต โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์เพื่อนำค่าที่ได้ประมวลผลด้วยวิธีการทำเป็นค่าคลุมเครือ(Fuzzification) วิธีการที่นิยมใช้ในการตีความหาเหตุผลเลือกใช้ Max-Min Method และ Max-Dot Method

- การรวมค่าฟัซซี่เอาต์พุตจากกฎทุกข้อ(Aggregation) เป็นการรวมค่าจากข้อตามของกฎทุกข้อเพื่อเป็นฟัซซี่เซตของระบบทั้งหมดด้วยวิธี Fuzzy OR

- การทำค่าฟัซซี่เป็นค่าปกติ(Defuzzification) เป็นการทำค่าฟัซซี่เอาต์พุตที่รวมจากกฎทุกข้อเป็นค่าปกติที่ใช้ในงานจริง เช่น งานในระบบควบคุม เป็นต้น ด้วยวิธีการหาจุดศูนย์ถ่วง(Central of Gravity: COG) เป็นวิธีการหาค่าเฉลี่ยของผลที่ได้จากการตีความหาเหตุที่นิยมใช้ในปัจจุบันค่าที่ได้จะคำนวณจุดศูนย์ถ่วงโดยรวมจะหาได้จากใน ภาพที่ 2.23

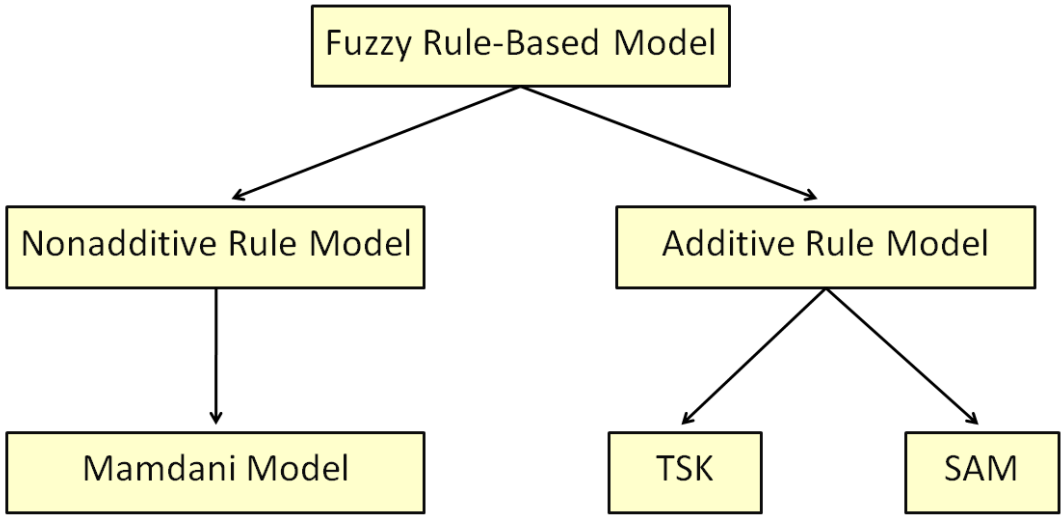


ภาพที่ 2.23 แสดงค่าจุดศูนย์ถ่วง

2.4.5 รูปแบบพื้นฐานในระบบกฎฟัซซี่ การประมาณค่าฟังก์ชัน(Function Approximation) ระบบกฎฟัซซี่ที่ใช้มี 3 ชนิดใหญ่ๆ ได้แก่

- รูปแบบ Mamdani
- รูปแบบ Takagi-Sugeno-Kang (TSK)
- รูปแบบ Standard

Additive Model (SAM) รูปแบบ Mamdani รวมผลการอนุมาน(Inference) ของกฎโดยวิธีซ้อนทับ (Superimposition) จากกฎหลายๆ ข้อซึ่งไม่เป็นแบบบวกกันเรียกระบบแบบนี้ว่าเป็น Nonadditive Rule Model แต่สำหรับ TSK และ SAM มีการอนุนามแบบรวมค่าน้ำหนัก(Weighted Sum) จากที่หลาย ๆ กฎเพื่อรวมเป็นข้อสรุปสุดท้าย จึงเรียกระบบแบบนี้ว่า Additive Rule Model การจัดกลุ่มของระบบกฎฟัซซี่แสดงใน ภาพที่ 2.24



