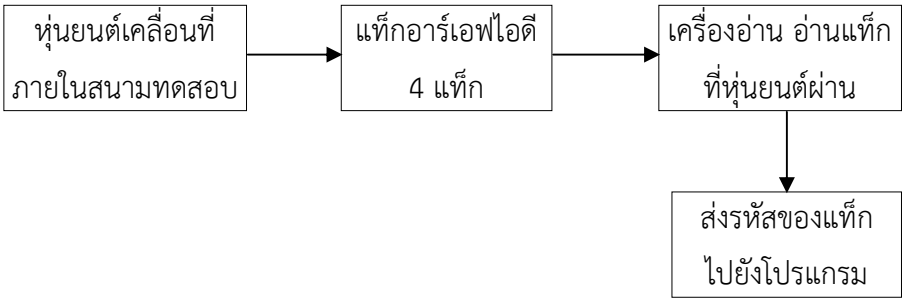
# บทที่ 2
# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ระบบบ่งชี้ด้วยคลื่นวิทยุเข้ามาใช้ในการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์และส่งค่าข้อมูลไปยังโน้ตบุ๊กคอมพิวเตอร์โดยผ่านสัญญาณบลูทูธ วัตถุประสงค์เพื่อเป็นการจำลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โดยที่สามารถทราบได้ว่าหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปอยู่ ณ ตำแหน่งใด โดยแสดงผลบนโปรแกรมเชื่อมต่อหุ่นยนต์ผ่านบลูทูธที่ได้สร้างขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 2-1




**ภาพที่ 2-1** ขั้นตอนการทำงานของหุ่นยนต์

ปัจจุบันเทคโนโลยีหุ่นยนต์ได้ก้าวหน้าไปอย่างมาก ต่างจากเมื่อก่อนที่หุ่นยนต์จะถูกนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งประเทศไทยเองในสถานศึกษาระดับอุดมศึกษาหลายๆ แห่งหรือแม้กระทั่งองค์กรของภาครัฐและเอกชนหลายแห่ง ได้เล็งเห็นถึงประโยชน์ของเทคโนโลยีหุ่นยนต์ การสร้างหุ่นยนต์บอกตำแหน่งด้วยอาร์เอฟไอดีเชื่อมต่อผ่านบลูทูธ ต้องใช้ความรู้หลายด้านดังต่อไปนี้

## 2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับหุ่นยนต์

### 2.1.1 ความหมายของหุ่นยนต์

โดยสถาบันหุ่นยนต์อเมริกา (The Robotics Institute of America) ได้ให้ความหมายไว้ดังนี้ “หุ่นยนต์ คือเครื่องจักรใช้งานแทนมนุษย์ ที่ออกแบบให้สามารถตั้งลำดับการทำงาน การใช้งานได้หลากหลายหน้าที่ ใช้เคลื่อนย้ายวัสดุอุปกรณ์ส่วนประกอบต่างๆ เครื่องมือหรืออุปกรณ์พิเศษตลอดจนการเคลื่อนที่ได้หลากหลายตามที่ตั้งลำดับการทำงาน เพื่อสำหรับใช้ในงานหลากหลายประเภท” เดชฤทธิ์ มณีธรรม (2549) ได้ให้ความหมายว่า หุ่นยนต์ คือ เครื่องจักรกลที่ถูกควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ สามารถตั้งโปรแกรมได้หลายๆ ครั้ง รวมทั้งสามารถปฏิบัติงานได้ในหลายๆ หน้าที่ที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อใช้งานแทนมนุษย์ได้ทุกประเภทโดยหุ่นยนต์ได้รับการออกแบบมาเพื่อให้หยิบ จับ เคลื่อนย้ายวัตถุ อุปกรณ์เครื่องมือ หรือเครื่องใช้พิเศษต่างๆ โดยอาศัยการควบคุมโปรแกรมการเคลื่อนที่ของมันให้ทำงานได้หลายอย่างตามต้องการ ส่วนเทคโนโลยีหุ่นยนต์คือการประยุกต์งาน

ทางด้านวิทยาศาสตร์โดยรวมไปถึงการออกแบบเครื่องจักรกลทฤษฎีการควบคุมไมโครอิเล็กทรอนิกส์ การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ปัญญาการประดิษฐ์ ตลอดจนการทำงานร่วมกับมนุษย์ เพราะฉะนั้น การพัฒนาหุ่นยนต์จากอดีตสู่ปัจจุบันจนไปถึงอนาคตจะมีการศึกษาและพัฒนาตลอดเวลาเพื่อให้การทำงานของหุ่นยนต์ใกล้เคียงกับมนุษย์มากที่สุด เพื่อรองรับเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

**2.1.2 ประเภทของหุ่นยนต์**

สามารถแบ่งประเภทของหุ่นยนต์ออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้

1) หุ่นยนต์ที่ติดตั้งอยู่กับที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ (Fixed robot) คือ หุ่นยนต์ที่ติดตั้งอยู่กับที่ สามารถเคลื่อนไหวไปมาแต่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้หุ่นยนต์ในประเภทนี้ได้แก่แขนกลของหุ่นยนต์ที่ใช้ในงานด้านอุตสาหกรรมต่างๆ เช่นงานด้านอุตสาหกรรมผลิตรถยนต์ แขนกลของหุ่นยนต์ ที่ใช้งานในด้านการแพทย์ เช่นแขนกลที่ใช้ในการผ่าตัด หุ่นยนต์ประเภทนี้จะมีลักษณะโครงสร้างที่มีขนาดใหญ่โตเทอะทะ และมีน้ำหนักมากใช้พลังงานให้สามารถเคลื่อนไหวได้จากแหล่งจ่ายพลังงานภายนอก และจะมีการกำหนดขอบเขตการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์เอาไว้ทำให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนไหวไปมาได้ในเฉพาะที่ที่กำหนดเอาไว้เท่านั้น

2) หุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนไหวและเคลื่อนที่ได้ (Mobile robot) คือหุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนไหวร่างกายไปมาได้อย่างอิสระ หมายความถึงหุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนย้ายตัวเองจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งได้อย่างอิสระ หรือมีการเคลื่อนที่ไปมาในสถานที่ต่างๆ เช่นหุ่นยนต์ที่ใช้ในการสำรวจดวงจันทร์ขององค์กรนาซ่าหุ่นยนต์สำรวจใต้พิภพ หรือหุ่นยนต์ที่ใช้ในการขนถ่ายสินค้าซึ่งหุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนไหวได้นี้ถูกออกแบบลักษณะของโครงสร้างให้มีขนาดเล็ก และมีระบบการเคลื่อนที่ไปมารวมทั้งมีแหล่งจ่ายพลังสำรองภายในร่างกายของตนเอง จึงแตกต่างจากหุ่นยนต์ที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปมาได้ซึ่งจะต้องมีแหล่งจ่ายพลังอยู่ภายนอกแหล่งจ่ายพลังสำรองภายในร่างกายของหุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนไหวร่างกาย และสามารถเคลื่อนที่ไปมาได้นั้นโดยปกติแล้วจะถูกออกแบบลักษณะของโครงสร้างให้มีขนาดเล็กรวมทั้งมีปริมาณน้ำหนักไม่มากเพื่อไม่ให้เป็นอุปสรรคต่อการปฏิบัติงานของหุ่นยนต์หรืออุปสรรคในการเคลื่อนที่

**2.1.3 ส่วนประกอบต่างๆ ของหุ่นยนต์**

การที่จะเรียกได้ว่า หุ่นยนต์ ตัวหนึ่งนั้นน่าจะมีอะไรเป็นองค์ประกอบหลักๆ ที่พอจะจัดได้ว่าเจ้าสิ่งนี้คือหุ่นยนต์เพื่อให้สามารถมองภาพรวมของหุ่นยนต์ได้ชัดเจน ซึ่งสามารถแบ่งส่วนประกอบของหุ่นยนต์ที่สำคัญได้ 5 ส่วน (พิจิตรา กรอบมุข, 2557) คือ

1) โครงสร้างของหุ่นยนต์ คือ ส่วนที่ประกอบด้วยเหล็ก พลาสติกหรือวัสดุอื่นๆ ให้เป็นรูปร่างขึ้นมา เช่น ขึ้นรูปเป็นโครงร่างเหมือนกับมนุษย์หรือเป็นเหมือนโครงรถ เป็นต้น

2) ระบบกลไก คือส่วนที่เคลื่อนไหวตามจุดต่างๆ ของหุ่นยนต์ เช่น การหมุน การกระโดด เคลื่อนไปหน้าไปหลัง และเลี้ยวซ้ายเลี้ยวขวาได้

3) ภาคเซนเซอร์ ทำหน้าที่แปลงสัญญาณต่างๆ เช่น เสียง แสง การมองเห็นเป็นสัญญาณไฟฟ้าและส่งไปให้ภาคควบคุมทำการประมวลผล เพื่อจะสั่งการให้หุ่นยนต์ทำงานต่อไป

4) ภาคควบคุม ทำหน้าที่วิเคราะห์ และประมวลผลที่ถูกส่งมาจากตัวเซนเซอร์ตามจุดต่างๆ ทำให้หุ่นยนต์ทำงานได้ เสมือนกับสมองมนุษย์

5) แหล่งพลังงาน ทำหน้าที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าแก่ส่วนต่างๆ ของหุ่นยนต์

**2.2 มอเตอร์ (Motors)**

มอเตอร์ไฟฟ้าหมายถึงเครื่องกลไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่เปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้ามาเป็นพลังงานกลมอเตอร์ไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้ากระแสสลับและพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง โดยเป็นอุปกรณ์เอาต์พุตอย่างหนึ่งซึ่งสามารถนำไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์มาทำการควบคุมการทำงานได้สะดวก มอเตอร์ไฟฟ้ามีบทบาทสำคัญต่อชีวิตประจำวัน ทั้งภายในบ้าน ที่ทำงาน สถานที่สาธารณะต่างๆ รวมทั้งโรงงานทั่วไป มอเตอร์ไฟฟ้าเปรียบเสมือนต้นกำลังในงานอุตสาหกรรมทั่วไป โดยมีลักษณะการทำงานเป็นแบบเชิงมุม หรือในลักษณะของการหมุน ซึ่งหลักการหมุนในมอเตอร์นั้นเกิด จากการดูดและผลักกันของขั้วแม่เหล็ก

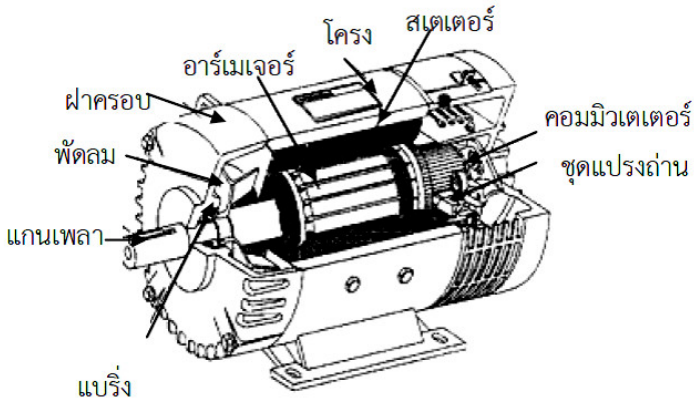
**2.2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Motor)**

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นต้นกำลังขับเคลื่อนที่สำคัญเพราะมีคุณสมบัติที่ดีเด่นในด้านการปรับความเร็วได้ตั้งแต่ความเร็วต่ำสุดจนถึงสูงสุด นิยมใช้กันมากในโรงงาน โดยกำลังในการขับเคลื่อนไฟฟ้ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงใช้ควบคุมให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน หลักการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงคือ เมื่อเป็นแรงดันกระแสไฟฟ้าตรงเข้าไปในมอเตอร์ แรงดันส่วนหนึ่งจะแปรงถ่านผ่านคอมมิวเตเตอร์เข้าไปในขดลวดอาร์มาเจอร์สร้างสนามแม่เหล็กขึ้นและกระแสไฟฟ้าอีกส่วนหนึ่งจะไหลเข้าไปในขดลวดสนามแม่เหล็ก สร้างขั้วเหนือ-ขั้วใต้ขึ้น จะเกิดสนามแม่เหล็ก 2 สนามแม่เหล็กในขณะเดียวกัน ซึ่งตามคุณสมบัติของเส้นแรงแม่เหล็กแล้วจะไม่ตัดกันทิศทางตรงข้ามจะหักล้างกันและทิศทางเดียวจะเสริมแรงกันทำให้เกิดแรงบิดในตัวอาร์มาเจอร์ซึ่งวางแกนเพลาและแกนเพลานี้สวมอยู่กับตลับลูกปืนของมอเตอร์ ทำให้อาร์มาเจอร์นี้หมุนได้ขณะที่ตัวอาร์มาเจอร์ทำหน้าที่หมุนได้นี้เรียกว่าโรเตอร์ ซึ่งหมายความว่าตัวหมุนการที่อำนาจเส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองมีปฏิกิริยาต่อกันทำให้ขดลวดอาร์มาเจอร์ หรือโรเตอร์หมุนไปนั้นเป็นไปตามกฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง (บุญธรรม ภัทราจารุกุล, 2554) การแบ่งชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งออกได้ดังนี้

1) มอเตอร์แบบอนุกรมหรือเรียกว่าซีรีส์มอเตอร์ (Series Motor)

2) มอเตอร์แบบขนานหรือเรียกว่าชันท์มอเตอร์ (Shunt Motor)

3) มอเตอร์ไฟฟ้าแบบผสมหรือเรียกว่าคอมปาวด์มอเตอร์ (Compound Motor)




**ภาพที่ 2-2** ส่วนประกอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

จากภาพที่ 2-2 ส่วนประกอบพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

(1) ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil) คือ ขดลวดที่ถูกพันอยู่กับขั้วแม่เหล็กที่ยึดติดกันโครงมอเตอร์ ทาหน้าที่กำเนิดขั้วแม่เหล็กขั้วเหนือ (N) และขั้วใต้ (S) แทนแม่เหล็กถาวรขดลวดที่ใช้เป็นขดลวดอาบน้ำยาฉนวนสนามแม่เหล็กจะเกิดขึ้นเมื่อจ่ายแรงดันไฟตรงให้มอเตอร์

(2) ขั้วแม่เหล็ก (Pole Pieces) คือแกนสำหรับรองรับขดลวดสนามแม่เหล็กถูกยึดติดกับโครงมอเตอร์ด้านใน ขั้วแม่เหล็กทำมาจากแผ่นเหล็กอ่อนบางๆ อัดซ้อนกัน (Lamination Sheet Steel) เพื่อลดการเกิดกระแสไหลวน (Eddy Current) ที่จะทำให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กลดลง ขั้วแม่เหล็กทำหน้าที่ให้กำเนิดขั้วสนามแม่เหล็กมีความเข้มสูงสุดแทนขั้วสนามแม่เหล็กถาวร ผิวด้านหน้าของขั้วแม่เหล็กทำให้โค้งรับกับอาร์เมเจอร์พอดี

(3) โครงมอเตอร์ (Motor Frame) คือส่วนเปลือกหุ้มภายนอกของมอเตอร์และยึดส่วนอยู่กับที่ (Stator) ของมอเตอร์ไว้ภายในร่วมกับฝาปิดหัวท้ายของมอเตอร์ โครงมอเตอร์ทำหน้าที่เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กระหว่างขั้วแม่เหล็กให้เกิดสนามแม่เหล็กครบวงจร

(4) อาร์เมเจอร์ (Armature) คือส่วนเคลื่อนที่ ถูกยึดติดกับเพลาและรองรับการหมุนด้วยที่รองรับการหมุน ตัวอาร์เมเจอร์ทำจากเหล็กแผ่นบางๆ อัดซ้อนกัน ถูกเซาะร่องออกเป็นส่วนๆ เพื่อไว้พันขดลวดอาร์เมเจอร์ ขดลวดอาร์เมเจอร์เป็นขดลวดอาบน้ำยาฉนวน ร่องขดลวดอาร์เมเจอร์จะมีขดลวดพันอยู่และมีลิ่มไฟเบอร์อัดแน่นขึงขดลวดอาร์เมเจอร์ไว้ปลายขดลวดอาร์เมเจอร์ต่อไว้กับคอมมิวเตเตอร์ และอาร์เมอเจอร์ผลักดันของสนามแม่เหล็กทั้งสอง ทำให้อาร์เมเจอร์หมุนเคลื่อนที่

(5) คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) คือส่วนเคลื่อนที่อีกส่วนหนึ่งถูกยึดติดเข้ากับอาร์เมเจอร์และเพลาร่วมกัน คอมมิวเตเตอร์ทำจากแท่งทองแดงแข็งประกอบเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอก แต่ละแท่งทองแดงของคอมมิวเตเตอร์ถูกแยกออกจากกันด้วยฉนวนไมการ์ (Mica) ขดลวด

อาร์เมเจอร์ คอมมิวเตเตอร์ทำหน้าที่เป็นขั้วรับแรงดันไฟตรงที่จ่ายมาจากแปรงถ่าน เพื่อส่งไปให้ขดลวดอาร์เมอร์

(6) แปรงถ่าน (Brush) คือ ตัวสัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์ ทำเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผลิตมาจากคาร์บอนหรือแกรไฟต์ผสมผงทองแดงเพื่อให้แข็งและนำไฟฟ้าได้ดี มีสายตัวนำต่อร่วมกับแปรงถ่านเพื่อไปรับแรงดันไฟตรงที่จ่ายเข้ามา แปรงถ่านทำหน้าที่รับแรงดันไฟตรงจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า จ่ายกระแสผ่านไปให้คอมมิวเตเตอร์

