

การพัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมและแนวคิดเรื่องแรงและ
การเคลื่อนที่ด้วยชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่องหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ

เอกพงศ์ บัวชุม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี



DEVELOPMENT OF ENGINEERING DESIGN PROCESS SKILLS AND
FORCE AND MOTION CONCEPT WITH LINE-FOLLOWER ROBOT
STEM EDUCATION ACTIVITIES

EKAPONG BUACHOOM

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIRMENTS
FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
MAJOR IN SCIENCE EDUCATION
FACULTY OF SCIENCE
UBON RATCHATHANI UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2020
COPYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ ด้วยความกรุณาของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุระ วุฒิพรหม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำปรึกษา ข้อชี้แนะ และความช่วยเหลือในหลายสิ่งหลายอย่าง จนกระทั่งลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมถึงคณาจารย์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดความรู้ต่าง ๆ เกี่ยวกับการศึกษาและการทำวิจัยให้แก่ข้าพเจ้า ทำให้งานวิทยานิพนธ์นี้มีคุณค่าและมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ โรงเรียนอำนาจเจริญที่เอื้อเฟื้อสถานที่ วัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับทำวิจัย ขอขอบพระคุณ โครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก (คปก.) ที่ให้ทุนวิจัยระดับปริญญาเอกในผลิตผลงานวิจัยและนักวิจัยระดับปริญญาเอกให้มีคุณภาพสูงในมหาวิทยาลัยไทยให้ได้มาตรฐานสากล ซึ่งบริหารจัดการโดยสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ร่วมกับสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณคุณครอบครัว ผู้ที่คอยเป็นกำลังใจรวมทั้งให้การสนับสนุนในการศึกษาและทำวิจัยในครั้งนี้

เอกพงศ์ บัวชุม

ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

เรื่อง : การพัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมและแนวคิดเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ด้วยชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่องหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ

ผู้วิจัย : เอกพงศ์ บัวชุม

ชื่อปริญญา : ปรัชญาดุสิตบัณฑิต

สาขาวิชา : วิทยาศาสตร์ศึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุระ วุฒิพรหม

คำสำคัญ : กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม, หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ, แรง, การเคลื่อนที่, สะเต็มศึกษา

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) สร้างและหาประสิทธิภาพของหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ (2) ออกแบบและพัฒนาชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ (3) พัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมและแนวคิด เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 จำนวน 27 คน เครื่องมือในการวิจัยประกอบไปด้วย หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ แผนการจัดการเรียนรู้ แบบทดสอบวัดความเข้าใจ แบบประเมินทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม การจัดการเรียนรู้ใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 6 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นที่ 1 นักเรียนร่วมกันวิเคราะห์ปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด จากนั้นกำหนดเงื่อนไขในการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ ขั้นที่ 2 นักเรียนรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาจากหุ่นยนต์ต้นแบบ จากนั้นออกแบบวงจรเซนเซอร์อินฟราเรดและวงจรควบคุมมอเตอร์ ขั้นที่ 3 นักเรียนนำความรู้จากการรวบรวมข้อมูลมาใช้ออกแบบวงจรไฟฟ้าของหุ่นยนต์และโครงสร้างของหุ่นยนต์ ขั้นที่ 4 นักเรียนสร้างหุ่นยนต์ตามทีออกแบบไว้ ขั้นที่ 5 นักเรียนทดสอบหุ่นยนต์โดยใช้แอปพลิเคชัน Phyphox วัดความเร่งของหุ่นยนต์ และขั้นที่ 6 นักเรียนนำเสนอผลงานโดยการแข่งขันหุ่นยนต์ ผลการวิจัยพบว่า หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติที่ผู้วิจัยสร้างและพัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพร้อยละ 98.51 จากการประเมินความก้าวหน้าทางการเรียนด้วยวิธีของ Hake นักเรียนมีความก้าวหน้าในทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม อยู่ในระดับ ปานกลาง เท่ากับ 0.67 และมีความก้าวหน้าในความเข้าใจในแนวคิดฟิสิกส์ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ อยู่ในระดับปานกลาง เท่ากับ 0.60

ABSTRACT

TITLE : DEVELOPMENT OF ENGINEERING DESIGN PROCESS SKILLS AND
FORCE AND MOTION CONCEPT WITH LINE-FOLLOWER ROBOT
STEM EDUCATION ACTIVITIES

AUTHOR : EKAPONG BUACHOOM

DEGREE : DOCTOR OF PHILOSOPHY

MAJOR : SCIENCE EDUCATION

ADVISOR : ASST. PROF. SURA WUTTIPROM, Ph.D.

KEYWORDS : ENGINEERING DESIGN PROCESSES, A LINE-FOLLOWER ROBOT, FORCE ,
MOTION, STEM EDUCATION

The objectives of this research were to (1) design and assess the efficiency of a line-follower robot (2) design and develop a STEM activity around a line-follower robot, and (3) develop engineering design process skills and concepts related to the topics of force and motion. The study involved 27 tenth grade students in the second semester of the 2020 academic year. The research tools consisted of a line-follower robot, lesson plans, an FMCE test and an engineering design process skill evaluation. The learning activities followed a 6-step engineering design process. Stage 1: students analyze the problem from a given situation, and then set the conditions for designing and building the robot. Step 2: students gather information and ideas related to problem-solving with regard to the prototype robot, and then design an infrared sensor circuit and a motor control circuit. Step 3: students apply their knowledge from data collection to design robotic circuits and robot structures. Step 4: students build a robot according to the design. Step 5: students test the robot using the Phyphox application to measure the robot's acceleration. Step 6: students present their work through robotics competition. The results showed that the efficiency of a line-follower robot was 98.51 percent. Based on the Hake learning gain method, the students had a moderate level of gain in engineering design process skills <g> at 0.67 and moderate gain understanding force and motion concepts <g> at 0.60.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
1.3 ตัวแปรที่ศึกษา	4
1.4 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	4
1.5 แบบแผนงานวิจัย	4
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ	5
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 แนวคิดทฤษฎีการเรียนรู้สะเต็มศึกษา	6
2.2 การจัดกิจกรรมหุ่นยนต์ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม	9
2.3 การใช้เซนเซอร์ความเร่งในสมาร์ตโฟนศึกษาปริมาณทางฟิสิกส์	11
2.4 แนวคิดในการออกแบบหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ	15
2.5 กระบวนการพัฒนาหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ	17
2.6 การประเมินความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย (Normalized gain)	35
บทที่ 3 การสร้างเครื่องมือและการดำเนินการวิจัย	
3.1 การสร้างหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ	37
3.2 แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ	44
3.3 แบบประเมินทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม	51
3.4 แบบประเมินแนวคิด เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่	55
3.5 การฝึกอบรมพี่เลี้ยงในการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษา	56
3.6 การเก็บรวบรวมข้อมูล	57

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล	60
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล	
4.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ	62
4.2 ผลการพัฒนาชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ	64
4.3 ผลการพัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ของนักเรียนโดยใช้ชุดกิจกรรม สะเต็มศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ	66
4.4 ผลการพัฒนาความเข้าใจแนวคิด เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่	91
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	102
5.2 ข้อเสนอแนะ	106
เอกสารอ้างอิง	107
ภาคผนวก	
ก แบบประเมินแนวคิด เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่	115
ข แบบประเมินทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม	120
ค ใบกิจกรรมการเรียนรู้	124
ง รายนามผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ	142
ประวัติผู้วิจัย	144

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	เปรียบเทียบหุ่นยนต์ของ Serrano Pérez และ Juárez López กับผู้วิจัย	16
2.2	การเชื่อมต่ออุปกรณ์ในวงจรเซนเซอร์อินฟราเรด	23
2.3	ลำดับการเขียนโปรแกรมเซนเซอร์อินฟราเรด	23
2.4	คำอธิบายการเขียนคำสั่งโปรแกรมของเซนเซอร์อินฟราเรด	24
2.5	การเชื่อมต่ออุปกรณ์ในวงจรมอเตอร์ขับเคลื่อน 2 ล้อ	26
2.6	การเชื่อมต่ออุปกรณ์ในวงจรมอเตอร์ขับเคลื่อน 4 ล้อ	29
2.7	ลำดับการเขียนโปรแกรมการควบคุมมอเตอร์	30
2.8	คำอธิบายการเขียนคำสั่งโปรแกรมการควบคุมมอเตอร์	30
3.1	รายการวัสดุอุปกรณ์	37
3.2	ลำดับงานการเขียนโปรแกรมจากโจทย์ที่กำหนด	42
3.3	รายละเอียดโครงสร้างของกิจกรรมสะเต็มศึกษา	45
3.4	ผลการทดสอบเซนเซอร์อินฟราเรดกับสีต่าง ๆ	49
3.5	แบบประเมินทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม	51
3.6	ดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบประเมินทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม	54
3.7	ประเด็นปัญหาและวิธีการแก้ปัญหาที่ได้ผล	57
3.8	การวัดและประเมินผล	58
4.1	ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์	64
4.2	ดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา	64
4.3	เปรียบเทียบคะแนนการพัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ของสถานการณ์ที่ 1 และสถานการณ์ที่ 2	66
4.4	ผลการพัฒนาทักษะการระบุปัญหา	69
4.5	ผลการพัฒนาทักษะการรวบรวมข้อมูลเซนเซอร์อินฟราเรด	72
4.6	ผลการพัฒนาทักษะการรวบรวมข้อมูลมอเตอร์	73
4.7	ผลการพัฒนาทักษะการออกแบบวงจรไฟฟ้าหุ่นยนต์	77
4.8	ผลการพัฒนาทักษะการออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์	78
4.9	ผลการพัฒนาทักษะการวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา	81
4.10	ผลการพัฒนาทักษะการทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขหุ่นยนต์	84

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.11	ผลการพัฒนาทักษะการนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน	87
4.12	ค่าเฉลี่ย (ร้อยละ) ของนักเรียนที่ตอบถูกก่อนและหลังเรียน ค่าที่ และความก้าวหน้าทางการเรียนรายชั้นเรียน	91
4.13	ความเข้าใจแนวคิดของผู้เรียนก่อนเรียนและหลังเรียนข้อที่ 1-7	95
4.14	ความเข้าใจแนวคิดของผู้เรียนก่อนเรียนและหลังเรียนข้อที่ 8-15	96
4.15	ความเข้าใจแนวคิดของผู้เรียนก่อนเรียนและหลังเรียนข้อที่ 16 – 20	98
4.16	ความเข้าใจแนวคิดของผู้เรียนก่อนเรียนและหลังเรียนข้อที่ 21-24	100

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1	แนวคิดทางฟิสิกส์ของรถขับเคลื่อนด้วยพลังงานลม
2.2	กรอบแนวคิดการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาด้วยหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ
2.3	การศึกษาการตกอย่างอิสระด้วยเซนเซอร์วัดความเร็ว
2.4	แถบเมนู Acceleration (without g)
2.5	บริเวณสำหรับเลือก Windows ZIP file
2.6	โพลเดอร์ที่เก็บไดรเวอร์สำหรับชิพ CH341 หลังจากการแยกไฟล์
2.7	หน้าต่างของโปรแกรมสำหรับติดตั้งไดรเวอร์ USB ที่ใช้ชิพ CH340, CH341
2.8	ผลการติดตั้งไดรเวอร์หลังการเชื่อมต่อบอร์ด Arduino Nano
2.9	การตั้งค่าบอร์ด Arduino Nano
2.10	คลิกเลือกทั้ง 3 รายการ
2.11	หมายเลข 1 ปุ่มคอมไพล์และหมายเลข 2 ปุ่มอัปโหลดคำสั่งลงบอร์ด
2.12	วงจรเซนเซอร์อินฟราเรด
2.13	แผนผังลำดับงานและการเขียนโปรแกรมเซนเซอร์อินฟราเรด
2.14	ส่วนประกอบของชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ รุ่น L298N
2.15	วงจรมอเตอร์ขับเคลื่อน 2 ล้อ
2.16	วงจรมอเตอร์ขับเคลื่อน 4 ล้อ
2.17	แผนผังลำดับงานและการเขียนโปรแกรมควบคุมมอเตอร์
2.18	หุ่นยนต์เคลื่อนที่ (1) ข้างหน้าและ (2) เลี้ยวซ้าย
2.19	หุ่นยนต์ (1) เลี้ยวขวาและ (2) หยุด
2.20	วงจรหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติขับเคลื่อน 2 ล้อ
2.21	วงจรหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติขับเคลื่อน 4 ล้อ
3.1	แผนผังระบบการทำงานหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ
3.2	การออกแบบวงจรหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติโดยโปรแกรม Fritzing
3.3	การออกแบบหุ่นยนต์ (1) ภาพรวม (2) ฐานรองและ (3) ฐานหลัก
3.4	หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ (1) ภาพรวม (2) ด้านบนและ (3) ด้านข้าง
3.5	ผังงานโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ
3.6	ชุดคำสั่งโปรแกรม Arduino IDE ควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ
3.7	แผนผังการจัดทำโครงร่างของชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3.8	การจัดการเรียนรู้ตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 6 ขั้นตอน	47
3.9	การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์	48
3.10	ความเร่งของหุ่นยนต์	49
4.1	การทดสอบหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ	62
4.2	กราฟความสัมพันธ์ความเร่งกับเวลาโดยแอปพลิเคชัน Phyphox	63
4.3	ทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม	67
4.4	การพัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม	68
4.5	ทักษะการระบุปัญหา	70
4.6	การพัฒนาทักษะการระบุปัญหา	71
4.7	ทักษะการรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา	75
4.8	การพัฒนาทักษะการรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา	76
4.9	ทักษะการออกแบบวิธีการแก้ปัญหา	79
4.10	การพัฒนาทักษะการออกแบบวิธีการแก้ปัญหา	80
4.11	ทักษะการวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา	82
4.12	การพัฒนาทักษะการวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา	83
4.13	ทักษะการทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหา	85
4.14	การพัฒนาทักษะการทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหา	86
4.15	ทักษะการนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน	88
4.16	การพัฒนาทักษะการนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน	89
4.17	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง %pretest กับ %<Gain> ของนักเรียนที่ได้รับ การจัดการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ	93
4.18	ความก้าวหน้าของแต่ละแนวคิดรวบยอด	94
4.19	ความก้าวหน้ารายข้อในกลุ่มคำถาม Force Sled	96
4.20	ความก้าวหน้ารายข้อในกลุ่มคำถาม Force Graphs	97
4.21	ความก้าวหน้ารายข้อในกลุ่มคำถาม Acceleration Graphs	99
4.22	ความก้าวหน้ารายข้อในกลุ่มคำถาม Velocity Graphs	100

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาทั่วโลกต่างให้ความสำคัญกับสะเต็มศึกษา (STEM Education) และมีการส่งเสริมให้ทุกระดับการศึกษาจัดการเรียนรู้ตามแนวทางนี้ สำหรับในประเทศไทย สะเต็มศึกษาเป็นแนวทางในการสร้างกำลังคนให้มีสมรรถนะตอบสนองต่อความต้องการของตลาดงานและการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ รองรับพลวัตของโลกและการแข่งขันในศตวรรษที่ 21 (ทัศนวิวรรณ เลิศเจริญฤทธิ์ และคณะ, 2563) ซึ่งมีเทคโนโลยีเกิดใหม่ เช่น หุ่นยนต์ เทคโนโลยีการแพทย์ ข้อมูลมหัต (Big Data) และบล็อกเชน (Blockchain) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางอุตสาหกรรม (Disrupting Industries) โดยเปลี่ยนแปลงรูปแบบการทำงานและวิถีชีวิตของมนุษย์ในศตวรรษนี้อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ การทำงานในอนาคตจึงต้องการทักษะของแรงงานที่สูงขึ้น โดยที่สามารถเลือกใช้ความรู้จากข้อมูลที่มีอยู่และประยุกต์ใช้ความรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการมีสมรรถนะทางดิจิทัล (Digital Competence) จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้ประชาชนไทยมีทักษะและมีความเข้าใจเพื่อเข้าสู่การแข่งขันในศตวรรษนี้ โดยสมรรถนะทางดิจิทัลนี้จะรวมไปถึงการคัดกรองข้อมูล การสื่อสาร แลกเปลี่ยนข้อมูล การสร้างสรรค์และการแก้ปัญหา (จิระพร สังขเวทย์, 2560) ตลอดจนทักษะด้านการเขียนโปรแกรม (Coding Literacy) ซึ่งเป็นภาษาที่ใช้สื่อสารระหว่างมนุษย์กับคอมพิวเตอร์ อีกทั้งยังช่วยให้มนุษย์สื่อสารวิธีการแก้ปัญหาออกมาอย่างมีตรรกะ มีโครงสร้างและเป็นระบบ ซึ่งเมื่อหันมามองทางด้านการศึกษา นักเรียนในทุกวันนี้เติบโตมาในยุคที่มีการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีอย่างรวดเร็ว จึงเป็นความท้าทายสำหรับครูที่จะช่วยชี้แนะให้นักเรียนมีความรู้และทักษะที่หลากหลาย (เอกพงศ์ บัวชุม, สุระ วุฒิพรหม และธนิดา สุจริตรธรรม, 2562)

ด้วยเหตุผลข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะบูรณาการความรู้วิชาฟิสิกส์ร่วมกับกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยเน้นการคิดวิเคราะห์ การคิดสร้างสรรค์ และลงมือปฏิบัติ (สุมินตรา จินเมือง และธิดิยา บงกชเพชร, 2563) ในประเด็นเกี่ยวกับ หุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ ซึ่งเป็นประเด็นที่นักเรียนให้ความสนใจและสอดคล้องกับสถานการณ์ในปัจจุบัน ซึ่งเมื่อพิจารณาประเด็นดังกล่าวพบว่า ในกระบวนการสร้างหุ่นยนต์ นักเรียนจะต้องมีความรู้และใช้ทักษะในศาสตร์ที่หลากหลาย เช่น การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (coding) ประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และการออกแบบอุปกรณ์หุ่นยนต์ ล้วนเป็นการนำความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างหุ่นยนต์ กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาหุ่นยนต์อย่างเป็นขั้นตอน

เพื่อให้ได้หุ่นยนต์ตามแบบที่ต้องการ (นิรมิข เพียรประเสริฐ, 2556) ในกระบวนการพัฒนาประสิทธิภาพของหุ่นยนต์ นักเรียนจำเป็นต้องใช้ความรู้วิชาฟิสิกส์ในเรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ เพื่อวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ว่าแรงส่งผลต่อการเคลื่อนที่อย่างไร ซึ่งใช้ปริมาณความเร่งในการอธิบายการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ เช่น กรณีหุ่นยนต์ไม่มีความเร่ง หมายถึง หุ่นยนต์หยุดนิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว แสดงว่าแรงลัพธ์ที่กระทำกับหุ่นยนต์มีค่าเป็นศูนย์ กรณีหุ่นยนต์มีความเร่งคงที่ หมายถึง หุ่นยนต์มีความเร็วเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ แสดงว่าแรงลัพธ์มีขนาดคงที่และมีทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ กรณีหุ่นยนต์มีความหน่วงคงที่ หมายถึง หุ่นยนต์มีความเร็วลดลงอย่างสม่ำเสมอ แสดงว่าแรงลัพธ์มีขนาดคงที่และมีทิศทางตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ ซึ่งในการวัดปริมาณความเร่งสามารถทำได้โดยใช้โทรศัพท์มือถือผ่านแอปพลิเคชัน Phyphox ซึ่งนักเรียนสามารถใช้งานง่าย มีความแม่นยำสูง และที่สำคัญสามารถแสดงผลเป็นกราฟแบบเรียลไทม์ (Real-time) ได้ ช่วยให้นักเรียนเรียนรู้และตอบสนองต่อข้อมูลได้อย่างทันถ่วงที (Staacks et al., 2018) อีกทั้งยังสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณต่าง ๆ ได้ เช่น ระยะทาง การกระจัด อัตราเร็ว และความเร่ง เป็นต้น (Vogt and Kuhn, 2012) ซึ่งสามารถส่งเสริมความเข้าใจในแนวคิด เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ของนักเรียนได้เป็นอย่างดี

ผู้วิจัยจึงสร้างหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติเพื่อใช้เป็นหุ่นยนต์ต้นแบบ (Model) เพื่อให้นักเรียนได้เรียนรู้การออกแบบโครงสร้าง การเชื่อมต่ออุปกรณ์ในวงจรไฟฟ้า และการเขียนคำสั่งโปรแกรม อีกทั้งเป็นการช่วยกระตุ้นให้นักเรียนเกิดความสนใจ ตั้งคำถาม และกระตือรือร้นในการลงมือปฏิบัติ เพื่อค้นหาคำตอบ (Sheikh, Fulbright and Hademenos, 2011) จากนั้นออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่ให้นักเรียนสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง โดยมีครูและพี่เลี้ยงเป็นผู้อำนวยความสะดวกช่วยให้นักเรียนได้สืบค้นรวบรวมความรู้จากแหล่งอ้างอิงที่เชื่อถือได้ สร้างกระบวนการแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับกลุ่มเพื่อน นำไปสู่การได้คำตอบที่มีทฤษฎีความรู้รองรับ (สุวดี อุปปีนใจ และคณะ, 2562) จากนั้นจัดทำชุดกิจกรรมเพิ่มเติมศึกษา โดยกำหนดสถานการณ์ 2 สถานการณ์ ได้แก่ สถานการณ์ที่ 1 เป็นการสร้างหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติขับเคลื่อน 2 ล้อ เพื่อให้นักเรียนได้เรียนรู้แนวคิด เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่และฝึกฝนทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในการสร้างหุ่นยนต์ และสถานการณ์ที่ 2 เป็นการสร้างหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติขับเคลื่อน 4 ล้อ เพื่อให้นักเรียนได้พัฒนาแนวคิดเรื่องแรงและการเคลื่อนที่และพัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยการสร้างหุ่นยนต์ที่มีความซับซ้อนมากกว่าสถานการณ์ที่ 1 อีกทั้งในชุดกิจกรรมได้ใช้แอปพลิเคชัน Phyphox เป็นเครื่องมือในการศึกษาการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ เพื่อช่วยส่งเสริมความเข้าใจในแนวคิด เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ของนักเรียน ซึ่งในการจัดการเรียนการสอนได้ใช้ชุดกิจกรรมเพิ่มเติมศึกษาที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้นตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมมี 6 ขั้นตอน (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2557) ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 การระบุปัญหา เป็นขั้นที่นักเรียนร่วมกันวิเคราะห์ปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด จากนั้นกำหนดเงื่อนไขในการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์

ขั้นที่ 2 รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา เป็นขั้นที่นักเรียนต้องรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาจากใบความรู้ หุ่นยนต์ต้นแบบและการใช้อินเทอร์เน็ตในการสืบค้นข้อมูลโดยใช้คอมพิวเตอร์หรือโทรศัพท์มือถือ จากนั้นนักเรียนต้องออกแบบวงจรเซนเซอร์อินฟราเรด และออกแบบวงจรควบคุมมอเตอร์ด้วยชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ รุ่น L298N จากนั้นเขียนโปรแกรมและทดสอบการทำงาน

ขั้นที่ 3 ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา เป็นขั้นการนำวิธีการแก้ปัญหาซึ่งต้องกำหนดองค์ประกอบของวิธีการแก้ปัญหาและผลที่เกิดขึ้น จากข้อมูลที่นักเรียนสืบค้นและรวบรวมข้อมูลข้างต้น สามารถนำความรู้มาใช้ออกแบบวงจรไฟฟ้าของหุ่นยนต์และโครงสร้างของหุ่นยนต์

ขั้นที่ 4 วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา เป็นขั้นตอนการสร้างหุ่นยนต์ตามแบบที่วางแผน โดยนักเรียนจะต้องวางแผนการทำงานอย่างเป็นขั้นตอน นักเรียนจะต้องสร้างส่วนต่าง ๆ ของหุ่นยนต์ตามทีออกแบบไว้ เช่น สัดส่วนของฐานหลัก ฐานรอง และตำแหน่งเซนเซอร์อินฟราเรด

ขั้นที่ 5 ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหา เป็นขั้นที่ให้นักเรียนได้ทดสอบหุ่นยนต์ว่าสอดคล้องตามเป้าหมายที่กำหนดไว้หรือไม่ โดยทดสอบระบบการทำงานของหุ่นยนต์ ซึ่งใช้แอปพลิเคชัน Phyphox วัดความเร่งของหุ่นยนต์ เพื่อเก็บข้อมูลและปรับปรุงแก้ไข ให้ได้หุ่นยนต์ที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ขั้นที่ 6 นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน เป็นขั้นตอนการนำเสนอผลงานหรือชิ้นงานในชั้นเรียน โดยจัดเป็นกิจกรรมการแข่งขันหุ่นยนต์ ซึ่งก่อนการแข่งขันครูเปิดโอกาสให้แลกเปลี่ยนเรียนรู้ โดยให้แต่ละกลุ่มนำเสนอผลงานหน้าชั้นเรียน ซึ่งแต่ละกลุ่มจะต้องนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหา กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลา อธิบายให้เหตุผลประกอบเรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ในแนวตรง และเตรียมความพร้อมในการตอบคำถามเพื่อน ๆ จากนั้นครูบอกกติกาในการแข่งขันว่ากลุ่มที่ถึงเส้นชัยเป็นลำดับแรกจะเป็นผู้ชนะและได้รับรางวัล เมื่อแข่งขันเสร็จครูและนักเรียนร่วมกันสรุปและอภิปรายผลการแข่งขัน

ชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ ที่ผู้วิจัยได้จัดทำขึ้น เป็นนวัตกรรมที่ได้มาจากการบูรณาการแนวคิดสะเต็มศึกษา เพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมและพัฒนาความเข้าใจในแนวคิด เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ไปพร้อมกัน ซึ่งถือว่าชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษาเป็นชุดกิจกรรมที่ผสมผสานภาคทฤษฎีและปฏิบัติไปพร้อมกันอย่างแนบเนียน ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การเรียนรู้ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ช่วยส่งเสริมความสามารถในการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ ส่งเสริมให้นักเรียนพัฒนาแนวคิดทางคณิตศาสตร์และเทคโนโลยีผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (อโนดาซ์ รัชเวทย์, มัลลิกา ศุภิมาส และยุทธนา ชัยเจริญ,

2562) และส่งเสริมความรู้ความสามารถในการใช้ทักษะ ดังนั้นชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ จึงมีความเหมาะสมสำหรับใช้ในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพของหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ
- 1.2.2 เพื่อพัฒนาชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ
- 1.2.3 เพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมด้วยชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ
- 1.2.4 เพื่อพัฒนาความเข้าใจแนวคิด เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ด้วยชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ

1.3 ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรต้น ได้แก่ หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติและชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ

ตัวแปรตาม ได้แก่ ประสิทธิภาพของหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ ทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมและความเข้าใจในแนวคิด เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่

1.4 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียนโครงการห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (วคทส.) ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4/9 จำนวน 27 คน จากโรงเรียนอำนาจเจริญ จังหวัดอำนาจเจริญ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ คือ นักเรียนโครงการห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (วคทส.) ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4/9 จำนวน 27 คน จากโรงเรียนอำนาจเจริญ จังหวัดอำนาจเจริญ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 เป็นการเลือกอย่างเจาะจง (purposive selection)

1.5 แบบแผนงานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีแบบแผนการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) ใช้นักเรียนเพียงกลุ่มเดียวที่มีการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน (One Group Pretest-Posttest Design)

$$T_1 \quad \times \quad T_2 \quad (1.1)$$

- เมื่อ T_1 คือ การทดสอบก่อนการทดลอง (Pretest)
 X คือ การจัดกิจกรรมเสริมศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ
 T_2 คือ การทดสอบหลังการทดลอง (Posttest)

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.6.1 หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ คือ หุ่นยนต์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ซึ่งประกอบไปด้วย เซนเซอร์อินฟราเรดสองตัว ทำหน้าที่ตรวจจับพื้นสีขาวและเส้นสีดำแล้วส่งข้อมูลมาให้ บอร์ด Arduino nano เพื่อประมวลผลแล้วสั่งการให้มอเตอร์ซ้ายและมอเตอร์ขวาทำงานผ่านชุดขับเคลื่อนมอเตอร์รุ่น L298N โดยใช้พลังงานจากแบตเตอรี่

1.6.2 ประสิทธิภาพของหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ หมายถึง ผลการทดสอบหุ่นยนต์ ซึ่งพิจารณาจากความสามารถในการตรวจจับพื้นสีขาวและเส้นสีดำ ความสามารถในการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในระยะทาง 3 เมตร และค่าความเร่งของหุ่นยนต์ที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎีเทียบกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแอปพลิเคชัน Phyphox ซึ่งค่าที่ได้จะต้องมีความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 5

1.6.3 ชุดกิจกรรมเสริมศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ หมายถึง กิจกรรมการสอนที่ผู้วิจัยได้ออกแบบและพัฒนาขึ้นเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมและพัฒนาความเข้าใจแนวคิด เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 6 ขั้นตอน โดยแบ่งกิจกรรมออกเป็น 6 กิจกรรม ได้แก่ กิจกรรมที่ 1 การระบุปัญหาหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ กิจกรรมที่ 2 เซนเซอร์อินฟราเรด กิจกรรมที่ 3 การควบคุมมอเตอร์ด้วยชุดขับเคลื่อนมอเตอร์รุ่น L298N กิจกรรมที่ 4 การออกแบบวงจรไฟฟ้าหุ่นยนต์ กิจกรรมที่ 5 การออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ และกิจกรรมที่ 6 การศึกษาหุ่นยนต์โดยแอปพลิเคชัน Phyphox

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.7.1 ได้แนวทางในการสร้างหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติที่สามารถใช้เป็นสื่อการเรียนการสอน
 1.7.2 ได้แนวทางในพัฒนากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมด้วยชุดกิจกรรมเสริมศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ
 1.7.3 ได้แนวทางในการพัฒนานักเรียนให้มีความเข้าใจในแนวคิด เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ด้วยชุดกิจกรรมเสริมศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ

บทที่ 2

เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการทำวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับแนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการทำวิจัย โดยได้รวบรวมข้อมูลดังหัวข้อต่อไปนี้

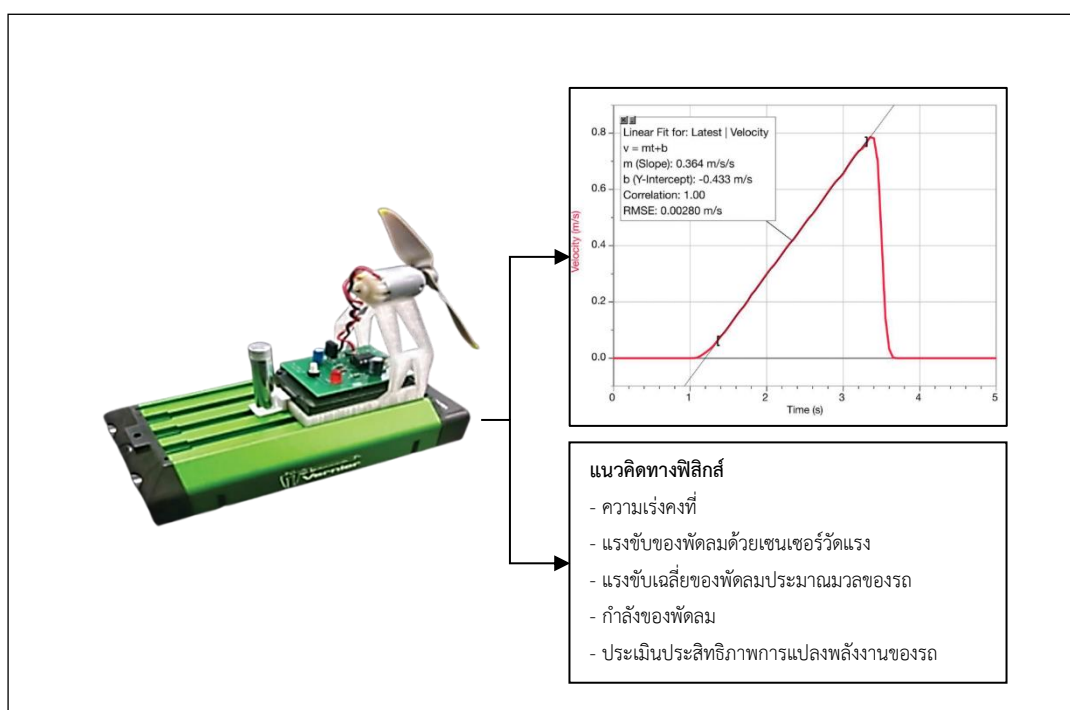
- 2.1 แนวคิดทฤษฎีการเรียนรู้สะเต็มศึกษา
- 2.2 การจัดกิจกรรมหุ่นยนต์ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม
- 2.3 การใช้เซนเซอร์ความเร่งในสมาร์ตโฟนศึกษาปริมาณทางฟิสิกส์
- 2.4 แนวคิดในการออกแบบหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ
- 2.5 กระบวนการพัฒนาหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ
- 2.6 การประเมินความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย (Normalized gain)

2.1 แนวคิดทฤษฎีการเรียนรู้สะเต็มศึกษา

สะเต็มศึกษา (STEM Education) เป็นรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่บูรณาการเชื่อมโยงเนื้อหาวิชาวิทยาศาสตร์ (Science) เทคโนโลยี (Technology) วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering) และคณิตศาสตร์ (Mathematics) (English, 2017) เป็นอีกหนึ่งรูปแบบของการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมให้นักเรียนนำความรู้และกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมไปใช้แก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน (Mehalik, Doppelt and Schuun, 2008) ทั้งยังมีส่วนช่วยยกระดับการเรียนรู้และทักษะของนักเรียนโดยเฉพาะในด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีได้เป็นอย่างดี (Ridgeway and Yerrick, 2018) รวมถึงช่วยส่งเสริมความเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ (สุนทร ภูมิปริชาเลิศ, ทวีศักดิ์ จินดานุรักษ์ และจุฬารัตน์ ธรรมประทีป, 2563) และส่งเสริมให้นักเรียนมีสมรรถนะที่สอดคล้องกับความต้องการที่เปลี่ยนแปลง ในศตวรรษที่ 21 ซึ่งเป็นยุคแห่งความเป็นโลกาภิวัตน์ที่ได้เกิดวิวัฒนาการความก้าวหน้าในทุก ๆ มิติเป็นไปอย่างรวดเร็วและรุนแรง ส่งผลต่อวิถีการดำรงชีพของสังคมอย่างทั่วถึง

ดังนั้นครูและนักเรียนจึงต้องปรับตัวและปรับเปลี่ยนวิธีการเรียนการสอนให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงในปัจจุบัน โดยเริ่มต้นจากบทบาทของครูที่จะต้องทำความเข้าใจในวิธีการบูรณาการ แล้วนำวิธีนั้นไปปฏิบัติจริงในห้องเรียน โดยจัดกิจกรรมที่มีความน่าสนใจมาช่วยดึงดูดให้นักเรียนเข้าสู่กระบวนการของกิจกรรมก่อน จากนั้นนักเรียนจะค่อย ๆ ซึมซับความรู้และทักษะจากการทำกิจกรรมอย่างไม่รู้ตัว ตัวอย่าง เช่น Brian Lamore (2016) จัดกิจกรรมโดยใช้รถที่ขับเคลื่อนด้วย

พลังงานลมดังภาพที่ 2.1 ซึ่งควบคุมการทำงานของมอเตอร์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น ATtiny 45 ขนาดให้พอดีกับรถเข็น เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงาน โดยใช้โปรแกรม Arduino IDE ทดสอบการทำงานในระยะ 1.2 เมตร โดยสังเกตไฟจากหลอด LED จะแสดงไฟกะพริบ ซึ่งแสดงถึงความพร้อมในการใช้งาน ผลการทดสอบ พบว่า รถมีความเร็วกว่า 0.3 เมตรต่อวินาที² ซึ่งกิจกรรมสะเต็มศึกษาสามารถช่วยส่งเสริมแนวคิดทางฟิสิกส์ของนักเรียน เรื่อง งาน พลัง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน แรงและการเคลื่อนที่ได้



ภาพที่ 2.1 แนวคิดทางฟิสิกส์ของรถขับเคลื่อนด้วยพลังงานลม

ที่มา: Brian Lamore (2016)

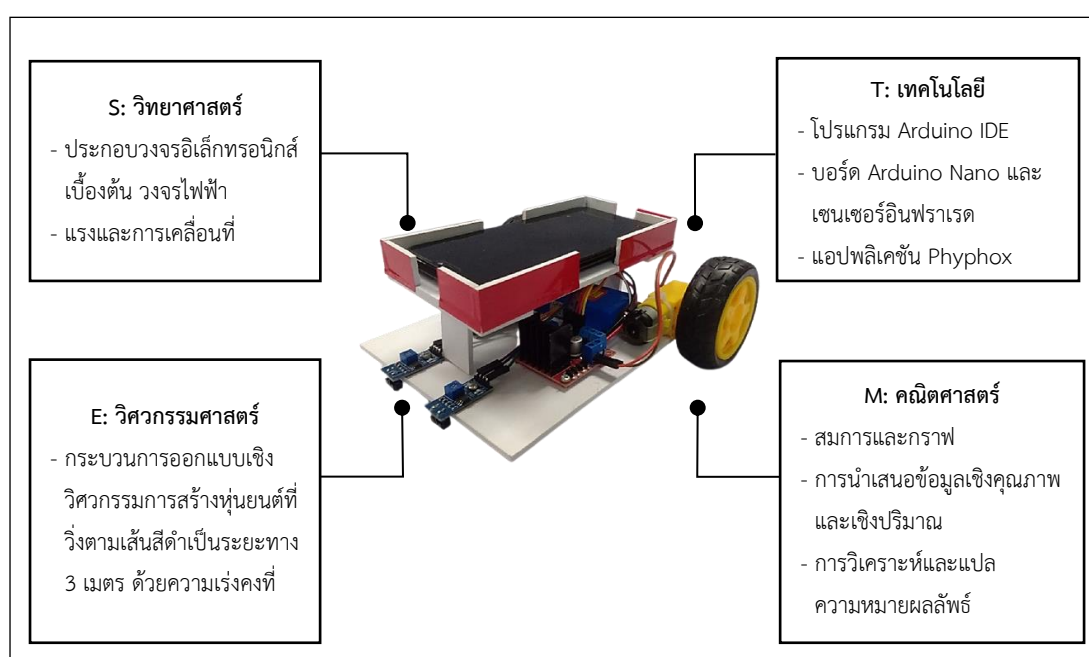
จากงานวิจัยดังกล่าว ผู้วิจัยได้นำการแสดงผลข้อมูลแบบเรียลไทม์มาปรับใช้ในงานวิจัย โดยใช้แอปพลิเคชัน Phyphox ในโทรศัพท์มือถือแทนการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่มีราคาแพง ซึ่งแอปพลิเคชัน Phyphox สามารถแสดงผลแบบเรียลไทม์ ใช้งานง่าย มีความแม่นยำสูง และไม่เสียค่าใช้จ่ายในการดาวน์โหลด (Staacks et al., 2018) อีกทั้งนำแนวคิดการสร้างรถเข็นพัดลมโดยใช้สมองกลหรือไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมมอเตอร์ การออกแบบวงจรและเขียนโปรแกรมคำสั่งด้วยโปรแกรม Arduino IDE มาประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือในกิจกรรมสะเต็มศึกษา โดยสร้างหุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงที่เพื่อใช้ในการพัฒนาแนวคิด เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ซึ่งหุ่นยนต์เป็นเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่สามารถเคลื่อนไหวได้โดยมีการทำงานจากโปรแกรมการตัดสินใจและสามารถ

ปรับเปลี่ยนโปรแกรมการทำงานให้สามารถทำงานอย่างอัตโนมัติด้วยตัวหุ่นยนต์เองหรือถูกควบคุมโดยมนุษย์อีกทีหุ่นยนต์โดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะการใช้งาน ดังนี้

(1) หุ่นยนต์ชนิดที่ติดตั้งอยู่กับที่ (Fixed robot) เป็นหุ่นยนต์ที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปไหนด้วยตนเอง มีลักษณะเป็นแขนกลสามารถหยิบและเคลื่อนไหวได้เฉพาะแต่ละข้อต่อเท่านั้น มักเป็นหุ่นยนต์ในระบบอุตสาหกรรมที่ใช้งานในการหยิบจับและเคลื่อนย้ายชิ้นงาน เช่น โรงงานประกอบรถยนต์

(2) หุ่นยนต์ชนิดที่เคลื่อนที่ได้ (Mobile robot) หุ่นยนต์ประเภทนี้สามารถเคลื่อนที่ไปยังที่ต่าง ๆ ได้ด้วยตัวเองโดยการใช้ล้อหรือขา ซึ่งหุ่นยนต์ประเภทนี้ ปัจจุบันถูกนำมาใช้ในระบบขนส่งสินค้า เช่น หุ่นยนต์ขนส่งสินค้าอัตโนมัติ

เหตุผลที่ต้องทำกิจกรรมสะเต็มศึกษาผ่านหุ่นยนต์ ประการแรก คือ ตัวหุ่นยนต์เป็นนวัตกรรมที่ได้มาจากแนวความคิดบูรณาการของสะเต็ม เป็นสิ่งที่จับต้องได้อีกตัวหนึ่งที่ช่วยดึงดูดให้นักเรียนเกิดความสนใจอยากที่จะลงมือสร้างและควบคุมหุ่นยนต์ด้วยตนเอง (Sheikh, Fulbright and Hademenos, 2011) จนนำไปสู่รูปแบบการเรียนรู้ที่ให้นักเรียนได้ความรู้ทางทฤษฎี ได้ทักษะจากการปฏิบัติไปพร้อมกันและความเพลิดเพลิน สนุกสนาน จึงถือว่าเป็นการผสมผสานภาคทฤษฎีและปฏิบัติไปพร้อมกันอย่างแนบเนียน (Kim et al., 2015)



ภาพที่ 2.2 กรอบแนวคิดการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาด้วยหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ

จากภาพที่ 2.2 การบูรณาการความรู้ต่าง ๆ ด้วยหุ่นยนต์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น จะเห็นได้ว่าสาระการเรียนรู้ที่นักเรียนจะได้รับนั้น ได้แก่ ความรู้ทางวิทยาศาสตร์จะได้ความรู้ เรื่อง ชิ้นส่วน และการ

ประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น วงจรไฟฟ้า แรงและการเคลื่อนที่ ความรู้ทางเทคโนโลยีสารสนเทศจะได้รับความรู้ เรื่อง การออกแบบโปรแกรม การเขียนโปรแกรม การทดสอบโปรแกรม การใช้แอปพลิเคชัน บอร์ด Arduino Nano และเซนเซอร์อินฟราเรด ความรู้ทางคณิตศาสตร์ จะได้รับความรู้เรื่อง กราฟ สมการ การนำเสนอข้อมูลเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณรวมถึงการวิเคราะห์และแปลความหมายผลลัพธ์

ในการสร้างหุ่นยนต์ยังต้องใช้กระบวนการออกแบบวิศวกรรมเพื่อให้ได้หุ่นยนต์ตามเงื่อนไขหรือข้อกำหนด หุ่นยนต์จึงเป็นสื่อการเรียนรู้อีกชนิดหนึ่งที่สามารถเป็นตัวกลางในการเชื่อมโยงความรู้บูรณาการสาระต่าง ๆ อีกทั้งยังสามารถเพิ่มความสามารถด้านทักษะกระบวนการแก้ปัญหาของนักเรียนได้เป็นอย่างดี (Hartigan and Hademenos, 2019) ในการสร้างนวัตกรรมหุ่นยนต์ให้ทำงานตอบสนองความต้องการหรือแก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน สามารถสร้างแรงจูงใจให้นักเรียนมีทัศนคติที่ดีต่อการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (Aris and Orcos, 2019) ทั้งยังตอบสนองต่อการเรียนรู้แบบสะเต็ม ซึ่งส่งผลให้นักเรียนได้ใช้ความคิดสร้างสรรค์เพื่อพัฒนานวัตกรรมให้ผลผลิตใหม่ ๆ ได้ (Plaza et al., 2018) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นไปที่การพัฒนากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมและพัฒนาแนวคิด เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่

2.2 การจัดกิจกรรมหุ่นยนต์ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

การเตรียมพร้อมสู่กิจกรรม ครูจำเป็นต้องจัดหาวัสดุอุปกรณ์ ข้อมูล และสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เพื่อกระตุ้นความสนใจของนักเรียน เช่น ใบความรู้ วิดีทัศน์ หรืออุปกรณ์ที่จับต้องได้และที่สำคัญต้องจัดเตรียมชุดอุปกรณ์หุ่นยนต์สำหรับการเรียนการสอนให้เหมาะสมกับจำนวนนักเรียน ซึ่งผู้วิจัยแนะนำการใช้หุ่นยนต์ 1 ตัวต่อนักเรียน 3 คน โดยลักษณะการจัดกิจกรรม ครูต้องอธิบายถึงลักษณะการสั่งงานให้หุ่นยนต์เดินตามเส้นสีดำ โดยเริ่มจากเขียนชุดคำสั่งโปรแกรม Arduino IDE ลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ แล้วส่งชุดคำสั่งไปที่หุ่นยนต์ผ่านสายสำหรับเชื่อมโยงข้อมูล จากนั้นจึงกดสวิทช์ให้หุ่นยนต์ปฏิบัติตามคำสั่งต่าง ๆ อย่างอัตโนมัติ (Herías et al., 2019) เมื่อนักเรียนเห็นหลักการทำงานแล้วจึงเริ่มให้นักเรียนใช้ความคิดสร้างสรรค์ในการออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์และวงจรไฟฟ้า จากนั้นลงมือประกอบอุปกรณ์หุ่นยนต์ เขียนชุดคำสั่ง พร้อมทั้งบรรจุคำสั่งลงในบอร์ด Arduino Nano ของหุ่นยนต์ (Deken, Koch and Dudley, 2013) ในขั้นตอนเหล่านี้ นักเรียนจะได้เรียนรู้การออกแบบเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้า การออกแบบคำสั่งต่าง ๆ รวมไปถึงการแก้ปัญหาจากการทำงานที่อาจผิดพลาดของหุ่นยนต์ ซึ่งต้องไม่ลืมที่จะให้นักเรียนบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการทำกิจกรรมทั้งหมด ไม่ว่าจะเป็นขั้นตอนการออกแบบ ขั้นตอนการดำเนินการ ขั้นตอนการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นทั้งหมดตามกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี แน่แน่นอนว่าในกระบวนการจัดกิจกรรมนี้ไม่เพียงแต่ความสนุกสนานที่เกิดขึ้นจากการเห็นหุ่นยนต์ทำงาน (Ayar, 2015) นักเรียนจะได้ความรู้ที่

ครอบคลุมทั้งเรื่องของการประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์หรือวงจรไฟฟ้าต่าง ๆ ที่เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาแนวคิดด้านฟิสิกส์ (Buachoom, Thedsakhulwong and Wuttiptom, 2019) การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ต้องใช้ความรู้ในวิชาคอมพิวเตอร์ การออกแบบชุดคำสั่ง ล้วนเป็นการนำความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างสรรค์หุ่นยนต์ (Plaza et al., 2019)

การออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์เพื่อให้ได้หุ่นยนต์ตามที่ต้องการ จำเป็นต้องใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Gaskins et al., 2015) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่นำมาใช้ดำเนินการเพื่อแก้ปัญหาหรือสนองความต้องการ ซึ่งกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมนี้จะเริ่มจากระบุปัญหา เป็นการทำความเข้าใจปัญหาในชีวิตประจำวันที่พบเจอ วิเคราะห์เงื่อนไขหรือข้อจำกัดของสถานการณ์ปัญหา เพื่อกำหนดขอบเขตของปัญหา ซึ่งจะนำไปสู่การสร้างชิ้นงานหรือวิธีการในการแก้ปัญหา จากนั้นจึงทำการรวบรวมข้อมูลและแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหรือความต้องการตามที่กำหนดไว้ใน ขั้นที่ 1 เมื่อได้วิธีการที่เหมาะสมแล้วจึงทำการออกแบบชิ้นงานโดยการประยุกต์ใช้ข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมใน ขั้นที่ 2 ด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น การร่างภาพ การอธิบาย เป็นต้น ซึ่งต้องวางลำดับขั้นตอนของการสร้างชิ้นงานแล้วลงมือสร้างหรือพัฒนาชิ้นงาน จากนั้นทดสอบและประเมินผลการใช้งานของชิ้นงาน โดยผลที่ได้จะนำมาใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาให้มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาได้อย่างเหมาะสมที่สุด จากนั้นนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน เป็นการนำเสนอแนวคิดและขั้นตอนการแก้ปัญหาของการสร้างชิ้นงาน (สุธิดา การมี, 2560) ให้ผู้อื่นเข้าใจและได้ข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนาต่อไป ดังนั้น กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมจึงประกอบด้วย 6 ขั้นตอน (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2557) ซึ่งผู้วิจัยนำมาใช้ในงานวิจัย โดยการจัดทำชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติที่สามารถประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมและพัฒนาความเข้าใจในแนวคิด เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ไปพร้อมกัน โดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 ระบุมหา (Problem Identification) เป็นการทำความเข้าใจปัญหาที่เกิดขึ้นกับหุ่นยนต์จากสถานการณ์ที่กำหนดให้ โดยวิเคราะห์เงื่อนไขหรือข้อจำกัดของสถานการณ์ปัญหา เพื่อกำหนดขอบเขตของปัญหาซึ่งจะนำไปสู่การสร้างหุ่นยนต์

ขั้นที่ 2 รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา (Related Information Search) โดยศึกษาระบบการทำงานของหุ่นยนต์ต้นแบบ โดยศึกษาหลักการทำงานเซนเซอร์อินฟราเรดและการควบคุมมอเตอร์ด้วยชุดขับเคลื่อนรุ่น L298N เพื่อใช้ข้อมูลในการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์

ขั้นที่ 3 ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา (Solution Design) นำข้อมูลที่ได้จากการสืบค้นและรวบรวมข้อมูลข้างต้นมาใช้ออกแบบวงจรไฟฟ้าของหุ่นยนต์และออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์ โดยออกแบบร่าง 3 มิติ ที่มีรายละเอียดรูปร่าง ขนาดความกว้าง ความยาว ความสูง สัดส่วนตามหลักคณิตศาสตร์ และแสดงหน่วยการวัดขนาดที่สามารถนำไปสร้างเป็นชิ้นงานได้จริง

ขั้นที่ 4 วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา (Planning and Development) สร้างหุ่นยนต์ตามที่ออกแบบไว้ โดยการวางแผนการทำงานอย่างเป็นขั้นตอน มีการแบ่งหน้าที่และบทบาทในการรับผิดชอบร่วมกัน เช่น การต่อวงจรไฟฟ้า การเขียนโปรแกรมคำสั่งควบคุมหุ่นยนต์ การประกอบโครงสร้างหุ่นยนต์

ขั้นที่ 5 ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (Testing Evaluation and Design Improvement) ทดสอบหุ่นยนต์ว่าสอดคล้องตามเป้าหมายที่กำหนดไว้หรือไม่ โดยทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โดยใช้แอปพลิเคชัน Phyphox วัดความเร่ง เพื่อประเมินผล เก็บข้อมูล ปรับปรุงแก้ไข ให้ได้หุ่นยนต์ที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น บันทึกประเด็นที่ต้องแก้ไข และมีผลเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับการปรับปรุงแก้ไข

ขั้นที่ 6 นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (Presentation) นำเสนอผลงานหรือชิ้นงานในชั้นเรียน โดยนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหา กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลา อธิบายให้เหตุผลประกอบ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ในแนวตรง จากนั้นสรุปสิ่งที่ได้จากการทำกิจกรรม

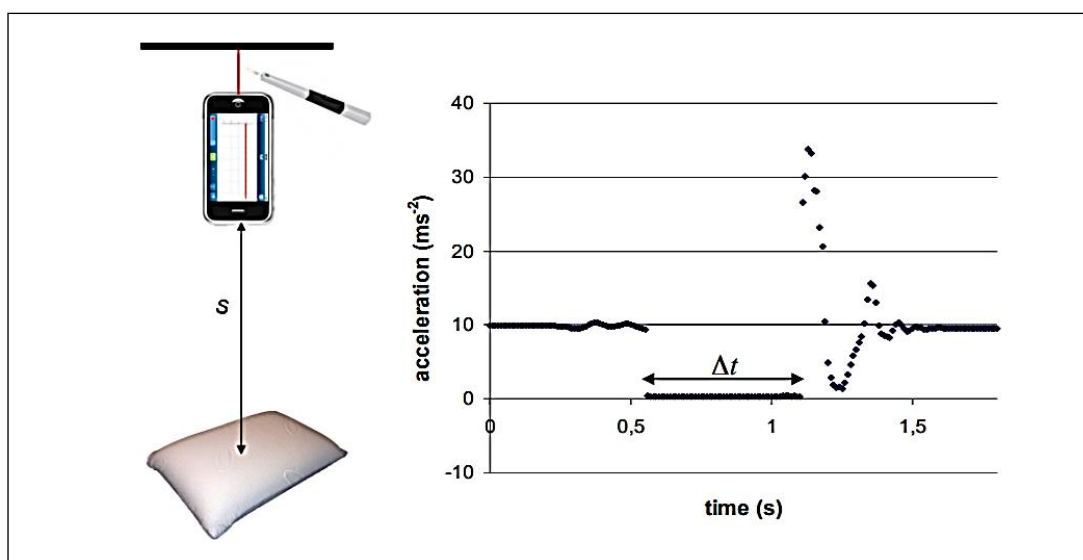
กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมสามารถใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการจัดการเรียนการสอนเพื่อเสริมสร้างและพัฒนาการเรียนรู้ของนักเรียน โดยเป็นการเรียนรู้ด้วยการออกแบบที่เน้นการจัดโอกาสให้นักเรียนได้สร้างองค์ความรู้ โดยใช้สถานการณ์ที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน (King and English, 2016) เพื่อกระตุ้นความสนใจ ก่อให้เกิดการแก้ปัญหาผ่านทางกิจกรรมการออกแบบด้วยการบูรณาการศาสตร์หลักที่เกี่ยวข้องสี่ศาสตร์ ซึ่งช่วยส่งเสริมความสามารถในการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ (Vartiainen, Liljeström and Enkenberg, 2012) อีกทั้งยังเป็นการฝึกทักษะในการคิดอย่างเป็นขั้นตอน ซึ่งเป็นการต่อยอดความรู้ที่มีอยู่เดิมให้ขยายไปจนเกิดมุมมองใหม่ ๆ ในการแก้ปัญหานั้น ๆ ได้อย่างครอบคลุมและถูกต้อง (Clavert and Paloposki, 2015) จนนำไปสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์หรือวิธีการที่มีความสามารถนำไปแข่งขันในเชิงธุรกิจและเป็นการเพิ่มความสามารถทางปัญญาของเยาวชนไทย ซึ่งเป็นกำลังในการพัฒนาประเทศชาติต่อไปในอนาคต

2.3 การใช้เซนเซอร์ความเร่งในสมาร์ตโฟนศึกษาปริมาณทางฟิสิกส์

สมาร์ตโฟนเป็นโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีความสามารถเพิ่มเติมนอกเหนือจากโทรศัพท์มือถือทั่วไป ซึ่งสมาร์ตโฟนได้ถูกมองว่าเป็นคอมพิวเตอร์พกพาที่ทำงานในลักษณะของโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยสามารถเชื่อมต่อความสามารถหลักของโทรศัพท์มือถือเข้ากับแอปพลิเคชันที่สามารถเรียกใช้เซนเซอร์ต่าง ๆ ของโทรศัพท์ได้ เช่น เซนเซอร์วัดความเร่ง (Accelerometer sensor) ใช้สำหรับจับลักษณะการเคลื่อนไหวของสมาร์ตโฟน การเอียงเครื่อง เซนเซอร์วัดสภาพแสง (Light sensor) เพื่อปรับการแสดงผลหน้าจอ เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ (Temperature sensor) และเซนเซอร์ตรวจจับคลื่น

แม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic sensor) เป็นต้น ซึ่งเซนเซอร์ดังกล่าวสามารถนำมาช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ในวิชาฟิสิกส์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้สมาร์ทโฟนเพื่อเป็นเครื่องมือวัดปริมาณทางฟิสิกส์ (Kuhn, Vogt and Müller, 2014) เช่น Baldock and Johnson (2016) ได้ศึกษาการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ของวัตถุที่เคลื่อนที่บนระนาบเอียง โดยใช้สมาร์ทโฟนเป็นวัตถุให้เคลื่อนที่ลงบนระนาบเอียง จากนั้นวัดค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างสมาร์ทโฟนกับพื้นเอียงเป็น 0.100 Patrinoopoulos and Kefalis (2015) ได้ศึกษาการวัดความเร็วเชิงมุมและการคำนวณโมเมนต์ของความเฉื่อยของวัตถุดังกล่าว โดยใช้เซนเซอร์วัดการหมุน (gyroscope sensor) ผ่านแอปพลิเคชันในสมาร์ทโฟน พบว่า โมเมนต์ความเฉื่อยของสมาร์ทโฟนและวงล้อรวมกัน เท่ากับ 2.6×10^{-4} กิโลกรัม·เมตร² ในขณะที่ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของสมาร์ทโฟนเพียงอย่างเดียว เท่ากับ 6.3×10^{-3} กิโลกรัม·เมตร² สมาร์ทโฟนสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษาแนวคิดทางฟิสิกส์ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ในกรณีที่ความเร่งคงที่ได้อย่างแม่นยำและถูกต้อง ตัวอย่าง เช่น

Vogt and Kuhn (2012) ได้ศึกษาการตกอย่างอิสระด้วยเซนเซอร์วัดความเร่งในสมาร์ทโฟน โดยการนำสมาร์ทโฟนมาผูกไว้กับเชือก จากนั้นตัดเชือกให้ขาดจากสมาร์ทโฟนเพื่อให้ตกลงสู่พื้นอย่างอิสระ โดยมีเบาะไว้รองรับเมื่อตกถึงพื้นเพื่อป้องกันความเสียหายจากการกระแทก ดังภาพที่ 2.3



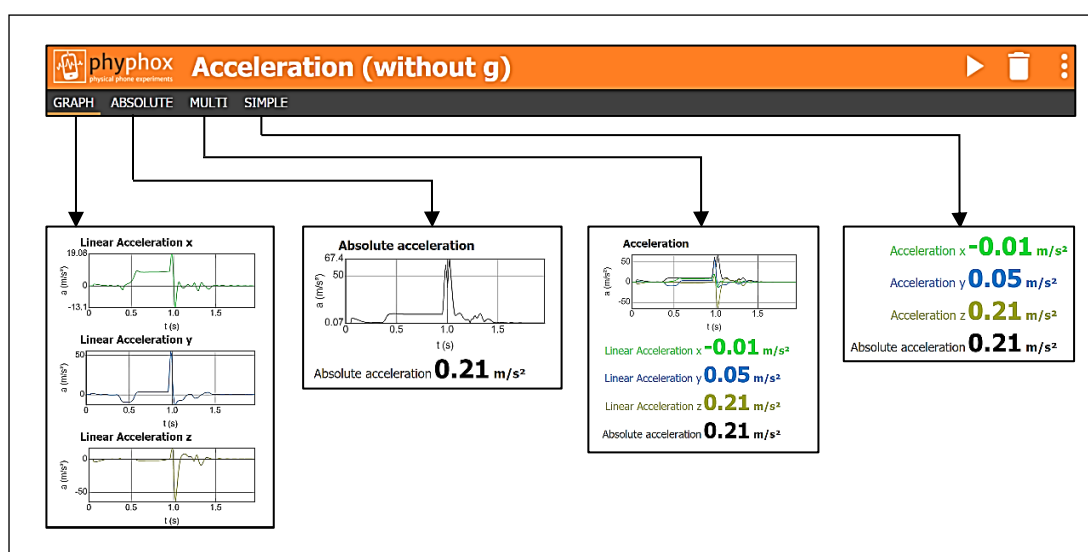
ภาพที่ 2.3 การศึกษาการตกอย่างอิสระด้วยเซนเซอร์วัดความเร่ง
ที่มา: Vogt and Kuhn (2012)