ภาพที่ 2.24 แสดงรูปแบบพื้นฐานของระบบกฎฟัซซี่

ในโครงงานศึกษาและประเมินอายุของหม้อแปลงชนิดน้ำมันนี้ จะใช้รูปแบบพื้นฐานของระบบกฎฟัซซี่แบบ Mamdani ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

2.4.6 ระบบกฎฟัซซี่ของแมมดานิ (Mamdani) ระบบกฎฟัซซี่แบบ Mamdani เป็นระบบที่มีความนิยมใช้มากที่สุดระบบหนึ่งในทางปฏิบัติเป็นระบบที่ใช้ตัวแปรภาษาทั้งในข้อตั้งและข้อตามเพื่อจัดเทียบฟังก์ชันจากเป็น

$$\text{กฎที่ 1}: IF(x_1 isA_{11}) AND ... AND (x_n isA_{1n}) THEN y isC_1$$

$$\text{กฎที่ 2}: IF(x_1 isA_{21}) AND ... AND (x_n isA_{2n}) THEN y isC_2$$

$$\text{กฎที่ L}: IF(x_1 isA_{n1}) AND ... AND (x_n isA_{nn}) THEN y isC_n$$

เมื่อ x_j, j = 1, …, n, เป็นตัวประกอบที่ j ของตัวแปรอินพุต **x**, y เป็นตัวแปรเอาต์พุต, A_{ij} เป็นพจน์ภาษาของข้อตั้ง (Consequence Linguistic Term) หรือเป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของข้อตั้ง (Antecedent Membership Function) ในกฎที่ i, i = 1, …, L, C_i เป็นพจน์ภาษาของข้อตามหรือฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของข้อตาม (Consequent Membership Function) ของกฎที่ i

กำหนดให้ A_i^S เป็นฟัซซี่เซตใหม่สำหรับกฎข้อที่ i , i = 1,…,L

$$A_i^s = A_{i1} \bigcap A_{i2} \bigcap ... \bigcap A_{in} \tag{2.7}$$

แสดงในรูปฟังก์ชันความเป็นสมาชิกได้เป็น

$$\mu_{A_i^s}(x) = \min(\mu_{A_{i1}}(x_1), \mu_{A_{i2}}(x_2), ..., \mu_{A_{in}}(x_n) \tag{2.8}$$

ถ้าหากมีอินพุทเข้ามาในรูป

$$(x_1 = x_1'), (x_2 = x_2'), ..., (x_n = x_n') \tag{2.9}$$

จะได้ค่าฟัซซี่ในส่วนของข้อตั้งเป็น

$$\alpha_i = \min(\mu_{A_{i1}}(x_1), \mu_{A_{i2}}(x_2), ..., \mu_{A_{in}}(x_n) \tag{2.10}$$

ค่าเอาต์พุตของกฎแต่ละข้อของระบบฟัซซี่แบบ Mamdani ที่เป็นค่าฟัซซี่สามารถหาได้จากสมการ