**2.2.2 โหลดมอเตอร์ (Motor Load)**

สำหรับแรงบิดที่มอเตอร์ต้องใช้ในการขับเคลื่อนล้อหุ่นยนต์ เมื่อต้องการจะคำนวณหาขนาดมอเตอร์จะได้ F นิวตัน ที่กระทำสัมผัสกับเพลาทำให้เพลาหมุนด้วยความเร็วรอบ n รอบต่อนาที ขณะที่เพลาหมุนไป 1 รอบสามารถหาค่าต่างๆ ได้ดังนี้การคำนวณหาระยะทางที่เคลื่อนที่ได้ขณะที่เพลาหมุนไป 1 รอบ สามารถคำนวณหาได้ดังแสดงในสมการที่ 2 สมการที่ใช้คำนวณหาระยะทางที่เคลื่อนที่ (ณรงค์ ตันชีวะวงศ์, 2552)

$$S = 2\pi r \qquad (2\text{-}1)$$

การคำนวณหางานในการหมุนเพลา 1 รอบ หาได้ ดังแสดงในสมการที่ 2-2 สมการที่ใช้คำนวณหางาน

$$W_F = F \times 2\pi r \qquad (2\text{-}2)$$

การคำนวณหางานในการที่เพลากระทำต่อวินาที ขณะที่เพลาหมุน n รอบต่อนาที สามารถคำนวณได้ดังแสดงในสมการที่ 2-3 สมการที่ใช้ในการคำนวณหางานที่เพลากระทำต่อวินาที

$$W_F = F \times 2\pi r \times n \qquad (2\text{-}3)$$

การคำนวณหาแรงบิด สามารถคำนวณได้ ดังแสดงในสมการที่ 2-4 สมการที่ใช้ในการคำนวณหาแรงบิด

$$T = F \times r \qquad (2\text{-}4)$$

เพราะฉะนั้น การคำนวณหากำลังมอเตอร์ สามารถคำนวณหาได้ ดังแสดงในสมการที่ 2-5

$$P = \frac{2\pi TN}{60} \qquad (2\text{-}5)$$

เมื่อ P คือ กำลังที่เพลารับแรงจากมอเตอร์มีหน่วยเป็นวัตต์ (w) หรือกิโลวัตต์ (KW)

T คือ โมเมนต์แรงบิด (N.m)

F คือ แรงที่กระทำ (N)

r คือ รัศมีของล้อ (m)

N คือ ความเร็วรอบของเพลา (rpm)

การคำนวณหาความเค้นเฉือน สามารถคำนวณได้ดังแสดงในสมการที่ 2-6

จากสูตร $$\tau = \frac{16T}{\pi D^3}$$ (2-6)

เพราะฉะนั้น $$T = \frac{\tau \pi D^2}{6}$$ หรือ $$= \frac{\sigma_{zul} \pi D^3}{16}$$ (2-7)

จากสูตร $$\sigma_{zul} = \frac{\sigma \lim}{v}$$ (2-8)

เมื่อ $\tau$ คือ ความเค้นเฉือน

v คือ ค่าความปลอดภัยในทางเครื่องกล

$\sigma_{zul}$ คือ ค่าความเค้นสูงสุด (Maximum stress) N/mm

$\sigma_{\lim}$ คือ พิกัดความเค้นขึ้นอยู่กับลักษณะการรับแรง

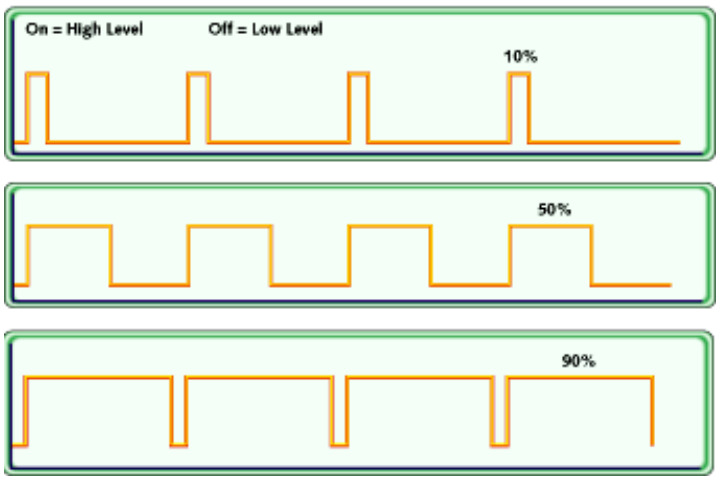
**2.2.2.1 การควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบ Pulse Width Modulation (PWM)**

Pulse width modulation คือ เทคนิคอย่างหนึ่งสำหรับควบคุมวงจรทางด้านฮาร์ดแวร์โดยใช้สัญญาณเอาต์พุตแบบดิจิตอลของไมโครโปรเซสเซอร์ควบคุม (Michael Barr, 2007) ดังภาพที่ 2-3 แสดงสัญญาณ PWM ที่แตกต่างกัน 3 สัญญาณ

1) โดยภาพที่ 2-3(ก) แสดงสัญญาณ PWM ที่ 10% duty cycle คือ สัญญาณในการออนจะเป็น 10% ของคาบสัญญาณและจะออฟเป็น 90% ของคาบสัญญาณ

2) โดยภาพที่ 2-3(ข) แสดงสัญญาณ PWM ที่ 50% duty cycle คือ สัญญาณในการออนจะเป็น 50% ของคาบสัญญาณและจะออฟเป็น 50% ของคาบสัญญาณ

3) โดยภาพที่ 2-3(ค) แสดงสัญญาณ PWM ที่ 90% duty cycle คือ สัญญาณในการออนจะเป็น 90% ของคาบสัญญาณและจะออฟเป็น 10% ของคาบสัญญาณ เช่น ถ้า Power Supply มี 9 V และ duty cycle เป็น 10% จะได้เอาท์พุต 0.9 V




(ก)

(ข)

(ค)

**ภาพที่ 2-3** แสดงสัญญาณ PWM ซึ่งแสดงค่า duty cycles ที่ต่างๆ กัน

การคำนวณหาความถี่ในการสวิตซ์ของ PWM ซึ่งอาดุยโน่ได้เตรียมโมดูล PWM สำหรับในการปรับความกว้างของพัลส์ โดยการนำเอาสองสัญญาณมาเปรียบเทียบกันของสัญญาณสามเหลี่ยมกับสัญญาณที่ต้องการปรับความกว้างของพัลส์ ดังแสดงในสมการที่ 2-9

$$f_{PWM} = \frac{f_{clock}}{(n.256)} \qquad (2\text{-}9)$$

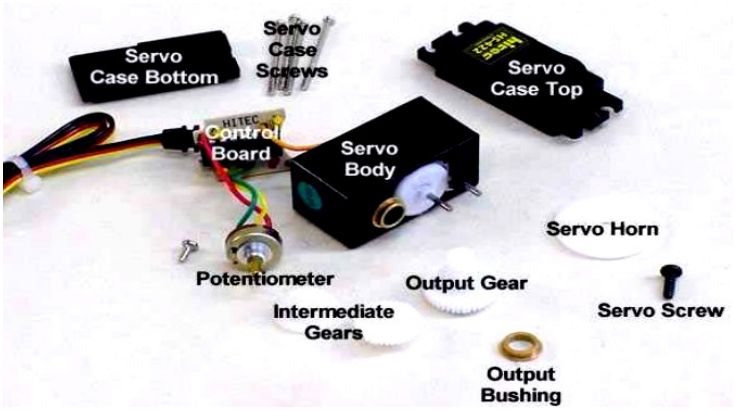
เมื่อ $f_{PWM}$ คือ ความถี่ในการสวิตซ์ของ PWM

$f_{clock}$ คือ ความถี่ในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

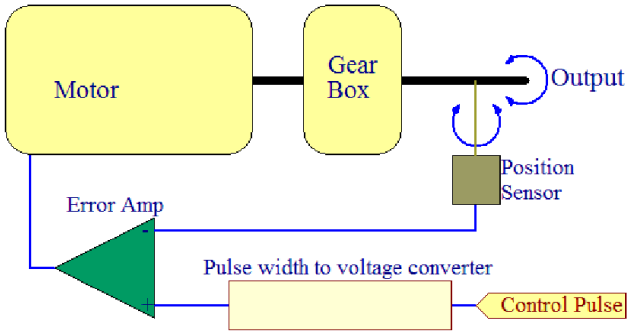
n คือ ตัวลดทอน (Prescale) มีค่าเป็น 1, 8, 32, 64, 128, 256, 1024

**2.2.3 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor)**

เซอร์โวมอเตอร์คือมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC motor) ที่ถูกประกอบรวมกับชุดเกียร์และส่วนควบคุมต่างๆไว้ในโมดูลเดียวกัน หรือภายในกล่องพลาสติกเดียวกัน โดยมอเตอร์ชนิดนี้จะมีสายต่อใช้งานเพียง 3 เส้นเท่านั้น คือ VCC GND และสายสัญญาณควบคุม (Control Line) ซึ่งสามารถควบคุมให้มอเตอร์หมุนซ้าย หรือขวาได้จากสายสัญญาณเพียงเส้นเดียว โดยสัญญาณที่ใช้ควบคุมนี้จะเป็นสัญญาณพัลส์วิดมอดดูเลชั่น (PWM) แบบ TTL Level ระดับแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์นี้จะอยู่ในช่วงประมาณ 4 ถึง 6 โวลต์ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมอเตอร์แต่ละตัวข้อดีของมอเตอร์ชนิดนี้ก็คือจะมีขนาดเล็กน้ำหนักเบาให้แรงบิดสูง กินพลังงานน้อย และสามารถควบคุมด้วยแรงดันลอจิกที่เป็น TTL ได้โดยตรงไม่จำเป็นต้องต่อวงจรขับ (Driver) อื่นๆ เพราะมอเตอร์ชนิดนี้จะมีวงจรควบคุมถูกบรรจุไว้ภายในอยู่แล้วซึ่งมอเตอร์ชนิดนี้สามารถควบคุมให้หมุนไปในตำแหน่งหรือทิศทางองศาที่ต้องการได้โดยอาศัยสัญญาณความกว้างพัลส์ที่ป้อนให้มอเตอร์ แต่เซอร์โวมอเตอร์นี้จะหมุนได้แค่เพียงในช่วงประมาณ 180° หรือครึ่งรอบเท่านั้นหรือบางรุ่นอาจหมุนได้ถึง 210° แต่จะไม่สามารถหมุนเป็นวงรอบได้เนื่องจากโครงสร้างภายในจะประกอบด้วยตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ (VR) ที่ทำหน้าที่ตรวจสอบตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์และตัวต้านทานนี้จะถูกยึดติดกับแกนหมุนของมอเตอร์ซึ่งจากการที่ตัวต้านทานปรับค่านี้ไม่สามารถหมุนเป็นวงรอบได้ ดังนั้นเซอร์โวมอเตอร์จึงถูกออกแบบให้หมุนได้เพียงแค่ประมาณ 180° หรือครึ่งรอบเท่านั้น เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับตัวต้านทานปรับค่าได้ (บุญธรรม ภัทราจารุกุล, 2554) ส่วนประกอบต่างๆ ของเซอร์โวมอเตอร์ มีรายละเอียดดังภาพที่ 2-4




**ภาพที่ 2-4** ส่วนประกอบของเซอร์โวมอเตอร์




**ภาพที่ 2-5** บล็อกไดอะแกรมของเซอร์โวมอเตอร์

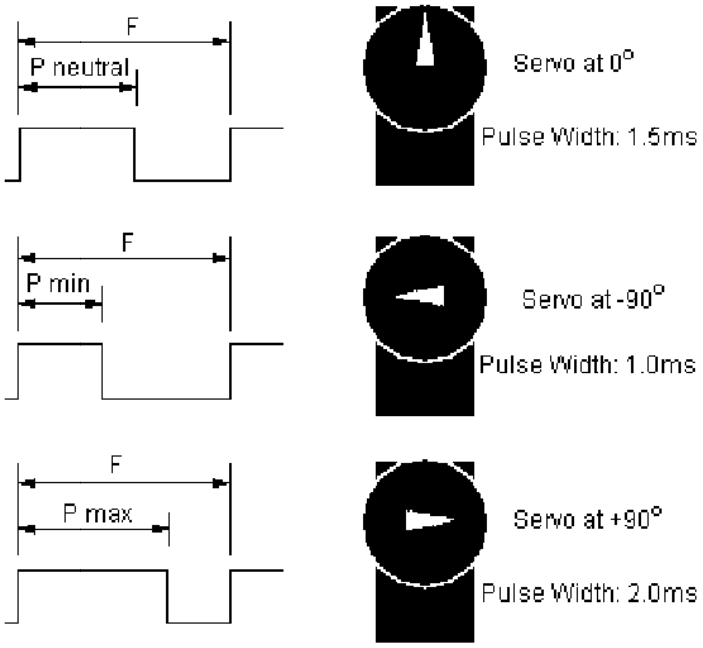
จากภาพที่ 2-4 จะเห็นว่าในเซอร์โวมอเตอร์หนึ่งตัวประกอบไปด้วยหลายๆ ส่วนรวมกันได้แก่ มอเตอร์เกียร์ เซนเซอร์วัดตำแหน่ง Error-amplifier วงจรแปลง Pulse width เป็นแรงดันซึ่งสามารถอธิบายแยกเป็นส่วนประกอบต่างๆ ตามบล็อกไดอะแกรมในภาพที่ 2-5 ได้ดังนี้

1) Pulse width to voltage converter ทำหน้าที่แปลงสัญญาณ Pulse width ที่รับมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ให้เป็นแรงดันแล้วจ่ายไปยัง Error-amplifier

2) Position Sensor เช็คตำแหน่งปัจจุบันในการหมุนของเพลาเซอร์โวมอเตอร์ส่งค่าออกมาเป็นแรงดันแล้วจ่ายไปยัง Error-amplifier

3) Error-amplifier นำสัญญาณทั้งสองมาเปรียบเทียบกันเช่นถ้าสัญญาณจาก Pulse width to voltage converter มีค่ามากกว่าสัญญาณจาก Position Sensor ตัว Error-amplifier ก็จะขยายแรงดันแล้วส่งออกไปทางเอาต์พุตเป็นแรงดันบวกทำให้มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกาขณะเดียวกัน Position Sensor ก็จะมีค่าเปลี่ยนไปด้วย ทำให้มอเตอร์จะหมุนไปจนกว่าค่าจาก Position Sensor และ Pulse width to voltage converter จะมีค่าแรงดันเท่ากัน และในทางกลับกันถ้าแรงดันจาก Position Sensor มีค่ามากกว่า Pulse width to voltage converter ก็จะทำให้มอเตอร์หมุนไปอีกทางจนกว่าแรงดันทั้งสองจะมีค่าเท่ากัน

การควบคุมการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ทำได้โดยการป้อนสัญญาณความกว้างพัลส์ให้กับมอเตอร์ ซึ่งตำแหน่งและทิศทางการหมุนของมอเตอร์นี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของความกว้างของพัลส์นั้นๆ โดยทั่วไปแล้วความกว้างของสัญญาณพัลส์จะมีจุดให้อ้างอิง 3 จุด ดังภาพที่ 2-6




**ภาพที่ 2-6** ตำแหน่งอ้างอิงของเซอร์โวมอเตอร์

1) สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 1.5 ms จะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม 0 องศา หรือจุดกึ่งกลางของมอเตอร์

2) สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 1 ms จะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม - 90 องศา หรือในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

3) สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 2 ms จะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม + 90 องศา หรือในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

ส่วนการที่จะควบคุมให้มอเตอร์หมุนเป็นมุมอื่นๆ นั้นก็สามารถทำได้โดยการป้อนสัญญาณพัลส์เป็นระดับความกว้างต่างๆโดยอ้างอิงจากจุดทั้ง 3 จุดที่กล่าวมานี้ ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการให้มอเตอร์หมุนไปที่มุม -45 องศา เราก็จะต้องป้อนสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้าง 1.25 ms เป็นต้น และสัญญาณพัลส์นี้จะต้องจ่ายให้มอเตอร์ทุกๆ 20 ms (Period) เพื่อรักษาสภาพตำแหน่งของมอเตอร์ไว้ โดยหลักการก็คือจะอาศัยการเปรียบเทียบช่วงเวลาของความกว้างพัลส์ที่จ่ายให้กับมอเตอร์ทางขาสัญญาณควบคุมกับค่าเวลาของวงจร RC ภายในบอร์ดควบคุมในตัวของมอเตอร์ ซึ่งค่าเวลาของวงจร RC นี้จะมีการเปลี่ยนแปลงตามการหมุนของมอเตอร์ เนื่องจากตัวต้านทานปรับค่าจะถูกยึดติดอยู่กับแกนหมุนของมอเตอร์ซึ่ง การหมุนของมอเตอร์จะทำให้ค่าความต้านทานของตัวต้านทานปรับค่า (VR) เปลี่ยนแปลงไปเป็นผลทำให้ค่าเวลาของวงจร RC เปลี่ยนแปลงตามไปด้วยโดยในขณะที่เราป้อน

สัญญาณความกว้างพัลส์ให้กับมอเตอร์ทางขาสัญญาณควบคุมสัญญาณนี้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าเวลาของวงจร RC หากค่าทั้ง 2 ไม่เท่ากันมอเตอร์ก็จะหมุนทำให้ค่าเวลาของวงจร RC เปลี่ยนแปลงจนกระทั่งค่าเวลาความกว้างพัลส์ของวงจร RC เปลี่ยนแปลงจนเท่ากับสัญญาณพัลส์ทางขาควบคุม (Control line) มอเตอร์จึงจะหยุดหมุน

**2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller: MCU)**

ปัจจุบันเทคโนโลยีไมโครคอนโทรลเลอร์ได้มีการพัฒนาให้มีความสามารถในการประมวลผลข้อมูลได้รวดเร็วและมีราคาไม่แพงง่ายต่อการศึกษา และออกแบบสามารถเขียนโปรแกรมชุดคำสั่งได้หลายภาษาตลอดจนมีโปรแกรมช่วยสนับสนุนจำนวนมาก เพื่อช่วยในการออกแบบพัฒนาระบบ จึงทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์มีการนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ซึ่งตัวของไมโครคอนโทรลเลอร์ คือชิปอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประมวลผลอย่างหนึ่งทำหน้าที่ประมวลผลตามโปรแกรมหรือชุดคำสั่งโครงสร้างภายในเป็นวงจรรวมขนาดใหญ่ ประกอบไปด้วยหน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิกบัสต่างๆ พอร์ตรีจีสเตอร์หน่วยความจำวงจรนับและวงจรจับเวลารวมกันอยู่ภายในชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในงานควบคุมสามารถติดต่อกับอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตได้สะดวกใช้งานง่ายสามารถทำงานได้โดยใช้ชิปเดียวสามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้ โปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์มีภาษาที่ใช้ระดับสูงหลายภาษาทำให้ง่ายต่อการศึกษาเรียนรู้ออกแบบวงจรพัฒนาระบบ และมีข้อแตกต่างระหว่างไมโครโพรเซสเซอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถติดต่ออุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตได้สะดวกง่ายกว่าสามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตและมีภาษาควบคุมระดับสูงหลายภาษา

