# บทที่ 2

# ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งนำมาประยุกต์ใช้กับโครงงานนี้ รายละเอียดตามหัวข้อต่อไปนี้คือ การคำนวณระบบไฟฟ้าสำหรับวงจรมอเตอร์ โครงข่ายประสาทเทียม มีรายละเอียดดังนี้

## 2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ [1]

มอเตอร์ที่ใช้กับระบบไฟฟ้ากระแสสลับเป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าคือขดลวดในสเตเตอร์และส่วนที่ทำหน้าที่ให้พลังงานกลคือ ตัวหมุนหรือโรเตอร์ซึ่งเมื่อขดลวดในสเตเตอร์ได้รับพลังงานไฟฟ้าก็จะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมาในตัวที่อยู่กับที่หรือ สเตเตอร์ซึ่งสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นนี้จะมีการเคลื่อนที่หรือหมุนไปรอบๆสเตเตอร์เนื่องจากการต่างเฟสของกระแสไฟฟ้าในขดลวดและการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในขณะที่สนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ไปสนามแม่เหล็กจากขั้วเหนือก็จะพุ่งเข้าหาขั้วใต้ซึ่งจะไปตัดกับตัวนำที่เป็นวงจรปิดหรือขดลวดกรงกระรอกของตัวหมุนหรือโรเตอร์ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำของกระแสไฟฟ้าขึ้นในขดลวดของโรเตอร์ซึ่งสนามแม่เหล็กของโรเตอร์นี้จะเคลื่อนที่ตามทิศทางการเคลื่อนที่ของสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์ก็จะทำให้โรเตอร์ของมอเตอร์เกิดจะพลังงานกลสามารถนำไปขับภาระที่ต้องการหมุนได้

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ [1] (AC Motor) สามารถที่จะแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ มอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ (Induction Motor) และซิงโครนัสมอเตอร์ (Synchronous) ซึ่งที่กล่าวดังในโครงงานนี้เป็นมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ (Induction Motor) ซึ่งจะมีขนาดกำลังงานตั้งแต่ 0.37 kW ไปจนถึงขนาด 315 kW มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำมีทั้งที่เป็นมอเตอร์ชนิด 1 เฟส และชนิดที่เป็นมอเตอร์ 3 เฟส

**2.1.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 1 เฟส**

สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ชนิดคือ

(1) สปลิทเฟส มอเตอร์ (Split-Phase motor)

(2) คาปาซิเตอร์มอเตอร์ (Capacitor motor)

(3) รีพัลชั่นมอเตอร์ (Repulsion motor)

(4) ยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ (Universal motor)

(5) เช็ดเด็ดโพลมอเตอร์ (Shaded-pole motor)

**2.1.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 3 เฟส**

มอเตอร์ 3 เฟส เมื่อแบ่งตามลักษณะของโรเตอร์ (Rotor) สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด

(1) มอเตอร์แบบกรงกระรอก

อินดักชั่นมอเตอร์สามเฟส มอเตอร์แบบกรงกระรอก เป็นโรเตอร์ที่ให้กำลังแรงม้าต่ำเมื่อเทียบกับมอเตอร์แบบอื่นๆ แต่จะมีข้อดีคือจะมีความเร็วรอบการทำงานคงที่ในโหลดที่มีขนาดต่างๆกัน และการบำรุงรักษามอเตอร์แบบนี้ไม่ยุ่งยาก จึงทำให้อินดักชั่นมอเตอร์สามเฟส แบบกรงกระรอก เป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย

(2) มอเตอร์ชนิดขดลวดพัน

มอเตอร์ชนิดขดลวดพัน หรือแบบวงแหวนลื่นจะมีแกนหมุนพันขดลวดที่มีตัวนำไฟฟ้านำไปสู่วงแหวนลื่นเพื่อสอดแทรกตัวความต้านทานไว้เพิ่มแรงบิดในขณะเริ่มเดินเครื่องและลดกระแสในการเริ่มเดินเครื่อง ภายใต้แรงบิดขณะรับภาระเต็มที่ มอเตอร์แบบนี้เหมาะกับอุปกรณ์ขนถ่ายทุกชนิดที่ต้องควบคุมแรงบิดในขณะเริ่มเดินเครื่อง

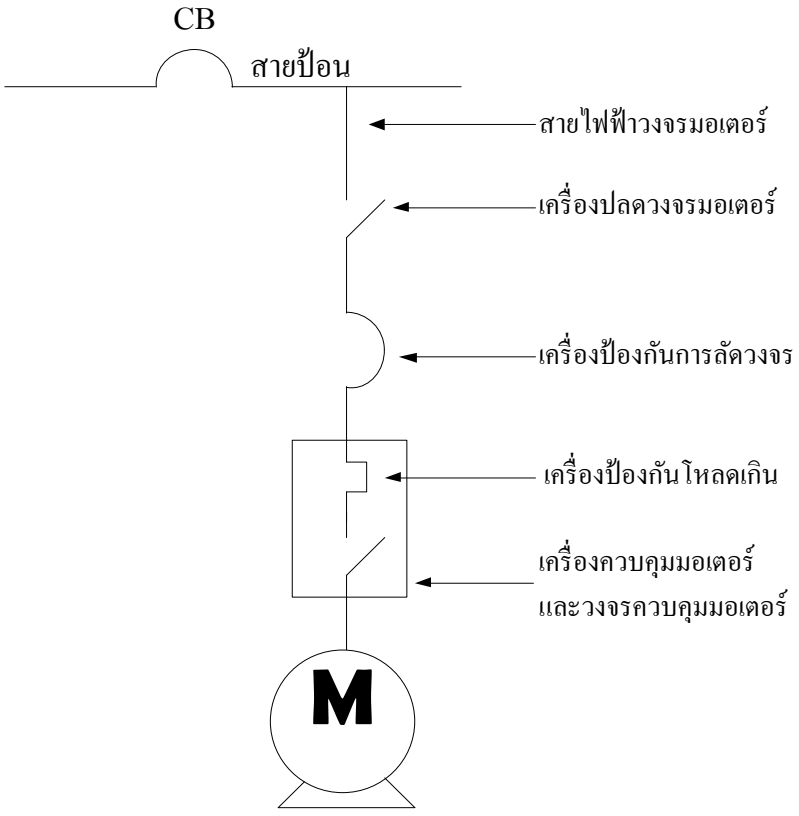
มอเตอร์ชนิดขดลวดพัน อาจจะใช้เป็นมอเตอร์ความเร็วคงที่ หรือเป็นมอเตอร์ปรับความเร็วได้ทั้ง 2 แบบ มอเตอร์มอเตอร์ชนิดขดลวดพัน สามารถควบคุมแรงบิดในขณะช่วงเวลาการเริ่มเดินเครื่องได้โดยการเพิ่มความต้านทานภายนอก เข้าไปในขดลวดทุติยภูมิ (Secondary Winding) ของมอเตอร์ ผ่านทางวงแหวนลื่นทำให้สามารถกำหนดโปรแกรมแรงบิดระหว่างการเริ่มเดินเครื่องให้เหมาะสมกับมอเตอร์ที่ขับอุปกรณ์ขนถ่ายแต่ละแบบการขับประเภทนี้ได้มีการใช้กันอย่างกว้างขวางในสายพานลำเลียงขนาดใหญ่

## 2.2 การออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับวงจรมอเตอร์ไฟฟ้า

การออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับโหลดประเภทมอเตอร์ไฟฟ้านี้ สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ หรือ ว.ส.ท. ได้กำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับการออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้าไว้โดยเฉพาะในเรื่องบริภัณฑ์ไฟฟ้า ผู้ออกแบบระบบไฟฟ้าจะต้องออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ให้ถูกต้องและเป็นไปตามมาตรฐานเพื่อให้การใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นไปอย่างปลอดภัยและน่าเชื่อถือ

### 2.2.1 ส่วนประกอบของวงจรมอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้ามีส่วนประกอบของวงจรมอเตอร์ดังแสดงในภาพที่ 2.1




**ภาพที่ 2.1** ส่วนประกอบของวงจรมอเตอร์ไฟฟ้า

จากภาพที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงส่วนประกอบต่างๆของวงจรมอเตอร์ไฟฟ้าที่ผู้ออกแบบจะต้องพิจารณาหาค่าพิกัดต่างๆทั้งหมด 6 ส่วนด้วยกันคือ