จากภาพที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าในตอนแรกก่อนจะปล่อยสมาร์ทโฟน พบว่า สมาร์ทโฟนมีความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงเป็น 9.81 เมตรต่อวินาที² จากนั้นเมื่อปล่อยให้สมาร์ทโฟนตกอย่างอิสระ จนถึง

เวลา 0.6 วินาที พบว่ามีความเร่งเป็นศูนย์ เซนเซอร์ยังคงขยับเล็กน้อยเมื่อตกกระทบพื้นแล้วหยุดนิ่ง หลังจากช่วงเวลา 1.5 วินาที เห็นได้ชัดว่าสมาร์ตโฟนสามารถอธิบายการตกอย่างอิสระได้อย่างถูกต้อง เมื่อนำค่าที่วัดได้ไปคำนวณ โดยให้ช่วงเวลา (Δt) ที่สมาร์ตโฟนตกอย่างอิสระเป็น 0.56 วินาที ในระยะ (s) 1.575 เมตร แทนค่าในสมการการเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงที่ โดยที่ความเร็วต้นเป็นศูนย์ เมื่อแทนค่าในสมการการเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง (a) คงที่ $a = 2s/t^2$ พบว่าความเร่งมีค่า 10.0 ± 0.2 เมตรต่อวินาที² ซึ่งผลที่ได้ถือว่าสมาร์ตโฟนมีความแม่นยำในการวัด ใช้งานง่าย อีกทั้งนักเรียนยังคุ้นเคยกับอุปกรณ์และสามารถใช้งานแอปพลิเคชันได้อย่างชำนาญ

จากงานวิจัยดังกล่าวผู้วิจัยได้นำแนวคิดการใช้สมาร์ตโฟนผ่านแอปพลิเคชัน Phyphox มาใช้เป็นเครื่องมือวัดความเร่งซึ่งเป็นปริมาณทางฟิสิกส์เพื่อพัฒนาแนวคิดของนักเรียนในเรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ซึ่งประกอบไปด้วย กราฟแรง กราฟความเร่ง กราฟความเร็ว และทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ ซึ่งแนวคิดดังกล่าวยังมีนักเรียนที่มีความเข้าใจผิด (Rakkapao et al., 2013) ซึ่งในการใช้เซนเซอร์ความเร่งผ่านแอปพลิเคชัน Phyphox ต้องทำความเข้าใจความแตกต่างระหว่าง เมนูความเร่งด้วย g (Acceleration with g) กับเมนูความเร่งไม่มี g (Acceleration without g) โดยเมนูความเร่งด้วย g เป็นการใช้ข้อมูลดิบจากเซนเซอร์ความเร่งของสมาร์ตโฟน เซนเซอร์ในสมาร์ตโฟนสามารถวัดแรงที่มีต่อมวล ซึ่งรวมถึงการมีส่วนร่วมจากความเร่งด้วยแรงโน้มถ่วง ดังนั้นเซนเซอร์นี้จะรายงานความเร่งที่ 9.81 เมตรต่อวินาที² ในขณะที่สมาร์ตโฟนหยุดนิ่ง (ซึ่งเป็นสิ่งที่เราเรียกว่า “ความเร่งด้วย g”) ในทางตรงกันข้ามความเร่งทางกายภาพจะเป็นศูนย์เมื่อสมาร์ตโฟนวางอยู่ (หรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่) ดังนั้นสมาร์ตโฟนส่วนใหญ่จึงแสดงค่าของเซนเซอร์เสมือนไม่มีค่าความเร่ง g จึงเรียกว่า “ความเร่ง ไม่มี g” ซึ่งเซนเซอร์จะรายงานความเร่งเป็นศูนย์ในขณะที่โทรศัพท์หยุดนิ่ง เซนเซอร์จะประกอบด้วยระบบพิกัด แกน z เป็นแกนที่ตั้งฉากกับหน้าจอ แกน x เป็นแกนที่ชี้ไปทางขวาตามแนวนอนและแกน y เป็นแกนที่ชี้ขึ้นไปทางด้านยาวของโทรศัพท์ตามแนวตั้ง สำหรับแท็บเล็ตขนาดใหญ่บางรุ่นการวางแนวเริ่มต้นอาจเป็นแนวนอนซึ่งในกรณีนี้แกน x จะชี้ไปทางด้านยาวของอุปกรณ์ (Staacks et al., 2018)

การติดตั้งและใช้งานแอปพลิเคชัน Phyphox เริ่มจากดาวน์โหลดแอปพลิเคชัน คลิกที่คำว่า Phyphox จากนั้นเข้าไปที่แอปพลิเคชัน Phyphox เลือก เมนู Acceleration (without g) ตั้งค่าเวลาการทดลอง โดยกดเครื่องหมาย 3 จุดตรงมุมขวา แล้วเลือกตรงคำว่า Timed run เมื่อขึ้นเครื่องหมายถูก เลือกตรงคำว่า Start delay(s) เป็น 3.0 ซึ่งหมายความว่า ให้เซนเซอร์ทำงานให้หลังจากกดเริ่มไปแล้ว 3 วินาที จากนั้นเลือก Experiment duration(s) 2.0 หมายความว่า ให้จับเวลาในการทดลองทั้งหมดเป็น 2 วินาที ในหน้าจอจะมีเมนูแสดงผลในรูปแบบต่าง ๆ ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แถบเมนู Acceleration (without g)

เมนู GRAPH เป็นเมนูแสดงผลของเซนเซอร์ความเร่งตามแนวแกน X, Y และ Z โดยแสดงผลเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลา

เมนู ABSOLUTE เป็นเมนูแสดงผลลัพธ์ของเซนเซอร์ความเร่ง ที่เกิดจากการนำค่าตามแนวแกน X, Y และ Z มาคำนวณทางคณิตศาสตร์ โดยแสดงผลเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลา

เมนู MULTI เป็นเมนูแสดงผลลัพธ์ของเซนเซอร์ความเร่งและค่าข้อมูลตามแนวแกน X, Y และ Z โดยแสดงผลเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลา อีกทั้งแสดงค่าความเร่งลัพธ์เฉลี่ยและค่าความเร่งเฉลี่ยในแต่ละแกน

เมนู SIMPLE เป็นเมนูแสดงค่าความเร่งลัพธ์เฉลี่ยและค่าความเร่งเฉลี่ยตามแนวแกน X, Y และ Z

การส่งออกข้อมูล Export Data สามารถทำได้โดยเลือกรูปแบบไฟล์เช่น Excel จากนั้นกด Download Data การเลือกข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ สามารถทำได้โดยเลือกข้อมูลในช่วง Time (s) กับ ช่อง Absolute Acceleration (m/s²) เพื่อกำหนดช่วงข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์

สมาร์ทโฟนสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือวัดทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างหลากหลาย โดยเฉพาะการนำมาประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือวัดปริมาณฟิสิกส์ เพื่อเสริมสร้างความเข้าใจแนวคิดเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ ได้ (Mazzella and Testa, 2016) เนื่องจากเซนเซอร์ในสมาร์ทโฟนสามารถวัดค่าต่าง ๆ ได้อย่างแม่นยำ มีความน่าเชื่อถือสูงและแสดงผลแบบเรียลไทม์ (Vogt and Kuhn, 2012) จึงเป็นส่วนสำคัญในการกระตุ้นความสนใจและกระตือรือร้นที่จะเรียนรู้และพัฒนาชิ้นงาน (Kaps, Splith and Stallmach, 2021) รวมถึงช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ด้วยตนเองโดยการลงมือปฏิบัติใน

กิจกรรมที่หลากหลายเพื่อส่งเสริมความรู้ ความสามารถและศักยภาพของนักเรียน (González et al., 2017)

2.4 แนวคิดในการออกแบบหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ

ปัจจุบันหุ่นยนต์ได้ถูกนำมาใช้ในการจัดการเรียนการสอนมากขึ้น ซึ่งในหุ่นยนต์มักจะประกอบไปด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ มอเตอร์สำหรับขับเคลื่อน อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบเป็นโครงสร้างของหุ่นยนต์ สายสัญญาณสำหรับเชื่อมต่อเพื่อรับส่งชุดคำสั่งจากเครื่องคอมพิวเตอร์ไปยังหุ่นยนต์ รวมไปถึงเอกสารประกอบการเขียนชุดคำสั่ง ซอฟต์แวร์ที่ใช้เขียนคำสั่งหุ่นยนต์แต่ละตัวจะทำงานภายใต้ชุดคำสั่งจากภาษาซี (นิรมิข เพียรประเสริฐ, 2556) เช่น หุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติเพื่อใช้ในอุตสาหกรรม โดยควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ใช้เซนเซอร์อินฟราเรดเพื่อตรวจจับเส้นทางและเขียนโปรแกรมการควบคุม PID (Proportional Integral Derivative) เพื่อใช้ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ ส่งผลให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปตามเส้นทางได้อย่างราบรื่นและแม่นยำ (Maarif and Moyo, 2019) นอกจากนี้ยังมีหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติที่สามารถตรวจจับสิ่งกีดขวางและเดินตามเส้นสีดำได้ โดยการออกแบบประกอบด้วยบอร์ด Arduino Uno ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ รุ่น L293D ซึ่งได้พลังงานจากแบตเตอรี่ลิเธียมขนาด 6 โวลต์ (Zaman et al., 2016)

ในการสร้างหุ่นยนต์ส่วนใหญ่จะมีค่าใช้จ่ายในการจัดซื้ออุปกรณ์ที่มีราคาค่อนข้างสูง ซึ่งถือได้ว่าเป็นอุปสรรคอย่างหนึ่งในการนำมาใช้ในห้องเรียน ดังนั้น Serrano Pérez and Juárez López (2019) จึงได้นำเสนอหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติที่มีจุดเด่นคือ มีต้นทุนต่ำมาก (An ultra-low cost line follower robot) โดยใช้ซอฟต์แวร์เพื่อการศึกษาที่ไม่เสียค่าใช้จ่าย เช่น โปรแกรมเขียนคำสั่ง Arduino IDE โปรแกรมออกแบบวงจร Fritzing และโปรแกรมออกแบบสามมิติ Sketchup อีกทั้งใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และเครื่องกลราคาถูก ซึ่งหุ่นยนต์ที่สร้างขึ้นมีจุดประสงค์เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการเรียนการสอน เพื่อเพิ่มความมั่นใจ ความสนใจและความสามารถในด้านวิศวกรรม โดยนักเรียนได้รับการส่งเสริมให้สร้างหุ่นยนต์ที่เป็นเอกลักษณ์ด้วยตนเอง โดยใช้กระดาษแข็ง ซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์โอเพนซอร์ส กิจกรรมที่จัดขึ้นมีส่วนช่วยเพิ่มพูนความรู้และพัฒนาทักษะทางเทคนิคของนักเรียน เช่น การใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์และเซนเซอร์ การออกแบบสามมิติ การเรียนรู้การเขียนโปรแกรม การสร้างองค์ประกอบโครงสร้างโดยใช้กระดาษแข็งและการควบคุมหุ่นยนต์ผ่านการเชื่อมต่อสัญญาณบลูทูธ (Bluetooth) ระหว่างอุปกรณ์ผ่านการใช้สมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android กิจกรรมนี้ได้รับการพัฒนาเพื่อให้นักเรียนสามารถประยุกต์ใช้และทดสอบความคิดและแนวคิดของตนเองในการแก้ปัญหาผ่านกระบวนการคิดเชิงคำนวณและการเขียนโปรแกรม ทั้งหมดที่กล่าวมาอยู่ภายใต้แนวคิดสะเต็มศึกษา ซึ่งผลการทดสอบ พบว่า นักเรียนมีความมั่นใจ มีความสนใจและความสามารถในด้านวิศวกรรมเพิ่มขึ้น

จากงานวิจัยดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยนำแนวคิดในการเลือกใช้อุปกรณ์ มาออกแบบและสร้างหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษา สำหรับพัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมและแนวคิดในวิชาฟิสิกส์ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบหุ่นยนต์ของ Serrano Pérez และ Juárez López กับผู้วิจัย

รายการ	หุ่นยนต์ของ Serrano Pérez และ Juárez López	หุ่นยนต์ของผู้วิจัย
โปรแกรมเขียนคำสั่ง	โปรแกรม Arduino IDE	โปรแกรม Arduino IDE
บอร์ดสมองกล	บอร์ด Arduino Uno	บอร์ด Arduino Nano
การควบคุมหุ่นยนต์	การเชื่อมต่อสัญญาณบลูทูธระหว่าง อุปกรณ์ผ่านการใช้สมาร์ทโฟน	การเชื่อมต่อผ่านช่อง USB ระหว่างอุปกรณ์ผ่านการใช้ คอมพิวเตอร์
เซนเซอร์อินฟราเรด	รุ่น TCRT5000	รุ่น LM393
สัญญาณ	แอนะล็อก (analog)	ดิจิทัล (digital)
การควบคุมมอเตอร์	ทรานซิสเตอร์ รุ่น 2N3904	ชุดขับมอเตอร์ รุ่น L298N
จุดการเชื่อมต่อสาย	โฟโต้บอร์ด (Protoboard)	บอร์ดขยาย (Expansion board)

หุ่นยนต์ที่สร้างขึ้นมานั้นมีคุณสมบัติเด่น คือ 1) สามารถวิ่งด้วยความเร็วสูงและสามารถปรับเปลี่ยนความเร็วให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ อีกทั้งยังสามารถกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ได้ ซึ่งถูกกำหนดโดยชุดขับมอเตอร์รุ่น L298N เพื่อใช้ในการศึกษาปริมาณความแรงของหุ่นยนต์ 2) สามารถตรวจจับสีดำและสีขาวได้โดยใช้เซนเซอร์อินฟราเรด ซึ่งแสดงค่าสัญญาณดิจิทัลเป็น 0 กับ 1 ซึ่งมีข้อดีคือ สามารถใช้งานง่ายกว่าสัญญาณแอนะล็อก เนื่องจากสัญญาณดิจิทัลไม่ต้องปรับระดับค่าสัญญาณตามระดับความเข้มแสง 3) สามารถรวมจุดเชื่อมต่อสายไฟโดยใช้บอร์ดขยาย เป็นการลดปริมาณการใช้สายไฟในการเชื่อมต่อจุดต่าง ๆ ในวงจร ทำให้การต่อวงจรทำได้สะดวกและรวดเร็ว 4) บอร์ดสมองกลที่ผู้วิจัยเลือกใช้เป็นบอร์ดรุ่น Arduino Nano ซึ่งซึ่งมีข้อดี คือ เป็นบอร์ดขนาดเล็ก ราคาถูกและมีมาตรฐาน โดยใช้ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ ATmega328 (เอกพงศ์ บัวชุม, สุระ วุฒิพรหม และธนิดา สุจริตธรรม, 2562)

2.5 กระบวนการพัฒนาหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ

หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติสร้างขึ้นมา เพื่อใช้ในการจัดการเรียนการสอนแบบบูรณาการใน 4 สาขาวิชาหลัก ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ โดยใช้สื่อการสอน ในรูปของการออกแบบและประดิษฐ์หุ่นยนต์หลากหลายรูปแบบ โดยเน้นให้นักเรียนทุกคนได้ลงมือ ปฏิบัติด้วยตัวเอง ซึ่งช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ทั้งในภาคทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับด้านวิทยาศาสตร์ และ เทคโนโลยีอย่างสนุกสนาน พร้อมไปกับการได้ลงมือประดิษฐ์หุ่นยนต์ของตนเอง เพื่อฝึกพื้นฐานด้าน วิศวกรรม ตลอดจนการฝึกคิดเพื่อการแก้ไขปัญหาแบบครบวงจร ตั้งแต่ขั้นตอนการวางแผน การ ออกแบบ ไปจนถึงขั้นประกอบและทดลอง ปรับปรุงแก้ไข จนเป็นนวัตกรรมที่นักเรียนสร้างขึ้นด้วย ตนเองทั้งหมด (Canek, Chicas and Rodas, 2019) นักเรียนจะได้ฝึกทักษะต่าง ๆ มากมาย ได้ทั้ง ความรู้ใหม่ ๆ และการนำองค์ความรู้เดิมในวิชาหลักมาประยุกต์ใช้ในเชิงปฏิบัติมากขึ้น รู้จักศึกษาหา ข้อมูล วิเคราะห์ และแก้ไขโจทย์ปัญหาที่ซับซ้อนได้เองมากขึ้น ผลที่ได้จากการเรียนการสอนในแบบ สะเต็มนี้ จะทำให้ผู้เรียนมีกระบวนการคิดอันนำไปสู่การเพิ่มผลผลิตในการทำงานและการสร้างสรรค์ นวัตกรรมต่าง ๆ

ด้วยเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงพัฒนาหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ โดยเริ่มจากการติดตั้งโปรแกรม Arduino IDE โดยกำหนดการตั้งค่าให้สอดคล้องกับบอร์ด Arduino Nano จากนั้นศึกษาการทำงานของ เซนเซอร์อินฟราเรด โดยการออกแบบวงจรและเขียนคำสั่งโปรแกรมเซนเซอร์อินฟราเรด จากนั้น ศึกษาการควบคุมมอเตอร์ชุดขับเคลื่อน รุ่น L298N โดยการออกแบบวงจรและเขียนคำสั่งโปรแกรม การควบคุมมอเตอร์ นำความรู้ที่ได้จากการศึกษาเซนเซอร์อินฟราเรดและการควบคุมมอเตอร์มา ออกแบบหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติขับเคลื่อน 2 ล้อ และขับเคลื่อน 4 ล้อ ให้มีคุณสมบัติตามที่ ต้องการ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.5.1 การใช้งานโปรแกรม Arduino IDE เป็นโปรแกรมสำหรับเขียนคำสั่งเพื่อควบคุมการ ทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino โดยมีโปรแกรมให้ดาวน์โหลด ใช้งานได้โดยไม่มีค่าใช้จ่าย และมีเวอร์ชันที่รองรับระบบปฏิบัติการหลายแบบ เช่น Windows Linux และ Mac OS X ซึ่งผู้วิจัยได้ ติดตั้งโปรแกรม Arduino IDE ในระบบปฏิบัติการ Windows โดยดาวน์โหลดโปรแกรม (Arduino, 2019) ที่เว็บไซต์ <https://www.arduino.cc> โดยเลือกคำว่า Windows ZIP file จากนั้นเลือกคำว่า JUST DOWNLOAD เพื่อดาวน์โหลดไฟล์ ดังภาพที่ 2.5



Arduino IDE 1.8.13

The open-source Arduino Software (IDE) makes it easy to write code and upload it to the board. This software can be used with any Arduino board.

Refer to the **Getting Started** page for Installation instructions.

SOURCE CODE

Active development of the Arduino software is **hosted by GitHub**. See the instructions for **building the code**. Latest release source code archives are available **here**. The archives are PGP-signed so they can be verified using **this** gpg key.

DOWNLOAD OPTIONS

Windows Win 7 and newer
Windows ZIP file

Windows app Win 8.1 or 10 **Get**

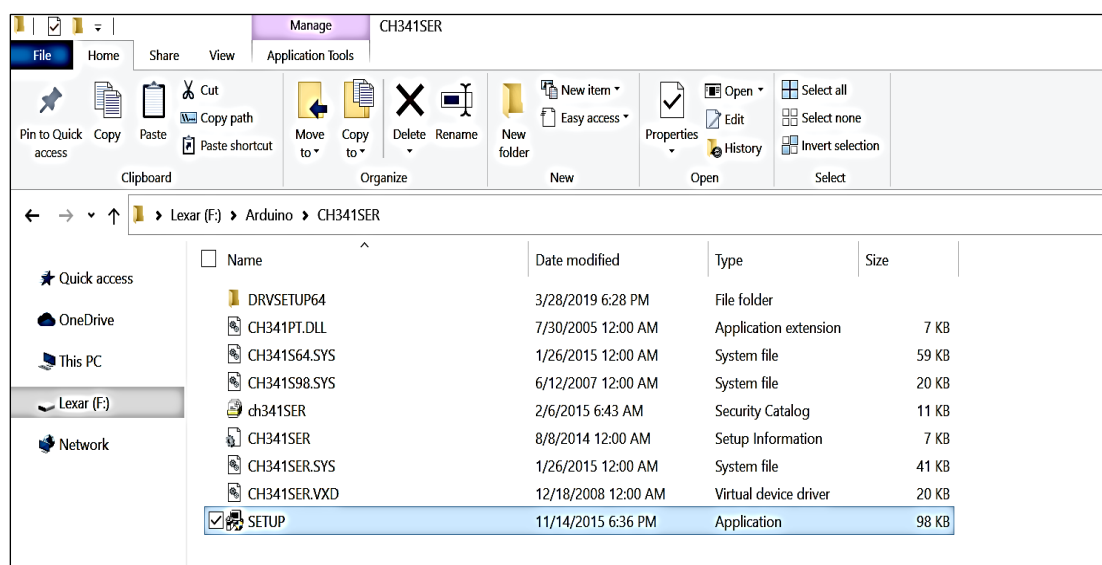
Linux 32 bits
Linux 64 bits
Linux ARM 32 bits
Linux ARM 64 bits

Mac OS X 10.10 or newer

Release Notes Checksums (sha512)

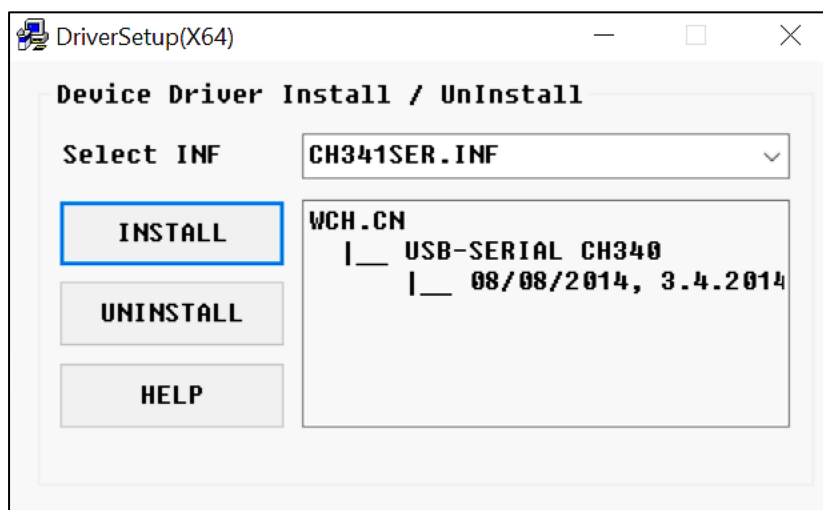
ภาพที่ 2.5 บริเวณสำหรับเลือก Windows ZIP file

การติดตั้งไดรเวอร์ USB บอร์ด Arduino Nano ที่ใช้ชิพ CH340 และ CH341 ซึ่งผู้ใช้งานจะต้องไปดาวน์โหลดไดรเวอร์เพื่อมาติดตั้งเอง โดยมี 4 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นที่ 1 แยกไฟล์ zip ไดรเวอร์ที่ดาวน์โหลดจากเว็บไซต์ข้างต้น ขั้นที่ 2 เข้าไปในโฟลเดอร์ CH341SER แล้วดับเบิลคลิกที่ไฟล์ setup.exe ดังภาพที่ 2.6



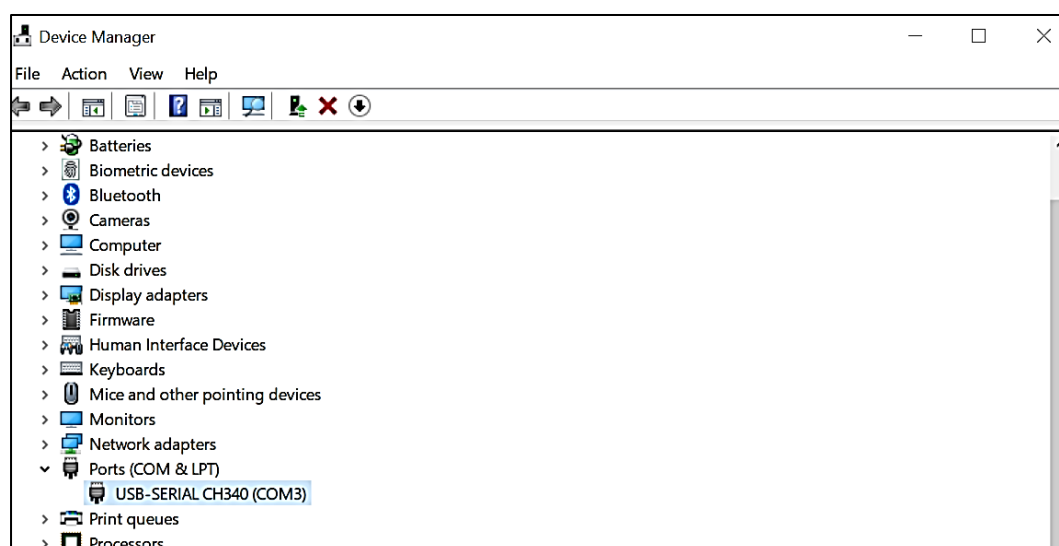
ภาพที่ 2.6 โฟลเดอร์ที่เก็บไดรเวอร์สำหรับชิพ CH341 หลังจากการแยกไฟล์

ขั้นที่ 3 คลิกที่ปุ่ม INSTALL เพื่อติดตั้งไดรเวอร์ USB ที่ใช้ชิพ CH340, CH341
 ดังภาพที่ 2.7



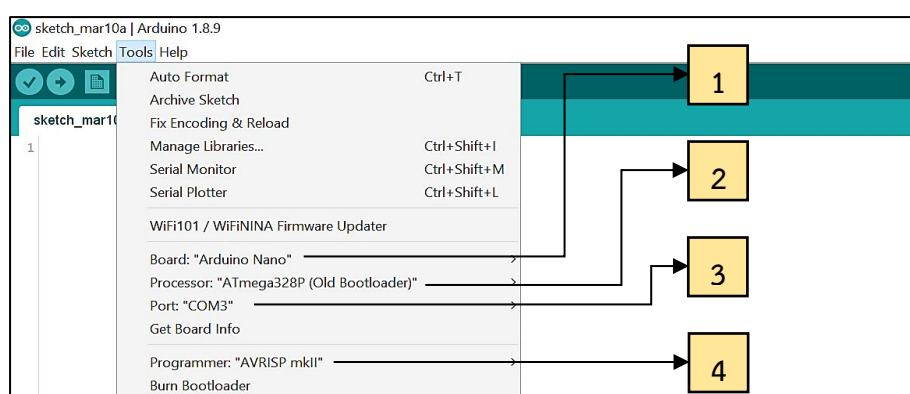
ภาพที่ 2.7 หน้าตาของโปรแกรมสำหรับติดตั้งไดรเวอร์ USB ที่ใช้ชิพ CH340, CH341

ขั้นที่ 4 ตรวจสอบการทำงานของไดรเวอร์ด้วยการเชื่อมต่อบอร์ด Arduino เข้ากับคอมพิวเตอร์ด้วยสาย USB ทำการเปิด Device Manager สังเกตพอร์ตสื่อสารที่ปรากฏขึ้นเป็น COM3
 ดังภาพที่ 2.8



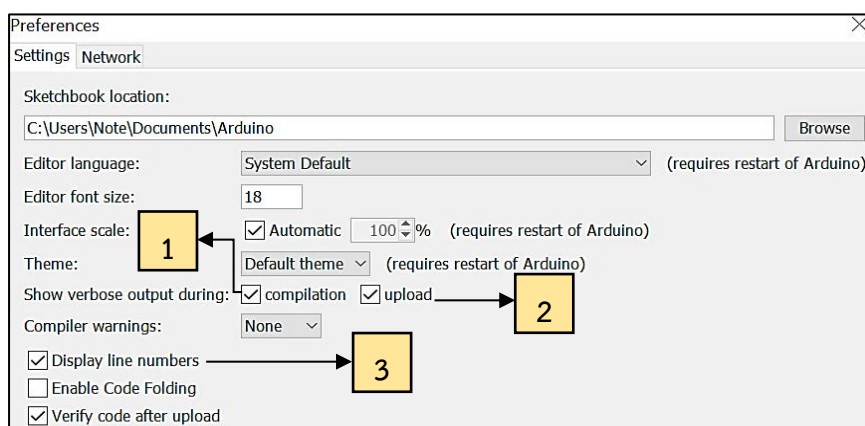
ภาพที่ 2.8 ผลการติดตั้งไดรเวอร์หลังการเชื่อมต่อบอร์ด Arduino Nano

การใช้งานโปรแกรม Arduino IDE เริ่มต้นจากการตั้งค่าบอร์ดที่แถบเมนู Tools ซึ่งมีการตั้งค่า 4 รายการ ดังนี้ หมายเลข 1 เป็นชนิดของบอร์ด Arduino ที่ใช้งาน คือ Arduino Nano หมายเลข 2 เป็นชนิดของโปรเซสเซอร์ (Processor) คือ ATmega328 (Old Bootloader) หมายเลข 3 เป็นคอมพอร์ตที่กำลังเชื่อมต่อ COM3 (ดูจาก Device manager) และหมายเลข 4 เป็นชนิดของเครื่องโปรแกรม เลือก AVRISP mkII ดังภาพที่ 2.9



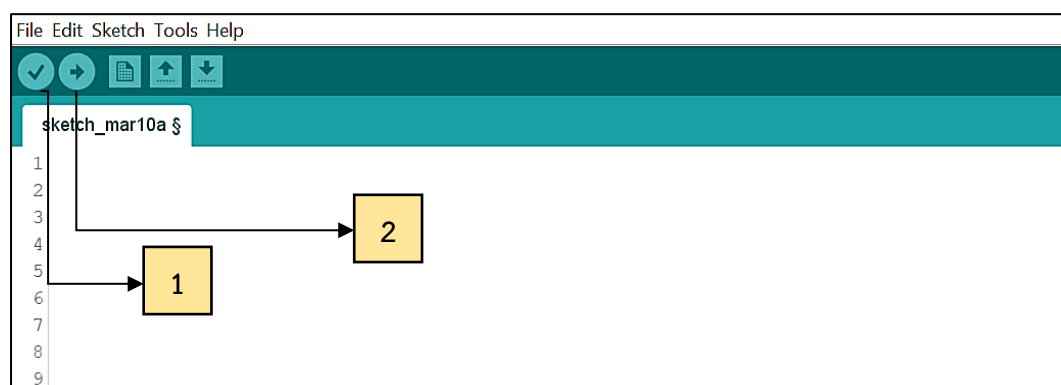
ภาพที่ 2.9 การตั้งค่าบอร์ด Arduino Nano

การตั้งค่าโปรแกรม Arduino IDE ให้แสดงตำแหน่งของไฟล์ภาษาเครื่อง หลังจากการคอมไพล์ (Compile) และอัปโหลด (Upload) โดยเลือกเมนู File คลิก Preferences เลือกแสดงผลทั้ง 3 รายการ ได้แก่ หมายเลข 1 เป็นการแสดงลำดับการเขียนคำสั่งโปรแกรม (Display line numbers) หมายเลข 2 เป็นแสดงตำแหน่งของไฟล์ภาษาเครื่อง (HEX file) หลังจากการคอมไพล์ (Compile) และหมายเลข 3 เป็นการแสดงตำแหน่งของไฟล์ภาษาเครื่อง หลังจากการอัปโหลด (Upload) ดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 คลิกเลือกทั้ง 3 รายการ

การเขียนคำสั่งโปรแกรมที่ต้องการ เริ่มจากเปิดหน้าต่างโปรแกรมแล้วคลิกที่ปุ่มคอมไพล์ ในกรณีที่ต้องการตรวจสอบผลของการเขียนโปรแกรมว่าถูกหลักไวยากรณ์หรือไม่ หรือต้องการไฟล์ ภาษาเครื่อง ไปจำลองการทำงานในโปรแกรมจำลองการทำงาน คลิกที่ปุ่มอัปโหลดคำสั่งลงบอร์ด ดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 หมายเลข 1 ปุ่มคอมไพล์และหมายเลข 2 ปุ่มอัปโหลดคำสั่งลงบอร์ด

2.5.2 เซนเซอร์อินฟราเรด (Infrared reflective sensor) เป็นเซนเซอร์ที่ใช้เพื่อกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ โดยอาศัยหลักการสะท้อนของสัญญาณแสงอินฟราเรด ซึ่งเซนเซอร์อินฟราเรดประกอบไปด้วยตัวรับและตัวส่งสัญญาณ ในพื้นสีขาวตัวรับ (Receiver) จะสามารถรับสัญญาณแสงจากตัวส่ง (Emitter) ได้ตลอดเวลา ซึ่งจะแสดงค่าสัญญาณดิจิทัลเป็น 0 เมื่อเส้นสีดำผ่านเข้ามาที่หน้าเซนเซอร์แล้วจะทำการขวางลำแสงที่ส่งออกมาจากตัวส่ง จึงทำให้ตัวรับไม่สามารถรับลำแสงที่จะสะท้อนกลับมา ซึ่งจะแสดงค่าสัญญาณดิจิทัลเป็น 1 (Pakdaman and Sanaatiyan, 2009) การใช้งานเซนเซอร์อินฟราเรดมีโปรแกรมการใช้งาน ดังนี้

(1) โปรแกรมกำหนดโหมดการทำงานให้กับขาพอร์ต: pinMode (pin, mode) สามารถกำหนดได้ทั้งขาดิจิทัล โดยใส่ตัวเลขของขา (0, 1, 2, ... 13) และขาแอนะล็อกที่ต้องการให้ทำงานในโหมดดิจิทัลได้จะต้องใส่ A นำหน้า ซึ่งใช้ได้เฉพาะ AO, A1, ... A5 ส่วนขา A6 และ A7 (มีในบอร์ด Arduino รุ่น Mini และ Nano) ไม่สามารถใช้งานในโหมดดิจิทัลได้ pin: หมายเลขขาที่ต้องการเซตโหมด mode: INPUT, OUTPUT ตัวอย่าง เช่น pinMode (13, OUTPUT) หมายถึง กำหนดให้ขา D13 ทำงานเป็นเอาต์พุตพอร์ต (ประภาส สุวรรณเพชร, 2560)

(2) โปรแกรมกำหนดความเร็วในการสื่อสารทางพอร์ตอนุกรม: Serial.begin (speed) ค่าในวงเล็บเป็นตัวเลขของอัตราเร็วในการสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรม

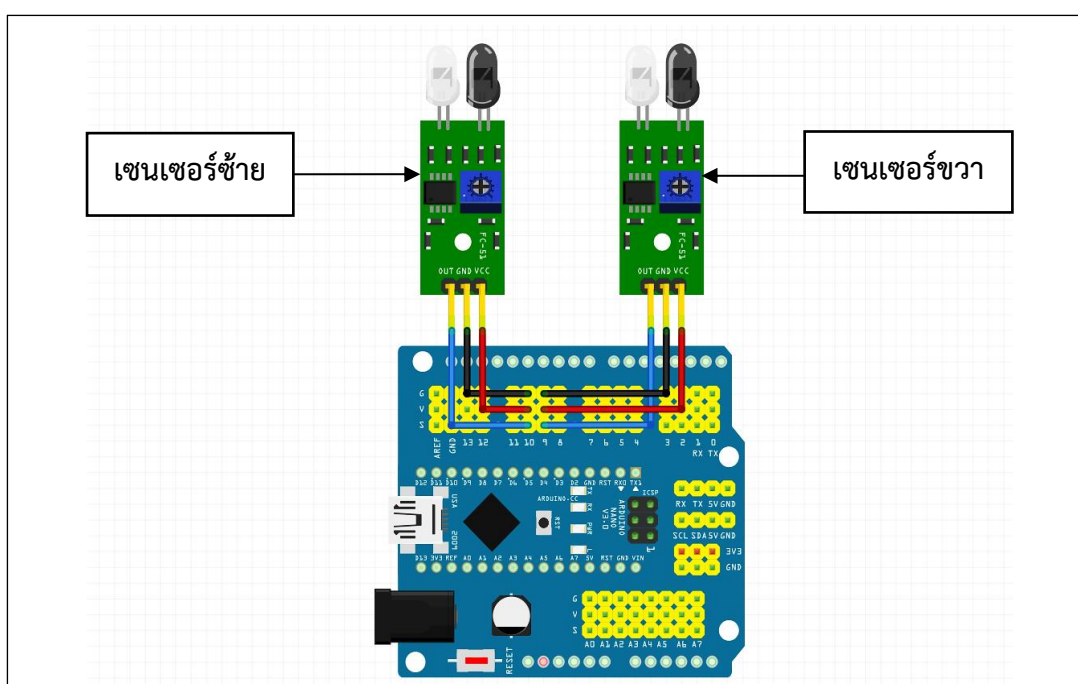
(3) โปรแกรมส่งข้อมูลออกพอร์ต: Serial.print (val) เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการส่งข้อมูลออกทางพอร์ตอนุกรมหรือพิมพ์ข้อมูลออกทางพอร์ตเพื่อแสดงผลที่จอคอมพิวเตอร์ เมื่อพิมพ์เสร็จตัวเคอร์เซอร์จะรออยู่ที่ท้ายสิ่งที่พิมพ์นั้น ๆ

(4) โปรแกรมส่งข้อมูลออกพอร์ต: Serial.println (val) คล้ายกับโปรแกรม Serial.print ต่างกันตรงที่เมื่อพิมพ์เสร็จตัว เคอร์เซอร์จะขึ้นมารอยังบรรทัดใหม่ ดังนั้นเมื่อส่งพิมพ์ครั้งถัดไปข้อมูลที่ปรากฏจะอยู่ที่บรรทัดใหม่ แทนที่จะต่อท้ายเหมือนกับโปรแกรม Serial.print

(5) โปรแกรมอ่านค่าลอจิกดิจิทัลที่ขาพอร์ต: digitalRead(pin) เป็นการอ่านค่าเข้ามาซึ่งอาจนำมาเก็บในตัวแปรแล้วตรวจสอบลอจิกที่หลัง หรือจะตรวจสอบลอจิกแบบทันทีก็ได้ ซึ่งโปรแกรมนี้จะทำงานได้ต้องมีการใช้โปรแกรม pinMode ก่อน pin: หมายเลขขาพอร์ตที่ต้องการอ่านลอจิก

(6) โปรแกรมหน่วงเวลาหรือโปรแกรมหยุดค้าง: delay(ms) การใช้งานสามารถกำหนดตัวเลขของเวลาที่ต้องการหยุดค้าง โดยตัวเลขที่ใส่เป็นตัวเลขของเวลา หน่วยเป็นมิลลิวินาที ตัวอย่างเช่น delay (1000); หมายถึง หยุดค้าง (หน่วงเวลา) ไว้เป็นเวลา 1,000 มิลลิวินาที

2.5.2.1 การเชื่อมต่อวงจรเซนเซอร์อินฟราเรด เป็นการเชื่อมต่อวงจร ดังภาพที่ 2.12 ซึ่งในเซนเซอร์จะมี ขา จำนวน 3 ขา ได้แก่ ขา OUT สายสีฟ้า ขา GND สายสีดำและขา VCC สายสีแดง



ภาพที่ 2.12 วงจรเซนเซอร์อินฟราเรด

เซนเซอร์จะมี ขา จำนวน 3 ขา ได้แก่ ขา OUT สายสีฟ้า ขา GND สายสีดำและขา VCC สายสีแดง ซึ่งมีขั้นตอนการเชื่อมต่อวงจร ดังนี้ เริ่มจากเชื่อมต่อเซนเซอร์ซ้ายกับบอร์ดขยาย

โดยใช้สายสีฟ้าเชื่อมต่อขา OUT กับ แถว S ช่อง D10 สายสีดำเชื่อมต่อขา GND กับ แถว S ช่อง D10 สายสีแดงเชื่อมต่อขา VCC กับ แถว S ช่อง D10 จากนั้นเชื่อมต่อเซนเซอร์ขาวกับบอร์ดขยาย โดยใช้สายสีฟ้าเชื่อมต่อ ขา OUT กับ แถว S ช่อง D9 สายสีดำเชื่อมต่อขา GND กับ แถว S ช่อง D9 สายสีแดงเชื่อมต่อขา VCC กับ แถว S ช่อง D9 ดังตารางที่ 2.2

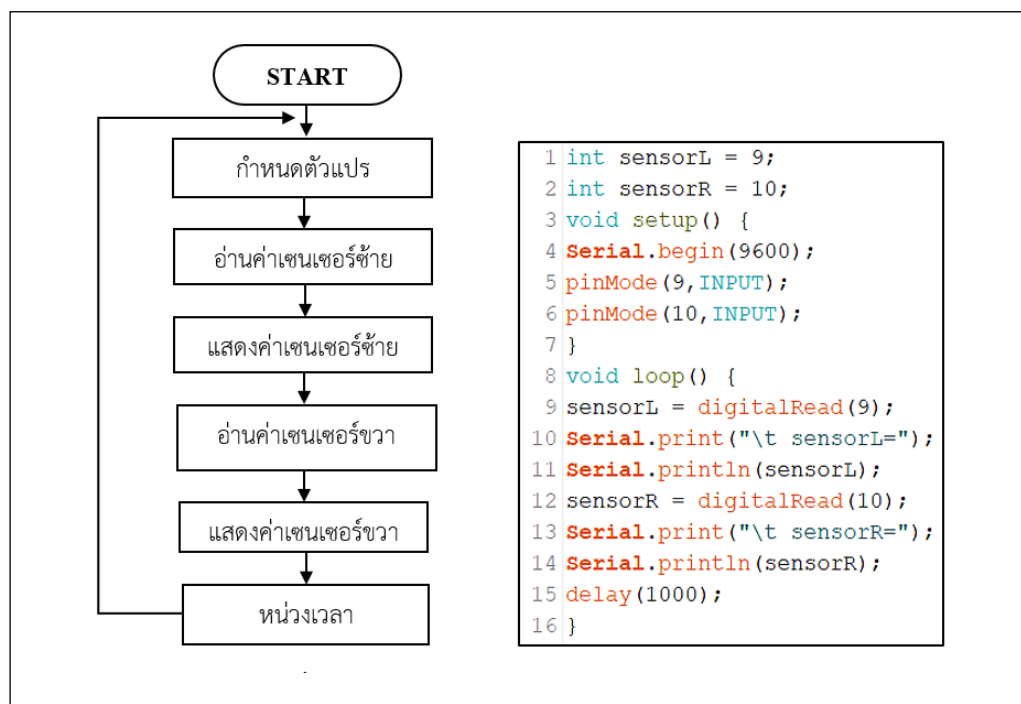
ตารางที่ 2.2 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ในวงจรเซนเซอร์อินฟราเรด

ลำดับ	การเชื่อมต่ออุปกรณ์ในวงจรเซนเซอร์อินฟราเรด		
1	สีสายไฟ	เซนเซอร์ซ้าย	บอร์ดขยาย
	ฟ้า	ขา OUT	แถว S ช่อง D10
	ดำ	ขา GND	แถว G ช่อง D10
	แดง	ขา VCC	แถว V ช่อง D10
2	สีสายไฟ	เซนเซอร์ขวา	บอร์ดขยาย
	ฟ้า	ขา OUT	แถว S ช่อง D9
	ดำ	ขา GND	แถว G ช่อง D9
	แดง	ขา VCC	แถว V ช่อง D9

2.5.2.2 การเขียนคำสั่งโปรแกรมควบคุม เป็นวิธีทดสอบการทำงานของเซนเซอร์อินฟราเรด ว่าทำงานได้สมบูรณ์หรือไม่ โดยทดสอบการเขียนคำสั่งโปรแกรมให้เซนเซอร์อินฟราเรดตรวจสอบสีขาวซึ่งจะแสดงค่าสัญญาณดิจิทัลเป็น 0 และสีดำซึ่งจะแสดงค่าสัญญาณดิจิทัลเป็น 1 โดยเริ่มจากให้ลำดับการเขียนโปรแกรมจากโจทย์ที่กำหนดข้างต้น เขียนลำดับงานได้ดังตารางที่ 2.3 จากนั้นแปลงลำดับการเขียนโปรแกรมเป็นแผนผัง แล้วเขียนคำสั่งโปรแกรมตามขั้นตอนในแผนผังแสดงดังภาพที่ 2.13 สามารถอธิบายการเขียนคำสั่งโปรแกรมของเซนเซอร์อินฟราเรด ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 ลำดับการเขียนโปรแกรมเซนเซอร์อินฟราเรด

ลำดับการเขียนโปรแกรม	ลำดับการเขียนโปรแกรม
1. กำหนดตัวแปรกับขาพอร์ตที่ต้องใช้งาน	5. อ่านค่าเซนเซอร์อินฟราเรดขวา
2. กำหนดโหมดขาที่เชื่อมต่อเซนเซอร์	6. แสดงค่าเซนเซอร์อินฟราเรดขวา
3. อ่านค่าเซนเซอร์อินฟราเรดซ้าย	7. หน่วงเวลา 1,000 มิลลิวินาที
4. แสดงค่าเซนเซอร์อินฟราเรดซ้าย	8. วงกลับไปทำ ลำดับที่ 3 ซ้ำ



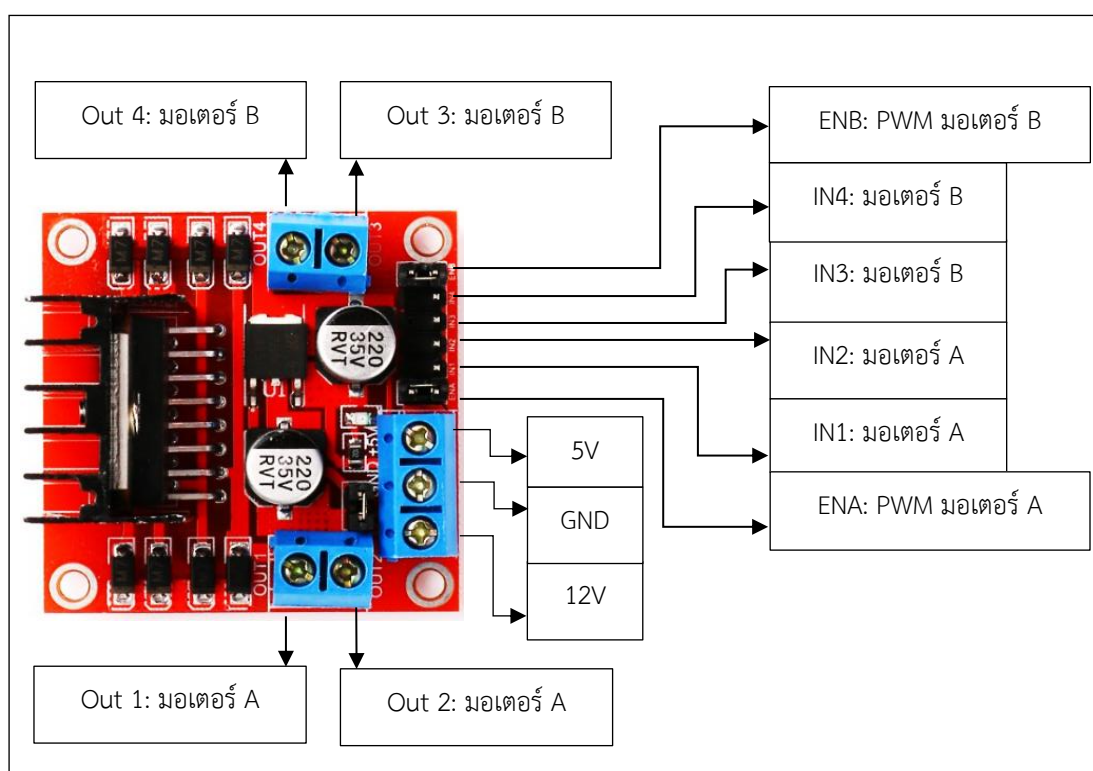
ภาพที่ 2.13 แผนผังลำดับงานและการเขียนโปรแกรมเซนเซอร์อินฟราเรด

ตารางที่ 2.4 คำอธิบายการเขียนคำสั่งโปรแกรมของเซนเซอร์อินฟราเรด

บรรทัด	คำอธิบายการเขียนคำสั่งโปรแกรมของเซนเซอร์อินฟราเรด
1, 2	กำหนดตัวแปร sensorL ขา D10 และ sensorR ขา D9
3	กำหนดโหมดการทำงาน
4	กำหนดอัตราเร็วในการสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรม
5, 6	กำหนดโหมดของขาพอร์ตที่เชื่อมต่อเซนเซอร์ ให้ทำงานเป็นอินพุตพอร์ต
9	อ่านค่าสัญญาณดิจิทัลจากเซนเซอร์ซ้าย
10	แสดงข้อความ sensorL ส่งเข้าคอมพิวเตอร์
11	แสดงค่าสัญญาณดิจิทัลจากเซนเซอร์ซ้าย
12	อ่านค่าสัญญาณดิจิทัลจากเซนเซอร์ขวา
13	แสดงข้อความ sensorR ส่งเข้าคอมพิวเตอร์
14	แสดงค่าสัญญาณดิจิทัลจากเซนเซอร์ขวา
15	หน่วงเวลา 1,000 มิลลิวินาที

การทดสอบการเขียนโปรแกรมเซนเซอร์อินฟราเรดโดยการอัปโหลดคำสั่งลงในบอร์ด Arduino Nano พบว่า เซนเซอร์อินฟราเรดซ้ายและขวา สามารถตรวจสอบสีขาวได้โดยแสดงค่าสัญญาณดิจิทัลเป็น 0 และสามารถตรวจสอบสีดำได้โดยแสดงค่าสัญญาณดิจิทัลเป็น 1

2.5.3 การควบคุมมอเตอร์ด้วยชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ รุ่น L298N ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ถูกนำไปใช้ในการควบคุมทิศทางและความเร็วของมอเตอร์ ซึ่งสามารถควบคุมมอเตอร์ได้ทั้งหมด 2 ช่อง ซึ่งมีหลักการทำงาน คือ ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์จะขับกระแสไฟฟ้าเข้ามอเตอร์ ตามข้อที่กำหนดด้วยคำสั่งโปรแกรมเพื่อควบคุมทิศทาง ส่วนความเร็วของมอเตอร์นั้นจะถูกควบคุมด้วยสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulation) ซึ่งต้องมีการปรับความถี่ให้เหมาะสมกับมอเตอร์ที่นำมาใช้งาน ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์มีส่วนประกอบ ดังภาพที่ 2.14



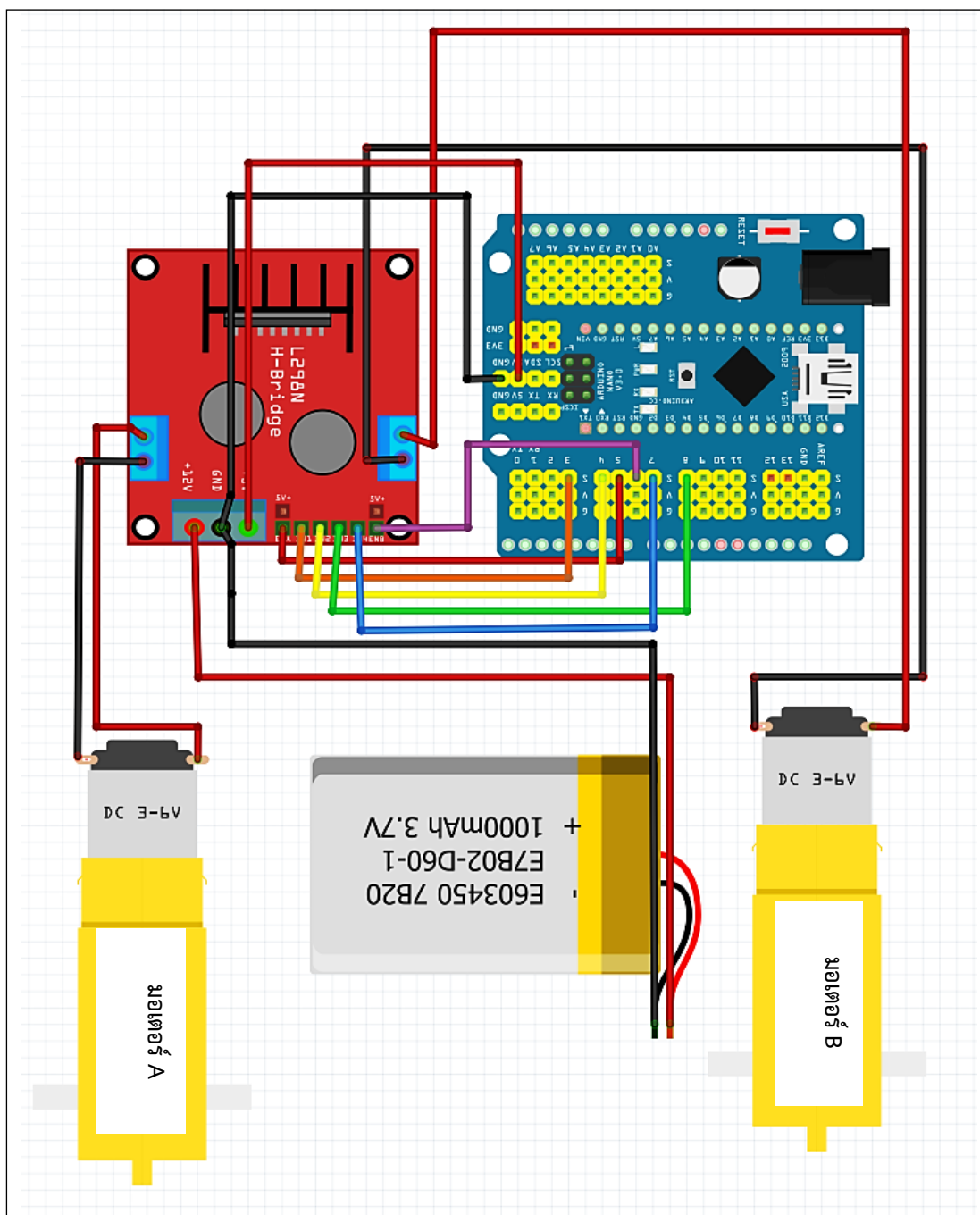
ภาพที่ 2.14 ส่วนประกอบของชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ รุ่น L298N

2.5.3.1 วงจรมอเตอร์ขับเคลื่อน 2 ล้อ เป็นการเชื่อมต่อวงจรดังภาพที่ 2.15 เริ่มจากเชื่อมต่อมอเตอร์ A กับชุดขับเคลื่อนมอเตอร์โดยใช้สายสีดำเชื่อมต่อ ขั้วบวก กับ ช่อง OUT1 สายสีแดงเชื่อมต่อขั้วลบกับช่อง OUT2 เชื่อมต่อมอเตอร์ B กับชุดขับเคลื่อนมอเตอร์โดยใช้สายสีดำเชื่อมต่อขั้วลบ กับ ช่อง OUT3 สายสีแดงเชื่อมต่อ ขั้วบวก ช่อง OUT4 เชื่อมต่อชุดขับเคลื่อนมอเตอร์กับบอร์ดขยายโดยใช้สายสีแดงเชื่อมต่อขา ENA กับ ช่อง D5 แถว S สายสีส้มเชื่อมต่อขา IN1 กับ ช่อง D3 แถว S สายสีเหลือง

เชื่อมต่อขา IN2 กับช่อง D4 แถว S สายสีเขียวเชื่อมต่อขา IN3 กับ ช่อง D8 แถว S สายสีฟ้าเชื่อมต่อขา IN4 กับ ช่อง D7 แถว S สายสีม่วงเชื่อมต่อ ขา ENB กับ ช่อง D6 แถว S สายสีดำเชื่อมต่อ ช่อง GND กับ ขา GND สายสีแดงเชื่อมต่อช่อง +5V กับ ขา 5V เชื่อมต่อชุดขับมอเตอร์กับแบตเตอรี่โดยใช้สายสีแดงเชื่อมต่อช่อง +12V กับ ขั้วบวก สายสีดำเชื่อมต่อ ช่อง GND กับขั้วลบ ดังตารางที่ 2.5

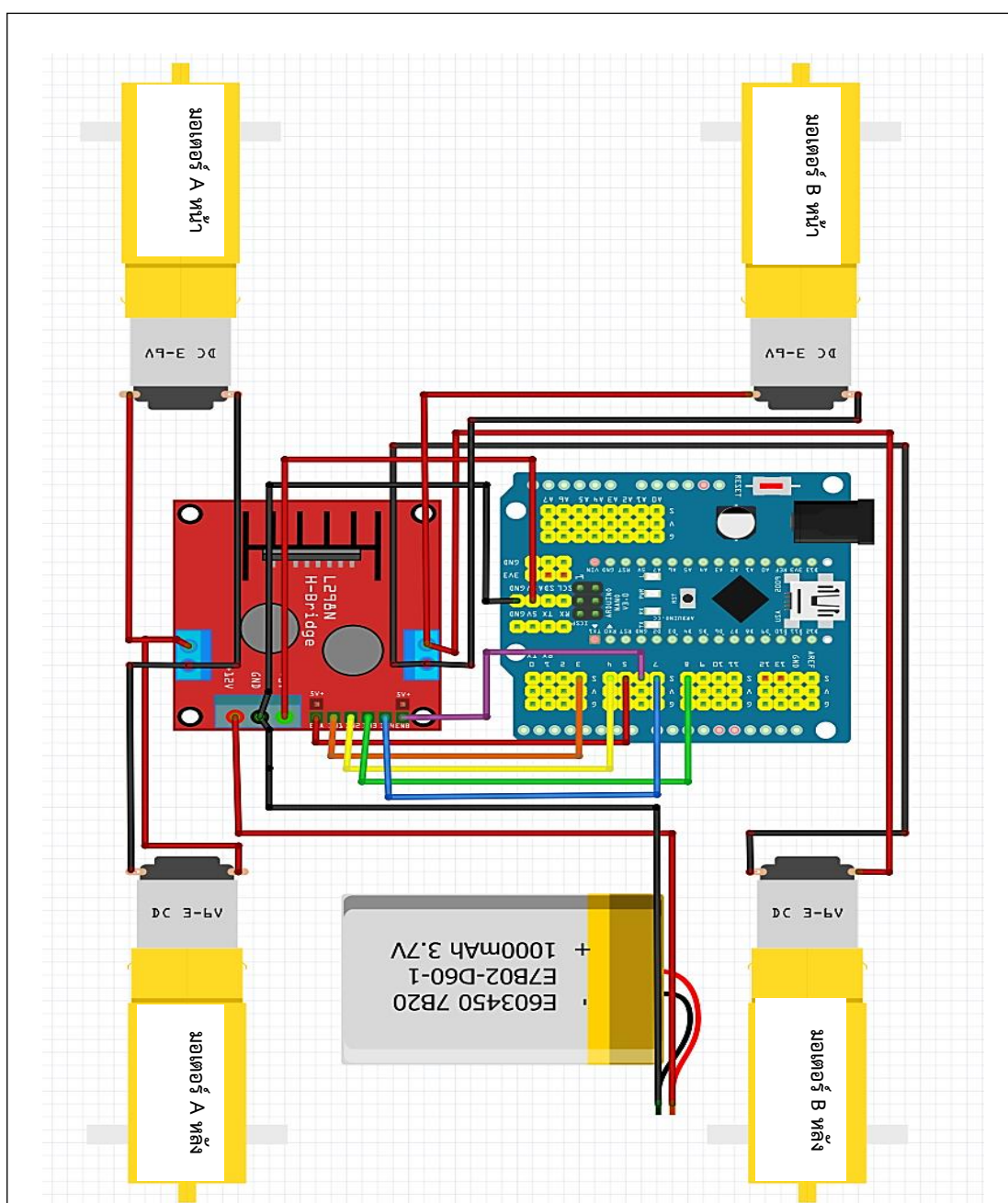
ตารางที่ 2.5 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ในวงจรมอเตอร์ขับเคลื่อน 2 ล้อ

