

## บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 กระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน

การผลิตแผ่นยางรมควันเพื่อที่จะส่งผลผลิตเข้าสู่อุตสาหกรรมชิ้นสูงต่อไป เช่น อุตสาหกรรมล้อรถยนต์ อุตสาหกรรมพื้นรองเท้า รวมไปถึงอุตสาหกรรมอื่นๆ มีขั้นตอนการผลิตดังนี้

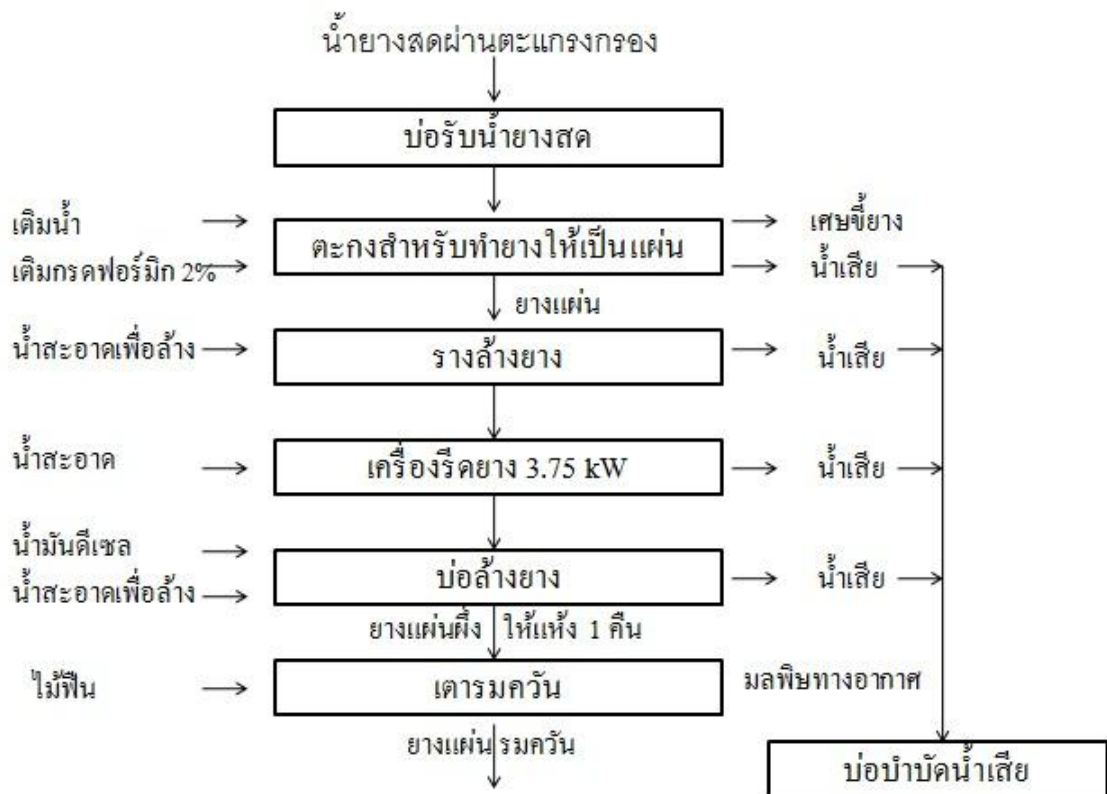
**2.1.1 การรับน้ำยาง** ทำการรวบรวมน้ำยางสด โดยชั่งน้ำหนักน้ำยางสด พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างน้ำยางสดเพื่อวิเคราะห์หาร้อยละของเนื้อยางแห้งโดยวิธีเมโทรแลคและเทน้ำยางสดลงสู่บ่อรับน้ำยางสดผ่านตะแกรงกรองขนาด 40-60 (mesh) เพื่อกรองแยกสิ่งสกปรกออกน้ำยางสด

**2.1.2 การทำความสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์** สำหรับการทำยางแผ่นอุปกรณ์และเครื่องใช้ทุกอย่าง ในการทำยางแผ่นเช่น ตะแกรงกรอง ตะก่งทำยางแผ่นเครื่องรีดยางจำเป็นต้องสะอาดอยู่เสมอ เนื่องจากจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สะอาดและมีคุณภาพดี

**2.1.3 การทำยางให้เป็นแผ่น** ในการผลิตยางแผ่นรมควัน จะต้องมีการเจือจางน้ำยางสด เพื่อให้ได้เนื้อยางแห้งประมาณ 15-18% โดยทำการเจือจางน้ำยางสดด้วยน้ำ ซึ่งจะต้องมีการคำนวณปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมเจือจาง ในอัตราส่วนผสมน้ำยางสดกับน้ำ คือ 3:2 ซึ่งอัตราส่วนผสมเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับขึ้นอยู่กับปริมาณเนื้อยาง แห้ง เช่น กรณีฝนตกขณะเก็บน้ำยาง น้ำยางอาจจะเจือจางทำให้ปริมาณเนื้อยางแห้งลดลง (หรือน้ำยางผสมน้ำปริมาตรประมาณ 215 ลิตรต่อตะก่ง) และเติมกรดฟอร์มิคความเข้มข้น 2% ในอัตราส่วน 0.4-0.6 ของเนื้อยาง แห้ง (หรือปริมาตรประมาณ 8.2 ลิตรต่อตะก่ง) เพื่อให้ยางจับตัวกันเป็นก้อน ทำการกวนผสมให้เข้ากันซึ่งในการกวนจะมีฟองเกิดขึ้นและต้องทำการตักฟองออกให้หมด เพราะยางแผ่นที่ได้จะมีรอยจุดฟองอากาศทำให้ยางแผ่นรมควันที่ได้มีคุณภาพต่ำ และทำการใส่แผ่นเสียบให้ครบทั้งไว้ 2-3 ชั่วโมงเพื่อให้ยางแข็งตัว เมื่อยาง แข็งตัวค่อยๆดึงแผ่นเสียบออกจากตะก่งและนำแผ่นยางที่ได้ไปล้างในรางล้างยาง

**2.1.4 การรีดยาง** นำยางแผ่นที่ผ่านการล้างแล้วมรีดด้วยเครื่องรีดยางซึ่งประกอบด้วยลูกกลิ้งผิวเรียบ 4-5 คู่และลูกกลิ้งลายดอกอีก 1 คู่สุดท้ายเพื่อรีดให้ยางมีความหนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตรในกระบวนการนี้มีการสเปรย์น้ำเพื่อหล่อลื่นในขณะที่รีดยางล้างน้ำอีกครั้งและนำไปผึ่งลมเป็นเวลา 1 วัน

**2.1.5 การรมควันยาง** นำยางแผ่นที่ผึ่งลมแล้วไปอบรมควันในห้องอบที่มีอุณหภูมิประมาณ 50-60°C โดยความร้อน และควันที่ใช้ในการรมยางให้ แห้ง ได้จากการเผาไม้พินในเตาเผาซึ่งสามารถควบคุมการลุกไหม้ของไม้พินเพื่อให้ได้ความร้อนตามต้องการ โดยการเปิดหรือปิดช่องให้อากาศเข้าทางประตูใส่พิน โดยความร้อนและควันจากเตาเผาจะถูกส่งมาตามท่อซีเมนต์ปล่อยควันสู่ห้องอบ โดยทั่วไปใช้ระยะเวลาในการรมควันประมาณ 4-12 วัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพและความชื้นของยางแผ่นดิบจนแผ่นยางสุกได้ผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่ายางแผ่นรมควัน 4-12 วัน 50-60°C ซึ่งจะถูกแบ่งระดับชั้นคุณภาพของแผ่นยางเพื่อเข้าสู่อุตสาหกรรมที่เหมาะสมหลังจากขั้นตอนนี้



รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตยางแผ่นรมควัน

## 2.2 ระดับคุณภาพของแผ่นยางรมควัน

ระดับมาตรฐานเป็นยางแผ่นรมควันคุณภาพระดับ ต่างๆ จะถูกตัดสินจากความสะอาดและ ดำเนินบน แผ่นยางนั้น ซึ่งตำหนิที่สำคัญมักเนื่องมาจากฟองอากาศ รา รอยเปื้อนและเศษสิ่งสกปรก ที่ปะปน อยู่ในเนื้อยางซึ่งสังเกตได้จากผิวของแผ่นยาง โดยที่กลุ่มของแผ่นยางเหล่านี้จะถูกจัดระดับคุณภาพ เป็นแผ่นยางรมควันคุณภาพ 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับความหมดจดของเนื้อยาง อ้างอิงจาก กรีนบุค (Green Book) กำหนดโดยสมาคมยางพาราโลก (The Rubber Manufacturers Association Inc.) ซึ่ง ในปัจจุบัน การคัดแยกเกรดยางแผ่นรมควัน ไม่มีมาตรฐานการตรวจสอบคุณภาพยางที่แน่นอนการ กำหนดชั้นยางชนิดต่างๆกระทำโดยใช้สายตาในการพิจารณาซึ่งต้องอาศัยความชำนาญแล ะ ประสบการณ์พอสมควรทั้งนี้สามารถจำแนกยางแผ่นรมควันได้เป็น 5 ระดับชั้นดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณภาพของแผ่นยางรมควันแต่ละระดับ