**2.3.1 อาดุยโน่ (Arduino)**

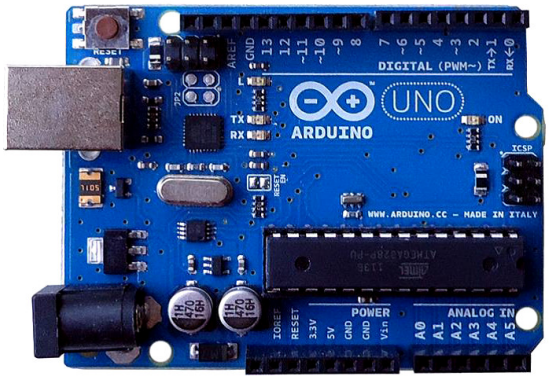
อาดุยโน่ เป็นภาษาอิตาลีใช้เป็นชื่อของโครงการพัฒนาของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR แบบเปิดแหล่งต้นทาง (open source) ได้รับการปรับปรุงมาจากโครงการพัฒนาเปิดแหล่งต้นทางของ AVR อีกโครงการหนึ่งชื่อว่า “Wiring” โครงการ “Wiring” ใช้ AVR เบอร์ ATMEGA128 เป็นชิปที่มีตัวถังแบบ SMD (Surface Mount Device) ทำให้เป็นอุปสรรคสำหรับผู้เริ่มต้นสร้างบอร์ดและต่อวงจรขึ้นมาใช้งานกันเอง และบอร์ดมีขนาดใหญ่ เกินความจำเป็นสำหรับผู้เริ่มต้นไม่ได้รับความนิยมแต่หลังจากที่ทีมงานอาดุยโน่นำรหัสต้นทาง (Source code) ของ “Wiring” มาพัฒนาปรับปรุงใหม่โดยสามารถใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ขนาดเล็กอย่าง MEGA8 และ MEGA168 ได้ จึงทำให้ระบบวงจรของบอร์ดลดลงกว่า “Wiring” มากและยังใช้อุปกรณ์น้อยชิ้นทำให้ง่ายต่อการต่อวงจรใช้งานกันเองและประหยัดต้นทุนในการสร้างบอร์ด ด้วยเหตุนี้เองทำให้อาดุยโน่ได้รับความนิยมจากผู้ใช้งานทั่วโลก (Simon Monk, 2010)

**2.3.2 บอร์ดอาดุยโน่**

อาดุยโน่เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ขนาดเล็กเป็นตัวประมวลผลและสั่งงานเหมาะสำหรับนำไปใช้ในการศึกษาและเรียนรู้ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ อีกทั้งยังนำไปประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับการควบคุมอุปกรณ์รับเข้าหรือส่งออกต่างๆได้มากมาย ทั้งในแบบที่เป็นการทำงานตัวเดียวอิสระ หรือเชื่อมต่อสั่งงานร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ เช่น คอมพิวเตอร์ PC ทั้งนี้เนื่องมาจากว่าอาดุยโน่สนับสนุนการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์รับเข้าหรือส่งออกต่างๆ ได้มากมาย ทั้งแบบดิจิทัล (digital) และอนาล็อก (analog) เช่น การรับค่ามาจากสวิตช์ หรืออุปกรณ์ตรวจจับ (sensor) แบบต่างๆ รวมไปถึงการควบคุมอุปกรณ์ส่งออกตั้งแต่ แอลอีดี (LED) หลอดไฟ มอเตอร์ รีเลย์ (relay) และอื่นๆ โดยระบบฮาร์ดแวร์ของอาดุยโน่สามารถสร้างและประกอบขึ้น ในกรณีที่ผู้ใช้มีความรู้ด้านอิเล็กทรอนิกส์

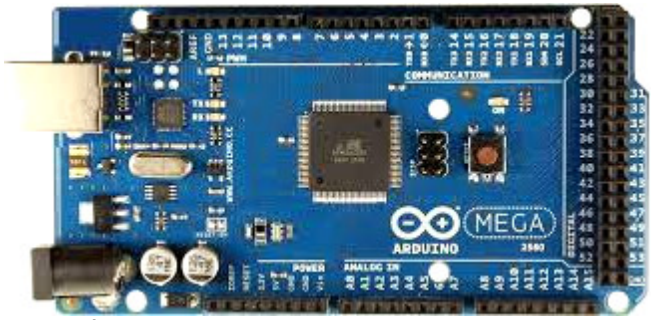
1) Arduino Uno R3 เป็นบอร์ด Arduino ที่ได้รับความนิยมใช้งานกันมากที่สุด ภาพที่ 2-7 เนื่องจากราคาไม่แพง ส่วนใหญ่โปรเจคและ Library ต่างๆ ที่พัฒนาขึ้นมา Support จะอ้างอิงกับบอร์ดนี้เป็นหลัก และข้อดีอีกอย่างคือ กรณีที่ MCU เสีย ผู้ใช้งานสามารถซื้อมาเปลี่ยนเองได้ง่าย

| **ข้อมูลจำเพาะ (Technical Specs)** | |
|---|---|
| ชิปไอซีไมโครคอนโทรเลอร์ | ATmega328 |
| ใช้แรงดันไฟฟ้า | 5V |
| รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่แนะนำ) | 7 – 12V |
| รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่จำกัด) | 6 – 20V |
| พอร์ต Digital I/O | 14 พอร์ต (มี 6 พอร์ต PWM output) |
| พอร์ต Analog Input | 6 พอร์ต |
| กระแสไฟที่จ่ายได้ในแต่ละพอร์ต | 40mA |
| กระแสไฟที่จ่ายได้ในพอร์ต 3.3V | 50mA |
| พื้นที่โปรแกรมภายใน | 32 Kbyte พื้นที่โปรแกรม, 500Byte ใช้โดย Boot loader |
| พื้นที่แรม | 2 Kbyte |
| พื้นที่หน่วยความจำถาวร (EEPROM) | 1 Kbyte |
| ความถี่คริสตัล | 16 MHz |
| ขนาด | 68.6x53.4 mm |
| น้ำหนัก | 25 กรัม |




**ภาพที่ 2-7** รูปร่างภายนอก Arduino Uno R3

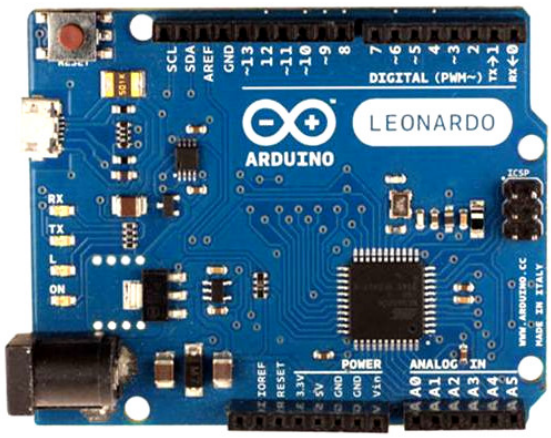
2) Arduino Mega 2560 R3 เป็นบอร์ดอาดุยโน่ที่ออกแบบมาสำหรับงานที่ต้องใช้พอร์ตอินพุตหรือเอาพุตมากกว่า Arduino Uno R3 เช่น งานที่ต้องการรับสัญญาณจากเซนเซอร์หรือควบคุมมอเตอร์เซอร์โวหลายๆ ตัว ทำให้ Pin I/O ของบอร์ด Arduino Uno R3 ไม่สามารถรองรับได้ ทั้งนี้บอร์ด Mega 2560 R3 ยังมีความหน่วยความจำแบบแฟลชมากกว่า Arduino Uno R3 และรองรับการพัฒนาโปรแกรมด้วย ADK (Android Open Accessories development Kit) โดยใช้ Google Open Accessories API เมื่อใช้กับอุปกรณ์แอนดรอยด์ที่ได้รับการติดตั้งระบบปฏิบัติการแอนดรอนด์ V2.3.4 หรือสูงกว่า ดังภาพที่ 2-8 ทำให้สามารถเขียนโค้ดโปรแกรมเข้าไปได้มากกว่าในความเร็วของหน่วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เท่ากัน




**ภาพที่ 2-8** รูปร่างภายนอก Arduino Mega 2560 R3

3) Arduino Leonardo การทำงานจะคล้ายกับบอร์ด Arduino Uno R3 แต่มีการเปลี่ยนหน่วยไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวใหม่เป็น ATmega32U4 และมีชิปไอซียูเอสบบีโฮสเบอร์ MAX3421e มาให้บนบอร์ด และมีโมดูลพอร์ตยูเอสบีมาด้วยบนชิป (แตกต่างจากบอร์ด Arduino UNO R3 หรือ Arduino Mega 2560 ที่ต้องใช้ชิป ATmega16U2 ร่วมกับ Atmega328 ในการเชื่อมต่อกับพอร์ต USB) ใช้สำหรับเชื่อมต่อกับโทรศัพท์มือถือแอนดรอยผ่านโอทีจี มีพอร์ตดิจิตอลอินพุตเอาต์พุตจำนวน 54 พอร์ต มีอนาล็อกอินพุตมาให้ 16 พอร์ต ทำงานที่ความถี่ 16 MHz ดังภาพที่ 2-9 การนำไปใช้งานจึงไม่เหมาะกับงานคำนวณ แต่เหมาะสำหรับงานที่ใช้การเชื่อมต่อกับโทรศัพท์มือถือแบบแอนดรอยด์มากกว่า เนื่องจากหน่วยไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นคนละเบอร์กันกับ Arduino Uno R3 อาจจะทำให้

บอร์ดชิลด์บางตัวหรือไลบรารีนำมาใช้ร่วมกันกับบอร์ด Arduino Leonardo ไม่ได้จึงจำเป็นต้องตรวจสอบก่อนใช้งาน



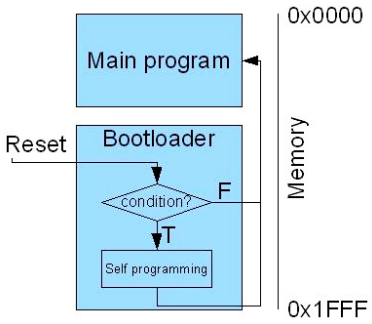

**ภาพที่ 2-9** รูปร่างภายนอก Arduino Leonardo

อาดุยโน่ได้ผลิตออกมาหลายรุ่นตามความต้องการนำไปใช้งานและความสามารถเฉพาะเจาะจงสำหรับอาดุยโน่แต่ละประเภท ผู้วิจัยจึงได้ทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติของบอร์ดอาดุยโน่แต่ละรุ่นดังตารางต่อไปนี้

**ตารางที่ 2-1** เปรียบเทียบคุณสมบัติของบอร์ดอาดุยโน่แต่ละรุ่น

| | Processor | | | | | Input / Output | | | | | | | Power | | | | Connectivity | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Family | SRAM | FLASH | EEPROM | Clock | Digital I/O | Analog In | ADC Bits | PWM | UART | Analog Out | DAC Bits | VCC | Vin Range | 5V | 3V3 | USB - Serial | I2C | Ethernet | USB-Host | SD Card |
| Arduino UNO R3 | ATmega328 | 2k | 32k | 1k | 16MHz | 14 | 6 | 10 | 6 | 1 | N/A | N/A | 5V | 7-12V | Yes | Yes | ATmega16U2 | 1 | No | No | No |
| Arduino UNO SMD | ATmega328 | 2k | 32k | 1k | 16MHz | 14 | 6 | 10 | 6 | 1 | N/A | N/A | 5V | 7-12V | Yes | Yes | ATmega16U2 | 1 | No | No | No |
| Arduino Mega 2560 R3 | ATmega2560 | 8k | 256k | 4k | 16MHz | 54 | 16 | 10 | 14 | 4 | N/A | N/A | 5V | 7-18V | Yes | Yes | ATmega16U2 | 1 | No | No | No |
| Arduino Mega ADK | ATmega2560 | 8k | 256k | 4k | 16MHz | 54 | 16 | 10 | 14 | 4 | N/A | N/A | 5V | 7-18V | Yes | Yes | ATmega16U2 | 1 | MAX3421E | No | No |
| Arduino Leonardo | ATmega32U4 | 2.5k | 32k | 1k | 16MHz | 25 | 12 | 10 | 7 | 1 | N/A | N/A | 5V | 7-12V | Yes | Yes | Built-In | 1 | No | No | No |
| Arduino Mini 05 | ATmega328 | 2k | 32k | 1k | 16MHz | 14 | 6 | 10 | 6 | 1 | N/A | N/A | 5V | 7V-9V | Yes | No | N/A | 1 | No | No | No |
| Arduino Pro Mini 328 - 3.3V | ATmega328 | 2k | 32k | 1k | 8MHz | 14 | 6 | 10 | 6 | 1 | N/A | N/A | 3.3V | 5V-12V | No | Yes | N/A | 1 | No | No | No |
| Arduino Pro Mini 328 – 5V | ATmega328 | 2k | 32k | 1k | 16MHz | 14 | 6 | 10 | 6 | 1 | N/A | N/A | 5V | 7V-12V | Yes | No | N/A | 1 | No | No | No |
| Arduino Ethernet with PoE module | ATmega328 | 2k | 32k | 1k | 16MHz | 9 | 6 | 10 | 4 | 1 | N/A | N/A | 5V | 6-18V | Yes | Yes | N/A | 1 | No | No | No |
| Arduino Ethernet without PoE module | ATmega328 | 2k | 32k | 1k | 16MHz | 9 | 6 | 10 | 4 | 1 | N/A | N/A | 5V | 6-18V | Yes | Yes | N/A | 1 | No | No | No |
| Arduino DUE | SAM3X8E | 96kb | 512k | N/A | 84MHz | 70 | 12 | 12 | 12 | 4 | 2 | 12 | 3.3V | 7-12V | No | VCC | Built-In | 2 | No | Yes | No |

**2.3.2.1 ความแตกต่างระหว่างอาดุยโน่กับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลอื่นๆ** ปกติการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลอื่นๆ โดยทั่วไปจะมีการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่เรียกว่า programmer ที่ใช้เป็นตัวกลางในการจัดการบรรจุ hex file จากเครื่องคอมพิวเตอร์ส่งผ่านไปเก็บไว้ในหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิดหน่วยความจำแบบแฟลช นี่คือหลักการทั่วไปของทั้ง PIC, Atmel, MCS-51 และอื่นๆ ส่วนอาดุยโน่ได้มีการพัฒนาซอฟต์แวร์ที่เรียกว่า bootloader program ขึ้นมาทำให้การบรรจุ hex file ไปเก็บไว้ในหน่วยความจำแบบแฟลชของอาดุยโน่ดังแสดงในภาพที่ 2-10 เมื่อคอมพิวเตอร์เชื่อมต่อกับบอร์ดอาดุยโน่แล้วจะสามารถใช้งานได้ทันทีโดยไม่จำเป็นต้องผ่านอุปกรณ์ programmer เหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นอื่นๆ อีกสิ่งหนึ่งที่ทำให้อาดุยโน่โดดเด่นมากขึ้นอีกคือในส่วนของไลบรารี (Library) ที่มีการพัฒนาขึ้นมาใช้มากมาย ทำให้ผู้พัฒนาใช้งานได้ง่ายขึ้นดังจะเห็นได้จากมีการคิดค้นสิ่งประดิษฐ์ทำสิ่งของต่างๆ โดยอาศัยการประมวลผลจากอาดุยโน่เป็นหลักและสามารถต่อยอดไปสู่ความรู้ในศาสตร์วิศวกรรมขั้นสูงต่อไปได้




**ภาพที่ 2-10** การจัดเก็บ Bootloader program ในหน่วยความจำของอาดุยโน่

## 2.4 โปรแกรมภาษาของอาดุยโน่ (Arduino IDE)

โปรแกรมภาษาของอาดุยโน่ใช้ภาษา C/C++ เป็นรูปแบบของโปรแกรมภาษาซีประยุกต์ที่มีโครงสร้างของตัวภาษาใกล้เคียงกันกับภาษาซีมาตรฐาน (ANSI-C) มีการปรับปรุงรูปแบบการเขียนโปรแกรมและให้ผู้เขียนโปรแกรมสามารถเขียนโปรแกรมได้ง่าย และสะดวกมากกว่าการเขียนภาษาซีตามแบบมาตรฐานของ ANSI-C ภาษาซีของอาดุยโน่จัดแบ่งรูปแบบโครงสร้างของการเขียนโปรแกรมออกเป็นส่วนย่อยหลายส่วน โดยเรียกแต่ละส่วนว่าฟังก์ชัน และเมื่อนำฟังก์ชันมารวมเข้าด้วยกันก็จะเรียกว่าโปรแกรม โดยโครงสร้างการเขียนโปรแกรมของอาดุยโน่นั้น ทุกๆ โปรแกรมจะต้องประกอบไปด้วยฟังก์ชันจำนวนเท่าใดก็ได้ แต่อย่างน้อยที่สุดต้องมีฟังก์ชัน จำนวน 2 ฟังก์ชัน คือ setup() และ loop() ดังตัวอย่างและภาพที่ 2-11 (ธเนศ สุขเจริญ, 2554)

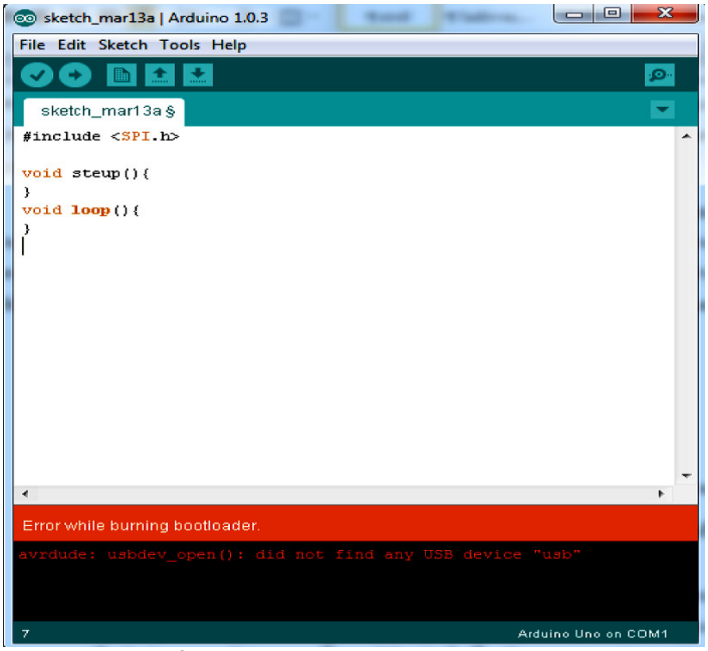
```
#include<>
void steup(){}
void loop(){}
```

