หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีพื้นฐาน

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ได้มีการนำเทคโนโลยีของหัวตรวจวัดก๊าซและการวิเคราะห์ด้วยระบบโครงข่ายประสาทมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ อย่างกว้างขวาง ตัวอย่างเช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมน้ำหอม [5] การผลิตยาเวชภัณฑ์ การตรวจหาวัตถุระเบิด [6] การตรวจสอบชนิดของสุรา [7] การแยกประเภทสารระเหยอินทรีย์ [8,9] แม้กระทั่งการประดิษฐ์หุ่นยนต์ติดตามกลิ่นเพื่อป้องกันการหลงทาง [10] เป็นต้น ระบบวัดที่ได้ออกแบบขึ้นสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเทคโนโลยีของหัวตรวจวัดก๊าซและระบบโครงข่ายประสาทมาใช้เพื่อศึกษาและแยกความแตกต่างของน้ำยางพาราชนิดต่างๆ ในบทนี้จะได้กล่าวถึงหลักการทำงานของหัวตรวจวัดก๊าซว่าสามารถตรวจจับอนุภาคของไอของสารตัวอย่างต่างๆ ได้อย่างไร รวมทั้งจะได้กล่าวถึงหลักการทำงานของระบบโครงข่ายประสาท เพื่อเป็นพื้นฐานในการทำความเข้าใจในเนื้อหาวิทยานิพนธ์ต่อไป

2.1 หลักการทำงานของหัวตรวจวัดก๊าซ

หัวตรวจวัดก๊าซเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ออกแบบให้สามารถตรวจจับอนุภาคของก๊าซที่อยู่ในบรรยากาศรอบๆ ได้ หลักการทำงานของอุปกรณ์ชนิดนี้อยู่บนพื้นฐานของการเปลี่ยนแปลงค่าของการดูดซับ (Adsorption) ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งระดับสัญญาณทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณของก๊าซที่ถูกดูดซับ กลไกหลักที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของหัวตรวจวัดก๊าซในสภาวะที่มีไอของสารตัวอย่างได้แก่

1. การเกิดออกซิเดชันที่ผิวสัมผัสของหัวตรวจวัดก๊าซ
2. การเปลี่ยนแปลงความต้านทานของหัวตรวจวัดก๊าซ

2.2 การเกิดออกซิเดชันที่ผิวสัมผัสของหัวตรวจวัดก๊าซ

หัวตรวจวัดก๊าซที่ใช้ในระบบวัดก๊าซสำหรับตรวจวัดคุณภาพน้ำยางพารานี้เป็นหัวตรวจวัดก๊าซของบริษัท Figaro Engineering ประกอบด้วยรุ่น TGS800, TGS813, TGS822 และ TGS824 หัวตรวจวัดก๊าซทั้งหมดเป็นหัวตรวจวัดก๊าซชนิดสารกึ่งตัวนำ วัสดุที่ใช้ทำเป็นส่วนที่ไวต่ออนุภาคก๊าซชนิดต่างๆ (sensing material) คือ โลหะออกไซด์ชนิดดีบุกออกไซด์ (SnO_2)

ในอากาศ (Clean air) อะตอมของออกซิเจนจะถูกดูดซับที่ผิวของดีบุกออกไซด์และดึงอิเล็กตรอนออกจากแถบนำไฟฟ้า (Conduction band) ทำให้ความต้านทานของหัวตรวจวัดก๊าซเพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อหัวตรวจวัดก๊าซอยู่ในสภาวะที่มีไอของสารตัวอย่าง อนุภาคของไอของ