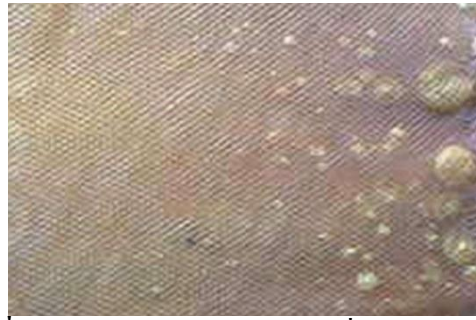
ระดับคุณภาพ	ลักษณะของพื้นผิว
ยางแผ่นรมควัน ชั้น 1 (RSS1)	แผ่นยางต้องแห้งและสะอาดไม่มีเม็ดทรายหรือสิ่งเจือปนบนแผ่นยางไม่มีสนิมหรือราขึ้นบนยางแผ่นยางอาจรมควันไม่สม่ำเสมอเล็กน้อยได้แต่ต้องไม่มีสีคล้ำจนเกินไปและไม่เหนียวตรงจุดใดจุดหนึ่งบนผิวยางแผ่นที่ใช้ห่อก้อนยางหรือตรงผิวก้อนของยางที่อยู่ติดกับยางที่ใช้ห่ออาจมีราแห้งปะปนอยู่ ปริมาณเล็กน้อย มีฟองอากาศเล็กๆขนาดเท่าหัวเข็มหมุดกระจายอยู่เล็กน้อยได้
ยางแผ่นรมควัน ชั้น 2 (RSS2)	แผ่นยางต้องแห้งและสะอาด ไม่มีตำหนิจากรอยเปื้อนหรือฟอง ไม่มีเม็ดทรายหรือสิ่งเจือปนบนแผ่นยาง อาจมีฟองอากาศ สีของยางแผ่นรมควันอาจไม่สม่ำเสมอได้ บนผิวยางแผ่นที่ใช้ห่อก้อนยางหรือตรงผิวก้อนของยางที่อยู่ติดกับยางที่ใช้ห่ออาจมีราสนิม หรือราแห้งปะปนอยู่ปริมาณเล็กน้อยแต่ไม่เกินร้อยละ 5 ของตัวอย่างที่ตรวจ สีของยางแผ่นรมควันอาจไม่สม่ำเสมอได้
ยางแผ่นรมควัน ชั้น 3 (RSS3)	แผ่นยางต้องแห้ง สีอาจไม่ใส มีฟองอากาศเล็กๆ มีเศษผงสิ่งสกปรกหรือเศษเปลือกต้นยางปะปนได้เล็กน้อย แต่ต้องไม่มีรอยฟอง ไม่มีเม็ดทรายหรือสิ่งสกปรกขณะห่อก้อนยาง บนยางแผ่นที่ใช้ห่อ หรือภายในยางแผ่นอาจมีราสนิมหรือราแห้ง ราขึ้นได้เล็กน้อยแต่ไม่เกินร้อยละ 10 ของตัวอย่างที่ตรวจ ไม่มีจุดรมควันที่ไม่แห้ง หรือจุดเหนียวบนยางแผ่นยางอาจมีสีคล้ำบ้างแต่สีต้องไม่ทึบดำ
ยางแผ่นรมควัน ชั้น 4 (RSS4)	ยางแผ่นต้องแห้งมีฟองอากาศเศษผงสิ่งสกปรกหรือเศษเปลือกต้นยางขนาดกลางปะปนอยู่บนยางแผ่นบ้างมีรอยเปื้อนจางๆเหนียวเล็กน้อยบนยางแผ่นที่ใช้ห่อหรือภายในยางแผ่นอาจมีราสนิมหรือราแห้งราขึ้นได้เล็กน้อยแต่ไม่เกินร้อยละ 20 ของตัวอย่างที่ตรวจไม่มีตำหนิจากรอยฟอง ไม่มีเม็ดทรายหรือสิ่งสกปรกอื่นปนยางแผ่นอาจมีสีคล้ำได้แต่สีต้องไม่ทึบจนดำแบบถูกไฟไหม้
ยางแผ่นรมควัน ชั้น 5 (RSS5)	ยางแผ่นต้องแห้งมีฟองอากาศเศษผงสิ่งสกปรกหรือเศษเปลือกต้นยางค่อนข้างใหญ่มีรอยฟองเล็กๆรอยเปื้อนสีคล้ำบนยางแผ่นที่ใช้ห่อหรือภายในยางแผ่นอาจมีราสนิมหรือราแห้งขึ้นได้เล็กน้อยแต่ไม่เกินร้อยละ 30 ของตัวอย่างที่ตรวจมีราแห้งแผ่นยางต้องไม่ฟองมากและไม่เหนียวจนเกินไปนอกจากสิ่งปะปนที่กล่าวมาแล้วยางแผ่นต้องไม่มีเม็ดทรายหรือสิ่งสกปรกอื่นๆยางแผ่นอาจมีสีคล้ำได้แต่ต้องไม่ทึบจนไหม้ดำ

## 2.3 ตำหนิบนแผ่นยางรมควันที่ส่งผลต่อคุณภาพ

จากตารางข้างต้นแสดงให้เห็นว่าระดับคุณภาพมาตรฐานของแผ่นยางรมควันจะถูกแบ่งออกโดยพิจารณาจากความสะอาดและตำหนิชนิดต่างๆ ซึ่งตำหนิที่สำคัญที่ถูกพิจารณามีดังนี้

### 2.3.1 ฟองอากาศ

ในกระบวนการรมควันซึ่งใช้ความร้อนจะทำให้ฟองอากาศที่แฝงอยู่ในเนื้อยางดิบเกิดการขยายตัวทำให้เกิดการพองของผิวยางแผ่นรมควัน ซึ่งหลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการรมควันแล้ว ฟองอากาศเหล่านี้จะเห็นได้ชัดเจนขึ้น ฟองอากาศบนพื้นผิวยางพาราจะมีสีที่ใกล้เคียงกับพื้นผิวปกติมาก เนื่องจากมีการขยายตัวของอากาศในเนื้อยาง ทำให้ผิวยางลักษณะเป็นรอยนูนขึ้นจากในสู่ด้านนอก ซึ่งจะพบว่าการพองของฟองอากาศดังกล่าวจะทำให้รอยตารางบนพื้นผิวของแผ่นยางรมควันบริเวณนั้นเกิดการลบเลือนไป



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างแผ่นยางรมควันที่มีฟองอากาศ

### 2.3.2 จุดแค้นและรอยดำด้า

รอยดำด้า หรือ จุดแค้น อาจเกิดจากสิ่งสกปรกในขั้นตอนการทำยางให้เป็นแผ่นและการรีดยาง เนื่องจากอาจมีสิ่งเจือปนเช่น เศษผ้าขี้ริ้ว เศษเปลือกไม้ หรือ รอยดำด้าอื่นๆ จากตัวอุปกรณ์ที่ไม่มี ความสะอาดเพียงพอ สิ่งเจือปนเหล่านี้จะถูกบีบอัดลงในเนื้อยาง หรือรอยและเปื้อนจากกระบวนการขนย้าย ซึ่งจะมีลักษณะและขนาดที่ไม่แน่นอน โดยส่วนใหญ่แล้วมักเป็นเศษเปลือกไม้ ซึ่งจะมีสีเข้มมากกว่าผิวยางทั่วไป



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างแผ่นยางรมควันที่มีรอยจุดแค้น

### 2.3.3 ราขาว

ราขาวจะมีลักษณะเป็นจุดคล้ายผงแป้งสีขาวปกคลุมเนื้ออย่างมีลักษณะเป็นกลุ่มที่กระจายตัวบนพื้นผิว ยาง โดยทั่วไปแล้วยางแผ่นรมควันจะมีกรณีของราขาวน้อยที่สุดเนื่องจากหลังจากผ่านกระบวนการ รมควันแล้ว แผ่นยางจะมีความแห้งซึ่งยากต่อการขึ้นรา แต่ในกรณีที่แผ่นยางรมควันถูกเก็บไว้ในที่ ชื้นเกินไป ก็อาจเกิดราขาวขึ้นได้ ซึ่งราขาวนี้เราสามารถวิเคราะห์ในแง่ของสีได้ระดับหนึ่งเนื่องจาก เป็นจุดผงสีขาวบนพื้นผิวยางแผ่นรมควันซึ่งมีสีน้ำตาล



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างแผ่นยางรมควันที่มีราขาว

## 2.4 การประมวลผลภาพเบื้องต้น

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการเตรียมภาพในกระบวนการต่างๆ ก่อนที่จะนำไปคำนวณและตัดสินใจระดับ คุณภาพโดยประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

### 2.4.1 การแปลงภาพสีเป็นภาพระดับเทา (Gray Scale)

ภาพระดับสีเทา หรือคือ ขาว-ดำ-เทา โดยจะมีระดับความเข้มของสีเทาคือ 0-255 (8 บิต) ในขั้นตอนนี้ จะเป็นการนำภาพสีที่มีส่วนประกอบของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ซึ่งมีขนาด 8 บิตทั้ง 3 ค่า รวม เป็นทั้งสิ้น 24 บิต ซึ่งมีระดับ  $(2^8)^3$  หรือ 16,777,216 สี มาทำการปรับปรุงเพิ่มรายละเอียดของแต่ละ สีก่อนและจากนั้นทำการแปลงภาพไปเป็นสีเทาที่มีขนาด 8 บิต ซึ่งมีระดับ 28 ตั้งแต่ 0-255 ค่า ข้อมูล จึงมีขนาดลดลงเป็น  $m \times n$  จะมีทั้งหมด 65,536 สี ภาพเกรย์สเกลเกิดจากการแปลงภาพสี RGB มาเป็น ภาพGrayscale โดยใช้สูตรทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$\text{Gray} = 0.299 \times R + 0.587 \times G + 0.114 \times B \quad (2.26)$$