ลำดับ	การเชื่อมต่ออุปกรณ์ในวงจรมอเตอร์ขับเคลื่อน 2 ล้อ		
1	สีสายไฟ	มอเตอร์ A	ชุดขับมอเตอร์
	ดำ	ขั้วบวก	ช่อง OUT1
	แดง	ขั้วลบ	ช่อง OUT2
2	สีสายไฟ	มอเตอร์ B	ชุดขับมอเตอร์
	ดำ	ขั้วลบ	ช่อง OUT3
	แดง	ขั้วบวก	ช่อง OUT4
3	สีสายไฟ	ชุดขับมอเตอร์	บอร์ดขยาย
	แดง	ขา ENA	ช่อง D5 แถว S
	ส้ม	ขา IN1	ช่อง D3 แถว S
	เหลือง	ขา IN2	ช่อง D4 แถว S
	เขียว	ขา IN3	ช่อง D8 แถว S
	ฟ้า	ขา IN4	ช่อง D7 แถว S
	ม่วง	ขา ENB	ช่อง D6 แถว S
	ดำ	ช่อง GND	ขา GND
	แดง	ช่อง +5V	ขา 5V
4	สีสายไฟ	ชุดขับมอเตอร์	แบตเตอรี่
	แดง	ช่อง +12V	ขั้วบวก
	ดำ	ช่อง GND	ขั้วลบ



ภาพที่ 2.15 วงจรมอเตอร์ขับเคลื่อน 2 ล้อ

2.5.3.2 วงจรมอเตอร์ขับเคลื่อน 4 ล้อ เป็นการเชื่อมต่อวงจรดังภาพที่ 2.16 โดยเริ่มจากเชื่อมต่อมอเตอร์ A หน้า กับชุดขับมอเตอร์โดยใช้สายสีดำเชื่อมต่อ ขั้วบวก กับ ช่อง OUT1 สายสีแดงเชื่อมต่อขั้วลบกับช่อง OUT2 เชื่อมต่อมอเตอร์ B หน้า กับชุดขับมอเตอร์โดยใช้สายสีดำเชื่อมต่อขั้วลบ กับ ช่อง OUT3 สายสีแดงเชื่อมต่อ ขั้วบวก ช่อง OUT4



ภาพที่ 2.16 วงจรมอเตอร์ขับเคลื่อน 4 ล้อ

เชื่อมต่อมอเตอร์ A หลัง กับชุดขับมอเตอร์โดยใช้สายสีดำเชื่อมต่อ ขั้วบวก กับ ช่อง OUT1 สายสีแดงเชื่อมต่อขั้วลบกับช่อง OUT2 เชื่อมต่อมอเตอร์ B หลัง กับชุดขับมอเตอร์โดยใช้สายสีดำเชื่อมต่อขั้วลบ กับ ช่อง OUT3 สายสีแดงเชื่อมต่อ ขั้วบวก ช่อง OUT4 เชื่อมต่อชุดขับมอเตอร์กับบอร์ดขยายโดยใช้สายสีแดงเชื่อมต่อขา ENA กับ ช่อง D5 แถว S สายสีส้มเชื่อมต่อขา IN1 กับ ช่อง D3 แถว S สายสีเหลืองเชื่อมต่อขา IN2 กับช่อง D4 แถว S สายสีเขียวเชื่อมต่อขา IN3 กับ ช่อง D8 แถว S สายสีฟ้าเชื่อมต่อ ขา IN4 กับ ช่อง D7 แถว S สายสีม่วงเชื่อมต่อ ขา ENB กับ ช่อง D6 แถว S

สายสีดำเชื่อมต่อ ช่อง GND กับ ขา GND สายสีแดงเชื่อมต่อช่อง +5V กับ ขา 5V เชื่อมต่อชุดขับมอเตอร์กับแบตเตอรี่โดยใช้สายสีแดงเชื่อมต่อช่อง +12V กับ ขั้วบวก สายสีดำเชื่อมต่อ ช่อง GND กับ ขั้วลบ แสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ในวงจรมอเตอร์ขับเคลื่อน 4 ล้อ

ลำดับ	การเชื่อมต่ออุปกรณ์ในวงจรมอเตอร์ขับเคลื่อน 4 ล้อ		
1	สีสายไฟ	มอเตอร์ A หน้า	ชุดขับมอเตอร์
	ดำ	ขั้วบวก	ช่อง OUT1
	แดง	ขั้วลบ	ช่อง OUT2
2	สีสายไฟ	มอเตอร์ B หน้า	ชุดขับมอเตอร์
	ดำ	ขั้วลบ	ช่อง OUT3
	แดง	ขั้วบวก	ช่อง OUT4
3	สีสายไฟ	มอเตอร์ A หลัง	ชุดขับมอเตอร์
	ดำ	ขั้วบวก	ช่อง OUT1
	แดง	ขั้วลบ	ช่อง OUT2
4	สีสายไฟ	มอเตอร์ B หลัง	ชุดขับมอเตอร์
	ดำ	ขั้วลบ	ช่อง OUT3
	แดง	ขั้วบวก	ช่อง OUT4
5	สีสายไฟ	ชุดขับมอเตอร์	บอร์ดขยาย
	แดง	ขา ENA	ช่อง D5 แถว S
	ส้ม	ขา IN1	ช่อง D3 แถว S
	เหลือง	ขา IN2	ช่อง D4 แถว S
	เขียว	ขา IN3	ช่อง D8 แถว S
	ฟ้า	ขา IN4	ช่อง D7 แถว S
	ม่วง	ขา ENB	ช่อง D6 แถว S
	ดำ	ช่อง GND	ขา GND
	แดง	ช่อง +5V	ขา 5V
6	สีสายไฟ	ชุดขับมอเตอร์	แบตเตอรี่
	แดง	ช่อง +12V	ขั้วบวก
	ดำ	ช่อง GND	ขั้วลบ

2.5.3.3 การเขียนคำสั่งโปรแกรมควบคุมมอเตอร์ เป็นวิธีทดสอบการทำงานของมอเตอร์ว่าทำงานได้สมบูรณ์หรือไม่ โดยทดสอบการเขียนคำสั่งโปรแกรมให้มอเตอร์ A และมอเตอร์ B หมุนไปข้างหน้าหรือถอยหลัง ซึ่งส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ให้เดินหน้า ถอยหลัง เลี้ยวซ้าย และเลี้ยวขวา การเขียนโปรแกรมสามารถทำได้โดยเริ่มจากลำดับงาน การเขียนโปรแกรมจากโจทย์ที่กำหนด ข้างต้นเขียนลำดับงานได้ดังตารางที่ 2.7 จากนั้นแปลงลำดับการเขียนโปรแกรมเป็นแผนผัง แล้วเขียนคำสั่งโปรแกรมตามขั้นตอนในแผนผัง แสดงดังภาพที่ 2.17 และอธิบายการเขียนคำสั่งโปรแกรมการควบคุมมอเตอร์ ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.7 ลำดับการเขียนโปรแกรมการควบคุมมอเตอร์

ลำดับการเขียนโปรแกรมการควบคุมมอเตอร์	ลำดับการเขียนโปรแกรมการควบคุมมอเตอร์
1. กำหนดตัวแปรกับขาพอร์ตที่ต้องใช้งาน	5. มอเตอร์ A เดินหน้า และ B ถอยหลัง
2. กำหนดโหมดขาที่เชื่อมต่omotor	6. มอเตอร์ A ถอยหลัง และ B เดินหน้า
3. มอเตอร์ A และ B เดินหน้า	7. มอเตอร์ A และ B หยุด
4. มอเตอร์ A และ B ถอยหลัง	8. วนกลับไปทำลำดับที่ 3 ซ้ำ

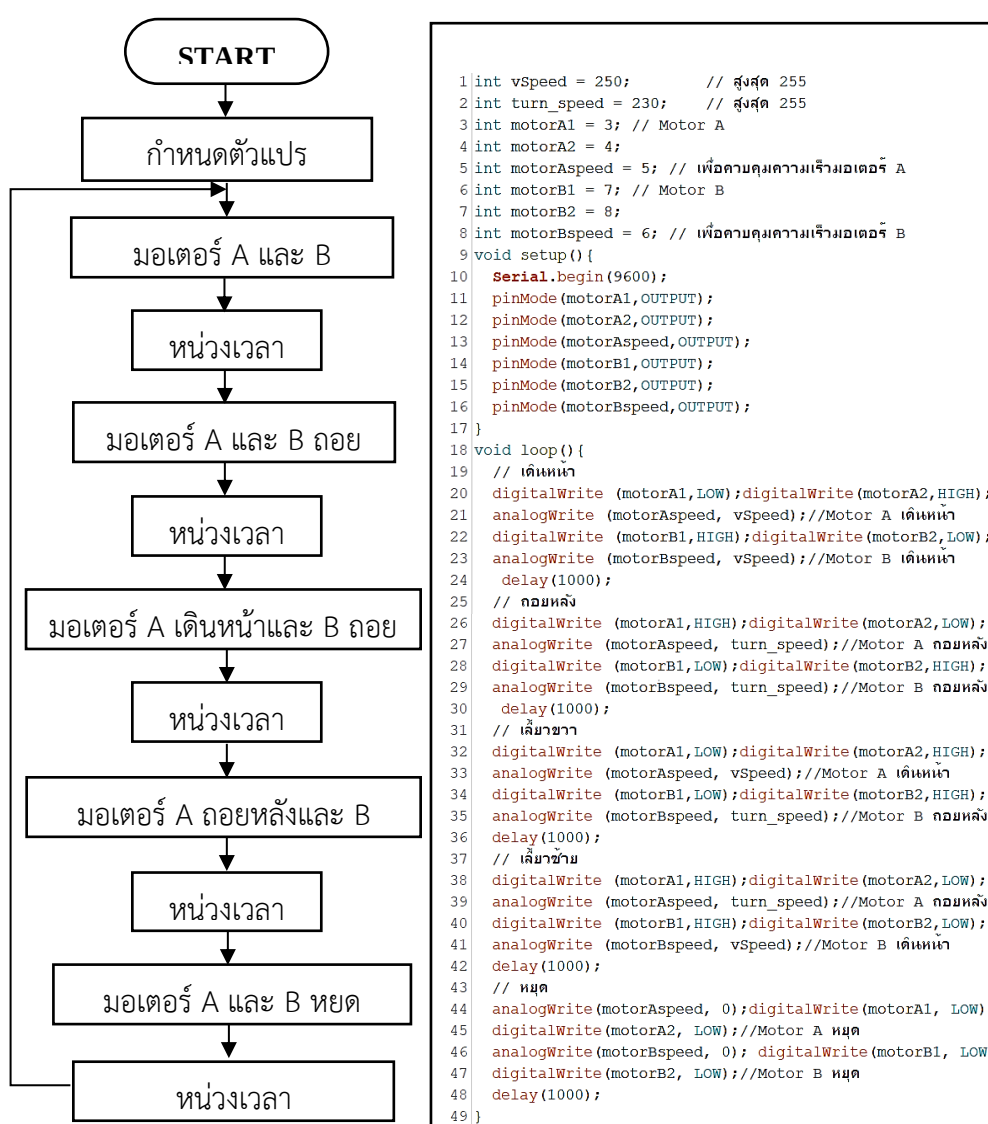
ตารางที่ 2.8 คำอธิบายการเขียนคำสั่งโปรแกรมการควบคุมมอเตอร์

บรรทัด	คำอธิบายการเขียนคำสั่งโปรแกรมการควบคุมมอเตอร์
1, 2	กำหนดตัวแปร VSpeed ให้แทน 250 ซึ่งเป็นความเร็วของมอเตอร์เมื่อหมุนไปข้างหน้า turn_speed ให้แทน 230 ซึ่งเป็นความเร็วของมอเตอร์เมื่อหมุนกลับหลัง
3, 4	กำหนดตัวแปร motorA1, motorA2 ให้แทน 3, 4 ซึ่งเป็นขาควบคุมการหมุนของมอเตอร์ A ต่อกับขา D3, D4
5	กำหนดตัวแปร motorASpeed ให้แทน 5 ซึ่งเป็น ขา ENA ของมอเตอร์ A ต่อกับขา D5
6,7	กำหนดตัวแปร motorB1, motorB2 ให้แทน 7, 8 ซึ่งเป็นขาควบคุมการหมุนของมอเตอร์ B ต่อกับขา D7, D8
8	กำหนดตัวแปร motorBspeed ให้แทน 6 ซึ่งเป็น ขา ENB ของมอเตอร์ B ต่อกับขา D6
11-16	กำหนดโหมดให้กับขาพอร์ตทำงานเป็นเอาต์พุต (Output)
20-24	สั่งให้มอเตอร์ A และมอเตอร์ B เดินหน้าเป็นเวลา 1,000 มิลลิวินาที
26-30	สั่งให้มอเตอร์ A และมอเตอร์ B ถอยหลังเป็นเวลา 1,000 มิลลิวินาที
32-36	สั่งให้มอเตอร์ A เดินหน้าและมอเตอร์ B หยุด(เลี้ยวขวา)เป็นเวลา 1,000 มิลลิวินาที

ตารางที่ 2.8 คำอธิบายการเขียนคำสั่งโปรแกรมการควบคุมมอเตอร์ (ต่อ)

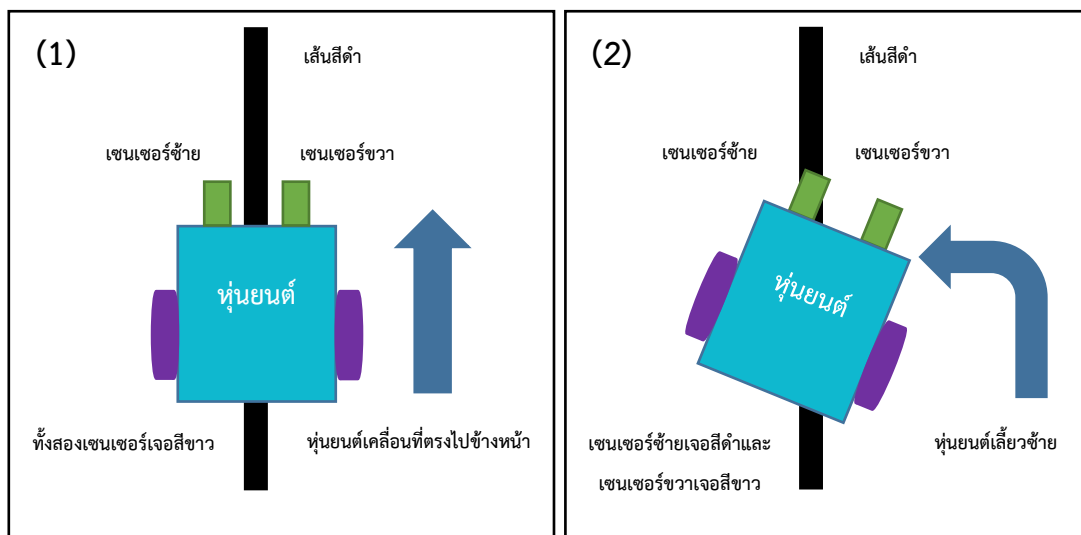
บรรทัด	คำอธิบายการเขียนคำสั่งโปรแกรมการควบคุมมอเตอร์
38-42	สั่งให้มอเตอร์ A หยุดและมอเตอร์ B เดินหน้า (เลี้ยวซ้าย) หน่วงเวลา 1,000 มิลลิวินาที
44-48	สั่งให้มอเตอร์ A หยุด และ มอเตอร์ B หยุด (หยุด) หน่วงเวลา 1,000 มิลลิวินาที

การทดสอบการเขียนโปรแกรมมอเตอร์โดยการอัปโหลดคำสั่งลงในบอร์ด Arduino Nano พบว่า มอเตอร์ A และมอเตอร์ B หมุนไปข้างหน้าและถอยหลังได้ ซึ่งส่งผลให้หุ่นยนต์เดินหน้า ถอยหลัง เลี้ยวซ้าย และเลี้ยวขวา ตามที่ต้องการ



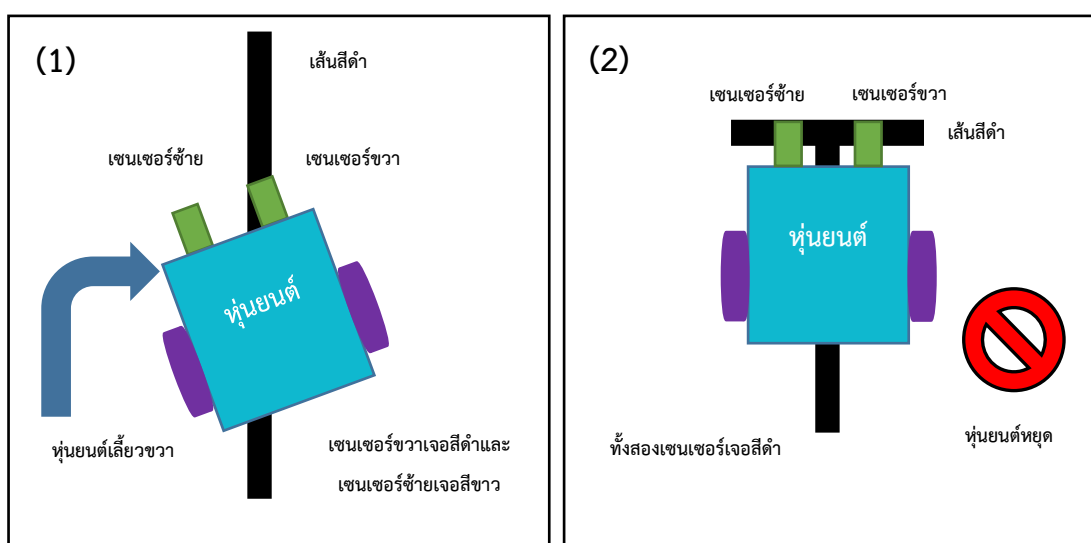
ภาพที่ 2.17 แผนผังลำดับงานและการเขียนโปรแกรมควบคุมมอเตอร์

2.5.4 หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ มีหลักการทำงานคือ เมื่อเซนเซอร์อินฟราเรดซ้ายและขวา ตรวจเจอพื้นสีขาว หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ถ้าเซนเซอร์อินฟราเรดซ้ายตรวจเจอเส้นสีดำและเซนเซอร์อินฟราเรดขวาตรวจเจอพื้นสีขาว หุ่นยนต์เลี้ยวซ้าย ดังภาพที่ 2.18



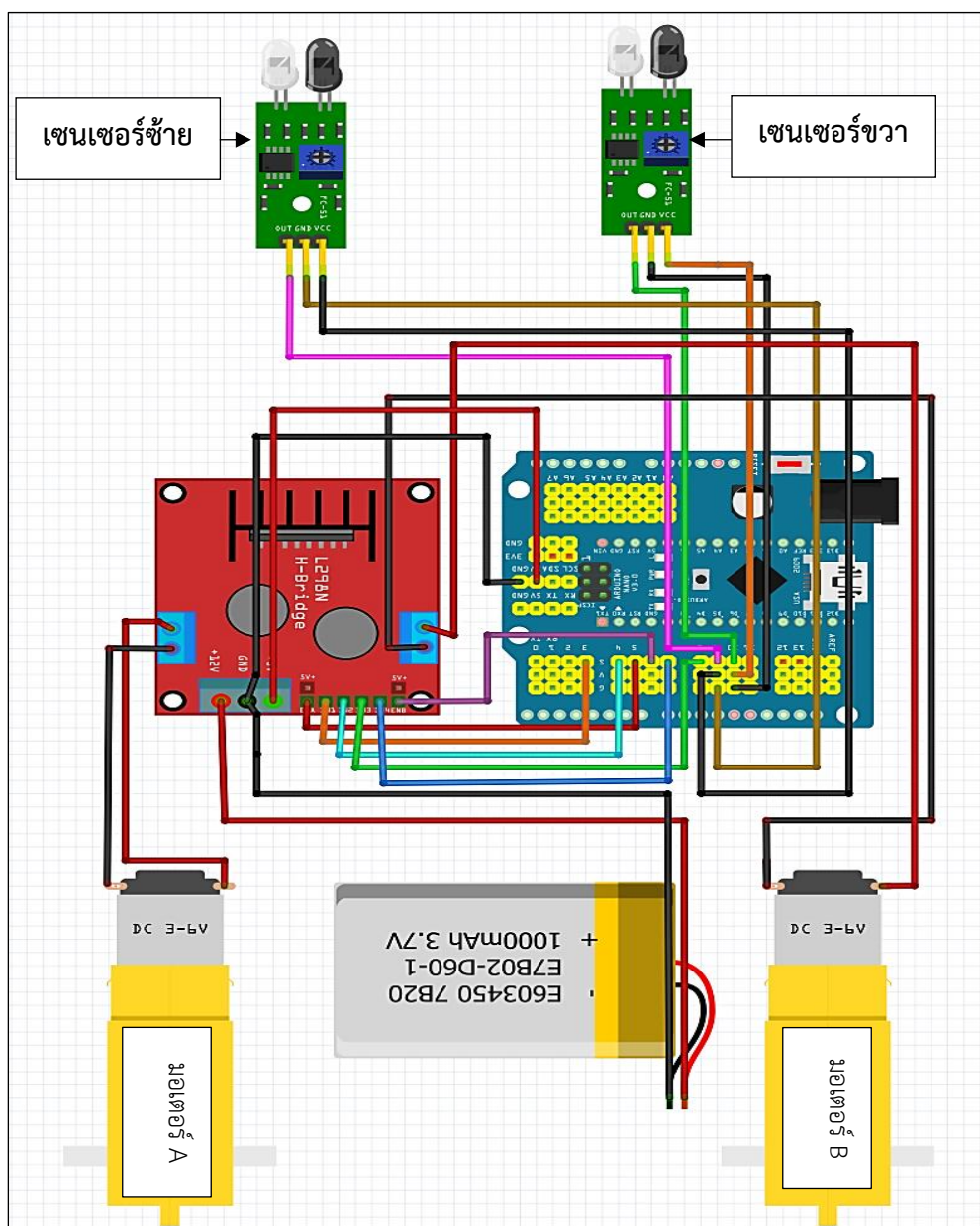
ภาพที่ 2.18 หุ่นยนต์เคลื่อนที่ (1) ข้างหน้าและ (2) เลี้ยวซ้าย

ถ้าเซนเซอร์อินฟราเรดขวาตรวจเจอเส้นสีดำและเซนเซอร์อินฟราเรดซ้ายตรวจเจอพื้นสีขาว หุ่นยนต์จะเลี้ยวขวา ถ้าเซนเซอร์อินฟราเรดทั้งสองตรวจเจอเส้นสีดำทั้งคู่ หุ่นยนต์จะหยุดเคลื่อนที่ ดังภาพที่ 2.19



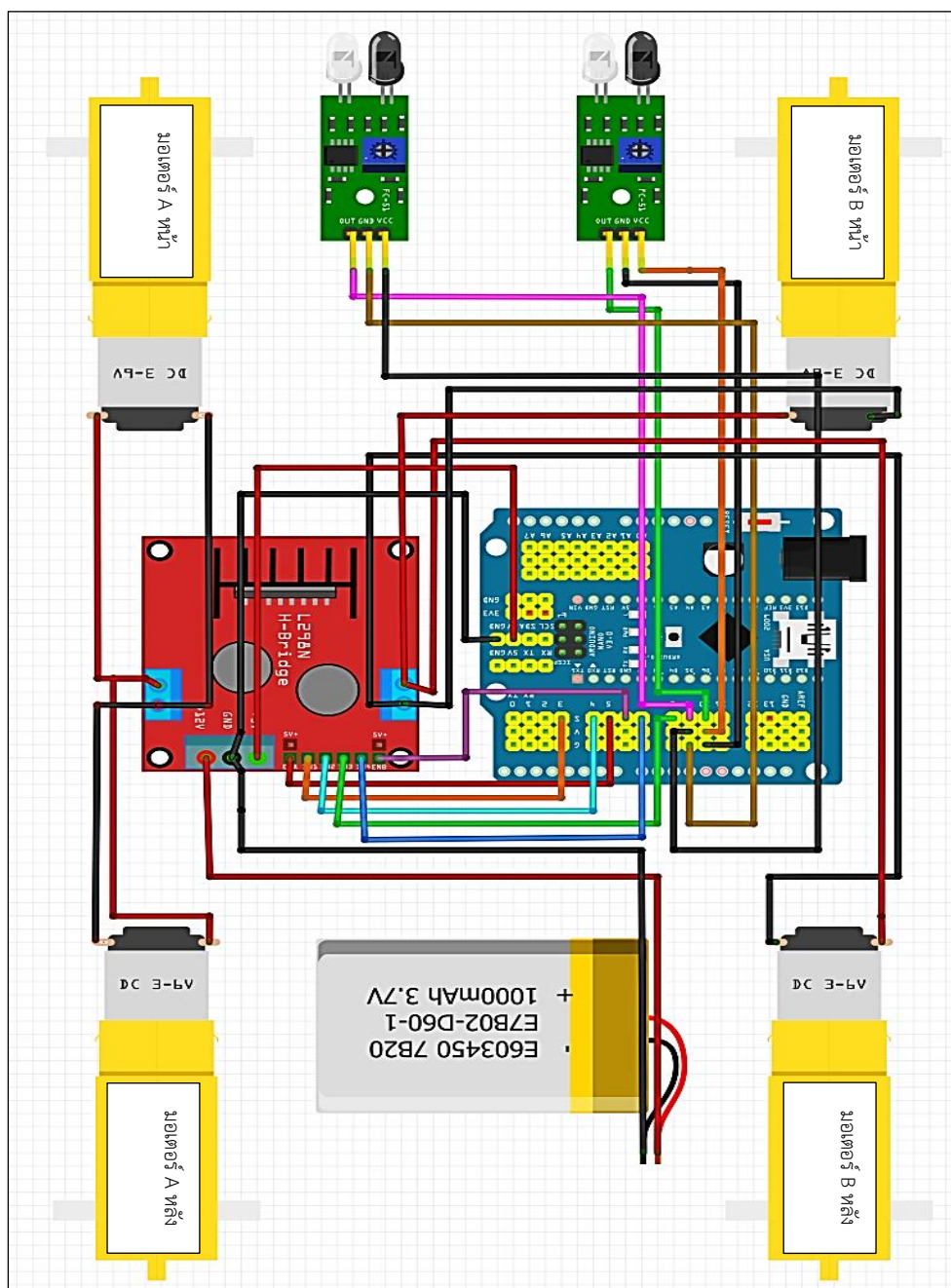
ภาพที่ 2.19 หุ่นยนต์ (1) เลี้ยวขวาและ (2) หยุด

2.5.4.1 วงจรหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติขับเคลื่อน 2 ล้อ เป็นการเชื่อมต่อแสดงดังภาพที่ 2.20 โดยใช้จุดเชื่อมต่อของเซนเซอร์อินฟราเรดตามข้อมูลในตารางที่ 2.2 และใช้จุดเชื่อมต่อการควบคุมมอเตอร์ขับเคลื่อน 2 ล้อ ตามข้อมูลในตารางที่ 2.5



ภาพที่ 2.20 วงจรหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติขับเคลื่อน 2 ล้อ

2.5.4.2 วงจรหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติขับเคลื่อน 4 ล้อ เป็นการเชื่อมต่อแสดงดังภาพที่ 2.21 โดยใช้จุดเชื่อมต่อของเซนเซอร์อินฟราเรด ตามข้อมูลในตารางที่ 2.2 และใช้จุดเชื่อมต่อการควบคุมมอเตอร์ขับเคลื่อน 4 ล้อตามข้อมูลในตารางที่ 2.6



ภาพที่ 2.21 วงจรหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติขับเคลื่อน 4 ล้อ

การเขียนคำสั่งโปรแกรมมี 4 เงื่อนไข ดังนี้ เงื่อนไขแรก ถ้าเซนเซอร์ทั้งสองพบพื้นสีขาว หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ไปข้างหน้า เงื่อนไขที่สอง ถ้าเซนเซอร์ซ้ายมาพบเส้นสีดำและเซนเซอร์ขวามพบพื้นสีขาว หุ่นยนต์จะเลี้ยวซ้าย เงื่อนไขที่สาม ถ้าเซนเซอร์ขวามาพบเส้นสีดำและเซนเซอร์ซ้ายพบพื้นสีขาว หุ่นยนต์จะเลี้ยวขวา เงื่อนไขสุดท้าย ถ้าเซนเซอร์ทั้งสองมาอยู่บนเส้นสีดำทั้งคู่ หุ่นยนต์หยุด จากนั้น

อัฟโหลดคำสั่งลงในบอร์ด (ขั้นตอนการเขียนคำสั่งและการทดสอบผู้วิจัยได้เขียนไว้ในบทที่ 3) โดยผลการทดสอบ พบว่า หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ตามเงื่อนไขที่กำหนดทุกเงื่อนไข

2.6 การประเมินความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย (Normalized gain)

Richard R. Hake (1998) นักฟิสิกส์แห่ง University of Indiana ได้เสนอวิธีประเมินผลการเรียนรู้จากการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน โดยคำนึงถึง floor and ceiling effect (โอกาสได้คะแนนต่ำสุดไม่น้อยกว่า 0 เปอร์เซ็นต์ และคะแนนสูงสุดไม่เกิน 100 เปอร์เซ็นต์) เรียกว่า Normalized Gain นิยมใช้กันมากในกลุ่มวิจัยฟิสิกส์ศึกษา (อภิสิทธิ์ ธงไชย และคณะ, 2550) โดยพิจารณาจากคะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียนเทียบกับคะแนนสูงสุดที่มีโอกาสเพิ่มขึ้นได้ เขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\langle g \rangle = \frac{(\%post - test) - (\%pre - test)}{(100) - (\%pre - test)} \quad (2.1)$$

โดยที่ $\langle g \rangle$ คือ ค่า Normalized gain

%pre - test คือ ค่าเฉลี่ยของคะแนนสอบก่อนเรียนเป็นเปอร์เซ็นต์*

%post - test คือ ค่าเฉลี่ยของคะแนนสอบหลังเรียนเป็นเปอร์เซ็นต์*

*หมายเหตุ คิดเฉพาะนักเรียนคนที่สอบทั้งก่อนเรียนและหลังเรียนเท่านั้น

จากสมการค่าของ (%posttest - %pretest) เรียกว่า Actual gain คือ ผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นจริงของนักเรียน และ (100% - %pretest) เรียกว่า Maximum possible gain คือ ผลการเรียนรู้สูงสุดที่มีโอกาสเพิ่มขึ้นได้ ดังนั้น ค่าของ Normalized gain จะมีค่าอยู่ในช่วง 0.0 - 1.0 และแบ่งระดับของค่า normalized gain ออกเป็นกลุ่มได้ 3 ระดับ คือ

High gain (H) ระดับสูง ผลการเรียนรู้เพิ่มขึ้นในช่วง $0.7 \leq \langle g \rangle \leq 1$

Medium gain (M) ระดับกลาง ผลการเรียนรู้เพิ่มขึ้นในช่วง $0.3 \leq \langle g \rangle < 0.7$

Low gain (L) ระดับต่ำ ผลการเรียนรู้เพิ่มขึ้นในช่วง $0.0 \leq \langle g \rangle < 0.3$

นอกจากนี้การคำนวณหาค่า Normalized gain สามารถใช้คะแนนสอบจริงแทนการคิดแบบเปอร์เซ็นต์ได้อีกด้วย (ไม่ต้องเปลี่ยนคะแนนที่ได้เป็นเปอร์เซ็นต์) โดยพิจารณาจากคะแนนสอบก่อนเรียน (Pre - test) กับคะแนนสอบหลังเรียน (Post - test) และใช้คะแนนเต็มของข้อสอบชุดนั้นแทน 100% ประเภทของ Normalized gain แบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

2.6.1 Class normalized gain หรือ Class average normalized gain คือ การพิจารณาผลการเรียนรู้ของนักเรียนทั้งชั้นเพื่อดูว่าผลการเรียนการสอนโดยภาพรวมของทั้งชั้นนั้นมีพัฒนาการเพิ่มขึ้นมากน้อยเพียงใด

2.6.2 Single student normalized gain คือ การพิจารณาผลการเรียนรู้เพื่อดูพัฒนาการของนักเรียนรายบุคคลว่ามีการเรียนรู้เป็นอย่างไร สำหรับข้อมูลที่ได้จากกรณีนี้สามารถช่วยให้ครูผู้สอนทราบว่านักเรียนแต่ละคนควรได้รับการช่วยเหลือหรือส่งเสริมมากน้อยเพียงใด

2.6.3 Single test item normalized gain คือ การพิจารณาข้อสอบรายข้อจากคะแนนสอบของนักเรียนทั้งก่อนเรียนและหลังเรียน ในกรณีนี้จะทำให้สามารถทราบว่านักเรียนมีความเข้าใจต่อข้อสอบข้อนั้น ๆ เป็นอย่างไร รวมทั้งเป็นข้อมูลให้แก่ครูผู้สอนสำหรับการพัฒนาข้อสอบแต่ละข้อในโอกาสต่อไป

2.6.4 Conceptual dimensional normalized gain คือ การพิจารณาพัฒนาการต่อการเรียนในแต่ละหัวข้อเพื่อดูว่านักเรียนมีผลการเรียนต่อหัวข้อนั้นอย่างไร ข้อมูลในส่วนนี้สามารถช่วยให้ครูผู้สอนพัฒนาการจัดการเรียนรู้ให้แก่นักเรียนได้ตรงประเด็น

ดังนั้น วิธีการประเมินแบบ normalized gain จะสามารถบอกได้ว่าพัฒนาการทางการเรียนของนักเรียนเพิ่มขึ้นหรือลดลงมากน้อยเพียงใด ซึ่งจะแตกต่างจากวิธีการประเมินผลแบบทั่วไป เช่น t - test และ z - test จะทราบเพียงว่านักเรียนมีพัฒนาการด้านการเรียนเพิ่มขึ้นหรือลดลงเท่านั้น

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้เป็นการสร้างชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ ที่สามารถประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมและพัฒนาความเข้าใจในแนวคิด เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ โดยผู้วิจัยได้เริ่มจากการสร้างหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติเพื่อใช้เป็นหุ่นยนต์ต้นแบบในการศึกษาวงจรไฟฟ้า โครงสร้างและระบบการทำงานของหุ่นยนต์ กระบวนการสร้างหุ่นยนต์ที่ผ่านการตรวจสอบแล้วจะถูกนำมาออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษาและจัดทำแผนการจัดการเรียนรู้ ซึ่งตัวชีวิตที่อยู่ในแผนจะถูกนำมาสร้างแบบประเมินทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมและแบบประเมินแนวคิด เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ จากนั้นฝึกอบรมพี่เลี้ยงเพื่อเป็นผู้ช่วยในการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษารวมถึงการเก็บรวบรวมข้อมูล ซึ่งข้อมูลที่ได้จะนำไปวิเคราะห์และประเมินผลต่อไป

3.1 การสร้างหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ

ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างและหาประสิทธิภาพของหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติโดยมีวัสดุอุปกรณ์แสดงดังตารางที่ 3.1 และมีขั้นตอนดังนี้

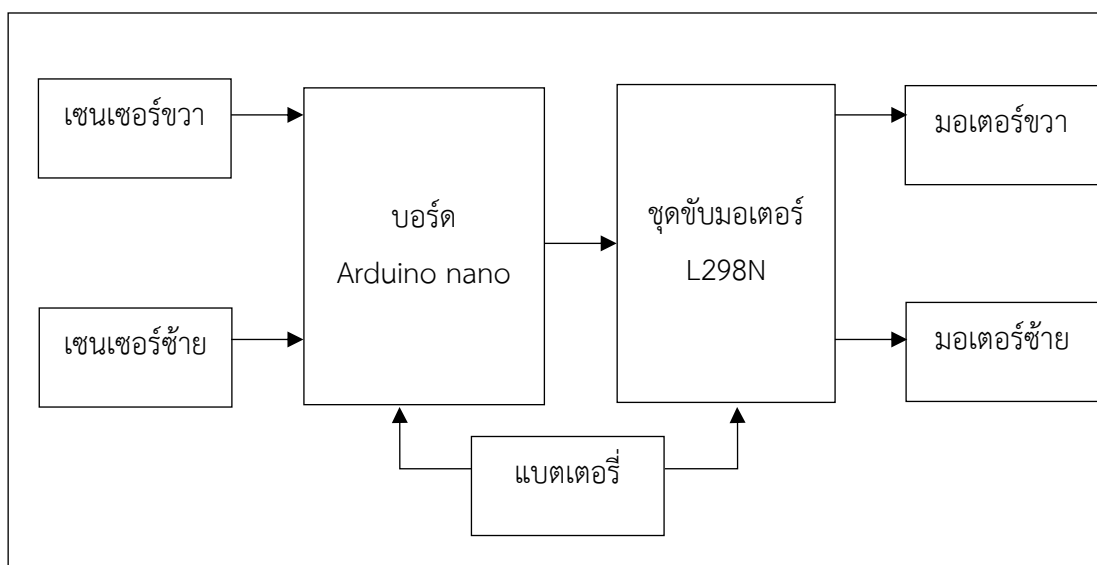
ตารางที่ 3.1 รายการวัสดุอุปกรณ์

ที่	รายการ	จำนวน	ที่	รายการ	จำนวน
1	บอร์ด Arduino nano	1 อัน	11	สายไฟ	1 ชุด
2	สาย Mini USB	1 เส้น	12	ปืนกาว	1 อัน
3	ล้อพร้อมมอเตอร์	4 ชุด	13	ไม้บรรทัด	1 อัน
4	เซนเซอร์อินฟราเรด	2 ตัว	14	แผ่นพลาสติก	1 แผ่น
5	ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ L298N	1 อัน	15	ชุดเอกสารประกอบ	1 ชุด
6	บอร์ดขยาย	1 อัน	16	แผ่นรองตัด	1 แผ่น
7	แบตเตอรี่	2 ก้อน	17	คัตเตอร์	1 อัน
8	สายไฟต่อแบตเตอรี่	1 เส้น	18	ชุดไขควงอเนกประสงค์	1 ชุด

ตารางที่ 3.1 รายการวัสดุอุปกรณ์ (ต่อ)

ที่	รายการ	จำนวน	ที่	รายการ	จำนวน
9	สวิตช์	1 ตัว	19	ดินสอ	1 แท่ง
10	กาวแท่ง	4 แท่ง	20	ยางลบ	1 ก้อน

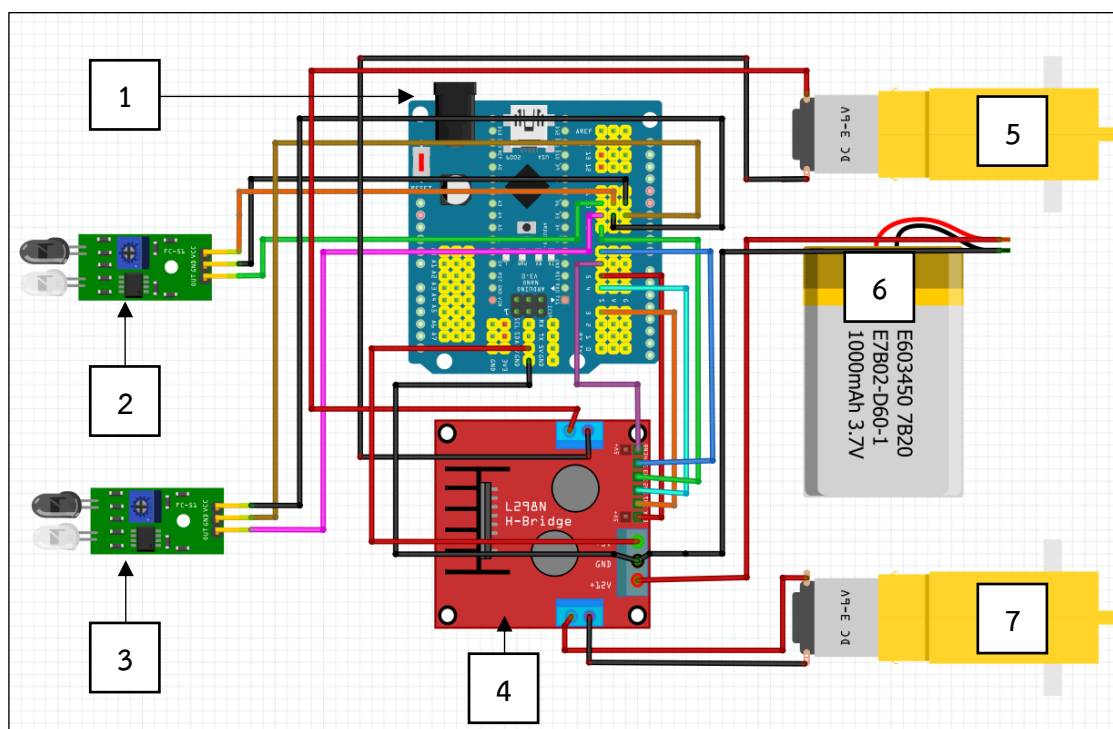
3.1.1 กำหนดเงื่อนไขการทำงานของหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ ผู้วิจัยได้กำหนดเงื่อนไขในการทำหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ ดังนี้ 1) หุ่นยนต์ต้องสามารถตรวจจับพื้นสีขาวและเส้นสีดำได้ 2) หุ่นยนต์เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในระยะทาง 3 เมตร ด้วยความแรงคงที่ และ 3) บรรทุกโทรศัพท์มือถือเพื่อใช้วัดค่าความเร่งโดยใช้แอปพลิเคชัน Phyphox จากนั้นผู้วิจัยออกแบบระบบการทำงานของหุ่นยนต์โดยใช้เซนเซอร์อินฟราเรดตรวจจับพื้นสีขาวและเส้นสีดำแล้วส่งข้อมูลมาให้กับบอร์ด Arduino nano เพื่อประมวลผลแล้วสั่งการให้มอเตอร์ทำงานผ่านชุดขับมอเตอร์โดยใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แผนผังระบบการทำงานของหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ

3.1.2 ออกแบบวงจรหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ ผู้วิจัยใช้ โปรแกรม Fritzing ในการออกแบบวงจรหุ่นยนต์ โดยเชื่อมต่อมอเตอร์กับชุดขับมอเตอร์ ที่มอเตอร์ A กับช่องซ้าย และมอเตอร์ B กับช่องขวา เชื่อมต่อชุดขับมอเตอร์กับบอร์ดขยาย แฉก S ที่ ช่อง ENA กับ D5, IN1 กับ D3, IN2 กับ D4, IN3 กับ D8, IN4 กับ D7 และ ENB กับ D6 เชื่อมต่อแบตเตอรี่กับชุดขับมอเตอร์ที่สายสีแดง

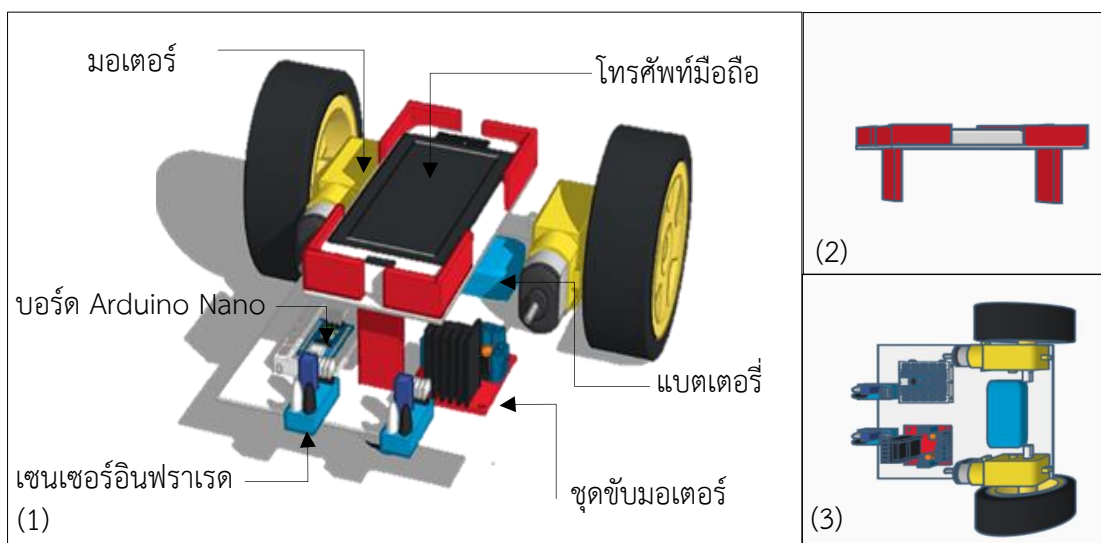
ขั้วบวก กับ ช่อง +12V และสายสีดำขั้วบวก กับ ช่อง GND จากนั้นเชื่อมต่อชุดขับเคลื่อนมอเตอร์กับบอร์ดขยาย ที่ช่อง GND กับ ช่อง GND และช่อง 5V กับ ช่อง 5V ดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 การออกแบบวงจรหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติโดยโปรแกรม Fritzing

คำอธิบายหมายเลขส่วนประกอบของวงจร ได้แก่ หมายเลข 1 บอร์ดขยาย, หมายเลข 2 เซนเซอร์อินฟราเรดขาว, หมายเลข 3 เซนเซอร์อินฟราเรดซ้าย, หมายเลข 4 ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ L298N, หมายเลข 5 มอเตอร์ B, หมายเลข 6 แบตเตอรี่และหมายเลข 7 มอเตอร์ A

3.1.3 ออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ ผู้วิจัยใช้โปรแกรม Tinker cad ในการออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์ โดยแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนแรก คือ ฐานหลัก มีขนาดความกว้าง 15 เซนติเมตร และความยาว 18 เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่น ฐานทำหน้าที่รองรับวงจรไฟฟ้าของหุ่นยนต์ ซึ่งประกอบด้วย ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ L298N บอร์ด Arduino nano บอร์ดขยายแบตเตอรี่มอเตอร์ ล้อและเซนเซอร์อินฟราเรด ส่วนที่สอง คือ ฐานรองขนาดความกว้าง 10 เซนติเมตร ความยาว 16 เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่น และมีเสาที่ยึดขนาดความกว้าง 4 เซนติเมตร ความสูง 5 เซนติเมตร จำนวน 2 แผ่น อีกทั้งมีแผ่นขอบกันโทรศัพท์ตกหล่นขนาดกว้าง 3 เซนติเมตร ยาว 6 เซนติเมตร จำนวน 4 แผ่น และขนาดกว้าง 2.5 เซนติเมตร ยาว 3 เซนติเมตร จำนวน 4 แผ่น ฐานรองทำหน้าที่รองรับโทรศัพท์มือถือซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องมือวัดความเร่งผ่านแอปพลิเคชัน Phyphox ดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 การออกแบบหุ่นยนต์ (1) ภาพรวม (2) ฐานรองและ (3) ฐานหลัก

3.1.4 สร้างหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ ผู้วิจัยได้เลือกใช้แผ่นพลาสติก (Plaswood) เป็นวัสดุในการสร้างหุ่นยนต์ ซึ่งแผ่นพลาสติกเป็นแผ่นพีวีซีชนิดแข็ง สามารถตัด เจาะ ตัดกราว ได้สะดวก อีกทั้งมีความแข็งแรงทนทานสามารถรับน้ำหนักของอุปกรณ์ที่ติดตั้งไว้กับตัวแผ่นได้ ในการสร้างหุ่นยนต์มีขั้นตอนการสร้างดังนี้

ขั้นที่ 1 สร้างฐานหลักและฐานรอง โดยวัดขนาดแผ่นพลาสติกตามทีออกแบบแล้วนำแผ่นพลาสติกมาวางที่แผ่นรองตัดใช้สเกลในการกำหนดตอของมุมและขนาด จากนั้นใช้ไม้บรรทัดเหล็กวางทาบเพื่อกำหนดทิศทางแล้วใช้มีดคัตเตอร์ตัด

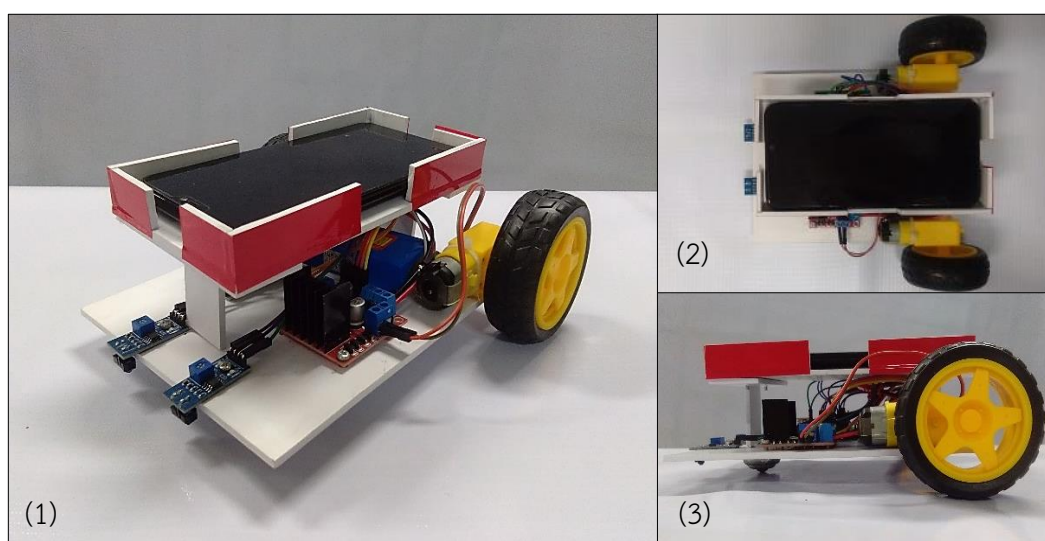
ขั้นที่ 2 ติดตั้งมอเตอร์ซ้ายและมอเตอร์ขวา โดยวางมอเตอร์ทั้งสองให้ขนานกันแล้วใช้ดินสอวาดร่างรอยมอเตอร์บนแผ่นฐานหลัก จากนั้นติดมอเตอร์ด้วยกาวแท่ง

ขั้นที่ 3 ติดตั้งชุดขับมอเตอร์ L298N และบอร์ดขยาย โดยวางชุดขับมอเตอร์ L298N และบอร์ดขยายลงบนฐานหลักแล้วใช้ดินสอวาดร่างรอยตำแหน่งของน็อต จากนั้นใช้ไขควงเจาะรูตามตำแหน่งที่ร่างเอาไว้แล้วยึดชุดขับมอเตอร์ L298N และบอร์ดขยายด้วยน็อต

ขั้นที่ 4 ติดตั้งล้อพยางค์ โดยวาดร่างตำแหน่งล้อพยางค์ให้อยู่ในตำแหน่งตรงกลางระหว่างขอบซ้ายขวาและห่างจากขอบหน้าฐานหลัก 2 เซนติเมตร จากนั้นถอดน็อตออกทั้งสองตัว นำแผ่นปิดล้อพยางค์วางด้านบนฐานหลักแล้วนำส่วนล้อพยางค์ไว้ด้านล่าง ขั้นนี้เชื่อมแผ่นปิดและส่วนล้อ ระวังอย่าให้ลูกปืนในล้อพยางค์หายเพราะล้อจะฝืด

ขั้นที่ 5 ติดตั้งเซนเซอร์อินฟราเรด โดยวางตำแหน่งเซนเซอร์ทั้งสองให้อยู่ระหว่างเส้นสีดำ ซึ่งห่างกัน 2.5 เซนติเมตร และอยู่สูงจากพื้น 2 มิลลิเมตร แล้วยึดด้วยน็อต

ขั้นที่ 6 ติดตั้งบอร์ด Arduino nano ลงบนบอร์ดขยายแล้วเชื่อมต่อวงจรตามที่ออกแบบ วงจรหุ่นยนต์ ขั้นสุดท้ายวัดขนาดฐานรองตามที่ออกแบบจากนั้นตัดแผ่นพลาสติกแล้วติดด้วยกาว แสดงดังภาพที่ 3.4



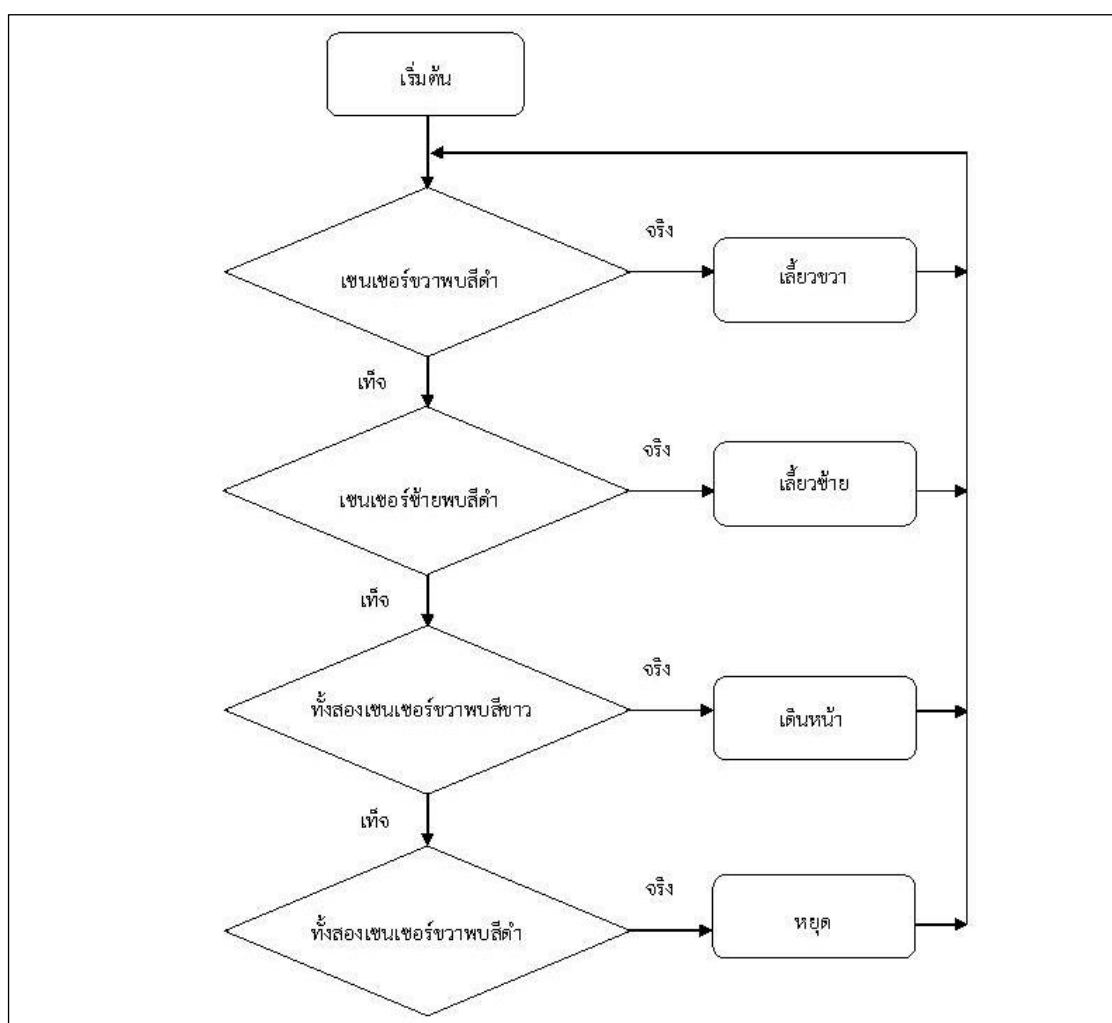
ภาพที่ 3.4 หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ (1) ภาพรวม (2) ด้านบนและ(3) ด้านข้าง

3.1.5 เขียนคำสั่งโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ ผู้วิจัยใช้โปรแกรม Arduino IDE ในการเขียนคำสั่งโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ เนื่องจากสามารถใช้งานได้โดยไม่มีค่าใช้จ่ายและรองรับระบบปฏิบัติการหลายแบบ เช่น Windows, Mac OS X และ Linux ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้ ขั้นแรก เริ่มจากดาวน์โหลดโปรแกรมและติดตั้งในคอมพิวเตอร์ จากนั้นติดตั้งไดรฟ์เวอร์ USB บอร์ด Arduino nano ขั้นที่สอง ลำดับงานการเขียนโปรแกรมหุ่นยนต์แสดงในตารางที่ 3.2 ขั้นที่สาม แปลงลำดับงานเป็นผังงานดังภาพที่ 3.5 จากนั้นแปลงผังงานเป็นโปรแกรมหุ่นยนต์ดังภาพที่ 3.6

ตารางที่ 3.2 ลำดับงานการเขียนโปรแกรมจากโจทย์ที่กำหนด

การเขียนโปรแกรมจากโจทย์ที่กำหนด	การเขียนโปรแกรมจากโจทย์ที่กำหนด
1. กำหนดตัวแปรกับขาพอร์ตที่ต้องใช้งาน 2. กำหนดโหมดขาที่เชื่อมต่อเซนเซอร์ 3. เงื่อนไขที่ 1 ถ้าเซนเซอร์ขวาเจอเส้นสีดำและเซนเซอร์ซ้ายเจอพื้นสีขาวให้หุ่นยนต์เลี้ยวขวา	4. เงื่อนไขที่ 2 ถ้าเซนเซอร์ซ้ายเจอเส้นสีดำและเซนเซอร์ขวาเจอพื้นสีขาวให้หุ่นยนต์เลี้ยวซ้าย 5. เงื่อนไขที่ 3 ถ้าเซนเซอร์ทั้งสองเจอพื้นสีขาวให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหน้า 6. เงื่อนไขที่ 4 ถ้าเซนเซอร์ทั้งสองเจอเส้นสีดำให้หุ่นยนต์หยุด

แปลงลำดับงานเป็นผังงาน จากลำดับงานสามารถเขียนเป็นผังงานได้ ดังนี้



ภาพที่ 3.5 ผังงานโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ

แปลงผังงานเป็นโปรแกรม จากผังงานสามารถเขียนเป็นคำสั่งโปรแกรมควบคุมมอเตอร์ได้ ดังนี้

```
int vSpeed = 250;          // MAX 255
int turn_speed = 230;      // MAX 255
int turn_delay = 10;
//L293 Connection
const int motorA1 = 3;
const int motorA2 = 4;
const int motorAspeed = 5;
const int motorB1 = 7;
const int motorB2 = 8;
const int motorBspeed = 6;
//Sensor Connection
const int left_sensor_pin = 9;
const int right_sensor_pin = 10;
int left_sensor_state;
int right_sensor_state;

void setup() {
  pinMode(motorA1, OUTPUT);
  pinMode(motorA2, OUTPUT);
  pinMode(motorB1, OUTPUT);
  pinMode(motorB2, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  delay(3000);
}

void loop() {
  left_sensor_state = digitalRead(left_sensor_pin);
  right_sensor_state = digitalRead(right_sensor_pin);

  if(right_sensor_state == HIGH && left_sensor_state == LOW)
  {
    Serial.println("turning right");
    digitalWrite (motorA1,LOW);digitalWrite(motorA2,HIGH);analogWrite (motorAspeed, vSpeed);
    digitalWrite (motorB1,LOW);digitalWrite(motorB2,HIGH);analogWrite (motorBspeed, turn_speed);
  }
  if(right_sensor_state == LOW && left_sensor_state == HIGH)
  {
    Serial.println("turning left");
    digitalWrite (motorA1,HIGH);digitalWrite(motorA2,LOW);analogWrite (motorAspeed, turn_speed);
    digitalWrite (motorB1,HIGH);digitalWrite(motorB2,LOW);analogWrite (motorBspeed, vSpeed);
    delay(turn_delay);
  }

  if(right_sensor_state == LOW && left_sensor_state == LOW)
  {
    Serial.println("going forward");
    digitalWrite (motorA1,LOW);digitalWrite(motorA2,HIGH);analogWrite (motorAspeed, vSpeed);
    digitalWrite (motorB1,HIGH);digitalWrite(motorB2,LOW);analogWrite (motorBspeed, vSpeed);
    delay(turn_delay);
  }

  if(right_sensor_state == HIGH && left_sensor_state == HIGH)
  {
    Serial.println("stop");
    analogWrite (motorAspeed, 0);
    analogWrite (motorBspeed, 0);
    delay(turn_delay);
  }
}
```

