บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ศึกษาสาระสำคัญของเอกสารเพื่อเป็นแนวทางพื้นฐานในการศึกษาค้นคว้าซึ่งสามารถสรุปประเด็นสำคัญต่างๆ ได้ ดังนี้

1. มาตรฐานคุณภาพของแหล่งน้ำ
2. ระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย
3. IEEE 802.15.4 และหลักการทำงานของซิกบี
4. ไมโคคอนโทรลเลอร์และเซ็นเซอร์
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. มาตรฐานคุณภาพของแหล่งน้ำ

การวิจัยจะะทำการวัดคุณภาพของน้ำใน 3 ด้าน คือ อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง และค่าออกซิเจนละลายน้ำ (แสดงดังตารางที่ 2.2) ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิของน้ำ [3] จะขึ้นอยู่กับแสงที่ส่องผ่านไปในน้ำ โดยการเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานความร้อน ซึ่งจะเป็นผลให้น้ำที่มีความลึกแตกต่างกันมีอุณหภูมิที่แตกต่างกันด้วย อุณหภูมิของน้ำมีผลต่อการเร่งปฏิกิริยาทางเคมีการลดลงของปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ กลิ่น และรสของน้ำ มีผลต่อสัตว์น้ำในการกินอาหาร การเจริญเติบโต เป็นต้น

2) พีเอช (pH)

ค่า pH [3] แสดงความเป็นกรด – ด่างของน้ำ pH ที่สามารถทำให้สัตว์น้ำ เช่น ปลาดำรงชีวิตอยู่ได้อย่างปกติจะอยู่ระหว่าง 6.5 ถึง 8.5 ซึ่งหมายความว่าน้ำมีค่าเป็นกลางไม่เป็นกรดมากนักและไม่เป็นด่างมากนัก ค่า pH ของน้ำกร่อยหรือน้ำที่ใช้ในการประมง ส่วนใหญ่ pH อยู่ในระหว่าง 7-9

การเปลี่ยนแปลงของค่า pH ของน้ำในรอบวัน จะพบว่าในช่วงเช้ามืด pH ต่ำ เนื่องจากช่วงเวลากลางคืนมีการหายใจจากสัตว์น้ำและแพลงค์ตอนพืช ทำให้คาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำสูงขึ้นและทำปฏิกิริยากับน้ำเป็นกรดคาร์บอนิก ในช่วงบ่าย pH สูง เนื่องจากแพลงค์ตอนพืชและพืชน้ำ ใช้คาร์บอกไดออกไซค์ สำหรับการสังเคราะห์แสง ทำให้น้ำสูญเสียคาร์บอนไดออกไซค์

3) ออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO)

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ [3] ถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่ชี้ให้เห็นสภาวะคุณภาพของแหล่งน้ำว่าเหมาะแก่การดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำหรือไม่ โดยทั่วไปปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่พอเหมาะต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำควรมีไม่ต่ำกว่า 4 มิลลิกรัม/ลิตร น้ำธรรมชาติที่มีคุณภาพดีมักมี DO อยู่ระหว่าง 5-7 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งค่า DO จะมีค่าต่ำสุดในช่วงเช้ามืดและค่อยๆ สูงขึ้นเมื่อมีแสงแดด และเกิดการสังเคราะห์แสงความสามารถในการละลายของออกซิเจนในน้ำจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและปริมาณคลอไรด์ในน้ำ เมื่ออุณหภูมิหรือ ปริมาณคลอไรด์ในน้ำเพิ่มขึ้นจะทำให้การละลายของออกซิเจนในน้ำลดลง[3]

มาตรา 32 แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 บัญญัติให้คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ กำหนดมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อมเพื่อเป็นเป้าหมายในการรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม ซึ่งมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อมนี้จะต้องอาศัยหลักวิชาการ และหลักการทางวิทยาศาสตร์เป็นพื้นฐานโดยจะต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐกิจ สังคม และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง

1.1 มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำเป็นมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อมชนิดหนึ่ง มีวัตถุประสงค์

1) เพื่อควบคุมและรักษาคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำให้เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์ และมีความปลอดภัยต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน

2) เพื่ออนุรักษ์ทรัพยากร และสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติ

สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ ได้นำเสนอมาตรฐานคุณภาพแหล่ง น้ำ 2 ฉบับ คือ มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน และมาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่ง ต่อคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ซึ่ง ฯพณฯ นายกรัฐมนตรี ในฐานะประธานคณะกรรมการ สิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ได้ลงนามเมื่อวันที่ 20 มกราคม 2537

หลักการสำคัญในการกำหนดมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำ ได้แก่ การกำหนดค่ามาตรฐานเพื่อรักษาคุณภาพน้ำให้เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์การจัดแบ่งลักษณะการใช้ประโยชน์ของแหล่งน้ำ และการกำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการตรวจสอบคุณภาพน้ำ

1.2 หลักเกณฑ์ในการพิจารณากำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำ

ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำที่ได้จัดทำขึ้น มีหลักเกณฑ์ที่สำคัญดังนี้

1) ความเหมาะสมต่อการนำมาใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่อละประเภทในกรณีที่แหล่งน้ำนั้นมีการใช้ประโยชน์หลายด้าน (Multi Purposes) โดยคำนึงถึงการใช้ประโยชน์หลักเป็นสำคัญ ทั้งนี้ ระดับมาตรฐานจะไม่ขัดแย้งต่อการใช้ประโยชน์หลายด้านพร้อมกัน

2) สถานการณ์คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำหลักของประเทศและแนวโน้มของคุณภาพน้ำที่อาจมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจาการพัฒนาด้านต่าง ๆ ในอนาคต

3) คำนึงถึงสุขภาพและความปลอดภัยของชีวิตมนุษย์และสัตว์น้ำส่วนใหญ่

4) ความรู้สึกพึงพอใจในการยอมรับระดับคุณภาพน้ำในเขตต่าง ๆ ของประชาชนในพื้นที่ลุ่มน้ำหลักและของประชาชนส่วนใหญ่

1.3 มาตรฐานของแม่น้ำลำคลอง และคุณภาพของน้ำในแหล่งน้ำประเภทต่างๆ

กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และการพลังงาน ได้กำหนดมาตรฐานของแม่น้ำลำคลองออกเป็น 5 ประเภท พร้อมทั้งได้กำหนดคุณภาพของน้ำในแหล่งน้ำประเภทต่างๆ เพื่อประโยชน์ใช้สอยไว้ด้วยดังนี้

1.3.1. แหล่งนำที่น้ำมีสภาพตามธรรมชาติ ปราศจากน้ำทิ้งและกิจกรรมทุกประเภทและสามารถใช้ประโยชน์เพื่อ

(1) อุปโภค และบริโภค โดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อน

(2) การขยายพันธุ์ตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตระดับพื้นฐาน และ

(3) ระบบนิเวศของแหล่งน้ำ

คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำประเภทนี้ ต้องมีสภาพตามธรรมชาติ และสามารถใช้ประโยชน์ได้ตามที่กำหนดไว้

1.3.2. แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภทและสามารถใช้ประโยชน์เพื่อ

(1) การอุปโภค และบริโภค โดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติ และผ่านกระบวนการปรับปรุง

(2) การอนุรักษ์สัตว์น้ำ

(3) การประมง

(4) การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ

คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำประเภทนี้ ต้องมีมาตรฐานดังนี้

(1) ต้องไม่มีวัตถุหรือสิ่งของที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ซึ่งทำให้สี กลิ่น และรสของน้ำ เปลี่ยนไปจากธรรมชาติ

(2) อุณหภูมิของน้ำต้องไม่สูงกว่าอุณหภูมิของน้ำตามธรรมชาติเกิน 3 องศาเซลเซียส

(3) ความเป็นกรด-เบสของน้ำ (pH) ต้องมีค่าระหว่าง 5.0-9.0

(4) ออกซิเจนละลายในน้ำ (dissolved oxygen; DO) ต้องมีค่าไม่น้อยว่า 6.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(5) ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี หรือบีโอดี (biochemical oxygen demand; BOD) ในน้ำ ต้องมีค่าไม่เกิน 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

(6) บัคเตรีชนิดโคลิฟอร์ม (coliform bacteria) ในน้ำ ต้องมีค่ารวมไม่เกิน 5,000 เอ็มพีเอ็น (most probable number; mpn) ต่อ 100 มิลลิลิตร

(7) บัคเตรีชนิดฟีคอลโคลิฟอร์ม (feacal coliform bacteria) ในน้ำต้องมีค่าไม่เกิน 1,000 เอ็มพีเอ็นต่อ 100 มิลลิลิตร