Gray = ค่าความเข้มของสีเทา โดยจะมีค่าระหว่าง 0-255

R = ค่าความเข้มของสีแดง โดยจะมีค่าระหว่าง 0-255

G = ค่าความเข้มของสีเขียว โดยจะมีค่าระหว่าง 0-255

B = ค่าความเข้มของสีน้ำเงิน โดยจะมีค่าระหว่าง 0-255

### 2.4.2 ภาพขาวดำ (Black and White Image)

ค่าในแต่ละพิกเซลของ Black and White Image จะใช้แค่ 1 บิต ซึ่งจะมีค่าที่เป็นไปได้คือ 0 (สีดำ) และ 1 (สีขาว) เท่านั้น ขั้นตอนการแปลงภาพสีเทา ให้กลายเป็นภาพขาวดำ จะทำให้สามารถแยกวัตถุ (อักษร) ออกจากพื้นหลังได้ โดยอาศัยวิธีการหาค่าขีดเริ่ม โดยที่ค่าขีดเริ่มเป็นวิธีที่ใช้ในการแปลงภาพสีต่าง ๆ ให้อยู่ในรูปแบบของภาพระดับขาวดำ โดยใช้ค่าขีดเริ่มในการจำแนกวัตถุ และพื้นหลังออกจากกัน หากจุดใดในภาพนั้นมีค่าความเข้มน้อยกว่าค่าขีดเริ่มจุดภาพนั้นก็จะถูกปรับให้เป็นสีขาว แต่ถ้าจุดใดในภาพมีค่าความเข้มมากกว่าค่าขีดเริ่ม ก็จะถูกปรับให้เป็นสีดำ วิธีการหาค่าขีดเริ่มสามารถทำได้ด้วยวิธีต่อไปนี้

1. Global Threshold เป็นการหาค่าขีดเริ่มค่าเดียวรวมกันทั้งภาพโดยใช้ Histogram ในการหาค่าขีดเริ่มดูได้จากค่าที่น้อยที่สุดที่อยู่ระหว่างยอดทั้งสอง มีหลักการในการแบ่ง คือค่าที่อยู่ทางซ้ายของค่าขีดเริ่มจะเป็นสีดำ ส่วนค่าที่อยู่ทางขวามือของค่าขีดเริ่มเป็นสีขาว
2. Adaptive Threshold การหาค่าขีดเริ่มด้วยวิธีนี้เหมาะสำหรับภาพที่มีความสว่างไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นจึงหาค่าขีดเริ่มหลายค่า เพราะแต่ละบริเวณจะใช้ค่าขีดเริ่มไม่เท่ากัน วิธีการหาค่าขีดเริ่มทำได้โดยการสร้าง window ขึ้นมาขนาด  $N \times N$  โดยที่  $N$  นั้นควรเป็นเลขคี่จากนั้นนำ window นี้ไปวางไว้ที่บริเวณหนึ่งของภาพแล้วนำค่า Gray Level ของทุกพิกเซลที่อยู่ในขอบเขตของ window มาบวกกันแล้วหารด้วยจำนวนช่องทั้งหมดของ window จะได้ค่า ค่าขีดเริ่มที่อยู่ภายใน window นั้น จากนั้นทำการหาค่าขีดเริ่มเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ กับบริเวณที่ไม่ซ้ำกันจนกระทั่งได้มีการกำหนดค่าขีดเริ่มครบในทุก ๆ พิกเซล ถ้าค่า Gray Level ของพิกเซลนั้นมีค่ามากกว่าค่าขีดเริ่มของพิกเซลนั้นแล้วจะกำหนดให้เป็นสีขาว แต่ถ้าค่า Gray Level ของพิกเซลนั้นมีน้อยกว่าค่าขีดเริ่มของพิกเซลนั้นแล้วจะกำหนดให้เป็นสีดำ ทำเช่นนี้จนครบทุกพิกเซลจะได้ผลลัพธ์เป็นภาพขาวดำ

### 2.4.3 ฮิสโตแกรมที่ปรับค่าได้ (Adaptive Histogram)

เนื่องจากการวิจัยพื้นที่ที่มีความโค้งและความลาดชันนั้นมีปัญหาโดยตรงกับข้อมูลที่แปลงเป็นภาพแบบขาวดำ ซึ่งข้อมูลอาจขาดหายไป ดังนั้นการวิจัยเกี่ยวกับการหาความเหมาะสมของการตัดช่วงพื้นหลังออกจึงเป็นสิ่งจำเป็นซึ่งการประยุกต์ใช้วิธีปรับระดับช่วงของแสงสว่างอัตโนมัติที่เหมาะสมสำหรับการหาข้อมูลที่เหมาะสมในช่วงภาพเทาและจากนั้นจึงทำการแปลงข้อมูลไปเป็นขาวดำ ซึ่งหลักการปรับความเข้มแสงแบบอัตโนมัตินั้น เป็นการกำหนดช่วงขอบเขตของขนาดแต่ละพื้นที่ ออกเป็น  $64 \times 64$  พิกเซล ภายในขนาดภาพ  $256 \times 256$  พิกเซล จากนั้นทำการหาจุดตัดความเข้มแสงทุก  $64 \times 64$  จากนั้นทำการแปลงภาพไปเป็นขาวดำ ซึ่งวิธีนี้สามารถให้รายละเอียดได้ดีกว่าการหาจุดตัดความเข้มแสงที่มีค่าเดียวกันทั่วทั้งภาพ

**2.4.4 การหาขอบภาพ (Edge Detection)**

ขอบเขตของวัตถุเป็นลักษณะเด่นที่สำคัญที่นำไปสู่การรู้จักวัตถุ ซึ่งลักษณะเด่นที่ชัดเจนที่สามารถมองเห็นได้โดยทั่วไปคือ ส่วนที่เป็นเส้นหรือส่วนที่เป็นขอบของวัตถุ ตำแหน่งของขอบภาพควรมีความถูกต้องโดยขอบภาพจะต้องอยู่ในส่วนที่มีความเข้มของจุดภาพที่สูงกว่า รูปที่ 2.5 (ก) แสดงขอบภาพที่มีความหนา และ 2.5(ข) แสดงขอบภาพที่ไม่ต่อเนื่อง



รูปที่ 2.5 (ก) ขอบภาพที่มีความหนา 2 จุดภาพ      รูปที่ 2.5 (ข) ขอบภาพที่ไม่ต่อเนื่อง

ในการหาขอบภาพของภาพขาวดำแบบบิตแมปในปัจจุบันนี้ ต้องการวิธีการที่ไม่ซับซ้อนและไม่มีการสร้างการเชื่อมต่อกันของเส้นขอบบริเวณใกล้เคียง ทำให้เส้นขอบที่ปรากฏเป็นเส้นขอบจริง ซึ่งแสดงความไม่คมชัดที่เกิดบริเวณพื้นผิวที่มีตำหนิ ทำให้หลายเส้นขอบบริเวณที่สนใจหายไปติดปกติดจากพื้นผิวธรรมดา ใช้การหาขอบภาพด้วยวิธี Prewittซึ่งเป็นการหาขอบภาพด้วยอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งเป็นการหาขอบภาพโดยการแปลงเกรเดียนต์แบบไม่ต่อเนื่องบนข้อมูลเชิงตัวเลข ซึ่งเป็นการหาตำแหน่งค่าความเข้มของจุดภาพที่มีการเปลี่ยนแปลง และเกรเดียนต์  $\nabla f(x, y)$  ที่เป็นฟังก์ชันต่อเนื่องบนระนาบสองมิติ

$$\nabla f(x, y) = \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial f}{\partial y} \tag{2-1}$$

โดยมีขนาด  $|\nabla f(x, y)| = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}$  (2-2)

ทิศทางของเวกเตอร์เกรเดียนต์  $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\partial f}{\partial x} / \frac{\partial f}{\partial y}\right)$  (2-3)

เนื่องจากการหาขอบภาพเป็นการประมวลผลแบบไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นจึงใช้อนุพันธ์ย่อยแบบไม่ต่อเนื่องทิศทางที่ตั้งฉากกับแกน x และ y ซึ่งสามารถกำหนดได้ดังนี้

$$\nabla_x g(x, y) = g(x, y) - g(x - 1, y) \tag{2-4}$$

$$\nabla_y g(x, y) = g(x, y) - g(x, y - 1) \tag{2-5}$$

ดังนั้น  $\nabla g(x, y) = g(x, y)\cos\theta + g(x, y)\sin\theta$  (2-6)

ส่วนขนาดโดยประมาณของเกรเดียนต์  $g(x, y)$  สามารถกำหนดได้ดังนี้

$$|\nabla g(x,y)| = \sqrt{(\nabla_x g(x,y))^2 + (\nabla_y g(x,y))^2} \quad (2-7)$$

ซึ่งวิธี Prewitt จะใช้จุดภาพในบริเวณใกล้เคียงที่จะอยู่ในกรอบขนาด 3x3 ซึ่งอยู่ในรูปแบบดังนี้

$$\begin{bmatrix} x, y + 2 & x + 1, y + 2 & x + 2, y + 2 \\ x, y + 1 & x + 1, y + 1 & x + 2, y + 1 \\ x, y & x + 1, y & x + 2, y \end{bmatrix}$$

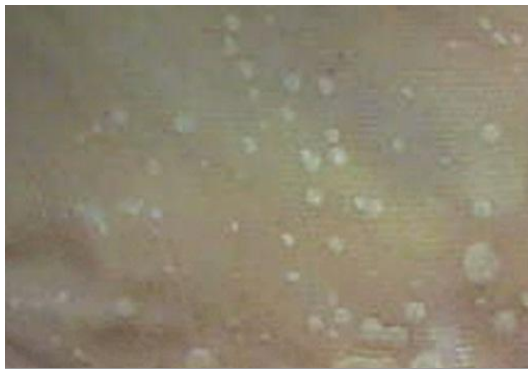
เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$g(x,y) = (|\Sigma_y^{y+2} g(x,y) - \Sigma_y^{y+2} g(x+2,y)| + |\Sigma_x^{x+2} g(x,y) - \Sigma_x^{x+2} g(x,y+2)|) \quad (2-8)$$