โครงสร้างพื้นฐานของภาษาซีที่ใช้กับอาดุยโน่ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ include, setup และ loop

1) header คือส่วนที่นำเข้าไลบรารี ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมและประกาศตัวแปรที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม

2) setup คือส่วนฟังก์ชันบังคับที่ต้องกำหนดในทุกโปรแกรม ใช้เป็นตัวกำหนดขอบเขตของฟังก์ชันใช้สาหรับบรรจุคำสั่งในส่วนที่ต้องการให้โปรแกรมทำงานเพียงรอบเดียวช่วงเริ่มต้นทำงานของโปรแกรมครั้งแรกได้แก่คำสั่งเดียวกับการตั้งค่าการทำงานเช่นการกำหนดหน้าที่การใช้งานของช่องทางและการกำหนดค่าอัตราบอด (Baud rate) สาหรับใช้งานช่องทางสื่อสารอนุกรม เป็นต้น

3) loop คือส่วนฟังก์ชันบังคับที่ต้องกำหนดทุกโปรแกรมเช่นเดียวกันกับฟังก์ชัน setup() ฟังก์ชัน loop() ใช้บรรจุคำสั่งที่ต้องการให้โปรแกรมทางานเป็นวงรอบซ้ำกันไปไม่รู้จบ




**ภาพที่ 2-11** โปรแกรมภาษา Arduino IDE

## 2.5 ภาษา C++

ภาษา C++ เป็นภาษาโปรแกรมคอมพิวเตอร์อเนกประสงค์มีโครงสร้างภาษาที่มีการจัดชนิดข้อมูลเป็นแบบสแตติก (Statically typed) และสนับสนุนรูปแบบการเขียนโปรแกรมที่หลากหลาย (Multi-paradigm language) ได้แก่ การโปรแกรมเชิงกระบวนคำสั่ง การนิยามข้อมูล การโปรแกรมเชิงวัตถุ และการโปรแกรมแบบเจเนริก (Generic programming) ภาษา C++ เป็นภาษาโปรแกรมเชิงพาณิชย์ที่กำลังนิยมมากภาษาหนึ่งนับตั้งแต่ช่วงทศวรรษ 1990 เบียเนอสเดราสดร็อบ (Bjarne Stroustrup) จากเบลล์แล็บส์ (Bell Labs) เป็นผู้พัฒนาภาษา C++ (เดิมใช้ชื่อ "C with classes") ในปี ค.ศ. 1983 เพื่อพัฒนาภาษาซีดั้งเดิม สิ่งที่พัฒนาขึ้นเพิ่มเติมนั้นเริ่มจากการเพิ่มเติมการสร้างคลาส

จากนั้นก็เพิ่มคุณสมบัติต่างๆตามมา ได้แก่ เวอร์ชวลฟังก์ชันการโอเวอร์โหลดโอเปอเรเตอร์ การสืบทอดหลายสาย เทมเพลต และการจัดการเอกเซพชัน มาตรฐานของภาษา C++ ได้รับการรับรองในปี ค.ศ. 1998 เป็นมาตรฐาน ISO/IEC 14882:1998 และเวอร์ชันล่าสุดคือเวอร์ชันในปี ค.ศ. 2003 ซึ่งเป็น มาตรฐาน ISO/IEC 14882:2003 ในปัจจุบันมาตรฐานของภาษาในเวอร์ชันใหม่ (รู้จักกันในชื่อ C++0x) ซึ่งกำลังอยู่ในขั้นตอนพัฒนา

**2.5.1 รูปแบบของการออกแบบภาษา C++**

ภาษา C++ได้ถูกออกแบบมาเพื่อเป็นภาษาสำหรับการเขียนโปรแกรมทั่วไปสามารถรองรับการเขียนโปรแกรมในระดับภาษาเครื่องได้ เช่นเดียวกับภาษาซี ในทางทฤษฎี ภาษา C++ ควรจะมีความเร็วเทียบเท่าภาษาซีแต่ในการเขียนโปรแกรมจริงนั้น ภาษา C++ เป็นภาษาที่มีการเปิดกว้างให้โปรแกรมเมอร์เลือกรูปแบบการเขียนโปรแกรมซึ่งทำให้มีแนวโน้มที่โปรแกรมเมอร์อาจใช้รูปแบบที่ไม่เหมาะสมทำให้โปรแกรมที่เขียนมีประสิทธิภาพต่ำกว่าที่ควรจะเป็น และภาษา C++ นั้นเป็นภาษาที่มีความซับซ้อนมากกว่าภาษาซีจึงทำให้มีโอกาสเกิดบั๊ก (bug) ขณะคอมไพล์ (Compile) มากกว่า และภาษา C++ ได้รับการออกแบบเพื่อเข้ากันได้กับภาษาซีในเกือบทุกกรณี มาตรฐานของภาษา C++ ถูกออกแบบมาเพื่อไม่ให้มีการเจาะจงแพลตฟอร์มของคอมพิวเตอร์ (ประจิน พลังสันติกุล, 2553) ภาษา C++ ถูกออกแบบมาให้รองรับรูปแบบการเขียนโปรแกรมที่หลากหลาย (Multi-paradigm) ตัวอย่างโค้ด

```
#include <iostream>
int main(){
std::cout<<"Hello,world!\n";
return 0; }
```

**2.5.2 ตัวแปรและชนิดข้อมูล**

ชนิดของข้อมูลที่ C++ จัดเตรียมไว้ให้ใช้งานแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ชนิดข้อมูลพื้นฐาน เช่น บูลีน (Boolean) จำนวนเต็ม (Integer) และอักขระ (Character) เป็นต้น และชนิดข้อมูลผสม เช่น สายอักขระ (Sting) structure และการแจงนับ (Enumeration) เป็นต้น ชนิดข้อมูลดังกล่าวจะถูกกำหนดให้กับตัวแปร ซึ่งใช้ในการระบุพื้นที่ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล โดยภายในตัวแปรจะเกี่ยวกับข้อมูล 3 ส่วน ดังนี้

1) ตำแหน่งหรือสถานที่ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

2) ค่าที่เก็บไว้ในตัวแปรคืออะไร

3) ชนิดของข้อมูลที่ถูกเก็บไว้

ตัวอย่างการกำหนดตัวแปร

```
Int my_number;  //ประกาศตัวแปรชนิดจำนวนเต็ม
```

```
my_number=10; //กำหนดค่าให้กับตัวแปร
char ch1=97;      //ch1 เก็บตัวอักษร a
char ch2='a';     //ch2 เก็บตัวอักษร a
```

**2.5.3 ข้อมูลชนิดอักขระ (Character)**

อักขระหรือ char เป็นข้อมูลที่ใช้เก็บข้อมูลตัวอักขระต่างๆ เช่น ตัวอักษรและตัวเลข เป็นต้น โดยข้อมูลชนิดอักขระจะใช้เลขรหัส (Number code) เพื่อแทนตัวอักษร ตัวเลขและสัญลักษณ์ต่างๆ โดยทั่วไปตัวเลขที่นำมาใช้จะต้องสามารถแทนตัวอักขระต่างๆ ได้อย่างครบถ้วน รหัสที่นิยมนำมาใช้แทนตัวอักษรกันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ รหัส ASCII (รหัสแอสกี) โดยจะกำหนดเลขรหัสแทนตัวอักขระแต่ละตัว เช่น เลขรหัส “65” ใช้แทนตัวอักษร A เป็นต้น

**2.5.4 ข้อมูลชนิดจำนวนเต็ม (Integer)**

จำนวนเต็มเป็นข้อมูลชนิดตัวเลขจำนวนเต็ม เช่น 8, 99, 111 และ -2388 เป็นต้น ในระบบคอมพิวเตอร์มีข้อจำกัดในเรื่องจำนวนหน่วยความจำที่ใช้เก็บข้อมูล ทำให้แทนตัวเลขได้ในช่วงที่จำกัด โดย C++ ได้จัดเตรียมข้อมูลชนิดจำนวนเต็ม ซึ่งใช้ขนาดของหน่วยความจำต่างกันไว้เลือกใช้หลายชนิด ทำให้แทนจำนวนข้อมูลได้ไม่เท่ากัน นอกจากนี้ข้อมูลบางชนิดยังสามารถเป็นได้ทั้งค่าบวกและลบ (Signed type) แต่บางชนิดไม่สามารถแทนค่าลบได้ (Unsigned type) โดย C++ ได้จัดเตรียมชนิดข้อมูลพื้นฐานสำหรับแทนข้อมูลชนิดจำนวนเต็มไว้ 3 ชนิด คือ short, int และ long

**2.5.5 ข้อมูลชนิดแถวลำดับ (Array)**

แถวลำดับเป็นรูปแบบของข้อมูลที่สามารถเก็บชุดของตัวแปรที่แสดงอยู่ในรูปของลำดับที่เพื่อเก็บค่าของข้อมูลที่เป็นชนิดเดียวกันแถวลำดับถือเป็นชนิดข้อมูลที่เรียกว่าชนิดผสม (Compound type) เนื่องจากถูกสร้างข้อมูลชนิดอื่น โดยสมาชิกที่อยู่ในแถวลำดับจะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำแบบต่อเนื่องกัน ส่วนตัวแปรทั่วไปจะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำในตำแหน่งที่ไม่ต่อเนื่องกันให้พิจารณารูปแบบการเก็บข้อมูลของแถวลำดับดังภาพที่ 2-12

```
Int my_array [10];
```

| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

**ภาพที่ 2-12** แสดงลักษณะของแถวลำดับที่มีสมาชิก 10 ตัว

คำสั่งที่ใช้ในการประกาศใช้งานแถวลำดับจะประกอบด้วยข้อมูล 3 ส่วน ดังนี้

1) ชนิดข้อมูลของแถวลำดับที่จะกำหนดให้กับสมาชิก

2) ชื่อของแถวลำดับ

3) จำนวนสมาชิกของแถวลำดับ

**2.5.6 ข้อมูลชนิดสายอักขระ (String)**

สายอักขระเป็นการเก็บข้อมูลในรูปชุดของตัวอักษรเรียงติดต่อกัน แนวคิดดังกล่าวจะนำตัวอักษรแต่ละไบต์มาเก็บไว้ในลักษณะแถวลำดับของอักขระ การเก็บตัวอักษรของสายอักขระทำให้การจัดการข้อมูลง่ายขึ้น การประกาศใช้ข้อมูลชนิดสายอักขระใน C++ ทำได้ 2 แบบ คือ การใช้แถวลำดับอักขระและการใช้คลาสไลบรารีที่เรียกว่า “string”

**2.5.7 การประกาศใช้งานสายอักขระด้วยแถวลาดับอักขระ**

การประกาศใช้สายอักขระด้วยแถวลำดับอักขระ (Character array) เป็นวิธีแบบเดิมที่ใช้ในภาษา C โดยคอมไพเลอร์ (Compiler) จะใส่สมาชิกตัวสุดท้ายเป็น \0 (ในรหัส ACSII คือ 0) ให้โดยอัตโนมัติเพื่อใช้แทนอักขระว่างซึ่งแสดงจุดสิ้นสุดของสายอักขระ ข้อความที่ต้องการกำหนดให้กับสายอักขระจะอยู่ในเครื่องหมาย “ ” ให้พิจารณาตัวอย่างการประกาศใช้งานสายอักขระ ดังต่อไปนี้

ตัวอย่างการประกาศใช้สายอักขระด้วยแถวลาดับอักขระ

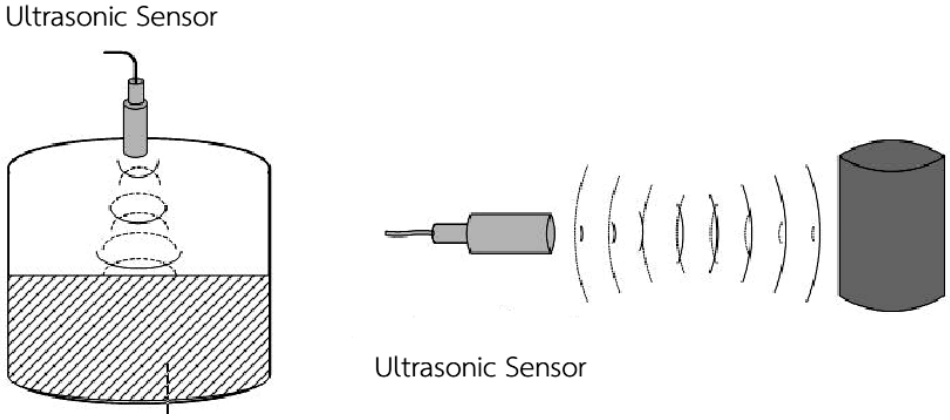
Char string1 [6] = “tiger” //ประกาศใช้งานสายอักขระโดยระบุสมาชิก

Char string2 [] = “lion” //ประกาศใช้งานสายอักขระโดยไม่ระบุจำนวน

คำสั่งข้างต้นเป็นการประกาศใช้งานสายอักขระโดยบรรทัดแรกระบุจำนวนสมาชิกของสายอักขระไว้จำนวน 6 ตัว และกำหนดข้อมูลเป็น “tiger” ซึ่งประกอบด้วยตัวอักษรทั้งหมด 5 ตัว โดยคอมไพเลอร์ (Compiler) จะเพิ่มอักขระว่างให้โดยอัตโนมัติ ทำให้สายอักขระนี้เก็บข้อมูลตัวอักษรทั้งหมด 6 ตัวพอดี ส่วนการประกาศใช้งานสายอักขระในบรรทัดที่ 2 จะไม่มีการระบุจำนวนสมาชิกของสายอักขระไว้ คอมไพเลอร์จะตรวจสอบจำนวนสมาชิกของสายอักขระจากจำนวนตัวอักษรที่กำหนดไว้ และเพิ่มอักขระว่างเข้าไปอีก 1 ตัวให้โดยอัตโนมัติ

## 2.6 อัลตร้าโซนิกเซนเซอร์ (Ultrasonic sensor)

เป็นเซนเซอร์ (Sensor) ที่ทำงานโดยอาศัยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 kHz ซึ่งเป็นคลื่นในย่านที่มนุษย์ไม่สามารถได้ยินเสียงอัลตร้าโซนิกเซนเซอร์ทำงานโดยอาศัยการกระจายหรือการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงไปกระทบกับพื้นผิวของตัวกลาง ซึ่งอาจเป็นของแข็งหรือของเหลวบางส่วนของคลื่นเสียงจะแทรกผ่านเข้าไปในตัวกลางนั้นและส่วนใหญ่ของคลื่นความถี่สูงนี้จะมีการสะท้อนกลับเรียกว่า "Echo" โดยช่วงเวลาของการสะท้อนกลับของคลื่นเสียงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะห่างระหว่างวัตถุกับเซนเซอร์ (วิศรุต ศรีรัตนะ, 2550) ภาพที่ 2-13



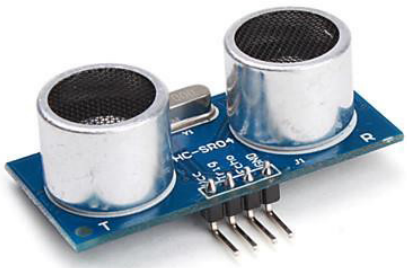

(ก) (ข)

**ภาพที่ 2-13** (ก) การตรวจจับระดับความสูงของของเหลว (ข) การตรวจจับระยะห่างของวัตถุ

โดยทั่วไปจะนิยมนำเอาอัลตร้าโซนิกเซนเซอร์ มาใช้สำหรับในการวัดระยะทาง (Distance measurement) ของวัตถุหรือการวัดระดับ (Level measurement) ของเหลว สามารถใช้งานกับวัตถุทั้งชนิดโลหะและอโลหะทุกเฉดสีโปร่งใส โปร่งแสงหรือทึบแสง ตรวจจับวัตถุได้หลายขนาด ไม่เหมาะกับวัตถุที่มีคุณสมบัติการยืดหยุ่นหรือคุณสมบัติการดูดซับเสียง เช่น ผ้า ฝุ่นผง โฟมหรือฟองน้ำ ซึ่งจะดูดซับคลื่นเสียงไม่ให้สะท้อนกลับมายังตัวรับสัญญาณ และเนื่องจากลักษณะการสะท้อนกลับของเสียงขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบที่ทำให้เสียงกระจายไปในทิศทางต่างๆ จึงไม่เหมาะกับวัตถุที่มีลักษณะเป็นก้อนๆ ไม่สม่ำเสมอ ผลที่ได้จากการสะท้อนกลับของคลื่นอัลตร้าโซนิกที่ใช้กับวัตถุลักษณะนี้จะมีความเที่ยงตรง (Precision) ต่ำสำหรับวัตถุที่มีผิวเรียบคลื่นเสียงที่มาตกกระทบส่วนใหญ่จะสะท้อนออกจากพื้นผิวนั้นอย่างมีระเบียบค่าความเที่ยงตรงที่ได้จากการวัดจะมีค่าสูงมากกว่า โดยตำแหน่งของเซนเซอร์ที่ตั้งฉากกับพื้นผิวของวัตถุจะให้ประสิทธิภาพในการสะท้อนคลื่นกลับมายังตัวรับมากที่สุดในสภาวะแวดล้อมที่มีฝุ่นละอองหรือมีไอน้ำในอากาศ เสียงอาจถูกดูดซึมไปบ้างและสูญเสียพลังงานไปในรูปของพลังงานความร้อน อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับเซนเซอร์ชนิดแสง (Optical sensor/Photo sensor) เซนเซอร์ชนิดนี้ได้รับผลกระทบจากละอองไอน้ำที่น้อยกว่า เมื่อพิจารณาอุณหภูมิที่พื้นผิวของวัตถุ พบว่าวัตถุที่มีอุณหภูมิ (Temperature) สูงจะทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของการวัดขึ้น โดยทำให้ระยะการตรวจจับสั้นลง ผลที่ได้จะไม่แน่นอน เนื่องจากเสียงที่เดินทางผ่านอากาศที่มีอุณหภูมิสูงมีความเร็วสูงกว่าเสียงที่เดินทางผ่านอากาศ ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าการติดตั้งเซนเซอร์ชนิดใช้เสียงตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป ต้องระวังการสอดแทรกหรือการกวนกันของคลื่นเสียงความถี่สูงที่เกิดขึ้นจากเซนเซอร์แต่ละตัว โดยระยะห่างระหว่างตัวเซนเซอร์พิจารณาจากรัศมีของการแผ่กระจายคลื่นความถี่ที่ส่งออกไป และในการติดตั้งเซนเซอร์ต้องระวังมุมอับที่สัญญาณเสียงไม่สามารถเดินทางผ่านไปได้ หรือเรียกว่า บริเวณ "Blind zone หรือ Dead zone"