(8) ไนเทรต (NO_3) ในน้ำในหน่วยไนโตรเจน ต้องมีค่าไม่เกิน 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(9) แอมโมเนีย (NH_3) ในน้ำในหน่วย ไนโตรเจน ต้องมีค่าไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

(10) ฟีนอล (phenol) ในน้ำต้องมีค่าไม่เกิน 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร

(11) ทองแดง (copper; Cu) ในน้ำต้องมีค่าไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร

(12) นิกเกิล (nickel; Ni) ในน้ำ ต้องมีค่า ไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร

(13) แมงกานีส (manganese; Mn) ในน้ำ ต้องมีค่าไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร

(14) สังกะสี (zinc; Zn) ในน้ำต้องมีค่าไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(15) แคดเมียม (cadmium; Cd) ในน้ำที่มีความกระด้างในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCo_3$) ไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ต้องมีค่าแคดเมียมไม่เกิน 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร และในน้ำที่มีความกระด้างในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนตเกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ต้องมีค่าแคดเมียมไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร

(16) โครเมียมชนิดเฮกซาวาเลนต์ (chromium hexavalent; Cr hexavalent) ในน้ำต้องมีค่าไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร

(17) ตะกั่ว (lead; Pb) ในน้ำ ต้องมีค่าไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร

(18) ปรอท (mercury; Hg) ในน้ำ ต้องมีค่ารวมไม่เกิน 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร

(19) สารหนู (arsenic; As) ในน้ำ ต้องมีค่าไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร

(20) ไซยาไนด์ (cyanide) ในน้ำ ต้องมีค่าไม่เกิน 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร

(21) กัมมันตภาพรังสี (radioactivity) ในน้ำ ต้องมีค่าความแรงรังสีรวมแอลฟาไม่เกิน 0.1 เบ็กเคอเรลต่อลิตร และค่าความแรงรังสีรวมบีตาไม่เกิน 1.0 เบ็กเคอเรลต่อลิตร

(22) สารเคมีที่ใช้ในการป้องกัน และกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ (pesticides) ในน้ำ ต้องมีค่ารวมไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร

(23) ดีดีที (dichlorodiphenyltrichlorethane; DDT) ในน้ำ ต้องมีค่าไม่เกิน 1.0 ไมโครกรัม ต่อลิตร

(24) บีเอชซีชนิดแอลฟา (alpha BHC) ในน้ำ ต้องมีค่าไม่เกิน 0.02 ไมโครกรัมต่อลิตร

(25) ดีลดริน (dieldrin) ในน้ำ ต้องมีค่า ไม่เกิน 0.1 ไมโครกรัมต่อลิตร

(26) แอลดริน (aldrin) ในน้ำ ต้องมีค่า ไม่เกิน 0.1 ไมโครกรัมต่อลิตร

(27) เฮปทาคลอร์ (heptachlor) และเฮปทาคลอร์อีพ็อกไซด์ (heptachlor epoxide) ในน้ำ ต้องมีค่าไม่เกิน 0.2 ไมโครกรัมต่อลิตร

(28) เอนดริน (endrin) ในน้ำ ต้องไม่สามารถตรวจพบได้ตามวิธีการตรวจสอบที่กำหนด

1.3.3. แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภทและสามารถใช้ประโยชน์เพื่อ

(1) การอุปโภค และบริโภค โดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติ และผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน และ

(2) การเกษตร

คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำประเภทนี้ ต้องมีมาตรฐานตามที่กำหนดไว้ในแหล่งนีประเภทที่ 2 เว้นแต่

(1) ออกซิเจนละลายในน้ำต้องมีค่าไม่น้อย กว่า 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(2) บีโอดีต้องมีค่าไม่เกิน 2.0 มิลลิกรัม ต่อลิตร

(3) บัคเตรีชนิดโคลิฟอร์มในน้ำต้องมีค่า ไม่เกิน 20,000 เอ็มพีเอ็นต่อ 100 มิลลิลิตร

(4) บัคเตรีชนิดฟีคอลโคลิฟอร์มในน้ำต้อง มีค่าไม่เกิน 4,000 เอ็มพีเอ็นต่อ 100 มิลลิลิตร

1.3.4. แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภทและสามารถใช้ประโยชน์เพื่อ

การอุปโภค และบริโภค โดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติ และผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นพิเศษก่อน

คุณภาพน้ำของแหล่งน้ำประเภทนี้ ต้องมีมาตรฐานตามที่กำหนดไว้ในแหล่งน้ำประเภทที่ 2 ข้อ (1)-(5) และ (8)-(28) เว้นแต่

(1) ออกซิเจนละลายในน้ำต้องมีค่าไม่น้อย กว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(2) บีโอดีในน้ำต้องมีค่าไม่เกิน 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

1.3.5. แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภทและสามารถใช้ประโยชน์เพื่อการคมนาคม

คุณภาพน้ำของแหล่งน้ำประเภทนี้ มีมาตรฐานต่ำกว่าคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำประเภทที่ 4

การกำหนดแหล่งน้ำแหล่งใดแหล่งหนึ่งให้อยู่ในประเภทใดนั้น จะกำหนดตามคุณสมบัติ ที่สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ประกาศในราชกิจจานุเบกษา

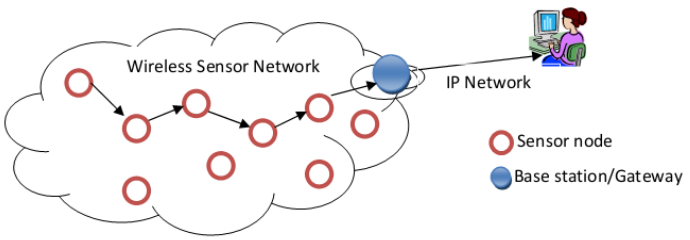
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติคุณภาพของน้ำ

ลำดับ	คุณภาพน้ำ[2/]	ค่าทางสถิติ	หน่วย	เกณฑ์กำหนดสูงสุด[3/] ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์ [1/]				
				ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ประเภท 5
1.	สี กลิ่น และรส (Coloir Odour and Taste)		-	ธ	ธ /	ธ /	ธ /	-
2.	อุณหภูมิ (Temperature)		°ซ	ธ	ธ /	ธ /	ธ /	-
3.	ความเป็นกรดและด่าง (pH)		-	ธ	5.0 - 9.0	5.0 - 9.0	5.0 - 9.0	-
4.	ออกซิเจนละลาย (DO)[3/]	P20	มก./ล.(mg/l)	ธ	6.0	4.0	2.0	-
5.	บีโอดี (BOD)	P80	มก./ล.(mg/l)	ธ	1.5	2.0	4.0	-
6.	แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria)	P80	เอ็ม.พี.เอ็น/100มล. (MPN/100 ml)	ธ	5,000	20,000	-	-
7.	แบคทีเรียกลุ่มฟิโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bacteria)	P80	เอ็ม.พี.เอ็น/100มล. (MPN/100 ml)	ธ	1,000	4,000	-	-
8.	ไนเตรต (NO_3) ในหน่วยไนโตรเจน		มก./ล. (mg/l)	ธ	5.0	5.0	5.0	-
9.	แอมโมเนีย (NH_3) ในหน่วยไนโตรเจน		มก./ล. (mg/l)	ธ	0.5	0.5	0.5	-
10.	ฟีนอล (Phenols)		มก./ล. (mg/l)	ธ	0.005	0.005	0.005	-
11.	ทองแดง (Cu)		มก./ล. (mg/l)	ธ	0.1	0.1	0.1	-
12.	นิคเกิล (Ni)		มก./ล. (mg/l)	ธ	0.1	0.1	0.1	-
13.	แมงกานีส (Mn)		มก./ล. (mg/l)	ธ	1.0	1.0	1.0	-
14.	สังกะสี (Zn)		มก./ล. (mg/l)	ธ	1.0	1.0	1.0	-
15.	แคดเมียม (Cd)		มก./ล. (mg/l)	ธ	0.005* 0.05*	0.005* 0.05*	0.005* 0.05*	- -
16.	โคเมียมชนิดเฮ็กซาวาเล้นท์ (Cr Hexavalent)		มก./ล. (mg/l)	ธ	0.05	0.05	0.05	-
17.	ตะกั่ว (Pb)		มก./ล. (mg/l)	ธ	0.05	0.05	0.05	-
18.	ปรอททั้งหมด (Total Hg)		มก./ล. (mg/l)	ธ	0.002	0.002	0.002	-
19.	สารหนู (As)		มก./ล. (mg/l)	ธ	0.01	0.01	0.01	-
21.	กัมมันตภาพรังสี (Radioactivity) - ค่ารังสีแอลฟา (Alpha) - ค่ารังสีเบตา (Beta)		 เบเคอเรล/ล. เบเคอเรล/ล.	 ธ ธ	 0.1 1.0	 0.1 1.0	 0.1 1.0	 - -
22.	สารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์ชนิดมีคลอรีนทั้งหมด (Total Organochlorine Pesticides)		มก./ล. (mg/l)	ธ	0.05	0.05	0.05	-