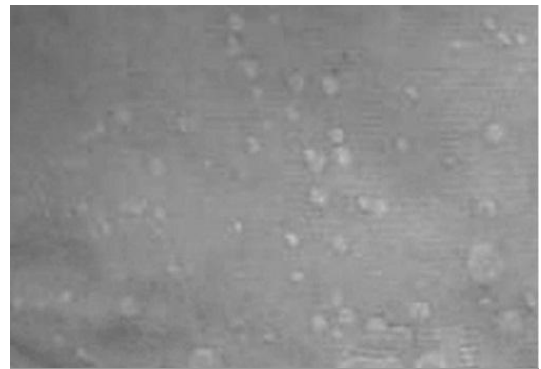
เราสามารถเขียนเป็นรูปสมการใหม่ได้ดังนี้

$$w_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} w_1 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

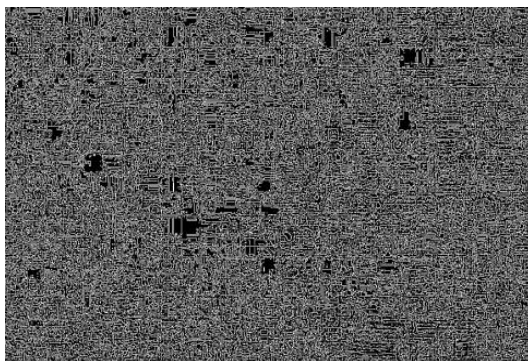
ผลการเปรียบเทียบการหาขอบภาพที่เหมาะสมต่อการตรวจหาฟองอากาศบนพื้นผิวยางพาราแผ่นรมควัน แสดงดังรูปที่ 2.6



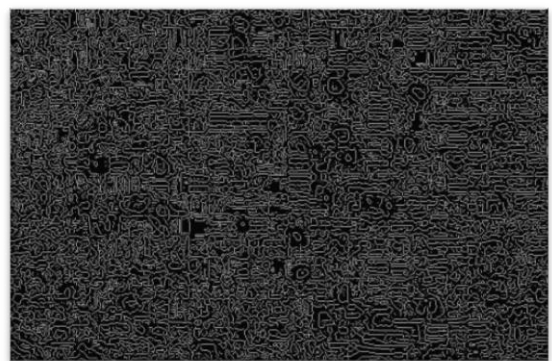
รูปที่ 2.6 (ก) ภาพต้นฉบับ RGB



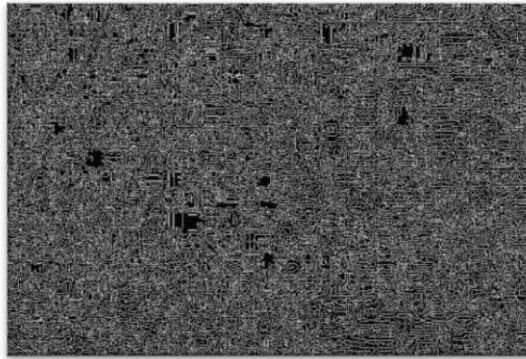
รูปที่ 2.6 (ข) ภาพ Red Plain



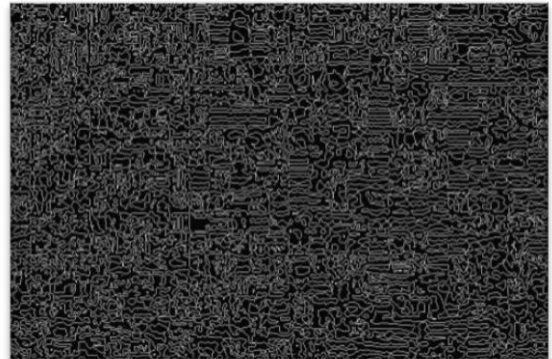
รูปที่ 2.6 (ค) หาขอบภาพด้วยวิธี Roberts



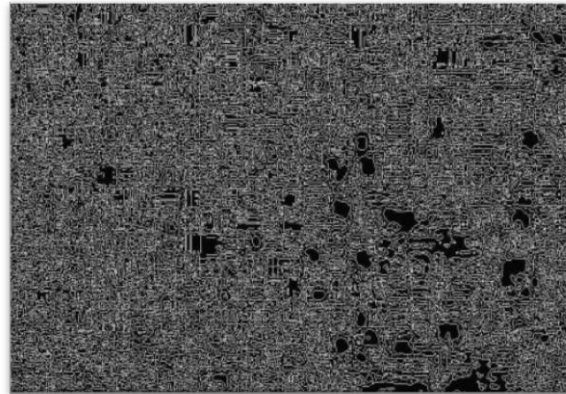
รูปที่ 2.6 (ง) หาขอบภาพด้วยวิธี Canny



รูปที่ 2.6 (จ) หาขอบภาพด้วยวิธี Sobel



รูปที่ 2.6 (ฉ) หาขอบภาพด้วยวิธี LoG



รูปที่ 2.6 (ช) หาขอบภาพด้วยวิธี Prewitt

รูปที่ 2.6 เปรียบเทียบการหาขอบภาพที่เหมาะสมต่อการตรวจหาฟองอากาศบนแผ่นยางรมควัน

## 2.5 มิติแฟร็กทัล (Fractal Dimension)

### 2.5.1 แฟร็กทัล (Fractal )

คำว่า “แฟร็กทัล (Fractal)” มาจาก “Fractus” ในภาษาละติน แปลว่า การแตกออก วัตถุแฟร็กทัลไม่สามารถจำแนกด้วยคุณสมบัติปกติของเรขาคณิตได้เนื่องจากการจัดเรียงที่ซับซ้อนของวัตถุแฟร็กทัล การแตกออกของวัตถุแฟร็กทัลสามารถแบ่งเป็นส่วนย่อยได้ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าจากวัตถุแฟร็กทัลเดิม แต่มีโครงสร้างที่ไม่ต่างจากเดิม กล่าวได้ว่าวัตถุแฟร็กทัลมีคุณสมบัติความซ้ำซ้อนภายในตัวมันเอง (Self-Similarity) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของวัตถุแฟร็กทัล ตัวอย่างโครงสร้างพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ซึ่งเป็นแฟร็กทัลพื้นฐานเช่น เกล็ดหิมะคืออก (Koch Curve) ดังรูปที่ 2.7

#### 2.5.1.1 วิธีการสร้างเกล็ดหิมะคืออก

สร้างจากรูปสามเหลี่ยมด้านเท่าโดยในแต่ละขั้นจะมีการตัดแปลงเส้นตรงแต่ละส่วนของรูปดังต่อไปนี้

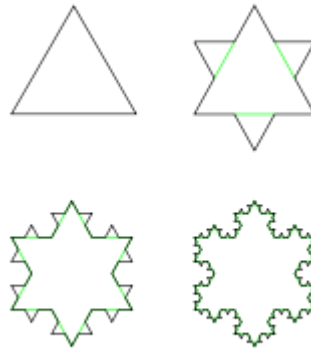
1. แบ่งเส้นตรงออกเป็นสามส่วนเท่า ๆ กัน
2. วาดสามเหลี่ยมด้านเท่าให้มีฐานตรงกับของส่วนกลางข้อ 1 และสามเหลี่ยมมียอดชี้ขึ้นจากด้านนอก

3. ลบเส้นตรงส่วนที่เป็นฐานของสามเหลี่ยมในข้อ 2 ออก

ถ้าแก้ไขตามกฎเกณฑ์ข้างต้นไปเรื่อย ๆ ในที่สุดรูปที่ได้จะเข้าใกล้เกล็ดหิมะคือคถ้าหากเริ่มต้น

ตัดแปลงจากเส้นตรงแทนที่จะเป็นรูปสามเหลี่ยม ผลลัพธ์ที่ได้จะเรียกว่าเส้นโค้งค็อค (Koch curve)

เส้นโค้งค็อค จัดเป็นเส้นโค้งเดอแรม (de Rham curve) ชนิดหนึ่ง

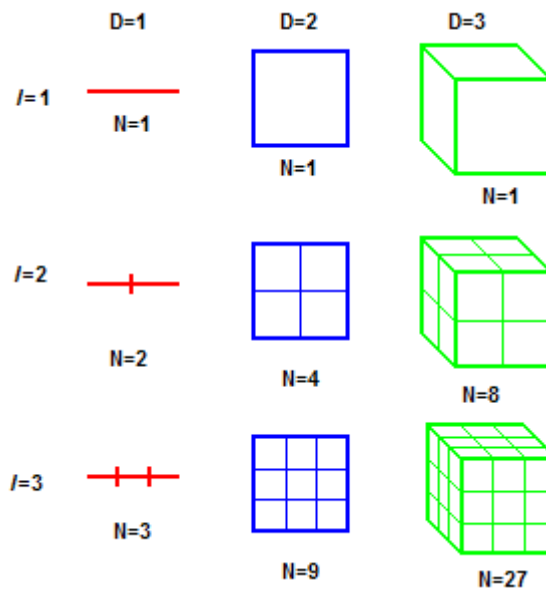


รูปที่ 2.7 เกล็ดหิมะคือคที่ได้จากการสร้าง 4 ชั้นแรก

### 2.5.1.2 คุณสมบัติของเกล็ดหิมะคือค

เกล็ดหิมะคือคมีความยาวเป็นอนันต์เนื่องจากในแต่ละขั้นของการวาด เส้นตรงจะถูกแบ่งเป็นสามส่วน ส่วนที่อยู่ตรงกลางถูกแทนที่ด้วยเส้นตรงสองเส้น ทำให้ความยาวเพิ่มขึ้นเป็น  $4/3$  ของความยาวเดิม ถ้าผ่านไป  $n$  ชั้นจะมีความยาวเป็น  $(4/3)^n$  เท่า และเมื่อ  $n$  เข้าสู่อนันต์ ทำให้ความยาวเป็นอนันต์ด้วย เส้นโค้งค็อค มีมิติแฟร็กทัลเท่ากับ  $\log 4 / \log 3 \approx 1.26$  ซึ่งมากกว่ามิติของเส้นตรงแต่น้อยกว่ามิติของเส้นโค้งพิวาโน (Peano space-filling curve) เส้นโค้งค็อคต่อเนื่องทุกจุดแต่ไม่สามารถหาอนุพันธ์ได้เลยพื้นที่ภายในของเกล็ดหิมะคือคเท่ากับ โดยที่  $s$  เป็นความยาวของด้านของสามเหลี่ยมเดิม ดังนั้น เกล็ดหิมะคือคเป็นเส้นตรงความยาวอนันต์ซึ่งล้อมรอบพื้นที่ที่มีขนาดจำกัด

