



## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

หุ่นยนต์ต้นไม้เฟสสอง: ป่าแห่งการเรียนรู้  
Teaching Assistant Tree-Robot Phase II: the Learning Forest



นายปิติเขต สุรักษา  
นายกฤตากร กล่อมการ

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2558

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

หุ่นยนต์ต้นไม้เฟสสอง: ป่าแห่งการเรียนรู้

Teaching Assistant Tree-Robot Phase II: the Learning Forest



ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2558

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้... การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) หุ่นยนต์ต้นไม้วัดช่วยครูเฟสสอง: ป่าแห่งการเรียนรู้

แหล่งเงิน งบประมาณแผ่นดิน

ประจำปีงบประมาณ 2558 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 2,186,000.00 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ต.ค. 2557 ถึง 30 ก.ย. 2558

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

นายปิติเชต สุริรักษา ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

นายกฤตการ กล่อมการ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ขยายผลการใช้หุ่นยนต์ต้นไม้วัดช่วยครูเฟสที่ผ่านมาซึ่งสามารถเชื่อมต่อกับคลังข้อมูลที่สามารถเข้าถึงพหุสื่อได้โดยอุปกรณ์มือถือหรือคอมพิวเตอร์พกพาของผู้เรียนรวมถึงการปรับสภาพบรรยากาศเพื่อสิ่งแวดล้อมที่สะอาดปราศจากอากาศพิษภายในห้องเรียน ในเฟสนี้ได้ขยายผลโดยให้หุ่นยนต์ต้นไม้วัดเชื่อมต่อกับโหนดเรียนรู้อื่น ๆ ที่อยู่รอบบริเวณศูนย์กลางต้นไม้วัดหุ่นยนต์เพื่อเป็นการยกระดับคลังความรู้จากห้องเรียนสู่ชุมชนเป็นป่าแห่งการเรียนรู้สอดคล้องกับการสร้างสังคมอุดมปัญญา เพื่อจัดข้อจำกัดทางกายภาพที่ผู้เรียนเป็นเพียงผู้รับสื่อทางเดียว หลักการออกแบบป่าแห่งการเรียนรู้เน้นใช้หลัก “ธารกระแส (ปัญญา)” หรือ STEAM ซึ่งสนธิองค์ความรู้วิทยาศาสตร์ (Science) เทคโนโลยี (Technology) วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering) ศิลปะ (Art) และคณิตศาสตร์ (Mathematics) เข้าด้วยกัน เพื่อให้เกิดมิติการเชื่อมโยงองค์ความรู้และนวัตกรรมสู่การขยายผลวงกว้างของกระบวนการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์เชิงรุกตามยุทธศาสตร์การพัฒนากำลังคนของประเทศไทยต่อไป

คำสำคัญ : ต้นไม้ หุ่นยนต์ การสอน การเรียนรู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Research Title: Teaching Assistant Tree-Robot Phase II: the Learning Forest****Researcher:** Pitikhate Sooraksa and Kitdakorn Klomkarn**Faculty:** Engineering**Department:** Computer Engineering**ABSTRACT**

This research is the extended of usability of the teaching assistant tree-robot from the previous phase. In phase I, the tree-bot is connected with the database, can be accessed via students' mobile phone, and is programmed to control precipitation for clean-classroom environment. In this phase, the robot is served as a node for community learning to leverage wisdom society. The new learning channels eliminate limitation of passive learning by providing forest of learning. The forest of leaning is designed based upon the STEAM principle as integration of Science, Technology, Engineering, Art, and Mathematics, to establish the link between the body of knowledge and innovation for enhancing future active-learning curriculums in sciences and engineering in accordance with human resources development strategy of Thailand.

**Keywords :** tree, robot, pedagogy, learning

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

“การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน โดยสภาวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่จัดสรรให้กับสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 ”

คณะวิจัยขอขอบคุณ ดร. สุวิไล อารีจิตต์ ดร. ภูมิศ พยัคฆวรรณ นายสุธีร์ แสงมณีพร นายทรงวุฒิ บุญอุย นายรัชพงษ์ พงศ์สุทธิยากร และนายศักดิ์ ศาครตนันท์ ที่ช่วยงาน โครงสร้างเชิงกลของหุ่นยนต์ต้นไม้ และ ดร. อนุรักษ์ จันทร์ศรี ในด้านช่วยเขียนโปรแกรมการควบคุมและสื่อสาร ขอขอบคุณนางสาวปัทมณิการ์ เรณูเกสร สำหรับช่วยเขียนโปรแกรมสร้างภาพ เชื่อมต่ออุปกรณ์พิมพ์ความร้อนตลอดจนเชื่อมโยงอุปกรณ์ต่างๆ เป็นเครือข่ายอินเทอร์เน็ตและสมาร์ตโฟนเสมือนจำลองอินเทอร์เน็ตของทุกสิ่ง (IoT) อีกทั้งการสืบค้นเอกสารสิทธิบัตร

นายฉัฐพล ผลเจริญพงศ์ นายสถิตธรรม สังข์ทอง และนายทศพร อากุลช่วยงานในการออกแบบจำลองผลด้วยคอมพิวเตอร์ และทดสอบระบบพลศาสตร์ต้นไม้อิเล็กทรอนิกส์เชิงกล