ลำดับ	คุณภาพน้ำ[2/]	ค่าทางสถิติ	หน่วย	เกณฑ์กำหนดสูงสุด[3/] ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์ [1/]				
				ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ประเภท 5
24.	บีเอชซีชนิดแอลฟา (Alpha-BHC)		ไมโครกรัม/ล.	ธ	0.02	0.02	0.02	-
25.	ดีลดริน (Dieldrin)		ไมโครกรัม/ล.	ธ	0.2	0.2	0.2	-
26.	อัลดริน (Aldrin)		ไมโครกรัม/ล.	ธ	0.1	0.1	0.1	-
27.	เฮปตาคลอร์และเฮปตาคลอร์อิปอกไซด์ (Heptachlor & Heptachlor epoxide)		ไมโครกรัม/ล.	ธ	0.2	0.2	0.2	-
28.	เอนดริน (Endrin)		ไมโครกรัม/ล.	ธ	ไม่สามารถตรวจพบได้ตามวิธีการตรวจสอบที่กำหนด	-		

2. ระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

ระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network หรือ WSN) เป็นระบบเครือข่ายไร้สายที่ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ซึ่งทำงานแบบอัตโนมัติโดยกระจายอยู่ทั่วเครือข่าย อุปกรณ์เหล่านั้นถูกติดตั้งเซ็นเซอร์ เพื่อติดตามเฝ้าระวังเหตุการณ์ต่างๆ ทางกายภาพที่กำลังเกิดขึ้นซึ่งได้แก่ แสง, ความชื้น, อุณหภูมิ, การสั่นสะเทือน, ความดัน, การเคลื่อนไหวและมลพิษ เป็นต้น แรงจูงใจในการพัฒนาระบบเซ็นเซอร์ไร้สายเริ่มจากการประยุกต์ในโครงการทางทหาร หลังจากนั้นแนวคิดข้างต้นถูกประยุกต์ต่อเนื่องไปยังระบบงานอื่นๆ ได้แก่ ทางการแพทย์, ระบบอัจฉริยะในบ้าน, การควบคุมการจราจร, การเกษตร และการติดตามถิ่นที่อยู่ในสัตว์เป็นต้น



รูปที่ 2.1 ระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

2.1 เทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

หลายมาตรฐานในขณะนี้ได้รับการอนุมัติภายใต้การพัฒนาสำหรับเครือข่ายส่งสัญญาณไร้สาย

- WirelessHART เป็นการพัฒนาขึ้นของ HART โพรโทคอล และเจาะจงออกแบบเพื่อกิจกรรมทางอุตสาหกรรม เช่น หน้าจอแสดงกระบวนการและควบคุม

- Zigbee เป็นมาตรฐานเครือข่ายตาข่าย (mesh-networking) ที่มีเจตนาเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลทางการแพทย์, อุปกรณ์สำหรับผู้บริโภค เช่น รีโมทโทรทัศน์และเครื่องใช้อัตโนมัติในบ้าน
- 6LoWPAN เป็นเส้นทางมาตรฐานของ IETF พัฒนาขึ้นเพื่อเจาะจงให้ เชื่อมโยง IPv6 กับ IEEE802.15.4 (IP-to-MAC-Layer)

เครื่องมือสื่อสาร WirelessHART ใช้ Time Division Multiple Access (TDMA) ทุกเครื่องมือ WirelessHART คงไว้ซึ่งความแม่นยำทางเวลาและยังคงใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ในบ้านได้ทั้งหมด ทุกเครื่องมือถูกทำเป็นสำเร็จรูปในสร้างหน้าต่างการจัดตารางเวลาล่วงหน้า ZigBee, WirelessHART และ 6LoWPAN ทั้งหมดนี้มีพื้นฐานเดียวกัน คือในมาตรฐานวิทยุ IEEE 802.15.4

3. IEEE 802.15.4

มาตรฐาน IEEE 802.15.4 เป็นมาตรฐานสำหรับเครือข่ายแบบไร้สายระยะใกล้ความเร็วต่ำหรือ low-rate WPAN (LR-WPAN) โดยมีคุณลักษณะ คือ อัตราการรับ-ส่งข้อมูล ต่ำากว่าหรือเท่ากับ 250 kbps ใช้กำลังไฟฟ้าน้อย อุปกรณ์มีราคาถูก นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์พื้นฐานที่หลากหลายในชีวิตประจำวันและโดยมากการนำมาประยุกต์ใช้ของ WPAN มักจะเกี่ยวข้องกับ WSNs

3.1 หลักการทำงานของ ZigBee [1]

คำว่า ZigBee ได้มาจากพฤติกรรมการสื่อสารของผึ้ง โดยผึ้งจะบินแบบซิกแซ็ก และจะส่งข้อมูลข่าวสารระหว่างผึ้งด้วยกัน ที่เกี่ยวกับ ตำแหน่ง ระยะทาง และทิศทางของอาหารที่พวกมันกำลังหาอยู่

ZigBee มาตรฐานสากล กำหนดโดย ZigBee Alliance ถูกสร้างขึ้นในการทำระบบเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคล (WPAN) อยู่ภายใต้มาตรฐาน IEEE 802.15.4 โยมาตรฐานนี้ใช้งานสำหรับการสื่อสารความเร็วต่ำ ใช้กำลังไฟต่ำ อุปกรณ์ราคาถูก และมีคุณสมบัติการจัดการเครือข่ายด้วยตัวเซ็นเซอร์เองได้ จุดประสงค์ของคุณสมบัติดังกล่าวเพื่อให้สามารถสร้างเป็นระบบเครือข่ายตรวจจับไร้สายได้ ซึ่งระบบเครือข่ายดังกล่าวสามารถทำงานได้ทุกสภาพแวดล้อม ทั้งในอาคาร นอกอาคาร ตัวเซ็นเซอร์สามารถทนแดด ทนฝน และอยู่ได้ด้วยการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ขนาดเล็กได้นานเป็นเดือนเป็นปี ระบบนี้จึงเหมาะสมใช้งานกับพวกตรวจจับ และตรวจสอบสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่สนใจได้

ลักษณะของ ZigBee คือ มีทางเข้าช่องสัญญาณโดยการใช้ Carrier Sense Mutiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA) หรือมีทางเข้าช่องสัญญาณหลายๆทาง เพื่อหลีกเลี่ยงการชนกัน ระยะทางโดยทั่วไปประมาณ 50 เมตร มี topology แบบ star, peer-to-peer, mesh ทั้งนี้แต่ละอุปกรณ์จะมีแอดเดรส ที่มีความยาว 64 หรือ 16 บิต (รองรับได้ 64,000 อุปกรณ์) มาตรฐาน IEEE 802.15.4 ที่ถูกกำหนดไว้ในชั้น Physical layer มีอยู่ 3 ความถี่ คือ

- 2.4-2.4835 GHz bit rate 250 kb/s มีอยู่ 16 ช่องสัญญาณ คือ ช่องสัญญาณที่ 11-26
- 868-870 MHz bit rate 20 kb/s มีอยู่ 1 ช่องสัญญาณ คือ ช่องสัญญาณที่ 0
- 902-928 MHz bit rate 40 kb/s มีอยู่ 10 ช่องสัญญาณ คือ ช่องสัญญาณที่ 1-10

โดยความถี่ 2.4-2.4835 GHz สามารถใช้งานได้ทั่วโลก และความถี่ 868-870 MHz และ 902-928 MHz ใช้งานได้ในพื้นที่ของอเมริกาเหนือ ยุโรป ออสเตรเลีย และนิวซีแลนด์ ชนิดอุปกรณ์ของ ZigBee มีอยู่ 2 ชนิดคือ แบบ Physical Device และ Logical Device

1. แบบ Physical Device มี 2 ประเภท คือ

- Full Function Device (FFD) เป็นเร้าเตอร์ที่เป็นสื่อกลางในการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์อื่นๆ ใช้พลังงานจาก Power line ทำงานได้ในทุก Topology และสามารถทำเป็นจุดเชื่อมต่อกันได้

- Reduced Function Device (RFD) เหมาะแก่การเชื่อมต่อภายในเครือข่าย ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ ไม่สามารถถ่ายทอดข้อมูลจากอุปกรณ์อื่นๆได้ ทำได้ง่ายในเครือข่ายที่เป็นแบบดาว (Star)