เราสามารถหามิติของเส้นตรง รูปสี่เหลี่ยม และลูกบาศก์ได้โดยทราบว่ามีมิติขนาด 1 มิติ, 2 มิติ และ 3 มิติ ตามลำดับ ซึ่งง่ายต่อการวัดระยะทาง พื้นที่และปริมาตรของมิติดังกล่าว อย่างไรก็ตามการคำนวณหามิติที่เหมาะสมของวัตถุที่มีโครงสร้างที่แตกต่างไม่แน่นอนเช่น กลุ่มก้อนเมฆ การแตกกิ่งของต้นไม้ หรือวัตถุอื่นๆที่ไม่ได้มีรูปร่างเป็นมิติที่เห็นได้ชัดทำได้ยากกว่ามาก มิติแฟร็กทัลเป็นการวัดความซับซ้อนของแฟร็กทัลซึ่งค่ามิติแฟร็กทัลที่สูงกว่าจะมีค่าความซับซ้อนของแฟร็กทัลที่มากกว่า เมื่อมองในแนวเส้นตรงแบบยูคลิเดียน (Euclidean) มิติ  $D$  จะถูกลดขนาดลงด้วยอัตราส่วน  $r$  ในแต่ละทิศทางปริมาณเหล่านั้น (ความยาว, พื้นที่, ปริมาตร) จะเพิ่มมากขึ้นจนถึง  $N_r = (1/r)^D$  ครั้ง ซึ่งแสดงตามรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงสเกลของเส้นตรง รูปสี่เหลี่ยม และลูกบาศก์ (อ้างอิงจาก Keith,2004)

พิจารณา

$$\begin{aligned}
 N_r &= (1/r)^D \\
 \log(N_r) &= D \log(1/r) \\
 D &= \log(N_r) / \log(1/r)
 \end{aligned}
 \tag{2.9}$$

โดยที่  $D$  คือ ค่ามิติแฟร็กทัล

$N_r$  คือ จำนวนครั้งของการวัด

$\frac{1}{r}$  คือ สเกลของการวัด

ตัวอย่างการคำนวณค่ามิติแฟร็กทัลของรูปสามเหลี่ยม Sierpinski ในรูป 2.9 ซึ่งมีค่าสเกลของการวัดเท่ากับ 2 และมีจำนวนของการวัดเท่ากับ 3 ดังนี้



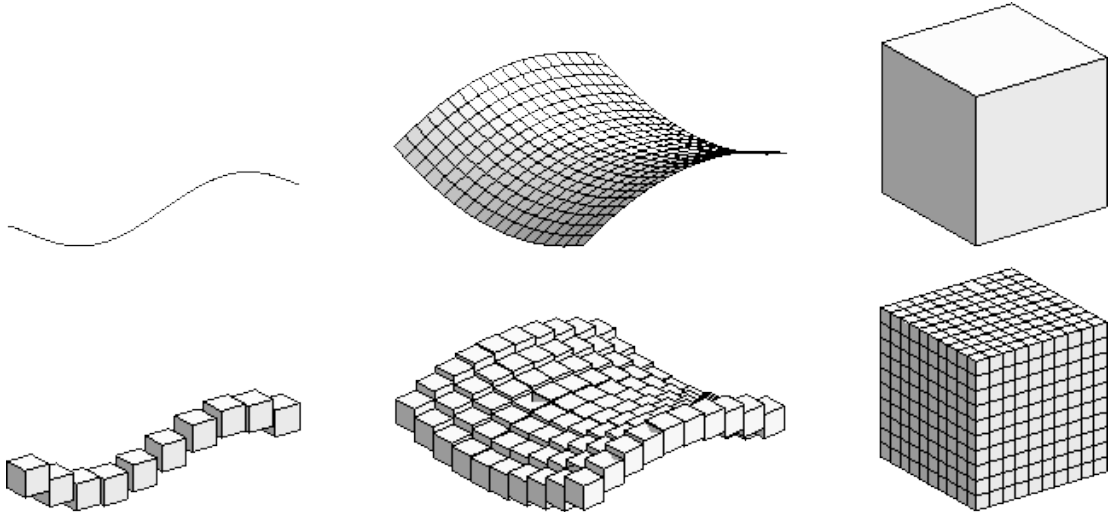
รูปที่ 2.9 การสร้างรูปสามเหลี่ยม Seirpinski (อ้างอิงจาก Peingen,2004)

### 2.5.2 มิติบ็อกซ์-เคาน์ติง (Box-Counting Dimension)

มิติบ็อกซ์เคาน์ติงมักถูกใช้ในการคำนวณหาค่ามิติของแฟร็กทัล โดยการแทนลูกบาศก์เล็กๆ ในการคำนวณ กำหนดให้

$F$  คือ เซตย่อยของมิติ  $D$  ในเพลนยูคลิเดียน (Euclidean Space)

$N_\epsilon(F)$  คือ จำนวนที่น้อยที่สุดของลูกบาศก์ของขนาด  $\epsilon$  ที่ปกคลุมด้วย  $F$



รูปที่ 2.10 (ก)

รูปที่ 2.10 (ข)

รูปที่ 2.10 (ค)

รูปที่ 2.10 จำลองลูกบาศก์ขนาดเล็ปกคลุมตลอดแนวเส้นโค้ง, พื้นที่ผิวและลูกบาศก์

(อ้างอิงจาก Scott,2002)

การปกคลุมเส้นโค้งด้วยลูกบาศก์ขนาด  $\epsilon$  เขียนได้ว่า  $N_\epsilon(F) \propto \frac{1}{\epsilon}$  ดังรูปที่ 2.7 (ก)

การปกคลุมพื้นที่ผิวด้วยลูกบาศก์ขนาด  $\epsilon$  เขียนได้ว่า  $N_\epsilon(F) \propto \frac{1}{\epsilon^2}$  ดังรูปที่ 2.7 (ข)

การปกคลุมลูกบาศก์ด้วยลูกบาศก์ขนาด  $\epsilon$  เขียนได้ว่า  $N_\epsilon(F) \propto \frac{1}{\epsilon^3}$  ดังรูปที่ 2.7 (ค)

จากรูปที่ 2.10 สามารถอธิบายได้ตามมิติของลูกบาศก์ที่ปกคลุม

พิจารณาสำหรับทุกๆค่า ที่  $\epsilon > 0$ , ค่าของมิติ  $D$  สามารถหาได้ดังนี้

$$N_\epsilon(F) \propto \frac{1}{\epsilon^D} \text{ as } \epsilon \rightarrow 0 \tag{2.10}$$

$$N_\epsilon = k(1/\epsilon^D), \text{ โดยที่ } k = \text{ค่าคงที่} \tag{2.11}$$

$$\lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{N_\epsilon(F)}{1/\epsilon^D} = k \tag{2.12}$$

$$\lim_{\epsilon \rightarrow 0} (\log N_\epsilon(F) + D \log \epsilon) = \log k \tag{2.13}$$

$$\text{ดังนั้น } D = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\log k - \log N_\epsilon(F)}{\log \epsilon} = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\log N_\epsilon(F)}{\log(1/\epsilon)} \tag{2.14}$$

### 2.5.3 วิธีอนุพันธ์บ็อกซ์-เคาน์ติง (The Differential Box-Counting Method)

สมมติให้ภาพที่นำมาคำนวณมีขนาด  $M \times M$  และมีขนาดของสเกล  $S \times S$  โดยที่  $M \leq s \leq \frac{M}{2}$  และ  $S$  คือเลขจำนวนเต็ม ดังนั้นเราสามารถประมาณได้ว่า

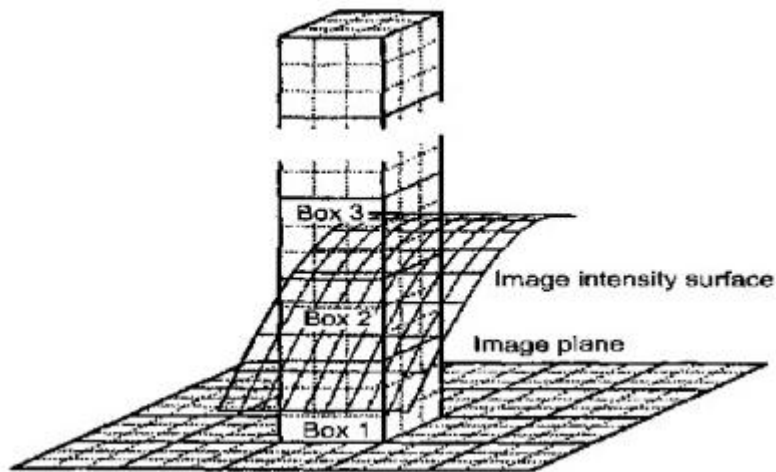
$$\frac{1}{r} = \frac{M}{S} \tag{2.15}$$

พิจารณาในรูป 3 มิติ โดยมี  $(x,y)$  เป็นตำแหน่งของจุดภาพ 2 มิติ และมิติที่สามหรือมิติ  $z$  จะถูกแทนด้วยค่าระดับสีเทา (Gray Scale) พื้นที่  $(x,y)$  จะถูกแบ่งแยกเป็นตารางเล็กๆ (Grids) ด้วยขนาด  $S \times S$  และบนแต่ละตารางจะมีแถวของกล่องลูกบาศก์ขนาด  $S \times S \times S'$  ดังรูปที่ 2.11