(1) สายไฟฟ้าสำหรับวงจรมอเตอร์ (Conductor Size) ซึ่งแยกเป็น

- สายไฟฟ้าสำหรับวงจรย่อยมอเตอร์ (Motor Branch Circuit Conductors)

- สายไฟฟ้าสำหรับสายป้อน (Feeder Circuit Conductors)

(2) การป้องกันการลัดวงจร (Shot Circuit Protection) ซึ่งแยกเป็น

- การป้องกันสำหรับวงจรย่อยมอเตอร์ (Motor Branch Circuit Protection)

- การป้องกันสายป้อน (Feeder Circuit Protection)

(3) การป้องกันเนื่องจากภาระโหลดเกิน (Overload Protection)

(4) เครื่องควบคุมมอเตอร์ (Motor Controller)

(5) วงจรควบคุมมอเตอร์ (Motor Control Circuits)

(6) เครื่องปลดวงจรมอเตอร์ (Motor Disconnected)

**2.2.2 การกำหนดขนาดสายของวงจรมอเตอร์**

วงจรมอเตอร์อาจประกอบด้วยวงจรที่มีมอเตอร์ตัวเดียว หลายเครื่อง และวงจรที่มีมอเตอร์รวมอยู่กับโหลดอื่นที่ไม่ใช่มอเตอร์ การกำหนดขนาดสายไฟฟ้าของวงจรย่อยหรือสายป้อนมีดังนี้

(1) วงจรที่มีมอเตอร์เครื่องเดียว

แยกพิจารณาเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าทั่วไปและมอเตอร์ชนิดวาวด์โรเตอร์

ก. มอเตอร์ทั่วไป

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 125% ของกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ ถ้ามอเตอร์เป็นชนิดความเร็วหลายค่าจะเลือกใช้ค่าที่สูงที่สุดแต่สายไฟฟ้าต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 1.5 ตร.มม.ดังสมการที่ (2.1)

$$I_C \geq 1.25 \times I_M \qquad (2.1)$$

กำหนดให้

$I_C$ = ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า เป็นแอมแปร์ (A)

$I_M$ = กระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ เป็นแอมแปร์ (A)

ข. มอเตอร์ชนิดวาวด์โรเตอร์

- ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าด้านปฐมภูมิหาได้ดังสมการที่ (2.2)

$$I_C \geq 1.25 \times I_M \tag{2.2}$$

- สายที่ต่ออยู่ระหว่างมอเตอร์ด้านทุติยภูมิกับเครื่องควบคุมมอเตอร์หาได้ดังสมการที่ (2.3)

$$I_{C,SEC} \geq 1.25 \times I_{M,SEC} \tag{2.3}$$

- มอเตอร์ที่มีตัวต้านทานแยกต่างหากจากเครื่องควบคุม ขนาดกระแสของสายที่ต่ออยู่ระหว่างเครื่องควบคุมและตัวต้านทานขึ้นอยู่กับประเภทการใช้งานของตัวต้านทานซึ่งปกติจะระบุไว้ที่ตัวต้านทานขนาดของกระแสต้องไม่ต่ำกว่าที่กำหนดในตาราง 2.1 คำนวณได้ดังสมการที่ (2.4)

$$I_{C,SEC} \geq K_1 \times I_{M,SEC} \tag{2.4}$$

กำหนดให้

$I_{C,SEC}$ = ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า เป็นแอมแปร์ (A)

$K_1$ = ค่าคงที่ในตารางที่ 2.1

$I_{M,SEC}$ = พิกัดกระแสด้านทุติยภูมิของมอเตอร์ เป็นแอมแปร์ (A)

**ตารางที่ 2.1** ค่าคงที่สำหรับหากระแสของสายระหว่างเครื่องควบคุมและตัวต้านทานของมอเตอร์ชนิดขดลวดพัน

| ประเภทการใช้งานของตัวต้านทาน | ขนาดกระแสของสายคิดเป็นร้อยละของกระแสด้านทุติยภูมิ ที่โหลดเต็มที่ ($K_1$) |
|---|---|
| ใช้งานเริ่มเดินอย่างเบา | 35 |
| ใช้งานเริ่มเดินอย่างหนัก | 45 |
| ใช้งานเริ่มเดินอย่างหนักมาก | 55 |
| ใช้งานเป็นระยะห่างมาก | 65 |
| ใช้งานเป็นระยะห่างปานกลาง | 75 |
| ใช้งานเป็นระยะถี่ | 85 |
| ใช้งานต่อเนื่อง | 110 |

(2) วงจรที่มีมอเตอร์หลายเครื่อง

ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าต้องไม่น้อยกว่า 125% ของกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์เครื่องที่ใหญ่ที่สุดในวงจร บวกด้วยกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ที่เหลือในวงจร ถ้ามีเครื่องใหญ่สุดเท่ากันอยู่หลายเครื่องให้คิดเพียงเครื่องเดียว การพิจารณาว่ามอเตอร์ตัวใดเป็นตัวใหญ่ที่สุด จะพิจารณาจากค่ากระแสโหลดเต็มที่ที่มีค่ามากที่สุดได้ดังสมการที่ (2.5)

$$I_C \geq 1.25 \times I_{M,MAX} + \sum_{i=1}^{N-1} I_{Mi} \quad (2.5)$$

กำหนดให้

$I_C$ = ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า เป็นแอมแปร์ (A)

$I_{M,MAX}$ = กระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์เครื่องใหญ่ที่สุด เป็นแอมแปร์ (A)

$I_{Mi}$ = กระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์อื่นที่เหลือทั้งหมด เป็นแอมแปร์ (A)

N = จำนวนมอเตอร์ทั้งหมดในวงจร

**2.2.3 การกำหนดขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร**

ในวงจรมอเตอร์ประกอบด้วยเครื่องป้องกันกระแสเกินอยู่ 2 ตัว ซึ่งทำหน้าที่แตกต่างกัน คือ เครื่องป้องกันกระแสเกินเนื่องจากการใช้โหลดเกิน (Overload) และเครื่องป้องกันกระแสเกินเนื่องจากการลัดวงจรระหว่างสายไฟ เครื่องป้องกันกระแสเกินทั้งสอง มีจุดประสงค์การใช้งานที่ต่างกันการกำหนดค่าจึงต่างกันด้วย

การกำหนดขนาดของฟิวส์ก็อาศัยหลักการเดียวกับเซอร์กิตเบรกเกอร์ คือ ฟิวส์ต้องไม่ขาดเมื่อมอเตอร์เริ่มเดินฟิวส์โดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ ชนิดทำงานเร็วและชนิดหน่วงเวลา ฟิวส์ที่เหมาะสำหรับวงจรมอเตอร์คือฟิวส์ชนิดหน่วงเวลา

(1) การกำหนดขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรของวงจรย่อย

การต่อสายแยกเข้ามอเตอร์ปกติต้องติดตั้งเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร แต่การต่อแยกเข้ามอเตอร์เครื่องเดียวอาจไม่ต้องติดตั้งเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรก็ได้ ถ้าขนาดกระแสของสายแยกไม่ต่ำกว่า 1/3 เท่าของขนาดกระแสของสายหลัก และระยะทางจากจุดที่ต่อแยกจนถึงเครื่อง

ป้องกันโหลดเกินยาวไม่เกิน 7.5 เมตร ว.ส.ท. ได้กำหนดมาตรฐานการติดตั้งเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรไว้ดังนี้

ก. วงจรย่อยที่มีมอเตอร์ตัวเดียวเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรจะกำหนดตามเปอร์เซ็นต์ของกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ แต่ถ้าค่าที่คำนวณได้ไม่ตรงกับมาตรฐานของฟิวส์หรือเซอกิตเบรกเกอร์ ก็อาจเลือกค่าใกล้เคียงที่สูงถัดขึ้นไปได้ การกำหนดพิกัดหรือขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรของวงจรมอเตอร์ จำเป็นต้องทราบรายละเอียดหลายอย่างคือ ชนิดของมอเตอร์ วิธีการเริ่มเดิน รหัสอักษร และชนิดของเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจร หากไม่มีข้อมูลนิยมเลือก เซอกิตเบรกเกอร์ที่มีพิกัดกระแสประมาณ 2 – 2.5 เท่าของกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ดังสมการที่ (2.6)

$$I_{CB} = \frac{K_2 \times I_M}{100} \tag{2.6}$$

กำหนดให้

$I_{CB}$ = ขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรของมอเตอร์ เป็นแอมแปร์ (A)