2. แบบ Logical Device มี 3 ประเภท คือ

- ZigBee Coordinator เป็นจุดประสานเชื่อมต่อกัน ทำหน้าที่ในการจัดเก็บข้อมูลในเครือข่าย

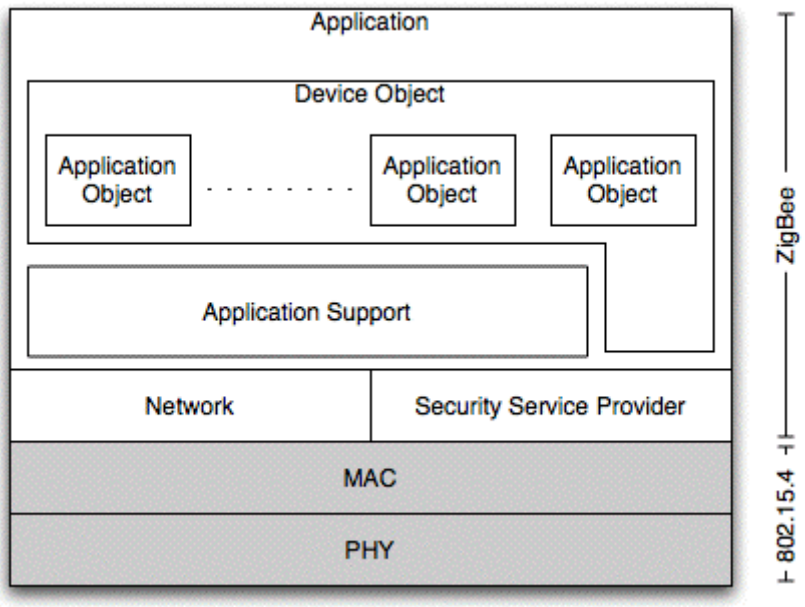
- ZigBee Router ทำหน้าที่จัดการเส้นทางของข้อความที่ส่งผ่านภายในโครงข่ายระหว่างคู่ของโหนดใดๆ

- ZigBee End Devices เป็นโหนดที่อยู่ในส่วนของผู้ใช้งาน โดยสามารถเป็นได้ทั้งแบบ RFD และ FFD

การประยุกต์ใช้งาน ZigBee นั้นจะแบ่งแยกตามประเภทของข้อมูลข่าวสาร ที่มีอยู่ 3 แบบคือ ข้อมูลแบบ Periodic ข้อมูลเป็นช่วงเวลา โปรแกรมสามารถควบคุมอัตราการส่ง และตัวตรวจจับสัญญาณกระตุ้น เช็คข้อมูลและทำให้ข้อมูลไม่เคลื่อนไหว ใช้สำหรับเซนเซอร์และมิเตอร์ ข้อมูลแบบ Intermittent เป็นลักษณะที่มีการส่งข้อมูลเมื่อมีการใช้งาน เช่น สวิตซ์ไฟ และข้อมูลแบบ Repetitive low latency ใช้ในงานที่ต้องการ latency น้อยๆ เช่น เมาส์ไร้สาย เป็นต้น

3.2 โปรโตคอล ZigBee (ZigBee Protocal) [3]

โปรโตคอล ZigBee จะเป็นไปตาม OSI seven-layer model โดยในส่วนของชั้นการควบคุมการเข้าถึงตัวกลาง (MAC Layer) และชั้นกายภาพ (Physical Layer) จะใช้มาตรฐาน IEEE 802.15.4 ซึ่งทำงานในเรื่องของระดับกำลังสัญญาณ คุณภาพของการเชื่อมต่อ (Link Quality) การควบคุมการเข้าถึง (Access Control) และการรักษาความปลอดภัย เป็นต้น ในส่วนของชั้นโปรแกรมประยุกต์ (Application Layer) ชั้นสนับสนุนโปรแกรมประยุกต์ (Application Support Layer) และชั้นเครือข่าย (Network Layer) จะกำหนดตามมาตรฐานของ ZigBee ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างชั้นโปรโตคอลของ ZigBee (ZigBee Protocal Stack) [3]

1) Physical Layer

การทำงานของชั้นกายภาพ ในมาตรฐาน IEEE 802.15.4 มีสองรูปแบบคือ data service และ management โดย Physical Layer ทำงานในส่วนของการเปิด-ปิดตัวรับส่งสัญญาณวิทยุ (radio-transceiver) การตรวจจับพลังงาน (Energy Detection) Link Quality Indication (LQI) การเลือกช่องสัญญาณ (Channel Selection) การทำให้ช่องสัญญาณว่าง (Clear Channel Assessment) และการรับส่งข้อมูลผ่านความถี่ 2.4 GHz ISM

2) MAC sublayer

การทำงานของ MAC sublayer ในมาตรฐาน IEEE 802.15.4 มีสองส่วน คือ MAC data service และ MAC management โดย MAC data service จะเป็นการส่งผ่าน MAC protocol data units (MPDU) ไปยัง PHY data service คุณสมบัติต่างๆของ MAC sublayer มีดังนี้

1) Beacon management
2) Channel access
3) GTS management
4) Frame validation
5) Acknowledgement frame delivery
6) Association and Dissassociation

3) Network layer

ส่วนของชั้นเครือข่าย ทำหน้าที่ในการค้นหาเส้นทางของข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทาง ที่อยู่ภายในเครือข่ายเดียวกันหรือต่างเครือข่ายกัน

4) Application layer

ชั้นโปรแกรมประยุกต์เป็นชั้นที่มีส่วนของที่เรียกว่าโครงประกอบของโปรแกรมประยุกต์ (Application Framework) โดยมีออปเจคของอุปกรณ์ ZigBee (ZigBee Device Object หรือ ZDO) ทำหน้าที่ในการควบคุมการเข้าถึงและใช้งานในชั้นโปรแกรมประยุกต์ ส่วนในชั้นสนับสนุนโปรแกรมประยุกต์นั้น ทำหน้าที่ในการสร้างเฟรมของชั้นโปรแกรมประยุกต์และทำหน้าที่ในการรับส่งข้อมูลรวมถึงการจัดการด้านต่างๆที่เกี่ยวข้องกับชั้นโปรแกรมประยุกต์

3.3 โปรโตคอลค้นหาเส้นทางของ ZigBee (ZigBee Routing Protocal) [2]

ในการค้นหาเส้นทางของ ZigBee จะใช้ AODV (Ad hoc On Demand Distance Vector) Routing Algorithm ซึ่งเป็นโปรโตคอลหาเส้นทางที่นิยมมากชนิดหนึ่งสำหรับเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ (Ad Hoc Network) มีลักษณะคล้ายกับ Dynamic Source Routing ในส่วนที่มีการกระจายการร้องขอการค้นหาเส้นทาง (Broadcast Route Request) ไปยังเพื่อนบ้านและส่งข้อมูลร้องขอเป็นแบบเครื่องต่อเครื่อง (Hop-by-Hop) ในการลดโฮเวอร์เฮด (Overhead) ของการร้องขอการค้นหาเส้นทาง (Route Request) แต่ละโหนดจะมีกระบวนการปรับปรุงตารางค้นหาเส้นทาง (Routing Table) ในการจัดการข้อมูลของเส้นทางในโหนดข้างเคียง แต่ละโหนดจะมีการปรับปรุงตารางเป็นคาบเวลา (Periodically) โดยที่ขึ้นอยู่กับการร้องขอด้วย ในการปรับปรุงตารางนั้นจะตรวจสอบแต่ละโหนดข้างเคียงและกระจายไปยังโหนดอื่นๆเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตาม AODV มีจุดอ่อนอยู่ที่มีการเคลื่อนที่ของแต่ละโหนดสูง (High Traffic) ที่เกิดจากการปรับปรุงตาราง การลดความหนาแน่นของการจราจรในเครือข่ายจะช่วยลดอัตราการปรับปรุงตารางการค้นหาเส้นทางได้ แต่ก็จะส่งผลให้เกิดความล้มเหลวในการค้นหาเส้นทาง (Routing Failure) ได้เช่นกัน

AODV นั้นเป็นโปรโตคอลแบบ Source Initiated On-Demand Driven/Reactive ซึ่งหาเส้นทางก็ต่อเมื่อต้นทาง (Source) ต้องการหาเส้นทางไปยังปลายทาง (Destination) เมื่อหาเส้นทางได้แล้วจะหยุดการค้นหา ซึ่งวิธีการดังกล่าวจะช่วยลดการใช้แบนวิธด์ (Bandwidth) ในช่องสัญญาณ แต่จะต้องเสียเวลาหาเส้นทางใหม่เมื่อต้องการส่งข้อมูล เนื่องจากโปรโตคอลนี้ใช้ในลักษณะของเครือข่ายที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เช่น มีการย้ายตำแหน่งของโหนดที่เคลื่อนย้ายได้ (Mobile Node) เป็นต้น โปรโตคอลนี้จะมีการส่งข้อความควบคุม (Control Message) เป็นช่วงๆ เพื่อใช้ในการกำหนดเส้นทางหรือปรับปรุงเส้นทาง