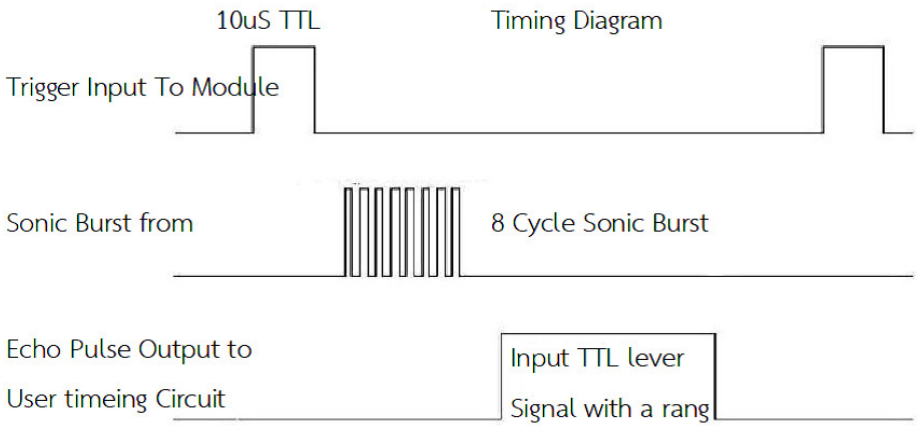
**2.6.1 ย่านความถี่อัลตร้าโซนิกโมดูล SRF05 (Ultrasonic Ranging Module SRF05)**

โมดูลอัลตร้าโซนิกนี้เป็นอุปกรณ์ใช้วัดระยะทางโดยไม่ต้องมีการสัมผัสกับตำแหน่งที่ต้องการวัด วัดระยะได้ตั้งแต่ 2 เซนติเมตร ถึง 400 เซนติเมตรโดยส่งสัญญาณอัลตร้าโซนิคความถี่ 40 $kH_Z$ ไปที่วัตถุที่ต้องการวัดและรับสัญญาณที่สะท้อนกลับมา พร้อมทั้งจับเวลาเพื่อนำมาใช้ในการคำนวณระยะทาง (ทีมงานไอเน็ก, ม.ป.ป.)




**ภาพที่ 2-14** อัลตร้าโซนิกโมดูล SRF05

หลักการทำงานของอัลตร้าโซนิกเซนเซอร์คือใช้การส่งคลื่นเสียงที่หูมนุษย์ไม่สามารถได้ยินออกไปสะท้อนวัตถุที่ต้องการวัดระยะ แล้วจับเวลาเสียงสะท้อน เพื่อคำนวณระยะทาง



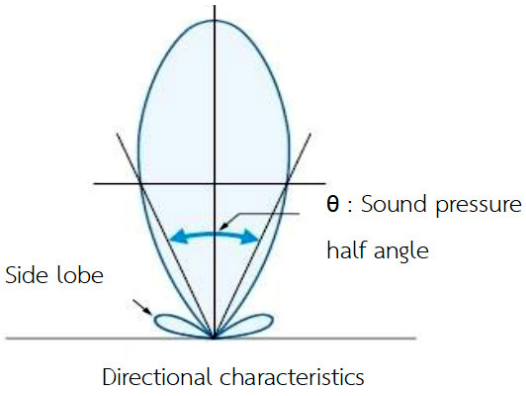

**ภาพที่ 2-15** ไดอะแกรมเวลาการทำงานของอัลตร้าโซนิกเซนเซอร์

จากภาพที่ 2-15 อุปกรณ์ตัวนี้เริ่มต้นทางานโดยการส่งสัญญาณเริ่มต้นยาว 10 ไมโครวินาทีไปสั่งให้แหล่งกำเนิดเสียงทางาน จากนั้นจะส่งคลื่นเสียงความถี่ 40 kHz ออกไป 8 พัลส์ แล้วรอรับฟังเสียงสะท้อน ตัวซ้ายจะเป็นตัวส่งคลื่นเสียงออกไปส่วนตัวขวาในรูปจะเป็นตัวรับความถี่ที่สะท้อนกลับมาเนื่องจากเสียงที่ส่งออกไปถึงแม้จะไม่ได้ยินเพราะเกิน 20 $kH_z$ ที่หูมนุษย์จะรับฟังได้ แต่เนื่องจากยังคงเป็นคลื่นเสียง ดังนั้นความเร็วของเสียงจึงแปรผันตามอุณหภูมิด้วย ตามสูตรดังนี้

$$C \approx 331.5 + 0.61\theta (m/s) \qquad (2\text{-}10)$$

เมื่อ C คือ ความยาวของสัญญาณสะท้อน

ช่วงวัดและมุมที่สามารถวัดได้เนื่องจากคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ใช้ในการกำเนิดเสียง และรูปร่างของตัวลำโพง (Horn) ทำให้อุปกรณ์ตัวนี้มีมุมวัด 15 องศา (Measuring Angle) โดยสามารถวัดระยะห่างได้ตั้งแต่ 2 เซนติเมตรจนถึง 4 เมตร ดังภาพที่ 2-16




**ภาพที่ 2-16** แสดงมุมของการวัดของอัลตร้าโซนิกเซนเซอร์

ระยะทางสามารถคำนวณได้จากสูตร

ระยะทาง = ความยาวของสัญญาณสะท้อน x 340 (m/s) / 2 (2-11)

## 2.7 ระบบอาร์เอฟไอดี

RFID ย่อมาจากคาว่า Radio Frequency Identification เป็นระบบฉลากที่ได้ถูกพัฒนามาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 โดยที่อุปกรณ์อาร์เอฟไอดีที่มีการประดิษฐ์ขึ้นใช้งานเป็นครั้งแรกนั้น เป็นผลงานของ Leon Theremin ซึ่งสร้างให้กับรัฐบาลของประเทศรัสเซียใช้ในปี ค.ศ. 1945 ซึ่งอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมาในเวลานั้นทำหน้าที่เป็นเครื่องมือดักจับสัญญาณ ไม่ได้ทำหน้าที่เป็นตัวระบุเอกลักษณ์อย่างที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน อาร์เอฟไอดีในปัจจุบันมีลักษณะเป็นป้ายอิเล็กทรอนิกส์ (RFID Tag) ที่สามารถอ่านค่าได้โดยผ่าน คลื่นวิทยุจากระยะห่างเพื่อตรวจติดตามและบันทึกข้อมูลที่ติดอยู่กับป้าย ซึ่งนำไปฝังไว้ในหรือติดอยู่กับ วัตถุต่างๆ เช่น ผลิตภัณฑ์กล่อง หรือสิ่งของใดๆ สามารถติดตามข้อมูลของวัตถุ 1 ชิ้นว่า คืออะไร ผลิตที่ไหนใครเป็นผู้ผลิต ผลิตอย่างไร ผลิตวันไหน และเมื่อไร ประกอบไปด้วยชิ้นส่วนกี่ชิ้นและแต่ละชิ้นมาจากที่ไหน รวมทั้งตำแหน่งที่ตั้งของวัตถุนั้นๆ ในปัจจุบันว่าอยู่ส่วนใดในโลกโดยไม่จำเป็นต้องอาศัยการสัมผัส (Contact-Less) หรือต้องเห็นวัตถุนั้นๆ ก่อน ทำงานโดยใช้เครื่องอ่านที่สื่อสารกับป้ายด้วยคลื่นวิทยุในการอ่านและเขียนข้อมูล อาร์เอฟไอดีมีข้อได้เปรียบเหนือกว่าระบบบาร์โค้ด (Barcode Systems) มีดังนี้ (กันตภณ พริ้วไธสง, 2554:17-24)

1) มีความละเอียด และสามารถบรรจุข้อมูลได้มากกว่า ซึ่งทำให้สามารถแยกความแตกต่างของสินค้าแต่ละชิ้นแม้จะเป็น SKU (Stock Keeping Unit – ชนิดสินค้า) เดียวกันก็ตาม

2) ความเร็วในการอ่านข้อมูลจากแถบ อาร์เอฟไอดีเร็วกว่าการอ่านข้อมูลจากแถบบาร์โค้ดหลายสิบเท่า

3) สามารถอ่านข้อมูลได้พร้อมกันหลายๆ แถบอาร์เอฟไอดี

4) สามารถส่งข้อมูลไปยังเครื่องรับได้โดยไม่จำเป็นต้องนำไปจ่อในมุมที่เหมาะสมอย่างการใช้เครื่องอ่านบาร์โค้ด (Non-Line of Sight)

5) ค่าเฉลี่ยของความถูกต้องของการอ่านข้อมูลด้วยเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี นั้นจะอยู่ที่ประมาณร้อยละ 99.5 ขณะที่ความถูกต้องของการอ่านข้อมูลด้วยระบบบาร์โค้ดอยู่ที่ร้อยละ 80

6) สามารถเขียนทับข้อมูลได้จึงทำให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ซึ่งจะลดต้นทุนของการผลิตป้ายสินค้าซึ่งคิดเป็นประมาณร้อยละ 5 ของรายรับของบริษัท

7) สามารถขจัดปัญหาที่เกิดขึ้นจากการอ่านข้อมูลซ้ำที่อาจเกิดขึ้นจากระบบบาร์โค้ด

8) ความเสียหายของป้ายชื่อ (Tag) น้อยกว่าเนื่องจากไม่จำเป็นต้องติดไว้ภายนอกบรรจุภัณฑ์

9) ระบบความปลอดภัยสูงกว่ายากต่อการปลอมแปลงและลอกเลียนแบบ

10) ทนทานต่อความเปียกชื้น แรงสั่นสะเทือน การกระทบกระแทก

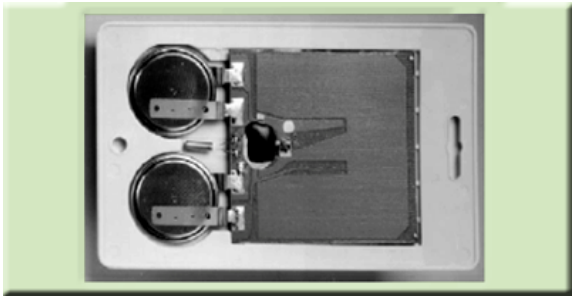
ปัจจุบันมีการนำอาร์เอฟไอดี มาใช้งานกันในงานหลายอย่างไม่ว่าจะเป็นในบัตรชนิดต่างๆ เช่น บัตร ประจำตัวประชาชน บัตรเอทีเอ็ม บัตรสำหรับผ่านเข้าออกห้องพัก บัตรโดยสารของสายการบินบัตรจอดรถในฉลากของสินค้าหรือแม้แต่ใช้ฝังลงในตัวสัตว์เพื่อบันทึกประวัติเก็บไว้ เป็นต้น การนำอาร์เอฟไอดี มาใช้งานก็เพื่อ ประโยชน์ในการตรวจสอบการผ่านเข้าออกบริเวณใดบริเวณหนึ่ง หรือเพื่ออ่านหรือเก็บข้อมูลบางอย่างเอาไว้ ยกตัวอย่างเช่นในกรณีที่เป็นฉลากสินค้าอาร์เอฟไอดี ก็จะถูกนำ มาใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับสินค้า เพื่อให้สามารถทราบถึงที่มาที่ไปของสินค้าชิ้นนั้นๆ ได้ เป็นต้น สำหรับรูปแบบของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีที่ใช้ดังที่กล่าวก็มีทั้งแบบสมาร์ตการ์ด (Smartcard) ที่สามารถถูกเขียนหรืออ่านข้อมูลออกมาได้โดยไม่ต้องมีการสัมผัสกับเครื่องอ่านบัตรหรือคอนแทคเลสสมาร์ตการ์ด (Contactless Smart card) เหรียญ ป้ายชื่อหรือฉลากซึ่งมีขนาดเล็กมากจนสามารถแทรกลงระหว่างชั้นของเนื้อกระดาษ หรือฝังเอาไว้ในตัวสัตว์ได้เลยทีเดียว

**2.7.1 องค์ประกอบของระบบอาร์เอฟไอดี (RFID)**

ในระบบอาร์เอฟไอดี มีองค์ประกอบหลักอยู่ 3 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนแรกคือฉลากหรือป้ายขนาดเล็กที่จะถูกผนึกอยู่กับวัตถุที่เราสนใจ โดยฉลากนี้จะประกอบด้วยสายอากาศและไมโครชิปที่บันทึกข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุชิ้นนั้นๆ เอาไว้ ฉลากดังกล่าวเรียกว่า ทรานสพอนเดอร์ (Transponder) หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่าแท็กหรือป้ายระบุ (Tag) โดยที่แท็กของอาร์เอฟไอดีแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

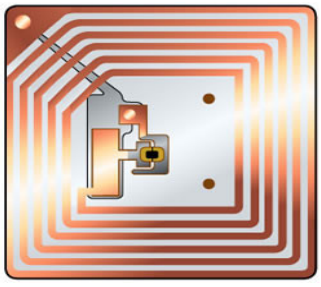
1) แท็กชนิดแอ็กตีฟ (Active Tag) แท็กชนิดนี้จะมีแบตเตอรี่อยู่ภายในซึ่งใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟขนาดเล็ก เพื่อป้อนพลังงานไฟฟ้าให้แท็กทำงานโดยปกติ โดยแท็กชนิดนี้มีฟังก์ชั่นการทำงานทั่วไปทั้งอ่านและเขียนข้อมูลลงในแท็กได้ และการที่ต้องใช้แบตเตอรี่จึงทำให้แท็กชนิดแอ็กตีฟมีอายุการใช้งานจำกัดตามอายุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่หมดก็ต้องนำแท็กไปทิ้งจึงไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

แท็กนี้จะมีหน่วยความ จำภายในขนาดใหญ่ได้ถึง 1 เมกะไบต์ มีกำลังส่งสูงและระยะการรับส่งข้อมูลไกลสูงสุดถึง 150 เมตร ซึ่งไกลกว่าแท็กชนิดพาสซีฟ นอกจากนี้ยังทำงานในบริเวณที่มีสัญญาณรบกวนได้ดี แม้แท็กชนิดนี้จะมีข้อดีอยู่หลายข้อ แต่ก็มีข้อเสียอยู่ด้วยเหมือนกัน เช่น ราคาต่อหน่วยแพง มีขนาดค่อนข้างใหญ่ และมีระยะเวลาในการทำงานที่จำกัดขึ้นอยู่กับอายุของแบตเตอรี่ ดังแสดงในภาพที่ 2-17

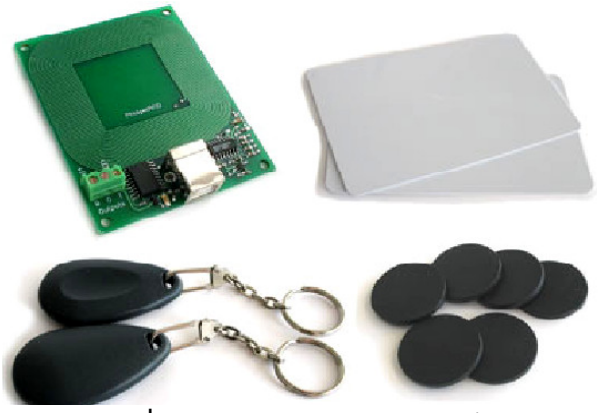


**ภาพที่ 2-17** แท็กชนิดแอ็กตีฟ ที่มีแบตเตอรี่ลิเธี่ยม 2 ก้อนอยู่ภายนอก

2) แท็กชนิดพาสซีฟ (Passive Tag) ไม่จำเป็นต้องรับแหล่งจ่ายไฟใดๆ เพราะจะทำงานโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากตัวอ่านข้อมูล (มีวงจรกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กอยู่ในตัว) หรือที่เรียกว่าอุปกรณ์ Transceiver จึงทำให้แท็กชนิดพาสซีฟมีน้ำหนักเบาและเล็กกว่าแท็กชนิดแอ็กทีฟ ราคาถูกกว่าและมีอายุการใช้งานไม่จำกัด แต่ข้อเสียก็คือระยะการรับส่งข้อมูลใกล้ซึ่งสามารถส่งข้อมูลได้ไกลสุดเพียง 1.5 เมตร มีหน่วยความจำขนาดเล็กประมาณ 32 ถึง 1024 ไบต์ และตัวเครื่องอ่านข้อมูลจะต้องมีความไวและกำลังที่สูง นอกจากนี้แท็กชนิดพาสซีฟมักจะมีปัญหาเมื่อนำไปใช้งานในสิ่งแวดล้อมที่มีสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนสูงอีกด้วย แต่ข้อได้เปรียบในเรื่องราคาต่อหน่วยที่ต่ำกว่าแท็กชนิดแอ็กทีฟและอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าทำให้แท็กชนิดพาสซีฟนี้จึงเป็นที่นิยมมากกว่า ซึ่งไอซีของแท็กชนิดพาสซีฟที่มีการผลิตออกมาจะมีทั้งขนาดและรูปร่างเป็นได้ตั้งแต่แท่งหรือแผ่นขนาดเล็กจนแทบไม่สามารถมองเห็นได้ ไปจนถึงขนาดใหญ่จนสะดุดตา ซึ่งต่างก็มีความเหมาะสมกับชนิดงานที่แตกต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 2-18 และภาพที่ 2-19