$K_2$ = ค่าคงที่ในตารางที่ 2.2

$I_M$ = พิกัดกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ เป็นแอมแปร์ (A)

**ตารางที่ 2.2** พิกัดหรือขนาดปรับตั้งสูงสุดของเครื่องป้องกันการลัดวงจรระหว่างสายและป้องกันการรั่วลงดินของวงจรย่อยมอเตอร์

| ชนิดของมอเตอร์ | ร้อยละของกระแสโหลดเต็มที่ (K2) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Non-time Delay | Time Delay Fuse | Instantaneous Trip | Inverse Time Trip |
| มอเตอร์ 1 เฟสไม่มีรหัสอักษร | 300 | 175 | 700 | 250 |
| มอเตอร์กระแสสลับ 1 เฟสทั้งหมดและมอเตอร์ 3 เฟสแบบกรงกระรอกและแบบซิงโคนัส ซึ่งเริ่มโดยรับแรงดันไฟฟ้าเต็มที่หรือเริ่มเดินผ่านตัวต้านทานหรือรีแอ็กเตอร์ | | | | |
| - ไม่มีรหัสอักษร | 300 | 175 | 700 | 250 |
| - รหัสอักษร F ถึง V | 300 | 175 | 700 | 250 |
| - รหัสอักษร B ถึง E | 250 | 175 | 700 | 250 |
| - รหัสอักษร A | 150 | 150 | 700 | 150 |
| มอเตอร์กระแสสลัยทั้งหมดแบบกรงกระรอกและแบบซิงโคนัสซึ่งเริ่มเดินโดยผ่านหม้อแปลงออโต้กระแสไม่เกิน 30 แอมแปร์ | | | | |
| - ไม่มีรหัสอักษร | 250 | 175 | 700 | 200 |
| กระแสเกิน 30 แอมแปร์ | | | | |
| - ไม่มีรหัสอักษร | 200 | 175 | 700 | 200 |
| - รหัสอักษร F ถึง V | 250 | 175 | 700 | 200 |
| - รหัสอักษร B ถึง E | 200 | 175 | 700 | 200 |
| - รหัสอักษร A | 150 | 150 | 700 | 150 |
| มอเตอร์แบบกรงกระรอก กระแสไม่เกิน 30 แอมแปร์ | | | | |
| - ไม่มีรหัสอักษร | 250 | 175 | 700 | 250 |

**ตารางที่ 2.2** (ต่อ)

| ชนิดของมอเตอร์ | ร้อยละของกระแสโหลดเต็มที่ (K2) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Non-time Delay** | **Time Delay Fuse** | **Instantaneous Trip** | **Inverse Time Trip** |
| กระแสเกิน 30 แอมแปร์<br>- ไม่มีรหัสอักษร | 200 | 175 | 700 | 200 |
| มอเตอร์แบบวาวด์โรเตอร์<br>- ไม่มีรหัสอักษร | 150 | 150 | 700 | 150 |
| มอเตอร์กระแสตรง(แรงดันคงที่)<br>ขนาดไม่เกิน 50 แรงม้า<br>- ไม่มีรหัสอักษร<br>ขนาดเกิน 50 แรงม้า | 150 | 150 | 250 | 150 |
| - ไม่มีรหัสอักษร | 150 | 150 | 175 | 150 |

ข. วงจรย่อยที่มีมอเตอร์หลายเครื่องหรือมีโหลดอื่นรวมอยู่ด้วยวงจรย่อยขนาดไม่เกิน 15 แอมแปร์ ยอมให้มีมอเตอร์ขนาดไม่เกิน 1 แรงม้าต่อใช้งานเครื่องเดียวหรือหลายเครื่องก็ได้โดยไม่ต้องมีเครื่องป้องกันกระแสเกิน ประจำแต่ละเครื่อง ถ้ามอเตอร์เป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้ทุกข้อ

- กระแสใช้งานเต็มที่ของมอเตอร์แต่ละเครื่องไม่เกิน 6 แอมแปร์
- ขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรของมอเตอร์แต่ละเครื่องที่ระบุไว้ที่เครื่องควบคุมมอเตอร์ มีค่าไม่น้อยกว่าขนาดเครื่องป้องกันกระแสเกินของวงจรย่อย
- มอเตอร์แต่ละเครื่องมีการติดตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน

(2) การกำหนดขนาดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรของสายป้อน

- มอเตอร์ที่ติดตั้งเพื่อใช้งานสำหรับเครื่องจักรที่มีอยู่แล้ว การกำหนดพิกัดหรือขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรกำหนด ดังสมการที่ (2.7)

$$I_{CB} = I_{CB1,MAX} + \sum_{i=1}^{N-1} I_{Mi} \qquad (2.7)$$

กำหนดให้

$I_{CB}$ = ขนาดปรับตั้งเครื่องป้องกันการลัดวงจรของสายป้อน เป็นแอมแปร์ (A)

$I_{CB1,MAX}$ = พิกัดเครื่องป้องกันกระแสลัดวงจรใหญ่ที่สุดเป็นแอมแปร์ (A)

$I_{Mi}$ = กระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์อื่นที่เหลือทั้งหมด เป็นแอมแปร์ (A)

N = จำนวนมอเตอร์ทั้งหมดในวงจร

หากในวงจรมีเครื่องป้องกระแสลัดวงจรใหญ่สุดมากกว่า 1 ตัว ให้เลือกตัวเดียวเป็นตัวที่ใหญ่สุด และค่าที่คำนวณได้นี้ไม่ตรงกับขนานมาตรฐานของผู้ผลิต ให้เลือกขนาดมาตรฐานใกล้เคียงที่สูงถัดขึ้นไปได้

- การออกแบบสำรองไว้สำหรับอนาคต การสำรองเครื่องป้องกระแสลัดวงจรของสายป้อนให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อการเพิ่มโหลดในอนาคตก็สามารถทำได้ แต่ต้องเลือกขนาดกระแสของสายป้อนให้มีค่าไม่ต่ำกว่าพิกัดหรือขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกระแสลัดวงจรด้วย

- สายป้อนวงจรมอเตอร์ที่มีโหลดอื่นรวมอยู่ด้วย พิกัดหรือขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกระแสลัดวงจรต้องสูงพอที่จะจ่ายโหลดอื่นได้ด้วย ในวงจรที่มีโหลดอื่นกำลังใช้งานอยู่และต้องการเดินมอเตอร์เครื่องใหญ่สุดในวงจร โดยเครื่องป้องกระแสลัดวงจรต้องไม่ปลดวงจร

**2.2.4 ดีมานด์แฟกเตอร์ของสายป้อนวงจรมอเตอร์**

สายป้อนสำหรับวงจรมอเตอร์และวงจรมอเตอร์ที่มีโหลดอื่นรวมอยู่ด้วย การกำหนดขนาดกระแสของสายไฟฟ้าและขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกระแสลัดวงจรอาจเล็กลงได้ถ้าใช้ค่าดีมานด์แฟกเตอร์ที่เหมาะสม

**2.2.5 การกำหนดขนาดปรับตั้งเครื่องป้องกันโหลดเกิน**

การใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้านั้น มีอยู่บ่อยครั้งที่มีการใช้งานมอเตอร์เกินพิกัดจนทำให้มอเตอร์มีความร้อนสูงซึ่งจะเป็นอันตรายต่อตัวมอเตอร์ได้ ฟิวส์หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ในวงจรมอเตอร์นั้นจะไม่ปลดวงจรออกเนื่องจากตัวมันทำหน้าที่ป้องกันการลัดวงจรของมอเตอร์เท่านั้น จึงทำให้ต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินเพิ่มเติมเพื่อทำหน้าที่ป้องกันมอเตอร์ในกรณีมีการใช้โหลดเกิน

ได้แก่ รีเลย์โหลดเกิน (Overload Relay) ในวงจรมอเตอร์รีเลย์โหลดเกินจะต่ออนุกรมอยู่กับวงจรมอเตอร์สามารถปรับตั้งค่ากระแสได้โดยจะปรับให้มีค่าใกล้เคียงกับค่ากระแสพิกัดของมอเตอร์ มอเตอร์ประเภทใช้งานต่อเนื่องแบบ ขนาดเกิน 1 แรงม้า มอเตอร์แต่ละตัวต้องมีการป้องกันการใช้งานงานเกินกำลังด้วยวิธีใดวิธีหนึ่ง เครื่องป้องกันการใช้งานเกินกำลังติดตั้งแยกห่างจากตัวมอเตอร์และทำงานสัมพันธ์กับกระแสของมอเตอร์ขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันการใช้งานเกินกำลังต้องไม่เกินร้อยละของพิกัดกระแสโหลดเต็มที่บนแผ่นป้ายประจำเครื่อง(FLA) ดังนี้