ภาพที่ 3.6 ชุดคำสั่งโปรแกรม Arduino IDE ควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ

3.1.6 ทดสอบและประเมินผลประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ
 ผู้วิจัยทดสอบหุ่นยนต์ตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดในการเขียนโปรแกรมทั้งหมด 4 เงื่อนไข ดังนี้ เงื่อนไขที่ 1 ให้เซนเซอร์ขวาเจอเส้นสีดำและเซนเซอร์ซ้ายตรวจเจอพื้นสีขาว จากนั้นทดสอบความเร่งของหุ่นยนต์ โดยใช้แอปพลิเคชัน Phyphox บนเส้นตรงสีดำขนาดกว้าง 2 เซนติเมตร ยาว 3 เมตร และหุ่นยนต์ที่มีน้ำหนัก 0.55 กิโลกรัม โดยตั้งค่าสัญญาณ PWM (pulse width modulation) ที่ 230

3.2 แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ

ผู้วิจัยได้ดำเนินการจัดทำแผนการจัดการเรียนรู้ โดยเริ่มจากจัดทำโครงร่างของชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 ชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ



ภาพที่ 3.7 แผนผังการจัดทำโครงร่างของชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา

จากภาพที่ 3.7 ชุดกิจกรรมเพิ่มเติมศึกษา ประกอบด้วย 6 กิจกรรม ได้แก่ กิจกรรมที่ 1 การระบุปัญหาหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ เป็นกิจกรรมที่ฝึกทักษะการระบุปัญหาและความเข้าใจแนวคิด เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ กิจกรรมที่ 2 เซนเซอร์อินฟราเรดหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ กิจกรรมที่ 3 การควบคุมมอเตอร์ด้วยชุดขับเคลื่อน รูน L298N เป็นกิจกรรมที่ฝึกทักษะการรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา กิจกรรมที่ 4 การออกแบบวงจรไฟฟ้าหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ กิจกรรมที่ 5 การออกแบบและสร้างหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ เป็นกิจกรรมที่ฝึกทักษะการออกแบบวิธีการและทักษะการวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา และกิจกรรมที่ 6 การศึกษาความเร่งของหุ่นยนต์ โดยแอปพลิเคชัน Phyphox เป็นกิจกรรมที่ฝึกทักษะการทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการ ทักษะการนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงานและความเข้าใจแนวคิด เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ กิจกรรมเพิ่มเติมศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ แต่ละกิจกรรมประกอบด้วยใบความรู้และใบกิจกรรมที่ให้ความรู้ แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดโครงสร้างของกิจกรรมเพิ่มเติมศึกษา

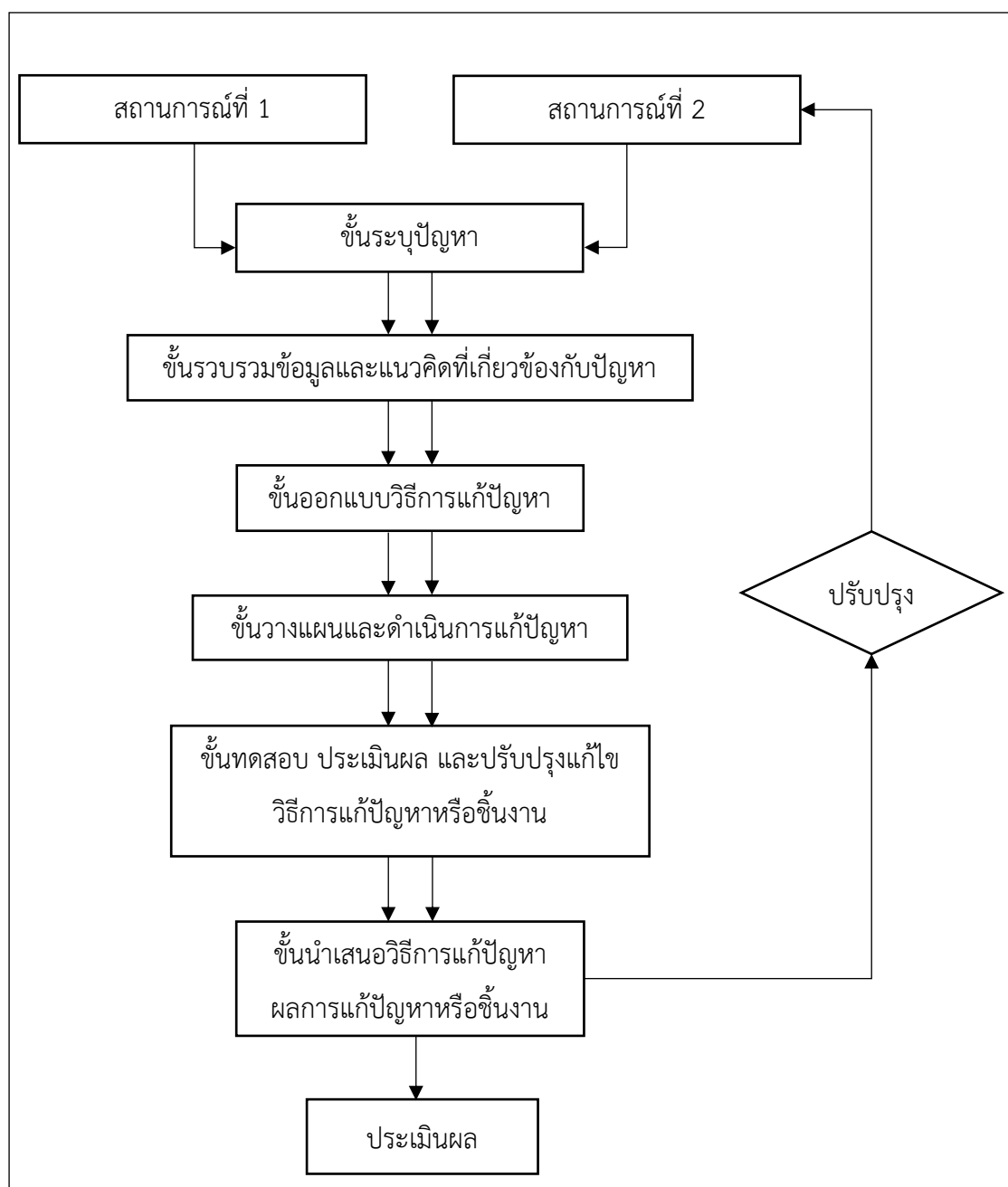
กิจกรรม	ใบกิจกรรม	ใบความรู้
1. การระบุปัญหาหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ	- วิเคราะห์ปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด - แก้โจทย์ปัญหากราฟความเร็ว กราฟความเร่ง และกราฟแรง - อธิบายความเชื่อมโยงระหว่างแรงกับการเคลื่อนที่	- การติดตั้งโปรแกรม Arduino IDE - ทฤษฎีเรื่องกราฟระยะทาง กราฟความเร็ว กราฟความเร่ง กราฟแรง และความเชื่อมโยงระหว่างแรงกับการเคลื่อนที่
2. เซนเซอร์อินฟราเรดหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ	- ออกแบบและสร้างวงจรเซนเซอร์อินฟราเรด - เขียนโปรแกรมเซนเซอร์อินฟราเรด - ทดสอบการทำงานของเซนเซอร์อินฟราเรด	- ทฤษฎีเซนเซอร์อินฟราเรด - ฟังก์ชันที่ใช้งานเซนเซอร์อินฟราเรด - ตัวอย่างการต่อวงจรเซนเซอร์อินฟราเรด - การเขียนโปรแกรมเซนเซอร์อินฟราเรด
3. การควบคุมมอเตอร์ด้วยชุดขับเคลื่อน รูน L298N	- ออกแบบและสร้างวงจรการควบคุมมอเตอร์ด้วยชุดขับเคลื่อน รูน L298N	- ส่วนประกอบชุดขับเคลื่อน รูน L298N

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดโครงสร้างของกิจกรรมสะเต็มศึกษา (ต่อ)

กิจกรรม	ใบกิจกรรม	ใบความรู้
3. การควบคุมมอเตอร์ด้วยชุดขับมอเตอร์ รุ่น L298N	- เขียนโปรแกรมการควบคุมมอเตอร์ด้วยชุดขับมอเตอร์ รุ่น L298N - ทดสอบการควบคุมมอเตอร์ด้วยชุดขับมอเตอร์ รุ่น L298N	- ตัวอย่างการต่อวงจรมอเตอร์ด้วยชุดขับมอเตอร์ รุ่น L298N - การเขียนโปรแกรมควบคุมมอเตอร์ด้วยชุดขับมอเตอร์ รุ่น L298N
4. การออกแบบและสร้างวงจรไฟฟ้าหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ	- ออกแบบและสร้างวงจรไฟฟ้าหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ - เขียนโปรแกรมการควบคุมหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ - ทดสอบวงจรไฟฟ้าหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ	- หลักการทำงานของหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ - วงจรหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติขับเคลื่อน 2 ล้อ - วงจรหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติขับเคลื่อน 4 ล้อ
5. การออกแบบโครงสร้างและประกอบหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ	- ออกแบบโครงสร้างและประกอบหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ - ทดสอบระบบการทำงานของหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ	- การเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ
6. การศึกษาความเร่งของหุ่นยนต์ โดยแอปพลิเคชัน Phyphox	- ทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ โดยแอปพลิเคชัน Phyphox - เขียนกราฟความเร่ง - อธิบายปัญหาและวิธีแก้ปัญหาที่ได้ผล - สรุปผลการทำกิจกรรม	- การติดตั้งแอปพลิเคชัน Phyphox - การใช้งานฟังก์ชัน accelerometer - การส่งออกข้อมูลจากแอปพลิเคชันไปยังคอมพิวเตอร์

3.2.2 การจัดการเรียนรู้ตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 6 ขั้นตอน ผู้วิจัยได้จัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ ตามกระบวนการออกแบบเชิง

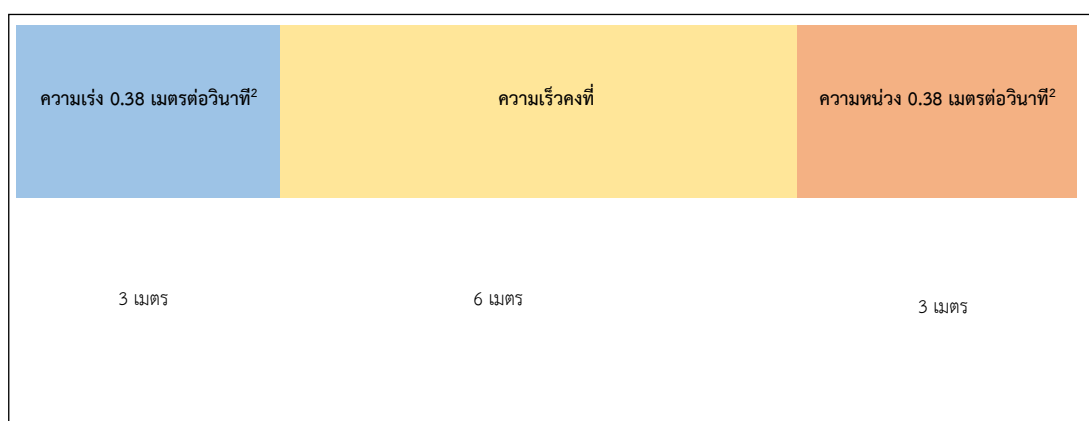
วิศวกรรม 6 ขั้นตอน โดยกำหนดสถานการณ์ที่ 1 หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติขับเคลื่อน 2 ล้อ และสถานการณ์ที่ 2 หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติขับเคลื่อน 4 ล้อ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 3.8 การจัดการเรียนรู้ตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 6 ขั้นตอน

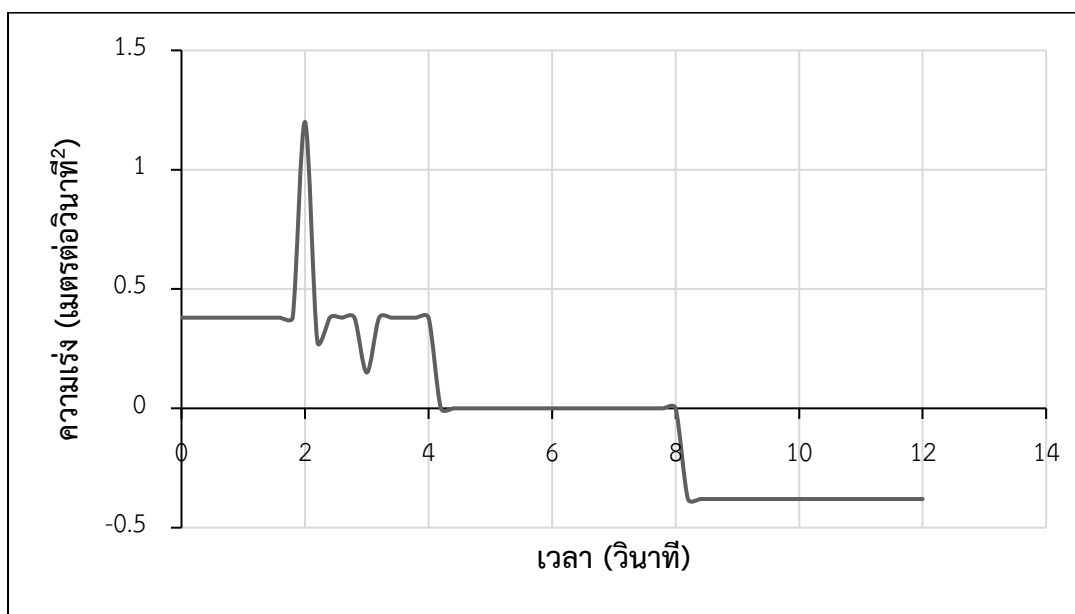
ขั้นที่ 1 ระบุปัญหา ครูกระตุ้นความสนใจของนักเรียนด้วยการให้รับชมวิดีโอ เรื่องระบบขนส่งสินค้าโดยใช้หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ จากนั้นครูกระตุ้นให้นักเรียนมีส่วนร่วมในขั้น

เรียนด้วยคำถาม ดังนี้ หุ่นยนต์สามารถเดินตามเส้นอัตโนมัติได้อย่างไร หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติมีประโยชน์ต่อผู้ใช้อย่างไร นักเรียนจะออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ได้อย่างไร ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนร่วมกันแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ และสร้างบรรยากาศที่ส่งเสริมให้นักเรียนกล้าแสดงความคิดเห็น และรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น โดยครูไม่ตัดสินความคิดเห็นนั้นว่าถูกหรือผิด หลังจากนั้นครูแบ่งกลุ่มนักเรียนเป็นกลุ่ม กลุ่มละ 3 คน เพื่อร่วมกันวิเคราะห์สถานการณ์ ยกตัวอย่าง เช่น สถานการณ์ที่ 1 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้ ในบริษัทขนส่งพัสดุแห่งหนึ่งได้จ้างให้วิศวกรสร้างหุ่นยนต์ เพื่อขนส่งสินค้าไปยังส่วนต่าง ๆ ภายในคลังสินค้าซึ่งมีสินค้าจำนวนมาก วิศวกรจึงวัดระยะทางระหว่างจุดรับส่งสินค้าแล้วคำนวณ จากนั้นออกแบบหุ่นยนต์ให้บรรทุกสินค้าไปยังชั้นวางสินค้าในระยะทาง 12 เมตร โดยกำหนดให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร่ง $0.38 \text{ เมตรต่อวินาที}^2$ ในช่วงระยะทาง 3 เมตรแรก จากนั้นเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ในช่วงระยะทาง 6 เมตร และเคลื่อนที่ด้วยความหน่วง $0.38 \text{ เมตรต่อวินาที}^2$ ในช่วงระยะทาง 3 เมตรสุดท้าย ดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

เมื่อออกแบบและคำนวณความเร่งเรียบร้อยแล้ว วิศวกรได้ทดสอบหุ่นยนต์ พบว่าหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไม่ราบรื่นทำให้พัสดุที่บรรทุกตกหล่นระหว่างทางที่ขนส่งสินค้า เมื่อตรวจสอบค่าความเร่งจากเซนเซอร์วัดความเร่งได้กราฟความสัมพันธ์ความเร่งกับเวลา ดังภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 ความแรงของหุ่นยนต์

วิศวกรได้เลือกใช้เซนเซอร์อินฟราเรดในการกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ โดยอาศัยหลักการสะท้อนของสัญญาณแสงอินฟราเรด ซึ่งเซนเซอร์อินฟราเรดประกอบไปด้วยตัวรับและตัวส่งสัญญาณ ในสภาวะการทำงานปกติตัวรับ (Receiver) จะสามารถรับสัญญาณแสงจากตัวส่ง (Emitter) ได้ตลอดเวลา ซึ่งจะแสดงค่าสัญญาณดิจิทัลเป็น 0

ตารางที่ 3.4 ผลการทดสอบเซนเซอร์อินฟราเรดกับสีต่าง ๆ

สี	ค่าสัญญาณดิจิทัลของเซนเซอร์อินฟราเรด				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
ขาว	0	0	0	0	0
เหลือง	0	0	1	1	0
ฟ้า	0	1	0	1	1
ม่วง	1	1	0	0	1
ดำ	1	1	1	1	1

เมื่อวัตถุผ่านเข้ามาขวางเซนเซอร์จะทำให้ลำแสงที่ส่งจากตัวส่งไปไม่ถึงตัวรับ เซนเซอร์จะแสดงค่าสัญญาณดิจิทัลเป็น 1 เมื่อวิศวกรทดสอบการสะท้อนของสัญญาณแสงบนพื้นผิวสีต่าง ๆ ได้ค่าสัญญาณดิจิทัล ดังตารางที่ 3.4

ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันวิเคราะห์ปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด ตัวอย่างปัญหาที่นักเรียนร่วมกันคิด เช่น คำถามที่ 1 หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไม่ราบรื่นทำให้พัสดุที่บรรจุทุกตกหล่นระหว่างทางที่ขนส่งสินค้าเกิดขึ้นในช่วงใด และวิศวกรควรแก้ไขหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่อย่างไรในช่วง 4 วินาทีแรก และคำถามที่ 2 ถ้านักเรียนเป็นวิศวกรจะเลือกสปีดในการทำสีพื้นและสีเส้นสำหรับหุ่นยนต์ ครูควรเขียนประเด็นปัญหาต่าง ๆ ที่นักเรียนร่วมกันคิดบนกระดาน จากนั้นครูอธิบาย เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ และให้นักเรียนแก้โจทย์ปัญหาในใบกิจกรรม หลังจากนั้นร่วมกันอภิปรายเพื่อระบุปัญหาจนได้ข้อสรุปว่า “นักเรียนจะออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ได้อย่างไร”

ขั้นที่ 2 รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา นักเรียนรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาจากใบความรู้ หุ่นยนต์ต้นแบบ และการใช้อินเทอร์เน็ตในการสืบค้นข้อมูลโดยใช้คอมพิวเตอร์หรือโทรศัพท์มือถือ เพื่อศึกษาว่าหุ่นยนต์ตัวอย่างมีระบบการทำงานเป็นอย่างไร โดยนักเรียนต้องวิเคราะห์และพิจารณาถึงหลักการทำงานของเซนเซอร์อินฟราเรดและการควบคุมมอเตอร์ด้วยชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ รุ่น L298N เพื่อใช้ในการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์

ขั้นที่ 3 ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา นักเรียนนำวิธีการแก้ปัญหาซึ่งต้องกำหนดองค์ประกอบของวิธีการแก้ปัญหาและผลที่เกิดขึ้น จากข้อมูลที่นักเรียนสืบค้นและรวบรวมข้อมูลข้างต้น สามารถนำความรู้มาใช้ออกแบบวงจรไฟฟ้าของหุ่นยนต์ซึ่งต้องแสดงจุดเชื่อมต่อของเซนเซอร์อินฟราเรด บอร์ด Arduino nano ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ มอเตอร์ และแบตเตอรี่ จากนั้นออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์ ซึ่งประกอบด้วยสองส่วน ส่วนแรก คือ ฐานหลัก ทำหน้าที่รองรับวงจรไฟฟ้าของหุ่นยนต์ ส่วนที่สองคือ ฐานรอง ทำหน้าที่รองรับโทรศัพท์มือถือซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องมือวัดความแรงผ่านแอปพลิเคชัน Phyphox ในระหว่างการจัดกิจกรรมครูแนะนำนักเรียนว่าการออกแบบวิธีการแก้ปัญหาควรอยู่บนพื้นฐานของวัสดุและอุปกรณ์ที่กำหนดให้ ครูแนะนำกับนักเรียนว่าจะต้องออกแบบร่าง 3 มิติ ที่มีรายละเอียดรูปร่าง ขนาดความกว้าง ความยาว ความสูง สัดส่วนตามหลักคณิตศาสตร์และแสดงหน่วยการวัดขนาดที่สามารถนำไปสร้างเป็นชิ้นงานได้จริง

ขั้นที่ 4 วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา โดยนักเรียนจะต้องวางแผนการทำงานอย่างเป็นขั้นตอน เช่น แบ่งหน้าที่และบทบาทในการรับผิดชอบร่วมกันซึ่งอาจแบ่งงานออกเป็นสามส่วน ได้แก่ การต่อวงจรไฟฟ้า การเขียนโปรแกรมคำสั่งควบคุมหุ่นยนต์และการประกอบโครงสร้างหุ่นยนต์ ครูจะต้องกระตุ้นให้นักเรียนดำเนินการสร้างหุ่นยนต์ตามที่ออกแบบไว้ โดยเน้นให้นักเรียนทุกคนในกลุ่มมีส่วนร่วมให้ข้อเสนอแนะและรับฟังความคิดเห็นของสมาชิกในกลุ่มเพื่อฝึกการทำงานร่วมกันเป็นทีม โดยครูและพี่เลี้ยงประจำกลุ่มมีหน้าที่ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษาและอำนวยความสะดวกแก่นักเรียนแต่ละกลุ่มอย่างทั่วถึง

ขั้นที่ 5 ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไข ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ทดสอบหุ่นยนต์ว่าสอดคล้องตามเป้าหมายที่กำหนดไว้หรือไม่ โดยใช้แอปพลิเคชัน Phyphox วัดความแรงของหุ่นยนต์เพื่อประเมินผล เก็บข้อมูล ปรับปรุงแก้ไข ให้ได้หุ่นยนต์ที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ครูควรให้คำแนะนำกับ

นักเรียนว่าขั้นตอนการทดสอบและประเมินผลการใช้งานหุ่นยนต์สามารถทำได้หลายครั้ง และในการแก้ไขแต่ละครั้งนักเรียนจะต้องจดบันทึกประเด็นที่ต้องแก้ไข และมีผลเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับการปรับปรุง

ขั้นที่ 6 นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน นักเรียนนำเสนอผลงานหรือชิ้นงานในชั้นเรียน โดยจัดเป็นกิจกรรมการแข่งขันหุ่นยนต์ ซึ่งก่อนการแข่งขันครูเปิดโอกาสให้แลกเปลี่ยนเรียนรู้ให้แต่ละกลุ่มนำเสนอผลงานหน้าชั้นเรียน โดยแต่ละกลุ่มจะต้องนำเสนอถึงวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหา กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลา อธิบายให้เหตุผลประกอบเรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ในแนวตรง และเตรียมความพร้อมในการตอบคำถามเพื่อน ๆ จากนั้นครูบอกกติกาในการแข่งขันว่ากลุ่มที่ถึงเส้นชัยเป็นลำดับแรกจะเป็นผู้ชนะและได้รับรางวัล เมื่อแข่งขันเสร็จครูและนักเรียนร่วมกันสรุปและอภิปรายผลการแข่งขัน

ผู้วิจัยได้นำชุดกิจกรรมเสริมศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ ให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คน ตรวจสอบเนื้อหาว่าสอดคล้องกับจุดประสงค์ที่กำหนดหรือไม่ โดยใช้แบบประเมินดัชนีความสอดคล้อง (IOC: Index of item objective congruence) ซึ่งมีเกณฑ์ในการตรวจพิจารณาแผนการจัดการเรียนรู้ ดังนี้ ให้คะแนน +1 ถ้าแน่ใจว่าเนื้อหาสอดคล้องกับจุดประสงค์ ให้คะแนน 0 ถ้าไม่แน่ใจว่าเนื้อหาสอดคล้องกับจุดประสงค์ ให้คะแนน -1 ถ้าแน่ใจว่าเนื้อหาไม่สอดคล้องกับจุดประสงค์ แล้วนำผลคะแนนที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญมาคำนวณหาค่า IOC

3.3 แบบประเมินทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

ผู้วิจัยได้สร้างแบบประเมินทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ โดยศึกษาแบบประเมินกิจกรรมและเกณฑ์การให้คะแนนแบบรูบริค (Scoring rubrics) จากคู่มือกิจกรรมเสริมศึกษาของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2557) เพื่อใช้กำหนดเกณฑ์การประเมินในการวัดทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 6 ทักษะ ได้แก่ 1) ทักษะการระบุปัญหา 2) ทักษะการรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา 3) ทักษะการออกแบบวิธีการแก้ปัญหา 4) ทักษะการวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา 5) ทักษะการทดสอบประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน และ 6) ทักษะการนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 แบบประเมินทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

แบบประเมิน สสวท.	แบบประเมินผู้วิจัย
1. ทักษะการระบุปัญหา	
ระบุปัญหาหรือความต้องการได้ตรงกับหัวข้อที่กำหนดและเสนอแนวทางในการแก้ปัญหาได้	1.1 หุ่นยนต์ตรวจจับพื้นสีขาวและเส้นสีดำ
	1.2 หุ่นยนต์เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงระยะทาง

ตารางที่ 3.5 แบบประเมินทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (ต่อ)

แบบประเมิน สสวท.	แบบประเมินผู้วิจัย
สอดคล้องกับปัญหาหรือความต้องการอย่างครบถ้วนสมบูรณ์	3 เมตร 1.3 หุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยความแรงคงที่
2. ทักษะการรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา	
- ภาพร่างสามารถนำไปผลิตชิ้นงานได้จริงโดยไม่มีการปรับปรุงแก้ไข - โปรแกรมทำงานได้ถูกต้องไม่พบข้อผิดพลาด	2.1 การใช้เซนเซอร์อินฟราเรด 2.1.1 ได้ภาพวงจรไฟฟ้าของเซนเซอร์อินฟราเรด 2.1.2 เขียนโปรแกรมสั่งการให้เซนเซอร์อินฟราเรดทำงาน 2.1.3 แสดงค่าสัญญาณเซนเซอร์อินฟราเรดขวาและซ้าย 2.2 การควบคุมมอเตอร์ 2.2.1 ได้ภาพวงจรไฟฟ้าของมอเตอร์ 2.2.2 เขียนโปรแกรมสั่งการให้หุ่นยนต์ปฏิบัติการเลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวา 2.2.3 เขียนโปรแกรมสั่งการให้หุ่นยนต์เดินหน้าถอยหลัง และหยุด
3. ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา	
ได้ภาพร่าง 3 มิติ สอดคล้องกับวิธีการแก้ปัญหาหรือสนองความต้องการ แสดงรายละเอียดรูปร่าง ขนาดความกว้าง ความยาวความสูงและหน่วยในการวัดขนาดได้ภาพร่าง 3 มิติ สอดคล้องกับวิธีการแก้ปัญหาหรือสนองความต้องการ แสดงรายละเอียดรูปร่าง ขนาดความกว้าง ความยาวความสูงและหน่วยในการวัดขนาด	3.1 การออกแบบวงจรไฟฟ้าหุ่นยนต์ 3.1.1 ได้ภาพวงจรไฟฟ้าหุ่นยนต์ที่แสดงจุดเชื่อมต่อเซนเซอร์อินฟราเรดซ้ายและขวากับบอร์ด 3.1.2 ได้ภาพวงจรไฟฟ้าหุ่นยนต์ที่แสดงจุดเชื่อมต่อมอเตอร์ซ้ายกับชุดขับมอเตอร์ 3.1.3 ได้ภาพวงจรไฟฟ้าหุ่นยนต์ที่แสดงจุดเชื่อมต่อมอเตอร์ขวากับชุดขับมอเตอร์ 3.2 การออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์ 3.2.1 แสดงรายละเอียดรูปร่าง ขนาดความกว้าง ความยาว ความสูง 3.2.2 แสดงหน่วยในการวัดขนาด 3.2.3 ได้ภาพร่างหุ่นยนต์ 3 มิติ

ตารางที่ 3.5 แบบประเมินทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (ต่อ)

แบบประเมิน สสวท.	แบบประเมินผู้วิจัย
4. ทักษะการวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา	
สร้างชิ้นงานตามที่ออกแบบไว้ได้เสร็จสมบูรณ์ และชิ้นงานสามารถแก้ปัญหาได้ตาม เงื่อนไขที่กำหนด	4.1 สร้างส่วนฐานหลักมีความกว้างและความยาว ตรงตามแบบ 4.2 สร้างส่วนฐานรองมีความกว้างและความยาว ตรงตามแบบ 4.3 ติดตั้งตำแหน่งของเซนเซอร์อินฟราเรดซ้าย และขวาตรงตามแบบ
5. ทักษะการทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน	
- ชิ้นงานหรือวิธีการใช้งานได้ดีไม่ต้องปรับปรุง แก้ไข - รถสามารถวิ่งได้ตรงและเร็วที่สุด	5.1 ชิ้นงานหุ่นยนต์ 5.1.1 ตรวจจับพื้นสีขาวและเส้นสีดำ 5.1.2 เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในระยะทาง 3 เมตร 5.1.3 เคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงที่ 5.2 การใช้แอปพลิเคชัน Phyphox 5.2.1 เชื่อมต่อแอปพลิเคชัน Phyphox ใน โทรศัพท์กับคอมพิวเตอร์ 5.2.2 แสดงกราฟความเร่งกับเวลา 5.2.3 เปิดใช้งานแอปพลิเคชัน Phyphox
6. ทักษะการนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน	
รูปแบบการนำเสนอสื่อความหมายเรื่องการต่อ วงจรไฟฟ้าของรถของเล่นไฟฟ้าให้ผู้อื่นเข้าใจ ถูกต้อง ชัดเจน อธิบายเหตุผลของแนวคิดได้	6.1 นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหา 6.2 นำเสนอกราฟความเร่งกับเวลา 6.3 อธิบายให้เหตุผลประกอบ เรื่อง แรงและการ เคลื่อนที่ในแนวตรง

จากตารางที่ 3.5 ผู้วิจัยได้ปรับเปลี่ยนเกณฑ์การประเมินให้สอดคล้องกับทักษะที่เกิดขึ้นในการทำกิจกรรมเพิ่มเติมศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ โดยการขยายความคำสำคัญให้ชัดเจน เช่น ในแบบประเมิน สสวท. มีข้อความว่า “ระบุปัญหาหรือความต้องการได้ตรงกับหัวข้อที่กำหนด” ซึ่งการระบุปัญหาหรือความต้องการในกิจกรรมที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น คือ หุ่นยนต์ตรวจจับพื้นสีขาวและเส้นสีดำ หุ่นยนต์เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงระยะทาง 3 เมตร และหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงที่ จากนั้นผู้วิจัยได้นำแบบประเมินทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คน ตรวจสอบ

เกณฑ์การให้คะแนนว่าวัดได้สอดคล้องกับทักษะที่กำหนดหรือไม่ โดยใช้แบบประเมินดัชนีความสอดคล้อง (IOC) แสดงผลดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบประเมินทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

ข้อที่	คะแนนผู้เชี่ยวชาญ			รวม	IOC	แปลผล
	1	2	3			
1.1	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
1.2	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
1.3	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
2.1.1	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
2.1.2	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
2.1.3	+1	+1	0	3	0.67	สอดคล้อง
2.2.1	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
2.2.2	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
2.2.3	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
3.1.1	+1	0	+1	3	0.67	สอดคล้อง
3.1.2	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
3.1.3	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
3.2.1	+1	0	+1	3	0.67	สอดคล้อง
3.2.2	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
3.2.3	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
4.1	+1	+1	0	3	0.67	สอดคล้อง
4.2	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
4.3	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
5.1.1	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
5.1.2	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
5.1.3	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง

ตารางที่ 3.6 ดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบประเมินทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (ต่อ)

ข้อที่	คะแนนผู้เชี่ยวชาญ			รวม	IOC	แปลผล
	1	2	3			
5.2.1	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
5.2.2	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
5.2.3	0	+1	+1	3	0.67	สอดคล้อง
6.1	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
6.2	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
6.3	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง

จากตารางที่ 3.6 พบว่ามีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.67 – 1.00 มี 5 หัวข้อ ที่มีค่าดัชนีความสอดคล้องเป็น 0.67 ได้แก่ แสดงค่าสัญญาณเซนเซอร์อินฟราเรดขาและซ้าย (2.1.3) ได้ภาพวงจรไฟฟ้าหุ่นยนต์ที่แสดงจุดเชื่อมต่อเซนเซอร์อินฟราเรดซ้ายและขวากับบอร์ด (3.1.1) แสดงรายละเอียดรูปร่าง ขนาดความกว้าง ความยาว ความสูง (3.2.1) สร้างส่วนฐานหลักมีความกว้างและความยาวตรงตามแบบ (4.1) และเปิดใช้งานแอปพลิเคชัน Phyphox (5.2.3) นอกจากนี้ที่กล่าวมาแล้ว ยังมีที่มีค่าดัชนีความสอดคล้องเป็น 1.00 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เกณฑ์การประเมินที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นสามารถนำไปใช้วัดทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่เกิดขึ้นในการทำชุดกิจกรรมเพิ่มเติมศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติได้ (ภาคผนวก ข)

3.4 แบบประเมินแนวคิด เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่

ในงานวิจัยเกี่ยวกับฟิสิกส์ศึกษาการตรวจสอบความเข้าใจแนวคิดหลักในเนื้อหาฟิสิกส์ของผู้เรียน จะอาศัยเครื่องมือมาตรฐานที่ได้จากงานวิจัย สำหรับเนื้อหากลศาสตร์ มีการสร้างเครื่องมือประเภทนี้ขึ้นมาครั้งแรกในปี ค.ศ. 1985 โดย Halloun และ Hestenes เรียกว่า Mechanics Diagnostic test (MD) แต่ด้วยข้อความที่ใช้ไม่กระชับชัดเจนบางข้อจึงได้มีการพัฒนาเป็น Force Concept Inventory (FCI) (Hestenes et al., 1992) ทั้งนี้พบว่าตัวเลือกคำตอบของ FCI ไม่ครอบคลุมแนวคิดทั้งหมดที่เป็นไปได้ ต่อมาในปี ค.ศ. 1998 จึงมีการนำข้อมูลผลงานวิจัยจากข้อสอบ FCI มาปรับสร้างข้อสอบชุดใหม่ เรียกว่า แบบประเมินแนวคิด เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ (Force and Motion Conceptual Evaluation: FMCE) โดย Thornton และ Sokoloff ซึ่งแบบประเมินนี้มีลักษณะเป็นคำถามแบบ 5-7 ตัวเลือก จำนวน 47 ข้อ โดยตัวเลือกเหล่านี้สร้างมาจากกลุ่มคำตอบส่วนใหญ่ของผู้เรียนจากการใช้

คำถามนี้เป็นคำถามแบบปลายเปิด อีกทั้ง FMCE ยังมีตัวเลือก J ไว้สำหรับกรณีที่ผู้ตอบคิดว่าไม่มีตัวเลือกใดตรงกับที่ตนเองคิด โดยทั่วไปจะใช้เวลาประมาณ 30 นาทีในการทำ FMCE (Thornton and Sokoloff, 1998; Thornton et al., 2009) ตัวอย่างงานวิจัยที่นำ FMCE มาใช้ ตัวอย่าง เช่น Wattanakasiwich (2008) ใช้แบบประเมิน FMCE เก็บข้อมูลกับนักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ชั้นปีที่ 1 เพื่อใช้ประเมินสถานะทางความคิดเรื่องกลศาสตร์ด้วยเทคนิค model analysis ปี 2010

ในการวิจัยนี้ใช้แบบประเมินแนวคิด (Force and Motion Conceptual Evaluation: FMCE) ฉบับภาษาไทย ซึ่งผ่านการแปลและประเมินคุณภาพโดยกลุ่มวิจัยฟิสิกส์ศึกษา PENThai ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล (ฉบับปรับปรุงปี 2553) สำหรับเก็บข้อมูลก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนในงานวิจัย เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือ (Trustworthiness) ของแบบประเมินแนวคิด FMCE ผ่านการตรวจสอบจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และปรับปรุงข้อความให้เหมาะสมกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ใช้แบบทดสอบจำนวน 24 ข้อ ไม่รวม เรื่อง การเคลื่อนที่กลับทิศ พลังงานและกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตันโดยแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มคำถาม (Smith and Witmann, 2008) คือ 1) Force Sled 2) Force Graphs 3) Acceleration Graphs และ 4) Velocity Graphs ดังภาคผนวก ก

3.5 การฝึกอบรมที่เลี้ยงในการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษา

ผู้วิจัยได้เตรียมการอบรมที่เลี้ยงในการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่อง หุ่นยนต์เดินทางตามเส้นอัตโนมัติ โดยคัดเลือกที่เลี้ยงจากคุณสมบัติดังนี้ มีความสัมพันธ์ที่ดีกับกลุ่มนักเรียน ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกนักเรียนรุ่นพี่ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ทั้งหมด 9 คน ที่มีความรู้ ทักษะ และประสบการณ์ในเรื่องของหุ่นยนต์ ซึ่งแต่ละคนเคยเป็นนักเรียนที่เข้าร่วมการแข่งขันหุ่นยนต์ในระดับนานาชาติและระดับประเทศ จากนั้นกำหนดบทบาทของพี่เลี้ยง โดยเป็นผู้แนะแนวกลุ่มนักเรียนให้ระมัดระวังอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการปฏิบัติงานที่จะสร้างปัญหาและอุปสรรคต่อการทำงานที่ทำให้ไม่สามารถบรรลุตามเป้าหมายที่กำหนดได้ โดยไม่เป็นผู้ตัดสินใจเลือกทางให้ แต่จะช่วยให้กลุ่มมองเห็นภาพของการทำงาน นอกจากนี้พี่เลี้ยงจะตั้งคำถามที่กระตุ้นให้กลุ่มของนักเรียนหาคำตอบที่จะทำให้กลุ่มสามารถมองเห็นเทคนิคใหม่ที่จะนำไปใช้ในการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ได้ จากนั้นฝึกอบรมที่เลี้ยงเพื่อศึกษาปัญหาและแนวทางการแก้ไขปัญหา ซึ่งผู้วิจัยจัดอบรมเป็นเวลาสองวัน โดยนำอุปกรณ์ที่จะใช้จริงในการวิจัยมาให้พี่เลี้ยงได้ฝึกฝนจนมีความชำนาญ ซึ่งขณะฝึกอบรมผู้วิจัยได้พบปัญหาและวิธีแก้ปัญหาสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ประเด็นปัญหาและวิธีการแก้ปัญหาที่ได้ผล

ประเด็นปัญหา	วิธีการแก้ปัญหาที่ได้ผล
1. เขียนโปรแกรมสั่งให้มอเตอร์ซ้าย เดินหน้า แต่พบว่า มอเตอร์เดินถอยหลัง	สลับสายมอเตอร์จากสายขั้วบวกเป็นขั้วลบและสาย ขั้วลบเป็นขั้วบวก
2. เซนเซอร์อินฟราเรดไม่สามารถตรวจจับ พื้นสีขาวและเส้นสีดำ	1) ตรวจสอบการต่อสายของเซนเซอร์อินฟราเรดว่า ต่อตรงจุดหรือไม่ 2) ตรวจสอบการเขียนโปรแกรมว่าถูกต้องและ สอดคล้องกับการเชื่อมต่อเซนเซอร์อินฟราเรด หรือไม่ 3) ตรวจสอบความสูงเซนเซอร์อินฟราเรดว่าอยู่ใน ระยะที่เหมาะสมหรือไม่ 4) ปรับระดับการตอบสนองของอินฟราเรดโดยใช้ ไขควงปรับที่ปุ่มปรับระดับ 5) เปลี่ยนเซนเซอร์อินฟราเรดอันใหม่
3. เขียนคำสั่งหุ่นยนต์เลี้ยวซ้ายแต่หุ่นยนต์ เลี้ยวขวาหรือเขียนคำสั่งหุ่นยนต์เลี้ยวขวา แต่หุ่นยนต์เลี้ยวซ้าย	1) ตรวจสอบการเขียนโปรแกรมว่าถูกต้องและ สอดคล้องกับการเชื่อมต่อเซนเซอร์อินฟราเรด หรือไม่ เพราะอาจจะกำหนดขาเซนเซอร์ อินฟราเรดซ้ายกับเซนเซอร์อินฟราเรดขวาสลับกัน 2) ตรวจสอบการต่อวงจรเซนเซอร์อินฟราเรดว่า ต่อตรงจุดหรือไม่ เพราะอาจต่อสายสลับกันระหว่าง เซนเซอร์อินฟราเรดซ้ายกับเซนเซอร์อินฟราเรด ขวา
4. ไฟไหม้หุ่นยนต์	เกิดจากการสลับสายแบตเตอรี่จากสายขั้วบวกเป็น ขั้วลบและสายขั้วลบเป็นขั้วบวก

3.6 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การศึกษานี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างโดยการทดสอบก่อนเรียน ด้วยแบบประเมินแนวคิด เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ จำนวน 24 ข้อ เวลาสอบ 30 นาที จากนั้นจัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ จำนวน 2 แผน ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติขับเคลื่อน 2 ล้อ และแผนการจัดการเรียนรู้หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติขับเคลื่อน 4 ล้อ โดยใช้เวลาทำกิจกรรม

แผนละ 6 ชั่วโมง 30 นาที ซึ่งแต่ละแผนประกอบด้วย กิจกรรมที่ 1 การระบุปัญหาหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ ใช้เวลา 30 นาที กิจกรรมที่ 2 เซนเซอร์อินฟราเรดใช้เวลา 1 ชั่วโมง กิจกรรมที่ 3 การควบคุมมอเตอร์ด้วยชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ รุ่น L298N ใช้เวลา 1 ชั่วโมง กิจกรรมที่ 4 การออกแบบวงจรไฟฟ้าหุ่นยนต์ใช้เวลา 1 ชั่วโมง กิจกรรมที่ 5 การออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ใช้เวลา 1 ชั่วโมง กิจกรรมที่ 6 การศึกษาหุ่นยนต์โดยแอปพลิเคชัน Phyphox ใช้เวลา 1 ชั่วโมง รวมเวลาทั้งหมด 13 ชั่วโมง

ในระหว่างการทำกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ให้พี่เลี้ยงแต่ละกลุ่มประเมินทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียน ได้แก่ ทักษะการระบุปัญหา ทักษะการรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา ทักษะการออกแบบวิธีการแก้ปัญหา ทักษะการวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา ทักษะการทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหา ส่วนทักษะการนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาให้ครูผู้สอนเป็นผู้ประเมินโดยบันทึกผลและเก็บหลักฐานหรือชิ้นงาน ดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 การวัดและประเมินผล

รายการประเมิน	หลักฐานหรือชิ้นงาน (คะแนน)
ความเข้าใจแนวคิด เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่	แบบประเมิน (24 คะแนน)
1. ทักษะการระบุปัญหา	
1.1 หุ่นยนต์สามารถตรวจจับพื้นสีขาวและเส้นสีดำ 1.2 หุ่นยนต์เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในระยะทาง 3 เมตร 1.3 หุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงที่	บันทึกผลการทำกิจกรรมในใบกิจกรรมที่ 1 (3 คะแนน)
2. ทักษะการรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา	
2.1 การใช้เซนเซอร์อินฟราเรด	
2.1.1 ได้ภาพวงจรไฟฟ้าของเซนเซอร์อินฟราเรด	บันทึกผลการทำกิจกรรมในใบกิจกรรมที่ 2 (1 คะแนน)
2.1.2 เขียนโปรแกรมสั่งการให้เซนเซอร์อินฟราเรดทำงาน	บันทึกผลการทำกิจกรรมในใบกิจกรรมที่ 2 และการสาธิตการทำงานของเซนเซอร์ (1 คะแนน)
2.1.3 แสดงค่าสัญญาณเซนเซอร์อินฟราเรดขวาและซ้าย	การสาธิตการแสดงผลค่าสัญญาณเซนเซอร์ (1 คะแนน)

ตารางที่ 3.8 การวัดและประเมินผล (ต่อ)

รายการประเมิน	หลักฐานหรือชิ้นงาน (คะแนน)
2.2 การควบคุมมอเตอร์	
2.2.1 ได้ภาพวงจรไฟฟ้าของมอเตอร์	บันทึกผลการทำกิจกรรมในใบกิจกรรมที่ 3 (1 คะแนน)
2.2.2 เขียนโปรแกรมสั่งการให้หุ่นยนต์ปฏิบัติการเลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวา	
2.2.3 เขียนโปรแกรมสั่งการให้หุ่นยนต์เดินหน้า ถอยหลัง และหยุด	
3. ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา	
3.1 การออกแบบวงจรไฟฟ้าหุ่นยนต์	
3.1.1 ได้ภาพวงจรไฟฟ้าหุ่นยนต์ที่แสดงจุดเชื่อมต่อเซนเซอร์อินฟราเรดซ้ายและขวากับบอร์ด	บันทึกผลการทำกิจกรรมในใบกิจกรรมที่ 4 (3 คะแนน)
3.1.2 ได้ภาพวงจรไฟฟ้าหุ่นยนต์ที่แสดงจุดเชื่อมต่อมอเตอร์ซ้ายกับชุดขับเคลื่อนมอเตอร์	
3.1.3 ได้ภาพวงจรไฟฟ้าหุ่นยนต์ที่แสดงจุดเชื่อมต่อมอเตอร์ขวากับชุดขับเคลื่อนมอเตอร์	
3.2 การออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์	
3.2.1 แสดงรายละเอียดรูปร่าง ขนาดความกว้าง ความยาว ความสูง	บันทึกผลการทำกิจกรรมในใบกิจกรรมที่ 5 (3 คะแนน)
3.2.2 แสดงหน่วยในการวัดขนาด	
3.2.3 ได้ภาพร่างหุ่นยนต์ 3 มิติ	
4. ทักษะการวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา	
4.1 สร้างส่วนฐานหลักมีความกว้างและความยาวตรงตามแบบ	บันทึกผลการทำกิจกรรมในใบกิจกรรมที่ 5 และชิ้นงานหุ่นยนต์ (3 คะแนน)
4.2 สร้างส่วนฐานรองมีความกว้างและความยาวตรงตามแบบ	
4.3 ติดตั้งตำแหน่งของเซนเซอร์อินฟราเรดซ้ายและขวาตรงตามแบบ	

ตารางที่ 3.8 การวัดและประเมินผล (ต่อ)

รายการประเมิน	หลักฐานหรือชิ้นงาน (คะแนน)
5. ทักษะการทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน	
5.1 ชิ้นงานหุ่นยนต์	
5.1.1 ตรวจจับพื้นสีขาวและเส้นสีดำ	บันทึกผลการทำกิจกรรมในใบกิจกรรมที่ 5 และการสาธิตการทำงานของหุ่นยนต์ (3 คะแนน)
5.1.2 เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในระยะทาง 3 เมตร	
5.1.3 เคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงที่	
5.2 การใช้แอปพลิเคชัน Phyphox	
5.2.1 เชื่อมต่อแอปพลิเคชัน Phyphox ในโทรศัพท์กับคอมพิวเตอร์	การสาธิตการใช้งานแอปพลิเคชัน Phyphox (3 คะแนน)
5.2.2 แสดงกราฟความเร่งกับเวลา	
5.2.3 เปิดใช้งานแอปพลิเคชัน Phyphox	
6. ทักษะการนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน	
6.1 นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหา	บันทึกผลการทำกิจกรรมในใบกิจกรรมที่ 6 การสาธิตการทำงานของหุ่นยนต์และเนื้อหาในการนำเสนอ (3 คะแนน)
6.2 นำเสนอกราฟความเร่งกับเวลา	
6.3 อธิบายให้เหตุผลประกอบ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ในแนวตรง	

เมื่อจัดกิจกรรมการเรียนรู้ครบทุกแผนการจัดการเรียนรู้แล้ว ให้นักเรียนทำการทดสอบหลังเรียนด้วยแบบประเมินแนวคิด เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ซึ่งเป็นแบบประเมินชุดเดียวกันกับการทดสอบก่อนเรียนโดยใช้เวลา 30 นาที จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดไปวิเคราะห์หาค่าทางสถิติ

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ตามลำดับขั้นตอนดังนี้

3.7.1 วิเคราะห์การพัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม สถานการณ์ที่ 1 และสถานการณ์ที่ 2 โดยใช้รูปภาพ คะแนนเฉลี่ย ร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน t-test และความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ เพื่อประเมินความก้าวหน้าทางการเรียน โดยผู้วิจัยจะวิเคราะห์ทั้งหมด 3 กรณี คือ 1) วิเคราะห์การพัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมรายชั้นเรียน

- 2) วิเคราะห์การพัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมรายชั้นตอน จำนวน 6 ชั้นตอน และ
- 3) วิเคราะห์การพัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมรายหัวข้อ จำนวน 27 หัวข้อ

3.7.2 วิเคราะห์เปรียบเทียบแนวคิด เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ก่อนและหลังการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ โดยใช้คะแนนเฉลี่ย ร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน t-test และความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ เพื่อประเมินผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้น โดยใช้คะแนนจากผลสอบก่อนเรียน (Pretest) และหลังเรียน (Posttest) ซึ่งวิธีการหาค่า Normalized gain พิจารณาจากอัตราส่วนของผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นจริง (Actual gain) ต่อผลการเรียนรู้สูงสุดที่มีโอกาสเพิ่มขึ้นได้ (Maximum possible gain) โดยผู้วิจัยจะวิเคราะห์ทั้งหมด 4 กรณี คือ 1) วิเคราะห์ความก้าวหน้าทางการเรียนรายชั้นเรียน 2) วิเคราะห์ความก้าวหน้าทางการเรียนรายบุคคล 3) วิเคราะห์ความก้าวหน้าทางการเรียนรายแนวคิดรวบยอด และ 4) วิเคราะห์ความก้าวหน้าทางการเรียนรายข้อ

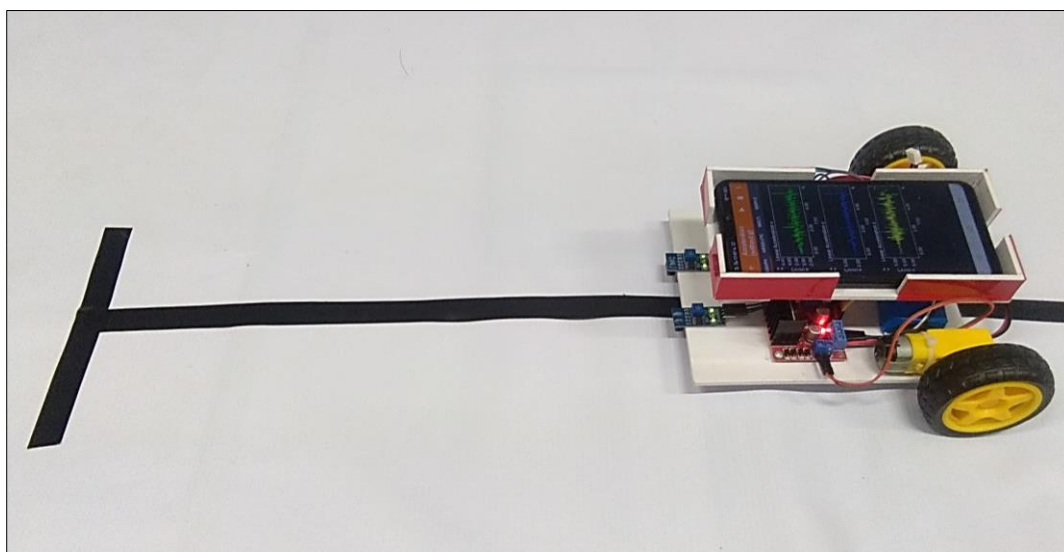
บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล

การวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้พัฒนาชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ โดยกำหนดสถานการณ์ 2 สถานการณ์ ได้แก่ สถานการณ์ที่ 1 สร้างหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ ขับเคลื่อน 2 ล้อ และสถานการณ์ที่ 2 สร้างหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติขับเคลื่อน 4 ล้อ เพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 6 ขั้นตอน อีกทั้งในขั้นตอนทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขหุ่นยนต์ได้ใช้แอปพลิเคชัน Phyphox เป็นเครื่องมือในการศึกษาการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ เพื่อพัฒนาความเข้าใจในแนวคิด เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลและนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามลำดับดังนี้

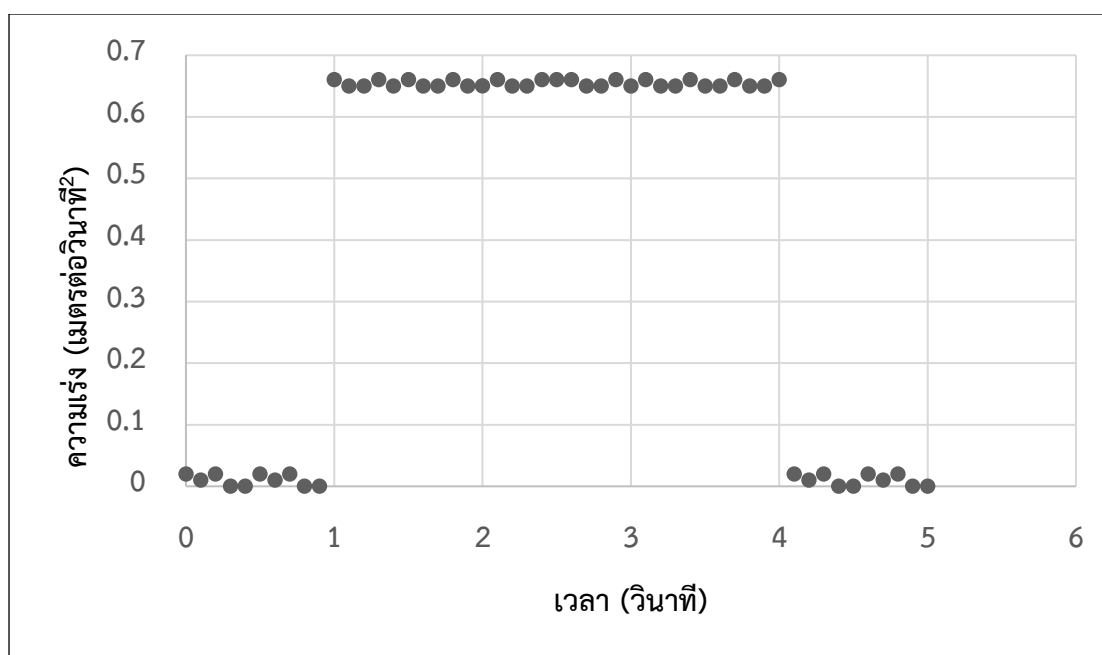
4.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ

ผู้วิจัยได้ทดสอบหุ่นยนต์ตามเงื่อนไขที่กำหนดในการเขียนโปรแกรมทั้งหมด 4 เงื่อนไข ดังนี้ เงื่อนไขที่ 1 ให้เซนเซอร์ขาวเจอเส้นสีดำและเซนเซอร์ซ้ายตรวจเจอพื้นสีขาว พบว่า หุ่นยนต์เลี้ยวขวา เงื่อนไขที่ 2 เซนเซอร์ซ้ายตรวจเจอเส้นสีดำและเซนเซอร์ขาวตรวจเจอพื้นสีขาว พบว่า หุ่นยนต์เลี้ยวซ้าย เงื่อนไขที่ 3 เซนเซอร์ทั้งสองตรวจเจอพื้นสีขาว พบว่า หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหน้าและเงื่อนไขที่ 4 เซนเซอร์ทั้งสองตรวจเจอเส้นสีดำ พบว่า หุ่นยนต์หยุด ดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 การทดสอบหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ

จากการวัดค่าความเร่งของหุ่นยนต์โดยใช้แอปพลิเคชัน Phyphox กำหนดให้หุ่นยนต์อยู่บนเส้นตรงสี่ด้านกว้าง 2 เซนติเมตร ยาว 3 เมตร และน้ำหนัก 0.55 กิโลกรัม โดยตั้งค่าสัญญาณ PWM (pulse width modulation) ที่ 230 พบว่า จากกราฟช่วงเวลา 0 ถึง 1 วินาที หุ่นยนต์ยังไม่เคลื่อนที่เนื่องจากเขียนโปรแกรมตั้งค่านิ่งเวลา (delay) ไว้ที่ 1 วินาที จากนั้นช่วงเวลา 1 วินาที ถึง 4 วินาที เป็นช่วงที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงที่ 0.68 เมตรต่อวินาที² จากนั้นช่วงเวลา 4 วินาที ถึง 5 วินาที หุ่นยนต์จะหยุด ดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ความเร่งกับเวลาโดยแอปพลิเคชัน Phyphox

เมื่อนำไปเปรียบเทียบการคำนวณทางทฤษฎีโดยกำหนดค่าการกระจัด (S) เป็น 3 เมตร ช่วงเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่เป็น 3 วินาที เมื่อแทนค่าในสมการการเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง (a) คงที่ (Δt) $a = 2s / t^2$ พบว่า ความเร่งมีค่า 0.67 เมตรต่อวินาที² ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวัดโดยใช้แอปพลิเคชัน Phyphox จากตารางที่ 4.1 พบว่า ค่าความเร่งจากแอปพลิเคชัน Phyphox มีค่าคลาดเคลื่อนเท่ากับ 1.49% แสดงให้เห็นว่าหุ่นยนต์เดินทางตามเส้นอัตโนมัติที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้สำหรับการทดลองและแอปพลิเคชัน Phyphox สามารถให้ค่าความเร่งที่ถูกต้องได้

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

ผลการวิเคราะห์ทางทฤษฎี	ผลการวิเคราะห์จากแอปพลิเคชัน Phyphox
คำนวณหาความเร่งจากสมการ $a = 2s / t^2 \quad s = 3 \text{ เมตร}, \quad t = 3 \text{ วินาที}$ จะได้ว่า $a = \frac{2(3)}{(3)^2}$ เมตรต่อวินาที² ดังนั้น $a = 0.67$ เมตรต่อวินาที²	จากการวิเคราะห์ด้วยแอปพลิเคชัน Phyphox ค่าของความเร่ง (a) แสดงดังภาพที่ 4.2 ซึ่งมีค่า $a = 0.68$ เมตรต่อวินาที²
เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน = $\frac{\text{ค่าจากPhyphox} - \text{ค่าทฤษฎี}}{\text{ค่าทฤษฎี}} \times 100$ $= \frac{0.68 - 0.67}{0.67} \times 100 = 1.49\%$	

4.2 ผลการพัฒนาชุดกิจกรรมส่งเสริมศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินทางตามเส้นอัตโนมัติ