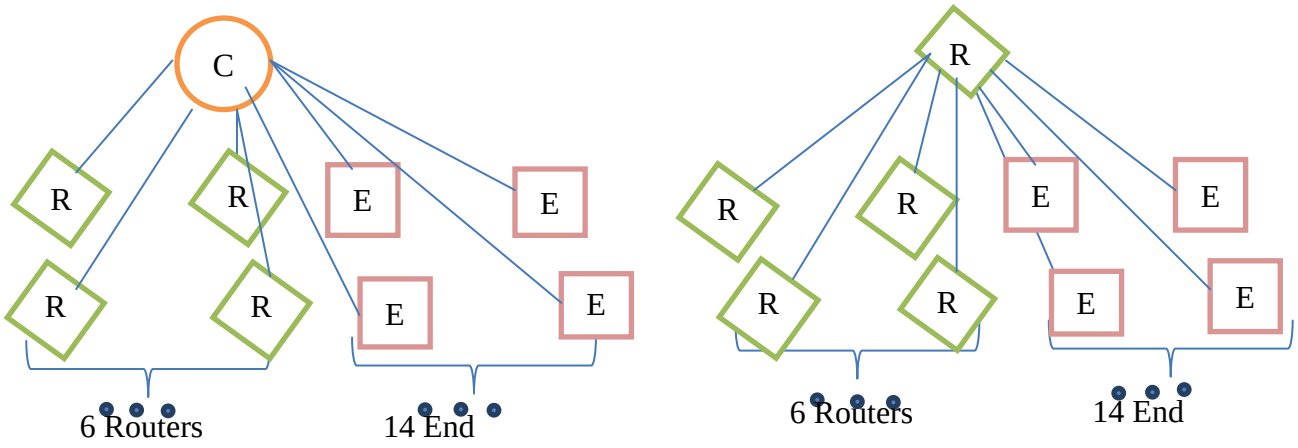
สำหรับโหนดที่สามารถติดต่อได้โดยตรงจะเรียกว่าโหนดข้างเคียง (Neighbor) โดยโหนดจะเก็บข้อมูลของโหนดข้างเคียงเมื่อได้รับ Hello Message ที่แต่ละโหนดจะทำการกระจายข้อมูล (Broadcast) ออกมาตามช่วงเวลาที่กำหนดไว้ เมื่อมีโหนดใดๆที่ต้องการส่งข้อความ (Message) ไปยังโหนดอื่นๆที่ไม่ใช่โหนดข้างเคียง โหนดตัวนั้นจะทำการ Broadcast Route Request Message (RREQ) ซึ่งใน RREQ จะประกอบไปด้วย ต้นทาง (Source), ปลายทาง (Destination), อายุ (Life Span) ของข้อมูลและหมายเลขลำดับ (Sequence Number)

การทำงานของการค้นหาเส้นทางของ AODV จะเริ่มเมื่อโหนดต้นทางต้องการที่จะส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทาง โหนดต้นทางจะทำการส่งข้อมูลการร้องขอการค้นหาเส้นทาง (Route Request หรือ RREQ) ไปยังโหนดข้างเคียง และโหนดที่ได้รับก็จะทำการส่งต่อไปยังโหนดข้างเคียงต่อไปเรื่อยๆจนถึงโหนดปลายทางที่ต้องการจะติดต่อด้วย เมื่อโหนดปลายทางได้รับ RREQ ตัวแรกที่มาถึงโหนดปลายทางที่ต้องการที่จะติดต่อด้วย เมื่อโหนดปลายทางได้รับ RREQ ตัวแรกที่มาถึง โหนดปลยทางจะส่งข้อความตอบกลับการค้นหาเส้นทาง (Route Reply หรือ RREP) กลับมายังโหนดต้นทางที่

ทำการส่ง RREQ มาให้โดยส่งกลับไปในเส้นทางที่ RREQ ตัวแรกมาถึง เพราะถือว่าใช้เวลาน้อยที่สุดในการส่ง RREQ มาจากต้นทาง

3.4 ข้อจำกัดของระบบเครือข่าย [1]

โหนดลูกที่มากที่สุดที่ Coordinator และทุกๆเร้าเตอร์ที่อยู่ร่วมกัน สามารถที่จะสร้างเครือข่ายได้ถึง 20 โหนดลูก โดยจะเป็นเร้าเตอร์ที่สามารถมีได้มากถึง 6 เร้าเตอร์ ส่วนที่เหลือจะเป็นอุปกรณ์ปลายทางที่มีได้มากถึง 14 อุปกรณ์ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 กฎเกณฑ์ในการเชื่อมต่อเครือข่าย [1]

3.5 การประยุกต์ใช้งานของ ZigBee [2]

การประยุกต์ใช้งาน ZigBee นั้นจะแบ่งแยกตามประเภทของข้อมูลข่าวสาร ที่มีอยู่ 3 แบบ คือ

1. ข้อมูลแบบช่วงเวลา (Priodic) โปรแกรมสามารถควบคุมอัตราการส่ง ละตัวตรวจจับสัญญาณกระตุ้น เช็คข้อมูลและทำให้ข้อมูลไม่เคลื่อนไหว ใช้สำหรับเซ็นเซอร์และมอนิเตอร์

2. ข้อมูลแบบไม่ต่อเนื่อง (Intermittent) เป็นลักษณะที่มีการส่งผ่านข้อมูลเมื่อมีการใช้งาน เช่น สวิตซ์ไฟ

3. ข้อมูลแบบซ้ำๆ (Repetitive low latency) ใช้ในงานที่ต้องการ latency น้อยๆโดยการสื่อสารจะใช้วิธีการจัดช่องเวลา และสามารถใช้กลไกแบบ GTS เพื่อรับประกันคุณภาพของการบริการนำไปใช้งาน เช่น เมาส์ไร้สาย

นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์พื้นฐานที่หลากหลายในชีวิตประจำวัน ถ้าเรานำมาตรฐานเครือข่ายไร้สาย IEEE 802.15.4 มาประยุกต์ใช้เป็นการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์กับอุปกรณ์หรืออุปกรณ์ กับมนุษย์ ที่ผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย ทั้งนี้ประโยชน์ที่ได้รับมีดังนี้

1. ระบบควบคุมอัตโนมัติ ที่บ้าน โรงงานและโกดังเก็บสิ้นค้า เป็นต้น

2. ระบบติดตามสำหรับความปลอดภัย ชีวอนามัย และสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

3. การตรวจหาตำแหน่งที่นำไปใช้งาน การปฏิบัติการทางทหาร การทำงานของนักผจญเพลิง และบริษัทที่ต้องการตรวจหาตำแหน่งแบบเวลาจริง

4. ให้ความบันเทิง เช่น เกมฝึกทักษะ และของเล่นแบบ interactive

มาตรฐาน IEEE 802.15.4 หรือ ZigBee ถ้ามีการใช้งานเกิดขึ้นจริงนั้นจะมีผลต่อการใช้ชีวิตประจำวันของเราอย่างมาก เช่น ในทางชีวะอนามัย นอกจากนี้ระบบเครือข่ายตรวจจับไร้สาย จะช่วยเตือนภัยจากสิ่งแวดล้อม รวมถึงอุบัติภัยต่างๆ เช่น ไฟไหม้ น้ำท่วม แผ่นดินไหว เป็นต้น ทั้งนี้ระบบเตือนภัยในปัจจุบันไม่ได้เชื่อมต่อกันเป็นระบบเครือข่าย และตัวอุปกรณ์เองมีช่วงของการใช้งานจากแบตเตอรี่สั้น นอกจากนี้ยังมีราคาแพงอีกด้วย แต่ในระบบเครือข่ายตรวจจับไร้สายที่ใช้ ZigBee นี้สามารถใช้ได้กับอุปกรณ์พื้นฐาน เช่น เซ็นเซอร์ต่างๆ ที่มีราคาถูก ทำให้สามารถติดตามเหตุการณ์ต่างๆ และอุปกรณ์จะทำงานอย่างอัตโนมัติตามที่เราต้องการ