ถ้ากำหนดให้ค่าระดับสีเทา คือ  $G$  ดังนั้น  $\frac{G}{S'} = \frac{M}{S}$  ซึ่งแสดงให้เห็นดังรูป 2.11 โดยที่  $s = s' = 3$  สมมติให้จำนวน Boxes ที่แสดงในรูปประกอบด้วย Box 1, Box 2, Box 3,... และให้ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของระดับสีเทาของรูปใน Grid ที่  $(i,j)$  มีค่าเท่ากับ  $k$  และ  $l$  ตามลำดับ ดังนั้น จะได้ว่า

$$N_r(i,j) = l - k + 1 \quad (2.16)$$

ดังนั้นจะสอดคล้องกับค่า  $N_r$  ในกริดที่  $(i,j)$  จากรูปที่ 2.6 ได้ว่า  $n_r(i,j) = 3 - 1 + 1$



รูปที่ 2.11 การพิจารณาค่าของ  $n_r$  (อ้างอิงจาก Scott, 2002)

จากรูปจะสังเกตเห็นได้ว่ารูปที่มีพื้นผิวเรียบจะไม่แสดงความซับซ้อนมากนัก แต่ในความเป็นจริงแล้วรูปภาพดิจิทัลไม่ได้มีความเรียบมากนัก เนื่องจากความแตกต่างของการคำนวณค่า  $n_r$  ซึ่งเรียกวิธีนี้ว่าวิธีอนุพันธ์บ็อกซ์-เคาน์ติง (The Differential Box-Counting Method) ซึ่งทำการคำนวณได้จากกริดทั้งหมด ดังสมการ (2.17)

$$N_r = \sum_{i,j} n_r(i,j) \quad (2.17)$$

$N_r$  เป็นตัวเลขของความแตกต่างของค่า  $r$  เช่น ความแตกต่างของค่า  $S$  ดังนั้นค่ามิติแฟร็กทัลสามารถหาได้จากค่าความชันที่น้อยที่สุดที่ใกล้เคียงกับ  $\log N_r$  เทียบกับ  $\log(1/r)$  แสดงได้ตามสมการ 2.18

$$D = \frac{\log(N_r)}{\log(1/r)} \quad (2.18)$$

## 2.6 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation : S.D.)

### 2.6.1 นิยามค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: S.D.)

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคิดค้นโดย ฟรานซิส กาลตัน (Francis Galton) ในช่วงปลายคริสต์ทศวรรษ 1860 เป็นการวัดการกระจายทางสถิติที่เป็นปกติทั่วไป ใช้สำหรับเปรียบเทียบว่าค่าต่างๆ ในเซตข้อมูลกระจายตัวออกไปมากน้อยเท่าใด หากข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ใกล้ค่าเฉลี่ยมาก ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานก็จะมีค่าน้อย ในทางกลับกัน ถ้าข้อมูลแต่ละจุดอยู่ห่างไกลจากค่าเฉลี่ยเป็นส่วนมาก ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานก็จะมีค่ามาก และเมื่อข้อมูลทุกตัวมีค่าเท่ากันหมด ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะมีค่าเท่ากับศูนย์ นั่นคือไม่มีการกระจายตัว คุณสมบัติที่เป็นประโยชน์อย่างหนึ่งก็คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานใช้หน่วยอันเดียวกับข้อมูล

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรสุ่ม  $X$  มีการนิยามไว้ดังนี้

$$\sigma = \sqrt{E((X - E(X))^2)} \quad (2.19)$$

$$= \sqrt{E(X^2) - (E(X))^2} \quad (2.20)$$

$$= \sqrt{\text{Var}(X)} \quad (2.21)$$

ถ้าตัวแปรสุ่ม  $X$  มีพื้นฐานอยู่บนเซตข้อมูล ซึ่งสมาชิกเป็นจำนวนจริงและมีความน่าจะเป็นเท่ากัน ดังนั้นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสามารถคำนวณได้จาก สมการ (2.22) อันดับแรกต้องคำนวณหาค่าเฉลี่ยของ  $X$  และค่าเฉลี่ยเขียนแทนด้วย  $\bar{X}$  ซึ่งนิยามด้วยผลรวม (summation) ดังนี้

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_N}{N} \quad (2.22)$$

เมื่อ  $N$  คือจำนวนสมาชิกของเซตข้อมูล จากนั้นจึงสามารถคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานได้จาก

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.23)$$

$$\text{หรือ} \quad \sigma = \sqrt{\frac{1}{N} (\sum_{i=1}^N x_i^2 - N\bar{x}^2)} \quad (2.24)$$

### 2.6.2 การประมาณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร

ในความเป็นจริง การคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากรทั่วทั้งหมดยังคงอาจไม่สามารถทำได้ เว้นแต่ในกรณีเฉพาะเช่นการทดสอบมาตรฐาน (standardized test) ซึ่งทุกสมาชิกของประชากรจะถือว่าเป็นกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด แต่ในกรณีส่วนใหญ่ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะถูกคาดคะเนจากส่วนเบี่ยงเบนของตัวอย่างกลุ่มหนึ่งที่มาจากประชากร การวัดที่มักถูกใช้เป็นปกติทั่วไปคือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง (sample standard deviation) ซึ่งนิยามโดย

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.25)$$

เมื่อ  $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$  คือ ตัวอย่าง  
 $\bar{x}$  คือ ค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง  
 ตัวส่วน  $N - 1$  คือ องศาเสรี (degrees of freedom) ของเวกเตอร์  $(x_1 - \bar{x}, \dots, x_N - \bar{x})$

## 2.7 ตัวกรองกาบอร์ (Gabor Filter)

เป็นตัวกรองผ่านแถบความถี่แบบสองมิติชนิดหนึ่ง ที่มีทั้งคุณสมบัติของการให้ผ่านได้เฉพาะความถี่และทิศทางที่ถูกระบุไว้เท่านั้น และยังเป็นฟิลเตอร์ที่ให้ผลทั้งในทางโดเมนระยะห่าง และในทางโดเมนความถี่ ลักษณะของ Gabor Filter คือ Filter ที่รวมกันของ Gaussians และคลื่น Sinusoids ทำให้ Gabor Filter สามารถระบุตำแหน่งที่ปรากฏในทางระนาบตำแหน่งและระนาบความถี่พร้อมกันได้ รูปร่างของ Gabor Filter จะมีลักษณะคล้ายกับผลการตอบสนองของเซลล์การมองเห็นของมนุษย์ ดังนั้นจึงเหมาะสมที่สุดที่จะใช้ในการกรองเอาความถี่และทิศทางที่ต้องการจากภาพ Gabor Filter มีสมการ ดังนี้

$$h(x, y : \phi, f) = \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[ \frac{x_\phi^2}{\delta_x^2} + \frac{y_\phi^2}{\delta_y^2} \right] \right\} \cos(2\pi f x_\phi) \quad (2.27)$$

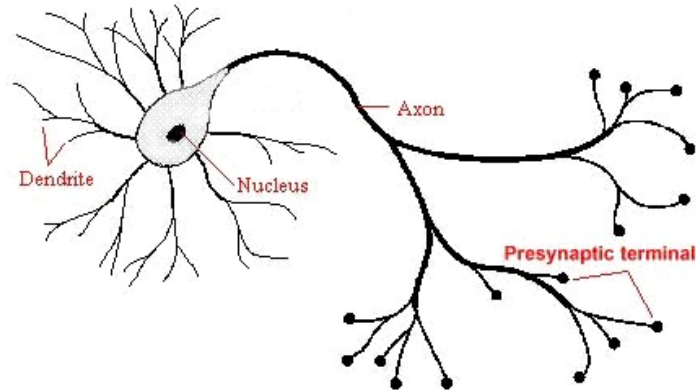
โดยที่ คือ ทิศทาง(มุม) ของตัวกรองกาบอร์

คือ ความถี่ของระนาบคลื่น Sinusoidal ในการทดลองนี้ใช้ความถี่ 100 เฮิรต์  
 คือ ขั้วเบตของเกาส์เซียน ( Gaussian) ในแนวแกน x และแกน y ตามลำดับ

## 2.8 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network: ANN)

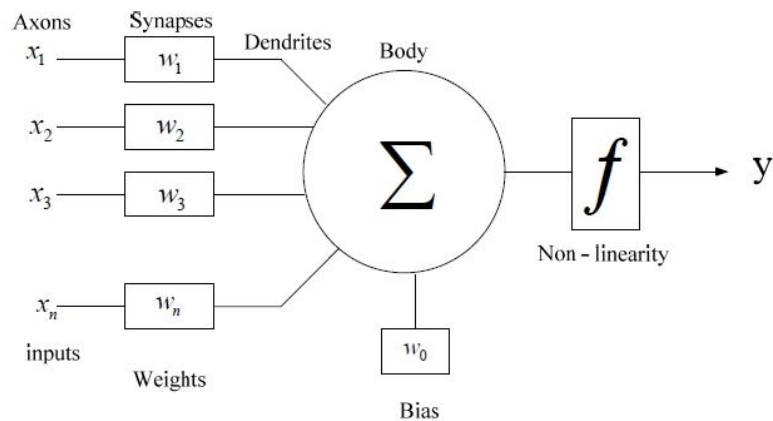
เป็นการจำลองการทำงาน โครงข่ายประสาทของมนุษย์ (Biological Neurons) ซึ่งประกอบด้วยส่วนของการประมวลผลที่เรียกว่านิวรอน (Neuron) ทุกๆนิวรอนสามารถมีอินพุตได้หลายอินพุตแต่มีเอาต์พุตเพียงเอาต์พุตเดียวและทุกๆเอาต์พุตจะแยกไปยังอินพุตของนิวรอนอื่นๆภายในโครงข่ายการติดต่อกันภายในระหว่างนิวรอนไม่ใช่ลักษณะการต่อแบบธรรมดาทุกๆอินพุตจะมีน้ำหนักเป็นตัวกำหนดกำลังของการติดต่อภายในและช่วยในการตัดสินใจการทำงานของนิวรอนในบางโครงข่ายจะถูกกำหนดไว้ตายตัวแต่บางโครงข่ายสามารถที่จะปรับแต่งได้ซึ่งอาจจะเป็นการปรับแต่งจากภายนอกโครงข่ายหรือนิวรอนสามารถปรับได้ด้วยตัวเองในจุดนี้แสดงถึงความสามารถในการเรียนรู้และจดจำของโครงข่ายประสาทเทียม สมองประกอบด้วยประสาทจำนวนมหาศาลและมีจุดต่อจำนวนโครงข่ายประสาทประกอบขึ้นด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนคือใยประสาท (nerve fiber หรือ dendrites) ตัวเซลล์ (cell body หรือ soma) และแกนประสาทนำออก (axon) ในแต่ละโครงข่ายประสาท