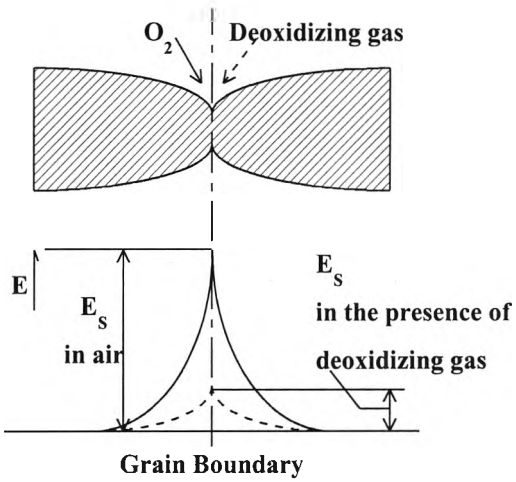
สารตัวอย่างนี้จะถูกดูดซับที่ผิวของหัวตรวจวัดก๊าซและถูกออกซิไดซ์ด้วยอะตอมของออกซิเจนที่ถูกดูดซับอยู่ที่ผิวของหัวตรวจวัดก๊าซอยู่ก่อน ดังนั้นอิเล็กตรอนจะถูกปล่อยกลับคืนสู่แถบนำไฟฟ้า เป็นสาเหตุให้ความนำไฟฟ้าของหัวตรวจวัดก๊าซเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันรีดักชันที่ผิวของหัวตรวจวัดก๊าซสามารถเขียนได้ตามสมการ

$$1/2O_2+(SnO_{2-x})^* \longrightarrow O^-_{ad}(SnO_{2-x}) \qquad (2.1)$$

$$R+O^-_{ad}(SnO_{2-x}) \longrightarrow RO+(SnO_{2-x})^*$$

2.3 การเปลี่ยนแปลงความต้านทานของหัวตรวจวัดก๊าซ

ผลึกของดีบุกออกไซด์เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type semiconductor) เมื่อผลึกได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงระดับหนึ่งในอากาศ ออกซิเจนจะถูกดูดซับบนผิวผลึกจากนั้นอิเล็กตรอนจากแถบนำไฟฟ้าจะถูกถ่ายเทให้กับออกซิเจนที่ถูกดูดซับที่ผิวทำให้อะตอมของออกซิเจนมีสภาพเป็นประจุลบ เกิดชั้นปลอดพาหะ (Space charge layer) พร้อมทั้งเกิดกำแพงพลังงานศักย์ (Potential barrier) ขนาดของกำแพงพลังงานศักย์นี้เปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นของออกซิเจนที่ถูกดูดซับที่ผิว ซึ่งเป็นตัวต่อต้านการไหลของกระแสอิเล็กตรอนผ่านขอบเกรน (Grain boundary) ความต้านทานของหัวตรวจวัดก๊าซจึงขึ้นอยู่กับขนาดของกำแพงพลังงานศักย์นี้ แผนภาพของกำแพงพลังงานศักย์ที่เกิดขึ้นแสดงดังรูปที่ 2.1



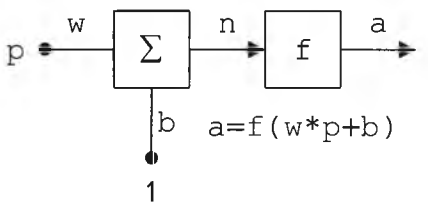
รูปที่ 2.1 ขนาดของกำแพงพลังงานศักย์ที่ขอบเกรนของ SnO_{2-x}

เมื่อหัวตรวจวัดก๊าซอยู่ในสภาวะที่มีไอของสารตัวอย่าง ซึ่งเป็นเสมือนก๊าซดีออกซิไดซ์ที่ทำปฏิกิริยาออกซิเดชันรีดักชันกับอะตอมของออกซิเจนที่ถูกดูดซับที่ผิวอยู่ก่อนแล้ว ทำให้

ความหนาแน่นของออกซิเจนที่ผิวลดลง ดังนั้นขนาดของกำแพงพลังงานศักย์ก็ลดต่ำลงด้วย กระแสของอิเล็กตรอนจึงสามารถไหลผ่านขอบเกรนได้มากขึ้น ซึ่งก็หมายความว่า ความต้านทานของหัวตรวจวัดก๊าซลดลงนั่นเอง