- มอเตอร์ที่ระบุตัวประกอบใช้งาน (Service Factor) ไม่น้อยกว่า 1.15 ร้อยละ 125 (140)
- มอเตอร์ที่ระบุอุณหภูมิเพิ่มขึ้นไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส ร้อยละ 125 (140)
-มอเตอร์อื่นๆ ร้อยละ 115 (130)

ค่าตัวเลขที่แสดงในวงเล็บเป็นค่าสูงสุดที่ยอมให้ปรับตั้งได้หากในการติดตั้งใช้งานจริง เครื่องป้องกันโหลดเกิน ปลดวงจรเมื่อเริ่มเดินมอเตอร์

**2.2.6 เครื่องควบคุมมอเตอร์**

การใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้าจะต้องมีชุดอุปกรณ์สำหรับการสั่งเดินและหยุดมอเตอร์ เพื่อให้มอเตอร์ทำงานได้ตามต้องการ โดยมากผู้ออกแบบมักเลือกใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า แมกเนติกส์คอนแทคเตอร์(Magnetic Contactor) เป็นอุปกรณ์สั่งงานซึ่งสามารถนำมาติดตั้งในเครื่องห้อหุ้มหรือตู้ควบคุมเพื่อใช้งานโดยมีลักษณะการควบคุมพื้นฐานอยู่ 2 ลักษณะคือ

(1) เริ่มเดินด้วยการต่อไฟฟ้าเข้ามอเตอร์โดยตรง (Direct On Line Starter)

เครื่องควบคุมมอเตอร์แบบนี้จะต่อไฟฟ้าที่แรงดันพิกัดของมอเตอร์ที่ขั้วของมอเตอร์โดยตรง ซึ่งจะทำให้ค่ากระแสเริ่มเดินเครื่อง (Starting Current) มีค่าสูงมาก แต่จะให้ผลดีคือแรงบิดเริ่มต้นของมอเตอร์ก็จะมีค่าสูงด้วยสามารถฉุดโหลดหนักๆได้ดี โดยทั่วไปกระแสเริ่มเดินจะมีค่าประมาณ 6 เท่าของค่ากระแสพิกัดของมอเตอร์ การใช้งานนิยมใช้มอเตอร์ขนาดเล็กๆไม่เกิน 10 แรงม้า เนื่องจากขณะเริ่มเดินมอเตอร์อาจส่งผลให้เกิดแรงดันตกชั่วขณะในระบบได้

(2) เริ่มเดินเครื่องด้วยวิธีการลงแรงดัน (Reduced Voltage Starter)

เมื่อวิธีการเดินเครื่องแบบจ่ายไฟฟ้าเข้ามาที่มอเตอร์โดยตรงทำให้กระแสเริ่มเดินสูง จึงได้มีการคิดค้นวิธีลดกระแสเริ่มเดินนี้ด้วยวิธีเดินเครื่องแบบอื่นๆ วิธีที่นิยมใช้ก็คือการลดแรงดันที่จ่าย

เข้าขั้วมอเตอร์เพื่อเพิ่มให้มอเตอร์เริ่มเดินได้จากนั้นจึงค่อยจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่พิกัดเข้าที่ขั้วของมอเตอร์อีกครั้ง ซึ่งมีหลายวิธีเช่น

- การเริ่มเดินเครื่องแบบสตาร์-เดลตา (Star-Delta Starting)

การเริ่มเดินเครื่องแบบสตาร์-เดลตา นั้น จะต้องเดินสายไฟจากสตาร์ตไปยังตัวมอเตอร์จำนวน 6 เส้น และกระแสของสายแต่ละเส้นเท่ากับ $\frac{1}{\sqrt{3}}$ หรือ 0.58 ของกระแสพิกัดเนื่องจากต่อแบบเดลตา ดังสมการที่ (2.8)

$$I_C \geq 1.25 \times I_M \times 0.58 \quad (2.8)$$

กำหนดให้

$I_C$ = ขนาดกระแสของสายไฟฟ้า เป็นแอมแปร์ (A)

$I_M$ = กระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ เป็นแอมแปร์ (A)

- การเริ่มเดินด้วยหม้อแปลงออโต้ (Autotransformer Starting)
- การเริ่มเดินด้วยความต้านทาน (Resistance Starting)

เครื่องควบคุมมอเตอร์โดยทั่วไปจะประกอบด้วยคอนแทคเตอร์และวงจรควบคุมการเลือกใช้คอนแทคเตอร์นอกจากจะต้องกำหนดขนาดแล้วจะต้องเลือกชนิดของคอนแทคเตอร์ให้เหมาะสมด้วย เนื่องจากคอนแทคเตอร์มีหลายชนิดตามความต้องการของโหลด ในมาตรฐาน IEC กำหนดไว้ดังนี้

AC1 ใช้สำหรับโหลดประเภทความต้านทาน

AC2 ใช้สำหรับโหลดประเภทขดลวด (Inductive) จึงเหมาะที่จะใช้กับมอเตอร์ชนิดวาวด์โรเตอร์ซึ่งมีกระแสเริ่มเดินประมาณ 2.5 เท่า

AC3 ใช้สำหรับมอเตอร์ทั่วไป จึงเหมาะที่จะใช้มอเตอร์ชนิดสคิวเรลเคจอินดักชั่น ซึ่งมีกระแสเริ่มเดินประมาณ 5-7 เท่า หรือใช้กับมอเตอร์ชนิดวาวด์โรเตอร์ก็ได้

AC4 ใช้สำหรับมอเตอร์ที่ใช้งานเป็นช่วงสั้นๆ

**2.2.7 เครื่องปลดวงจรมอเตอร์**

เครื่องปลดวงจรต้องสามารถปลดมอเตอร์และเครื่องควบคุมมอเตอร์ออกจากวงจรได้ และต้องสามารถปลดสายได้ทุกเส้นพร้อมกัน ต้องติดตั้งอยู่ในที่สามารถมองเห็นได้จากที่ตั้งมอเตอร์และเครื่องจักรที่มอเตอร์ขับอยู่และห่างจากเครื่องควบคุมไม่เกิน 15 เมตร แต่ถ้าเครื่องปลดวงจรสามารถใส่กุญแจได้ในตำแหน่งปลด ก็ไม่ต้องมองเห็นได้จากที่ตั้งมอเตอร์และเครื่องจักรที่มอเตอร์ขับอยู่พิกัดกระแสของเครื่องปลดวงจรเครื่องปลดวงจรของมอเตอร์ระบบแรงต่ำ ต้องมีพิกัดกระแสไม่น้อยกว่า 115% ของพิกัดกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ชนิดของเครื่องปลดวงจร

**2.2.8 สายดินสำหรับวงจรย่อยมอเตอร์**

วงจรย่อยมอเตอร์จะต้องมีการติดตั้งสายดินเพื่อความปลอดภัย การกำหนดขนาดสายดินของวงจรมอเตอร์กำหนดจากขนาดของเครื่องป้องกันการลัดวงจรได้จากตาราง 2.5 ขนาดสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า แต่เนื่องจากเครื่องป้องกันการลัดวงจรที่เลือกใช้อาจมีขนาดใหญ่เนื่องจากต้องการให้มอเตอร์สามารถเริ่มเดินเครื่องได้ ดังนั้นขนาดของสายดินก็จะมีขนาดใหญ่ตามไปด้วย ซึ่งบางครั้งอาจใหญ่กว่าสายเฟสของวงจรย่อยด้วย ในกรณีนี้ให้ใช้สายดินมีขนาดเท่ากับสายเฟส การเลือกขนาดสายดินของมอเตอร์ให้เลือกตามพิกัดของเครื่องป้องกันเกินกำลังของมอเตอร์ดังสมการที่ (2.9)

$$\text{พิกัดเครื่องป้องกันเกินกำลัง} = 1.15 \times I_M \qquad (2.9)$$

กำหนดให้

$I_M$ = กระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ เป็นแอมแปร์ (A)