ผู้วิจัยได้นำชุดกิจกรรมส่งเสริมศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินทางตามเส้นอัตโนมัติ ให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 คน ตรวจสอบเนื้อหาว่าสอดคล้องกับจุดประสงค์ที่กำหนดหรือไม่ โดยใช้แบบประเมินดัชนีความสอดคล้อง (IOC: Index of item objective congruence) ซึ่งมีเกณฑ์ในการตรวจพิจารณาแผนการจัดการเรียนรู้ ดังนี้ ให้คะแนน +1 ถ้าแน่ใจว่าเนื้อหาสอดคล้องกับจุดประสงค์ ให้คะแนน 0 ถ้าไม่แน่ใจว่าเนื้อหาสอดคล้องกับจุดประสงค์ ให้คะแนน -1 ถ้าแน่ใจว่าเนื้อหาไม่สอดคล้องกับจุดประสงค์ แล้วนำผลคะแนนที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญมาคำนวณค่า IOC แสดงผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของชุดกิจกรรมส่งเสริมศึกษา

กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม	กิจกรรม	คะแนนผู้เชี่ยวชาญ			รวม	IOC	แปลผล
		1	2	3			
ขั้นที่ 1 ระบุปัญหา	1. การระบุปัญหาหุ่นยนต์เดินทางตามเส้นอัตโนมัติ	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
ขั้นที่ 2 รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา	2. เซนเซอร์อินฟราเรด หุ่นยนต์เดินทางตามเส้นอัตโนมัติ	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง

ตารางที่ 4.2 ดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา (ต่อ)

กระบวนการออกแบบ เชิงวิศวกรรม	กิจกรรม	คะแนน ผู้เชี่ยวชาญ			รวม	IOC	แปลผล
		1	2	3			
ขั้นที่ 2 รวบรวมข้อมูล และแนวคิดที่เกี่ยวข้อง กับปัญหา	3. การควบคุมมอเตอร์ด้วย ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ รุ่น L298N	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
ขั้นที่ 3 ออกแบบวิธีการ แก้ปัญหา ขั้นที่ 4 วางแผนและ ดำเนินการแก้ปัญหา	4. การออกแบบและสร้าง วงจรไฟฟ้าหุ่นยนต์เดินตาม เส้นอัตโนมัติ	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
	5. การออกแบบโครงสร้าง และประกอบหุ่นยนต์เดิน ตามเส้นอัตโนมัติ	+1	+1	+1	3	1.00	สอดคล้อง
ขั้นที่ 5 ทดสอบ ประเมินผล และ ปรับปรุงแก้ไข ขั้นที่ 6 นำเสนอวิธีการ แก้ปัญหา ผลการ แก้ปัญหาหรือชิ้นงาน	6. การศึกษาความแรงของ หุ่นยนต์ โดยแอปพลิเคชัน Phyphox	+1	+1	0	3	0.67	สอดคล้อง

จากตารางที่ 4.2 พบว่า มีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.67 – 1.00 มี 1 กิจกรรม ที่มีค่าดัชนีความสอดคล้อง เป็น 0.67 คือ กิจกรรมที่ 6 การศึกษาความแรงของหุ่นยนต์ โดยแอปพลิเคชัน Phyphox แสดงให้เห็นว่า ชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นสามารถนำไปพัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมและพัฒนาความเข้าใจแนวคิดเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ ของนักเรียนได้

4.3 ผลการพัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ของนักเรียนโดยใช้ชุดกิจกรรม

สะเต็มศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ

ผู้วิจัยวิเคราะห์ผลการพัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ในสถานการณ์ที่ 1 และสถานการณ์ที่ 2 ของนักเรียนโดยวิเคราะห์ตามลำดับดังนี้

4.3.1 การวิเคราะห์การพัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมรายชั้นเรียน เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อศึกษาความแตกต่างระหว่างคะแนนในสถานการณ์ที่ 1 และสถานการณ์ที่ 2 และความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ แสดงผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบคะแนนการพัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของสถานการณ์ที่ 1 และสถานการณ์ที่ 2

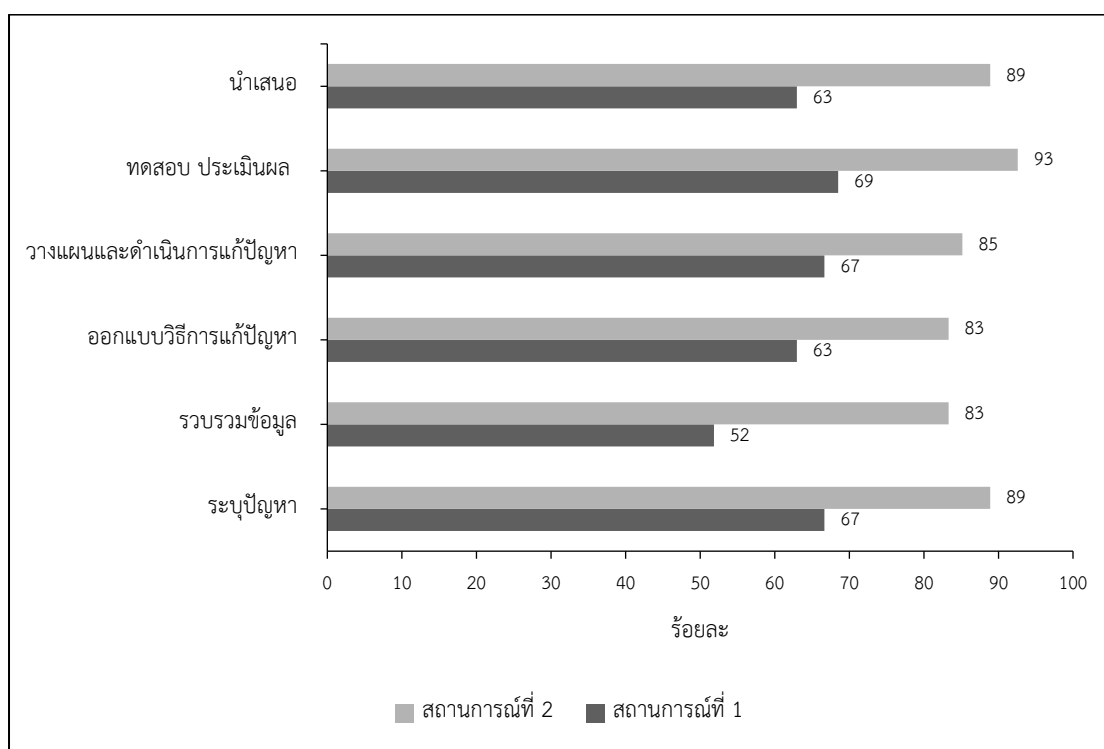
สถานการณ์	ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	t	$\langle g \rangle$
1	16.89	62.55	7.11	9.35*	0.64
2	23.33	86.42	4.00		

* $t_{.05} = 2.31$, $df = 8$

จากตารางที่ 4.3 เป็นการวิเคราะห์ผลโดยใช้คะแนนรายชั้นเรียนของนักเรียน จำนวน 9 กลุ่ม จากแบบประเมินทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม จำนวน 27 ข้อ ซึ่งคะแนนที่นำมาวิเคราะห์ผลนั้นเป็นคะแนนในสถานการณ์ที่ 1 และสถานการณ์ที่ 2 ผลการวิเคราะห์ปรากฏว่าสถานการณ์ที่ 2 ได้คะแนนสูงกว่าสถานการณ์ที่ 1 ซึ่งแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 โดยในสถานการณ์ที่ 2 มีคะแนนเป็น 23.33 คิดเป็นร้อยละ 86.42 สถานการณ์ที่ 1 ได้คะแนน 16.89 คิดเป็นร้อยละ 62.55 มีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ เท่ากับ 0.64 แสดงให้เห็นว่า นักเรียนทั้งชั้นมีความก้าวหน้าในการใช้ทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่เพิ่มขึ้นจริงคิดเป็นร้อยละ 64 เนื่องจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ ในสถานการณ์ที่ 1 นักเรียนทั้งชั้นมีทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมน้อย เมื่อนักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษาในสถานการณ์ที่ 2 แล้วทำให้มีทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้นักเรียนทั้งชั้นเรียนสามารถทำคะแนนได้เพิ่มขึ้นซึ่งมีความก้าวหน้าอยู่ในระดับ Medium gain ทั้งนี้เนื่องจากกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ เป็นกิจกรรมที่น่าสนใจเป็นสิ่งแปลกใหม่สำหรับนักเรียน (Sheikh et al., 2011) และนักเรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 6 ขั้นตอน ได้แก่ การระบุปัญหา รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา ออกแบบ วางแผน

และดำเนินการแก้ปัญหา ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไข และนำเสนอผลงาน ซึ่งช่วยเสริมสร้างและพัฒนาการเรียนรู้ของนักเรียน โดยเป็นการเรียนรู้ด้วยการออกแบบที่เน้นการจัดโอกาสให้นักเรียนได้สร้างองค์ความรู้ (King and English, 2016) อีกทั้งใช้แอปพลิเคชัน Phyphox เป็นเครื่องมือในการศึกษาการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สามารถใช้งานง่าย มีความแม่นยำสูง และสามารถแสดงผลแบบเรียลไทม์ (Real time) ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวช่วยกระตุ้นความสนใจและความกระตือรือร้นในการเรียนรู้และการพัฒนาชิ้นงานของนักเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Staacks et al., 2018)

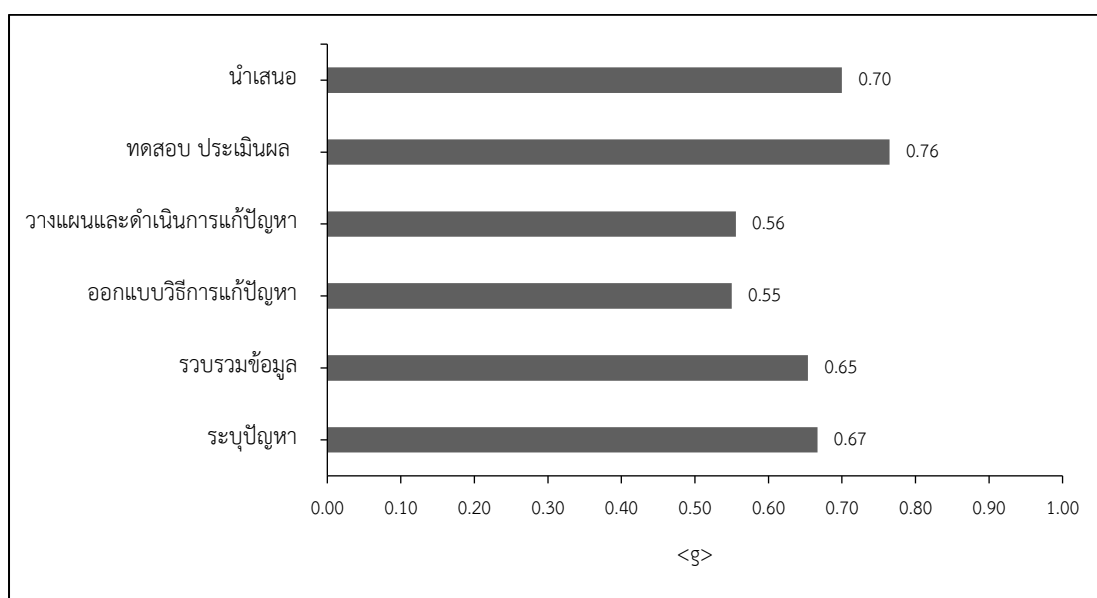
4.3.2 การวิเคราะห์การพัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมรายขั้นตอน เพื่อดูพัฒนาการทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในแต่ละขั้นตอนของนักเรียน โดยพิจารณาจากร้อยละของคะแนนในสถานการณ์ที่ 1 และสถานการณ์ที่ 2 และความก้าวหน้าทางการเรียน <g> ผลการวิเคราะห์แสดงดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 ทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

จากภาพที่ 4.3 ผลการประเมินทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมจำนวน 6 ทักษะพบว่า ในสถานการณ์ที่ 1 นักเรียนได้คะแนนอยู่ในช่วงร้อยละ 52 ถึง ร้อยละ 69 โดยทักษะรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหาได้คะแนนน้อยที่สุด ซึ่งเป็นทักษะในการต่อวงจรควบคุม

เซนเซอร์อินฟราเรด การควบคุมการทำงานของมอเตอร์และการใช้โปรแกรม Arduino IDE แสดงให้เห็นว่ายังมีนักเรียนบางกลุ่มไม่สามารถเขียนโปรแกรมและต่อวงจรได้อย่างถูกต้อง เนื่องจากนักเรียนไม่มีประสบการณ์ในการเขียนโปรแกรมมาก่อน จึงทำให้เกิดความสับสนในการกำหนดตัวแปรที่มีหลายตัวแปร ส่งผลให้หุ่นยนต์ไม่สามารถปฏิบัติตามคำสั่ง รวมถึงความสับสนในการเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าของเซนเซอร์อินฟราเรดและมอเตอร์มีหลายจุดเชื่อมต่อ หากไม่ตรวจสอบการเชื่อมต่อหลาย ๆ ครั้งก็อาจจะทำให้เกิดการเชื่อมต่อผิดตำแหน่งได้ เมื่อนักเรียนทำกิจกรรมในสถานการณ์ที่ 2 นักเรียนสามารถใช้โปรแกรมและต่อวงจรได้ดีขึ้น เนื่องจากได้เรียนรู้และฝึกฝนจนเกิดความชำนาญ ส่งผลให้นักเรียนได้คะแนนเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4.4 การพัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

จากภาพที่ 4.4 เป็นผลการวิเคราะห์การพัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 6 ทักษะ พบว่า นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ อยู่ในช่วง 0.55 - 0.76 สามารถแบ่งระดับความก้าวหน้าออกเป็น 2 ระดับ ดังนี้ 1) ความก้าวหน้าที่อยู่ในระดับ High gain มี 2 ชั้น ได้แก่ ทักษะทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหา และทักษะนำเสนอ วิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหา โดยทักษะที่มีความก้าวหน้าสูงที่สุดในระดับนี้คือ ทักษะทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหามีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ เท่ากับ 0.76 ซึ่งเป็นทักษะที่เกิดจากนักเรียนได้ลงมือทดสอบหุ่นยนต์ว่าสอดคล้องตามเป้าหมายที่กำหนดไว้หรือไม่ โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 การทดสอบระบบการทำงานของหุ่นยนต์ ส่วนที่ 2 การใช้แอปพลิเคชัน Phyphox วัดความเร่งของหุ่นยนต์ เพื่อเก็บข้อมูลและปรับปรุงแก้ไขให้ได้

หุ่นยนต์ที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น 2) ความก้าวหน้าระดับ Medium gain มี 4 ทักษะ ได้แก่ ทักษะ ระบุปัญหา ทักษะรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา ทักษะออกแบบวิธีการแก้ปัญหาและ ทักษะวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา โดยทักษะที่มีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย ค่อนข้างต่ำใน ระดับนี้ คือ ทักษะออกแบบวิธีการแก้ปัญหา มีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย <g> เท่ากับ 0.55 ซึ่งเป็นทักษะในการออกแบบหุ่นยนต์โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 เป็นวงจรไฟฟ้าของหุ่นยนต์ ซึ่ง นักเรียนจะต้องแสดงจุดเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าของหุ่นยนต์ ส่วนที่ 2 นักเรียนจะต้องออกแบบโครงสร้าง หุ่นยนต์ โดยวาดภาพร่าง 3 มิติ ที่มีรายละเอียดรูปร่างที่สามารถนำไปสร้างเป็นหุ่นยนต์ได้จริง

จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่ายังมีนักเรียนบางกลุ่มออกแบบหุ่นยนต์โดยกำหนด รายละเอียดรูปร่างไม่ครบถ้วน เช่น กำหนดขนาดความกว้างความยาวของฐานรองแต่ไม่กำหนดขนาด ความกว้างความยาวของฐานหลัก ส่งผลให้นักเรียนได้คะแนนน้อยในสถานการณ์ที่ 1 เมื่อนักเรียนทำ กิจกรรมในสถานการณ์ที่ 2 นักเรียนได้ให้ความสำคัญกับการระบุรายละเอียดของการออกแบบวงจร และการออกแบบโครงสร้างมากขึ้น แต่การออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ขับเคลื่อน 4 ล้อ มีความซับซ้อน และมีรายละเอียดมากกว่าหุ่นยนต์ขับเคลื่อน 2 ล้อ ส่งผลให้นักเรียนได้คะแนนเพิ่มขึ้นไม่มากนัก จึงมี ความก้าวหน้าอยู่ในระดับ Medium gain

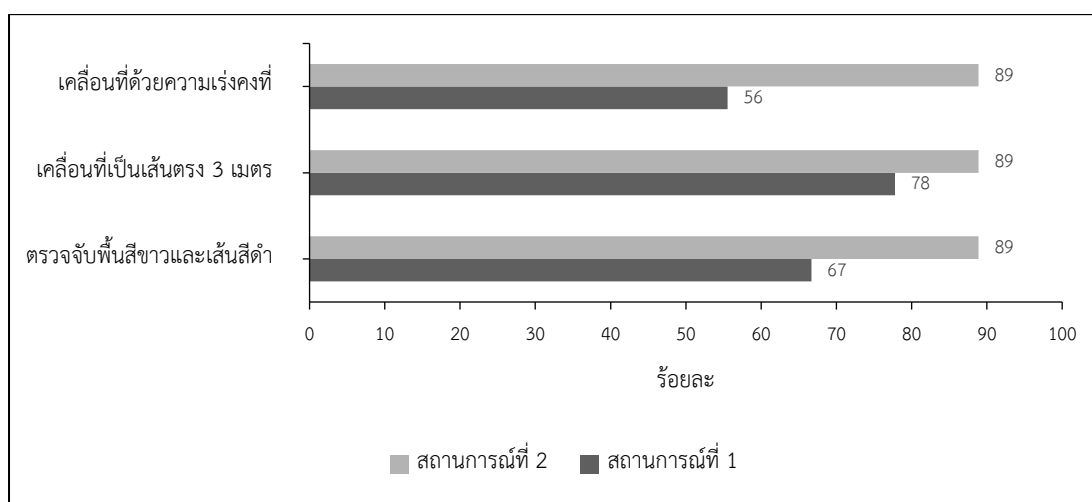
4.3.3 การวิเคราะห์การพัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมรายหัวข้อ พิจารณา จากคะแนน 27 หัวข้อใน 6 ขั้นตอน

ขั้นที่ 1 ระบุปัญหา เป็นขั้นที่นักเรียนร่วมกันวิเคราะห์สถานการณ์ โดยแต่ละกลุ่มร่วมกัน วิเคราะห์ปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนด เพื่อกำหนดเงื่อนไขในการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์

ตารางที่ 4.4 ผลการพัฒนาทักษะการระบุปัญหา

รายการประเมิน	หลักฐานหรือชิ้นงาน (คะแนน)
1. ทักษะการระบุปัญหา	
1.1 หุ่นยนต์สามารถตรวจจับ พื้นสีขาวและเส้นสีดำ	สรุปเงื่อนไขในการสร้างหุ่นยนต์ 1. หุ่นยนต์สามารถตรวจจับพื้นสีขาวและเส้นสีดำได้ 2. หุ่นยนต์เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในระยะทาง 3 เมตร 3. หุ่นยนต์มีความเร็วเพิ่มขึ้น กำหนดเงื่อนไขไม่ถูกต้อง
1.2 หุ่นยนต์เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในระยะทาง 3 เมตร	
1.3 หุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่	

จากตารางที่ 4.4 นักเรียนระบุเงื่อนไขจากสถานการณ์ คือ สามารถตรวจจับพื้นสีขาวและเส้นสีดำ หุ่นยนต์เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในระยะทาง 3 เมตร และหุ่นยนต์มีความเร็วเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่านักเรียนบางส่วนไม่สามารถระบุเงื่อนไขเกี่ยวกับความเร็วได้ โดยเงื่อนไขที่ถูกต้อง คือ หุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่

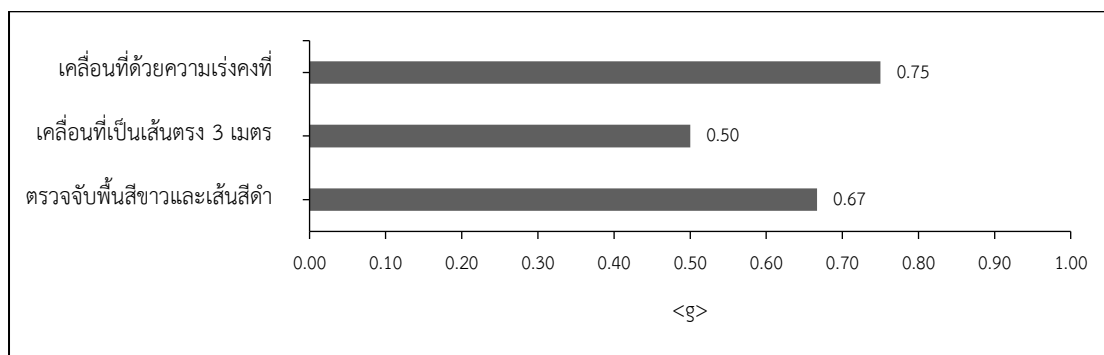


ภาพที่ 4.5 ทักษะการระบุปัญหา

จากภาพที่ 4.5 ผลการประเมินหัวข้อในขั้นระบุปัญหาของนักเรียนจำนวน 3 หัวข้อ พบว่า ในสถานการณ์ที่ 1 นักเรียนได้คะแนนอยู่ในช่วงร้อยละ 56 ถึง ร้อยละ 78 ซึ่งหัวข้อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ได้คะแนนน้อยที่สุดในขั้นนี้ แสดงให้เห็นว่ายังมีนักเรียนบางกลุ่มไม่สามารถระบุวิธีแก้ปัญหาการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ได้สอดคล้องกับสถานการณ์ โดยนักเรียนระบุว่าควรให้หุ่นยนต์มีความเร็วเพิ่มขึ้น ซึ่งคำตอบที่ถูกต้อง คือ หุ่นยนต์ควรมีความเร็วสม่ำเสมอ ส่งผลให้นักเรียนได้คะแนนน้อยในสถานการณ์ที่ 1 เมื่อนักเรียนทำกิจกรรมในสถานการณ์ที่ 2 นักเรียนสามารถระบุวิธีแก้ปัญหาการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ได้สอดคล้องกับสถานการณ์มากขึ้น ส่งผลให้นักเรียนได้คะแนนเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 89

ผลการวิเคราะห์การพัฒนาทักษะการระบุปัญหาดังภาพที่ 4.6 พบว่า นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ อยู่ในช่วง 0.50 - 0.75 สามารถแบ่งระดับความก้าวหน้าออกเป็น 2 ระดับ ดังนี้ 1) ความก้าวหน้าที่อยู่ในระดับ High gain มี 1 หัวข้อ ได้แก่ หัวข้อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ มีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย สูงที่สุด $\langle g \rangle$ เท่ากับ 0.75 2) ความก้าวหน้าระดับ Medium gain มี 2 หัวข้อ ได้แก่ หัวข้อหุ่นยนต์สามารถตรวจจับพื้นสีขาวและเส้นสีดำ หัวข้อหุ่นยนต์เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในระยะทาง 3 เมตร โดยหัวข้อที่มีความก้าวหน้าสูงที่สุดใน

ระดับนี้ คือ หัวข้อหุ่นยนต์สามารถตรวจจับพื้นสีขาวและเส้นสีดำมีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ เท่ากับ 0.67

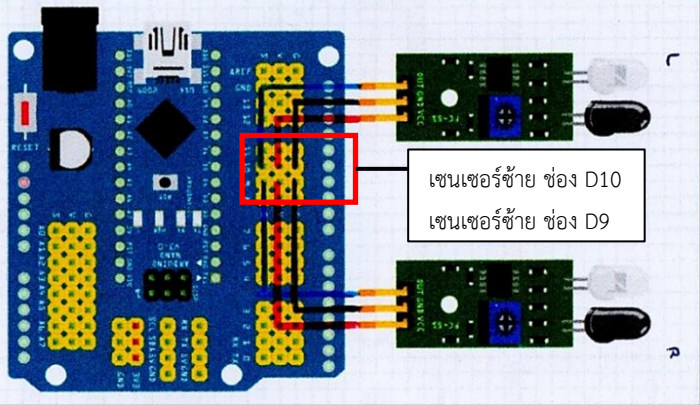
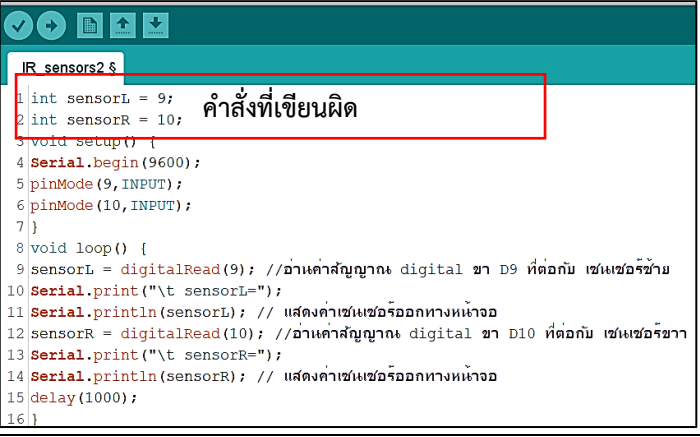
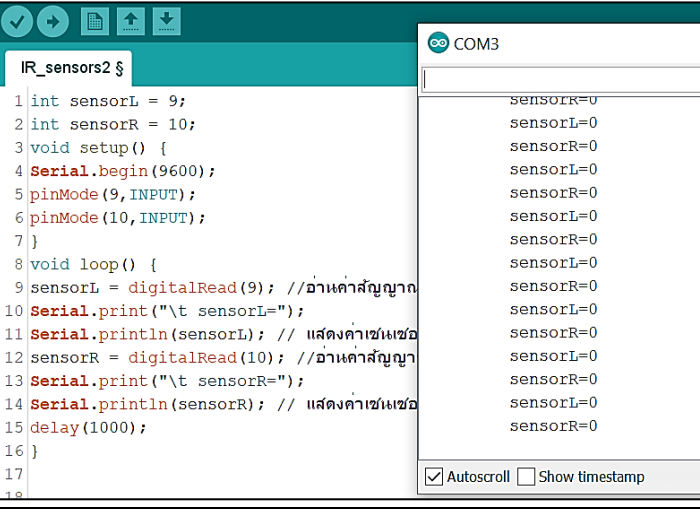


ภาพที่ 4.6 การพัฒนาทักษะการระบุปัญหา

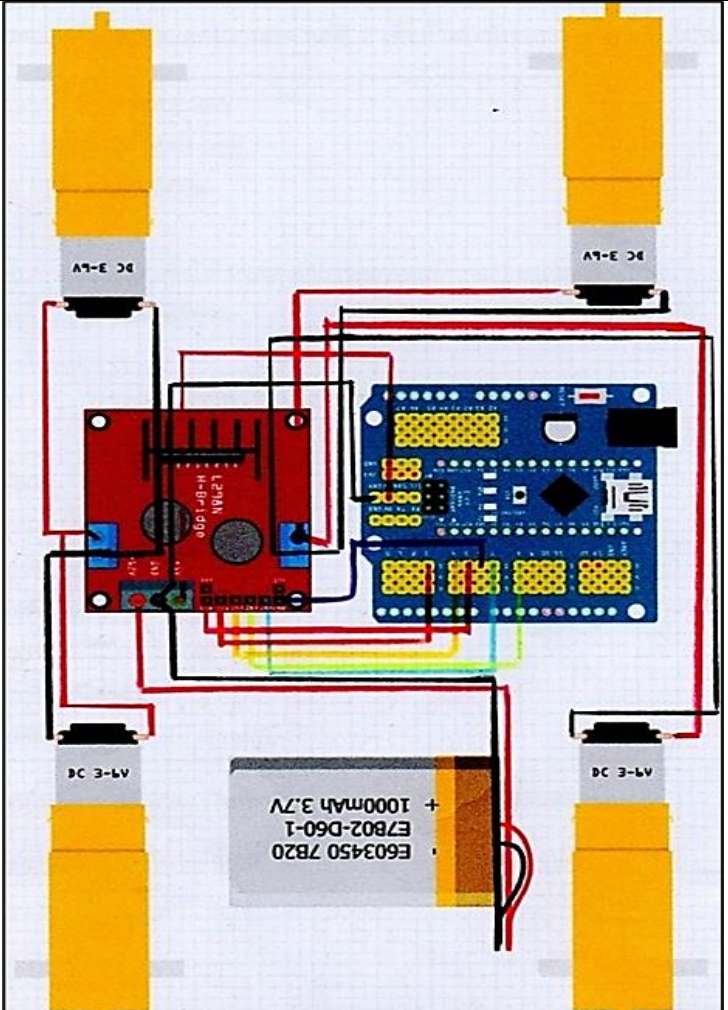
หัวข้อที่มีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ยต่ำที่สุดในระดับนี้ คือ หัวข้อหุ่นยนต์เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในระยะทาง 3 เมตร มีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ เท่ากับ 0.50 เนื่องจากเงื่อนไขในหัวข้อดังกล่าวนักเรียนสามารถทำความเข้าใจได้ไม่ยาก ส่งผลให้ทำคะแนนได้มากในสถานการณ์ที่ 1 เมื่อนักเรียนทำกิจกรรมในสถานการณ์ที่ 2 ไม่สามารถทำคะแนนให้เพิ่มขึ้นจากเดิมมากนัก ส่งผลให้มีความก้าวหน้าอยู่ในระดับ Medium gain

ขั้นที่ 2 รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา เป็นขั้นที่นักเรียนต้องรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาจากใบความรู้ หุ่นยนต์ตัวอย่างและการใช้อินเทอร์เนตในการสืบค้นข้อมูลโดยใช้คอมพิวเตอร์หรือโทรศัพท์มือถือ เพื่อศึกษาว่าหุ่นยนต์ตัวอย่างมีระบบการทำงานเป็นอย่างไรโดยนักเรียนต้องออกแบบวงจรเซนเซอร์อินฟราเรดและออกแบบวงจรควบคุมมอเตอร์ด้วยชุดขับเคลื่อนรุ่น L298N จากนั้นเขียนโปรแกรมและทดสอบการทำงาน เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบไปออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ จากตารางที่ 4.5 นักเรียนได้ออกแบบวงจรเซนเซอร์อินฟราเรดโดยเชื่อมต่อเซนเซอร์อินฟราเรดเข้ากับบอร์ดขยายที่ขา OUT กับ แฉก S ช่อง D10 ขา GND กับ แฉก G ช่อง D10 และขา VCC กับ แฉก V ช่อง D10 จากนั้นเชื่อมต่อเซนเซอร์อินฟราเรดเข้ากับบอร์ดขยายที่ขา OUT กับ แฉก S ช่อง D9 ขา GND กับ แฉก G ช่อง D9 และขา VCC กับ แฉก V ช่อง D9 เมื่อทดสอบการทำงานพบว่า เซนเซอร์อินฟราเรดซ้ายและขวาตรวจสอบพื้นสีขาวโดยแสดงค่าสัญญาณดิจิทัลเป็น 0 และสามารถตรวจสอบเส้นสีดำโดยแสดงค่าสัญญาณดิจิทัลเป็น 0 แสดงให้เห็นว่านักเรียนสามารถออกแบบวงจรได้แต่เขียนโปรแกรมไม่สอดคล้องกับการต่อวงจรเซนเซอร์อินฟราเรด เนื่องจากนักเรียนเขียนคำสั่งผิด คือ `int sensorL = 9` คำสั่งที่ถูกต้อง คือ `int sensorL = 10` และเขียนคำสั่งผิด คือ `int sensorR = 9` คำสั่งที่ถูกต้อง คือ `int sensorR = 10`

ตารางที่ 4.5 ผลการพัฒนาทักษะการรวบรวมข้อมูลเซนเซอร์อินฟราเรด

รายการประเมิน	หลักฐานหรือชิ้นงาน
2. ทักษะการรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา	
2.1 การใช้เซนเซอร์อินฟราเรด	
2.1.1 ได้ภาพวงจรไฟฟ้าของเซนเซอร์อินฟราเรด	
2.1.2 เขียนโปรแกรมสั่งการให้เซนเซอร์อินฟราเรดทำงาน	 <pre> 1 int sensorL = 9; 2 int sensorR = 10; 3 void setup() { 4 Serial.begin(9600); 5 pinMode(9, INPUT); 6 pinMode(10, INPUT); 7 } 8 void loop() { 9 sensorL = digitalRead(9); //อ่านค่าสัญญาณ digital ขา D9 ที่ต่อกับ เซนเซอร์ซ้าย 10 Serial.print("\t sensorL="); 11 Serial.println(sensorL); // แสดงค่าเซนเซอร์ออกทางหน้าจอ 12 sensorR = digitalRead(10); //อ่านค่าสัญญาณ digital ขา D10 ที่ต่อกับ เซนเซอร์ขวา 13 Serial.print("\t sensorR="); 14 Serial.println(sensorR); // แสดงค่าเซนเซอร์ออกทางหน้าจอ 15 delay(1000); 16 } </pre>
2.1.3 แสดงค่าสัญญาณเซนเซอร์อินฟราเรดขวาและซ้าย	 <pre> 1 int sensorL = 9; 2 int sensorR = 10; 3 void setup() { 4 Serial.begin(9600); 5 pinMode(9, INPUT); 6 pinMode(10, INPUT); 7 } 8 void loop() { 9 sensorL = digitalRead(9); //อ่านค่าสัญญาณ 10 Serial.print("\t sensorL="); 11 Serial.println(sensorL); // แสดงค่าเซนเซอร์ 12 sensorR = digitalRead(10); //อ่านค่าสัญญาณ 13 Serial.print("\t sensorR="); 14 Serial.println(sensorR); // แสดงค่าเซนเซอร์ 15 delay(1000); 16 } </pre>

ตารางที่ 4.6 ผลการพัฒนาทักษะการรวบรวมข้อมูลมอเตอร์

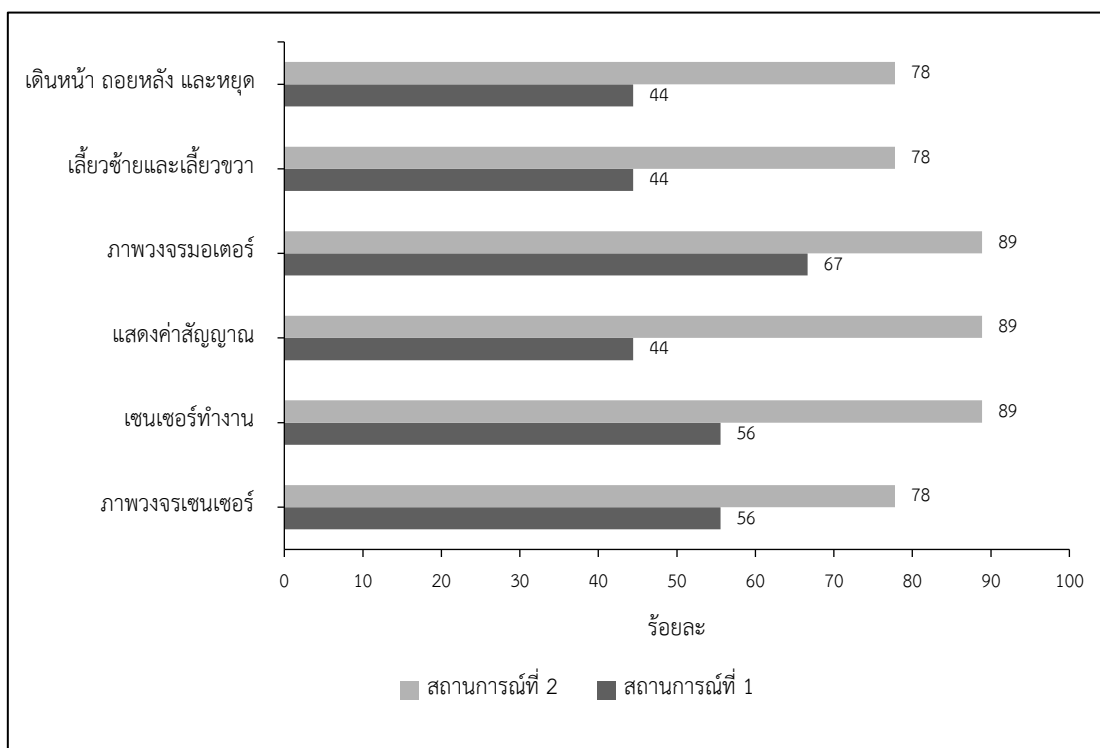
รายการประเมิน	หลักฐานหรือชิ้นงาน
2. ทักษะการรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา	
2.2 การควบคุมมอเตอร์	
2.2.1 ได้ภาพวงจรไฟฟ้าของมอเตอร์	
2.2.2 เขียนโปรแกรมสั่งการให้หุ่นยนต์ปฏิบัติการเลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวา	<pre> 18 void loop() { 19 // เลี้ยวขวา 20 digitalWrite (motorA1,HIGH);digitalWrite (motorA2,LOW); 21 analogWrite (motorASpeed, vSpeed); //กำหนด Motor A เดินหน้า 22 digitalWrite (motorB1,LOW);digitalWrite (motorB2,HIGH); 23 analogWrite (motorBspeed, turn_speed); //กำหนด Motor B ถอยหลัง 24 delay(1000); 25 // เลี้ยวซ้าย 26 digitalWrite (motorA1,HIGH);digitalWrite (motorA2,LOW); 27 analogWrite (motorASpeed, turn_speed); //กำหนด Motor A ถอยหลัง 28 digitalWrite (motorB1,HIGH);digitalWrite (motorB2,LOW); 29 analogWrite (motorBspeed, vSpeed); //กำหนด Motor B เดินหน้า 30 delay(1000); 31 } </pre> คำสั่งที่เขียนผิด

ตารางที่ 4.6 ผลการพัฒนาทักษะการรวบรวมข้อมูลมอเตอร์ (ต่อ)

รายการประเมิน	หลักฐานหรือชิ้นงาน
2.2.3 เขียนโปรแกรมสั่งการให้หุ่นยนต์เดินหน้า ถอยหลังและหยุด	<pre> 18 void loop() { 19 // เดินหน้า 20 digitalWrite (motorA1,LOW);digitalWrite (motorA2,HIGH); 21 analogWrite (motorAspeed, vSpeed); //Motor A เดินหน้า 22 digitalWrite (motorB1,HIGH);digitalWrite (motorB2,LOW); 23 analogWrite (motorBspeed, vSpeed); //Motor B เดินหน้า 24 delay(1000); 25 // ถอยหลัง 26 digitalWrite (motorA1,LOW);digitalWrite (motorA2,HIGH); 27 analogWrite (motorAspeed, turn_speed); //Motor A ถอยหลัง 28 digitalWrite (motorB1,LOW);digitalWrite (motorB2,HIGH); 29 analogWrite (motorBspeed, turn_speed); //Motor B ถอยหลัง 30 delay(1000); 31 32 // หยุด 33 analogWrite (motorAspeed, 0);digitalWrite (motorA1, LOW); 34 digitalWrite (motorA2, LOW); //Motor A หยุด 35 analogWrite (motorBspeed, 0); digitalWrite (motorB1, LOW); 36 digitalWrite (motorB2, LOW); //Motor B หยุด 37 delay(1000); 38 } </pre>

จากตารางที่ 4.6 นักเรียนสามารถออกแบบวงจรมอเตอร์ โดยเชื่อมต่omotor ได้ถูกต้อง เมื่อทดสอบการเคลื่อนที่ พบว่า หุ่นยนต์เดินหน้าและเลี้ยวซ้ายได้ แต่ถอยหลังและเลี้ยวขวาไม่ได้ แสดงให้เห็นว่าการเขียนโปรแกรมควบคุมมอเตอร์ไม่สอดคล้องกับการออกแบบวงจร ดังนั้น คำสั่งถอยหลังผิด คือ digitalWrite (motorA1,LOW);digitalWrite(motorA2,HIGH) คำสั่งถอยหลังที่ถูกต้อง คือ digitalWrite (motorA1,HIGH);digitalWrite(motorA2,LOW) คำสั่งเลี้ยวขวาผิด คือ digitalWrite (motorA1,HIGH);digitalWrite(motorA2,LOW) คำสั่งเลี้ยวขวาที่ถูกต้อง คือ digitalWrite (motorA1,LOW);digitalWrite(motorA2,HIGH)

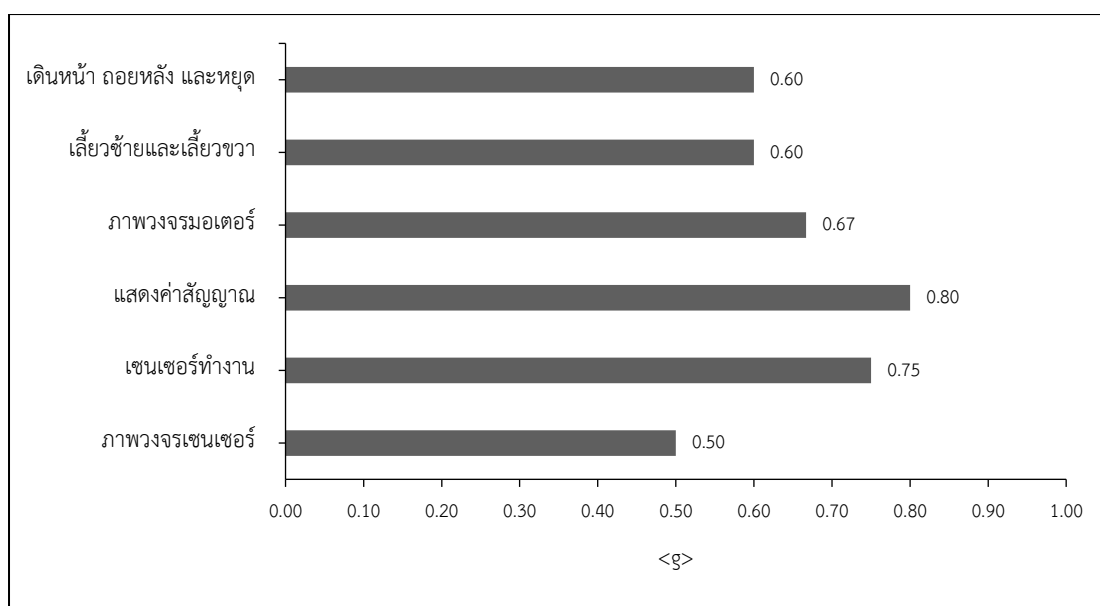
ผลการประเมินหัวข้อในขั้นการรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหาของนักเรียน จากภาพที่ 4.7 จำนวน 6 หัวข้อ พบว่า ในสถานการณ์ที่ 1 นักเรียนได้คะแนนอยู่ในช่วงร้อยละ 44 ถึง ร้อยละ 67 โดยหัวข้อสามารถแสดงค่าสัญญาณเซนเซอร์อินฟราเรดขวาและซ้าย หัวข้อการเขียนโปรแกรมสั่งการให้หุ่นยนต์ปฏิบัติการเลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวาได้และหัวข้อการเขียนโปรแกรมสั่งการให้หุ่นยนต์เดินหน้า ถอยหลังและหยุดได้คะแนนน้อยที่สุดในขั้นนี้ แสดงให้เห็นว่ายังมีนักเรียนบางกลุ่มไม่มีความชำนาญในการใช้โปรแกรม เนื่องจากนักเรียนไม่เคยมีประสบการณ์ในการเขียนโปรแกรมมาก่อนจึงทำให้เกิดความสับสนในการกำหนดค่าตัวแปร ส่งผลให้นักเรียนได้คะแนนน้อยในสถานการณ์ที่ 1 เมื่อนักเรียนทำกิจกรรมในสถานการณ์ที่ 2 นักเรียนมีความชำนาญในการเขียนโปรแกรมมากขึ้น เนื่องจากได้ฝึกฝนทักษะจากสถานการณ์ที่ 1 ส่งผลให้นักเรียนได้คะแนนเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4.7 ทักษะการรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา

ผลการวิเคราะห์การพัฒนาทักษะการรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหาดังภาพที่ 4.8 พบว่า นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ อยู่ในช่วง 0.50 - 0.80 สามารถแบ่งระดับความก้าวหน้าออกเป็น 2 ระดับ ดังนี้ 1) ความก้าวหน้าที่อยู่ในระดับ High gain มี 2 หัวข้อ ได้แก่ หัวข้อสามารถแสดงค่าสัญญาณเซนเซอร์อินฟราเรดขวาและซ้ายได้ และหัวข้อการเขียนโปรแกรมสั่งการให้เซนเซอร์อินฟราเรดทำงานได้ โดยหัวข้อที่มีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ยสูงที่สุดในระดับนี้ คือ หัวข้อสามารถแสดงค่าสัญญาณเซนเซอร์อินฟราเรดขวาและซ้ายได้ มีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ เท่ากับ 0.80 2) ความก้าวหน้าระดับ Medium gain มี 4 หัวข้อ ได้แก่ หัวข้อได้ภาพวงจรไฟฟ้าของมอเตอร์ หัวข้อเขียนโปรแกรมสั่งการให้หุ่นยนต์ปฏิบัติการเลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวา หัวข้อเขียนโปรแกรมสั่งการให้หุ่นยนต์เดินหน้า ถอยหลังและหยุด และหัวข้อได้ภาพวงจรไฟฟ้าของเซนเซอร์อินฟราเรด โดยหัวข้อที่มีความก้าวหน้าสูงที่สุดในระดับนี้ คือ หัวข้อได้ภาพวงจรไฟฟ้าของมอเตอร์ มีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ เท่ากับ 0.67 โดยหัวข้อที่มีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ยต่ำที่สุดในระดับนี้คือ หัวข้อได้ภาพวงจรไฟฟ้าของเซนเซอร์อินฟราเรด มีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ เท่ากับ 0.50 เนื่องจากในสถานการณ์ที่ 1 นักเรียนกำหนดจุดเชื่อมต่อเซนเซอร์อินฟราเรดขวาและซ้ายไม่ถูกต้อง เช่น กำหนดจุดเชื่อมต่อไว้ในช่องสัญญาณ

แอนะล็อก (Analog signal) แทนช่องสัญญาณดิจิทัล (Digital signal) ส่งผลให้นักเรียนได้คะแนนน้อย ในสถานการณ์ที่ 1 เมื่อนักเรียนทำกิจกรรมในสถานการณ์ที่ 2 นักเรียนกำหนดจุดเชื่อมต่อเซนเซอร์ อินฟราเรดขาวและซ้ายไว้ในช่องสัญญาณดิจิทัล ได้ถูกต้องมากขึ้น แต่ยังมีนักเรียนบางกลุ่มเลือก ช่องสัญญาณดิจิทัลที่ใช้สำหรับการควบคุมมอเตอร์แทนช่องสัญญาณ PWM ส่งผลให้นักเรียนได้ คะแนนเพิ่มขึ้นไม่มากในสถานการณ์ที่ 2 จึงมีความก้าวหน้าอยู่ในระดับ Medium gain

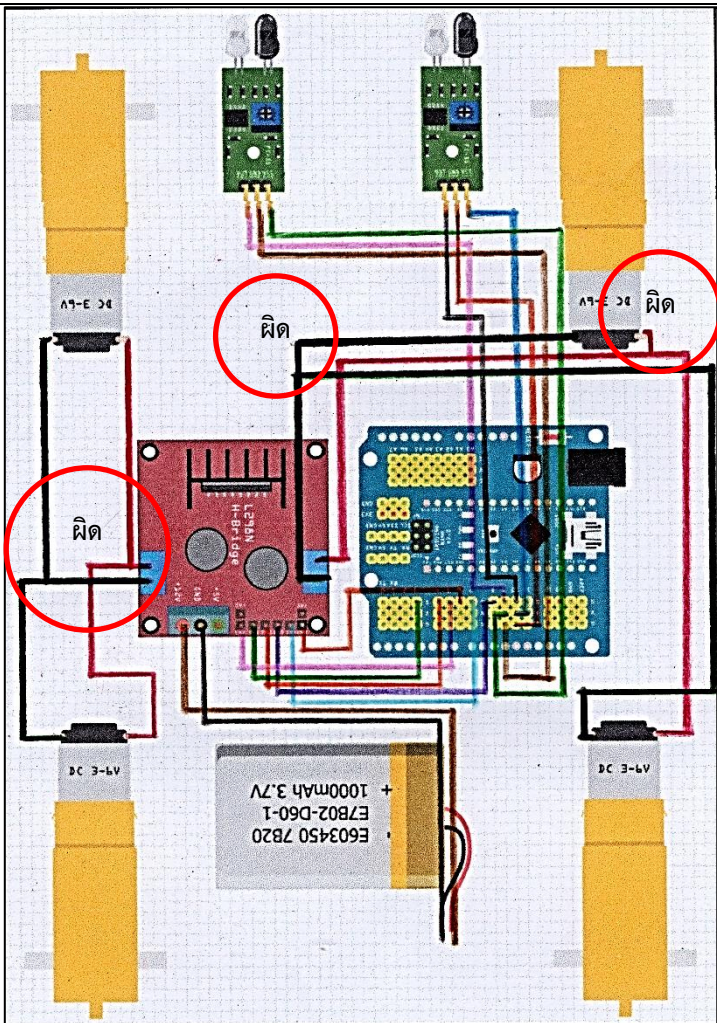


ภาพที่ 4.8 การพัฒนาทักษะการรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา

ขั้นที่ 3 ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา เป็นขั้นการนำวิธีการแก้ปัญหาซึ่งต้องกำหนด องค์ประกอบ ของวิธีการแก้ปัญหาและผลที่เกิดขึ้นจากข้อมูลที่นักเรียนสืบค้นและรวบรวมข้อมูล ข้างต้น สามารถนำความรู้มาใช้ออกแบบหุ่นยนต์โดยแบ่งเป็นสองส่วน ได้แก่ ส่วนแรกเป็นวงจรไฟฟ้า ของหุ่นยนต์ นักเรียนจะต้องแสดงจุดเชื่อมต่อของเซนเซอร์อินฟราเรด บอร์ดขยาย ชุดขับเคลื่อน มอเตอร์และแบตเตอรี่ จากตารางที่ 4.7 นักเรียนได้ลากจุดเชื่อมต่อภายในวงจรไฟฟ้าของหุ่นยนต์ โดย เชื่อมต่อเซนเซอร์อินฟราเรดซ้ายกับบอร์ดขยายที่ ขา OUT กับ แถว S ช่อง D10 ขา GND กับ แถว G ช่อง D10 และขา VCC กับ แถว V ช่อง D10 จากนั้นเชื่อมต่อเซนเซอร์อินฟราเรดขวากับบอร์ดขยาย ที่ ขา OUT กับ แถว S ช่อง D9 ขา GND กับ แถว G ช่อง D9 และขา VCC กับ แถว V ช่อง D9 จากนั้นเชื่อมต่omotorกับชุดขับเคลื่อน ที่มอเตอร์ A กับช่องซ้าย และมอเตอร์ B กับช่องขวา จากนั้นเชื่อมต่อชุดขับเคลื่อนกับบอร์ดขยาย แถว S ที่ ช่อง ENA กับ D5 IN1 กับ D3 IN2 กับ D4 IN3 กับ D8 IN4 กับ D7 และ ENB กับ D6 จากนั้นนักเรียนเชื่อมต่omotorหน้ากับหลังโดยข้ามขั้วต่อ

กับขั้วลบและขั้วลบต่อกับขั้วบวกซึ่งเป็นการเชื่อมต่อที่ผิด การเชื่อมต่อที่ถูกต้อง คือ มอเตอร์หน้ากับหลังแบบขนานโดยให้ขั้วบวกต่อกับขั้วบวกและขั้วลบต่อกับขั้วลบ

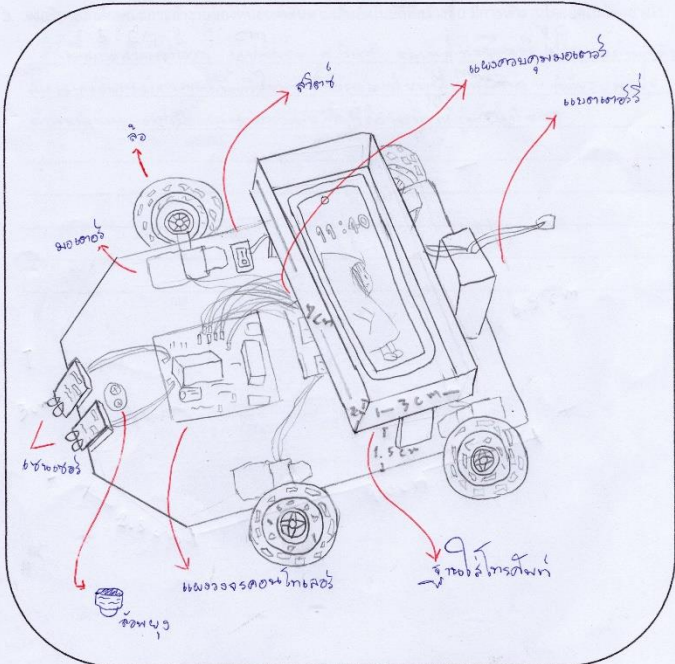
ตารางที่ 4.7 ผลการพัฒนาทักษะการออกแบบวงจรไฟฟ้าหุ่นยนต์

รายการประเมิน	หลักฐานหรือชิ้นงาน
3. ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา	
3.1 การออกแบบวงจรไฟฟ้าหุ่นยนต์	
3.1.1 ได้ภาพวงจรไฟฟ้าหุ่นยนต์ที่แสดงจุดเชื่อมต่อเซนเซอร์อินฟราเรดซ้ายและขวากับบอร์ด	
3.1.2 ได้ภาพวงจรไฟฟ้าหุ่นยนต์ที่แสดงจุดเชื่อมต่อมอเตอร์ซ้ายกับชุดขับมอเตอร์	
3.1.3 ได้ภาพวงจรไฟฟ้าหุ่นยนต์ที่แสดงจุดเชื่อมต่อมอเตอร์ขวากับชุดขับมอเตอร์	

ส่วนที่สอง นักเรียนจะต้องออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์ โดยนักเรียนจะต้องวาดภาพร่าง 3 มิติ ที่มีรายละเอียดรูปร่าง ขนาดความกว้าง ความยาว ความสูง สัดส่วนตามหลักคณิตศาสตร์และแสดงหน่วยในการวัดขนาดที่สามารถนำไปสร้างเป็นหุ่นยนต์ได้จริง จากตารางที่ 4.8 นักเรียนวาดโครงสร้างหุ่นยนต์เป็นภาพ 3 มิติ โดยแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนแรก คือ ฐานหลักใช้เป็นที่ติดตั้ง

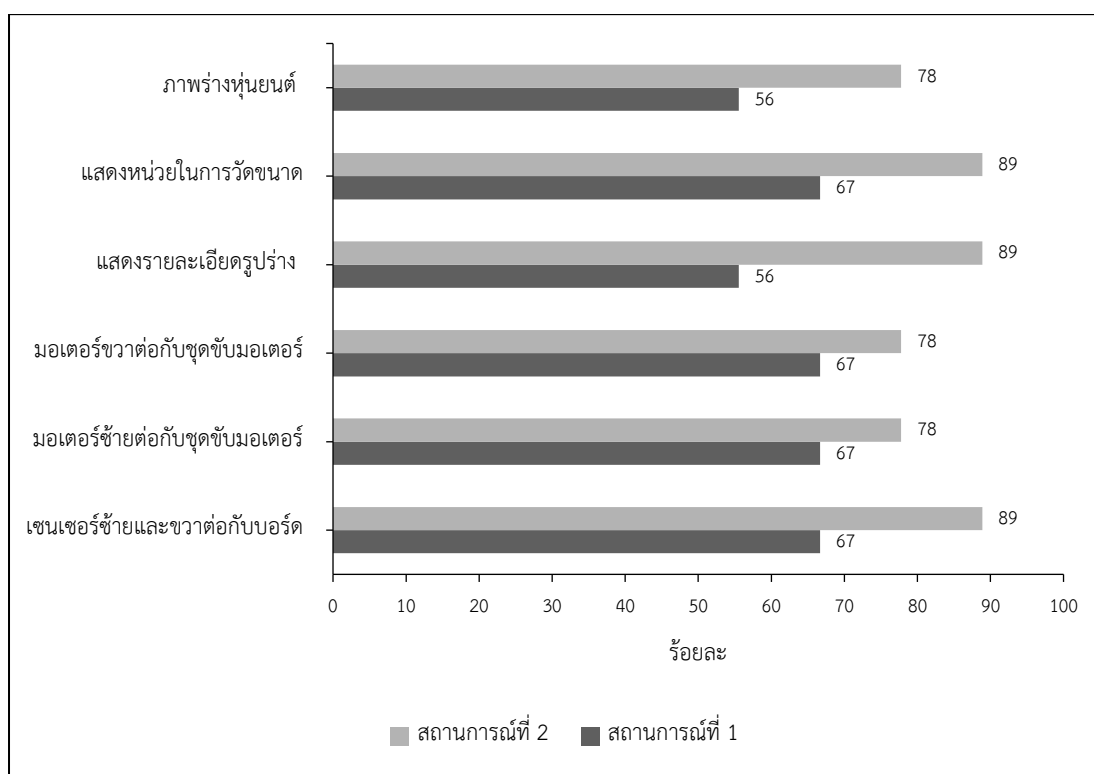
อุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วย ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ L298N บอร์ดขยาย แบตเตอรี่ มอเตอร์ ล้อและเซนเซอร์ อินฟราเรด ส่วนที่สอง คือ ฐานรองใช้บรรจุทุกโทรศัพท์มือถือ นักเรียนไม่กำหนดขนาดรูปร่างและหน่วยในการวัด

ตารางที่ 4.8 ผลการพัฒนาทักษะการออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์

รายการประเมิน	หลักฐานหรือชิ้นงาน
3. ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา	
3.2 การออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์	
3.2.1 แสดงรายละเอียดรูปร่าง ขนาดความกว้าง ความยาว ความสูง	1. ออกแบบและสร้างหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ โดยใช้วงจรไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ตามที่ออกแบบไว้ โดยมีลักษณะการใช้งานที่สัมพันธ์กับหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติที่สามารถบรรจุโทรศัพท์มือถือได้ ภาพร่างของหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ (ระบุขนาด สัดส่วนของอุปกรณ์ การประกอบชิ้นส่วน) 
3.2.2 แสดงหน่วยในการวัด ขนาด	
3.2.3 ได้ภาพร่างหุ่นยนต์ 3 มิติ	

ผลการประเมินหัวข้อในขั้นการออกแบบวิธีการแก้ปัญหานักเรียนจำนวน 6 หัวข้อ ดังภาพที่ 4.9 พบว่า ในสถานการณ์ที่ 1 นักเรียนได้คะแนนอยู่ในช่วงร้อยละ 56 ถึง ร้อยละ 67 โดยแสดงรายละเอียดรูปร่าง ขนาดความกว้าง ความยาว ความสูงและหัวข้อภาพร่างหุ่นยนต์ 3 มิติได้คะแนนน้อยที่สุดในขั้นนี้ แสดงให้เห็นว่ายังมีนักเรียนบางกลุ่มออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์โดยไม่ระบุรายละเอียดรูปร่างให้ชัดเจน เนื่องจากนักเรียนใช้วิธีการคาดคะเนด้วยสายตาจากขนาดของหุ่นยนต์ตัวอย่าง จากนั้นร่างภาพหุ่นยนต์ 3 มิติ จึงทำให้ภาพร่างที่ได้ไม่ได้สัดส่วนที่ชัดเจน ส่งผลให้นักเรียนได้คะแนนน้อยในสถานการณ์ที่ 1 เมื่อนักเรียนทำกิจกรรมในสถานการณ์ที่ 2 นักเรียนได้ให้ความสำคัญ