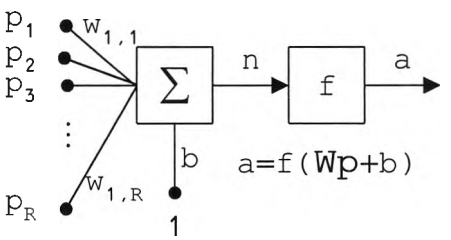
2.4 หลักการของระบบโครงข่ายประสาท

ระบบโครงข่ายประสาทเป็นแบบจำลองคอมพิวเตอร์ ประกอบด้วยส่วนย่อย (นิวรอล: Neural) หลายส่วนที่เชื่อมโยงถึงกันทั้งหมดและทำงานในแบบขนาน ซึ่งเป็นการเลียนแบบลักษณะโครงสร้างของระบบประสาทของมนุษย์นั่นเอง ระบบโครงข่ายประสาทเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยการประมาณข้อมูลด้วยฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ ระบบโครงข่ายประสาทจะผ่านการเรียนรู้ (Learning) จากข้อมูลอินพุตที่ป้อนให้ แล้วมีการคำนวณค่าน้ำหนัก w และค่าไบแอส b เพื่อให้ได้ค่าเอาต์พุตตามที่กำหนด จากนั้นระบบโครงข่ายประสาทจะใช้ค่าน้ำหนักและค่าไบแอสที่ได้จากการเรียนรู้นี้ เพื่อคำนวณหาค่าเอาต์พุตจากข้อมูลอินพุตที่นำมาทดสอบ แบบจำลองของนิวรอล (Neural model) ที่ง่ายที่สุด คือ นิวรอล 1 อินพุต ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างแสดงในรูปที่ 2.2



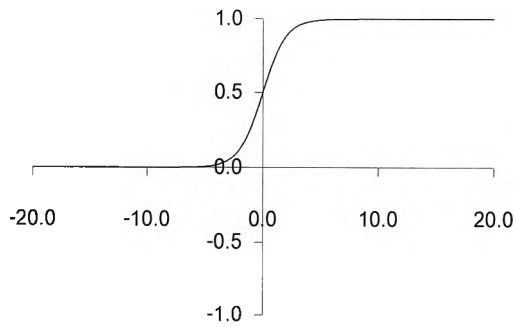
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของนิวรอล 1 อินพุต

ค่าเอาต์พุต a ของนิวรอล คำนวณได้จาก ค่าอินพุต p คูณด้วยค่าน้ำหนัก w เท่ากับ w*p รวมกับค่าไบแอส b ส่งผ่านเป็นค่าอินพุตของฟังก์ชันถ่ายโอน f ได้ออกมาเป็นค่าเอาต์พุตของนิวรอลโหนดนี้ สำหรับนิวรอลหนึ่งโหนดที่มีค่าอินพุตหลายค่ามีโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของนิวรอลที่มีค่าอินพุตหลายค่า

ค่าอินพุตแต่ละค่า p_i จะคูณด้วยค่าน้ำหนัก w(1,i) ของเมตริกซ์ค่าน้ำหนัก W รวมกับค่าไบแอส b เป็นค่าอินพุตของฟังก์ชันถ่ายโอน f เพื่อคำนวณค่าเอาต์พุต a