จะเชื่อมต่อกันโดยจุดประสานประสาท (synapse) ซึ่งสามารถเปลี่ยนค่าความต้านทานได้ตามสัญญาณที่ส่งระหว่างกันของ เซลล์ประสาท การส่งสัญญาณระหว่างเซลล์ประสาททำได้โดยการถ่ายทอดสารประกอบโซเดียมและโพแทสเซียม ภาพร่างของประสาทแสดงในภาพที่ 2.12



รูปที่ 2.12 โครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมเป็นการรวมกลุ่มแบบขนานของหน่วยประมวลผลย่อยๆ ประกอบด้วยอินพุตและเอาต์พุต แต่ละตัวน้ำหนัก (Weight) เป็นตัวกำหนดน้ำหนักของอินพุตโดยนิเวรอนแต่ละหน่วยจะมีค่าขีดแบ่ง (Threshold) เป็นตัวกำหนดว่าน้ำหนักรวมของอินพุตต้องมาเท่าไรจึงจะส่งเอาต์พุตไปยังนิเวรอนตัวอื่นได้ เมื่อนำนิเวรอนแต่ละตัวมาต่อกันให้ทำงานร่วมกันก็จะเหมือนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในสมอง โดยสามารถแสดงแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

จากรูปที่ 2.13 แสดงแบบจำลองเซลล์ประสาทเทียมที่สามารถสอนให้โครงข่ายตัดสินใจได้ โดยมี  $x_i$  เป็นสัญญาณอินพุต และ  $w_i$  เป็นค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้จากการฝึกสอนโครงข่าย เทียบได้กับไซแนปส์ที่ใช้ในการส่งผ่านสัญญาณ โดยการกระตุ้นหรือการยับยั้งสัญญาณจะขึ้นอยู่กับค่าถ่วงน้ำหนัก  $w_i$  และแต่ละโหนดของโครงข่ายจะใช้แทนเซลล์ประสาทแต่ละเซลล์ ส่วน  $y$  เป็นเอาต์พุตการคำนวณสัญญาณเอาต์พุต สามารถทำได้ดังนี้

$$net = \sum w_i x_i + \theta = w_1 x_1 + w_2 x_2 + \dots + w_n x_n + \theta \quad (2.28)$$

โดยที่  $w$  เป็นเวกเตอร์ของค่าถ่วงน้ำหนักและ  $x$  เป็นเวกเตอร์อินพุตซึ่งสามารถกำหนดได้ดังนี้

$$w = [w_1, w_2, \dots, w_n]^t \quad (2.29)$$

และ

$$x = [x_1, x_2, \dots, x_n]^t \quad (2.30)$$

เมื่อ  $t$  เป็นตัวดำเนินการทรานสโพสของเมตริกซ์ ฟังก์ชันกำหนดสัญญาณเอาต์พุตซึ่งถูกเรียกว่า ฟังก์ชันกระตุ้นหรือแอคทิเวชันฟังก์ชัน (Activation Function)

### 2.8.1 ฟังก์ชันกระตุ้น (Activation Function)

ฟังก์ชันกระตุ้นมีด้วยกันสองชนิดคือ ชนิดที่เป็นเชิงเส้นและชนิดที่ไม่เป็นเชิงเส้นแสดงดังรูปที่ 2.14 ฟังก์ชันกระตุ้นที่พบบ่อยแสดงได้ดังต่อไปนี้

#### 1. ฟังก์ชันเชิงเส้น (Linear function)

$$f_{AN}(net - \theta) = \beta(net - \theta) \quad (2.31)$$

ฟังก์ชันเชิงเส้นจะสร้างเอาต์พุตที่ถูกมอดูเลตแบบเชิงเส้นโดยที่  $\beta$  เป็นค่าคงที่

#### 2. ฟังก์ชันขั้นบันได (Step function)

$$f_{AN}(net - \theta) = \begin{cases} \beta_1 & ; net \geq \theta \\ \beta_2 & ; net < \theta \end{cases} \quad (2.32)$$

ฟังก์ชันขั้นบันไดจะสร้างค่าเอาต์พุตที่เป็นสเกลาร์หนึ่งในสองค่าขึ้นอยู่กับค่าจุดเริ่มเปลี่ยน  $\theta$

#### 3. ฟังก์ชันลาดเอียง (Ramp function)

$$f_{AN}(net - \theta) = \begin{cases} \beta & ; net - \theta \geq \beta \\ net - \theta & ; net - \theta < \beta \\ -\beta & ; net - \theta \leq -\beta \end{cases} \quad (2.33)$$

ฟังก์ชันลาดเอียงเป็นการรวมฟังก์ชันเชิงเส้นและฟังก์ชันขั้นบันไดเข้าด้วยกัน

#### 4. ฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoid function)

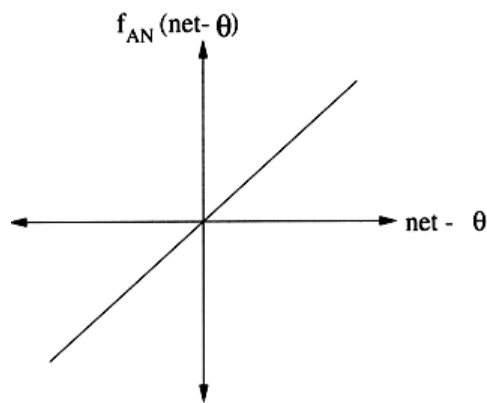
$$f_{AN}(net - \theta) = \frac{1}{1 + e^{-\lambda(net - \theta)}} \quad (2.34)$$

### 5. ฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ (Hyperbolic tangent function)

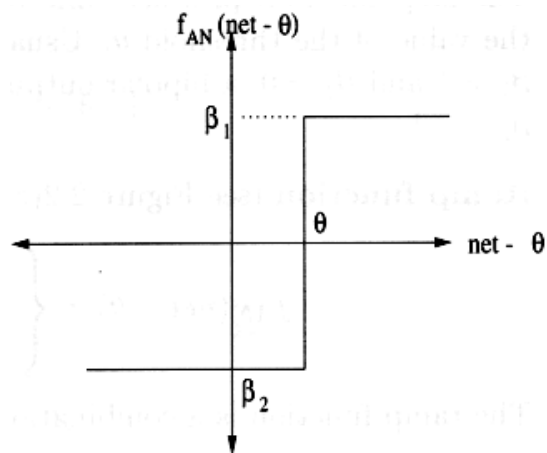
$$f_{AN}(net - \theta) = \frac{e^{\lambda(net - \theta)} - e^{-\lambda(net - \theta)}}{e^{\lambda(net - \theta)} + e^{-\lambda(net - \theta)}} \quad (2.35)$$

$$\text{หรืออาจนิยามได้เป็น } f_{AN}(net - \theta) = \frac{2}{1 + e^{-\lambda(net - \theta)}} - 1 \quad (2.36)$$

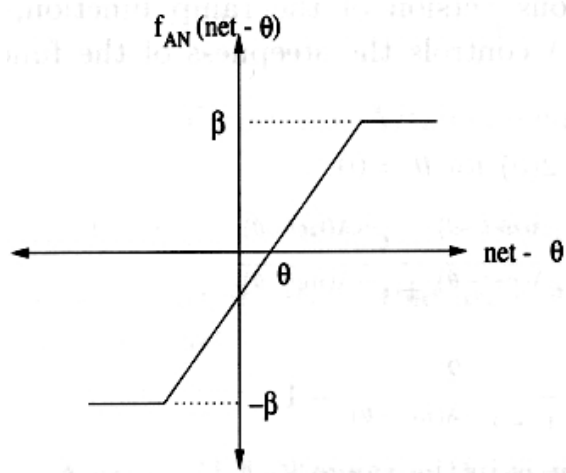
เอาต์พุตของไฮเพอร์โบลิก แทนเจนต์อยู่ในช่วง  $(-1, 1)$  โดยที่  $net - \theta$  เป็นค่าเฉลี่ย,  $\beta$  เป็นค่าคงที่,  $\lambda$  เป็นตัวควบคุมความชันของฟังก์ชัน โดยปกติมีค่าเท่ากับ 1