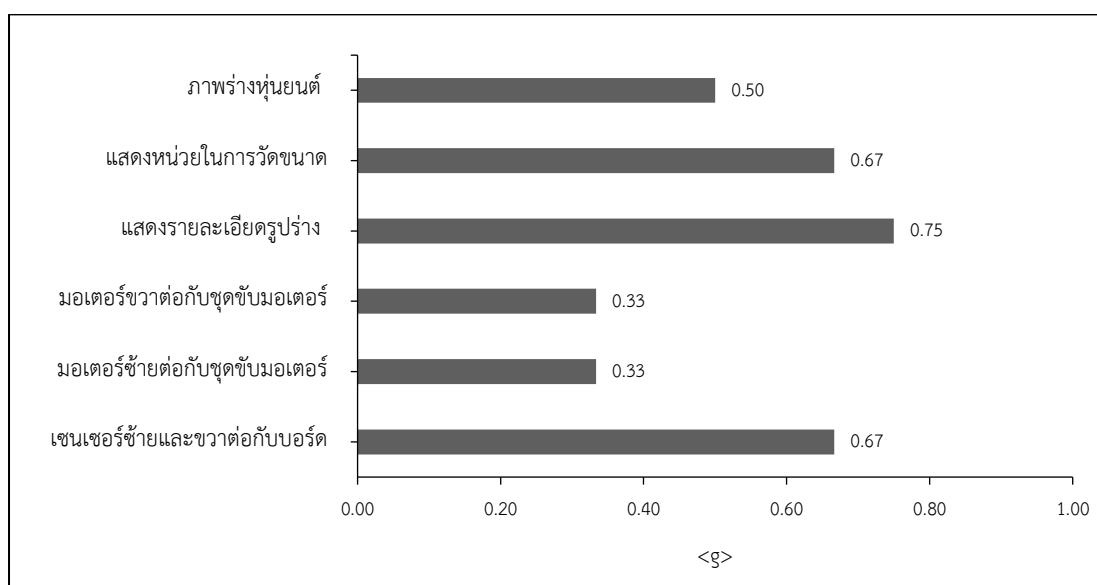
ในการกำหนดรายละเอียดรูปร่าง ขนาดความกว้าง ความยาว ความสูง ที่ชัดเจนมากขึ้น เนื่องจากนักเรียนได้เรียนรู้จากสถานการณ์ที่ 1 แล้วว่าหากไม่กำหนดรายละเอียดที่ชัดเจนในการออกแบบ จะไม่สามารถสร้างหุ่นยนต์ได้ตามที่ต้องการ เนื่องจากโครงสร้างหุ่นยนต์อาจมีขนาดใหญ่หรือเล็กเกินไป ทำให้ต้องเสียเวลาในการออกแบบใหม่ ส่งผลให้นักเรียนได้คะแนนเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4.9 ทักษะการออกแบบวิธีการแก้ปัญหา

ผลการวิเคราะห์การพัฒนาทักษะการออกแบบวิธีการแก้ปัญหา ดังภาพที่ 4.10 พบว่านักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ อยู่ในช่วง 0.33 - 0.75 สามารถแบ่งระดับความก้าวหน้าออกเป็น 2 ระดับ ดังนี้ 1) ความก้าวหน้าที่อยู่ในระดับ High gain มี 1 หัวข้อ คือ หัวข้อแสดงรายละเอียดรูปร่าง ขนาดความกว้าง ความยาว ความสูง ซึ่งมีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ เท่ากับ 0.75 2) ความก้าวหน้าระดับ Medium gain มี 5 หัวข้อ ได้แก่ หัวข้อแสดงหน่วยในการวัดขนาด หัวข้อได้ภาพวงจรไฟฟ้าหุ่นยนต์ที่แสดงจุดเชื่อมต่อเซนเซอร์อินฟราเรดซ้ายและขวากับบอร์ด หัวข้อได้ภาพร่างหุ่นยนต์ 3 มิติ หัวข้อได้ภาพวงจรไฟฟ้าหุ่นยนต์ที่แสดงจุดเชื่อมต่อมอเตอร์ขวากับชุดขับเคลื่อนและหัวข้อได้ภาพวงจรไฟฟ้าหุ่นยนต์ที่แสดงจุดเชื่อมต่อมอเตอร์ซ้ายกับชุดขับเคลื่อน ซึ่งหัวข้อที่มีความก้าวหน้าสูงสุดในระดับนี้ คือ หัวข้อแสดงหน่วยในการวัดขนาดและหัวข้อได้ภาพวงจรไฟฟ้าหุ่นยนต์ที่แสดงจุดเชื่อมต่อเซนเซอร์อินฟราเรดซ้ายและขวากับบอร์ด ทั้งสองหัวข้อมี

ความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ เท่ากับ 0.67 และหัวข้อที่มีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ยต่ำที่สุดในระดับนี้ คือ หัวข้อได้ภาพวงจรไฟฟ้าหุ่นยนต์ที่แสดงจุดเชื่อมต่อมอเตอร์ขา กับชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ และหัวข้อได้ภาพวงจรไฟฟ้าหุ่นยนต์ที่แสดงจุดเชื่อมต่อมอเตอร์ซ้ายกับชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ ทั้งสองหัวข้อมีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ เท่ากับ 0.33 ในหัวข้อได้ภาพวงจรไฟฟ้าหุ่นยนต์ที่แสดงจุดเชื่อมต่อมอเตอร์ขา กับชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ และหัวข้อได้ภาพวงจรไฟฟ้าหุ่นยนต์ที่แสดงจุดเชื่อมต่อมอเตอร์ซ้ายกับชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ มีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ยค่อนข้างต่ำ เนื่องจากในสถานการณ์ที่ 1 นักเรียนแสดงจุดเชื่อมต่อมอเตอร์ขาและมอเตอร์ซ้ายกับชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ได้ไม่ถูกต้อง เช่น เชื่อมต่อขั้วลบของมอเตอร์เข้ากับขั้วบวกของชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ ซึ่งที่ถูกต้อง คือ เชื่อมต่อขั้วลบของมอเตอร์เข้ากับขั้วลบของชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ ส่งผลให้นักเรียนได้คะแนนน้อยในสถานการณ์ที่ 1 เมื่อนักเรียนทำกิจกรรมในสถานการณ์ที่ 2 นักเรียนบางกลุ่มออกแบบให้มอเตอร์หน้าและมอเตอร์หลังหันด้านท้ายเข้าหากัน จึงทำให้เกิดความเข้าใจผิดว่าขั้วไฟฟ้าของมอเตอร์หน้าและมอเตอร์หลังที่อยู่ด้านเดียวกันเป็นขั้วลบหรือขั้วบวกเหมือนกัน ส่งผลให้นักเรียนได้คะแนนเพิ่มขึ้นไม่มากในสถานการณ์ที่ 2 ซึ่งมีความก้าวหน้าอยู่ในระดับ Medium gain

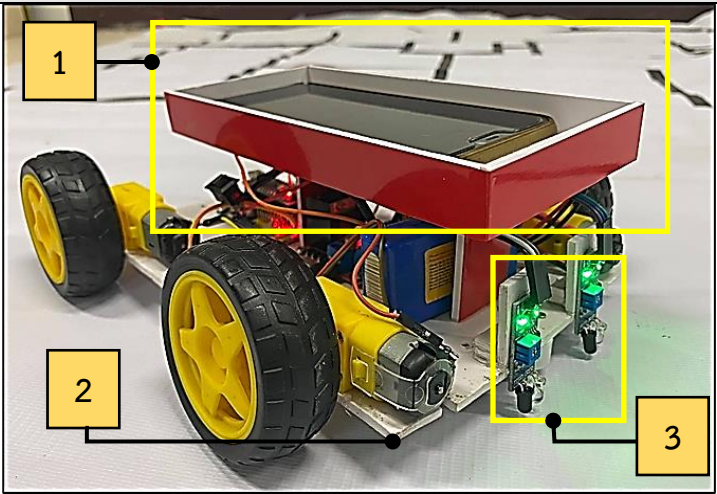


ภาพที่ 4.10 การพัฒนาทักษะการออกแบบวิธีการแก้ปัญหา

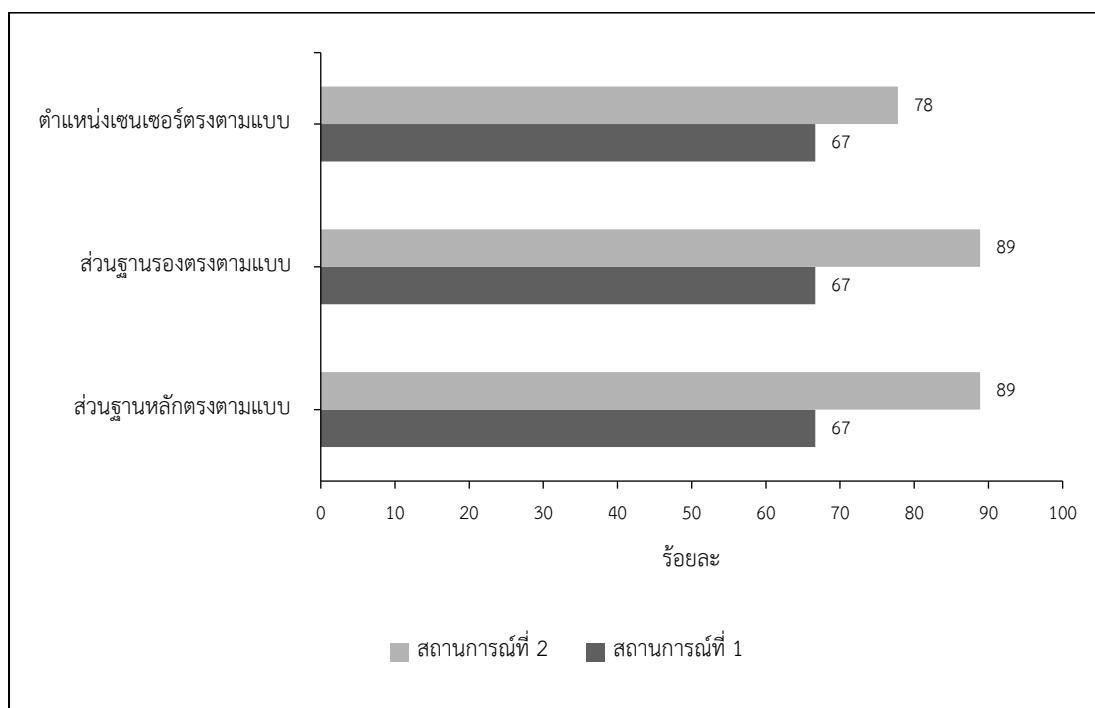
ขั้นที่ 4 วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา เป็นขั้นตอนการสร้างหุ่นยนต์ตามแบบที่วางแผน โดยนักเรียนจะต้องวางแผนการทำงานอย่างเป็นขั้นตอน โดยสร้างส่วนต่าง ๆ ของหุ่นยนต์ตามแผน และแบบที่ออกแบบไว้ เช่น สัดส่วนของฐานหลัก ฐานรอง และตำแหน่งเซนเซอร์อินฟราเรด จากตารางที่ 4.9 นักเรียนประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ ของหุ่นยนต์แตกต่างจากแบบร่างที่ออกแบบไว้ในตารางที่

4.8 เล็กน้อย ดังนี้ 1) ส่วนฐานรองมีการปรับให้ขนานไปกับหุ่นยนต์แทนที่จะวางในแนวขวางตามแบบร่าง 2) ปรับเปลี่ยนได้ฐานของล้อหลังให้ขยายออกไปอีก และ 3) ตำแหน่งด้านหน้าของหุ่นยนต์มีรูปทรงที่แตกต่างออกไป แสดงให้เห็นว่านักเรียนปรับเปลี่ยนหุ่นยนต์แตกต่างจากแบบร่างเพื่อความเหมาะสมกับการใช้งาน

ตารางที่ 4.9 ผลการพัฒนาทักษะการวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา

รายการประเมิน	หลักฐานหรือชิ้นงาน
4. ทักษะการวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา	
4.1 สร้างส่วนฐานหลักมีความกว้างและความยาวตรงตามแบบ	
4.2 สร้างส่วนฐานรองมีความกว้างและความยาวตรงตามแบบ	
4.3 ติดตั้งตำแหน่งของเซนเซอร์อินฟราเรดซ้ายและขวาตรงตามแบบ	

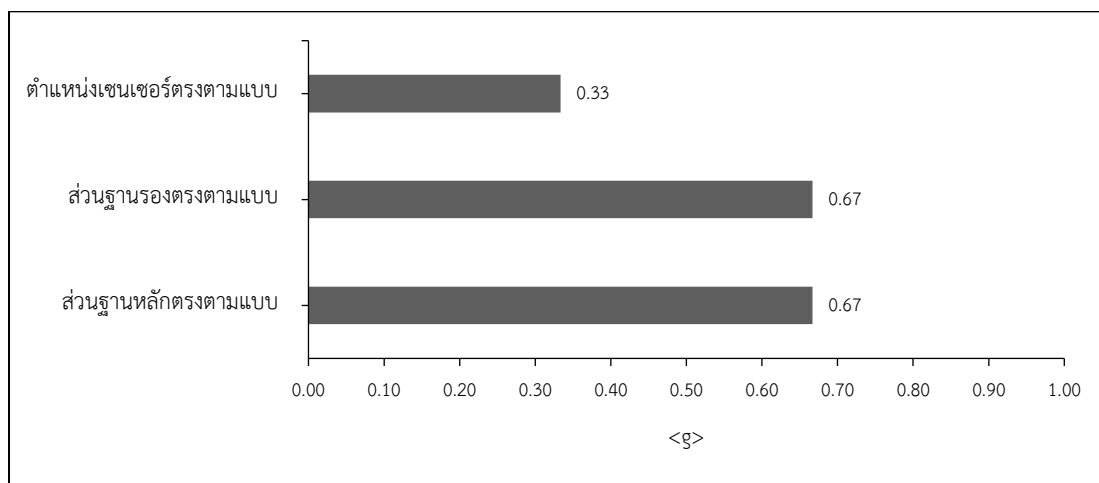
ผลการประเมินหัวข้อในขั้นการวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหานักเรียน จำนวน 3 หัวข้อ ดังภาพที่ 4.11 พบว่า ในสถานการณ์ที่ 1 นักเรียนได้คะแนนร้อยละ 67 ซึ่งทุกหัวข้อได้คะแนนเท่ากัน ได้แก่ หัวข้อส่วนฐานหลักมีความกว้างและความยาวตรงตามแบบ หัวข้อส่วนฐานรองมีความกว้างและความยาวตรงตามแบบและหัวข้อตำแหน่งของเซนเซอร์อินฟราเรดซ้ายและขวาตรงตามแบบ แสดงให้เห็นว่า การออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์โดยไม่ระบุรายละเอียดรูปร่างให้ชัดเจน ในขั้นตอนการออกแบบ ส่งผลให้เกิดปัญหาในขั้นตอนการสร้างหุ่นยนต์ เนื่องจาก รูปร่าง ขนาดและสัดส่วนของฐานหลัก ฐานรองและตำแหน่งของเซนเซอร์อินฟราเรด มีขนาดไม่ตรงกับขนาดของอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น มอเตอร์ บอร์ดขยาย โทรศัพท์มือถือและแบตเตอรี่ เป็นต้น นักเรียนจึงต้องปรับเปลี่ยนโครงสร้างของหุ่นยนต์ให้ตรงกับขนาดของอุปกรณ์ ส่งผลให้หุ่นยนต์ที่ได้ไม่ตรงกับแบบร่าง นักเรียนจึงได้คะแนนน้อย ในสถานการณ์ที่ 1 เมื่อนักเรียนทำกิจกรรมในสถานการณ์ที่ 2 นักเรียนได้เรียนรู้และแก้ไขปัญหา ดังกล่าวโดยการให้ความสำคัญกับการวัดขนาดและสัดส่วนของฐานหลักและฐานรองมาก รวมถึงการวัดตำแหน่งของเซนเซอร์อินฟราเรด ส่งผลให้นักเรียนได้คะแนนเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4.11 ทักษะการวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา

จากภาพที่ 4.12 เป็นผลการวิเคราะห์การพัฒนาทักษะการวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหาพบว่า นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ อยู่ในช่วง 0.33 - 0.67 ซึ่งทุกหัวข้อมีความก้าวหน้าที่อยู่ในระดับ Medium gain หัวข้อที่มีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ยสูงที่สุดในระดับนี้คือ หัวข้อสร้างส่วนฐานหลักมีความกว้างและความยาวตรงตามแบบ และหัวข้อสร้างส่วนฐานรองมีความกว้างและความยาวตรงตามแบบ ทั้งสองหัวข้อมีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ เท่ากับ 0.67 หัวข้อที่มีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ยต่ำที่สุดในระดับนี้ คือ หัวข้อติดตั้งตำแหน่งของเซนเซอร์อินฟราเรดซ้ายและขวาตรงตามแบบ มีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ เท่ากับ 0.33 เนื่องจากในสถานการณ์ที่ 1 นักเรียนปรับเปลี่ยนตำแหน่งของเซนเซอร์อินฟราเรดซ้ายและขวาให้แตกต่างจากแบบที่ร่างเพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานตามสภาพจริง ซึ่งระยะระหว่างเซนเซอร์อินฟราเรดกับพื้นตามแบบที่ร่างไว้อยู่ในตำแหน่งที่ไม่สามารถตรวจจับเส้นสีดำและพื้นสีขาวได้ ส่งผลให้นักเรียนได้คะแนนน้อยในสถานการณ์ที่ 1 เมื่อนักเรียนทำกิจกรรมในสถานการณ์ที่ 2 นักเรียนต้องปรับเปลี่ยนโครงสร้างหุ่นยนต์ใหม่ให้เป็นหุ่นยนต์ขับเคลื่อน 4 ล้อ จึงไม่สามารถใช้ตำแหน่งของเซนเซอร์ที่เคยติดตั้งในสถานการณ์ที่ 1 มาใช้ในสถานการณ์ที่ 2 ได้ นักเรียนบางกลุ่มจึงต้องปรับเปลี่ยนตำแหน่งของเซนเซอร์อินฟราเรดซ้ายและขวาให้แตกต่างจากแบบที่ร่าง เพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งาน แต่เนื่องจากนักเรียนได้เรียนรู้วิธีหาตำแหน่งตำแหน่งของเซนเซอร์อินฟราเรดมาบ้างแล้ว

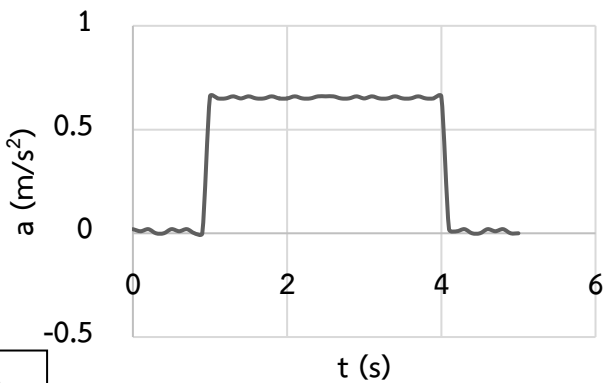
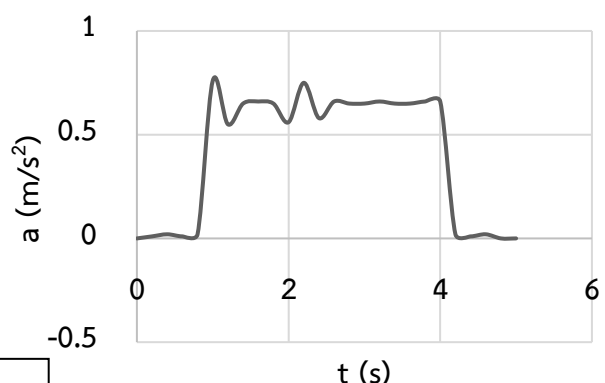
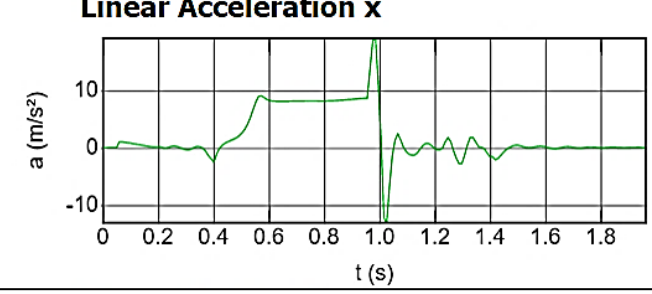
จากสถานการณ์ที่ 1 ส่งผลให้นักเรียนได้คะแนนเพิ่มขึ้นในสถานการณ์ที่ 2 จึงมีความก้าวหน้าอยู่ในระดับ Medium gain

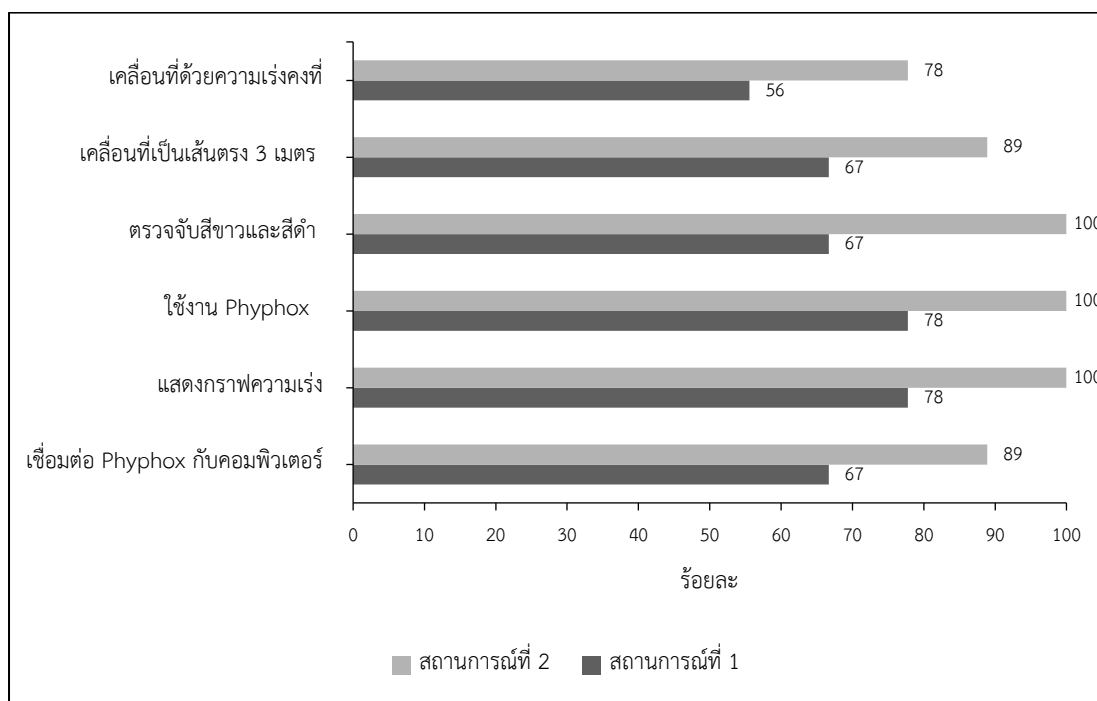


ภาพที่ 4.12 การพัฒนาทักษะการวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา

ขั้นที่ 5 ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหา เป็นขั้นที่ให้นักเรียนได้ทดสอบหุ่นยนต์ว่าสอดคล้องตามเป้าหมายที่กำหนดไว้หรือไม่ โดยแบ่งการทดสอบออกเป็นสองส่วน ได้แก่ ส่วนที่หนึ่งเป็นการทดสอบระบบการทำงานของหุ่นยนต์ โดยหุ่นยนต์ของนักเรียนจะต้องทำตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ในขั้นการระบุปัญหา ส่วนที่สองเป็นการใช้แอปพลิเคชัน Phyphox วัดความเร็วของหุ่นยนต์ เพื่อเก็บข้อมูลและปรับปรุงแก้ไขหุ่นยนต์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จากนั้นส่งออกข้อมูลจากแอปพลิเคชัน Phyphox ไปยังคอมพิวเตอร์ เพื่อประเมินผลการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ซึ่งนักเรียนสามารถทดสอบและประเมินผลการใช้งานหุ่นยนต์ได้หลายครั้งจนกว่าจะหมดเวลา จากตารางที่ 4.10 หัวข้อชิ้นงานหุ่นยนต์ กราฟที่ 1 หุ่นยนต์เคลื่อนที่ความเร็วคงที่ แสดงว่าหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้ราบรื่นโดยไม่ออกนอกเส้นทาง เพราะหากหุ่นยนต์เคลื่อนที่ออกนอกเส้นทาง หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่เลี้ยวกลับเข้ามาในเส้นทางเดิม โดยหุ่นยนต์เคลื่อนที่สายไปมา ส่งผลให้ความเร็วไม่คงที่ ดังกราฟที่ 2 จากตารางที่ 4.10 หัวข้อการใช้แอปพลิเคชัน Phyphox นักเรียนสามารถแสดงผลการเชื่อมต่อแอปพลิเคชัน Phyphox ในโทรศัพท์กับคอมพิวเตอร์ เพื่อศึกษาความเร็วของหุ่นยนต์แบบเรียลไทม์

ตารางที่ 4.10 ผลการพัฒนาทักษะการทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขหุ่นยนต์

รายการประเมิน	หลักฐานหรือชิ้นงาน
5. ทักษะการทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน	
5.1 ชิ้นงานหุ่นยนต์	
5.1.1 ตรวจจับพื้นสีขาวและเส้นสีดำ	 (1)
5.1.2 เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในระยะทาง 3 เมตร	
5.1.3 เคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงที่	
	 (2)
5.2 การใช้แอปพลิเคชัน Phyphox	
5.2.1 เชื่อมต่อแอปพลิเคชัน Phyphox ในโทรศัพท์กับคอมพิวเตอร์	
5.2.2 แสดงกราฟความเร่งกับเวลา	
5.2.3 เปิดใช้งานแอปพลิเคชัน Phyphox	

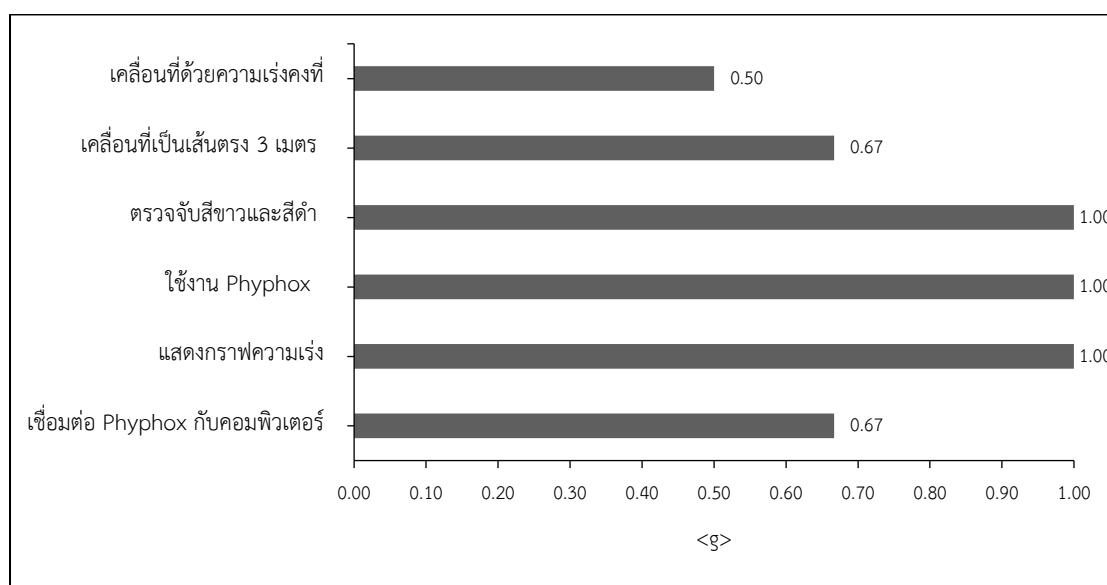


ภาพที่ 4.13 ทักษะการทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหา

จากภาพที่ 4.13 ผลการประเมินหัวข้อในขั้นการทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหานักเรียนจำนวน 6 หัวข้อ พบว่า ในสถานการณ์ที่ 1 นักเรียนได้คะแนนอยู่ในช่วงร้อยละ 56 ถึง ร้อยละ 78 โดยหัวข้อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยความแรงคงที่ได้คะแนนน้อยที่สุด แสดงให้เห็นว่า การออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์โดยไม่ระบุรายละเอียดรูปร่างให้ชัดเจนในขั้นตอนออกแบบวิธีการแก้ปัญหา ส่งผลต่อขั้นตอนการวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหาทำให้ได้หุ่นยนต์ที่ไม่ตรงกับแบบร่าง ดังนั้นผลการทดสอบหุ่นยนต์จึงเคลื่อนที่ด้วยความแรงไม่คงที่ นักเรียนจึงได้คะแนนน้อยในสถานการณ์ที่ 1 เมื่อนักเรียนทำกิจกรรมในสถานการณ์ที่ 2 นักเรียนได้เรียนรู้และแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้น หุ่นยนต์จึงเคลื่อนที่ด้วยความแรงคงที่ ส่งผลให้นักเรียนได้คะแนนเพิ่มขึ้น

ผลการวิเคราะห์การพัฒนาทักษะการทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหา ดังภาพที่ 4.14 พบว่า นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย <g> อยู่ในช่วง 0.50 - 1.00 สามารถแบ่งระดับความก้าวหน้าออกเป็น 2 ระดับ ดังนี้ 1) ความก้าวหน้าที่อยู่ในระดับ High gain มี 3 หัวข้อ ได้แก่ หัวข้อหุ่นยนต์สามารถตรวจจับพื้นสีขาวและเส้นสีดำ หัวข้อแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลา และหัวข้อสามารถเปิดใช้งานแอปพลิเคชัน Phyphox ทุกหัวข้อในระดับนี้ มีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย <g> เท่ากับ 1.00 และ 2) ความก้าวหน้าระดับ Medium gain มี 3 หัวข้อ ได้แก่ หัวข้อหุ่นยนต์เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในระยะทาง 3 เมตร หัวข้อเชื่อมต่อแอปพลิเคชัน Phyphox ในโทรศัพท์กับคอมพิวเตอร์ได้ และหัวข้อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วย

ความแรงคงที่ โดยหัวข้อที่มีความก้าวหน้าสูงที่สุดในระดับนี้ คือ หัวข้อหุ่นยนต์เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในระยะทาง 3 เมตร และหัวข้อเชื่อมต่อแอปพลิเคชัน Phyphox ในโทรศัพท์กับคอมพิวเตอร์ได้ ทั้งสองหัวข้อมีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ เท่ากับ 0.67 และหัวข้อที่มีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย ต่ำที่สุดในระดับนี้ คือ หัวข้อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยความแรงคงที่ มีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ เท่ากับ 0.50 เนื่องจากในสถานการณ์ที่ 1 การที่หุ่นยนต์ของนักเรียนจะเคลื่อนที่ด้วยความแรงคงที่ขึ้นอยู่กับโครงสร้างหุ่นยนต์ที่สมดุล และการติดตั้งตำแหน่งเซนเซอร์อินฟราเรดขวาและซ้าย ซึ่งต้องอาศัยการออกแบบที่ต้องคำนึงถึงความสมดุลโครงสร้างหุ่นยนต์และการสร้างหุ่นยนต์ให้ได้ตรงตามแบบ ซึ่งนักเรียนไม่สามารถทำได้ ส่งผลให้นักเรียนได้คะแนนน้อยในสถานการณ์ที่ 1 เมื่อนักเรียนทำกิจกรรมในสถานการณ์ที่ 2 นักเรียนออกแบบโดยคำนึงถึงความสมดุลโครงสร้างหุ่นยนต์และการสร้างหุ่นยนต์ให้ได้ตรงตามแบบมากขึ้น แต่เนื่องจาก หุ่นยนต์ขับเคลื่อน 4 ล้อ มีโครงสร้างที่ซับซ้อนมากกว่าหุ่นยนต์ขับเคลื่อน 2 ล้อ ส่งผลให้นักเรียนได้คะแนนเพิ่มขึ้นไม่มากในสถานการณ์ที่ 1 จึงมีความก้าวหน้าอยู่ในระดับ Medium gain

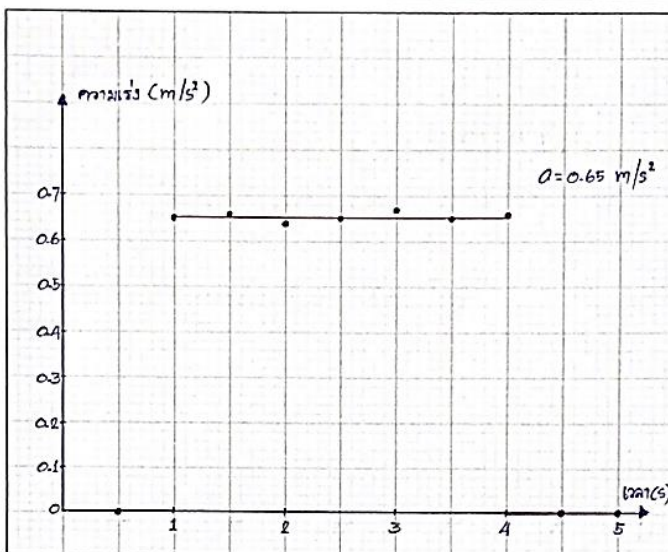


ภาพที่ 4.14 การพัฒนาทักษะการทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหา

ขั้นที่ 6 นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน เป็นขั้นตอนการนำเสนอผลงานหรือชิ้นงานในชั้นเรียน โดยจัดเป็นกิจกรรมการแข่งขันหุ่นยนต์ ก่อนการแข่งขันครูเปิดโอกาสให้แลกเปลี่ยนเรียนรู้ให้แต่ละกลุ่มนำเสนอผลงานหน้าชั้นเรียน โดยให้แต่ละกลุ่มนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหา กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลา อธิบายให้เหตุผลประกอบ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ในแนวตรง และเตรียมความพร้อมในการตอบคำถามเพื่อน ๆ จากนั้นครูบอกกติกาใน

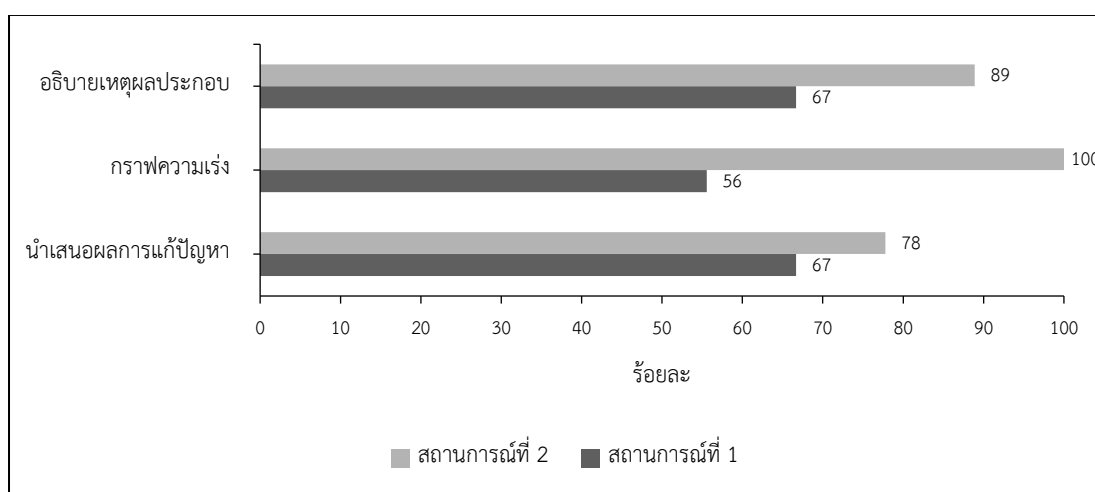
การแข่งขันว่ากลุ่มที่ถึงเส้นชัยเป็นลำดับแรกจะเป็นผู้ชนะและได้รับรางวัล เมื่อแข่งขันเสร็จครูและนักเรียนร่วมกันสรุปและอภิปรายผลการแข่งขัน

ตารางที่ 4.11 ผลการพัฒนาทักษะการนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน

รายการประเมิน	หลักฐานหรือชิ้นงาน																						
6. ทักษะการนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน																							
6.1 นำเสนอวิธีการ แก้ปัญหา ผลการ แก้ปัญหา	5. วิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหา ประเด็นปัญหา: ใต้หลังคาบ้านมีปลวกกัดกินไม้โครงสร้าง ไม่ทนทาน โดยทั่วไป การซ่อมแซมจะกินค่าใช้จ่ายได้แก่การกำจัดปลวก 100 บาท การทาสีไม้ 100 บาท และค่าวัสดุอื่น ๆ ซึ่งค่าใช้จ่ายทั้งหมดจะต่ำกว่าการซ่อมแซมไม้โครงสร้างหรือไม่สามารถบอกได้ ผู้เรียน ได้มี 10 วิธีการแก้ปัญหาของนักเรียน: ผู้เรียนร่วมกันวิเคราะห์ปัญหา (สาเหตุที่ เกิดจากปลวกกัดกินไม้โครงสร้าง) และหาวิธีแก้ไข (ทาสีไม้โครงสร้างเพื่อป้องกัน ปลวกกัดกินไม้โครงสร้าง) จึงแก้ปัญหาได้โดยทาสีไม้โครงสร้าง และใช้วิธี อื่น ๆ เช่น การใช้ยาไล่ปลวก หรือการใช้สารเคมีอื่น ๆ																						
6.2 นำเสนอกราฟ ความเร่งกับเวลา	1. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลา (แสดงข้อมูลเฉพาะส่วนความเร่งคงที่) <table><tr><th>ความเร่ง (m/s²)</th><td>0</td><td>0.65</td><td>0.66</td><td>0.64</td><td>0.65</td><td>0.67</td><td>0.65</td><td>0.66</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><th>เวลา (s)</th><td>0.5</td><td>1.0</td><td>1.5</td><td>2.0</td><td>2.5</td><td>3.0</td><td>3.5</td><td>4.0</td><td>4.5</td><td>5.0</td></tr></table>	ความเร่ง (m/s ²)	0	0.65	0.66	0.64	0.65	0.67	0.65	0.66	0	0	เวลา (s)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
ความเร่ง (m/s ²)	0	0.65	0.66	0.64	0.65	0.67	0.65	0.66	0	0													
เวลา (s)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0													
6.3 อธิบายให้เหตุผล ประกอบ เรื่อง แรงและ การเคลื่อนที่ในแนวตรง	 2. ผลการทดสอบและประเมินผลหุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามเส้นอัตโนมัติ จากการทดลองพบว่า หุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ (constant speed) เพราะได้ค่าความเร่ง (acceleration) เป็นศูนย์ (0) ตลอดทั้งการทดลอง 1 วินาที ความเร็วคงที่ 1 เมตร/วินาที เป็นช่วงที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ด้วยค่าความเร่งคงที่ 0.65 เมตร/วินาที																						

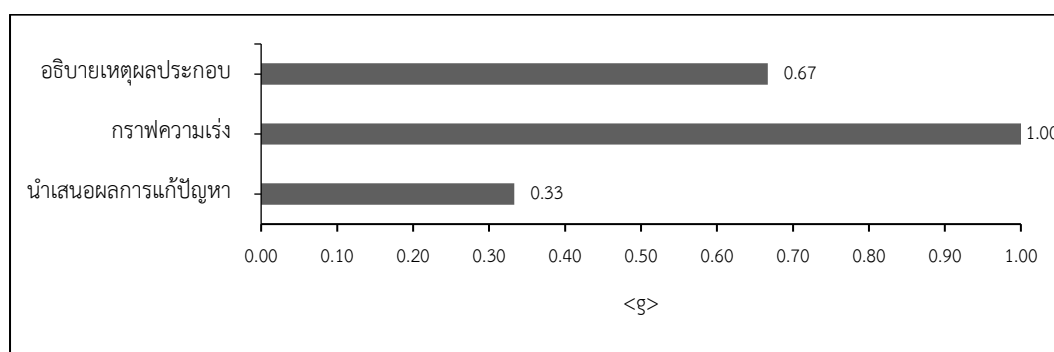
จากตารางที่ 4.11 ประเด็นปัญหา: เมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ออกนอกเส้นทางไปทางขวา โดยทั่วไปแล้วหุ่นยนต์จะเลี้ยวซ้ายเพื่อกลับเข้าสู่เส้นทางเดิมแต่หุ่นยนต์กลับเลี้ยวขวา ส่งผลให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ออกนอกเส้นทางจนไม่สามารถกลับเข้าสู่เส้นทางเดิมได้ วิธีการแก้ปัญหาของนักเรียน: นักเรียนร่วมกันวิเคราะห์ปัญหาแล้วพบว่า เป็นเพราะเซนเซอร์อินฟราเรดซ้ายไม่ทำงาน หุ่นยนต์จึงไม่สามารถเลี้ยวซ้ายเพื่อกลับเข้าสู่เส้นทางหลัก จึงแก้ปัญหาโดยการปรับค่าสัญญาณของเซนเซอร์อินฟราเรดซ้ายให้สามารถทำงานได้ แต่ผลปรากฏว่าหุ่นยนต์ยังคงเลี้ยวขวาเหมือนเดิม วิธีการแก้ปัญหาที่ได้ผล: จากสถานการณ์ที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ออกนอกเส้นทางไปทางขวา แล้วหุ่นยนต์เลี้ยวขวาแทนที่จะเลี้ยวซ้าย เกิดจากเซนเซอร์อินฟราเรดซ้ายทำงานได้ไม่ตรงกับคำสั่งที่เขียนโปรแกรมไว้ ดังนั้นวิธีการแก้ปัญหาที่ได้ผล คือ ตรวจสอบคำสั่งที่เขียนโปรแกรมไว้ว่าถูกต้องหรือไม่ ตรวจสอบการเชื่อมต่อเซนเซอร์อินฟราเรดซ้ายว่าตรงจุดหรือไม่ จากนั้นทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ผลปรากฏว่าหุ่นยนต์สามารถเลี้ยวซ้ายเพื่อกลับเข้าสู่เส้นทางหลักได้

นักเรียนสามารถนำเสนอข้อมูลที่ได้จากแอปพลิเคชัน Phyphox โดยนำค่าความเร่งและเวลาที่ได้มาเขียนลงในตาราง แล้วนำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลา จากนั้นอธิบายว่า จากกราฟช่วงเวลา 0 ถึง 1 วินาที หุ่นยนต์ยังไม่เคลื่อนที่เพราะตั้งค่าน่วงเวลา (delay) 1 วินาที จากนั้นช่วงเวลา 1 วินาที ถึง 4 วินาที เป็นช่วงที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ซึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงที่ 0.65 เมตรต่อวินาที² แสดงว่าหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้ราบรื่น จากนั้นช่วงเวลา 4 วินาที ถึง 5 วินาที หุ่นยนต์หยุด แสดงให้เห็นว่านักเรียนสามารถเขียนกราฟความเร่ง พร้อมทั้งอธิบายเหตุผลและหลักการได้



ภาพที่ 4.15 ทักษะการนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน

จากภาพที่ 4.15 ผลการประเมินหัวข้อในขั้นการนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงานของนักเรียนจำนวน 3 หัวข้อ พบว่า ในสถานการณ์ที่ 1 นักเรียนได้คะแนนอยู่ในช่วงร้อยละ 56 ถึง ร้อยละ 67 โดยหัวขื่อนำเสนอกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลาได้คะแนนน้อยที่สุดในขั้นนี้ แสดงให้เห็นว่ายังมีนักเรียนบางกลุ่มนำเสนอกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลาไม่ถูกต้อง เนื่องจากนักเรียนเลือกข้อมูลจากแอปพลิเคชันมาเขียนกราฟไม่เหมาะสม ตัวอย่าง เช่น หุ่นยนต์เคลื่อนที่อยู่ในช่วงวินาทีที่ 2 ถึงวินาทีที่ 4 นักเรียนต้องเลือกข้อมูลให้ครอบคลุมช่วงเวลาที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ แต่นักเรียนบางกลุ่มเลือกข้อมูลที่อยู่ในช่วงวินาทีที่ 2 ถึงวินาทีที่ 3 ซึ่งขาดข้อมูลในช่วงวินาทีที่ 3 ถึงวินาทีที่ 4 เป็นต้น ส่งผลให้นักเรียนได้คะแนนน้อยในสถานการณ์ที่ 1 เมื่อนักเรียนทำกิจกรรมในสถานการณ์ที่ 2 นักเรียนสามารถเลือกข้อมูลได้อย่างเหมาะสม ดังตารางที่ 4.11 ส่งผลให้นักเรียนได้คะแนนเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4.16 การพัฒนาทักษะการนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน

จากภาพที่ 4.16 เป็นผลการวิเคราะห์การพัฒนาทักษะการนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน พบว่า นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ อยู่ในช่วง 0.33 - 1.00 สามารถแบ่งระดับความก้าวหน้าออกเป็น 2 ระดับ ดังนี้ 1) ความก้าวหน้าที่อยู่ในระดับ High gain มี 1 หัวข้อ คือ หัวขื่อนำเสนอกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลา ซึ่งมีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ เท่ากับ 1.00 2) ความก้าวหน้าระดับ Medium gain มี 2 หัวข้อ ได้แก่ หัวข้อ อธิบายให้เหตุผลประกอบ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ในแนวตรง และหัวขื่อนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหา หัวข้อที่มีความก้าวหน้าสูงที่สุดในระดับนี้ คือ หัวข้ออธิบายให้เหตุผลประกอบ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ในแนวตรง มีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ เท่ากับ 0.67 หัวข้อที่มีความก้าวหน้าค่อนข้างต่ำในระดับนี้ คือ หัวขื่อนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหา มีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ เท่ากับ 0.33 เนื่องจากในสถานการณ์ที่ 1 นักเรียนไม่สามารถนำเสนอวิธีแก้ปัญหาที่ได้ผล ส่งผลให้นักเรียนได้คะแนนน้อยในสถานการณ์ที่ 1 เมื่อนักเรียนทำกิจกรรมในสถานการณ์ที่ 2 นักเรียนสามารถนำเสนอวิธีแก้ปัญหาที่ได้ผล ได้ดียิ่งขึ้นกว่าสถานการณ์ที่ 1

เนื่องจากนักเรียนสามารถนำวิธีแก้ปัญหาจากสถานการณ์ที่ 1 มาปรับใช้ในสถานการณ์ที่ 2 เช่น ปัญหาที่เกิดจากเซนเซอร์อินฟราเรด เพราะทั้งสองสถานการณ์มีเซนเซอร์อินฟราเรดสองตัวเท่ากัน ถึงแม้ว่าวงจรอาจจะแตกต่างกันบ้างแต่วิธีตรวจสอบปัญหาและแก้ไขปัญหามีเหมือนกัน แต่ยังมีปัญหาบางประเด็นที่เป็นปัญหาใหม่ในสถานการณ์ที่ 2 ที่นักเรียนบางกลุ่มไม่สามารถนำเสนอวิธีแก้ปัญหาที่ได้ผลตัวอย่าง เช่น

ประเด็นปัญหา: เมื่อสั่งให้หุ่นยนต์ขับเคลื่อน 4 ล้อ เคลื่อนที่ไปข้างหน้า ผลปรากฏว่าหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไร้ทิศทาง เนื่องจากล้อหน้าหมุนไปข้างหน้าส่วนล้อหลังหมุนไปข้างหลัง ซึ่งโดยทั่วไปล้อทั้งสองต้องหมุนไปในทิศทางเดียวกัน

วิธีการแก้ปัญหาของนักเรียน: นักเรียนร่วมกันวิเคราะห์ปัญหาแล้ว พบว่า เป็นเพราะเขียนโปรแกรมตั้งค่า PWM เป็น -230 ซึ่งทำให้ล้อหลังหมุนไปข้างหลังจึงเปลี่ยนค่าเป็น 230 ผลปรากฏว่าล้อหน้าหมุนไปข้างหน้าส่วนล้อหลังหมุนไปข้างหน้า แสดงว่านักเรียนแก้ปัญหาไม่ได้ผล

วิธีการแก้ปัญหาที่ได้ผล: นักเรียนควรเริ่มจากตรวจสอบการต่อขั้วไฟฟ้าของมอเตอร์ล้อหน้าและมอเตอร์ล้อหลังว่าตรงกันหรือไม่ โดยทั่วไปแล้วขั้วบวกของล้อหน้าจะต่อเข้ากับขั้วบวกของล้อหลังและขั้วลบของล้อหน้าจะต่อเข้ากับขั้วลบของล้อหลัง แต่เนื่องจากนักเรียนออกแบบให้มอเตอร์หันด้านท้ายเข้าหากัน จึงเกิดความเข้าใจผิดว่าขั้วไฟฟ้าที่อยู่ข้างเดียวกันคือขั้วไฟฟ้าเดียวกัน ส่งผลให้นักเรียนได้คะแนนเพิ่มขึ้นไม่มากในสถานการณ์ที่ 2 ซึ่งมีความก้าวหน้าอยู่ในระดับ Medium gain

แสดงให้เห็นว่า การจัดการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ สามารถพัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียนให้เพิ่มขึ้น เนื่องจากชั้นระบุปัญหานักเรียนได้เรียนรู้สถานการณ์จาก คลิปวิดีโอ ซึ่งเป็นภาพเคลื่อนไหว และเป็นสถานการณ์ที่มีการนำหุ่นยนต์ไปใช้จริงในระบบขนส่งสินค้า และที่สำคัญนักเรียนได้เรียนรู้สถานการณ์จากหุ่นยนต์ตัวอย่างที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น โดยการสังเกต สัมผัส ตั้งคำถามและลงมือทดสอบ จึงช่วยให้เข้าใจสถานการณ์ได้ดียิ่งขึ้น ขั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา นักเรียนได้ร่วมกันสังเกตการเชื่อมต่อวงจรเซนเซอร์อินฟราเรดและการควบคุมมอเตอร์จากหุ่นยนต์ตัวอย่าง จากนั้นทดสอบการเขียนโปรแกรมแล้วนำองค์ความรู้จากการลงมือปฏิบัติมาออกแบบวงจรของตัวเองให้สอดคล้องกับเงื่อนไขที่กำหนด ขั้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหา นักเรียนได้ใช้หุ่นยนต์ตัวอย่างเป็นต้นแบบในการออกแบบวงจรไฟฟ้าและโครงสร้างหุ่นยนต์ โดยการสังเกตตำแหน่งของการติดตั้งอุปกรณ์ จากนั้นวัดขนาดหุ่นยนต์ตัวอย่าง แล้วบันทึกรายละเอียดรูปร่าง ขนาดความกว้าง ความยาว ความสูง สัดส่วนตามหลักคณิตศาสตร์ นักเรียนได้ร่วมกันวิเคราะห์และพิจารณาถึงจุดเด่น จุดด้อยของหุ่นยนต์ตัวอย่าง แล้วนำข้อมูลที่ได้มาประยุกต์ใช้กับหุ่นยนต์ของตัวเอง ขั้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา นักเรียนได้วางแผนและร่วมมือกันทำงาน โดยแบ่งหน้าที่และบทบาทในการรับผิดชอบตามความสามารถของแต่ละคนในกลุ่ม อีกทั้งยังมีพี่เลี้ยงคอยให้คำแนะนำ ชี้แนะและอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ แก่นักเรียน

แต่ละกลุ่มอย่างทั่วถึง (สุวดี อุปปีนใจ และคณะ, 2562) ขึ้นทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหา นักเรียนได้ใช้แอปพลิเคชัน Phypbox ในการวัดค่าความเร่ง ซึ่งสามารถใช้งานง่าย มีความแม่นยำ และแสดงผลออกมาเป็นกราฟความเร่งแบบเรียลไทม์ ซึ่งช่วยดึงดูดความสนใจและตอบสนองความต้องการอย่างทันที่ของนักเรียน (Staacks et al., 2018) และช่วยให้นักเรียนพัฒนาหุ่นยนต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ชื่นนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ได้เปิดโอกาสให้นักเรียนนำเสนอแนวคิดในการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ โดยการจัดกิจกรรมแข่งขันหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ ซึ่งเป็นกิจกรรมที่แปลกใหม่ ท้าทายความสามารถ กระตุ้นให้นักเรียนมีความสนใจและต้องการสำรวจหาแนวคิดเพื่อให้ได้คำอธิบายที่ถูกต้อง (Buachoom, Wuttisela and Wutti-prom, 2021) การแก้ปัญหาหรือการสร้างสรรค์ชิ้นงานเกิดจากกระบวนการที่ต้องทำซ้ำและต่อเนื่องจนกว่าจะสามารถแก้ปัญหาหรือสร้างสรรค์ชิ้นงานนั้น ๆ ได้

4.4 ผลการพัฒนาความเข้าใจแนวคิด เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่

ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อศึกษาความแตกต่างระหว่างคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียน รวมถึงความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ จากแบบประเมินแนวคิด FMCE 24 ข้อ คิดเป็น 24 คะแนน โดยวิเคราะห์ทั้งหมด 4 กรณี คือ 1) วิเคราะห์ความก้าวหน้าทางการเรียนรายชั้นเรียน 2) วิเคราะห์ความก้าวหน้าทางการเรียนรายบุคคล 3) วิเคราะห์ความก้าวหน้าทางการเรียนรายแนวคิดรวบยอด และ 4) วิเคราะห์ความก้าวหน้าทางการเรียนรายข้อ ดังนี้

4.4.1 ความก้าวหน้าทางการเรียนรายชั้นเรียน วิเคราะห์จากคะแนนของทั้งชั้นก่อนเรียนและหลังเรียนเพื่อดูพัฒนาการของการจัดการเรียนการสอนโดยภาพรวม แสดงดังตารางที่ 4.12

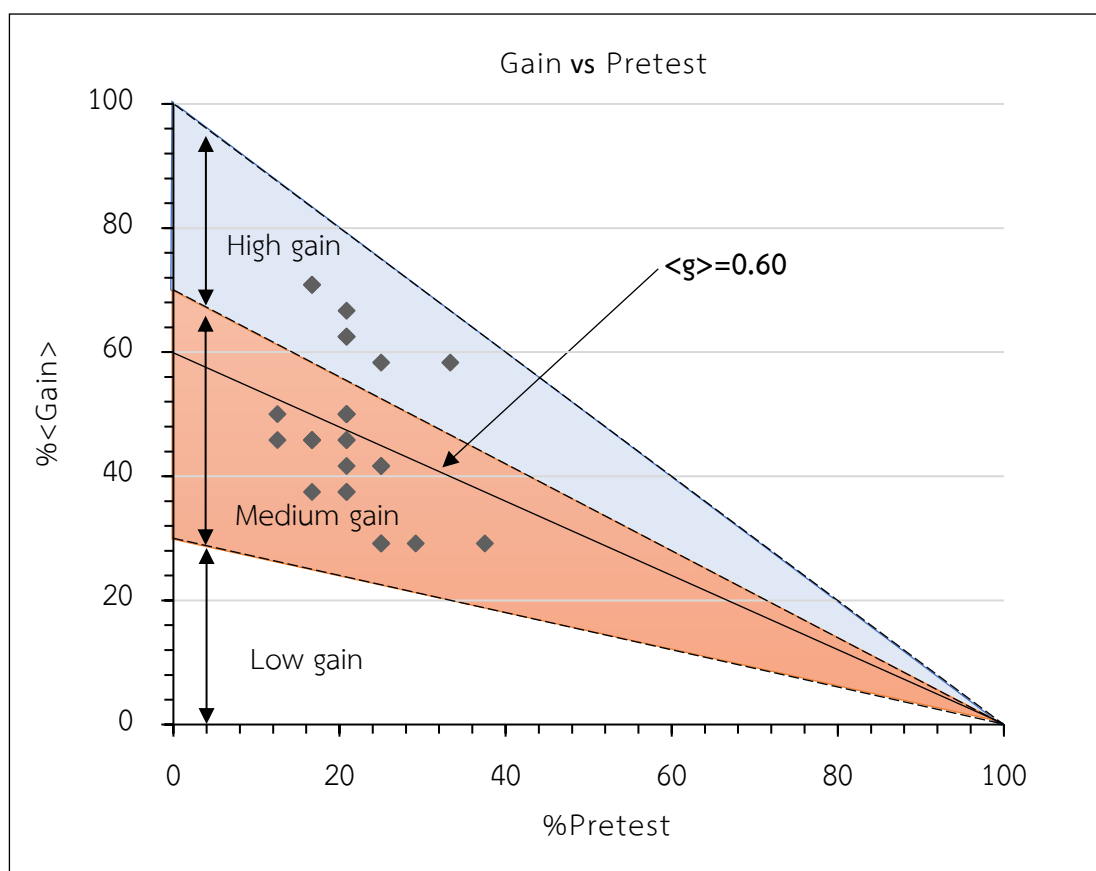
ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ย (ร้อยละ) ของนักเรียนที่ตอบถูกก่อนและหลังเรียน ค่าที่ และความก้าวหน้าทางการเรียนรายชั้นเรียน

ค่าสถิติ	การทดสอบ		t	%Actual gain	%Possible gain	Class normalized gain $\langle g \rangle$
	Pretest	Posttest				
ค่าเฉลี่ย (%)	5.15 (21.45)	16.52 (68.83)	20.03*	47.38	78.55	0.60 (medium gain)
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.35	2.79				

* $t_{.05} = 2.06$, $df = 26$

จากตารางที่ 4.12 คะแนนของนักเรียนจำนวน 27 คน ที่ได้ทำแบบทดสอบวัดความเข้าใจในแนวคิดจำนวน 24 ข้อ ซึ่งคะแนนที่นำมาวิเคราะห์ผลนั้นเป็นคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน ผลการวิเคราะห์ปรากฏว่าคะแนนหลังเรียนเป็น 16.52 คะแนนก่อนเรียนเป็น 5.15 ซึ่งคะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนและผลการวิเคราะห์ค่า t - test dependent พบว่ามีค่าเท่ากับ 20.03 ซึ่งมากกว่าค่า t วิกฤติ ที่มีค่าเท่ากับ 2.06 จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติสรุปได้ว่า การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ ส่งผลให้คะแนนหลังเรียนสูงกว่าคะแนนก่อนเรียนซึ่งแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีความรู้ความเข้าใจในแนวคิด เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้น ความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ ของชั้นเรียนมีค่าเท่ากับ 0.60 หมายความว่า นักเรียนทั้งชั้นมีความก้าวหน้าของการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นจริงคิดเป็นร้อยละ 60 แสดงให้เห็นว่าก่อนการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ นักเรียนทั้งชั้นเรียนมีความเข้าใจในแนวคิดน้อย เมื่อนักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา นักเรียนมีความรู้และความเข้าใจในแนวคิดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้นักเรียนสามารถทำคะแนนได้เพิ่มขึ้นในการทำแบบทดสอบหลังเรียน จึงมีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับ Medium gain