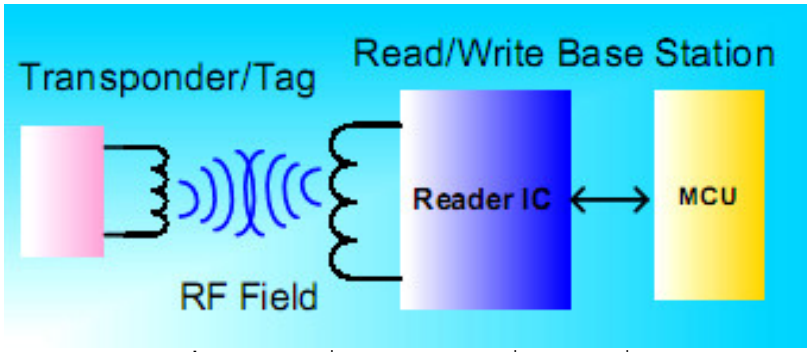


**ภาพที่ 2-18** วงจรภายในแท็กชนิดพาสซีฟ



**ภาพที่ 2-19** รูปร่างภายนอกของแท็กแบบต่างๆ

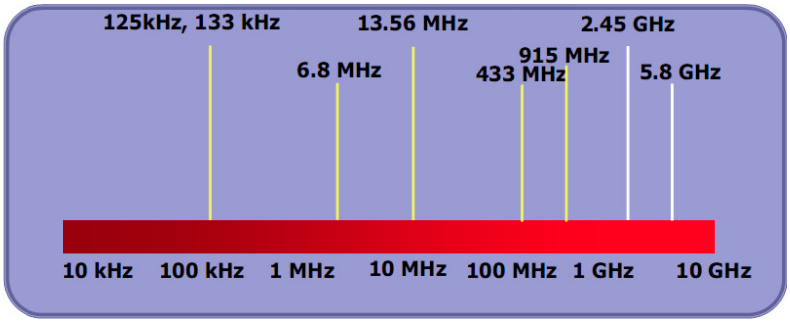
ส่วนที่สองก็คืออุปกรณ์สำหรับอ่านหรือเขียนข้อมูลภายในแท็กมีชื่อเรียกว่า ทรานสซิฟเวอร์ (Transceiver) หรือที่เรียกกันโดยทั่วๆ ไปว่าเครื่องอ่าน/เขียนข้อมูลภายในแถบป้าย (Interrogator/ Reader) ทั้งสองส่วนจะสื่อสารกันโดยอาศัยช่องความถี่วิทยุ เมื่อเครื่องอ่านส่งข้อมูลผ่านความถี่วิทยุแสดงถึงความต้องการข้อมูลที่ถูกระบุไว้จากป้าย ป้ายจะตอบข้อมูลกลับและเครื่องอ่านจะส่งข้อมูลต่อไปยังส่วนประมวลผลหลัก ดังแสดงในภาพที่ 2-20




**ภาพที่ 2-20** การสื่อสารกันด้วยเคลื่อนความถี่วิทยุ

**ภาพที่ 2-21** ลักษณะเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีที่แตกต่างกันตามการใช้งาน

ย่านคลื่นความถี่ที่ใช้ในระบบอาร์เอฟไอดี ในปัจจุบันคลื่นพาหะที่ใช้งานกันในระบบอาร์เอฟไอดี จะอยู่ในย่านความถี่พลเรือน ISM (Industrial-Scientific-Medical) ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่ใช้งานในเชิงการแพทย์ วิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม โดยแบ่งออกได้เป็น 4 ย่าน ใหญ่ๆ (ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์และคณะ, 2552) ได้แก่




**ภาพที่ 2-22** ย่านความถี่ที่ระบบอาร์เอฟไอดีถูกใช้งาน

ย่านความถี่ต่ำ (Low Frequency : LF) ต่ำกว่า 150 กิโลเฮิรตซ์ (kHz)

ย่านความถี่สูง (High Frequency : HF) 13.56/27.125 เมกะเฮิรตซ์ (MHz)

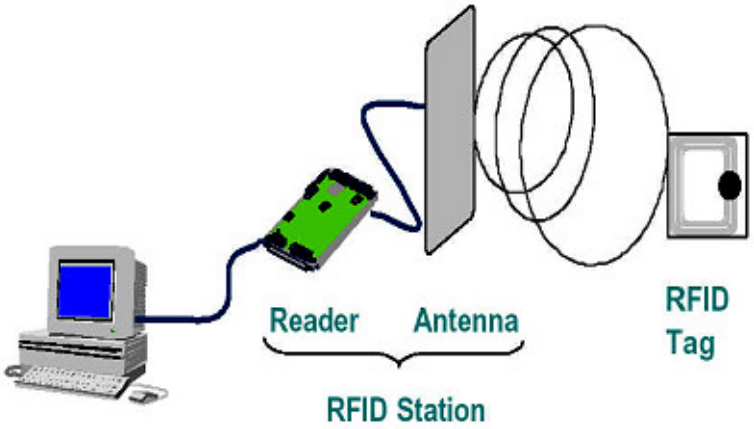
ย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra High Frequency : UHF) 433/868/915 เมกะเฮิรตซ์ (MHz)

ย่านความถี่ไมโครเวฟ (Microwave Frequency) 2.4/5.8 จิกะเฮิรตซ์ (GHz)

**ตารางที่ 2-2** การเปรียบเทียบเคลื่อนความถี่ที่ใช้งานในแต่ละย่านความถี่กับระยะการอ่าน

| ความถี่ | ระยะที่อ่านได้ | การใช้งาน |
|---|---|---|
| 125-134 kHz | น้อยกว่า 1 เมตร (10 เซนติเมตร) | ควบคุมการเข้า-ออก |
| 13.56 MHz | น้อยกว่า 1.5 เมตร (~1 เมตร) | ปศุสัตว์ |
| 860-960 MHz | 2-5 เมตร และ<br>1-150 เมตร (แท็กส์ชนิดแอ็กตีฟ) | ระบบคงคลัง |
| 2.45 GHz | น้อยกว่า 1 เมตร (แท็กส์ชนิดพาสซีฟ)<br>และ 1-15 เมตร (แท็กส์ชนิดแอ็กตีฟ) | รถยนต์ |

ส่วนที่สามได้แก่ระบบประยุกต์ใช้งานในด้านหุ่นยนต์ค้นหาตำแหน่ง และระบบฮาร์ดแวร์ซอร์ฟแวร์ประยุกต์หรือระบบฐานข้อมูล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระบบการใช้งานที่เกี่ยวข้อง เช่นระบบข้อมูลสินค้า ระบบบริหารงานบุคคล ฯลฯ โดยเครื่องอ่านจะติดต่อสื่อสารกันกับคอมพิวเตอร์โดยผ่านสายเครือข่าย LAN (Local Area Network) หรือส่งผ่านทางความถี่วิทยุจากทั้งอุปกรณ์มีสายและอุปกรณ์ไร้สาย ดังภาพที่ 2-23




**ภาพที่ 2-23** ระบบอาร์เอฟไอดี

**2.7.2 การป้องกันการชนกันของสัญญาณข้อมูล (Anti-Collision)**

ในการที่จะรับข้อมูลจากแท็กหลายๆ อัน ทั้งตัวแท็กและตัวเครื่องอ่านต้องได้รับการออกแบบให้รองรับสภาวะที่มีแท็กมากกว่า 1 อันทำงาน (ส่งสัญญาณ) มิเช่นนั้นแล้วสัญญาณพาหะก็จะมีการส่งออก ในเวลาเดียวกันทำให้เกิดการชนของสัญญาณ (Collusion) จะทำให้ไม่มีข้อมูลใดๆ ส่งถึงตัวเครื่องอ่านเลย การติดต่อระหว่างแท็กกับตัวเครื่องอ่านเปรียบเสมือนบัสแบบอนุกรม แต่บัสชนิดนี้จะใช้อากาศเป็นตัวกลางในการส่งสัญญาณ ในระบบบัสที่ใช้เคเบิ้ลเป็นตัวกลางก็ต้องมีการควบคุมไม่ให้เกิดการชนกันของสัญญาณอาร์เอฟไอดี ก็จำเป็นที่จะต้องมีการป้องกันให้มีการส่งสัญญาณจากแท็กอันเดียวต่อช่วงเวลานั้นเช่นกัน

**2.7.3 หลักการทำงานเบื้องต้นของระบบอาร์เอฟไอดี**

1) ตัวอ่านข้อมูลจะปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาตลอดเวลาและคอยตรวจจับว่ามีแท็กเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหรือไม่ หรืออีกนัยหนึ่งก็คือการคอยตรวจจับว่ามีการมอดูเลตสัญญาณเกิดขึ้นหรือไม่

2) เมื่อมีแท็กเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้า แท็กจะได้รับพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อให้แท็กเริ่มทำงาน และจะส่งข้อมูลในหน่วยความจำที่ผ่านการมอดูเลตกับคลื่นพาหะแล้วออกมาทางสายอากาศที่อยู่ภายในแท็ก

3) คลื่นพาหะที่ถูกส่งออกมาจากแท็กจะเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมปลิจูด ความถี่หรือเฟสขึ้นอยู่กับวิธีการมอดูเลต

4) ตัวอ่านข้อมูลจะตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของคลื่นพาหะแปลงออกมาเป็นข้อมูลแล้วทำการถอดรหัสเพื่อนำข้อมูลไปใช้งานต่อไป

**2.7.4 ระยะการรับส่งข้อมูลและกำลังส่ง**

ระยะการรับส่งข้อมูลในระบบอาร์เอฟไอดีขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญต่างๆ คือกำลังส่งของตัวอ่านข้อมูล (Reader/Interrogator Power) กำลังส่งของแท็ก (Tag Power) และสภาพแวดล้อมส่วนการ

ออกแบบสายอากาศของตัวอ่านข้อมูล จะเป็นตัวกำหนดลักษณะรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่กระจายออกมาจากสายอากาศ ดังนั้นระยะทางการรับส่งข้อมูลบางทีอาจขึ้นอยู่กับมุมของการรับส่งระหว่างแท็กและตัวอ่านข้อมูลด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสำคัญ ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทั่วไปจะลดลงตามระยะทางโดยแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสอง แต่ในบางสภาพแวดล้อมซึ่งอาจมีการสะท้อนกลับของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสิ่งต่างๆ รอบตัว เช่น โลหะ ก็อาจทำให้ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าลดลงอย่างรวดเร็ว โดยอาจจะแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสี่ ปรากฏการณ์เช่นนี้เราเรียกว่า "Multi-path Attenuation" ซึ่งจะส่งผลให้ระยะการรับส่งข้อมูลสั้นลง หรือแม้กระทั่งความชื้นในอากาศก็อาจมีผลในกรณีที่ความถี่สูงๆ ดังนั้นการนำระบบอาร์เอฟไอดี ไปใช้งานก็ควรมีการคำนึงถึงสภาพแวดล้อม เพราะจะมีผลกระทบกับระยะทางการรับส่งข้อมูลและพยายามติดตั้งระบบให้ห่างไกลจากโลหะ อาจทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้กำลังส่งของแท็กที่จะส่งกลับมายังตัวอ่านข้อมูลนั้น โดยทั่วไปจะมีกำลังที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับกำลังส่งของ ตัวอ่านข้อมูล ดังนั้นความไวในการตรวจจับสัญญาณของตัวอ่านข้อมูล ก็เป็นอีกจุดหนึ่งที่ต้องพิจารณาถึงแม้ในทางเทคนิคเราจะสามารถทำให้ตัวอ่านข้อมูลมีกำลังส่งมากแค่ไหนก็ได้แต่โดยทั่วไปก็จะถูกจำกัดโดยกฎหมายของแต่ละประเทศ เช่นเดียวกับความถี่ ดังนั้นในระบบอาร์เอฟไอดีโดยทั่วๆ ไปจะมีกำลังส่งเพียงระหว่าง 100 -500 มิลลิวัตต์

**2.7.5 ประสิทธิภาพของย่านความถี่ใช้งาน**

ในการที่ออกแบบระบบอาร์เอฟไอดีสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงคือการเลือกใช้งานย่านความถี่ของระบบอาร์เอฟไอดี (Gueaieb and W.Miah, 2008) ซึ่งย่านความถี่แต่ละย่านมีคุณสมบัติและประสิทธิภาพแตกต่างกันดังนี้

1) ย่านความถี่ต่ำ (Low Frequency : LF) จะอยู่ในช่วงความถี่ 30-300 KHz ระบบอาร์เอฟไอดีที่ใช้ย่านความถี่ต่ำมีคุณสมบัติดังนี้

1.1) ระยะการอ่านที่สั้น ระยะการอ่านของระบบอาร์เอฟไอดีที่ใช้งานในย่านความถี่ LF นั้น มีระยะการอ่านที่สั้น (น้อยกว่าครึ่งเมตร)

1.2) ความเร็วในการอ่านที่ช้า เป็นที่ทราบกันว่าถ้าใช้ความถี่ที่สูง ระยะการอ่านก็จะสูงและการส่งข้อมูลก็จะรวดเร็วยิ่งขึ้น ดังนั้นถ้าใช้งานย่านความถี่ต่ำ ความเร็วในการอ่านข้อมูลก็จะช้ามีการดูดกลืนน้อย ความยาวคลื่นเป็นส่วนกลับของความถี่ ดังนั้นถ้าใช้ความถี่ต่ำในระบบอาร์เอฟไอดีก็จะทำให้ความยาวคลื่นนั้นสูงขึ้น เมื่อความยาวคลื่นนั้นสูงขึ้นสัญญาณที่ใช้ความถี่ LF ก็จะถูกดูดกลืนได้ยากในชั้นบรรยากาศ (Atmosphere) และสามารถเดินทางทะลุผ่านโลหะได้ จึงทำให้ระบบอาร์เอฟไอดีที่ใช้ความถี่ต่ำเหมาะกับการใช้งานในน้ำและโลหะเนื่องจากระบบอาร์เอฟไอดีที่ใช้ความถี่ต่ำจะมีระยะการอ่านที่สั้นและถูกดูดกลืนคลื่นน้อย จึงนิยมนำไปใช้ในงานที่ต้องการการใช้งานอย่างหนัก

เช่น การควบคุมการเข้าถึง (Access control) การติดตามสัตว์และคน (Animal and personnel tracking) และ Vehicle immobilizer เป็นต้น

2) ย่านความถี่สูง (High Frequency : HF) มีช่วงความถี่ 3-30 MHz ซึ่งในระบบอาร์เอฟไอดีจะใช้ความถี่ 13.56 MHz ซึ่งเป็นความถี่ที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไป ระบบอาร์เอฟไอดีที่ใช้ย่านความถี่สูงมีคุณสมบัติดังนี้

2.1) ระยะการอ่านจะอยู่ประมาณ 3 เมตร

2.2) เนื่องจากความถี่สูงมีความยาวคลื่นที่สั้นจึงทำให้ไม่สามารถแพร่กระจายผ่านโลหะได้

2.3) มีความเร็วในการส่งข้อมูลที่เพิ่มขึ้นมากกว่าระบบอาร์เอฟไอดีที่ใช้ความถี่ต่ำ จากคุณสมบัติต่างๆ เหล่านี้ระบบอาร์เอฟไอดีที่ใช้ในย่านความถี่สูงจึงเหมาะกับการใช้งานทางด้านการควบคุมการเข้าออกอาคาร (Building access control) การติดตามสินค้า (Item level tracking) และห้องสมุด เป็นต้น ในปัจจุบันนี้ย่านความถี่ 13.56 MHz ถือเป็นความถี่มาตรฐานที่ใช้กันในระบบอาร์เอฟไอดีย่านความถี่สูงที่ใช้กันทั่วไปอย่างกว้างขวาง

3) ย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra High Frequency : UHF) มีช่วงความถี่อยู่ที่ 300 MHz ถึง 3 GHz โดยระบบอาร์เอฟไอดี จะใช้ความถี่ 344 MHz และ 860-960 MHz ซึ่งถือว่าเป็นความถี่ที่มีความเร็วในการอ่านข้อมูลที่สูง สำหรับคุณสมบัติโดยทั่วไปของระบบอาร์เอฟไอดี ที่ใช้ย่านความถี่สูงยิ่งมีดังนี้

3.1) เนื่องจากมีความยาวคลื่นที่สั้นทำให้ถูกดูดกลืนได้ง่ายด้วยของเหลวและโลหะ ทำให้ระยะการอ่านนั้นลดลง

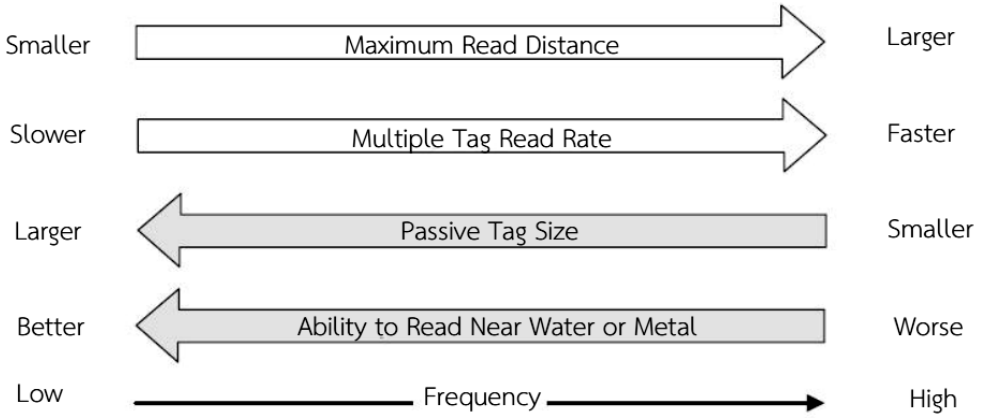
3.2) สามารถอ่านและเขียนข้อมูลได้รวดเร็วทำให้มีโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดมากขึ้นซึ่งความถี่ UHF ในแต่ละประเทศนั้นมีความแตกต่างกันทำให้ไม่สามารถนำระบบ อาร์เอฟไอดีไปใช้งานได้ในทุกประเทศมีอุปกรณ์หลายอย่างที่ทำงานในความถี่นี้ทำให้อาจเกิดการแทรกแซงด้วยความถี่จากอุปกรณ์อื่นๆได้ง่ายอย่างไรก็ตามเนื่องจากระบบอาร์เอฟไอดีที่ทำงานย่านความถี่สูงยิ่งมีความเร็วในการอ่านที่สูงและมีระยะการอ่านที่มาก ทำให้เหมาะสำหรับนำไปใช้งานทางด้านการเก็บเงินอัตโนมัติ (Automated toll collection) การจัดการคลังสินค้า (Warehouse management) และ การติดตามรายการสินค้า เป็นต้น