**ตารางที่ 2.3** ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า

| พิกัดหรือขนาดปรับตั้งของเครื่องป้องกันกระแสเกิน ไม่เกิน (A) | ขนาดต่ำสุดของสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า (ตัวนำทองแดง) (ตารางมิลลิเมตร) |
|---|---|
| 16 | 1.5 |
| 20 | 2.5 |
| 40 | 4 |
| 70 | 6 |
| 100 | 10 |
| 200 | 16 |
| 400 | 25 |
| 500 | 35 |
| 800 | 50 |
| 1000 | 70 |
| 1250 | 95 |
| 2000 | 120 |
| 2500 | 185 |
| 4000 | 240 |
| 6000 | 400 |

### 2.2.9 อุณหภูมิโดยรอบสายไฟฟ้า

ในการใช้งานสายไฟฟ้า บางครั้งจะต้องมีการติดตั้งในสถานที่ซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิปกติ เช่นการเดินสายผ่านห้องเครื่องในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น ทำให้ความสามารถในการนำกระแสของสายลดลงไปด้วย เนื่องจากการระบายความร้อนไม่ดีเท่าที่ควร ในการพิจารณาเลือกใช้สายไฟฟ้าจึงต้องคำนึงถึงลักษณะสภาพแวดล้อมที่ติดตั้งสายไฟฟ้าพาดผ่านด้วย

มาตรฐานของ ว.ส.ท.ได้จัดทำเป็นตารางแสดงถึงค่าพิกัดกระแสของสายไฟฟ้าขึ้นกับวิธีการเดินสายที่กำหนดไว้ในมาตราฐาน

- วิธีการเดินแบบ ก.หมายถึง สายแกนเดียว หุ้มฉนวน เดินในอากาศ
- วิธีการเดินแบบ ข.หมายถึง สายแบนหุ้มฉนวนมีเปลือกเดินเกาะผนัง
- วิธีการเดินแบบ ค.หมายถึง สายแกนเดียวหุ้มฉนวนไม่เกิน 3 เส้นในท่อ เดินในอากาศ
- วิธีการเดินแบบ ง.หมายถึง สายแกนเดียวหุ้มฉนวนไม่เกิน 3 เส้น เดินในท่อฝังดิน
- วิธีการเดินแบบ จ.หมายถึง สายแกนเดียวหุ้มฉนวนมีเปลือกไม่เกิน 3 เส้น ฝังดินโดยตรง

วิธีการเดินสายต่างๆดังแสดงในตารางที่ 2.4 โดยปกติถ้าเดินในอากาศจะคิดอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส ขณะที่เดินฝังดินจะคิดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสสามารถคำนวณกระแสขนาดสายไฟกรณีการเดินสายที่อุณหภูมิแตกต่างจากที่กำหนด ( $I_C$ ) ได้ดังสมการที่ (2.10)

$$I_c = \frac{I_{c0}}{K3} \tag{2.10}$$

เมื่อ

$I_{C0}$ = ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าที่อุณหภูมิตามที่กำหนดของวิธีการเดินสาย เป็นแอมแปร์ (A)

K3 = ค่าคงที่ในตารางที่ 2.4

ซึ้ง $I_{C0}$ จะขึ้นอยู่กับวิธีการเดินสายดังนี้

แบบ ก.หมายถึง การเดินสายในอากาศ

แบบ ข.หมายถึง การเดินสายในอากาศ

แบบ ค.หมายถึง การเดินสายในท่อโลหะไม่ฝังดิน

แบบ ง.หมายถึง การเดินสายในท่อโลหะฝังดิน

แบบ จ.หมายถึง การเดินสายฝังดินโดยตรง

**ตารางที่2.4** ค่าคงที่ปรับค่ากระแสของสายไฟทองแดงหุ้มฉนวน พีวีซี ตาม มอก.11-2531 กรณีที่อุณหภูมิโดยรอบที่แตกต่างจาก 40 องศาเซลเซียส (สำหรับวิธีการเดินสาย แบบ ก-ค) หรือ 30 องศาเซลเซียส(สำหรับวิธีการเดินสายแบบ ง และ จ)

| อุณหภูมิโดยรอบ (องศาเซลเซียส) | ตัวคูณ (K3) | |
|---|---|---|
| | สำหรับวิธีการเดินแบบ ก - ค | สำหรับวิธีการเดินแบบ ง และ จ |
| 21 - 25 | - | 1.06 |
| 26 - 30 | - | 1 |
| 31 - 35 | 1.08 | 0.94 |
| 36 - 40 | 1 | 0.87 |
| 41 - 46 | 0.91 | 0.79 |
| 46 - 50 | 0.82 | 0.71 |
| 51 - 55 | 0.71 | - |
| 56 - 60 | 0.58 | - |

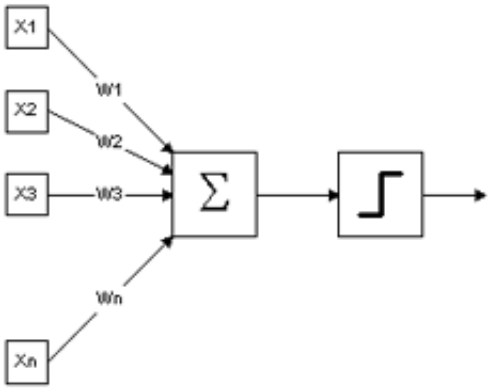
## 2.3 โครงข่ายประสาทเทียม [2] [3]

ในปัจจุบันได้มีการนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในงานวิจัยด้านสืบค้นสารสนเทศในหลายๆรูปแบบด้วยกัน เช่น การจัดกลุ่มข้อความ การจำแนก โดยเฉพาะโครงข่ายประสาทเทียมสามารถที่จะปรับตัวให้สามารถรับรู้สภาพที่เปลี่ยนแปลงได้ สิ่งนี้เป็นประโยชน์อย่างมากในการแก้ปัญหาอีกหลายประเภทที่คอมพิวเตอร์อาจไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งานและอาจเป็นงานที่มีการคิดและวิเคราะห์เช่นการค้นคว้าหาใจความสำคัญของเอกสารที่โดยทั่วไปแล้วมักจะต้องทำการวิเคราะห์โดยคนหรือผู้เชี่ยวชาญในด้านภาษาศาสตร์ เพราะสมองของมนุษย์เรานั้นสามารถที่จะคิดวิเคราะห์ได้อย่างสลับซับซ้อน จึงได้มีการนำแนวคิดการทำงานของมนุษย์นั้นมาประยุกต์ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพความฉลาดของคอมพิวเตอร์ โดยวิธีการนี้คล้ายกับสมองของมนุษย์ในรูปแบบของโครงข่ายประสาทเทียม อันเป็นการเลียนแบบการทำงานของเซลล์ประสาท ซึ่งมีชื่อเรียกอีก

อย่างว่า นิวรอน จึงมีความจำเป็นที่จะต้องกล่าวถึงนิยามต่างๆ ของโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อเป็นความรู้เบื้องต้นที่สำคัญก่อนที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไปโครงข่ายประสาทเทียมถูกสร้างขึ้นเพื่อเลียนแบบการทำงานของสมองของมนุษย์ มีการทำงานแบบขนานจำนวนมาก ในโครงงานชิ้นนี้เลือกใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซฟตรอนหลายชั้น (Multi-Layer Perceptron Neural Network) หรือ(Feed-Forwar Back Propagation Neural Network) ซึ่งเป็น โครงข่ายประสาทเทียมแบบต้องมีผู้สอน (Supervised Learning)

**2.3.1 นิวรอน(Neurons)**

นิวรอน หมายถึง เซลล์ประสาทและกระบวนการทั้งหมดของเซลล์ประสาทจะสามารถพบได้ใน เรตินา เป็นนิวตรอนที่มีสองขั้ว ในตัวเซลล์ของนิวตรอนจะมีนิวเคลียส อยู่ตรงกลางและมีแขนงอย่างน้อย 1 เส้นเชื่อมต่ออยู่กับเซลล์ แขนงที่ทำหน้าที่นำกระแสประสาท ซึ่งมีลักษณะเป็นสัญญาณอิมพัลส์ เข้ามายังตัวเซลล์นั้นเรียกว่า"เดนไดรท์" (Dendrite) ส่วนแขนงที่ทำหน้าที่นำกระแสประสาทออกจากตัวเซลล์เรียกว่า "แอคซอน" (Axon)