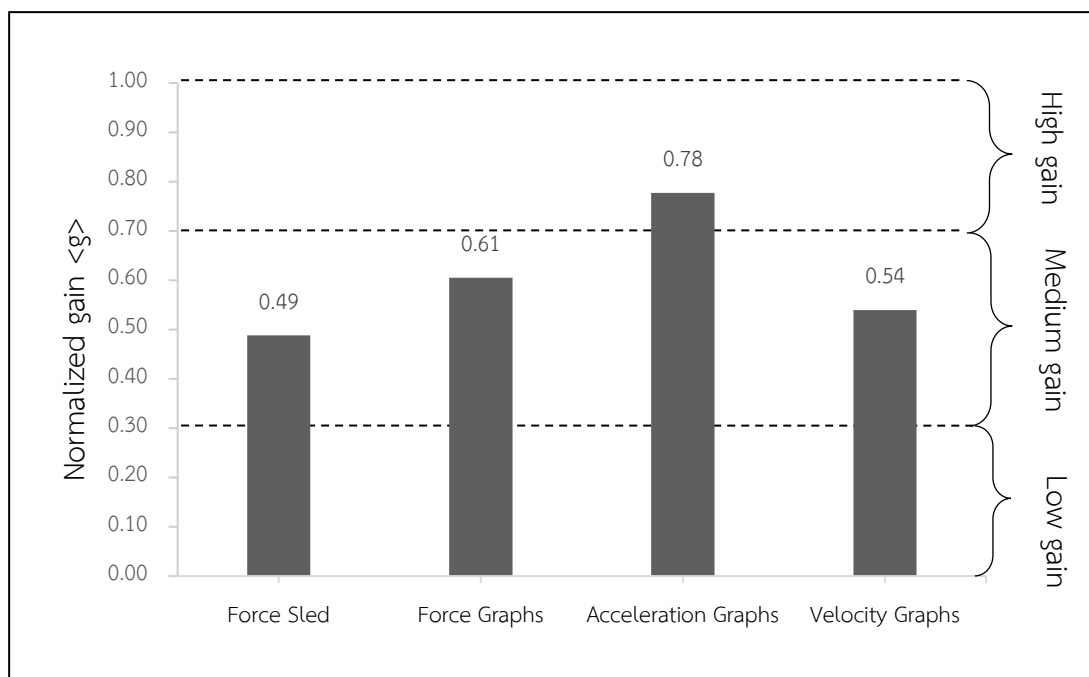
4.4.2 ความก้าวหน้าทางการเรียนรายบุคคล วิเคราะห์จากคะแนนที่ได้จากการทำแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียน จำนวน 27 คน โดยใช้วิธีการหาค่าความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ รายบุคคล เพื่อดูพัฒนาการของนักเรียนรายบุคคล จากภาพที่ 4.17 เป็นภาพของกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %pretest กับ %<Gain> ของนักเรียน โดยแกน X คือค่าร้อยละของคะแนนก่อนเรียน (%Pretest) และแกน Y คือร้อยละผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นจริง Actual gain (%<gain>) โดยค่า Normalized gain ของนักเรียนจะพิจารณาจากอัตราส่วนของผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นจริง %<Gain> เทียบกับผลการเรียนรู้ที่มีโอกาสเพิ่มขึ้นได้ (100% - %Pretest) สำหรับเส้นกราฟที่เป็นเส้นประ คือ กราฟที่แสดงการแบ่งช่วงของระดับค่า Normalized gain ออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับ High gain, Medium gain และ Low gain ส่วนกราฟที่เป็นเส้นทึบที่มีลูกศรกำกับ คือ เส้นกราฟที่แสดงค่าเฉลี่ย Normalized gain ของชั้นเรียน สำหรับผลการวิเคราะห์ข้อมูลในครั้งนี้พบว่า นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ 2 ระดับ คือ 1) ระดับ High gain (แถบสีฟ้า) นักเรียนมีความก้าวหน้าอยู่ในระดับนี้จำนวน 7 คน คิดเป็นร้อยละ 25.9 และ 2) ระดับ Medium gain (แถบสีส้ม) จำนวน 20 คน คิดเป็นร้อยละ 74.1 จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่านักเรียนส่วนมากมีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับ Medium gain



ภาพที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง %pretest กับ %<Gain> ของนักเรียนที่ได้รับ
การจัดการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ

4.4.3 วิเคราะห์ความก้าวหน้าทางการเรียนรายแนวคิดรวบยอด จากจำนวนนักเรียนที่ตอบถูกเพิ่มขึ้นของแต่ละแนวคิดรวบยอด ในการวิเคราะห์จะนำข้อมูลที่ได้จากผลของการวิเคราะห์ข้อสอบรายข้อมาจัดกลุ่มแนวคิดรวบยอดเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ 1) Force Sled 2) Force Graphs 3) Acceleration Graphs และ 4) Velocity Graphs จากภาพที่ 4.18 เป็นผลการวิเคราะห์ความก้าวหน้าของแต่ละแนวคิดรวบยอด พบว่า นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ อยู่ในช่วง 0.49 – 0.78 สามารถแบ่งระดับความก้าวหน้าออกเป็น 2 ระดับ ดังนี้ 1) ความก้าวหน้าที่อยู่ในระดับ High gain มี 1 แนวคิด คือ Acceleration Graphs มีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ เท่ากับ 0.78 เนื่องจากหัวข้อดังกล่าวนักเรียนใช้แอปพลิเคชัน Phyphox ซึ่งใช้งานง่าย แม่นยำ และสามารถแสดงผลกราฟความเร่งแบบเรียลไทม์ จึงช่วยตอบสนองความต้องการของนักเรียนได้อย่างทันท่วงที (Mazzolini, 2015) นักเรียนสามารถนำข้อมูลจากแอปพลิเคชัน Phyphox มาเขียนกราฟความเร่งกับเวลา ส่งผลให้นักเรียนมีความเข้าใจแนวคิดกราฟความเร่งกับเวลาเพิ่มขึ้น และ 2) ความก้าวหน้าระดับ Medium gain มี 3 แนวคิด ได้แก่ Force Sled, Force Graphs และ Velocity Graphs แนวคิดที่มี

ความก้าวหน้าสูงที่สุดในระดับนี้ คือ Force Graphs มีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ เท่ากับ 0.61



ภาพที่ 4.18 ความก้าวหน้าของแต่ละแนวคิดรวบยอด

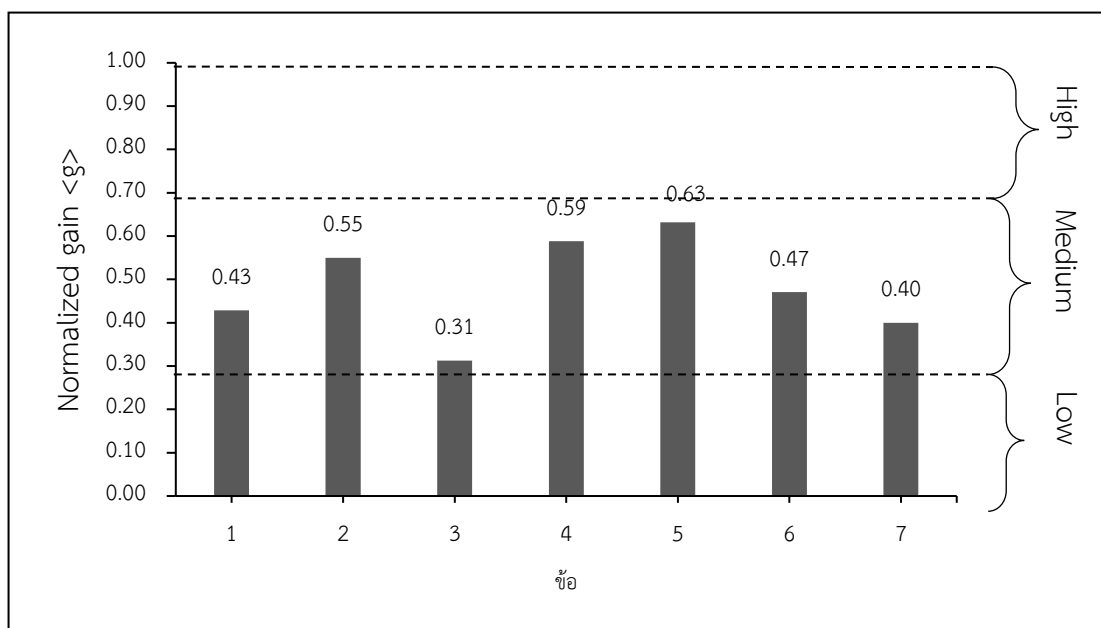
4.4.4 ความก้าวหน้าทางการเรียนรายข้อ วิเคราะห์จากจำนวนนักเรียนที่ตอบถูกเพิ่มขึ้นของข้อสอบจำนวน 24 ข้อ ใน 4 กลุ่มคำถาม ได้แก่ 1) Force Sled ข้อที่ 1-7 2) Force Graphs ข้อที่ 8-15 3) Acceleration Graphs ข้อที่ 16-20 และ 4) Velocity Graphs ข้อที่ 21-24 ซึ่งได้ข้อมูลจากการทำแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียน โดยแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

4.4.4.1 กลุ่มคำถาม Force Sled ข้อที่ 1-7 เป็นคำถามเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของเลื่อน (sled) ซึ่งเคลื่อนที่ในทิศทางเดียว (ซ้ายหรือขวา) โดยมีการเพิ่มหรือลดความเร็ว เพื่อให้หาแรงที่กระทำต่อเลื่อนเพียงแรงเดียว จากตารางที่ 4.13 ความเข้าใจของนักเรียนที่พบคือ ก่อนเรียนนักเรียนส่วนมากมีความเข้าใจแนวคิดที่ผิด คือ แรงที่กระทำต่อวัตถุแปรผันตรงกับความเร็ว อยู่ในช่วงร้อยละ 48 ถึง ร้อยละ 78 มีเพียงข้อ 3 ที่นักเรียนส่วนมากมีความเข้าใจแนวคิดที่ถูกต้อง หลังเรียนนักเรียนส่วนมากมีความเข้าใจแนวคิดที่ถูกต้อง คือ แรงที่กระทำต่อวัตถุแปรผันตรงกับความเร่งของวัตถุ อยู่ในช่วงร้อยละ 56 ถึง ร้อยละ 74 แสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ ส่งผลให้นักเรียนมีความเข้าใจแนวคิดที่ถูกต้องได้เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.13 ความเข้าใจแนวคิดของผู้เรียนก่อนเรียนและหลังเรียนข้อที่ 1-7

ข้อที่	ความเข้าใจที่ผิด	ความเข้าใจที่ถูกต้อง	คำตอบที่นักเรียนตอบมากที่สุด	
	แรงแปรผันตรงกับความเร็ว	แรงแปรผันตรงกับความเร่ง	ก่อนเรียน	หลังเรียน
1	a	b	a (78%)	b (56%)
2	b	d	b (74%)	d (67%)
3	c, g	f	f (41%)	f (59%)
4	g	f	g (63%)	f (74%)
5	b	d	b (70%)	d (74%)
6	e, c	b	c (48%)	b (67%)
7	e	b	e (56%)	b (67%)

ผลการวิเคราะห์ความก้าวหน้ารายข้อในกลุ่มคำถาม Force Sled จากภาพที่ 4.19 พบว่า นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย <g> อยู่ในช่วง 0.31 - 0.63 อยู่ในระดับ Medium gain ทุกข้อ ข้อที่มีความก้าวหน้าสูงที่สุด คือ ข้อ 5 มีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย <g> เท่ากับ 0.63 แสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ สามารถพัฒนาความเข้าใจแนวคิดที่ถูกต้องกว่าแรงที่กระทำต่อวัตถุแปรผันตรงกับความเร่งได้มากขึ้น เนื่องจากได้เรียนรู้แนวคิดจากการศึกษาการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ต้นแบบและหุ่นยนต์ที่นักเรียนสร้างขึ้นซึ่งเป็นปรากฏการณ์จริง ส่งผลให้นักเรียนเข้าใจแนวคิดที่ถูกต้องเพิ่มขึ้น แต่ยังมีนักเรียนที่เข้าใจแนวคิดที่ผิด เนื่องจากนักเรียนเข้าใจว่าทิศทางของแรงกับทิศทางการเคลื่อนที่มีทิศทางเดียวกันตลอด เห็นได้จากการตอบคำถามข้อ 3 ของนักเรียน ส่งผลให้ข้อนี้มีความก้าวหน้าทางการเรียนค่อนข้างน้อย



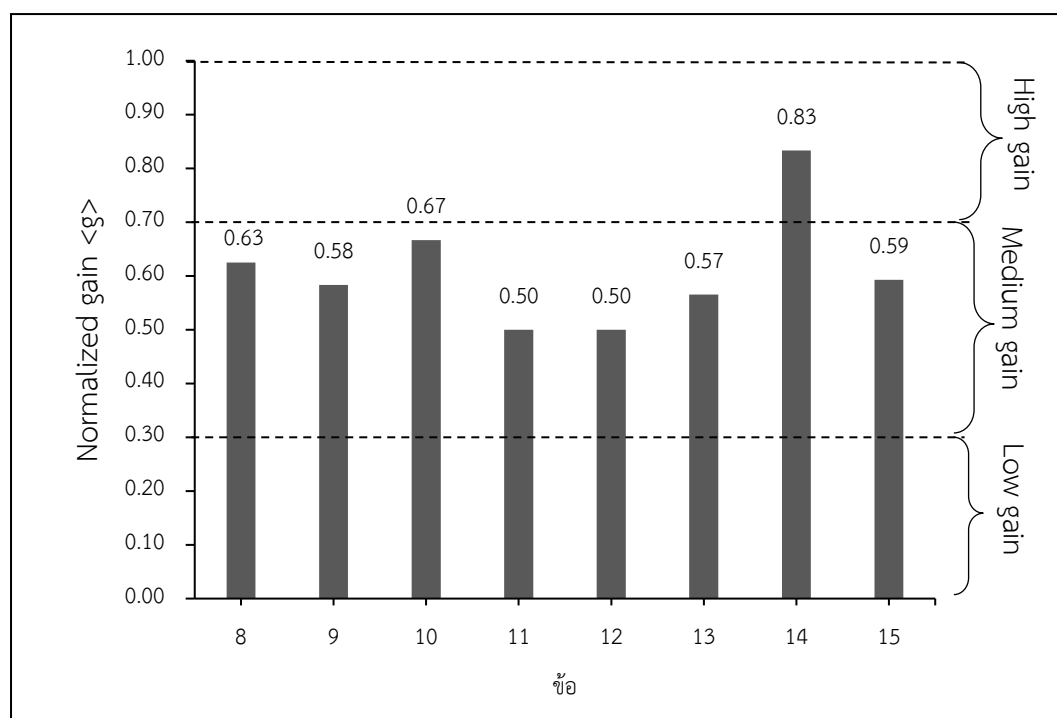
ภาพที่ 4.19 ความก้าวหน้ารายข้อในกลุ่มคำถาม Force Sled

4.4.4.2 กลุ่มคำถาม Force Graphs ข้อที่ 8-15 เป็นคำถามเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ซึ่งในกลุ่มนี้นักเรียนจะต้องพิจารณาการเคลื่อนที่ของรถ แล้วเลือกกราฟของแรงกับเวลาที่สอดคล้องกับการเคลื่อนที่ของรถ

ตารางที่ 4.14 ความเข้าใจแนวคิดของผู้เรียนก่อนเรียนและหลังเรียนข้อที่ 8-15

ข้อที่	ความเข้าใจที่ผิด	ความเข้าใจที่ถูกต้อง	คำตอบที่นักเรียนตอบมากที่สุด	
	แรงแปรผันตรงกับความเร็ว	แรงแปรผันตรงกับความเร็ว	ก่อนเรียน	หลังเรียน
8	a	e	a (89%)	e (67%)
9	b, h	e	b (48%)	e (63%)
10	c	a	c (67%)	a (78%)
11	a, b	e	b (37%)	e (63%)
12	h	b	h (89%)	b (56%)
13	d	b	d (85%)	b (63%)
14	f	g	f (89%)	g (85%)
15	g, h	e	g (48%)	e (59%)

จากตารางที่ 4.14 ความเข้าใจของนักเรียนที่พบ คือ ก่อนเรียนนักเรียนส่วนมากมีความเข้าใจแนวคิดที่ผิด คือ แรงแปรผันตรงกับความเร็ว อยู่ในช่วงร้อยละ 37 ถึง ร้อยละ 89 หลังเรียนนักเรียนส่วนมากมีความเข้าใจแนวคิดที่ถูกต้อง คือ แรงแปรผันตรงกับความเร่ง อยู่ในช่วงร้อยละ 56 ถึง ร้อยละ 85 แสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ ส่งผลให้นักเรียนมีความเข้าใจแนวคิดที่ถูกต้องได้เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4.20 ความก้าวหน้ารายข้อในกลุ่มคำถาม Force Graphs

จากภาพที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์ความก้าวหน้ารายข้อในกลุ่มคำถาม Force Graphs พบว่า นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ อยู่ในช่วง 0.50 – 0.83 สามารถแบ่งระดับความก้าวหน้าออกเป็น 2 ระดับ ดังนี้ 1) ความก้าวหน้าที่อยู่ในระดับ High gain มี 1 ข้อ คือ ข้อ 14 มีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ เท่ากับ 0.83 2) ความก้าวหน้าระดับ Medium gain มี 7 ข้อ ได้แก่ 8, 9, 10, 11, 12, 13 และ 15 ข้อที่มีความก้าวหน้าสูงที่สุดในระดับนี้ คือ ข้อ 10 มีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ เท่ากับ 0.67 แสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ สามารถพัฒนาความเข้าใจแนวคิดที่ถูกต้องว่าแรงที่กระทำต่อวัตถุแปรผันตรงกับความเร่งได้มากขึ้น เนื่องจากได้วิเคราะห์และแปลความหมายผลลัพธ์กราฟความเร่งกับเวลาที่ได้จากแอปพลิเคชัน Phyphox โดยนำค่าที่ได้จากกราฟความเร่งกับเวลาไปเขียนเป็นกราฟแรงกับเวลา ซึ่งนักเรียนสามารถเห็นความเชื่อมโยงระหว่างกราฟความเร่งกับเวลาและ

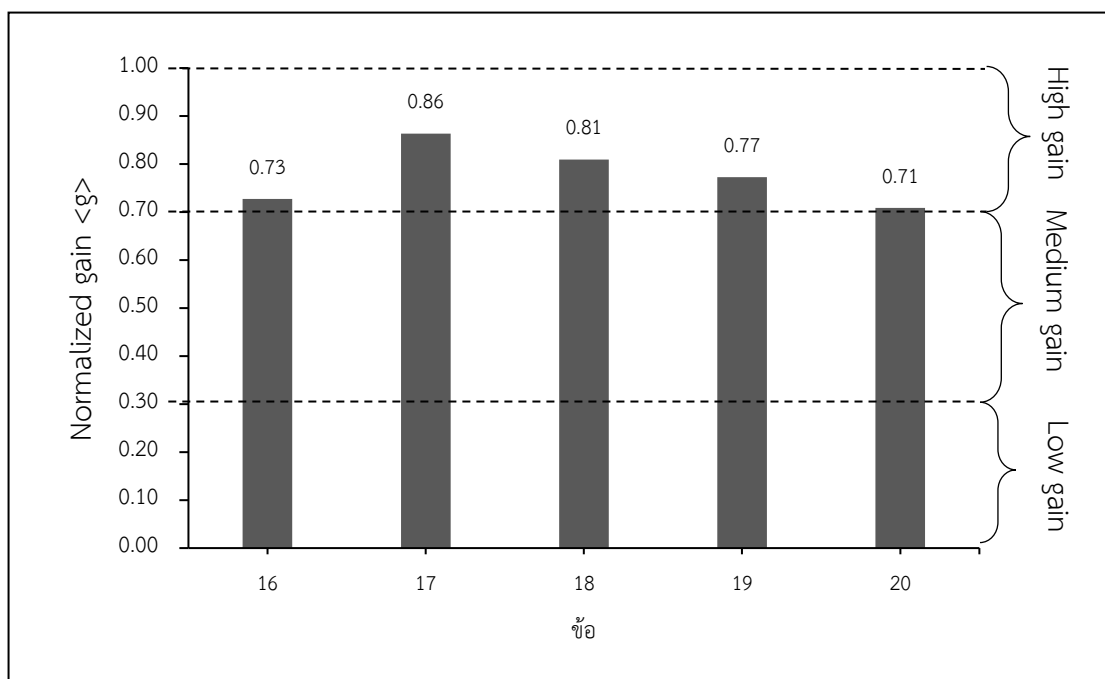
กราฟแรงกับเวลาได้ ส่งผลให้นักเรียนเข้าใจแนวคิดที่ถูกเพิ่มขึ้น แต่ยังมีนักเรียนที่เข้าใจแนวคิดที่ผิด เนื่องจากการเขียนเป็นกราฟแรงกับเวลาโดยใช้ข้อมูลจากกราฟความเร่งกับเวลา ต้องอาศัยความรู้ทางคณิตศาสตร์และทักษะในการเขียนกราฟ ซึ่งอาจเป็นอุปสรรคต่อการทำความเข้าใจ เห็นได้จากการตอบคำถามข้อ 11 และข้อ 12 ส่งผลให้ข้อนี้มีความกำกวมสำหรับการเรียนค่อนข้างน้อย

4.4.4.3 กลุ่มคำถาม Acceleration Graphs ข้อที่ 16 – 20 เป็นคำถามเกี่ยวกับความเร่งของรถที่มีการเคลื่อนที่หลากหลายรูปแบบ และนักเรียนจะต้องเลือกกราฟความเร่งกับเวลาที่สอดคล้องกับการเคลื่อนที่ของรถในแต่ละสถานการณ์

ตารางที่ 4.15 ความเข้าใจแนวคิดของผู้เรียนก่อนเรียนและหลังเรียนข้อที่ 16 – 20

ข้อที่	ความเข้าใจที่ผิด	ความเข้าใจที่ถูก	คำตอบที่นักเรียนตอบมากที่สุด	
	ความเร่งแปรผันตรงกับความเร็ว	ความเร่งแปรผันตรงกับอัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็ว	ก่อนเรียน	หลังเรียน
16	e	a	e (81%)	a (78%)
17	g, f	b	g (41%)	g (89%)
18	b	c	b (78%)	c (85%)
19	f	b	f (81%)	b (81%)
20	a	c	a (89%)	c (74%)

จากตารางที่ 4.15 ความเข้าใจของนักเรียนที่พบ คือ ก่อนเรียนนักเรียนส่วนมากมีความเข้าใจแนวคิดที่ผิด คือ ความเร่งแปรผันตรงกับความเร็ว อยู่ในช่วงร้อยละ 41 ถึง ร้อยละ 89 หลังเรียนนักเรียนส่วนมากมีความเข้าใจแนวคิดที่ถูก คือ ความเร่งแปรผันตรงกับอัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็ว อยู่ในช่วงร้อยละ 74 ถึง ร้อยละ 89 แสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ ส่งผลให้นักเรียนมีความเข้าใจแนวคิดที่ถูกเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4.21 ความก้าวหน้ารายข้อในกลุ่มคำถาม Acceleration Graphs

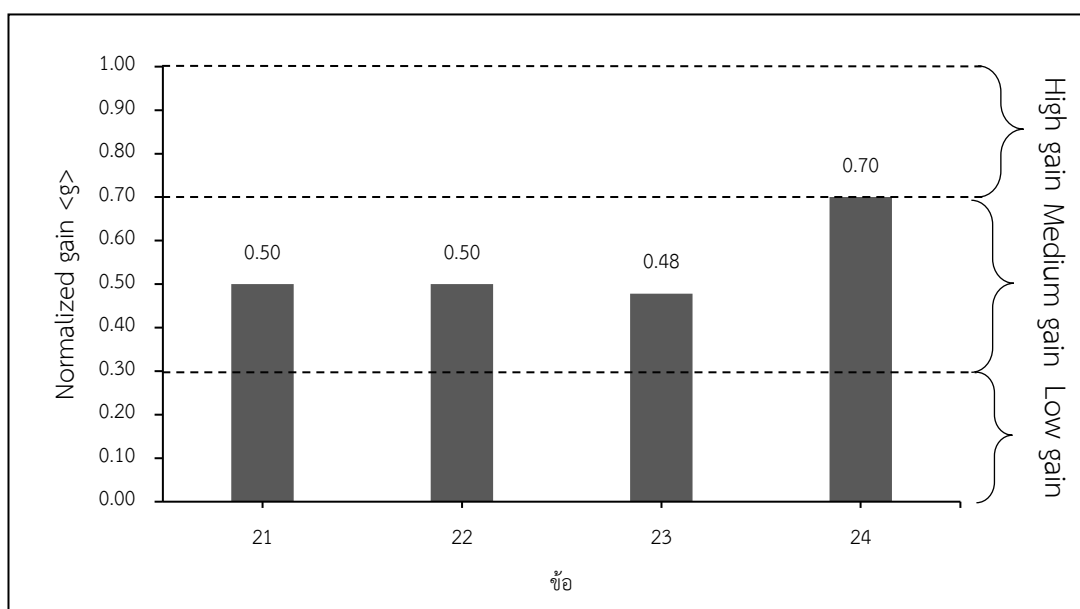
จากภาพที่ 4.21 ผลการวิเคราะห์ความก้าวหน้ารายข้อในกลุ่มคำถาม Acceleration Graphs พบว่า นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย <g> อยู่ในช่วง 0.71 - 0.86 อยู่ในระดับ High gain ทุกข้อ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ สามารถพัฒนาความเข้าใจแนวคิดที่ถูกกว่าความเร่งแปรผัน ตรงกับอัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากนักเรียนเห็นปรากฏการณ์การเคลื่อนที่ของ หุ่นยนต์และข้อมูลกราฟความเร่งกับเวลาโดยแอปพลิเคชัน Phyphox ซึ่งแสดงผลแบบเรียลไทม์ไปพร้อมกัน รวมถึงวิเคราะห์และแปลความหมายผลลัพธ์ข้อมูลโดยการเขียนกราฟความเร่งกับเวลาและอภิปรายร่วมกัน ส่งผลให้นักเรียนเข้าใจแนวคิดที่ถูกเพิ่มขึ้น

4.4.4.4 กลุ่มคำถาม Velocity Graphs ข้อที่ 21 – 24 เป็นกลุ่มคำถามที่ให้นักเรียนพิจารณาการเคลื่อนที่ของรถ แล้วเลือกกราฟความเร็วกับเวลาที่สอดคล้องกับการเคลื่อนที่ดังกล่าว จากตารางที่ 4.16 ความเข้าใจของนักเรียนที่พบ คือ ก่อนเรียนนักเรียนส่วนมากมีความเข้าใจแนวคิดที่ผิด คือ ความสับสนระหว่างกราฟความเร็วกับเวลาและกราฟตำแหน่งกับเวลา อยู่ในช่วงร้อยละ 59 ถึง ร้อยละ 97 หลังเรียนนักเรียนส่วนมากมีความเข้าใจแนวคิดที่ถูก คือ กราฟความเร็วกับเวลา อยู่ในช่วง ร้อยละ 52 ถึง ร้อยละ 78 แสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ ส่งผลให้นักเรียนมีความเข้าใจแนวคิดที่ถูกเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.16 ความเข้าใจแนวคิดของผู้เรียนก่อนเรียนและหลังเรียนข้อที่ 21-24

ข้อที่	ความเข้าใจที่ผิด	ความเข้าใจที่ถูกต้อง	คำตอบที่นักเรียนตอบมากที่สุด	
	ความสัมพันธ์ระหว่าง กราฟความเร็วกับ เวลา และกราฟ ตำแหน่งกับเวลา	กราฟความเร็วกับ เวลา	ก่อนเรียน	หลังเรียน
21	d	a	d (97%)	a (52%)
22	g	f	g (74%)	f (63%)
23	a, e	b	a (59%)	b (56%)
24	g	d	g (74%)	d (78%)

จากภาพที่ 4.22 ผลการวิเคราะห์ความก้าวหน้ารายข้อในกลุ่มคำถาม Velocity Graphs พบว่า นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ อยู่ในช่วง 0.48 – 0.70 โดยแบ่งระดับความก้าวหน้าออกเป็น 2 ระดับ ดังนี้ 1) ความก้าวหน้าที่อยู่ในระดับ High gain มี 1 ข้อ คือ ข้อ 24 มีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ เท่ากับ 0.70 2) ความก้าวหน้าระดับ Medium gain มี 3 ข้อ



ภาพที่ 4.22 ความก้าวหน้ารายข้อในกลุ่มคำถาม Velocity Graphs

ได้แก่ 21, 22 และ 23 แสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ สามารถพัฒนาความเข้าใจแนวคิดที่ถูกในกราฟความเร็วกับเวลาให้มากขึ้น เนื่องจากได้วิเคราะห์และแปลความหมายผลลัพธ์กราฟความเร็วกับเวลาที่ได้จากแอปพลิเคชัน Phyphox โดยการนำค่าที่ได้จากกราฟความเร็วกับเวลาไปเขียนเป็นกราฟความเร็วกับเวลา ซึ่งนักเรียนสามารถเห็นความเชื่อมโยงระหว่างกราฟความเร็วกับเวลาและกราฟความเร็วกับเวลาได้ ส่งผลให้นักเรียนเข้าใจแนวคิดที่ถูกเพิ่มขึ้น แต่ยังมีนักเรียนที่เข้าใจแนวคิดที่ผิด เนื่องจากความสับสนระหว่างกราฟความเร็วกับเวลาและกราฟการตำแหน่งกับเวลา เห็นได้จากการตอบคำถามข้อ 23 ของนักเรียน ส่งผลให้ข้อนี้มีความกำกวมสำหรับการเรียนค่อนข้างน้อย

การจัดการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ สามารถพัฒนาความเข้าใจแนวคิด เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ส่งผลให้มีความก้าวหน้าทางเรียนของชั้นเรียนอยู่ที่ระดับ Medium gain โดยกลุ่มคำถาม Acceleration Graphs มีค่าความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ยมากที่สุด อยู่ในระดับ High gain เนื่องจากนักเรียนได้ใช้แอปพลิเคชัน Phyphox ซึ่งใช้งานง่าย แม่นยำ และแสดงผลกราฟความเร็วแบบเรียลไทม์ สามารถตอบสนองความต้องการของนักเรียนได้ทันท่วงที (Stacks et al., 2018) ทำให้นักเรียนสามารถนำข้อมูลมาเขียนกราฟความเร็วแล้วร่วมกันอภิปรายภายในกลุ่ม และเกิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับเพื่อนในห้อง เพื่อนำองค์ความรู้ไปพัฒนาชิ้นงานให้มีประสิทธิภาพ อีกทั้งการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา โดยใช้หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติเป็นเครื่องมือในการจัดกิจกรรม ส่งผลให้กิจกรรมน่าสนใจและเป็นสิ่งแปลกใหม่สำหรับนักเรียน (Hartigan and Hademenos, 2019) จึงมีส่วนช่วยกระตุ้นความสนใจของนักเรียนทำให้เกิดความกระตือรือร้นในการค้นหาคำตอบ (Kaps et al., 2021) ซึ่งทำให้นักเรียนแต่ละคนดึงความสามารถของตนเองออกมาใช้ในการคิด วิเคราะห์แก้ปัญหาจากสถานการณ์ แล้วลงมือปฏิบัติจริง (González et al., 2017) ผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 6 ขั้นตอน ที่ช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ในแนวคิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ (สุมินตรา จินเมือง และธิดิยา บงกชเพชร, 2563)

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ผู้วิจัยได้ออกแบบ สร้างและพัฒนาชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ โดยสถานการณ์ที่ 1 ออกแบบและสร้างหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติขับเคลื่อน 2 ล้อ และสถานการณ์ที่ 2 ออกแบบและสร้างหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติขับเคลื่อน 4 ล้อ เพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม อีกทั้งในกระบวนการพัฒนาหุ่นยนต์ได้ใช้แอปพลิเคชัน Phyphox เป็นเครื่องมือในการศึกษาการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เพื่อพัฒนาความเข้าใจในแนวคิดและความก้าวหน้าทางการเรียน เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ผู้วิจัยได้สรุปผลการวิจัย ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การทดสอบประสิทธิภาพของหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ พบว่า หุ่นยนต์สามารถตรวจจับพื้นสีขาวและเส้นสีดำและสามารถเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในระยะทาง 3 เมตรได้ เมื่อวิเคราะห์ค่าความเร่ง (a) ของหุ่นยนต์จากการคำนวณตามทฤษฎีและจากการวิเคราะห์ด้วยแอปพลิเคชัน Phyphox พบว่า มีประสิทธิภาพร้อยละ 98.51 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ร้อยละ 95 แสดงให้เห็นว่าหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติที่สร้างขึ้น สามารถนำไปใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ได้

5.1.2 การพัฒนาชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ พบว่า มีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.67 – 1.00 มี 1 กิจกรรม ที่มีค่าดัชนีความสอดคล้อง เป็น 0.67 คือ กิจกรรมที่ 6 การศึกษาความเร่งของหุ่นยนต์ โดยแอปพลิเคชัน Phyphox แสดงให้เห็นว่า แผนการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นสามารถนำมาพัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมและพัฒนาความเข้าใจแนวคิด เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ได้

5.1.3 การพัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

5.1.3.1 การพัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมรายชั้นเรียน เป็นการวิเคราะห์ผลโดยใช้คะแนนรายชั้นเรียนของนักเรียนจำนวน 9 กลุ่ม จากแบบประเมินทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม จำนวน 27 ข้อ พบว่า คะแนนสถานการณ์ที่ 2 สูงกว่าคะแนนสถานการณ์ที่ 1 ซึ่งแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 มีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $<g>$ เท่ากับ 0.67 อยู่ในระดับ Medium gain

5.1.3.2 การพัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมรายขั้นตอน นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ อยู่ในช่วง 0.55 - 0.76 สามารถแบ่งระดับความก้าวหน้าออกเป็น 2 ระดับ ดังนี้ 1) ความก้าวหน้าที่อยู่ในระดับ High gain มี 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนประเมินผลและปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหา ขั้นตอนระบุปัญหาและนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหา ขั้นที่มีความก้าวหน้าสูงสุดในระดับนี้คือ ขั้นตอนประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหา มีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ เท่ากับ 0.76 2) ความก้าวหน้าระดับ Medium gain มี 3 หัวข้อ ได้แก่ ขั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา ขั้นตอนออกแบบวิธีการแก้ปัญหาและขึ้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา หัวข้อที่มีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ยสูงสุดในระดับนี้ คือ ขั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา มีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ เท่ากับ 0.67

5.1.3.3 การพัฒนาทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมรายหัวข้อ

1) ทักษะการระบุปัญหา พบว่า นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ อยู่ในช่วง 0.50 - 0.75 สามารถแบ่งระดับความก้าวหน้าออกเป็น 2 ระดับ ดังนี้ 1) ความก้าวหน้าที่อยู่ในระดับ High gain มี 1 หัวข้อ คือ หัวข้อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงที่ และ 2) ความก้าวหน้าระดับ Medium gain มี 2 หัวข้อ ได้แก่ หัวข้อหุ่นยนต์เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในระยะทาง 3 เมตร และหัวข้อหุ่นยนต์สามารถตรวจจับพื้นสีขาวและเส้นสีดำ

2) ทักษะการรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา พบว่า นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ อยู่ในช่วง 0.50 - 0.80 โดยแบ่งระดับความก้าวหน้าออกเป็น 2 ระดับ ดังนี้ 1) ความก้าวหน้าที่อยู่ในระดับ High gain มี 2 หัวข้อ ได้แก่ หัวข้อสามารถแสดงค่าสัญญาณเซนเซอร์อินฟราเรดขวาและซ้ายได้ และหัวข้อการเขียนโปรแกรมสั่งการให้เซนเซอร์อินฟราเรดทำงานได้ และ 2) ความก้าวหน้าระดับ Medium gain มี 4 หัวข้อ ได้แก่ หัวข้อได้ภาพวงจรไฟฟ้าของมอเตอร์ หัวข้อเขียนโปรแกรมสั่งการให้หุ่นยนต์ปฏิบัติการเลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวา หัวข้อเขียนโปรแกรมสั่งการให้หุ่นยนต์เดินหน้า ถอยหลัง และหยุด และหัวข้อได้ภาพวงจรไฟฟ้าของเซนเซอร์อินฟราเรด

3) ทักษะการออกแบบวิธีการแก้ปัญหา พบว่า นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ อยู่ในช่วง 0.33 - 0.75 สามารถแบ่งระดับความก้าวหน้าออกเป็น 2 ระดับ ดังนี้ 1) ความก้าวหน้าที่อยู่ในระดับ High gain มี 1 หัวข้อ คือ หัวข้อแสดงรายละเอียดรูปร่าง ขนาดความกว้าง ความยาว ความสูง และ 2) ความก้าวหน้าระดับ Medium gain มี 5 หัวข้อ ได้แก่ หัวข้อแสดงหน่วยในการวัดขนาด หัวข้อได้ภาพวงจรไฟฟ้าหุ่นยนต์ที่แสดงจุดเชื่อมต่อเซนเซอร์อินฟราเรดซ้ายและขวากับบอร์ด หัวข้อได้ภาพร่างหุ่นยนต์ 3 มิติ หัวข้อได้ภาพวงจรไฟฟ้าหุ่นยนต์ที่แสดงจุดเชื่อมต่อ

มอเตอร์ชวากับชุดขับมอเตอร์ หัวข้อได้ภาพวงจรไฟฟ้าหุ่นยนต์ที่แสดงจุดเชื่อมต่omotorชวากับชุดขับมอเตอร์

4) ทักษะการวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา พบว่า นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ อยู่ในช่วง 0.33 - 0.67 ซึ่งทุกหัวข้อมีความก้าวหน้าอยู่ในระดับ Medium gain ได้แก่ หัวข้อตำแหน่งของเซนเซอร์อินฟราเรดซ้ายและขวาตรงตามแบบได้ หัวข้อส่วนฐานหลักมีความกว้างและความยาวตรงตามแบบและหัวข้อส่วนฐานรองมีความกว้างและความยาวตรงตามแบบ

5) ทักษะการทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหา พบว่า นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ อยู่ในช่วง 0.50 - 1.00 สามารถแบ่งระดับความก้าวหน้าออกเป็น 2 ระดับ ดังนี้ 1) ความก้าวหน้าที่อยู่ในระดับ High gain มี 3 หัวข้อ ได้แก่ หัวข้อหุ่นยนต์สามารถตรวจจับพื้นสีขาวและเส้นสีดำ หัวข้อแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลา และหัวข้อสามารถเปิดใช้งานแอปพลิเคชัน Phyphox และ 2) ความก้าวหน้าระดับ Medium gain มี 3 หัวข้อ ได้แก่ หัวข้อหุ่นยนต์เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในระยะทาง 3 เมตร หัวข้อเชื่อมต่อแอปพลิเคชัน Phyphox ในโทรศัพท์กับคอมพิวเตอร์ได้ และหัวข้อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงที่

6) ทักษะการนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน พบว่า นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ อยู่ในช่วง 0.33 - 1.00 สามารถแบ่งระดับความก้าวหน้าออกเป็น 2 ระดับ ดังนี้ 1) ความก้าวหน้าที่อยู่ในระดับ High gain มี 1 หัวข้อ คือนำเสนอกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลา และ 2) ความก้าวหน้าระดับ Medium gain มี 2 หัวข้อ ได้แก่ หัวข้ออธิบายให้เหตุผลประกอบ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ในแนวตรง และหัวขนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหา

5.1.4 ผลการพัฒนาความเข้าใจแนวคิด เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่

5.1.4.1 ความก้าวหน้าทางการเรียนรายชั้นเรียน การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ ส่งผลให้คะแนนหลังเรียนสูงกว่าคะแนนก่อนเรียนซึ่งแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีความรู้ความเข้าใจในแนวคิด เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ เพิ่มขึ้น ความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ยของนักเรียนรายชั้นเรียน เท่ากับ 0.60 อยู่ในระดับ Medium gain

5.1.4.2 ความก้าวหน้าทางการเรียนรายบุคคล อยู่ในช่วง $\langle g \rangle = 0.39 - 0.88$ ซึ่งการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในครั้งนี้ นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ 2 ระดับ คือ 1) ระดับ High gain มีนักเรียนที่มีความก้าวหน้าอยู่ในระดับนี้จำนวน 7 คน คิดเป็นร้อยละ 25.9 และ 2) ระดับ Medium gain จำนวน 20 คน คิดเป็นร้อยละ 74.1 นักเรียนที่มีระดับความก้าวหน้าทางการเรียนสูงที่สุดระดับ High gain ($\langle g \rangle = 0.88$) มีจำนวน 1 คน และมีระดับความก้าวหน้าทางการเรียนต่ำสุด

อยู่ที่ระดับ Medium gain ($\langle g \rangle = 0.39$) มีจำนวน 2 คน จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาความก้าวหน้าทางการเรียนของนักเรียนเป็นรายบุคคล พบว่านักเรียนส่วนใหญ่มีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับ Medium gain

5.1.4.3 ความก้าวหน้าทางการเรียนรายแนวคิดรวบยอด ซึ่งการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในครั้งนี้ กลุ่มคำถาม Acceleration Graphs มีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ยสูงสุด $\langle g \rangle$ เท่ากับ 0.78 อยู่ในระดับ High รองลงมาคือ กลุ่มคำถาม Force Graphs มีค่าความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ เท่ากับ 0.61 อยู่ในระดับ Medium gain กลุ่มคำถาม Velocity Graphs มีค่าความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ เท่ากับ 0.54 อยู่ในระดับ Medium gain และกลุ่มคำถาม Force Sled มีค่าความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ยต่ำสุด $\langle g \rangle$ เท่ากับ 0.49 อยู่ในระดับ Medium gain

5.1.4.4 ความก้าวหน้าทางการเรียนรายข้อ

1) กลุ่มคำถาม Force Sled พบว่า ก่อนเรียนนักเรียนส่วนมากมีความเข้าใจแนวคิดที่ว่า แรงแปรผันตรงกับความเร่ง ซึ่งเป็นแนวคิดที่ผิด แต่หลังจากผ่านกิจกรรมการเรียนรู้แล้วพบว่า นักเรียนส่วนมากมีความเข้าใจแนวคิดที่ถูกต้อง คือ แรงที่กระทำต่อวัตถุแปรผันตรงกับความเร่งของวัตถุ แต่ยังมีนักเรียนที่เข้าใจแนวคิดที่ผิด เนื่องจากนักเรียนเข้าใจว่าทิศทางของแรงกับทิศทางการเคลื่อนที่มีทิศทางเดียวกันตลอดเห็นได้จากการตอบคำถามข้อ 3 ส่งผลให้ความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ อยู่ในช่วง 0.31 - 0.63 และทุกข้ออยู่ในระดับ Medium gain

2) กลุ่มคำถาม Force Graphs พบว่า ก่อนเรียนนักเรียนส่วนมากมีความเข้าใจแนวคิดที่ว่า แรงแปรผันตรงกับความเร่ง ซึ่งเป็นแนวคิดที่ผิด แต่หลังจากผ่านกิจกรรมการเรียนรู้ พบว่า นักเรียนส่วนมากมีความเข้าใจแนวคิดที่ถูกต้อง คือ แรงแปรผันตรงกับความเร่ง แต่ยังมีนักเรียนที่เข้าใจแนวคิดที่ผิด เนื่องจากการเขียนเป็นกราฟแรงกับเวลาโดยใช้ข้อมูลจากกราฟความเร่งกับเวลา ต้องอาศัยความรู้ทางคณิตศาสตร์และทักษะในการเขียนกราฟ ซึ่งอาจเป็นอุปสรรคต่อการทำความเข้าใจแนวคิดเห็นได้จากการตอบคำถามข้อ 11 และ ข้อ 12 ส่งผลให้ความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ อยู่ในช่วง 0.50 - 0.83 สามารถแบ่งระดับความก้าวหน้าออกเป็น 2 ระดับ ดังนี้ 1) ความก้าวหน้าที่อยู่ในระดับ High gain มี 1 ข้อ คือ ข้อ 14 มีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ เท่ากับ 0.83 2) ความก้าวหน้าระดับ Medium gain มี 7 ข้อ ได้แก่ 8, 9, 10, 11, 12, 13 และ 15

3) กลุ่มคำถาม Acceleration Graphs พบว่า ก่อนเรียนนักเรียนส่วนมากมีความเข้าใจแนวคิดที่ว่า ความเร่งแปรผันตรงกับความเร่ง ซึ่งเป็นแนวคิดที่ผิด แต่หลังจากผ่านกิจกรรมการเรียนรู้ พบว่า นักเรียนส่วนมากมีความเข้าใจแนวคิดที่ถูกต้อง คือ ความเร่งแปรผันตรงกับการเปลี่ยนแปลงความเร็ว ส่งผลให้ความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย $\langle g \rangle$ อยู่ในช่วง 0.71 - 0.86 และทุกข้อ อยู่ในระดับ High gain

4) กลุ่มคำถาม Velocity Graphs พบว่า นักเรียนส่วนมากมีความสับสนระหว่างกราฟความเร็วกับเวลา และกราฟการกระจัดกับเวลา แต่หลังจากผ่านกิจกรรมการเรียนรู้ พบว่า นักเรียนส่วนมากมีความเข้าใจแนวคิดที่ถูกต้องในกราฟความเร็วกับเวลา แต่ยังมีนักเรียนบางส่วนมีเข้าใจแนวคิดที่ผิด เนื่องจากความสับสนระหว่างกราฟความเร็วกับเวลาและกราฟการตำแหน่งกับเวลาเห็นได้จากการตอบคำถามข้อ 23 ความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย <g> อยู่ในช่วง 0.48 – 0.70 สามารถแบ่งระดับความก้าวหน้าออกเป็น 2 ระดับ ดังนี้ 1) ความก้าวหน้าที่อยู่ในระดับ High gain มี 1 ข้อ คือ ข้อ 24 ส่งผลให้มีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย <g> เท่ากับ 0.70 2) ความก้าวหน้าระดับ Medium gain มี 3 ข้อ ได้แก่ 21, 22 และ 23

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การจัดกิจกรรมการเรียนการสอนโดยใช้ชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง หุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ นักเรียนแต่ละกลุ่มควรมีพี่เลี้ยงคอยให้คำแนะนำเกี่ยวกับข้อควรระวังที่อาจเกิดขึ้นจากการปฏิบัติงาน

5.2.2 ก่อนการทดสอบหุ่นยนต์แต่ละครั้ง ครูผู้สอนควรตรวจสอบการเชื่อมต่อสายแบตเตอรี่ให้ขั้วบวกต่อเข้ากับขั้วบวกและขั้วลบต่อเข้ากับขั้วลบ เพราะหากเกิดข้อผิดพลาดอาจก่อให้เกิดไฟลุกไหม้อย่างรุนแรงได้

5.2.3 การใช้โปรแกรม Arduino IDE ครูผู้สอนควรติดตั้งโปรแกรมและทดสอบโปรแกรมให้เรียบร้อยก่อนใช้ในการจัดกิจกรรม เพราะอาจก่อให้เกิดความล่าช้าเนื่องจาก ปัญหาเกี่ยวกับระบบปฏิบัติการคอมพิวเตอร์กับโปรแกรมไม่สอดคล้องกันส่งผลให้ไม่สามารถใช้งานโปรแกรมได้

5.2.4 ครูผู้สอนควรเตรียมอุปกรณ์สำหรับบัดกรี เช่น หัวแร้ง ตะกั่ว น้ำยาบัดกรี เป็นต้น เพื่อซ่อมแซมกรณีเกิดความเสียหายขณะทำกิจกรรม อีกทั้งควรสำรอง เซนเซอร์อินฟราเรด มอเตอร์ เพื่อใช้เป็นอะไหล่เปลี่ยนกรณีอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่นักเรียนใช้เกิดชำรุด เสียหาย จนไม่สามารถซ่อมแซมได้

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

- จิระพร สังขเวทย์. (2560) “Coding กับการศึกษาในศตวรรษที่ 21”, **ห้องสมุด สสวท.**
<https://library.ipst.ac.th/handle/ipst/6174>. 1 ตุลาคม, 2563.
- ทัศนวิวรรณ เลิศเจริญฤทธิ์ และคณะ. “ความเข้าใจในสะเต็มของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6
 ในประเด็น เรื่อง PM 2.5”, **วารสารศึกษาศาสตร์ปริทัศน์**. 35(3): 176–188;
 กันยายน-ธันวาคม, 2563.
- นิรมิข เพียรประเสริฐ. (2556) “เรียนรู้แบบ STEM ผ่านหุ่นยนต์สร้างการมีส่วนร่วมของนักเรียน”,
ห้องสมุด สสวท. <https://library.ipst.ac.th/handle/ipst/793>. 1 ตุลาคม, 2563.
- ประภาส สุวรรณเพชร. (2560) “เรียนรู้และลองเล่น Arduino เบื้องต้น”, **ครูประภาส สุวรรณ
 เพชร**. <https://www.praphas.com/index.php>. 1 ตุลาคม, 2563.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2557) “คู่มือกิจกรรมสะเต็ม ช่วงชั้นที่ 4”,
สะเต็มศึกษา ประเทศไทย. <http://www.stemedthailand.org>. 1 ตุลาคม, 2563.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2557) “ความรู้เบื้องต้นสะเต็มศึกษา”,
สะเต็มศึกษา ประเทศไทย. <http://www.stemedthailand.org>. 1 ตุลาคม, 2563.
- สุจิตา การิมี. (2560) “การใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อเสริมสร้างความคิดสร้างสรรค์
 และทักษะการแก้ปัญหา ตอนที่ 1”, **สาขาคอมพิวเตอร์ สถาบันส่งเสริมการสอน
 วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. <http://oho.ipst.ac.th/edp-creative-problem-solving1/>. 1 ตุลาคม, 2563.
- สุนทร ภูรีปริชาเลิศ, ทวีศักดิ์ จินดานุรักษ์ และจุฬารัตน์ ธรรมประทีป. “การพัฒนารูปแบบการ
 เรียนการสอนบูรณาการตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเพื่อส่งเสริมความเข้าใจธรรมชาติของ
 วิทยาศาสตร์ ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์และความสามารถด้านผลิตภาพสำหรับ
 นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนสาธิตสังกัดมหาวิทยาลัยของรัฐ”, **วารสาร
 หน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้**. 11(1): 83–114;
 มกราคม-มิถุนายน, 2563.
- สุมินตรา จินเมือง และธิดิยา บงกชเพชร. “การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วย
 กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง เสียง เพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และ
 นวัตกรรมสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5”, **วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัย
 บุรพา**. 31(1): 59–74; มกราคม-เมษายน, 2563.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- สุวดี อุปปินใจ และคณะ. “รูปแบบการใช้ระบบพี่เลี้ยงและการสอนงานสำหรับการเตรียมความพร้อมและการพัฒนาอย่างเข้มของครูผู้ช่วยในโรงเรียนสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษา จังหวัดเชียงราย”, **วารสารบัวบัณฑิตบริหารการศึกษา**. 19(4): 1–13; ตุลาคม-ธันวาคม, 2562.
- อโนดาช รัชเวทย์, มัลลิกา ศุภิมาส และยุทธนา ชัยเจริญ. “การวิจัยเชิงปฏิบัติการการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามกรอบแนวคิดสะเต็มศึกษาโดยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับภูมิปัญญาท้องถิ่นสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น”, **วารสารวิจัยบัณฑิต**. 10(1): 41–55; มกราคม-มิถุนายน, 2562.
- อภิสิทธิ์ ธงไชย และคณะ. “การประเมินผลการเรียนรู้แบบใหม่โดยใช้ผลสอบก่อนเรียนและหลังเรียน”, **วารสาร มฉก. วิชาการ**. 11(21): 86–94; กรกฎาคม-ธันวาคม, 2550.
- เอกพงศ์ บัวชุม, สุระ วุฒิพรหม และธนิดา สุจริตรธรรม. “การพัฒนาเครื่องมือวัดปริมาณทางฟิสิกส์ด้วยแพลตฟอร์ม Arduino”, **วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา**. 3(1): 98-104; มกราคม-มิถุนายน, 2562.
- Arduino. “What is Arduino?”, **Arduino-Introduction**. <https://www.arduino.cc/en/guide/introduction>. April 19, 2020.
- Aris N. and Orcos L. “Educational robotics in the stage of secondary education: Empirical study on motivation and STEM skills”, **Education Sciences**. 9(2): 73; April, 2019.
- Ayar M.C. “First-hand experience with engineering design and career interest in engineering: An informal STEM education case study”, **Educational Sciences: Theory and Practice**. 15(6): 1655-1675; December, 2015.
- Baldock C. and Johnson R. “Investigation of kinetic friction using an iPhone”, **Physics Education**. 51(6): 065005; September, 2016.
- Brophy S. and et al. “Advancing engineering education in P-12 classrooms”, **Journal of Engineering Education**. 97(3): 369-387; January, 2008.
- Buachoom A., Thedsakhulwong A. and Wuttiptom S. “An Arduino board with ultrasonic sensor investigation of simple harmonic motion”, **Journal of Physics: Conference Series**. 1380(1): 012098; November, 2019.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Buachoom A., Wuttisela K., and Wuttirom S. “Development of a simple line-follower robot with constant acceleration motion”, **Journal of Physics: Conference Series**. 1719(1): 012091; January, 2021.
- Canek R., Chicas Y. and Rodas O. “Fomenting STEM careers through robotics competitions: a work in progress”, In **2019 IEEE Integrated STEM Education Conference**. p. 270-273. Washington: McDonnell Hall, 2019.
- Clavert M. and Paloposki T. “Implementing design-based learning in teaching of combustion and gasification technology”, **The International journal of engineering education**. 31(4): 1021-1032; January, 2015.
- Deken B., Koch D. and Dudley J. “Establishing a robotics competition in an underserved region: Initial impacts on interest in technology and engineering”, **Journal of Technology, Management and Applied Engineering**. 29(3):1-9; July-September, 2013.
- English L.D. “Advancing elementary and middle school STEM education”, **International Journal of Science and Mathematics Education**. 15(1): 5-24; March, 2017.
- Gaskins W. and et al. “Student understanding of the engineering design process using challenge based learning”, In **122nd ASEE Annual Conference & Exposition**. p. 26. Seattle: Washington State Convention Center, 2015.
- González M.Á. and et al. “Teaching and learning physics with smartphones”, **Journal of Cases on Information Technology**. 17(1): 31-50; January-March, 2015.
- Hake R. “Interactive engagement vs traditional methods: A six-thousand survey of mechanics test data for introductory physics course”, **American Journal of Physics**. 61(1): 64-74; January, 1998.
- Halloun I.B. and Hestenes D. “The initial knowledge state of college physics students”, **American Journal of Physics**. 53(11): 1043-1055; January, 1985.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Hartigan C. and Hademenos G. “Introducing ROAVEE: An Advanced STEM-based project in aquatic robotics”, **The Physics Teacher**. 57(1): 17-20; December, 2019.
- Herías F.A.C. and et al. “Introduction of Robotics in the First Year of Engineering through the Design, Construction and Competition of Robots”, In **24th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation**. p. 804-811. Zaragoza: University of Zaragoza, 2019.
- Hestenes D.M., Wells M. and Swackhamer G. “Force concept inventory”, **The Physics Teacher**. 30(3): 141-152; March, 1992.
- Kaps A., Splith T. and Stallmach F. “Implementation of smartphone-based experimental exercises for physics courses at universities”, **Physics Education**. 56(3): 035004; February, 2021.
- Kim C. and et al. “Robotics to promote elementary education pre-service teachers' STEM engagement, learning, and teaching”, **Computers and Education**. 91: 14-31; December, 2015.
- King D. and English L.D. “Engineering design in the primary school: Applying STEM concepts to build an optical instrument”, **International Journal of Science Education**. 38(18): 2762-2794; December, 2016.
- Kuhn J., Vogt P. and Müller A. “Analyzing elevator oscillation with the smartphone acceleration sensors”, **The Physics Teacher**. 52(1): 55-56; December, 2014.
- Lamore B. “Fan cart: the next generation”, **The Physics Teacher**. 54(7): 408-409; September, 2016.
- Maarif E.S. and Moyo T. “Driving control module for low cost industrial automated guided vehicle”, In **International Conference on Technology and Vocational Teachers**. p. 012016. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta, 2019.
- Mazzella A. and Testa I. “An investigation into the effectiveness of smartphone experiments on students' conceptual knowledge about acceleration”, **Physics Education**. 51(5): 055010; July, 2016.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Mehalik M.M., Doppelt Y. and Schuun C.D. “Middle-school science through design-based learning versus scripted inquiry: Better overall science concept learning and equity gap reduction”, **Journal of engineering education**. 97(1): 71-85; January, 2008.
- Pakdaman M. and Sanaatiyan M.M. “Design and implementation of line follower robot”, In **2009 second international conference on computer and electrical engineering**. p. 585-590. Middlesex County: Piscataway, 2009.
- Patrinopoulos M. and Kefalis C. “Angular velocity direct measurement and moment of inertia calculation of a rigid body using a smartphone”, **The Physics Teacher**. 53(9): 564-565; November, 2015.
- Plaza P. and et al. “Crumble as an educational tool to introduce robotics”, In **2018 XIII Technologies Applied to Electronics Teaching Conference**. p. 1-7. Tenerife: La Laguna, 2018.
- Plaza P. and et al. “Scratch as driver to foster interests for STEM and educational robotics”, **IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje**. 14(4): 117-126; November, 2019.
- Rakkapao S. and et al. “Evaluation of POE and instructor-led problem-solving approaches integrated into force and motion lecture classes using a model analysis technique”, **European Journal of Physics**. 35(1): 015016; December, 2013.
- Ridgeway M.L. and Yerrick R.K. “Whose banner are we waving? Exploring STEM partnerships for marginalized urban youth”, **Cultural Studies of Science Education**. 13(1): 59-84; March, 2018.
- Serrano Pérez E. and Juárez López F. “An ultra-low cost line follower robot as educational tool for teaching programming and circuit's foundations”, **Computer Applications in Engineering Education**. 27(2): 288-302; October, 2019.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Sheikh M., Fulbright M. and Hademenos G. “Captain R. Rubber Ducky: A STEM-driven project in aquatic robotics”, **The Physics Teacher**. 49(9): 557-559; November, 2011.
- Smith T.I. and M.C. Wittmann. “Applying a resources framework to analysis of the Force and Motion Conceptual Evaluation”, **Physics Education Research**. 4(2): 1-12; September, 2008.
- Staacks S. and et al. “Advanced tools for smartphone-based experiments: Phyphox”, **Physics education**. 53(4): 045009; May, 2018.
- Thornton R.K. and Sokoloff D.R. “Assessing student learning of Newton’s laws: The Force and Motion Conceptual Evaluation and the Evaluation of Active Learning Laboratory and Lecture Curricula”, **American Journal of Physics**. 66(4): 338-352; September, 1998.
- Thornton R.K., Cummings K. and Marx J. “Comparing the force and motion conceptual evaluation and the force concept inventory”, **Physical Review Special Topics-Physics Education Research**. 5(1): 1–8; March, 2009.
- Vartiainen H., Liljeström A. and Enkenberg J. “Design-oriented pedagogy for technology-enhanced learning to cross over the borders between formal and Informal environments”, **Journal of Universal Computer Science**. 18(15): 2097-2119; August, 2012.
- Vogt P. and Kuhn J. “Analyzing free fall with a smartphone acceleration sensor”, **The Physics Teacher**. 50(3): 182-183; February, 2012.
- Wattanakasiwich P. “Assessing Student Conceptual Understanding of Force and Motion with Model Analysis”, **Chiang Mai University Journal of Natural Sciences**. 7(2): 307-315; 2008.
- Zaman H.U. and et al. “A novel design of line following robot with multifarious function ability”, In **2016 International Conference on Microelectronics, Computing and Communications**. p. 1-5. Durgapur: NIT Durgapur, 2016.