$$\mu_c(y) = \alpha_i \wedge \mu_c(y) \tag{2.11}$$

ค่าเอาต์พุตของระบบเป็นผลรวมจากเอาต์พุตจากกฎแต่ละข้อโดยใช้สมการ

$$\mu_c(y) = \max(\mu_{c_i}(y), \mu_{c_2}(y), ..., \mu_{c_i}(y_n) \tag{2.12}$$

ฟัซซี่เอาต์พุตสามารถแปลงเป็นค่าปกติได้โดยวิธี Defuzzification แบบเฉลี่ยน้ำหนัก

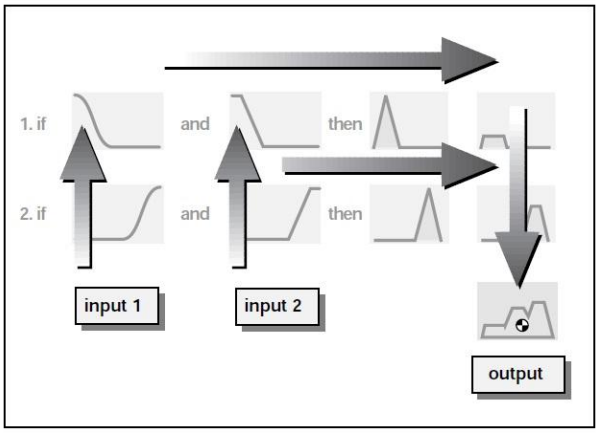
$$y^* = \frac{\sum_{i=1}^{n} \mu_C(y_i) \times y_i}{\sum_{i=1}^{n} \mu_C(y_i)} \tag{2.13}$$

เมื่อ y^* เป็นค่า Centriod ของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกผลลัพธ์

2.4.7 การตีความแบบ Mamdani กำหนดให้ ระบบฟัซซี่แบบ Mamdani มี 2 อินพุต x_1 และ x_2 (Antecedent) และ 1 เอาต์พุต y (Consequent) ซึ่งมีกฎฟัซซี่เป็น

$$IF\ x_1\ is\ A_{k1}\ AND\ x_2\ is\ A_{k2}\ THEN\ y\ is\ B_k \text{ สำหรับ k = 1 , 2 ,…,n}$$

ผลรวมเอาต์พุตหาได้ โดยการใช้วิธีการจัดองค์ประกอบแบบค่าสูงสุด-ต่ำสุด
(Max-Min Composition) ตาม ภาพที่ 2.25



ภาพที่ 2.25 แสดงการตีความแบบ Mamdani

2.4.8 การหาผลลัพธ์ในรูปแบบ Mamdani การหาผลสรุปฟัซซี่ในรูปแบบ Mamdani เป็นการใช้ตัวดำเนินการค่าต่ำสุด(Minimum Operator) สำหรับการเชื่อมประโยคแบบ “And” และใช้ตัวดำเนินการค่าสูงสุด(Maximum Operator) สำหรับการเชื่อมประโยคแบบ “Or” ระดับค่าฟัซซี่ของกฎแต่ละข้อในส่วนข้อตั้งหาได้โดยการคำนวณจากสมการ

$$\alpha_1 = A_1(x_0) \wedge B_1(y_0) \tag{2.14}$$

$$\alpha_2 = A_2(x_0) \wedge B_2(y_0) \tag{2.15}$$

เอาต์พุตของกฎแต่ละข้อ สามารถคำนวณได้จาก

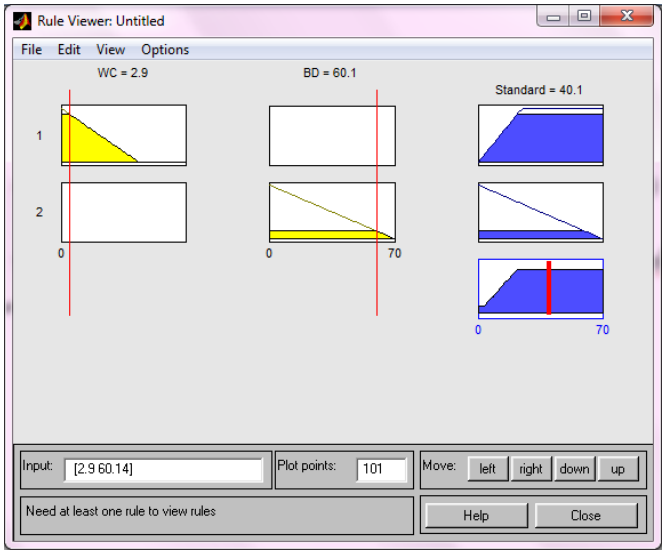
$$C_1''(W) = (\alpha_1 \wedge C_1(W)) \tag{2.16}$$

$$C_2''(W) = (\alpha_2 \wedge C_2(W)) \tag{2.17}$$

ผลรวมของเอาต์พุตฟัซซี่ทั้งหมดหาได้จากการยูเนียนผลลัพธ์จากแต่ละกฎ

$$C(W) = C_1''(W) \vee C_2''(W) = (\alpha_1 \wedge C_1(W)) \vee (\alpha_2 \wedge C_2(W)) \tag{2.18}$$