4) ย่านความถี่ไมโครเวฟ (Microwave Frequency) มีช่วงความถี่อยู่ที่ 1 GHz ถึง 300 GHz โดยระบบ อาร์เอฟไอดีจะใช้ความถี่ 2.44 GHz และ 5.80 GHz ซึ่งเป็นความถี่ที่มีความเร็วในการอ่านข้อมูลที่สูงมากระบบอาร์เอฟไอดีที่ใช้ย่านความถี่ไมโครเวฟมีคุณสมบัติดังนี้

4.1) มีความเร็วในการอ่านที่สูง และสามารถรับส่งข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว

4.2) สามารถอ่านข้อมูลได้ในระยะไกล

4.3) มีประสิทธิภาพต่ำเมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมที่มีน้ำและโลหะ เนื่องจากมีความยาวคลื่นสั้นมากจากคุณสมบัติที่กล่าวมานั้นจึงทำให้ระบบอาร์เอฟไอดีที่ใช้งานย่านความถี่ไมโครเวฟเหมาะสำหรับการนำไปใช้งานทางด้านการควบคุมการเข้าถึงระยะไกลของพาหนะ การระบุที่ตั้งยานพาหนะ การเก็บเงินค่าทางด่วนอัตโนมัติและห่วงโซ่อุปาทาน (Supply chain) เป็นต้น ดังนั้นจากข้อดีและข้อเสียที่พบในระบบอาร์เอฟไอดีที่ใช้งานในย่านความถี่ต่างๆ สามารถสรุปได้ตามภาพที่ 2-24 ในทางปฏิบัติระบบอาร์เอฟไอดีมีความถี่ใช้งานหลายความถี่ โดยที่แต่ละความถี่จะมีความแตกต่างกันในทางด้านต่างๆ เช่น ระยะการอ่าน ความเร็วในการอ่าน และการใช้งานในสภาพ แวดล้อมต่างๆ เป็นต้น จึงนำไปสู่การใช้งานที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปประสิทธิภาพของระยะการอ่านของระบบอาร์เอฟไอดีจะขึ้นกับปัจจัยหลายอย่างดังตารางที่ 2-3




**ภาพที่ 2-24** คุณสมบัติของระบบอาร์เอฟไอดีเมื่อใช้งาน ณ ย่านความถี่ต่างๆ

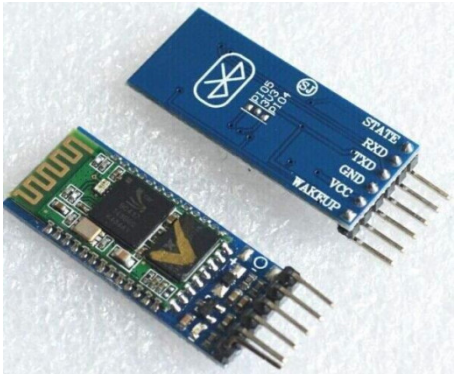
**ตารางที่ 2-3** เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของระบบอาร์เอฟไอดี ที่ใช้งานในย่านความถี่ต่างๆ

| ความถี่ | ข้อดี | ข้อเสีย |
|---|---|---|
| LF | ใช้งานได้ทั่วไปและดีในสภาพแวดล้อมที่มีน้ำและโลหะ | ระยะการอ่านต่ำและความเร็วในการอ่านข้อมูลช้า |
| HF | ความแน่นอนและความเร็วในการอ่านและสามารถเก็บข้อมูลได้มากขึ้น | ต้องการพลังงานที่มากขึ้น |
| UHF | ความเร็วในการอ่านข้อมูลสูงระยะการอ่านไกลและสามารถเก็บข้อมูลได้มาก | ทำงานได้ไม่ดีในสภาพแวดล้อมที่มีน้ำและโลหะ |
| Microwave | อ่านข้อมูลที่รวดเร็วมากและระยะการอ่านไกล | ทำงานได้ไม่ดีในสภาพแวดล้อมที่มีน้ำและโลหะ |

## 2.8 การสื่อสารไร้สายด้วยบลูทูธ (Bluetooth)

### 2.8.1 บลูทูธ

บลูทูธคือระบบสื่อสารของอุปกรณ์อิเล็คทรอนิกส์แบบสองทาง ด้วยคลื่นวิทยุระยะสั้น (Short -Range Radio Links) โดยปราศจากการใช้สายเคเบิ้ลหรือสายสัญญาณเชื่อมต่อและไม่จำเป็นจะต้องใช้การเดินทางแบบเส้นตรงเหมือนกับอินฟราเรด (Infrared: IR) ซึ่งถือว่าเพิ่มความสะดวกมากกว่าการเชื่อมต่อแบบอินฟราเรด ที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างโทรศัพท์มือถือกับอุปกรณ์ในโทรศัพท์เคลื่อนที่รุ่นก่อนๆ และในการวิจัย ไม่ได้มุ่งเฉพาะการส่งข้อมูลเพียงอย่างเดียว แต่ยังศึกษาถึงการส่งข้อมูลที่เป็นเสียง เพื่อใช้สำหรับ Headset บนโทรศัพท์มือถือด้วยเทคโนโลยีบลูทูธ เป็นเทคโนโลยีสำหรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบไร้สายที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในปัจจุบัน ทั้งในเรื่องความสะดวกในการใช้งานสำหรับผู้ใช้ทั่วไป และประสิทธิภาพในการทำงาน เนื่องจากเทคโนโลยีบลูทูธมีราคาถูก ใช้พลังงานน้อย และใช้เทคโนโลยี Short – range ซึ่งในอนาคตจะถูกนำมาใช้ในการพัฒนาเพื่อนำไปสู่การแทนที่ อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้สายเคเบิล เช่น Headset สำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นต้น เทคโนโลยีการเชื่อม โยงหรือการสื่อสารแบบใหม่ที่ถูกคิดค้นขึ้น เป็นเทคโนโลยีของอินเตอร์เฟส (Interface) ทางคลื่นวิทยุตั้งอยู่บนพื้นฐานของการสื่อสารระยะใกล้ที่ปลอดภัยผ่านช่องสัญญาณความถี่ 2.4 GHz โดยได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อลดข้อจำกัดของการใช้สายเคเบิลในการเชื่อมโยงโดยมีความเร็วในการเชื่อมโยงสูงสุดที่ 1 Mbps ระยะครอบคลุม 10 เมตร เทคโนโลยีการส่งคลื่นวิทยุของบลูทูธจะใช้การกระโดดเปลี่ยนความถี่ (Frequency hop) เพราะว่าเทคโนโลยีนี้เหมาะที่จะใช้กับการส่งคลื่นวิทยุที่มีกำลังส่งต่ำและราคาถูก โดยจะแบ่งออกเป็นหลายช่องความถี่ขนาดเล็ก ในระหว่างที่มีการเปลี่ยนช่องความถี่ที่ไม่แน่นอนทำให้สามารถหลีกหนีสัญญาณรบกวนที่เข้ามาแทรกแซงได้ ซึ่งอุปกรณ์ที่จะได้รับการยอมรับว่าเป็นเทคโนโลยีบลูทูธ จึงต้องผ่านการทดสอบจาก Bluetooth SIG (Special Interest Group) เสียก่อนเพื่อยืนยันว่ามันสามารถที่จะทำงานร่วมกับอุปกรณ์บลูทูธตัวอื่นๆและอินเตอร์เน็ต (Internet) ได้ (ศุภโชค ซื่อตรงและคฑา ถิตย์เจิม, 2554) ตัวอย่างโมดูลบลูทูธที่ใช้ในการทดลองดังภาพที่ 2-25




**ภาพที่ 2-25** โมดูลบลูทูธรุ่น HC-05

**2.8.2 ระบบการทำงานของบลูทูธ**

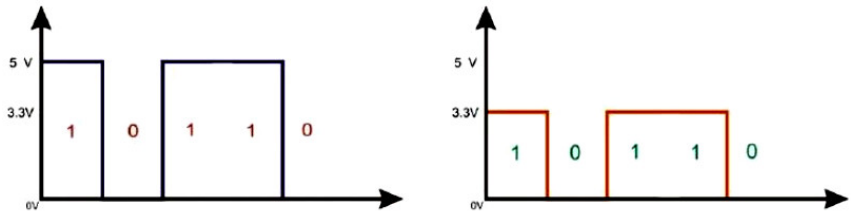
บลูทูธ จะใช้สัญญาณวิทยุความถี่สูง 2.4 GHz แต่จะแยกย่อยออกไปตามแต่ละประเทศ ดังเช่นอย่างในแถบยุโรปและแถบอเมริกา จะใช้ช่วงตั้งแต่ 2.400 ถึง 2.4835 GHz. แบ่งออกเป็น 79 ช่องสัญญาณ และจะใช้ช่องสัญญาณที่แบ่งนี้ เพื่อส่งข้อมูลสลับช่องไปมา 1,600 ครั้งต่อ 1 วินาที ส่วนที่ญี่ปุ่นจะใช้ความถี่ 2.402 ถึง 2.480 GHz แบ่งออกเป็น 23 ช่อง ระยะทำการของ Bluetooth จะอยู่ที่ 5-10 เมตร โดยมีระบบป้องกันโดยใช้การป้อนรหัสก่อนการเชื่อมต่อและป้องกันการดักสัญญาณระหว่างสื่อสาร โดยระบบจะสลับช่องสัญญาณไปมา จะมีความสามารถในการเลือกเปลี่ยนความถี่ที่ใช้ในการติดต่อเองอัตโนมัติ โดยที่ไม่จำเป็นต้องเรียงตามหมายเลขช่อง ทำให้การดักฟังหรือลักลอบขโมยข้อมูลทำได้ยากขึ้น

**2.8.3 ทฤษฎีการติดต่อผ่านระบบไร้สายแบบบลูทูธ**

งานวิจัยนี้จะนำเทคโนโลยีโมดูลสื่อสารข้อมูลอนุกรมไร้สายที่ใช้คลื่นวิทยุความถี่สูงย่าน ISM Band 2.4 GHz มาใช้ในการติดต่อควบคุมระหว่างโน้ตบุ๊กคอมพิวเตอร์กับหุ่นยนต์ โดยชุดส่งคลื่นวิทยุจะทำหน้าที่รอรับข้อมูลจากพอร์ตสื่อสาร UART จากขา RX ของไมโครคอนโทรเลอร์ของหุ่นยนต์แล้วแปลงเป็นสัญญาณความถี่ (GFSK) ส่งออกไปในอากาศ และในทางกลับกันในโหมดการทำงานแบบรับ (Receiver) ชุดรับคลื่นวิทยุจะทำหน้าที่คอยตรวจจับข้อมูลที่อยู่ในรูปของสัญญาณความถี่ (GFSK) จากด้าน RF เพื่อแปลงกลับแล้วส่งไปยังโน้ตบุ๊กคอมพิวเตอร์

**2.8.4 การติดต่อผ่านพอร์ตอนุกรมเชื่อมต่อระบบไมโครคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอก**

การสื่อสารแบบอนุกรม นับว่ามีความสำคัญต่อการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์มากเพราะสามารถใช้แป้นพิมพ์และจอภาพของคอมพิวเตอร์เป็นอินพุตและเอาต์พุต ในการติดต่อหรือควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยสัญญาณอย่างน้อย เพียง 3 เส้นเท่านั้น คือ สายส่งสัญญาณ TX สายรับสัญญาณ RX และสาย GND โดยปกติการต่อพอร์ตอนุกรม หรือ RS-232 จะขึ้นอยู่กับชนิดของสายสัญญาณ ระยะทางและปริมาณสัญญาณรบกวนสัญญาณระดับ TTL (Transistor-Transistor Logic) เป็นระดับแรงดันที่ถูกกำหนดขึ้น ในยุคแรกๆเพื่อใช้ระหว่าง Transistor กับ Transistor ภายในวงจรรวม (IC) ดังนั้น TTL จะใช้ระดับแรงดัน อยู่ที่ 0 – 5 V แต่ในปัจจุบันมีอุปกรณ์หลายเบอร์ที่ทำงานในช่วง 0 – 3.3 V (Low Voltage Logic Threshold Levels: LVTTL) ดังภาพที่ 2-26 ซึ่งผู้ใช้ควรตรวจสอบจากคู่มือของอุปกรณ์ที่ใช้เสียก่อนว่าเป็นระดับแรงดันแบบใดเพราะหากใช้ผิดประเภทจะทำให้อุปกรณ์เสียหาย

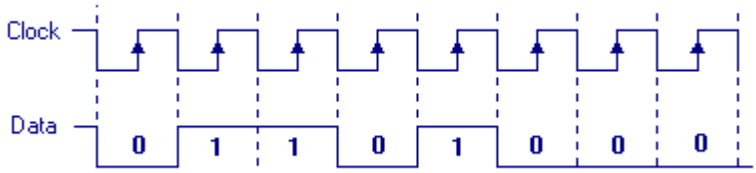



TTL 0-5V TTL 0-3.3V

**ภาพที่ 2-26** แสดงค่าแรงดันของสัญญาณ TTL 5V และ 3V

UART ย่อมาจาก Universal Asynchronous Receiver Transmitter หมายถึงอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในการสื่อสารอนุกรม ซึ่งการสื่อสารอนุกรมจะแบ่งการการทำงานออกเป็น 2 แบบ (วิทูล สุจริตและสทัสนัยน์ แสงชาติ, 2555) คือ

1) การสื่อสารอนุกรมแบบ Synchronous เป็นรูปแบบที่ใช้วิธีส่งข้อมูล โดยใช้สัญญาณนาฬิกา (Clock) มาเป็นตัวกำหนดจังหวะเวลาการส่งข้อมูลร่วมอยู่ด้วยอีกเส้นหนึ่ง ใช้คู่กับสัญญาณข้อมูลตัวอย่างเช่น การส่งสัญญาณจากคีย์บอร์ด เป็นต้น การส่งข้อมูลแบบนี้เป็นการรับส่งที่ค่อนข้างมีคุณภาพ และส่งได้ที่ความเร็วสูงมีโอกาสที่ข้อมูลจะสูญหายระหว่างการส่งน้อย ตัวอย่างการส่งข้อมูลลักษณะนี้เช่น $I^2C$, $I^2S$, SPI ข้อเสียของการส่งข้อมูลแบบนี้คือ ต้องใช้สายสัญญาณมาก เพราะว่าต้องส่ง Clock ไปด้วย ดังภาพที่ 2-27




**ภาพที่ 2-27** การสื่อสารอนุกรมแบบ Synchronous

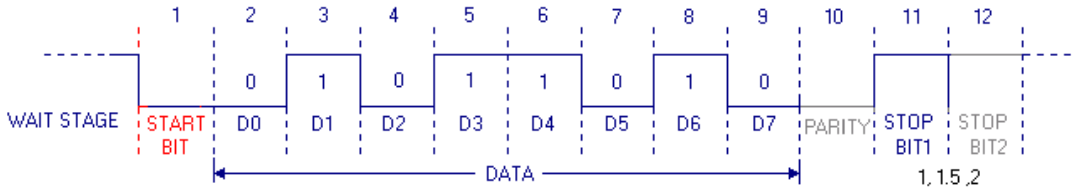
2) การสื่อสารอนุกรมแบบ Asynchronous เป็นการส่งข้อมูลที่ไม่ต้องใช้สัญญาณ Clock มาเป็นตัวกำหนดจังหวะการรับส่งข้อมูลแต่ใช้วิธีกำหนดรูปแบบ (Format) การรับส่งข้อมูลขึ้นมาแทน และอาศัยการกำหนดความเร็วของการรับและส่งที่เท่ากันทั้งฝั่งรับและฝั่งส่งมีอัตราส่งข้อมูลที่เท่ากัน ดังภาพที่ 2-28 รูปแบบข้อมูลแบบอะซิงโครนัส ประกอบด้วย 4 ส่วนคือ

2.1) บิตเริ่มต้น (Start bit) มีขนาด1 บิต

2.2) บิตข้อมูล (Data) มีขนาด 5,6,7 หรือ 8 บิต

2.3) บิตตรวจสอบพาริตี้ (Parity bit) มีขนาด 1 บิตหรือไม่มี

2.4) บิตหยุด (Stop bit) มีขนาด 1, 1.5, 2 บิต




**ภาพที่ 2-28** การสื่อสารอนุกรมแบบ Asynchronous

- เมื่อไม่มีการส่งข้อมูลขา data มีสถานะเป็นโลจิก "1" หรือสถานะหยุดรอ (Waiting stage)
- เมื่อเริ่มต้นส่งข้อมูลจะให้ขา data เป็นโลจิก "0" เป็นจำนวน 1 บิต เรียกว่าบิตเริ่มต้น (Start bit)
- จากนั้นก็จะเริ่มต้นส่งข้อมูล โดยส่งบิตต่ำไปก่อน (LSB)
- แล้วตามด้วยพาริตี้บิต (จะมีหรือไม่ก็ได้ ขึ้นอยู่กับการติดตั้งค่า ของทั้งสองฝ่าย)
- สุดท้ายตามด้วยโลจิก "1" อย่างน้อย 1 บิต (มีขนาด 1, 1.5, หรือ 2 บิต) เพื่อแสดงว่าสิ้นสุดข้อมูล

การรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมยังแบ่งออกเป็นลักษณะการใช้งานได้ 3 แบบคือ

(1) แบบซิมเพลกซ์ (Simplex) เป็นการส่ง หรือรับข้อมูล แบบทิศทางเดียว เท่านั้น

(2) แบบฮาล์ฟดูเพลกซ์ (Half Duplex) เป็นการส่งและรับข้อมูลแบบสลับกัน คือ เมื่อด้านหนึ่งส่ง อีกด้านหนึ่งเป็นฝ่ายรับ สลับกันไม่สามารถรับ-ส่งในเวลาเดียวกันได้