สำหรับการประยุกต์ระบบเครือข่ายตรวจจับไร้สายที่ใช้ ZigBee มาใช้ภายในบ้านจะสามารถทำให้อุปกรณ์ และเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มาจากหลากหลายผู้ผลิต สื่อสารระหว่างกันเป็นเครือข่ายได้ เช่นเมื่อมีสายโทรศัพท์เข้ามา โทรทัศน์จะลดเสียงลงอัตโนมัติ ทั้งนี้เราเองต้องตั้งค่าต่างๆให้กับอุปกรณ์ แต่ละอุปกรณ์เอง อุปกรณ์จะเรียนรู้เองจากพฤติกรรมของเราภายในบ้าน โดยแต่ละอุปกรณ์จะตรวจจับค่าต่างๆ เช่น ความเข้มของหลอดไฟ อุณหภูมิ เพลง ช่องโทรทัศน์ โดยอุปกรณ์จะเรียนรู้รสนิยมของแต่ละคน และบันทึกค่าไว้ เป็นต้น

การใช้เทคโนโลยีไร้สายนั้น จะเลือกตามความเหมาะสมของแต่ละงาน ซึ่งการเปรียบเทียบเทคโนโลยีไร้สายนั้น แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบเทคโนโลยีไร้สาย [4]

	ZigBee 802.15.4	Bluetooth 802.15.1	Wi – Fi 802.11b	GPRS/GSM 1XRTT/CDMA
Application Focus	Monitoring & Control	Cable Replacement	Web, Video, e-mail	Wan, Voice/DATA
System Resource	4KB-32KB	250KB+	1MB	16MB+
Battery Life(days)	100-1000+	1-7	1-5	1-7
Node Per Network	255/65K+	7	30	1,000
Banwidth(kbps)	20-250	720	11,000+	64-128
Range(meters)	1-75+	1-10+	1-100+	1,000+
Key Attibutes	Realiable, Low Power, Cost Efficient	Cost, Convenience	Speed, Flexibility	Reach, Quality

4. ไมโครคอนโทรลเลอร์และเซ็นเซอร์

4.1 เซ็นเซอร์ตรวจจับความเข้มข้นของออกซิเจน

เป็นเซ็นเซอร์ตรวจจับความเข้มข้นของออกซิเจน (Oxygen) ในน้ำว่ามีปริมาณมากหรือน้อย โดย Sensor จะตรวจวัดค่าแล้วมีตัวประมวลผล ผู้ใช้งานสามารถเก็บค่าที่วัดได้ไปประมวลผล โดย Interface กับโมดูลผ่านทาง Serial Port (UART) เพียงส่งคำสั่งไปที่ โมดูล ก็จะได้ Data ตามต้องการ ตามรูปที่ 2.4 – 2.5

รูปที่ 2.4 แสดงรูปของ Module controller sensor Oxygen

รูปที่ 2.5 แสดงรูปของ sensor Oxygen

4.2 เซ็นเซอร์ตรวจจับความเข้มข้นความเป็นกรด เป็นด่าง

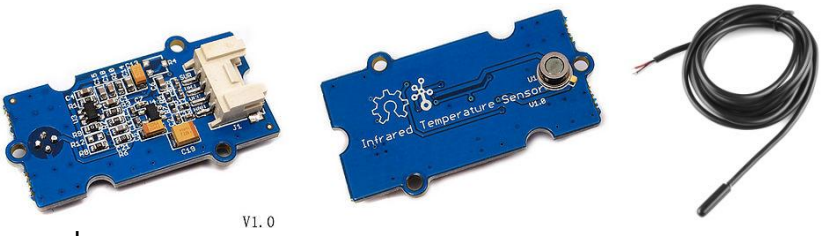
เป็น Sensor ตรวจจับความเป็นกรดด่าง พร้อมโมดูล Controller ที่ทำหน้าที่ตรวจจับสัญญาณ Analog ที่วัดได้จาก Sensor แล้วประมวลผลส่งข้อมูลให้กับผู้ใช้งานทาง Serial Port (UART) ผู้ใช้เพียงส่งคำสั่งไปที่ โมดูล Controller เพื่อ Get Data ตามต้องการ ตามรูปที่ 2.6-2.7

รูปที่ 2.6 แสดงรูปของ Module controller sensor ความเป็นกรด เป็นด่าง

รูปที่ 2.7 แสดงรูปของ sensor ความเป็นกรด เป็นด่าง

4.3 เซ็นเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิ

เป็น Sensor ตรวจจับอุณหภูมิแบบ non-contact สามารถตรวจจับอุณหภูมิช่วง -10-100 องศาเซลเซียส มีระยะตรวจจับที่ประมาณ 9 CM. ตามรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงรูปของ Module controller sensor ตรวจจับอุณหภูมิ

4.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Board

Arduino เป็น Platform ของ Input/Output บอร์ดอย่างง่ายที่มี Input/Output ขั้นพื้นฐานที่พอเพียงกับการใช้งานและการเรียนรู้โดยตัวบอร์ดจะมาพร้อมกับชุดคำสั่งที่ใช้ควบคุม port I/O ไม่ว่าจะเป็น digital port,analog port, PWM และ Serial port ซึ่ง Arduino นั้น เป็นเครื่องมือที่จะทำให้คอมพิวเตอร์สามารถรับสัญญาณจากภายนอกและส่งสัญญาณไปควบคุมอุปกรณ์ภายนอก ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าใช้ชิพไมโครคอนโทรลเลอร์เพียงตัวเดียวสั่งงาน อีกทั้งมีโปรแกรมพัฒนาสำหรับเขียนโปรแกรมให้บอร์ดทำงานแจกให้ดาวน์โหลดได้ฟรี จึงเหมาะสมในการนำมาเรียนรู้ถึงการทำงานและประยุกต์ใช้ในการสร้างอุปกรณ์พื้นฐานอย่างยิ่ง

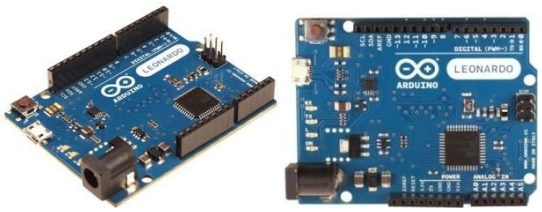
Arduino มีจุดเด่นในเรื่องของความง่ายต่อการเรียนรู้และใช้งานเนื่องจากมีการออกแบบคำสั่งต่างๆ
ขึ้นมาสนับสนุนการใช้งานด้วยรูปแบบที่ง่ายไม่ซับซ้อนและมีข้อดีจากบอร์ดสำเร็จรูปตัวอื่นคือ

1. มีราคาไม่แพงเนื่องจากมี Source Code และวงจรแจกฟรีสามารถต่อวงจรขึ้นมาใช้งานได้เองสะดวก

2. ใช้งานง่ายมีโปรแกรมพัฒนาที่ไม่ซับซ้อนมีโปรแกรมพัฒนา Arduino ใช้งานง่ายสำหรับมือใหม่และมีความสามารถครบตามความต้องการของนักพัฒนามืออาชีพ

Arduino เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ชิพ AVR ขนาดเล็กเป็นตัวประมวลผลและสั่งงานเหมาะสำหรับนำไปใช้ในการศึกษาเรียนรู้ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์และนำไปประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับการควบคุมอุปกรณ์ Input / Output ต่างๆได้มากมาย

ภาษาในการเขียนโปรแกรมลงบน Arduino นั้น จะใช้ภาษา C++ ซึ่งเป็นรูปแบบของโปรแกรมภาษาซีประยุกต์แบบหนึ่งที่มีโครงสร้างของตัวภาษาโดยรวมใกล้เคียงกันกับภาษาซีมาตรฐาน (ANSI-C) อื่นๆเพียงแต่ได้มีการปรับปรุงรูปแบบในการเขียนโปรแกรมบางส่วนที่ผิดเพี้ยนไปจาก ANSI-C เล็กน้อย เพื่อช่วยลดความยุ่งยากในการเขียนโปรแกรมและให้ผู้เขียนโปรแกรมสามารถเขียนโปรแกรมได้ง่ายและสะดวกมากขึ้นกว่าการเขียนภาษาซีตามแบบมาตรฐานของ ANSI-C โดยตรง ดังรูปที่ 2.9