สุดท้าย หากต้องการผลเอาต์พุตที่เป็นค่าทั่วไป สามารถหาโดยวิธีการแปลงค่าฟัซซี่เป็นค่าทั่วไป (Defuzzification Method) จาก ภาพที่ 2.26



ภาพที่ 2.26 แสดงวิธีการแปลงค่าฟัซซี่เป็นค่าทั่วไป

2.4.9 การประยุกต์ใช้งานฟัซซี่ลอจิก เป็นลอจิกชนิดแบบคลุมเครือที่ทำงานอยู่บนพื้นฐานด้านคอมพิวเตอร์สามารถตอบสนองต่อสิ่งที่ ไม่ชัดเจนไม่แน่นอนซึ่งมีความสามารถในการจัดการเกี่ยวกับข้อมูลข้างต้น เพื่อให้ผลลัพธ์กับเราโดยผลลัพธ์นั้นมีความยืดหยุ่นสูงใกล้เคียงกับความรู้สึกนึกคิดในการตัดสินใจของมนุษย์ยิ่งไปกว่านั้นฟัซซี่ลอจิกสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดในด้านต่างๆ ทั้งด้านการควบคุมแม้กระทั่งนำไปช่วยในงานด้านงานวิจัยจะเห็นได้จากตัวอย่างต่อไปนี้

- งานการประมาณค่าฟังก์ชันหรือการประมาณความสัมพันธ์ที่ไม่ชัดเจน
- การประยุกต์ใช้ระบบฟัซซี่ควบคุมกระบวนการทางเคมี
- งานด้านการแพทย์ ช่วยวิเคราะห์การแพร่กระจายของเชื้อไวรัส วิเคราะห์สุขภาพผู้ป่วย
- งานด้านการทหาร ช่วยวิเคราะห์สร้างและพัฒนายุทโธปกรณ์ให้มีสมรรถภาพดีขึ้น
- งานด้านธุรกิจ ช่วยวิเคราะห์ต่อความเสี่ยงในการลงทุนในตลาดใหม่
- งานด้านอุตสาหกรรม ใช้เป็นส่วนควบคุมเครื่องจักรเพื่อลดความผิดพลาดในการทำงาน
- ใช้เป็นตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกสำหรับการควบคุมการทำงานของหุ้นยนต์
- พัฒนาการควบคุมความเร็วมอเตอร์โดยใช้ฟัซซี่ลอจิก
- งานด้านการศึกษา ช่วยวิเคราะห์ผลการเรียนของนักศึกษา
- งานด้านวิศกรรม ช่วยประเมินสภาพของอุปกรณ์