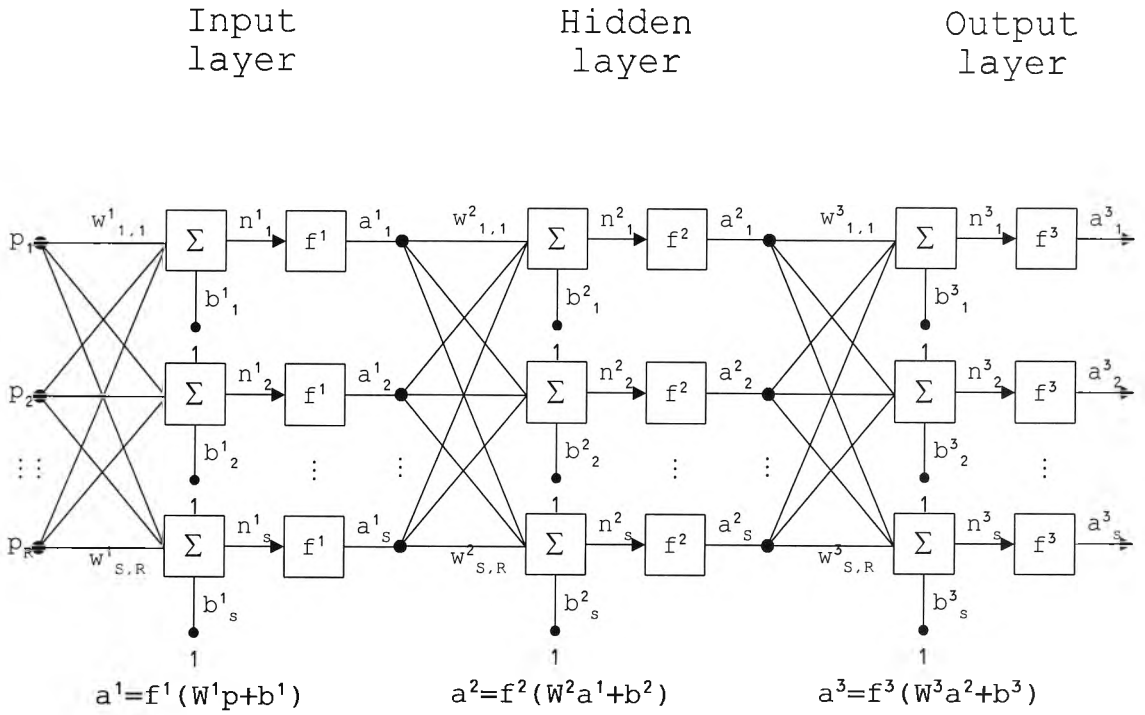
$$a = \frac{1}{1 + e^{-n}}$$

a=logsig(n)

รูปที่ 2.4 ฟังก์ชันถ่ายโอน logsigmoid

ฟังก์ชันถ่ายโอนที่ใช้ในการประมาณข้อมูลของระบบโครงข่ายประสาทมีหลายฟังก์ชัน สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เลือกใช้ฟังก์ชัน logsigmoid โดยกราฟของฟังก์ชันแสดงในรูปที่ 2.4 เหตุผลที่เลือกฟังก์ชัน logsigmoid เนื่องจากว่าค่าอินพุตของฟังก์ชันสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตั้งแต่ช่วงลบอนันต์ถึงบวกอนันต์ และให้ค่าเอาต์พุตของฟังก์ชันออกมาในช่วง 0 ถึง 1 ฟังก์ชัน logsigmoid เป็นฟังก์ชันที่นิยมใช้ในระบบโครงข่ายประสาทที่มีการเรียนรู้แบบ backpropagation เนื่องจากเป็นฟังก์ชันที่สามารถหาอนุพันธ์ได้

โดยทั่วไปแล้ว ถึงแม้ว่าจะมีอินพุตหลายค่า แต่การใช้นิวรอลเพียงโหนดเดียวเป็นวิธีการที่ไม่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีนิวรอลหลายโหนดภายใน 1 เลเยอร์ (Layer) ซึ่งจำนวนนิวรอลในแต่ละเลเยอร์ขึ้นอยู่กับรูปแบบของปัญหาที่ต้องการแก้ไข ระบบโครงข่ายประสาทโดยทั่วไปจะประกอบด้วยอย่างน้อย 3 เลเยอร์ ได้แก่ (1) อินพุตเลเยอร์ : Input layer (2) เลเยอร์ภายใน : Hidden layer และ (3) เอาต์พุตเลเยอร์ : Output layer โครงสร้างของระบบโครงข่ายประสาทโดยทั่วไปแสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ระบบโครงข่ายประสาท 3 เลเยอร์