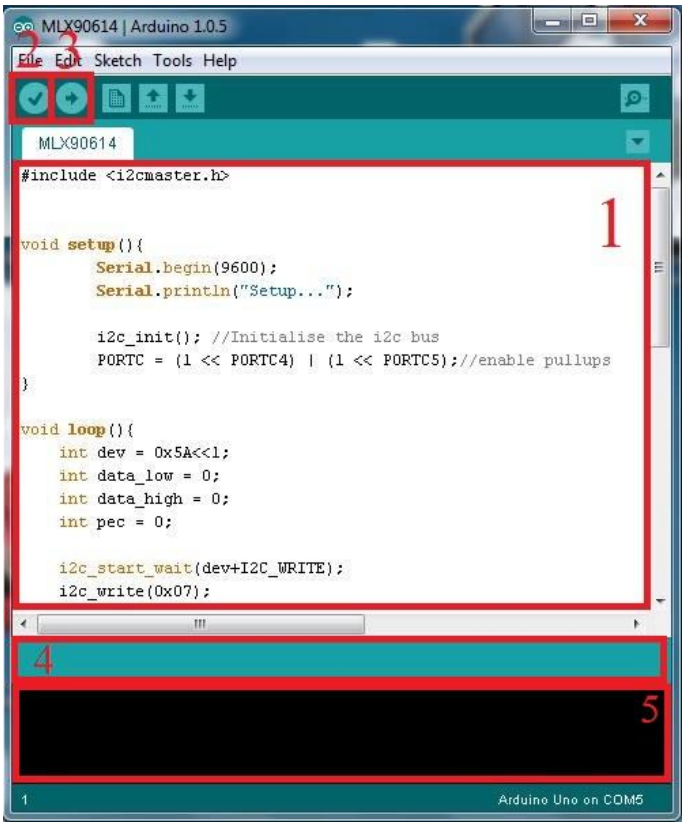
รูปที่ 2.9 แสดงรูปของ Arduino Board

Chip และ IC ภายในArduino Board ที่สำคัญ ATmega328P-PU

รูปที่ 2.10 แสดงไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328P-PU

4.4.1 Software Arduino Environment

โปรแกรม Arduino Environment เป็นซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อการเขียนโปรแกรมลงบนบอร์ด Arduino ซึ่งจะสามารถทำการดาวน์โหลดได้ที่ http://arduino.cc/en/Main/Software โดยจะสามารถรองรับได้ทั้ง ระบบปฏิบัติการ Window, Linux และ Mac OS X และภายในเว็ปไซต์ก็จะมีตัวอย่าง Open Source ให้ทดลองเล่นมากมาย



รูปที่ 2.11 แสดงหน้าต่างของโปรแกรม Arduino

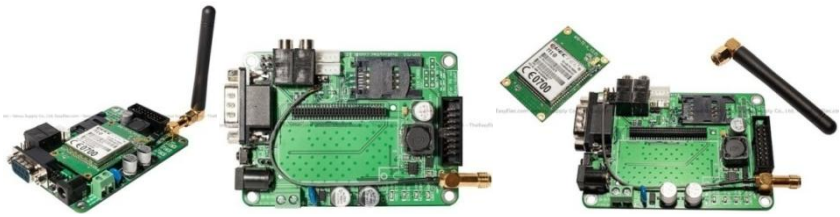
4.4.2 การสื่อสารข้อมูล Universal Serial Bus (USB)

ข้อดีในการใช้งานบอร์ด Arduino อย่างหนึ่งคือ การมี USB เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อกับ Software ในรูปแบบ Plug and Play เนื่องด้วยปัญหาที่พบมากมายในการเชื่อมต่อระบบสื่อสารข้อมูลระหว่าง Microcontroller และ PC ไม่ว่าจะเพื่อจุดประสงค์ใดก็ตาม นั้นมีความยุ่งยากในการเชื่อมต่อสาย RS232 ให้เข้ากับคอมพิวเตอร์ยุคปัจจุบันมาก โดยการเชื่อมต่อดังกล่าวมักต้องพึ่งพา USB to RS232 Adapter ซึ่งที่มีขายโดยทั่วไปมักไม่เสถียรและการที่บอร์ด Arduino รองรับการเชื่อมต่อ USB โดยตรงก็จะช่วยให้การทำงานกับอุปกรณ์ทางด้าน Electronics อื่นๆ ง่ายขึ้นด้วย

4.5 GSM/GPRS (2G) Evaluation Board

เป็นบอร์ดสำหรับพัฒนาโมดูล M10 ของค่าย QUECTEL ซึ่ง M10 เป็นโมดูลสื่อสารไร้สายผ่าน GSM และ GPRS โดยรองรับ 4 ย่านความถี่ของระบบ GSM คือ 850/900/1800/1900 MHz. มีความสามารถในการติดต่อสื่อสารแบบ Voice, SMS, Data, และ Fax พร้อมรองรับ MMS/FTP/SMTP

การสั่งงานโมดูล M10 จะใช้ AT command สั่งงานผ่าน Serial port (RS232) จึงง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน ทั้งควบคุมโดย Computer หรือ MCU ดังนั้น TE-EVB M10 จึงได้จัดวงจรต่างๆ ที่จำเป็นในการพัฒนาโมดูล M10 อาทิเช่น วงจร Power Supply, RS232 Level และ port เชื่อมต่อ, วงจรเชื่อมต่อกับ SIM Card พร้อม SIM socket, จุดเชื่อมต่อ Antenna เป็นต้น เพื่อการพัฒนาเบื้องต้นโมดูล M10 ยังมีฟังก์ชั่นให้ใช้งานอีกมากมายนอกเหนือจากที่ TE-EVB M10 นี้จัดไว้ให้ ซึ่งผู้ศึกษาอาจจะต้องจัดทำวงจรเพิ่มเติมเพื่อรองรับฟังก์ชั่นนั้นๆ ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงรูปของ GSM/GPRS Board

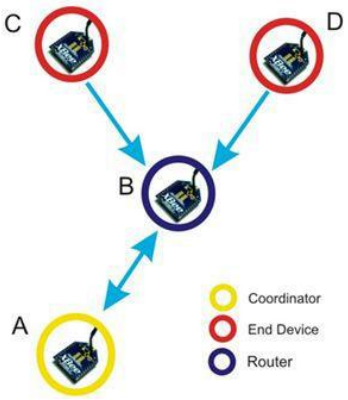
4.6 อุปกรณ์สื่อสารข้อมูลแบบไร้สาย Xbee

Xbee (รูปที่ 2.13) เป็นอุปกรณ์ที่มี Microcontroller และ RF IC อยู่ภายใน ทาหน้าที่เป็น transceiver ไร้สายแบบ Half Duplex ย่านความถี่ 2.4 Ghz มีการจัดการโดยใช้พลังงานต่า ใช้งานง่าย มี interface ที่ใช้รับและส่งข้อมูลกับ Xbee เป็นUART (TTL) [2]

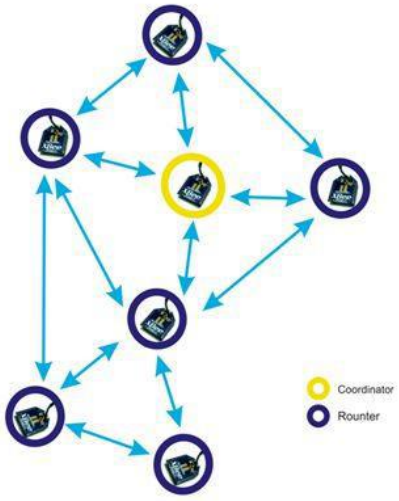
รูปที่ 2.13 แสดงรูปของ XBee

ในการสร้างโครงข่ายไร้สายของ ZigBee นั้น จะต้องประกอบด้วย โหนด จำนวนอย่างน้อยที่สุด 2 ชนิด คือ Coordinator node และ node ลูกข่าย ชนิดใดชนิดหนึ่ง (Router/End device) จึงจะสามารถสื่อสารและทำงานในรูปแบบของ PAN (Personal area network) ได้ โดย ZigBee สามารถแบ่งรูปแบบ เครือข่ายได้เป็น 3 รูปแบบ คือ Star, Cluster Tree และ Mesh [2] ดังรูปที่ 2.14, 2.15 และ 2.16 ตามลำดับ

รูปที่ 2.14 เครือข่ายรูปแบบ Star [2]



รูปที่ 2.15 เครือข่ายรูปแบบ Cluster Tree [2]



รูปที่ 2.16 เครือข่ายรูปแบบ Mesh [2]

4.6.1 Xbee USB Drogle

เป็น Tool ที่ใช้สำหรับทำงานร่วมกับ สำหรับ update firmware หรือ การ Config Parameter หรือ Update Firmware ผ่านคอมพิวเตอร์ ร่วมกับ Software X-CTU สามารถต่อ Xbee ร่วมกับ Mini Xbee USB Dongle ผ่าน USB Port ได้โดยตรง ซึ่งคอมพิวเตอร์จะมองเป็น Com Port (Serial UART) เนื่องจากใช้ IC FT232RL ซึ่งเป็น USB to Serial ในบอร์ดเดียว ไม่ต้องต่ออุปกรณ์ใด ๆ เพิ่มเติม สามารถใช้ร่วมกับ Xbee ได้ทุกรุ่น ดังรูปที่ 2.17