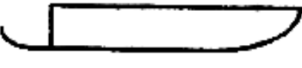
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
แบบประเมินแนวคิดเรื่อง แรงและการเคลื่อนที่
(Force and Motion Conceptual Evaluation, FMCE)

แบบประเมินแนวคิด เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่
(Force and Motion Conceptual Evaluation, FMCE)

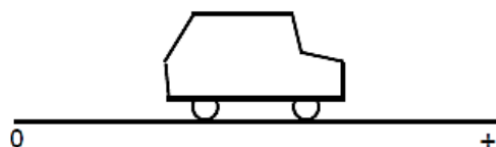
คำชี้แจง: ตอบคำถามข้อ 1 – 24 ในช่องว่างของกระดาษคำตอบ ห้ามเขียนคำตอบหรือจดบันทึกสิ่งใด ๆ ลงในกระดาษคำถาม

คำถามข้อ 1–7 เลื่อนน้ำแข็งเคลื่อนที่บนพื้นน้ำแข็งซึ่งแรงเสียดทานมีขนาดน้อยมากจนไม่ต้องนำมาคิดคนใส่รองเท้าที่พื้นรองเท้ามีปุ่มแหลม ๆ สามารถยืนบนน้ำแข็งและออกแรงดันเลื่อนให้เคลื่อนที่ไปบนพื้นน้ำแข็งได้ จงเลือกแรงหนึ่งแรง (จาก A ถึง G) ที่กระทำต่อเลื่อน ซึ่งสอดคล้องกับการเคลื่อนที่ของเลื่อนในแต่ละข้อ ใช้ตัวเลือกได้มากกว่าหนึ่งครั้งหรือไม่ใช้เลยก็ได้และเลือกได้เพียงคำตอบเดียวในแต่ละข้อ ให้ตอบตัวเลือก J ถ้าไม่มีตัวเลือกใดถูก

	A. แรงมีทิศไปทางขวาและมีขนาดที่กำลังเพิ่มขึ้น B. แรงมีทิศไปทางขวาและมีขนาดที่คงตัว C. แรงมีทิศไปทางขวาและมีขนาดที่กำลังลดลง
	D. ไม่จำเป็นต้องมีแรงกระทำ
	E. แรงมีทิศไปทางซ้ายและมีขนาดที่กำลังลดลง F. แรงมีทิศไปทางซ้ายและมีขนาดคงตัว G. แรงมีทิศไปทางซ้ายและมีขนาดที่กำลังเพิ่มขึ้น

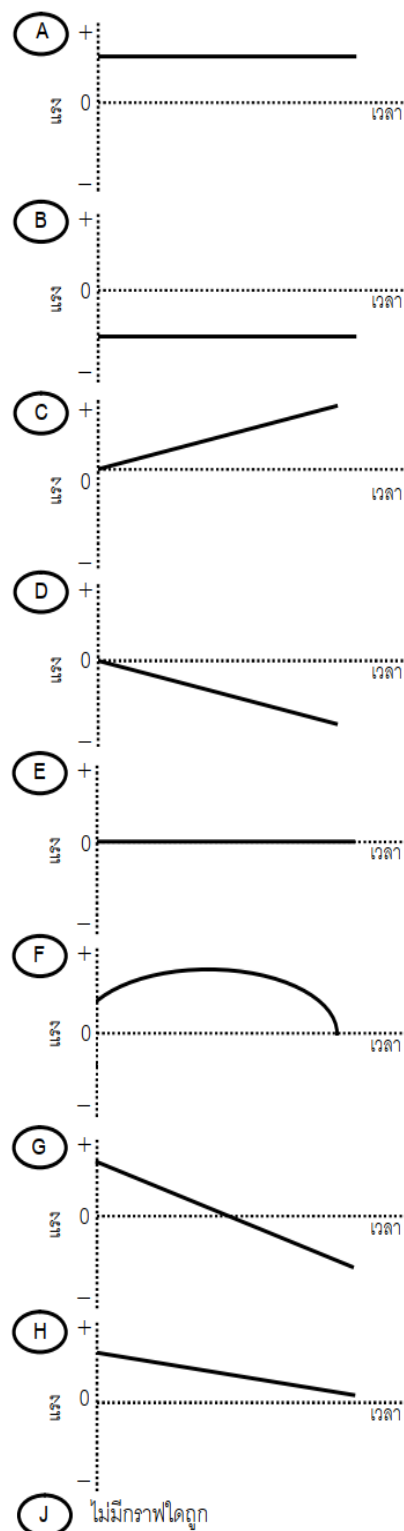
- _____ 1. เลื่อนกำลังเคลื่อนที่ไปทางขวาโดยเคลื่อนที่เร็วขึ้นด้วยอัตราสม่ำเสมอ (ความเร่งคงตัว)
- _____ 2. เลื่อนกำลังเคลื่อนที่ไปทางขวาด้วยความเร็วคงตัว
- _____ 3. เลื่อนกำลังเคลื่อนที่ไปทางขวา โดยเคลื่อนที่ช้าลงด้วยอัตราสม่ำเสมอ (ความเร่งคงตัว)
- _____ 4. เลื่อนกำลังเคลื่อนที่ไปทางซ้าย โดยเคลื่อนที่เร็วขึ้นด้วยอัตราสม่ำเสมอ (ความเร่งคงตัว)
- _____ 5. เลื่อนถูกดันให้เคลื่อนที่จากหยุดนิ่ง จนกระทั่งมีความเร็วขนาดหนึ่ง ไปทางขวา แรงใดที่จะทำให้เลื่อนยังคงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วนี้
- _____ 6. เลื่อนกำลังเคลื่อนที่ช้าลงด้วยอัตราสม่ำเสมอและมีความเร่งไปทางขวา
- _____ 7. เลื่อนกำลังเคลื่อนที่ไปทางซ้าย โดยเคลื่อนที่ช้าลงด้วยอัตราสม่ำเสมอ (ความเร่งคงตัว)

คำถามข้อ 8-15 รถของเล่นคันหนึ่งสามารถเคลื่อนที่ไปทางขวาหรือทางซ้ายได้ตามเส้นตรงในแนวระดับ (จุด 0 ในรูป คือ จุดกำเนิดของแกนระยะทาง) กำหนดให้ทิศขวามือคือ ทิศบวก

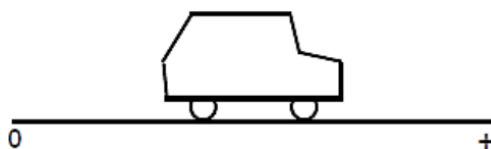


ให้สมมติว่าแรงเสียดทานมีขนาดน้อยมากจนไม่ต้องนำมาคิด ให้เลือกกราฟแรง-เวลา (จาก A ถึง H) หนึ่งกราฟสำหรับข้อความแต่ละข้อข้างล่างซึ่งจะทำให้การเคลื่อนที่ของรถเป็นไปตามที่บรรยาย คุณอาจใช้ตัวเลือกได้มากกว่าหนึ่งครั้งหรือไม่ใช้เลยก็ได้ให้ตอบตัวเลือก J ถ้าไม่มีตัวเลือกใดถูก

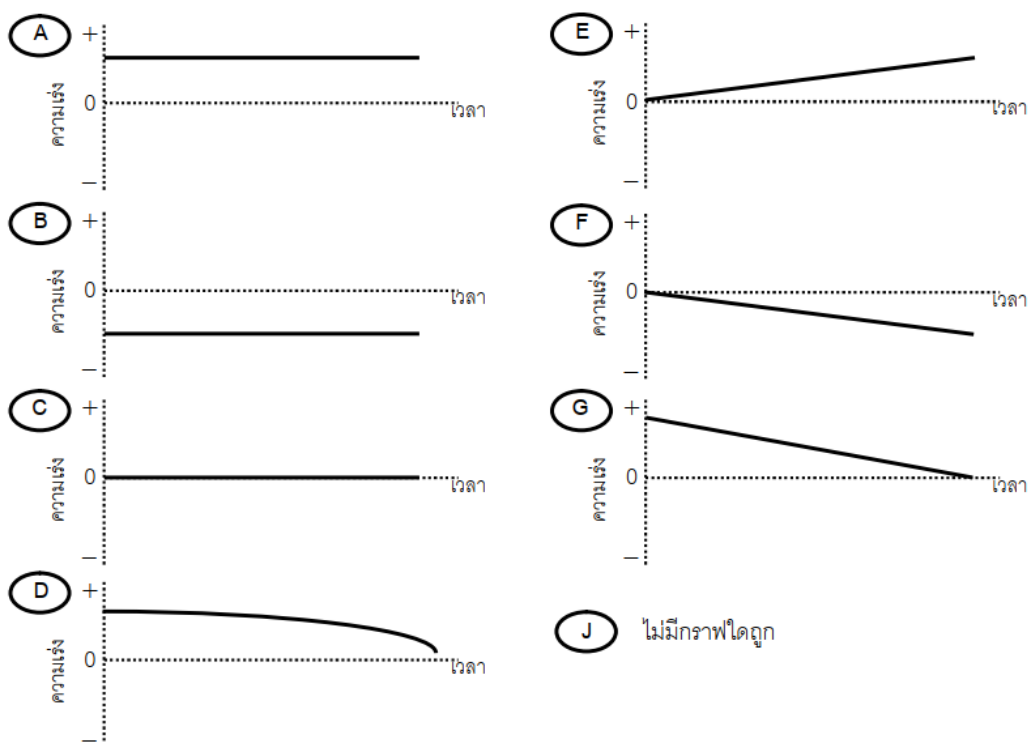
- _____ 8. รถเคลื่อนที่ไปทางขวา (หนีห่างจากจุดกำเนิด) ด้วยความเร็วคงตัว
- _____ 9. รถอยู่นิ่ง
- _____ 10. รถเคลื่อนที่ไปทางขวาโดยเคลื่อนที่เร็วขึ้นด้วยอัตราสม่ำเสมอ(ความเร่งคงตัว)
- _____ 11. รถเคลื่อนที่ไปทางซ้าย(เข้าหาจุดกำเนิด) ด้วยความเร็วคงตัว
- _____ 12. รถเคลื่อนที่ไปทางขวา โดยเคลื่อนที่ช้าลงด้วยอัตราสม่ำเสมอ(ความเร่งคงตัว)
- _____ 13. รถเคลื่อนที่ไปทางซ้ายโดยเคลื่อนที่เร็วขึ้นด้วยอัตราสม่ำเสมอ (ความเร่งคงตัว)
- _____ 14. รถเคลื่อนที่ไปทางขวา โดยเคลื่อนที่เร็วขึ้นแล้วเคลื่อนที่ช้าลง
- _____ 15. รถถูกผลักไปทางขวาแล้วปล่อย กราฟใดบรรยายแรงที่กระทำหลังจากที่รถถูกปล่อย



คำถามข้อ 16 – 20 รถของเล่นคันหนึ่งสามารถเคลื่อนที่ไปทางขวาหรือทางซ้ายได้ ตามเส้นตรงในแนวระดับ (จุด 0 ในรูปคือจุดกำเนิดของแกนระยะทาง) กำหนดให้ทิศขวามือคือทิศบวก

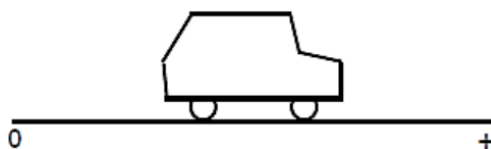


ข้อความข้างล่างบรรยายการเคลื่อนที่ของรถแบบต่าง ๆ ให้เลือกกราฟความเร่ง-เวลา (จาก A ถึง G) ที่สอดคล้องกับการเคลื่อนที่ของรถที่บรรยายในแต่ละข้อ คุณอาจใช้ตัวเลือกได้มากกว่าหนึ่งครั้งหรือไม่ใช้เลยก็ได้ให้ตอบตัวเลือก J ถ้าไม่มีตัวเลือกใดถูก

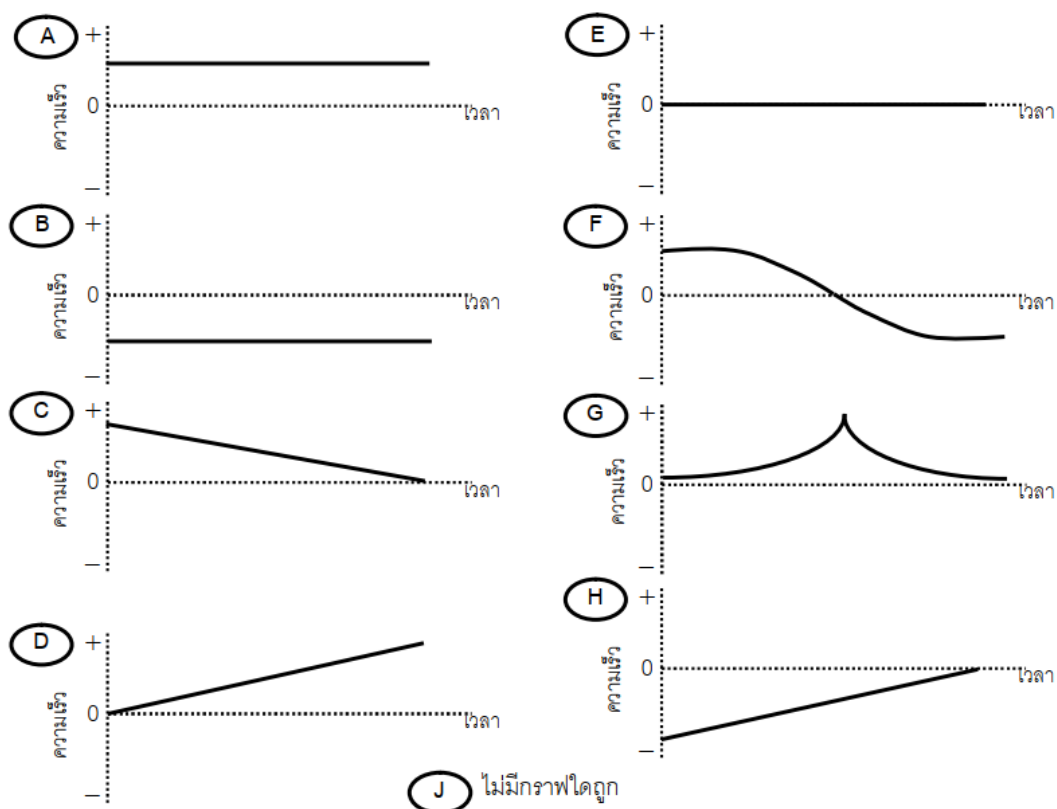


- _____ 16. รถเคลื่อนที่ไปทางขวา (หนีห่างจากจุดกำเนิด) โดยเคลื่อนที่เร็วขึ้นด้วยอัตราสม่ำเสมอ
- _____ 17. รถเคลื่อนที่ไปทางขวา โดยเคลื่อนที่ช้าลงด้วยอัตราสม่ำเสมอ
- _____ 18. รถเคลื่อนที่ไปทางซ้าย (เข้าหาจุดกำเนิด) ด้วยความเร็วคงตัว
- _____ 19. รถเคลื่อนที่ไปทางซ้าย โดยเคลื่อนที่เร็วขึ้นด้วยอัตราสม่ำเสมอ
- _____ 20. รถเคลื่อนที่ไปทางขวาด้วยความเร็วคงตัว

คำถามข้อ 21 – 24 รถของเล่นคันหนึ่งสามารถเคลื่อนที่ไปทางขวาหรือซ้ายตามเส้นตรงในแนวระดับ (จุด 0 ในรูปคือจุดกำเนิดของแกนระยะทาง) กำหนดให้ทิศขวามือคือทิศบวก



เลือกกราฟความเร็ว-เวลา (A – H) ที่สอดคล้องกับการเคลื่อนที่ของรถที่บรรยายในแต่ละข้อข้างล่าง
คุณอาจเลือกกราฟข้อใดข้อหนึ่งได้มากกว่าหนึ่งครั้งหรือไม่เลือกข้อนั้นเลยก็ได้ ให้ตอบตัวเลข J
ถ้าไม่มีตัวเลือกใดถูก



- _____ 21. รถกำลังเคลื่อนที่ไปทางขวา (ออกจากจุดกำเนิด) ด้วยความเร็วคงตัว
- _____ 22. รถมีการเคลื่อนที่ย้อนกลับทิศ
- _____ 23. รถกำลังเคลื่อนที่ไปทางซ้าย (เข้าหาจุดกำเนิด) ด้วยความเร็วคงตัว
- _____ 24. รถกำลังเพิ่ม อัตราเร็ว ด้วยอัตราสม่ำเสมอ

ภาคผนวก ข

แบบประเมินทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

แบบประเมินทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

ทักษะกระบวนการ ออกแบบเชิงวิศวกรรม	รายการประเมิน	เกณฑ์การให้คะแนน		
		3 คะแนน	2 คะแนน	1 คะแนน
1. ระบุปัญหา	1. หุ่นยนต์สามารถตรวจจับพื้นสีขาวและเส้นสีดำ 2. หุ่นยนต์เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในระยะทาง 3 เมตร 3. หุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงที่	3 รายการ	2 รายการ	1 รายการ
2. รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา	เซนเซอร์อินฟราเรด 1. ได้ภาพวงจรไฟฟ้าของเซนเซอร์อินฟราเรด 2. เขียนโปรแกรมสั่งการให้เซนเซอร์อินฟราเรดทำงาน 3. สามารถแสดงค่าสัญญาณเซนเซอร์อินฟราเรดขวาและซ้าย	3 รายการ	2 รายการ	1 รายการ
	การควบคุมมอเตอร์ 1. ได้ภาพวงจรไฟฟ้าของมอเตอร์ 2. เขียนโปรแกรมสั่งการให้หุ่นยนต์ปฏิบัติการเลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวา 3. เขียนโปรแกรมสั่งการให้หุ่นยนต์เดินหน้า ถอยหลัง และหยุด	3 รายการ	2 รายการ	1 รายการ
3. ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา	การออกแบบวงจรไฟฟ้าหุ่นยนต์ 1. ได้ภาพวงจรไฟฟ้าหุ่นยนต์ที่แสดงจุดเชื่อมต่อเซนเซอร์อินฟราเรดซ้ายและขวากับบอร์ด 2. ได้ภาพวงจรไฟฟ้าหุ่นยนต์ที่แสดงจุดเชื่อมต่อมอเตอร์ซ้ายกับชุดขับมอเตอร์	3 รายการ	2 รายการ	1 รายการ

แบบประเมินทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (ต่อ)

ทักษะกระบวนการ ออกแบบเชิงวิศวกรรม	รายการประเมิน	เกณฑ์การให้คะแนน		
		3 คะแนน	2 คะแนน	1 คะแนน
	3. ได้ภาพวงจรไฟฟ้าหุ่นยนต์ที่แสดง จุดเชื่อมต่อมอเตอร์เข้ากับชุดขับ มอเตอร์			
	การออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์ 1. แสดงรายละเอียดรูปร่าง ขนาด ความกว้าง ความยาว ความสูง 2. แสดงหน่วยในการวัดขนาด 3. ได้ภาพร่างหุ่นยนต์ 3 มิติ	3 รายการ	2 รายการ	1 รายการ
4. วางแผนและ ดำเนินการแก้ปัญหา	1. สร้างส่วนฐานหลักมีความกว้าง และความยาวตรงตามแบบ 2. สร้างส่วนฐานรองมีความกว้าง และความยาวตรงตามแบบ 3. ติดตั้งตำแหน่งของเซนเซอร์ อินฟราเรดซ้ายและขวาตรงตามแบบ	3 รายการ	2 รายการ	1 รายการ
5. ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไข วิธีการแก้ปัญหาหรือ ชิ้นงาน	หุ่นยนต์ 1. ตรวจจับพื้นสีขาวและเส้นสีดำ 2. เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในระยะทาง 3 เมตร 3. เคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงที่	3 รายการ	2 รายการ	1 รายการ
	แอปพลิเคชัน Phyphox 1. เชื่อมต่อแอปพลิเคชัน Phyphox ในโทรศัพท์กับคอมพิวเตอร์ 2. แสดงกราฟความเร่งกับเวลา 3. เปิดใช้งานแอปพลิเคชัน Phyphox	3 รายการ	2 รายการ	1 รายการ

แบบประเมินทักษะกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (ต่อ)

ทักษะกระบวนการ ออกแบบเชิงวิศวกรรม	รายการประเมิน	เกณฑ์การให้คะแนน		
		3 คะแนน	2 คะแนน	1 คะแนน
6. นำเสนอวิธีการ แก้ปัญหา ผลการ แก้ปัญหาหรือชิ้นงาน	1. นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการ แก้ปัญหา 2. นำเสนอกกราฟความเร่งกับเวลา 3. อธิบายให้เหตุผลประกอบเรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ในแนวตรง	3 รายการ	2 รายการ	1 รายการ

ภาคผนวก ค
ใบกิจกรรมการเรียนรู้

ใบกิจกรรมที่ 1.1 การระบุปัญหา

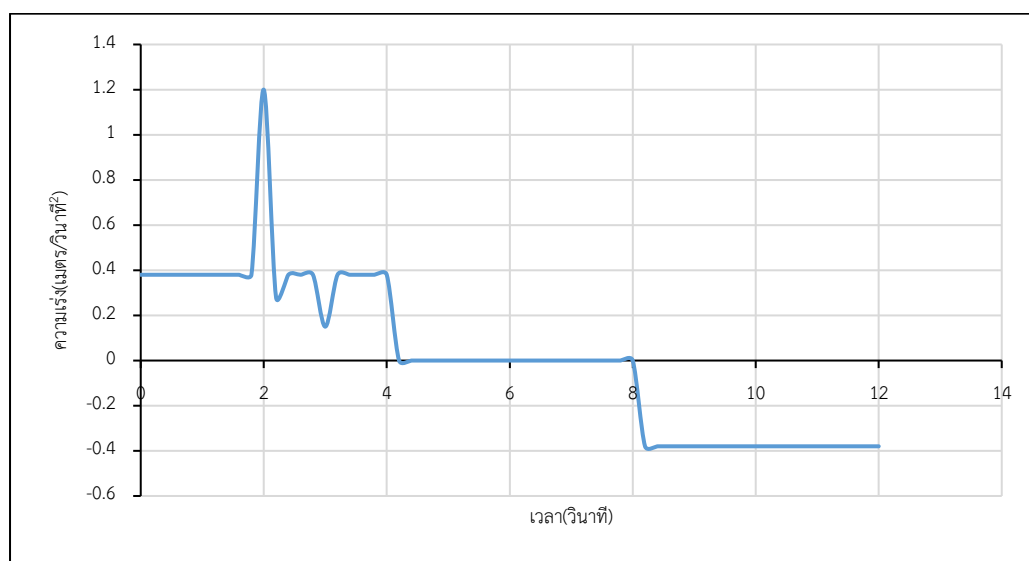
ให้นักเรียนศึกษาการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ดังต่อไปนี้แล้วตอบคำถามที่ 1

ในบริษัทขนส่งพัสดุแห่งหนึ่งได้จ้างให้วิศวกรสร้างหุ่นยนต์ เพื่อขนส่งสินค้าไปยังส่วนต่าง ๆ ภายในคลังสินค้าซึ่งมีสินค้าจำนวนมาก วิศวกรจึงวัดระยะทางระหว่างจุดรับส่งสินค้าแล้วคำนวณ จากนั้นออกแบบหุ่นยนต์ให้บรรทุกสินค้าไปยังชั้นวางสินค้าในระยะทาง 12 เมตร โดยกำหนดให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร่ง $0.38 \text{ เมตร/วินาที}^2$ ในช่วงระยะทาง 3 เมตรแรก จากนั้นเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ในช่วงระยะทาง 6 เมตร และเคลื่อนที่ด้วยความหน่วง $0.38 \text{ เมตร/วินาที}^2$ ในช่วงระยะทาง 3 เมตรสุดท้ายดังภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

หลังจากที่ออกแบบและคำนวณความเร่งเรียบร้อยแล้ว วิศวกรได้ทดสอบหุ่นยนต์ พบว่า หุ่นยนต์เคลื่อนที่ที่ไม่ราบรื่นทำให้พัสดุที่บรรทุกตกหล่นระหว่างทางที่ขนส่งสินค้า เมื่อตรวจสอบค่าความเร่งจากเซนเซอร์วัดความเร่งได้กราฟความสัมพันธ์ความเร่งกับเวลา ดังภาพที่ 1.2



ภาพที่ 1.2 กราฟความเร่งของหุ่นยนต์

คำถามที่ 1 หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไม่ราบรื่นทำให้พัสดุที่บรรจุทุกตกหล่นระหว่างทางที่ขนส่งสินค้าเกิดขึ้นในช่วงใด และวิศวกรควรแก้ไขหุ่นยนต์เคลื่อนที่อย่างไรในช่วง 4 วินาทีแรก ให้นักเรียนเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

ข้อ 1.1	ช่วงระยะทาง	ข้อ 1.2	การแก้ไขหุ่นยนต์
1	3 เมตร	1	หุ่นยนต์มีความเร็วเพิ่มขึ้น
2	6 เมตร	2	หุ่นยนต์มีความเร็วลดลง
3	9 เมตร	3	แก้ไขให้หุ่นยนต์มีความเร็วสม่ำเสมอ
4	12 เมตร	4	แก้ไขให้หุ่นยนต์ไม่มีความเร็ว

ให้นักเรียนศึกษาการสะท้อนของสัญญาณอินฟราเรดแล้วตอบคำถามที่ 2

วิศวกรได้เลือกใช้เซนเซอร์อินฟราเรดในการกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ โดยอาศัยหลักการสะท้อนของสัญญาณแสงอินฟราเรด ซึ่งเซนเซอร์อินฟราเรดประกอบไปด้วยตัวรับและตัวส่งสัญญาณ ในสภาวะการทำงานปกติตัวรับ (Receiver) จะสามารถรับสัญญาณแสงจากตัวส่ง (Emitter) ได้ตลอดเวลา ซึ่งจะแสดงค่าสัญญาณดิจิทัลเป็น 0 เมื่อวัตถุผ่านเข้ามาที่หน้าเซนเซอร์แล้ว จะทำการขวางลำแสงที่ส่งจากตัวส่ง จึงทำให้ตัวรับไม่สามารถรับลำแสงที่จะสะท้อนกลับมา ซึ่งจะแสดงค่าสัญญาณดิจิทัลเป็น 1 เมื่อวิศวกรทดสอบการสะท้อนของสัญญาณแสงบนพื้นผิวสีต่าง ๆ ได้ค่าสัญญาณดิจิทัล ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แสดงผลการทดสอบเซนเซอร์อินฟราเรดกับสีต่าง ๆ

สี	ค่าสัญญาณดิจิทัลของเซนเซอร์อินฟราเรด				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
ขาว	0	0	0	0	0
เหลือง	0	0	1	1	0
ฟ้า	0	1	0	1	1
ม่วง	1	1	0	0	1
ดำ	1	1	1	1	1

คำถามที่ 2 ถ้านักเรียนเป็นวิศวกรจะเลือกสีใดในการทำสีพื้นและสีเส้นสำหรับหุ่นยนต์ ให้นักเรียนจับคู่ระหว่างสีพื้นกับสีเส้น

สีพื้น	ข้อ
ขาว	1
เหลือง	2
ฟ้า	3
ม่วง	4
ดำ	5

ข้อ	สีเส้น
1	ขาว
2	เหลือง
3	ฟ้า
4	ม่วง
5	ดำ

สรุปเงื่อนไขในการสร้างหุ่นยนต์

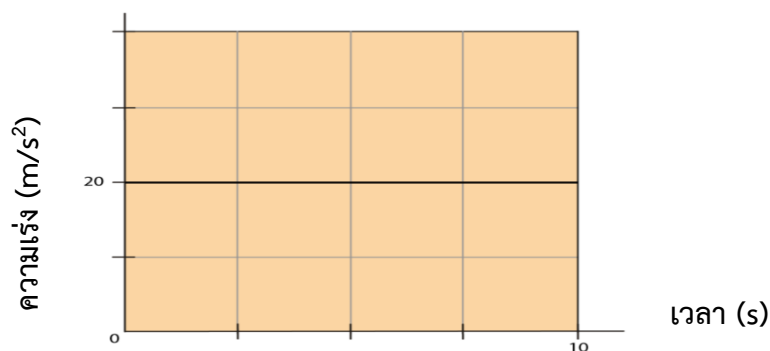
.....

.....

.....

โจทย์ปัญหา

1. รถไฟอยู่บนรางรถไฟที่เป็นเส้นตรง กราฟด้านล่างแสดงความเร่งรถไฟ เป็นเวลา 10 วินาที



ข้อใดคือคำอธิบายจากกราฟนี้

☐	รถไฟกำลังเคลื่อนที่ไปตามรางรถไฟ
☐	รถไฟหยุดนิ่ง
☐	รถไฟกำลังเคลื่อนด้วยความเร่งคงที่
☐	รถไฟกำลังเพิ่มความเร่งขึ้นอย่างต่อเนื่อง

2. ผู้โดยสารในรถไฟบันทึกเวลาโดยใช้นาฬิกาจับเวลาขณะที่รถไฟวิ่งผ่านเสาที่อยู่ข้างทางรถไฟ โดยแต่ละเสาห่างกัน 5 กิโลเมตร ผลการบันทึก:

ระยะทางการเคลื่อนที่ (km)	0	5	10	15	20	25
เวลา (s)	0	200	390	570	740	900

2.1 รถไฟกำลังทำอะไรต่อไปนี้

☐	เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่
☐	เพิ่มความเร็วขึ้นอย่างต่อเนื่อง
☐	ลดความเร็วลงอย่างต่อเนื่อง
☐	เพิ่มความเร็วขึ้นจากนั้นลดความเร็วลง
☐	ลดความเร็วลงจากนั้นเพิ่มความเร็วขึ้น

2.2 อธิบายคำตอบในข้อ 2.1

[illegible]

ใบกิจกรรมที่ 2.1 เซนเซอร์อินฟราเรด

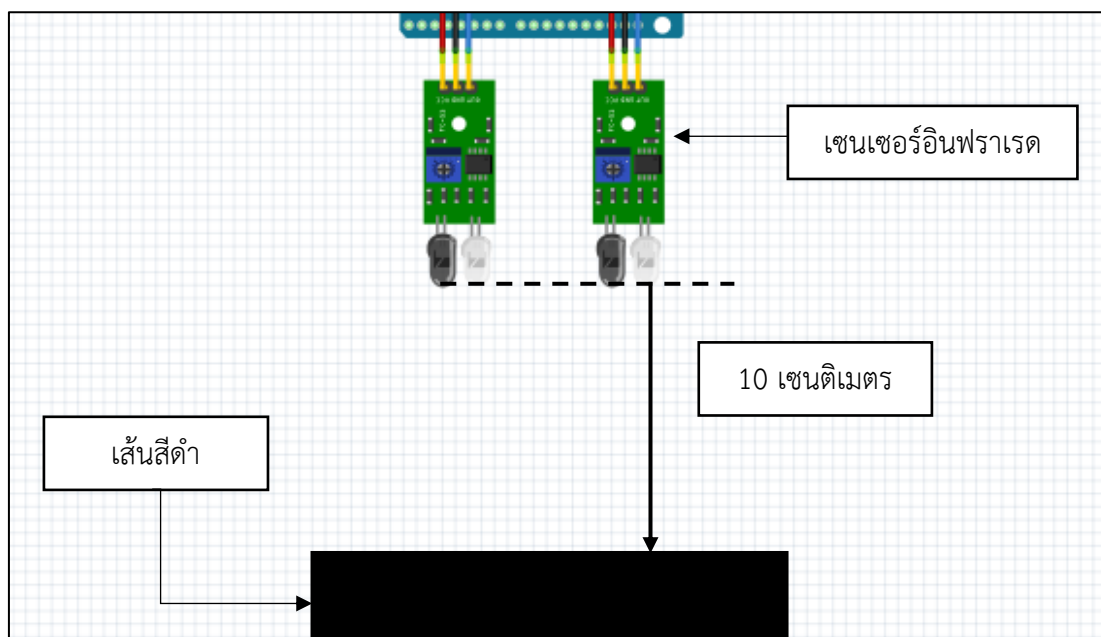
1. อัปเดตโปรแกรมในใบความรู้ที่ 2 สั่งการเซนเซอร์อินฟราเรดของหุ่นยนต์ตัวอย่าง บันทึกผลการทำงานของ เซนเซอร์อินฟราเรด

.....

.....

.....

2. ให้หาความสูงที่เหมาะสมในการติดตั้งเซนเซอร์อินฟราเรด โดยยกหุ่นยนต์ตัวอย่างให้สูงจากพื้น 10 เซนติเมตร แล้วค่อย ๆ ลดระดับลงมาจนถึงพื้น วัดความสูงตรงที่สามารถอ่านค่าสัญญาณพื้นสีขาวเป็น (0, 0) และวัดความสูงในตำแหน่งอ่านค่าสัญญาณเส้นสีดำเป็น (1, 1)



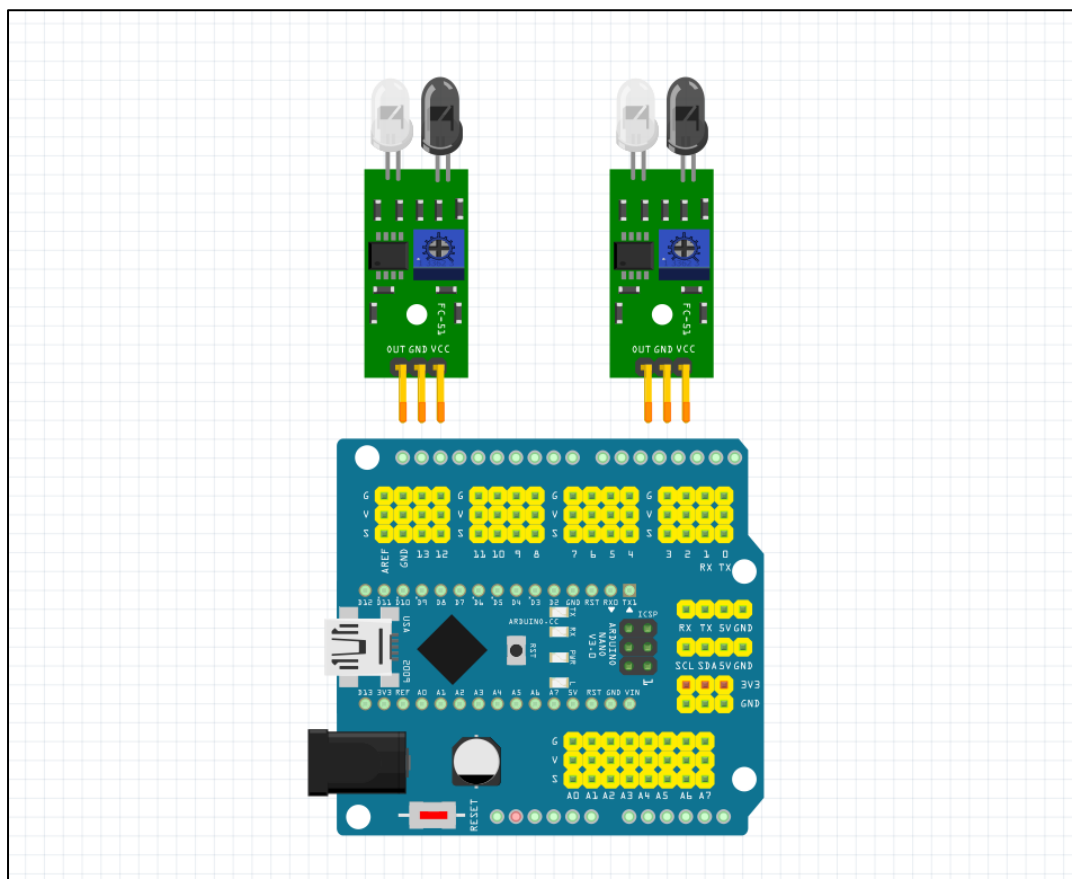
บันทึกผลการทำงานของเซนเซอร์อินฟราเรด

.....

.....

.....

3. ออกแบบวงจรไฟฟ้าสำหรับหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติให้ขับเคลื่อน 2 ล้อด้วยความแรงคงที่ได้ โดยลากเส้นเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ ดังรูป และทดลองต่อวงจรไฟฟ้าที่ออกแบบโดยใช้อุปกรณ์ที่กำหนดให้



4. อธิบายถึงวงจรไฟฟ้าที่ออกแบบในข้อ 3 มีการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์อย่างไร

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5. เติมตัวเลขให้สอดคล้องกับจุดเชื่อมต่อในวงจรตามข้อ 3 เพื่อกำหนดโหมดการทำงานในโปรแกรม

```
int sensorL = .....;
int sensorR = .....;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(.....,.....);
  pinMode(.....,.....);
}

void loop() {
  sensorL = digitalRead(.....); //อ่านค่าสัญญาณ digital ขา D..... ที่ต่อกับ เซนเซอร์ซ้าย
  Serial.print("\t sensorL=");
  Serial.println(sensorL); // แสดงค่าเซนเซอร์ออกทางหน้าจอ
  sensorR = digitalRead(.....); //อ่านค่าสัญญาณ digital ขา D..... ที่ต่อกับ เซนเซอร์ขวา
  Serial.print("\t sensorR=");
  Serial.println(sensorR); // แสดงค่าเซนเซอร์ออกทางหน้าจอ
  delay(1000);
}
```

6. อัฟโฟลด์โปรแกรมในข้อ 5 ลงในวงจรไฟฟ้าสำหรับเบสเซอร์อินฟราเรด บันทึกผลการทำงาน

[illegible]

ใบกิจกรรมที่ 3.1 การควบคุมมอเตอร์ขับเคลื่อน 2 ล้อ

1. ให้อัปโหลดโปรแกรมในใบความรู้ที่ 3 สั่งการมอเตอร์ของหุ่นยนต์ตัวอย่าง บันทึกผลการทำงานของมอเตอร์

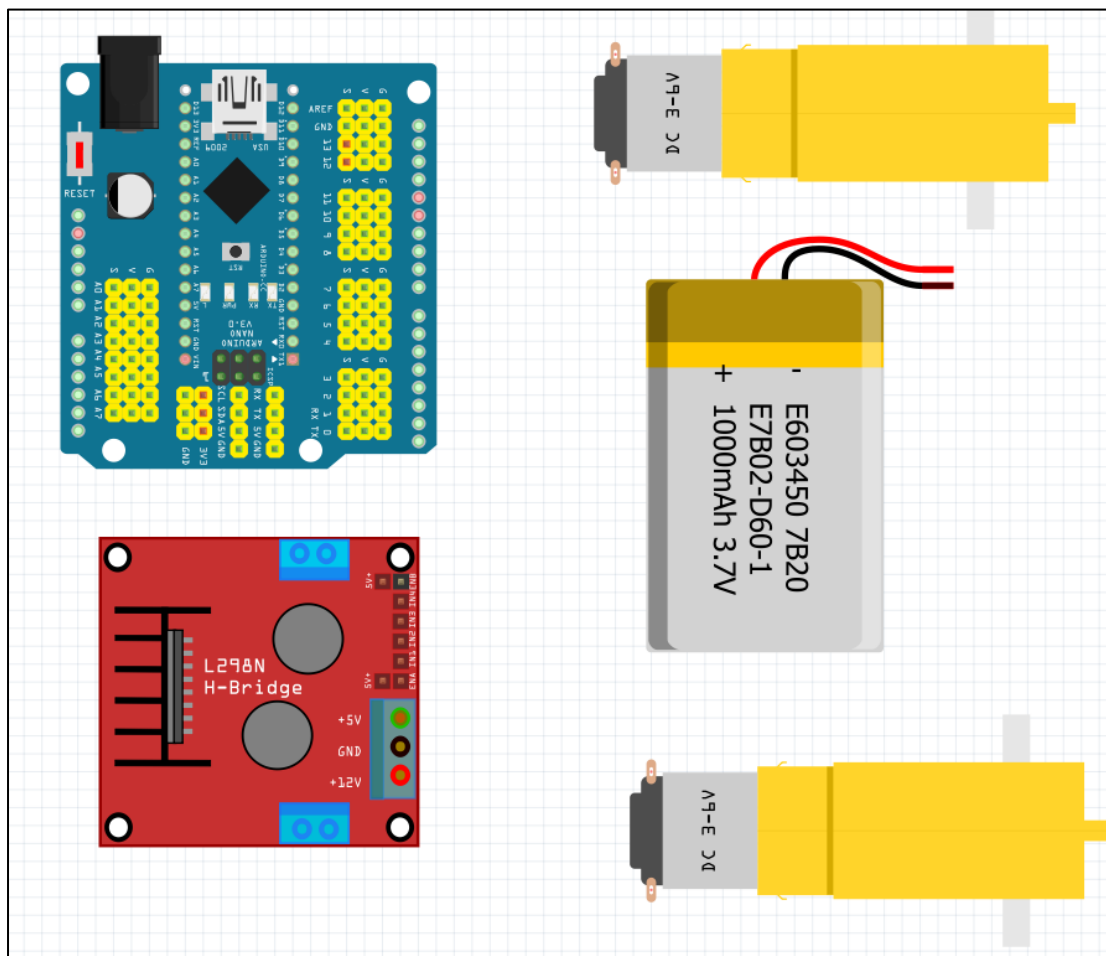
.....

.....

.....

.....

2. ออกแบบวงจรไฟฟ้าสำหรับหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติให้ขับเคลื่อน 2 ล้อ โดยลากเส้นเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ ดังรูป จากนั้นทดลองต่อวงจรไฟฟ้าที่ออกแบบโดยใช้อุปกรณ์ที่กำหนดให้



3. อธิบายถึงวงจรไฟฟ้าที่ออกแบบในข้อ 2 มีการเชื่อมต่อกันระหว่างอุปกรณ์อย่างไร

.....

.....

.....

.....

4. เติมตัวเลขให้สอดคล้องกับจุดเชื่อมต่อในวงจรตามข้อ 2 เพื่อกำหนดโหมดการทำงานในโปรแกรม

```
int vSpeed = .....;    // MAX 255
int turn_speed = .....; // MAX 255
int motorA1 = .....; // มอเตอร์ซ้าย
int motorA2 = .....;
int motorASpeed = .....; // เพื่อให้ PWM สามารถควบคุมความเร็วมอเตอร์
int motorB1 = .....; // มอเตอร์ขวา
int motorB2 = .....;
int motorBspeed = .....; // เพื่อให้ PWM สามารถควบคุมความเร็วมอเตอร์
void setup(){
  Serial.begin(9600);
  pinMode(motorA1,.....);
  pinMode(motorA2,.....);
  pinMode(motorASpeed,.....);
  pinMode(motorB1,.....);
  pinMode(motorB2,.....);
  pinMode(motorBspeed,.....);}
```

5. อัปโหลดโปรแกรมในข้อ 4 ลงในวงจรไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ บันทึกผลการทำงาน

.....

.....

.....

.....

.....

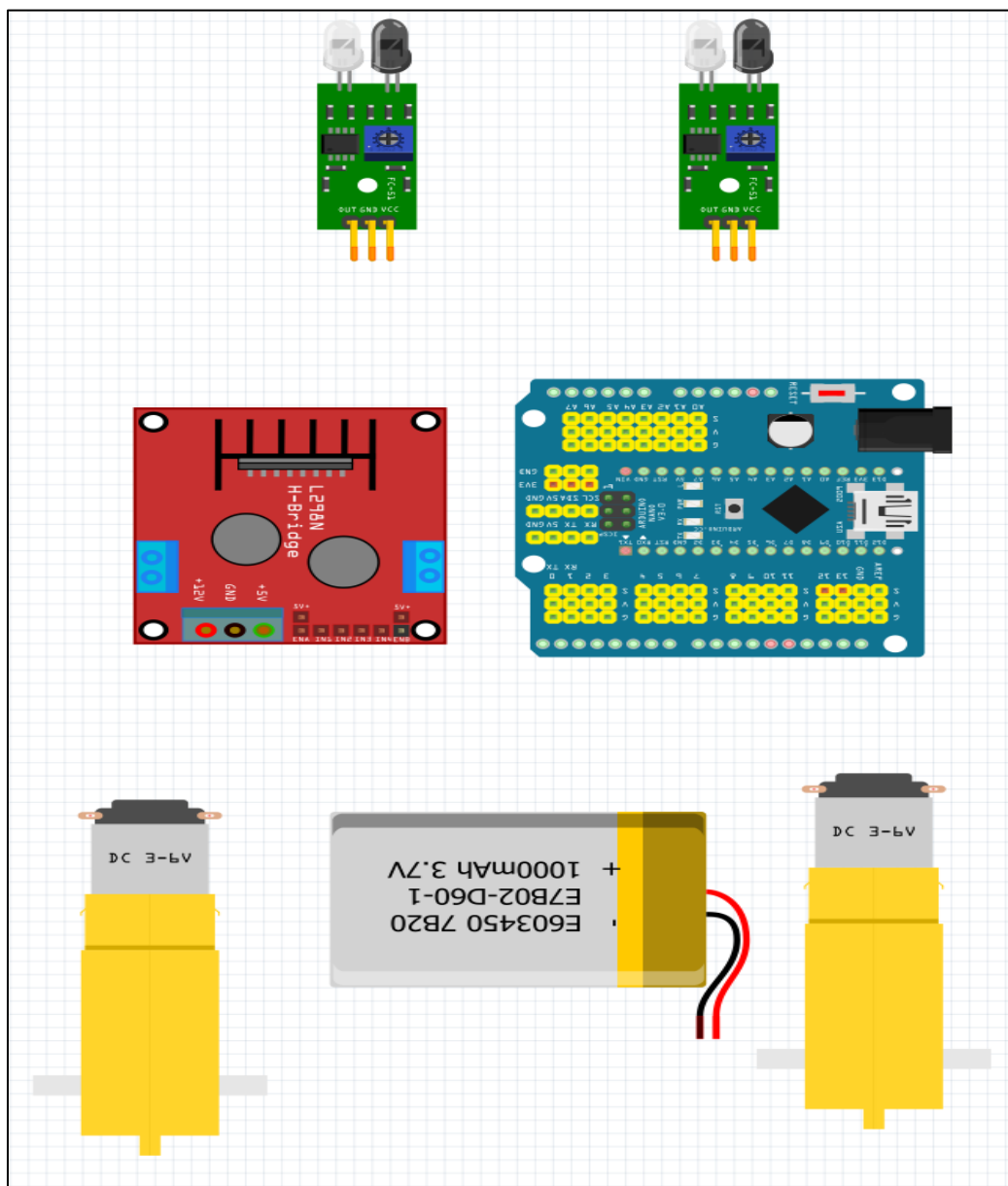
ใบกิจกรรมที่ 4.1 การออกแบบวงจรไฟฟ้าหุ่นยนต์ขับเคลื่อน 2 ล้อ

1. ให้อัปโหลดโปรแกรมในใบความรู้ที่ 4 สิ่งการทำงานหุ่นยนต์ตัวอย่างให้ทำงานอัตโนมัติ แล้วบันทึกผลการทำงานของหุ่นยนต์

.....

.....

2. ให้ออกแบบวงจรไฟฟ้าสำหรับหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติให้มีการตรวจจับพื้นสีขาวและเส้นสีดำ โดยใช้เซนเซอร์อินฟราเรดและขับเคลื่อน 2 ล้อ โดยลากเส้นเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ จากนั้นทดลองต่อวงจรไฟฟ้าที่ออกแบบโดยใช้อุปกรณ์ที่กำหนดให้



3. อธิบายถึงวงจรไฟฟ้าที่ออกแบบในข้อ 2 มีการเชื่อมต่อกันระหว่างอุปกรณ์อย่างไร

.....

.....

.....

.....

.....

4. เติมตัวเลขให้สอดคล้องกับจุดเชื่อมต่อในวงจรตามข้อ 2 เพื่อกำหนดโหมดการทำงานในโปรแกรม

```
int vSpeed = .....;    // สูงสุด 255
int turn_speed = .....; // สูงสุด 255
int turn_delay = .....;
//L293 Connection
const int motorA1    = .....;
const int motorA2    = .....;
const int motorAspeed = .....;
const int motorB1    = .....;
const int motorB2    = .....;
const int motorBspeed =.....;
//Sensor Connection
const int left_sensor_pin =.....;
const int right_sensor_pin =.....;
int left_sensor_state;
int right_sensor_state;
```

5. อัปโหลดโปรแกรมในข้อ 4 ลงในวงจรไฟฟ้าสำหรับหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ จากนั้นบันทึกผลการทำงาน

.....

.....

.....

.....

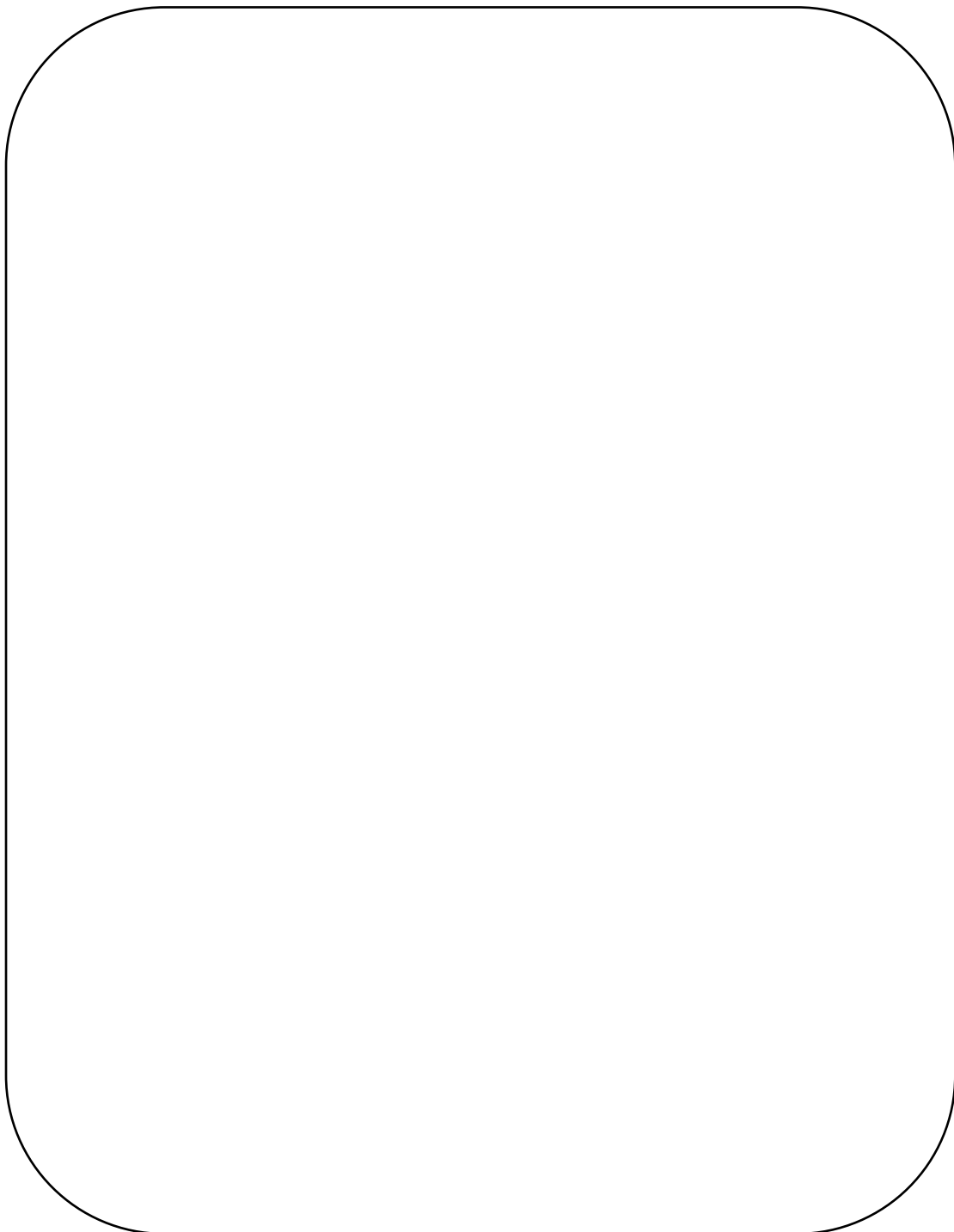
.....

.....

.....

ใบกิจกรรมที่ 5.1 การออกแบบและสร้างหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ

1. ออกแบบและสร้างหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ โดยใช้วงจรไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ตามที่ออกแบบไว้ โดยมีลักษณะการใช้งานที่สัมพันธ์กับหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติที่สามารถบรรจุทุกโทรศัพท์มือถือได้ ภาพร่างของหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ (ระบุขนาด สัดส่วนของอุปกรณ์ การประกอบชิ้นส่วน)



2. วัสดุและอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการสร้างหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ

This image shows a full page of white paper with horizontal dashed lines, typical of primary school handwriting practice paper. The lines are evenly spaced and run across the entire width of the page. There are no margins, text, or other markings present.

3. อธิบายถึงลักษณะการทำงานของหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติที่สร้างขึ้น มีการทำงานโดยอัตโนมัติอย่างไร

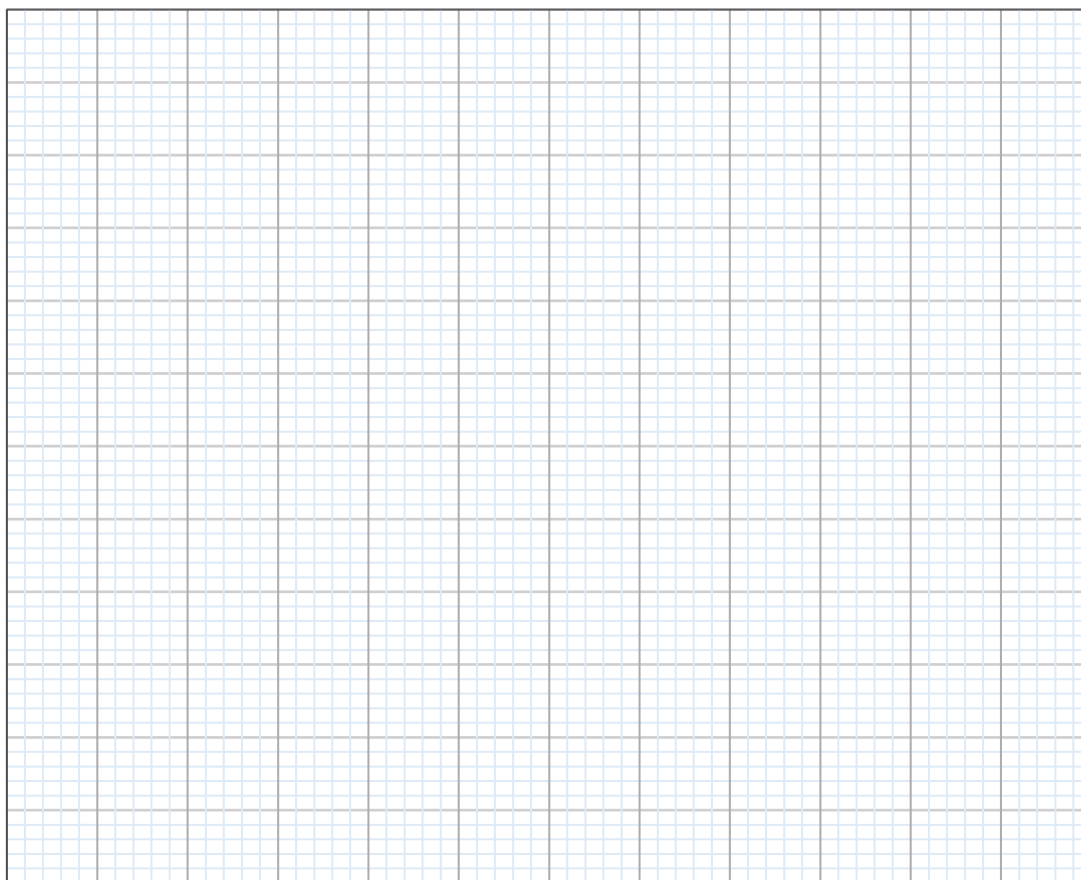
[illegible]

ใบกิจกรรมที่ 6.1

การศึกษาความเร่งของหุ่นยนต์ขับเคลื่อน 2 ล้อ โดยแอปพลิเคชัน Phyphox

1. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลา (แสดงข้อมูลเฉพาะช่วงความเร่งคงที่)

ความเร่ง (m/s^2)										
เวลา (s)										



2. ผลการทดสอบและประเมินผลหุ่นยนต์เดินตามเส้นอัตโนมัติ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. อธิบายกราฟในข้อ 1 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์มีความเร่งเป็นอย่างไร

.....

.....

.....

.....

.....

4. จากกราฟในข้อ 1 ความเร็วสูงสุดของหุ่นยนต์มีค่าเป็นเท่าไร ให้แสดงวิธีทำ

.....

.....

.....

.....

.....

5. วิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหา

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

6. สรุปผลการทำงาน

.....

.....

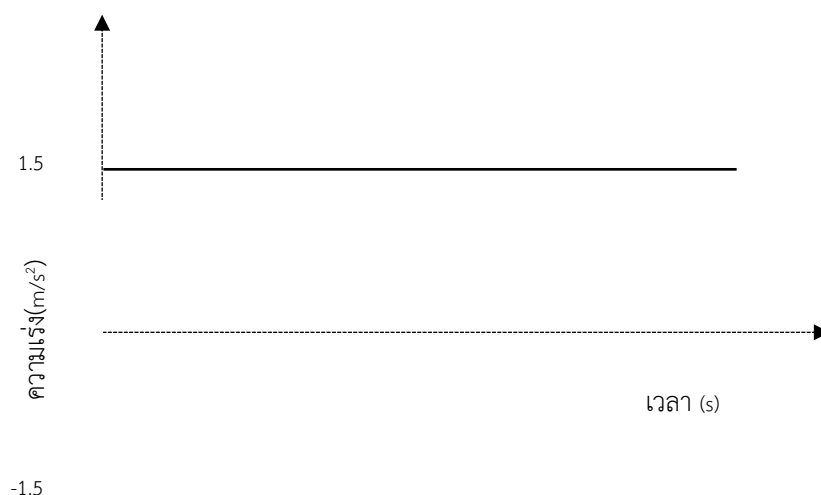
.....

.....

.....

คำถามท้ายกิจกรรม

1. หุ่นยนต์ตัวหนึ่งมีมวล 2 kg เคลื่อนที่ไปทางขวาในแนวระดับเป็นเส้นตรง ด้วยความเร่งคงที่ 1.5 m/s^2 ถ้านำค่าที่ได้มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับเวลา โดยให้ค่าของแรงเป็นแกนตั้งและเวลาเป็นแกนนอนกราฟที่ได้จะเป็นอย่างไร (จงวาดกราฟ)



กราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับเวลา

.....

.....

.....

.....

.....

2. จากข้อ 1 หุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยแรงกี่นิวตัน

.....

.....

.....

.....

.....

ภาคผนวก ง

รายนามผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือวิจัย

รายนามผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุระ วุฒิพรหม อาจารย์ ประจำหลักสูตร ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
2. ดร.โชคชัย แจวจิารณ์ ครู กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
โรงเรียนหาดใหญ่วิทยาลัย
3. ดร.ศักดิ์ชัย ราชนิยม ครู กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
โรงเรียนมรรณพาราม

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นายเอกพงศ์ บัวชุม
ประวัติการศึกษา	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, พ.ศ. 2547 – 2551 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, พ.ศ. 2551 – 2552 ประกาศนียบัตรบัณฑิตวิชาชีพครู มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, พ.ศ. 2556 – 2558 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2552 – 2556 โรงเรียนโพนสวรรค์ราษฎร์พัฒนา จังหวัดนครพนม พ.ศ. 2556 – 2559 โรงเรียนศรีคุณวิทยบาลลังก์ จังหวัดอำนาจเจริญ พ.ศ. 2559 – ปัจจุบัน โรงเรียนอำนาจเจริญ จังหวัดอำนาจเจริญ
ตำแหน่ง	ครู
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	โรงเรียนอำนาจเจริญ จังหวัดอำนาจเจริญ สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาอุบลราชธานี อำนาจเจริญ โทรศัพท์ (089) 5074757 อีเมล Physics527@hotmail.com