**ภาพที่2.2** แสดง Model ของ Neuron ในคอมพิวเตอร์

**2.3.2 ชนิดของโครงข่ายประสาทเทียม (Network Architecture)**

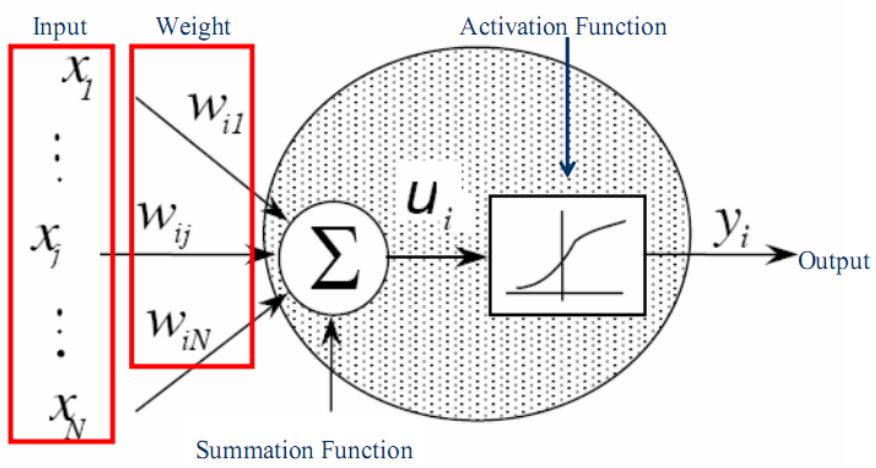
โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) เป็นระบบประมวลผลข้อมูลที่มีคุณลักษณะการทำงานเทียบได้กับโครงข่ายประสาทจริงของทางชีววิทยา โครงข่ายประสาทเทียมนี้ได้พัฒนาการรู้คิดหรือการจำของมนุษย์ให้เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ภายใต้สมมติฐานดังนี้

(1) โครงข่ายประสาทเทียม ประกอบไปด้วยหน่วยประมวลผลจำนวนมากมาย เรียกว่า นิวรอน (Neuron, Unit, Cell หรือ Nodes) การประมวลผลข้อมูลจะเกิดขึ้นได้ที่นิวรอนนี้

(2) สัญญาณต่างๆ สามารถผ่านนิวรอนได้ด้วยการเชื่อมกันของลิงค์ (Link)

(3) แต่ละลิงค์จะมีความสัมพันธ์กับค่าน้ำหนัก (Weight) ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นค่าที่ให้โครงข่ายใช้ในการตัดสินใจแก้ปัญหา โดยทั่วไปค่าน้ำหนักนี้จะถูกคูณเข้ากับสัญญาณอินพุตเพื่อส่งออกไปยังนิวรอนอื่น

(4) แต่ละนิวรอนจะมีค่าสถานะภายใน (Internal State) เรียกว่าระดับแรงกระตุ้น (Activation หรือ Activity Level) ที่จะให้ฟังก์ชันการกระตุ้น (Activation Function) ของสัญญาณอินพุตผลลัพธ์เพื่อส่งเป็นสัญญาณเอาต์พุตออกไปให้แก่นิวรอนตัวอื่นๆ ของฟังก์ชันการกระตุ้นนี้



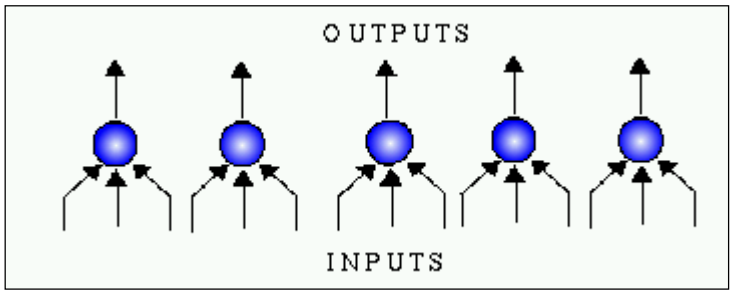

**ภาพที่2.3** แสดงโครงสร้างพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียม

**2.3.3 โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ** (Back Propagation Algorithm)

สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม สามารถจำแนกได้ตามลักษณะโครงสร้างของโครงข่าย หรือจำแนกตามกระบวนการเรียนรู้ ซึ่งในหัวข้อนี้จะจำแนกตามลักษณะโครงสร้างที่ประกอบกันเป็นโครงข่ายประสาทเทียม สามารถจำแนกสถาปัตยกรรมของชั้น (Layer) ออกเป็น 2 ประเภทคือ Single-Layer และ Multi-Layer

(1) โครงข่ายประสาทเทียมชั้นเดียว (Single-Layer Perceptron)

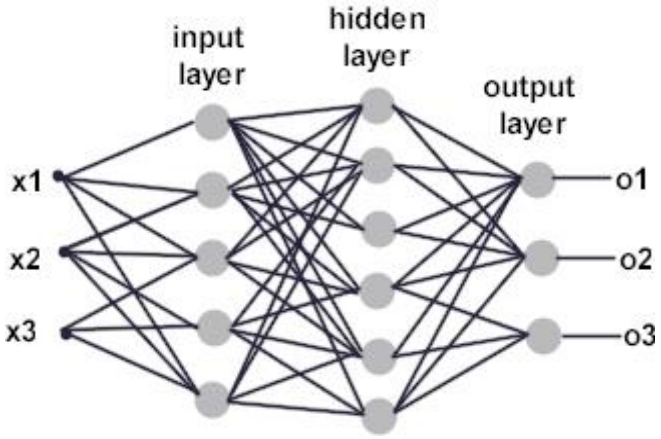
โครงข่ายประสาทที่ประกอบด้วยชั้นเพียงชั้นเดียว จำนวน Input Nodes ขึ้นอยู่กับจำนวน Components ของ Input Data และ Activation Function ขึ้นอยู่กับลักษณะข้อมูลของ Output เช่นถ้า Output ที่ต้องการเป็น “ใช่” หรือ “ไม่ใช่” เราจะต้องใช้ Threshold Function




**ภาพที่2.4** แสดง Single-Layer Perceptron

(2) โครงข่ายประสาทเทียมชนิดหลายชั้น (Multi-Layer Perceptron)

โครงข่ายใยประสาทจะประกอบด้วยหลายชั้นโดยในแต่ละชั้นจะประกอบด้วยโหนด (Nodes) หรือเปรียบได้กับตัวเซลล์ประสาท (Neurons) ค่าน้ำหนักของเส้นที่เชื่อมต่อระหว่างโหนดของแต่ละชั้น (เมทริก W), ค่า Bias Vector (b) และค่า Output Vector (a) โดย m เป็นตัวเลขบอกลำดับชั้นกำกับไว้ด้านบน เมื่อ p เป็นอินพุต Vector การคำนวณค่าเอาต์พุตสำหรับเครือข่ายใยประสาทที่มี M ชั้น




**ภาพที่2.5** แสดง Multi-Layer Perceptron

### 2.3.4 การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาท จะพบว่า การเชื่อมต่อของเซลล์ประสาทที่บริเวณต่างๆ นั้นสามารถมีรูปแบบที่แตกต่างกันได้หลายๆ แบบ และกระบวนการเรียนรู้ของแต่ละบริเวณก็ไม่เหมือนกันด้วย

ในทำนองเดียวกัน เทคนิคการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมก็แตกต่างกันไปสำหรับแต่ละชนิด ของโครงข่ายขบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม คือ ช่วงที่โครงข่ายจะปรับตัวเอง(การปรับค่าน้ำหนักและค่าไบอัส) จากการกระตุ้นอินพุตเพื่อสร้างผลตอบสนองของโครงข่ายให้ได้ตามต้องการและในที่สุดโครงข่ายประสาทเทียมก็จะสามารถสร้างผลตอบสนองเอาต์พุตที่ต้องการได้ในทุกๆรูปแบบของอินพุตนั้นโครงข่ายก็จะสิ้นสุดการเรียนรู้อย่างสมบูรณ์ลักษณะการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมสามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภทคือ

(1) การเรียนรู้ในลักษณะมีผู้สอน (Supervised Learning)