(3) แบบฟลูดูเพลกซ์ (Full Duplex) สามารถรับ-ส่งข้อมูลในเวลาเดียวกันได้

## 2.9 โปรแกรมไมโครซอฟต์วิชวลเบสิก (Microsoft Studio Visual basic)

โปรแกรมวิชวลเบสิก (Visual Basic: VB) เป็นโปรแกรมสำหรับพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ที่กำลังเป็นที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบัน โปรแกรมวิชวลเบสิกเป็นโปรแกรมที่ได้ปรับเปลี่ยนรูปแบบการเขียนโปรแกรมใหม่โดยมีชุดคำสั่งมาสนับสนุนการทำงาน มีเครื่องมือต่างๆที่เรียกว่าคอนโทรล (Controls) ไว้สำหรับช่วยในการออกแบบโปรแกรมโดยเน้นการออกแบบหน้าจอแบบกราฟิก หรือที่เรียกว่าจียูไอ (Graphic User Interface: GUI) ทำให้การจัดรูปแบบหน้าจอเป็นไปได้ง่ายและในการเขียนโปรแกรมนั้นจะเขียนแบบ Event-Driven Programming คือ โปรแกรมจะทำงานก็ต่อเมื่อเหตุการณ์ (Event) เกิดขึ้น ตัวอย่างของเหตุการณ์ได้แก่ผู้ใช้เลื่อนเมาส์ ผู้ใช้กดปุ่มบนคีย์บอร์ด ผู้ใช้กดปุ่มเมาส์ เป็นต้น เครื่องมือหรือคอนโทรลต่างๆ ที่วิชวลเบสิกได้เตรียมไว้ให้ไม่ว่าจะเป็น MSComm ฯลฯ ซึ่งในวิชวลเบสิกจะเป็นออบเจ็กต์ทั้งสิ้น สามารถที่จะควบคุมการทำงานแก้ไขคุณสมบัติของออบเจ็กต์นั้นได้โดยตรงในทุกๆ ออบเจ็กต์จะมีคุณสมบัติ (Properties) และเมธอด (Methods) ประจำตัว ซึ่งในแต่ละออบเจ็กต์อาจจะมีคุณสมบัติและวิธีคิด (Method) ที่เหมือนหรือต่างกันก็ได้ขึ้นอยู่กับชนิดของออบเจ็กต์ในการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ด้วยวิชวลเบสิก การเขียนโค้ดจะถูกแบ่งออกเป็นส่วนๆ เรียกว่า

โพรซีเดอร์ (Procedure) แต่ละโพรซีเดอร์จะประกอบไปด้วย ชุดคำสั่งที่พิมพ์เข้าไปแล้วทำให้การทำงานคอนโทรลหรือออบเจ็กต์นั้นๆ ตอบสนองการกระทำของผู้ใช้ซึ่งเรียกว่าการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ ( Object Oriented Programming-OOP) แต่ตัวภาษาวิชวลเบสิก ยังไม่ถือว่าเป็นการเขียนโปรแกรมแบบ OOP อย่างแท้จริงเนื่องจากข้อจำกัดหลายๆ อย่างที่วิชวลเบสิกไม่สามารถทำได้ (ศุภโชค ซื่อตรงและคฑา ถิตย์เจิม, 2554)

**2.9.1 เหตุผลที่เลือกใช้ Visual Basic Express 2010**

เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่สามารถเรียนรู้และเข้าใจได้ในเวลาอันสั้น เพราะว่าภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมหรือคำสั่งค่อนข้างใกล้เคียงกับคำพูดหรือคำสั่งทั่วไป ซึ่งเป็นข้อดีอย่างหนึ่งของวิชวลเบสิกที่มีไม่เหมือนกับโปรแกรมอื่น วิชวลเบสิกกำลังเป็นที่นิยมของนักเขียนโปรแกรม (Programmer) อย่างมาก ทำให้มีการพัฒนาและวิจัยอย่างต่อเนื่อง และปัจจุบันทำให้มีแอพพลิเคชั่นต่างๆ จากการพัฒนาโดยภาษา วิชวลเบสิกและแอพพลิเคชั่นที่เกี่ยวกับการควบคุมด้วยเสียงนี้ก็เป็นหนึ่งในหลายๆ แอพพลิเคชั่นของวิชวลเบสิก

## 2.10 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและเอกสารอ้างอิง

งานวิจัยของ ซื่อตรงและคฑา ถิตย์เจิม (2554) เป็นการนำเสนอการควบคุมหุ่นยนต์ผ่านอุปกรณ์สื่อสารข้อมูลอนุกรมไร้สายที่ใช้คลื่นวิทยุความถี่สูงย่าน ISM Band 2.4 GHz มาใช้ในการควบคุมติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับหุ่นยนต์โดยชุดส่งคลื่นวิทยุจะทำหน้าที่รอรับข้อมูลจากพอร์ตสื่อสารอนุกรม RS232 แล้วส่งไปยังไมโครคอนโทรเลอร์ของตัวหุ่นยนต์ ผลที่ได้คือหุ่นยนต์สามารถทำงานด้วยระบบสั่งการไร้สายจากคอมพิวเตอร์ได้ ซึ่งการทดลองนี้ทำการส่งข้อมูลออกไปเท่านั้นไม่ได้รับข้อมูลเข้ามาเพื่อวิเคราะห์หรืออธิบายเหตุการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้น รวมทั้งสัญญาณความถี่ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างกันอาจถูกรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอกได้ง่าย จากการให้ข้อเสนอแนะของการปรับปรุงครั้งต่อไป

งานวิจัยของ วิทูล สุจริตและสทัสนัยน์ แสงชาติ (2555) ได้อธิบายถึงแนวทางการออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์แขนกลควบคุมไร้สายผ่านคอมพิวเตอร์และแขนควบคุม เพื่อให้สามารถเข้าไปยังพื้นที่เสี่ยงอันตรายและปฏิบัติหน้าที่แทนมนุษย์ ซึ่งหุ่นยนต์นี้มีความสามารถคีบ หยิบจับหรือยกวัตถุได้จากการควบคุมของมนุษย์ โดยมนุษย์สามารถควบคุมการทางานของหุ่นยนต์ได้ในระยะไกล โดยที่ไม่ต้องเข้าไปใกล้พื้นที่เสี่ยงอันตราย จากผลการทดสอบการทำงานพบว่ามีผลลัพธ์ที่ถูกต้องแม่นยำ มีความผิดพลาดน้อย ส่วนเวลาที่ใช้ในการตอบสนองก็ใช้เวลาน้อยทำให้แขนควบคุมตอบสนองได้เป็นอย่างดี แขนควบคุมและแขนกลถูกออกแบบให้มี 6 องศาอิสระทำให้มีความอิสระในการเคลื่อนไหวใกล้เคียงกับแขนมนุษย์ ซึ่งการทำงานดังกล่าวขึ้นอยู่กับระยะทาง การรับส่งข้อมูลมากก็อาจทำให้

ประสิทธิภาพการรับ-ส่งข้อมูลลดลงหรือร้ายแรงที่สุดคือไม่สามารถใช้งานได้เลยจนกว่าสิ่งรบกวนนั้นจะน้อยลงหรือหายไป จึงจะสามารถทำงานต่อได้

งานวิจัยของ ธเนศ สุขเจริญ (2554) เป็นการนำเสนองานวิจัยออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์เพื่อหลีกเลี่ยงหรือข้ามสิ่งกีดขวางแบบอัตโนมัติ โดยใช้กล้องตรวจจับภาพ (Camera) ภาพที่ได้จะถูกนำมาประมวลผลภาพและวิเคราะห์ร่วมกับตัวตรวจจับเข็มทิศดิจิตอล (Digital Compass) เพื่อการตัดสินใจที่จะหลีกเลี่ยงหรือเคลื่อนที่ข้ามสิ่งกีดขวาง ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาหุ่นยนต์ให้สามารถปฏิบัติงานในสภาพพื้นที่ประสบภัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการทดลองหุ่นยนต์สามารถหลีกเลี่ยงและข้ามสิ่งกีดขวางด้วยกล้องตรวจจับภาพร่วมกับตัวตรวจจับเข็มทิศดิจิตอลได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการตรวจจับภาพประมวลผลและควบคุมมอเตอร์ ให้สามารถทำงานแบบอัตโนมัติ แต่ข้อจำกัดของการใช้กล้องตรวจจับภาพคือ ทำให้ระบบการประมวลผลของหุ่นยนต์ช้าลง ซึ่งมีผลต่อการตอบสนองการเคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางและจำเป็นต้องจัดหาวัสดุหรืออุปกรณ์มาใช้ที่มีราคาค่อนข้างแพงหรือสั่งซื้อจากต่างประเทศ

งานวิจัยของ สุชิน มุขศรี (2550) เป็นการศึกษาการเรียนรู้การนำทางของหุ่นยนต์จะใช้อุปกรณ์ตรวจจับวัตถุอ่านค่าระยะของวัตถุซึ่งใช้ในการอ้างอิงตำแหน่งในการเคลื่อนที่ ข้อมูลทั้งหมดจะถูกเก็บลงในฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการควบคุมให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามเส้นทางด้วยตัวเอง แต่การทดลองนี้เน้นการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตามเส้นทางที่กำหนดเท่านั้น ไม่ได้นำเทคนิคอื่นใดเข้ามาปรับปรุงประสิทธิภาพการเคลื่อนที่

งานวิจัยของ ประกาศิต ตันติอลงการและคณะ (2557) ได้นำเสนองานวิจัยในการวิเคราะห์หาสมรรถนะหุ่นยนต์สำรวจโดยการควบคุมผ่าน CAN บัส คือใช้วีการควบคุมด้วยการส่งค่าออกมาทางพอร์ตอีเทอร์เน็ต เพื่อมาแสดงผลแบบ GUI โดยใช้โปรแกรม Visual C# ซึ่งสามารถควบคุมหุ่นยนต์ได้ระยะทางไม่เกิน 100 เมตรในที่โล่ง การทดสอบความสามารถของหุ่นยนต์พบว่าหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่มุมเอียงได้ไม่เกิน 40 องศา หุ่นยนต์สามารถปีนขึ้นพื้นไม้เอียงมุมไต่ไม่เกิน 19 องศา หุ่นยนต์สามารถไต่พื้นที่ต่างระดับได้ไม่เกิน 19 เซนติเมตร แต่การทำงานของหุ่นยนต์ที่สร้างขึ้น ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความสามารถประมวลผลต่ำ อีกทั้งทำให้เกิดความล่าช้าในการติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์กับหุ่นยนต์ที่กำลังเคลื่อนที่ได้

งานวิจัยของ Pathanawongthum et al. (2010) ได้เสนอวิธีประมาณตำแหน่งโดยใช้เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีความถี่ย่านยูเอชเอฟกับแท็กอาร์เอฟไอดีมาทดลอง โดยการวางแท็กทั้งหมด 64 แท็กไว้บนเพดานห้อง และกำหนดตำแหน่งการอ่านค่าให้กับตัวอ่านอาร์เอฟไอดีอยู่ทั้งหมด 30 ตำแหน่ง จากนั้นทำการเปรียบเทียบการประมาณระบุตำแหน่งอยู่ 2 แบบคือ แบบอ่านค่าแท็กที่ได้ทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อประมาณตำแหน่งที่อ่านได้ และแบบที่สองใช้การประมาณตำแหน่งจากผลรวมของค่าตำแหน่งสูงสุดที่อ่านได้กับค่าตำแหน่งต่ำสุดแล้วหารด้วยสอง ผลการทดลองวิธีการแบบที่สองการระบุ

ตำแหน่งมีค่าผิดพลาดน้อยกว่า จากนั้นทำการทดลองเปรียบเทียบการประมาณตำแหน่ง โดยการเปลี่ยนรูปแบบการวางแท็ก 2 รูปแบบคือ รูปแบบสี่เหลี่ยมและรูปแบบสามเหลี่ยม ผลที่ได้ปรากฏว่ารูปแบบสามเหลี่ยมสามารถประมาณตำแหน่งผิดพลาดน้อยกว่ารูปแบบสี่เหลี่ยม

งานวิจัยของ Boontrai et al. (2010) นำเสนอวิธีระบุตำแหน่งโดยใช้อาร์เอฟไอดีความถี่ย่านยูเอชเอฟ อาศัยการระบุตำแหน่งจากการวางเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีให้อยู่ระหว่างแท็กสองแท็กเพื่อทราบมุมระหว่างสองแท็ก โดยวิธีทดลองกำหนดระยะห่างระหว่างตัวอ่านกับแท็กอาร์เอฟไอดีที่ 100 เซนติเมตรและ 150 เซนติเมตร ซึ่งทำการทดลอง 15 ตำแหน่ง จากแท็กทั้งหมด 18 แท็ก ผลการทดลองปรากฏว่าที่ กำลังส่งที่ 26 เดซิเบล ระยะที่ 100 เซนติเมตร มีค่าผิดพลาดระบุตำแหน่งเฉลี่ย 16 เซนติเมตรและที่ระยะ 150 เซนติเมตร มีค่าผิดพลาดในระบุตำแหน่งเฉลี่ย 20 เซนติเมตร

งานวิจัยของ Kim et al. (2007) ได้นำเสนอวิธีหุ่นยนต์เคลื่อนที่เข้าหาเป้าโดยใช้อาร์เอฟไอดีความถี่ 315 MHz โดยเป้าหมายจะเป็นตัวทั้งรับสัญญาณและส่งรหัสเป็นสัญญาณแบบเปิด-ปิด เมื่อหุ่นยนต์รับสัญญาณจากเป้าหมายก็จะได้ค่าเฉลี่ยของระดับแรงดันไฟฟ้าจากรหัสของเป้าหมายคือความแรงของสัญญาณ ดังนั้นหุ่นยนต์สามารถทราบระยะห่างของเป้าหมายได้และสามารถทราบทิศทางของเป้าหมายได้โดยใช้การหมุนเสาอากาศที่ด้านหน้าของตัวหุ่นยนต์อยู่ที่ 180 องศา ทิศทางใดที่ได้ค่าความแรงค่าน้อยที่สุดแสดงว่าเป้าหมายอยู่ทิศทางด้านนั้น ซึ่งการทดลองหุ่นยนต์มีการเคลื่อนที่สามแบบคือ การเคลื่อนที่ตรงเข้าหาเป้าหมาย การเคลื่อนที่แบบสามเหลี่ยมและแบบผสมระหว่างเคลื่อนที่ตรงเข้าหากับสามเหลี่ยมตามลำดับ ผลการทดลองปรากฏว่าหุ่นยนต์สามารถเข้าหาเป้าหมายได้ ทั้งนี้ต้องไม่มีสิ่งกีดขวางใดๆ

งานวิจัยของ Hyung Wook Kim et al. (2007) นำเสนอวิธีหุ่นยนต์เคลื่อนที่เข้าหาเป้าหมายโดยใช้อาร์เอฟไอดีความถี่ 303.2 MHz โดยใช้เสาอากาศสองต้น โดยสามารถบอกทิศทางมุมเป้าหมายตั้งแต่ -90 องศาถึง +90 องศาเพื่อหาทิศทางของเป้าหมายได้และอาศัยการวัดความแรงสัญญาณของเสาอากาศทั้งสองต้น เพื่อบอกระยะห่างจากเป้าหมายได้ โดยมีคอมพิวเตอร์เป็นตัวแสดงผลและควบคุมสั่งการเคลื่อนที่เข้าหาเป้าหมาย ในการทดลองได้กำหนดให้หุ่นยนต์เข้าหาเป้าหมายสามเป้าหมาย ปรากฏว่าผลการทดลองหุ่นยนต์สามารถเข้าหาเป้าหมายได้แม้มีสิ่งกีดขวาง

และงานวิจัยของ Park et al. (2010) ได้นำเสนอวิธีที่มีประสิทธิภาพสำหรับตำแหน่งและการประเมินท่าทางในการนำทางหุ่นยนต์เคลื่อนที่โดยใช้อาร์เอฟไอดีแบบพาสซีฟ พบว่าหุ่นยนต์สามารถระบุตำแหน่งแท็กได้ สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการประมาณนำทางคือตัวอ่านอาร์เอฟไอดีความถี่ 13.56 MHz โดยทำการวางช่วงล่างของหุ่นยนต์ ให้อยู่ระดับเหนือจากพื้น 5 เซนติเมตรมีรัศมีการอ่าน 17 เซนติเมตรจากจุดกึ่งกลางเครื่องอ่าน ซึ่งไอซีแท็กรุ่น HF-I เป็นแบบพาสซีฟทั้งหมดจะใช้มาตรฐาน ISO 15693 ในการประมาณตำแหน่งเพื่อนำทางให้หุ่นยนต์นั้น โดยการนำไอซีแท็กวางรูปแบบสี่เหลี่ยมขนาด 34x34 ตารางเซนติเมตร มีจำนวน 198 ชิ้น ในพื้นที่ทดลอง 420x620 ตาราง

เซนติเมตร การประมาณตำแหน่งเพื่อนำทาง จะใช้สมการสามเหลี่ยมและระบบพิกัดคาร์ทีเซียนมาเปรียบเทียบตำแหน่งก่อนหน้ากับตำแหน่งที่หุ่นยนต์อ่านได้ปัจจุบันในการเข้าหาตำแหน่งเป้าหมาย ผลการทดลองที่ได้เมื่อเปรียบเทียบการเคลื่อนที่หุ่นยนต์เข้าหาเป้าหมาย โดยใช้วิธีการอื่นๆ ผลปรากฏว่าวิธีการที่นำเสนอจะทำให้เข้าหาเป้าหมายได้ใกล้มากกว่าวิธีทั่วไปและใช้เวลาเคลื่อนที่น้อยกว่า

งานวิจัยที่นำเสนอนี้มีลักษณะเป็นวิจัยเชิงปฏิบัติการ (Action Research) กล่าวคือ ได้ทำการลงมือปฏิบัติและทดลองจริง มุ่งเน้นแก้ปัญหาที่พบในกระบวนการทำงาน รวมทั้งศึกษาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังที่กล่าวมาแล้วนำมาพัฒนาและสร้างหุ่นยนต์ที่สามารถบอกตำแหน่งและทำการส่งข้อมูลผ่านบลูทูธระหว่างหุ่นยนต์ไปยังโน้ตบุ๊กคอมพิวเตอร์ คำถามของงานวิจัยประกอบด้วยระยะทางความแม่นยำของอัลตร้าโซนิกเซนเซอร์ที่เหมาะสมที่ตัวหุ่นยนต์สามารถตรวจจับสิ่งกีดขวางได้ดี ระยะห่างการติดตั้งแท็กอาร์เอฟไอดีกับตัวหุ่นยนต์ที่ติดเครื่องอ่าน (RFID Reader) มีประสิทธิภาพการอ่านแท็กดีที่สุดในขณะกำลังเคลื่อนที่ และทดสอบหุ่นยนต์สามารถอ่านแท็กได้ครบทุกแท็กหรือไม่ และการส่งสัญญาณข้อมูลจากโมดูลบลูทูธไปยังโปรแกรมเชื่อมต่อหุ่นยนต์ผ่านบลูทูธนั้นแสดงผลได้อย่างถูกต้องตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่