2.4.10 สรุปหลักการเบื้องต้น ฟัซซี่ลอจิก(Fuzzy Logic) ได้ช่วยอธิบายความสัมพันธ์ที่เกิดปรากฏการต่างๆโดยอาศัยฟังก์ชันฟัซซี่เซต(Fuzzy Set) เข้ามีช่วยวิเคราะห์อินพุตเอาต์พุตที่มีความหลากหลายของโครงงานศึกษาและประเมินอายุของหม้อแปลงชนิดน้ำมันซึ่งใช้หลักเหตุผลที่คล้ายการเลียนแบบวิธีความคิดที่ซับซ้อนของมนุษย์ ฟัซซี่ลอจิก(Fuzzy Logic) มีลักษณะพิเศษกว่าตรรกะแบบบูลีน(Boolean Logic) ในส่วนของความจริงโดยค่าความจริงจะอยู่ในช่วงระหว่างค่าจริงกับเท็จ ซึ่งแนวคิดพื้นฐานของฟัซซี่ลอจิก(Fuzzy Logic) ประกอบไปด้วย เซตแบบดั้งเดิม(Classical Set), ฟัซซี่เซต(Fuzzy Set), ฟัซซี่ฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิก(Fuzzy Set Membership Function), ตัวแปรภาษา(Linguistic Variable), กฎฟัซซี่(Fuzzy Rules) เมื่อนำค่าที่ต้องการใช้ฟัซซี่ลอจิกช่วยในการวิเคราะห์จะต้องเปลี่ยนค่าอินพุต-เอาต์พุตทั่วไปเป็นค่าตัวแปรฟัซซี่(Fuzzification) และนำค่ามาดำเนินการด้วย รูปแบบ Mamdani เป็นการใช้ตัวดำเนินการค่าต่ำสุด(Minimum Operator) สำหรับการเชื่อมประโยคแบบ “And” และใช้ตัวดำเนินการค่าสูงสุด(Maximum Operator) สำหรับการเชื่อมประโยคแบบ “Or” ภายใต้กฎ IF – THEN จากนั้นแปลงเอาต์พุตให้อยู่ในช่วงของ(Defuzzification) โดยอาศัยวิธีการหาจุดศูนย์ถ่วง(Central of Gravity: COG) ซึ่งเป็นวิธีการหาค่าเฉลี่ยของผลที่ได้มาจากการตีความเสร็จสมบูรณ์เรียบร้อยแล้วมาหาข้อสรุปสุดท้ายโดยเป็นวิธีที่นิยมใช้กันในปัจจุบันโดยถูกยอมรับอย่างแพร่หลาย

2.5 ดัชนีชี้วัดสภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า[3]

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในโรงงานผลิตไฟฟ้าสำหรับการวิเคราะห์เพื่อประเมินสภาพหม้อแปลงไฟฟ้าจากมาตรฐานที่นำมาอ้างอิงเพื่อใช้วางแผนทางเศรษฐศาสตร์และเป็นการยืดอายุการใช้ของหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งส่งผมต่องบประมาณที่ลงทุนไปซึ่งสามารถรักษาเสถียรภาพของระบบส่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าได้ในการประเมินสภาพหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังอย่างถูกต้องส่งผลต่อความเสี่ยงของธุรกิจลดลงจวบจนผลกระทบด้านอื่นๆเป็นต้น วิธีการประเมินสภาพหม้อแปลงไฟฟ้าที่ระบุไว้ในเอกสารนี้จะใช้กับหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังขนาดมากกว่า 500 kVA การประเมินสภาพและข้อมูลตัวชี้วัดคุณภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าในระดับที่ 1 เกณฑ์สำหรับการประเมินสภาพหม้อแปลงไฟฟ้าจะมีตัวชี้วัดสภาพดังนี้

- การตรวจและวิเคราะห์ฉนวนน้ำมัน
- การทดสอบสภาพของฉนวนและกระแสกระตุ้นวงจรด้านแรงสูง
- ประวัติการบำรุงรักษาและการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้า

- อายุของหม้อแปลงไฟฟ้า

ตัวชี้วัดที่ถูกนำมาประเมินสภาพเหล่านี้ใช้ในการตรวจสอบระดับที่ 1 และเป็นตัวช่วยในส่วนการประเมินสภาพโดยอาศัยคะแนนในแต่ละตัวชี้วัดแล้วนำไปคูณด้วยตัวถ่วงน้ำหนักที่แตกต่างกันซึ่งจะได้ข้อสรุปที่ชัดเจนแต่ถ้าข้อมูลบางอย่างหรือทั้งหมดเกิดการผิดเพี้ยนไปอาจส่งผลต่อของการประเมินที่ล้มเหลวซึ่งเชื่อมโยงไปยังการประเมินคุณภาพของการประเมินข้างต้นได้เพื่อเพิ่มความแม่นยำของการประเมินในชุดนี้อาจจะมีการประเมินในระดับที่ 2 ไปด้วยก็อาจได้ซึ่งการประเมินในระดับที่ 2 เป็นการประเมินเพื่อเสริมกับการประเมินในระดับที่ 1 และการประเมินคุณภาพในระดับที่ 2 จะได้ข้อมูลที่บ่งชี้ถึงตัวชี้วัดของสภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าได้อย่างแม่นยำ