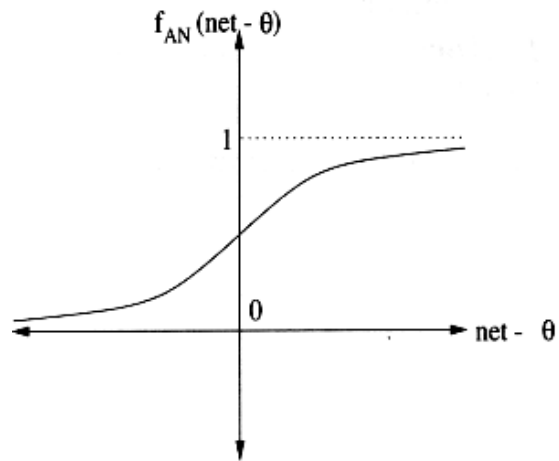
รูปที่ 2.14 (ก) ฟังก์ชันเชิงเส้น



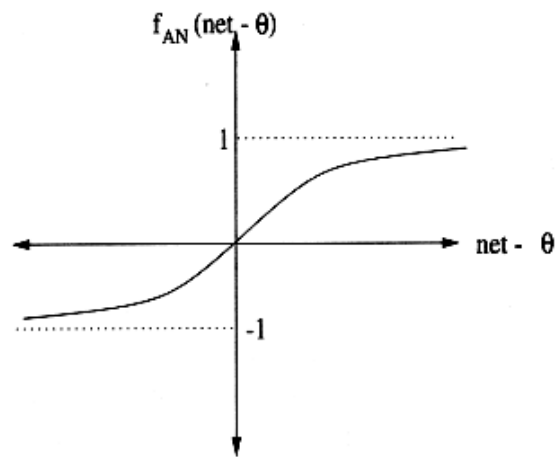
รูปที่ 2.14 (ข) ฟังก์ชันขั้นบันได



รูปที่ 2.14 (ค) ฟังก์ชันลาดเอียง



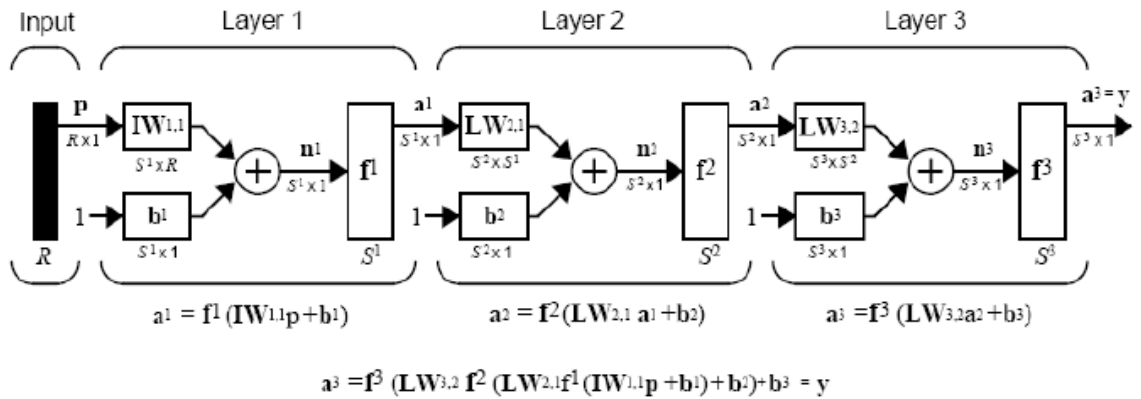
รูปที่ 2.14 (ง) ฟังก์ชันซิกมอยด์



รูปที่ 2.14 (จ) ฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์

### 2.8.2 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multi-Layered Perceptron: MLP)

โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multi-Layered Perceptron: MLP) เป็นโครงข่ายประสาทเทียมที่นิยมใช้มากที่สุดเป็นโครงข่ายที่สามารถทำงานที่มีความซับซ้อนมากๆ ได้อาจกล่าวได้ว่าสามารถประยุกต์ใช้ได้กับงานเกือบทุกประเภท โดยมีข้อแม้ว่าต้องมีจำนวนชั้นและจำนวนนิวรอนที่เหมาะสมรูปที่ 2.15 แสดงโครงข่ายประสาทเทียมแบบสามชั้นในรูปเมทริกซ์

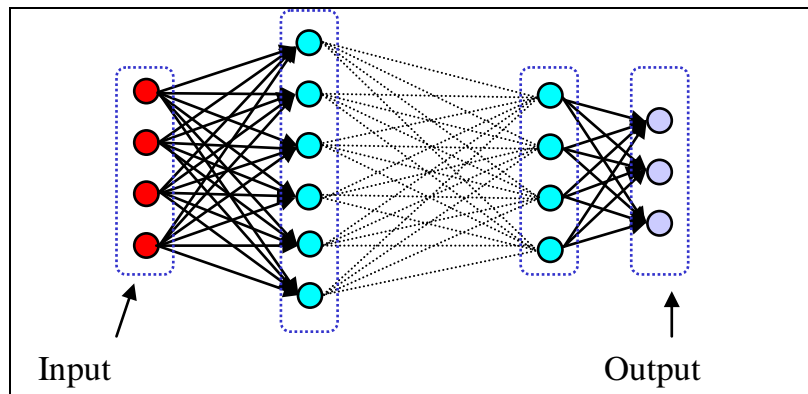


รูปที่ 2.15 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายอินพุตหลายเอาต์พุตในรูปย่อ

### 2.8.3 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียม (Network Architecture)

#### 2.8.3.1 การแพร่กระจายไปข้างหน้า (Feed Forward Network)

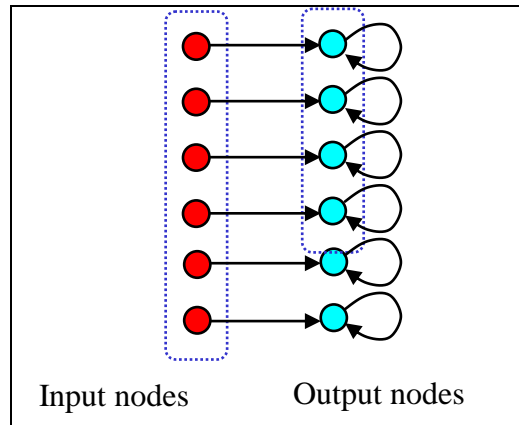
ข้อมูลที่ประมวลผลในวงจรข่ายจะถูกส่งไปในทิศทางเดียวจาก Input nodes ส่งต่อมาเรื่อยๆ จนถึง output nodes โดยไม่มีการย้อนกลับของข้อมูล หรือแม้แต่ Nodes ใน layer เดียวกันก็ไม่มี การเชื่อมต่อกัน



รูปที่ 2.16 รูปแสดงสถาปัตยกรรมของ Feedforward network

### 2.8.3.2 การแพร่ย้อนกลับ (Feedback Network)

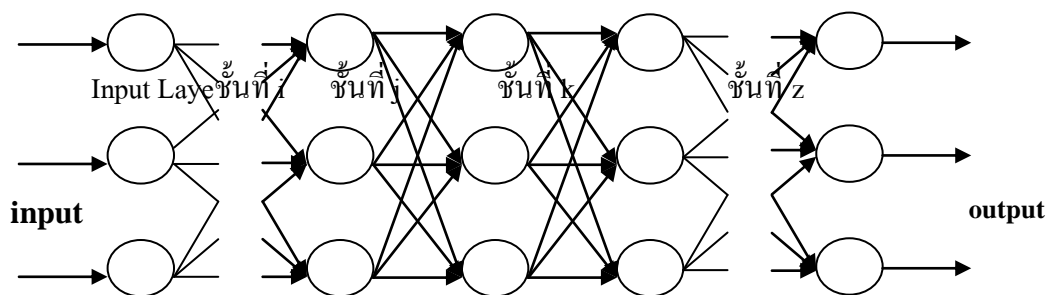
ข้อมูลที่ประมวลผลในวงจรข่าย จะมีการป้อนกลับเข้าไปยังวงจรข่ายหลาย ๆ ครั้ง จนกระทั่งได้คำตอบออกมา (บางที่เรียกว่า Recurrent network)



รูปที่ 2.17 รูป แสดงสถาปัตยกรรมของ Feedback network

### 2.8.4 อัลกอริทึมแบบแพร่กระจายกลับ (Back Propagation Algorithm)

Back-propagation เป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการเรียนรู้ของเครือข่ายประสาทวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ใน multilayer perceptron เพื่อปรับค่าน้ำหนักในเส้นเชื่อมต่อระหว่างโหนดให้เหมาะสม โดยการปรับค่านี้อาศัยความแตกต่างของค่าเอาต์พุตที่คำนวณได้กับค่าเอาต์พุตที่ต้องการ พิจารณารูปต่อไปนี้ประกอบ



รูปที่ 2.18 รูปแบบ Back-Propagation Neural Network

ขั้นตอนของ Back-propagation Algorithm มีดังนี้

1. กำหนดค่าอัตราเร็วในการเรียนรู้ (rate parameter :  $r$ )
2. สำหรับแต่ละตัวอย่างอินพุตให้ทำตามขั้นตอนต่อไปนี้จนกว่าได้ระดับ performance ที่ต้องการ
  - คำนวณหาค่าเอาต์พุตโดยใช้ค่าน้ำหนักเริ่มต้นซึ่งอาจได้จากการสุ่ม
  - คำนวณหาค่า  $\beta$  : แทนประโยชน์ที่จะได้รับสำหรับการเปลี่ยนค่าเอาต์พุตของแต่ละโหนด

- ในชั้นเอาต์พุต (Output Layer)

$$\beta_z = d_z - o_z \quad (2.37)$$

เมื่อ  $d_z =$  ค่าเอาต์พุตที่ต้องการ

$o_z =$  ค่าเอาต์พุตที่คำนวณได้

- ในชั้นซ่อน (Hidden Layer)

$$\beta_j = \sum_k w_{j-k} o_k (1 - o_k) \beta_k \quad (2.38)$$

เมื่อ  $w_{j-k} =$  น้ำหนักของเส้นเชื่อมระหว่างชั้นที่  $j$  กับ  $k$

- คำนวณค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปสำหรับในท่อน้ำหนัก ด้วยสมการต่อไปนี้

$$\Delta w_{j-k} = \beta_j o_k (1 - o_k) \beta_k \quad (2.39)$$

- เพิ่มค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง สำหรับตัวอย่างอินพุตทั้งหมด และเปลี่ยนค่าน้ำหนัก