การเรียนรู้ในลักษณะมีผู้สอนจะเริ่มต้นด้วยการส่งอินพุต ซึ่งในที่นี้จะเป็นสิ่งเร้าที่ใช้ในการสอนโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อให้ผลตอบสนองเอาต์พุตโดยผลการตอบสนองจะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมเริ่มต้นของการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม และผลตอบสนองดังกล่าวจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลตอบสนองเป้าหมาย (Target Response) ซึ่งผู้สอน (Teacher) จะเป็นผู้สร้าง ดังนั้นหากผลตอบสนองทั้งสองมีความแตกต่างกันซึ่งค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ที่จะเกิดขึ้นถูกนำมาใช้ในคำนวณปรับปรุงค่าน้ำหนัก (Weight) และค่าไบอัส ทุกๆค่าของโครงข่ายในแต่ละรอบของการเรียนรู้จนกว่าโครงข่ายจะสามารถสร้างผลตอบสนองได้เหมือนกับผลตอบสนองเป้าหมาย คือ ค่าความคลาดเคลื่อนจะมีค่าเท่ากับศูนย์ หรืออยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ กระบวนการเรียนรู้จะสิ้นสุดลง โดยการปรับแต่งค่าน้ำหนักและค่าไบอัส จะพิจารณาขั้นตอนการคำนวณที่แตกต่างกันซึ่งวิธีส่วนใหญ่ของการเรียนรู้ในลักษณะมีผู้สอนจะดัดแปลงมาจากวิธีการทางคณิตศาสตร์

(2) การเรียนรู้ในลักษณะไม่มีผู้สอน (Unsupervised Learning)

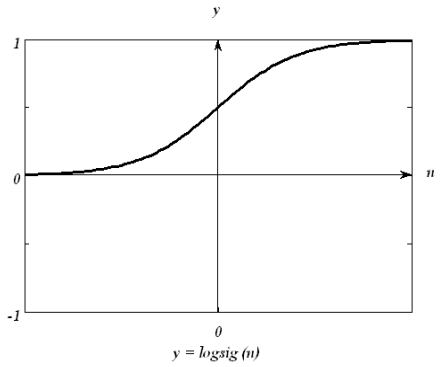
การเรียนรู้ในลักษณะไม่มีผู้สอนจะแตกต่างกับการเรียนรู้ในลักษณะมีผู้สอนตรงที่ไม่จำเป็นต้องมีค่าผลตอบสนองเป้าหมายในช่วงของการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมโครงข่ายไม่จำเป็นต้องมีผู้สอนแต่จำเป็นต้องมีสิ่งชี้แนะโดยโครงข่ายประสาทเทียมจะได้รับข้อมูลกระตุ้นในรูปต่างๆและจะทำการจัดกลุ่มรูปแบบต่างๆ เหล่านั้นตามต้องการ เอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้การเรียนรู้ในลักษณะไม่มีผู้สอนนี้จะเป็นการระบุกลุ่มของข้อมูลที่ใส่เข้าไปโดยใช้วิธีการจัดกลุ่มซึ่งได้เรียนรู้จากข้อมูลที่เคยพบมา

**2.3.5 ฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer Function)**

ฟังก์ชันการถ่ายโอนเป็นตัวกำหนดค่าเอาต์พุต ฟังก์ชันถ่ายโอนที่ใช้จะเป็นแบบเชิงเส้นหรือแบบไม่เชิงเส้นก็ได้ ฟังก์ชันการถ่ายโอนที่ใช้ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมมีอยู่หลายชนิดแบบที่นิยมใช้งานตัวอย่าง เช่น ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบลอกซิกมอยด์ (Log-Sigmoid), ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบแทนซิกมอยด์ (Tan-Sigmoid), ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบเชิงเส้น (Linear) ดังภาพที่ 2.6 – 2.8

(1) ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบลอกซิกมอยด์ (Log-Sigmoid) จะมีค่าระดับอยู่ที่ระหว่าง 0 กับ 1 ดังภาพที่ 2.11 และมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2.11)

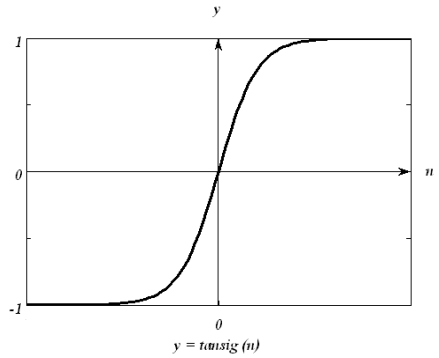
$$\text{logsig (n)} = \frac{1}{1+e^{(-n)}} \tag{2.11}$$




**ภาพที่ 2.6** ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบลอกซิกมอยด์ (Log-Sigmoid)

(2) ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบแทนซิกมอยด์ (Tan-Sigmoid) จะมีค่าระดับอยู่ที่ระหว่าง -1 กับ 1 ดังภาพที่ 2.12 และมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2.12)

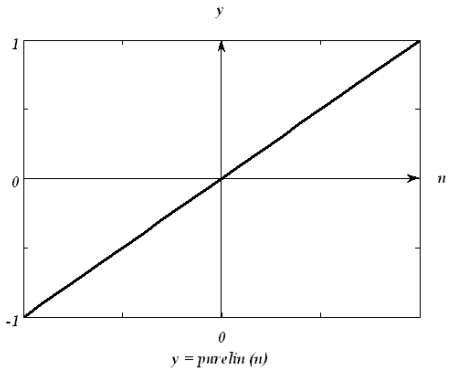
$$\text{tansig (n)} = \frac{1-e^{(-n)}}{1+e^{(-n)}} \tag{2.12}$$




**ภาพที่ 2.7** ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบแทนซิกมอยด์ (Tan-Sigmoid)

(3) ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบเชิงเส้น (Linear) จะมีค่าระดับเป็นเชิงเส้นดังภาพที่ 2.8 และมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2.13)

$$\text{purelin}(n) = n \tag{2.13}$$




**ภาพที่ 2.8** ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบเชิงเส้น (Linear)

### 2.3.6 ชนิดของโครงข่ายประสาทเทียม (Network Architecture)

ในปัจจุบันมีชนิดของโครงข่ายประสาทเทียมเป็นจำนวนมาก ไม่มีใครรู้ได้อย่างแน่นอนว่ามีจำนวนเท่าไร ดังนั้นผู้จัดทำจึงได้รวบรวมบางวิธีที่รู้จักกันโดยมากสองชนิดหลักของโครงข่าย คือ ป้อนไปข้างหน้าและป้อนกลับ

(1) โครงข่ายประสาทเทียมป้อนไปข้างหน้า (Feed-forward NNs) การเชื่อมโยงระหว่างโนดไม่อยู่ในรอบหมุนเวียน (วัฏจักร) โครงข่ายประสาทเทียมป้อนไปข้างหน้าโดยส่วนมาก ทำให้

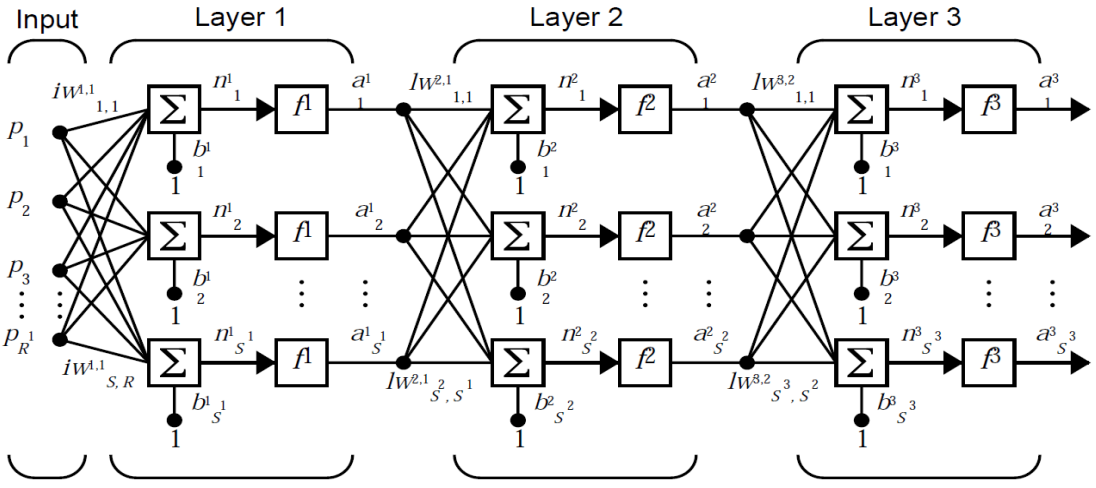
เกิดการตอบสนองที่อินพุตอย่างรวดเร็ว โครงข่ายประสาทเทียมป้อนไปข้างหน้าสามารถฝึกสอนโดยใช้ชนิดต่างๆของวิธีเกี่ยวกับตัวเลขปกติที่มีประสิทธิภาพ