2.5.1 การตรวจและวิเคราะห์ฉนวนน้ำมัน การวิเคราะห์ก๊าซที่ละลายในน้ำมันเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการกำหนดเงื่อนไขโดย (TDCG) และอัตราการเผาไหม้อยู่ภายใต้มาตรฐาน IEEE กับ IEC ในส่วนของการวิเคราะห์ Furans อาจบ่งบอกถึงปัญหาเกี่ยวกับฉนวนกระดาษซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อหม้อแปลงไฟฟ้าในขั้นแรกอาจจะมีการวิเคราะห์ด้าน Interfacial Tension (IFT), Acidity Number, Water Content และ Dielectric Breakdown Voltage ในการวิเคราะห์ที่ผ่านมาจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการประเมินสภาพหม้อแปลงและการทดสอบเพิ่มเติมซึ่งเมื่อนำผลไปเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ก๊าซในแบบเงื่อนไขดังกล่าว จะไม่ส่งผลต่อคะแนนของตัวชี้วัดของการวิเคราะห์ฉนวนน้ำมันตามตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 แสดงการตรวจและวิเคราะห์ฉนวนน้ำมัน

Insulating Oil Analysis Scoring	
{อัตรา TDCG < 30ppm/month AND ก๊าซทั้งหมดที่เกิดจากการเผาไหม้ < 10ppm/month ยกเว้น CO < 70ppm/month AND C_2H_2 = 0ppm} AND {2 FAL Furans < 150ppb}	3
อัตรา TDCG ≥ 30 and < 50 ppm/month AND ก๊าซทั้งหมดที่เกิดจากการเผาไหม้ < 15ppm/month ยกเว้น CO < 150ppm/month AND C_2H_2 = 0ppm} OR {2 FAL Furans ≥ 150 and < 200ppb}	2

อัตรา TDCG ≥ 50 and < 80 ppm/month AND ก๊าซทั้งหมดที่เกิดจากการเผาไหม้ < 25ppm/month ยกเว้น CO < 350ppm/month AND C_2H_2 < 5ppm/month} OR {2 FAL Furans ≥ 200 and < 250ppb}	1
{อัตรา TDCG ≥ 80ppm/month AND ก๊าซทั้งหมดที่เกิดจากการเผาไหม้ > 50ppm/month ยกเว้น CO ≥ 350ppm/month AND C_2H_2 < 10ppm/month}OR {2 FAL Furans ≥ 250ppb}	0

2.5.2 การทดสอบสภาพของฉนวนและกระแสกระตุ้นวงจรด้านแรงสูง เป็นปัจจัยที่สำคัญในการกำหนดเงื่อนไขของหม้อแปลงไฟฟ้าเนื่องจากสามารถตรวจสอบความสมบูรณ์ขดลวดและฉนวน Bushing โดยสามารถทำการทดสอบเพื่อหาค่าที่เหมาะสมซึ่งในส่วนของการทดสอบกระแสกระตุ้นจะทำการเครื่องมือวัดแรงดันไฟฟ้าเฟสเดียวและมุมเฟสระหว่างด้านแรงสูงกับขั้วของขดลวดอื่นๆ โดยจะต้องทำการตรวจสอบซึ่งปกติจะใช้แรงดันทดสอบถึง 10 kV โดยจะถูกนำไปวิเคราะห์ตามตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 แสดงการทดสอบสภาพของฉนวนและกระแสกระตุ้นวงจรด้านแรงสูง

Power Factor and Excitation Current Test Scoring	
Power factor normal(Good) AND Normal excitation current values(Good)	3
Power factor (Fair) OR Excitation current values(Fair)	2
Power factor (Poor – วินิจฉัย) OR Excitation current values(Poor)	1
Power factor (Bad) OR Excitation current values(Bad)	0