รูปที่ 2.17 Xbee USB Drogle

4.6.2 XBee Converter

เป็น PCB สำหรับแปลงขาของ Xbee Series 1 และ Series 2 ให้สามารถเสียบกับ Protoboard ได้โดยตรงครับ พร้อมบัดกรีขา PIN Header พร้อมใช้งาน โดยอุปกรณ์นี้เป็น PCB แผ่นเดียวกันกับสินค้า ETEE028A Mini Xbee USB Dongle V2 แต่ลงอุปกรณ์ให้ใช้เฉพาะเป็น PCB แปลงขา Xbee ดังรูปที่ 2.18

รูปที่ 2.18 Xbee Converter

5. **งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

จตุพร ชินรุ่งเรือง 2550 จากการศึกษาวิจัยจากโครงการเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับการตรวจนับรถยนต์ ทำให้พบว่าเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายมีความเหมาะสมกับการตรวจนับรถยนต์ครอบคลุมพื้นที่บริเวณหนึ่ง โดยที่ไม่ต้องมีการลากสายสัญญาณเนื่องจากการส่งสัญญาณทำได้โดยการส่งผ่านทางคลื่นวิทยุ ส่วนของเซ็นเซอร์ที่ใช้ก็ได้ทำการศึกษาพบว่าเซ็นเซอร์ที่เหมาะสมกับเครือข่ายไร้สาย มีอยู่ 2 ประเภท คือ เซ็นเซอร์แสง และ เซ็นเซอร์ความต้านทานแม่เหล็ก โครงการเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับการตรวจนับรถยนต์ได้ทำการพัฒนาต้นแบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ทั้งประเภทแสงและความต้านทานสนามแม่เหล็ก โดยต้นแบบได้รับการพัฒนาในรูปแบบของต้นแบบห้องปฏิบัติการและภาคสนาม

พนารัตน์ เชิญถนอมวงศ์ (2554) ได้ทำการศึกษาการนำระบบคอมพิวเตอร์และเครือข่ายรับรู้ไร้สายมาประยุกต์ใช้ โดยใช้เซนเซอร์แสงในการวัดความเข้มแสง และใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิเพื่อส่งค่าให้

ระบบสามารถควบคุมการทางานของการเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าได้อัตโนมัติตามความเข้มแสงและอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป นอกจากนี้ได้ทาการพัฒนาส่วนของเว็บอินเตอร์เฟส (Web Interface) ซึ่งอนุญาตให้ผู้ใช้ตรวจสอบสถานะของอุปกรณ์ไฟฟ้าเช่น ความเข้มแสง และอุณหภูมิ ณ ตาแหน่งต่างๆ ของที่อยู่อาศัย รวมทั้งยังสามารถเรียกดูพฤติกรรมการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าย้อนหลังได้ไม่ว่าจะอยู่ที่ใดผ่านทางเครือข่ายอินเตอร์เน็ต

พนารัตน์ เชิญถนอมวงศ์ (2555) ได้ทำการศึกษาและพัฒนาการหาตำแหน่งของเป้าหมายในโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สายบนพื้นฐานเทคโนโลยี ZigBee โดยพิจารณาสภาวะแวดล้อมภายในอาคารเพื่อความง่ายในการทดลอง แม้ว่าเทคนิคการหาตำแหน่งจะมีหลากหลายเทคนิค ในงานวิจัยนี้ได้เน้นเฉพาะเทคนิคฟิงเกอร์ปรินท์ เนื่องจากสามารถจัดการกับผลกระทบจากคลื่นหลายวิถีได้ ซึ่งทำให้สามารถหาตำแหน่งได้ถูกต้องมากกว่าเทคนิคอื่นๆ อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้จะใช้เวลาในการคำนวณมากกว่าและมีความซับซ้อนมากกว่า ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงได้นำเสนอแนวทางในการแก้ปัญหานี้โดยยการใช้เทคนิคการจัดกลุ่มของข้อมูล เทคนิคการจัดกลุ่มข้อมูลที่ได้รับความนิยมเทคนิคหนึ่งคือ Fuzzy C-Means หรือเรียกย่อๆ ว่า FCM ในงานวิจัยนี้ จึงได้นำเทคนิค FCM มาใช้ ซึ่งมีผลให้เวลาที่ใช้ในการคำนวณเร็วขึ้น

เอกลักษณ์ สุมนพันธุ์, สมเกียรติ บุญรอดดิษฐ์ (2556) เพื่อสร้างระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเป็นเทคโนโลยีไร้ สายที่นำมาประยุกต์ใช้กับการรดน้ำดินและต้นไม้โดยเฉพาะในภาคเกษตรกรรมสิ่งที่สำคัญก็คือการรดน้ำเนื่องจากเกษตรกรอาจจะดูแลพืชได้ไม่ทั่วถึง ทำให้พืชที่ปลูกได้รับน้ำไม่เพียงพอ พืชจึงแห้งเหี่ยวและตายไป และอาจยังต้องจ้างคนงานเพิ่มมากขึ้น เพื่อดูแลพืชให้ทั่วถึง จึงทำให้เกิดความสิ้นเปลือง ดังนั้นจึงได้นำอุปกรณ์ที่สามารถวัดความชื้นได้ โดยใช้โปรโตคอลซิกบี ลักษณะของอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการวัดอุณหภูมิและความชื้นคือ SHT11กับอุปกรณ์เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายคือ Bluebee WSN : Xbee with Sensor for WSN โดยระบบจะส่งค่าความชื้นที่วัดได้ไปยัง ไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์รับค่าความชื้นที่น้อยเกินไป จะสั่งงานให้อุปกรณ์เปิดน้ำยังพื้นที่ที่ดินมีความชื้นน้อยเกินไประบบทำงานโดยเรียกดูปริมาณความชื้นซึ่งแสดงผลทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ผ่านระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายด้วยโปรโตคอลซิกบี โดยปริมาณความชื้นที่ได้จะมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

ศิวาพร เหมียดไธสง และคณะ (2556) การสร้างเทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายในการตรวจวัดสภาพแวดล้อมและการจับขโมยซึ่งเป็นระบบง่าย ๆ ที่มีราคาถูกและใช้งานง่าย ชาวบ้านสามารถนาระบบนี้ไปใช้กับไร่มะนาวของตนเองได้ โดยจากการทดสอบโหนดเซ็นเซอร์สามารถส่งค่าข้อมูลที่ประกอบด้วย ค่าความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิของอากาศ ความสว่างของแสง อุณหภูมิในดิน ความชืน้ ในดิน และการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ โดยสามารถส่งข้อมูลมายังโหนดฐานโดยวิธีแบบ Single-hopและโหนดฐานแต่ละโหนดสามารถสื่อสารกันโดยใช้วิธีแบบ Multi-hop ข้อมูลจากโหนดฐานแต่ละฐานจะถูกส่งมายังโหนดสถานี เพื่อบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูลเพื่อทาการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมของไร่มะนาว

ปรีชา กอเจริญและคณะ (2552) การพัฒนาต้นแบบการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศในกองข้าวเปลือกแบบไร้สาย โดยระบบจะทำการแจ้งเตือนเกษตรกรให้ทำการลดอุหณภูมิและความชื้นในกองข้าวเปลือกทันเวลา ซึ่งจะช่วยลดการเสียหายลงได้ โดยระบบที่พัฒนาขึ้นมีการใช้พลังงานต่ำสามารถนำไปใส่ในกองข้าวเปลือกเพื่อตรวจเช็คเป็นระยะเวลานานได้

เทพพิทัย กำเพ็ชรและวิริยะ กองรัตน์ ได้ศึกษาเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สาย มาพัฒนาเป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิแบบไร้สาย โดยมีการรับส่งข้อมูลด้วยคลื่นความถี่วิทยุ การทำงานตามาตรฐานโปรโตคอล IEEE 802.15.4 ในย่านความถี่ 2.4 GHz ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC16F887 เป็นตัว

ควบคุมฟังชันก์การทำงานของอุปกรณ์ มีโมดูล MRF24J40MA ทำหน้าที่กำหนดอัตราการรับส่งข้อมูลและกระจายสัญญาณแบบไร้สายจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิในตำแหน่งต่าง ๆ แสดงค่าบนจอ LCD แบบเรียลไทม์ (Real Time) ทำงานระยะ 100 เมตร เพื่อใชประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมได้อย่างดี

ดังนั้นจากผลงานวิจัยต่างๆจะเห็นได้ว่าได้มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเครื่อข่ายไร้สายและเซ็นเซอร์ต่างๆมาประยุกต์ทั้งทางด้านอุตสาหกรรม เกษตรกรรมและสถาปัตยกรรมอย่างกว้างขวางให้และเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมภายในประเทศและลดต้นทุนการผลิตและจัดซื้ออุปกรณ์ได้