(2) โครงข่ายประสาทเทียมป้อนกลับ (feed-back or recurrent NNs) มีรอบหมุนเวียน (วัฏจักร) ในการเชื่อมโยง ในบางชนิดโครงข่ายประสาทเทียมป้อนกลับ แต่ละครั้งอินพุตของโครงข่ายประสาทเทียมควรจะวนรอบซ้ำหลายๆครั้งเท่าที่จะทำได้ ก่อนที่จะประมวลผลทำให้เกิดการตอบสนอง โครงข่ายประสาทเทียบแบบป้อนกลับมีความเข้าใจยากในการฝึกสอนมากกว่าโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้า

ในหัวข้อถัดไปจะขอกล่าวถึงรายละเอียดเฉพาะโครงข่ายประสาทเทียมชนิดที่นำมาใช้ในปริญญานิพนธ์นี้เท่านั้น

### 2.3.7 โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ

การแพร่ย้อนกลับ Back-Propagation เป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการเรียนรู้ของเครือข่ายใยประสาทวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ใน Multilayer Perception เพื่อปรับค่าน้ำหนักในเส้นเชื่อมต่อระหว่าง [3]โหนดให้เหมาะสม โดยการปรับค่านี้จะขึ้นกับความแตกต่างของค่าเอาต์พุตที่คำนวณได้กับค่าเอาต์พุตที่ต้องการ พิจารณาภาพที่ 2.9




**ภาพที่ 2.9** แบบ Back-propagation neural network

ภาพที่ 2.11 แสดงโครงข่ายประสาทเทียมที่มี 2 ชั้นซ่อน มีอินพุต R ชุด นิวรอนในชั้นซ่อนที่ 1 และ 2 เท่ากับ $S^1$ และมีเอาต์พุต $S^3$ ชุด สมาชิกของอินพุตเวกเตอร์ P แต่ละตัวจะถูกเชื่อม

เข้ากับนิวรอนแต่ละนิวรอนชั้นซ่อนที่ 1 ด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก $W^1$(เรียกว่า Input weight, IW1.1) ซึ่งเป็นเมตริกซ์ขนาด $S^1$ x R และเวกเตอร์ $a^1$ ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของชั้นซ่อนที่ 1 และมีขนาด $S^1$ จะเป็นอินพุตของชั้นซ่อนที่ 2 ด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก $W^2$ (เรียกว่า Layer weight,$LW^{2,1}$) ซึ่งเป็นเมตริกซ์ขนาด $S^2$ x $S^1$ เช่นเดียวกันกับชั้นซ่อนที่ 1 เวกเตอร์ $a^2$ ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของชั้นซ่อนที่ 2 และมีขนาด $S^2$ จะเป็นอินพุตของชั้นข้อมูลเอาต์พุต สมาชิกแต่ละตัวของเวกเตอร์ $a^2$ จะถูกเชื่อมเข้ากับนิวรอนแต่ละตัวในชั้นข้อมูลเอาต์พุตด้วยค่าถ่วงน้ำหนัก $W^3$($LW^3$) ซึ่งเป็นเมตริกซ์ขนาด $S^3$ x $S^2$ โดยที่เวกเตอร์ $a^3$ ซึ่งเป็นเมตริกซ์ขนาด $S^3$ จะเป็นผลลัพธ์ของโครงข่ายประสาทเทียม

แพร่ค่าไปข้างหน้าและแพร่ค่าย้อนกลับของค่าความผิดพลาดเมื่อนำข้อมูลอินพุตปรากฏบนชั้นอินพุต สัญญาณจากชั้นอินพุตทั้งหมดจะถูกส่งมาตามสายเชื่อมโยงไปยังนิวรอนเซลล์ในชั้นถัดไป แต่ละนิวรอนในชั้นซ่อนที่ 1 ถูกเชื่อมโยงด้วยค่าถ่วงน้ำหนักและในแต่ละนิวรอนของชั้นเอาต์พุต ค่าความผิดพลาดของโครงข่ายจะเป็นผลต่างระหว่างเอาต์พุต เป้าหมายของ เอาต์พุต ของโครงข่าย ค่าความผิดพลาดที่ได้จะถูกส่งกลับเข้ามายังโครงข่ายในรูปของสัญญาณค่าความผิดพลาด (Error Signal) การหาสัญญาณค่าความผิดพลาดที่ชั้นเอาต์พุต การปรับค่าถ่วงน้ำหนักจะปรับที่ละชั้นเอาต์พุตกลับไปยังชั้นอินพุต เมื่อเสร็จสิ้นก็จะกลับสู้ส่วนของป้อนไปข้างหน้าอีกครั้ง เพื่อการค่าเอาต์พุตของโครงข่ายใหม่มาเปรียบเทียบกับค่าเอาต์พุตเป้าหมายและดำเนินการปรับค่าถ่วงน้ำหนักในส่วนของแพร่ค่าย้อนกลับเช่นนี้สลับกันไปโดย วัฏจักรการคำนวณหาค่าความผิดพลาดและการปรับน้ำหนักจะคงยังดำเนินต่อไปจนกระทั้งค่าความผิดพลาดต่ำกว่าที่กำหนดในขั้นตอนการปรับถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสของการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมในโครงงานชิ้นนี้จะใช้ Levenberg-Maquardt algorithm เพราะมีประสิทธิภาพและมีความรวดเร็วในการฝึกสอนสูงที่สุด โดยมีขั้นตอนการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอส ดังสมการที่ (2.14)

$$X_{(new)} = X_{(old)} + \Delta X = X_{(old)} + [J^T \,.\, J + \alpha I]^{-1} \,.J^T \,.e \qquad (2.14)$$

กำหนดให้

X = ค่าถ่วงน้ำหนัก (w) และค่าไบอัส (b)

J = จาโคเบียนเมตริกซ์ (Jacobian matrix) ของอนุพันธ์ของค่าความผิดพลาด (แต่ละค่า) ต่อค่า X (แต่ละค่า)

$J^{\mathrm{T}}$ = Transpose matrix ของ J

E = เมตริกซ์ของค่าความผิดพลาด (Error) ระหว่างคำตอบ (Target,$t^3$) กับค่าที่โครงข่ายประสาทเทียมคำนวณได้ (Answer,$a^3$)

I = Identity matrix

จาโคเบียนเมตริกซ์ของ (w) $$J(W) = \begin{bmatrix} \frac{\partial e_1}{\partial w_{1,1}} & \frac{\partial e_1}{\partial w_{1,2}} & \cdots & \frac{\partial e_1}{\partial w_{1,3}} \\ \frac{\partial e_2}{\partial w_{2,1}} & \frac{\partial e_2}{\partial w_{2,2}} & \cdots & \frac{\partial e_2}{\partial w_{2,3}} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \frac{\partial e_{S^3}}{\partial w_{S^3,1}} & \frac{\partial e_{S^3}}{\partial w_{S^3,2}} & \cdots & \frac{\partial e_{S^3}}{\partial w_{S^3,3}} \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

จาโคเบียนเมตริกซ์ของ(b) $$J(b) = \begin{bmatrix} \frac{\partial e_1}{\partial b_1} \\ \frac{\partial e_2}{\partial b_2} \\ \vdots \\ \frac{\partial e_{S^3}}{\partial b_{S^3}} \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

เมตริกซ์ของค่าความผิดพลาด $$\begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_{S^3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_1^3 - a_1^3 \\ t_2^3 - a_2^3 \\ \vdots \\ t_{S^3}^3 - a_{S^3}^3 \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

โครงข่ายประสาทเทียมที่ฝึกสอนด้วยกฎการเรียนรู้แบบแพร่ย้อนกลับนั้น จะมีนิวรอนในชั้นข้อมูลอินพุต และชั้นข้อมูลเอาต์พุตคงที่ซึ่งเท่ากับจำนวนของอินพุตของปัญหานั้นเอง ส่วนจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนนั้นสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสมและไม่มีจำนวนที่เป็นสูตรสำเร็จ ดังนั้นในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมจึงต้องมีการปรับเปลี่ยนจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อน เพื่อหาโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่ให้ค่าผิดพลาดระหว่างคำตอบที่แท้จริงกับผลลัพธ์ของโครงข่ายประสาทเทียมต่ำที่สุด (มีประสิทธิภาพสูงที่สุด) จำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนนอกจากมีผลลัพธ์ต่อประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมแล้ว ยังมีผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการฝึกสอนอีกด้วย