2.5.3 ประวัติการบำรุงรักษาและการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้า ในการวิเคราะห์ในส่วนนี้จะต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญและมีประสบการณ์ในการประเมินมากสำหรับการประเมินจากประวัติการใช้งานและการบำรุงรักษาซึ่งจะถูกวิเคราะห์ตามตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 แสดงประวัติการบำรุงรักษาและการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้า

Operation and Maintenance History Scoring	
Operation and Maintenance are Normal(Good)	3
พบการทำงานที่ผิดปกติบางแต่ทำการซ่อมบำรุงทันทีและสามารถ Online ได้ปกติ	2
พบการทำงานที่ผิดปกติบ่อยครั้งหรือขาดการซ่อมบำรุงอย่างต่อเนื่อง	1
ขาดการซ่อมบำรุงเลยหรือมีการรั่วไหลของน้ำมันหรือพบปัญหาที่รุนแรงมาก	0

2.5.4 การประเมินจากอายุของหม้อแปลงไฟฟ้า เป็นปัจจัยสำคัญที่ควรพิจารณาซึ่งจะส่งการใช้งานที่นานโดยส่วนที่จะต้องรู้คือการเสื่อมสภาพของฉนวนกระดาษตามตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 แสดงการประเมินจากอายุของหม้อแปลงไฟฟ้า

Age Scoring	
< 30 years	3
≥ 30 and < 45 years	2
≥ 45 years	1

2.5.5 สรุปผลจากการประเมินสภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า จากข้างต้นสามารถนำผลที่ได้ไปปรับแผนการบำรุงรักษาให้เหมาะสมหรือปรับอัตราการใช้ไฟฟ้าในแต่ละจุดให้เกิดความเหมาะในการใช้พลังงานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดตามตารางที่ 2.12

ตารางที่ 2.12 แสดงการสรุปผลจากการประเมินสภาพหม้อแปลงไฟฟ้า

Transformer Condition – Based Alternatives	
≥ 7.0 and ≤ 10 (Good)	มีการใช้งานที่ปกติและบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่อง
≥ 3.0 and < 7.0 (Fair)	มีความผิดปกติควรที่จะถูกประเมินในระดับที่ 2
≥ 0 and < 3.0 (Poor)	ต้องประเมินในระดับที่ 2 และเข้าบำรุงรักษาทันที

2.5.6 ตัวชี้วัดคุณภาพในการประเมินสภาพหม้อแปลงไฟฟ้าในระดับที่ 1 ตัวชี้วัดคุณภาพของข้อมูลที่นำมาประเมินสภาพหม้อแปลงโดยจะบ่งบอกถึงขั้นตอนการตรวจสอบและทดสอบว่ามีคุณภาพสูงเพียงใดโดยพิจารณาความต่อเนื่องในการทดสอบและตรวจสอบที่ได้มาตรฐานซึ่งนำมาใช้ตามตารางที่ 2.13

ตารางที่ 2.13 แสดงตัวชี้วัดคุณภาพในการประเมินสภาพหม้อแปลงไฟฟ้า

Transformer data quality scoring	
ดำเนินการตรวจสอบในส่วนของการทดลองและการวัดที่ถูกต้องทั้งหมดของระดับที่ 1 ภายในวงรอบปกติมีความน่าเชื่อถือได้	10
ดำเนินการตรวจสอบในส่วนของการทดลองและการวัดที่ถูกต้องทั้งหมดของระดับที่ 1 ภายในวงรอบ ≥ 6และ < 24 เดือน มีความน่าเชื่อถือได้	7
ดำเนินการตรวจสอบในส่วนของการทดลองและการวัดที่ถูกต้องทั้งหมดของระดับที่ 1 ภายในวงรอบ ≥ 24และ < 36 เดือน ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ยังไม่สมบูรณ์	4
ดำเนินการตรวจสอบในส่วนของการทดลองและการวัดที่ถูกต้องทั้งหมดของระดับที่ 1 ภายในวงรอบ ≥ 36 เดือน ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ยังไม่สมบูรณ์	0