ขอขอบคุณนักศึกษาปริญญาโทนายอุดมสิทธิ์ ตั้งตระกูลไพศาล ช่วยงานด้านระบบเครือข่ายและโปรโตคอลหุ่นยนต์ WIFI และ 4G และนักศึกษาปริญญาตรีอีกหลายคนที่ไม่ได้เอ่ยนาม ณ ที่นี้ที่ช่วยในการทดลองภาคสนาม

นายปิณฑ

สุรักษา

นายกฤตการ

กล่อมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	II
กิตติกรรมประกาศ .....	III
สารบัญ .....	IV
สารบัญตาราง .....	V
สารบัญภาพ .....	VI
<b>บทที่ 1 บทนำ</b> .....	<b>1</b>
1.1 ภูมิหลัง .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย .....	3
1.4 กรอบแนวคิดของโครงการวิจัย .....	3
1.5 แผนการดำเนินงานโครงการวิจัย .....	4
<b>บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b> .....	<b>5</b>
2.1 เอกสารวิจัยและสิทธิบัตร .....	5
2.2 ตัวสังเกตข้อมูลสื่อสารและอัลกอริทึม .....	9
<b>บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย</b> .....	<b>12</b>
3.1 ระเบียบวิธีวิจัยและการดำเนินงาน โดยสังเขป .....	12
3.2 การดำเนินการเรียนรู้ตามแบบ STEAM .....	15
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัย</b> .....	<b>24</b>
4.1 ผลลัพธ์เชิงเทคนิค .....	24
4.2 ผลกระทบ (Outcome) .....	37
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b> .....	<b>42</b>
5.1 บทสรุป .....	42
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	43
<b>เอกสารอ้างอิง</b> .....	<b>44</b>
<b>ภาคผนวก</b> .....	<b>50</b>
<b>ประวัตินักวิจัย</b> .....	<b>52</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนงานและกิจกรรมที่ปฏิบัติได้จริง .....	4
4.1 ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของวัสดุที่ใช้สอดภายในกึ่งเทียม .....	25
4.2 ผลการวัดความเข้มแสงเทียบจากโคนถึงกึ่งภายในลำต้น (แสดงค่าเพียง 10 ค่าแรก) .....	27
4.3 ผลการทดสอบกลไกการควบคุมปริมาณเชื้อโรคใน โครงสร้างภายในหน่วยการเรียนรู้หุ่นยนต์ต้นไม้ .....	27



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 บั้วหุ่นยนต์สร้าง โดยคณะทำงานเพื่อการตรวจสอบน้ำและสิ่งแวดล้อมที่สามารถส่งข้อมูลออนไลน์ได้ด้วยตนเองซึ่งสามารถส่งข้อมูลที่ร้องขอจากผู้ใช้ผ่านเครือข่ายสื่อสารไร้สาย ซึ่งเป็นตัวอย่างหนึ่งที่ยขยายการเรียนรู้จากห้องเรียนปะทะสังสรรค์ (Interaction) กับสิ่งแวดล้อม .....	2
1.2 กรอบแนวคิดการเชื่อมต่อหน่วยประกอบหลักของระบบหุ่นยนต์ต้นไม้เป็นป่าแห่งการเรียนรู้ .....	3
2.1 โครงสร้างส่วนอุปกรณ์ช่วยสอนระหว่างหุ่นยนต์ต่อหุ่นยนต์ [56] .....	8
2.2 หุ่นยนต์เชื่อมต่อและแชร์ข้อมูลกันด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ต [57] .....	8
3.1 หุ่นยนต์ต้นไม้และเครือข่าย (ก) หุ่นยนต์คอกบัวดิน 1 (ข) หุ่นยนต์ Virtual 3D (ค) หุ่นยนต์คอกบัวน้ำ .....	13
3.1 (ต่อ) หุ่นยนต์ต้นไม้และเครือข่าย (ง) หุ่นยนต์คอกบัวดิน 2 (จ) หุ่นยนต์คอกบัวฟ้า (ฉ) หุ่นยนต์ต้นไม้เฉลิมพระเกียรติฯ .....	14
3.2 ตำแหน่งหุ่นยนต์ต้นไม้และบริเวณไหนคอกบัวหุ่นยนต์ .....	15
3.3 แผนผังโครงสร้างการทำงานของตัวกรอง Kalman .....	16
3.4 แบบหุ่นยนต์ต้นไม้ KMiL .....	17
3.5 การสร้างตามแบบทางวิทยาศาสตร์กลไกลำเลียงของน้ำและอาหารของต้นไม้ (ก) การเลียนแบบโครงสร้างกลางลำต้น (ข) โครงสร้างตามหลักวิทยาศาสตร์ [60] .....	18
3.6 การสร้างสายอากาศเพื่อแผ่คลื่นข้อมูลสื่อสารตามแนวคิดเทคโนโลยี [61-63] .....	19
3.7 การปรับให้ได้การถ่ายทอดกำลังสูงสุดในการแพร่กระจายคลื่นพหุสื่อ โดยใช้แผนภูมิ Smith .....	20
3.8 การแปลงลักษณะของหุ่นยนต์ต้นไม้ KMiL .....	21
3.9 แนวคิดการผนวกวิศวกรรมในศิลปกรรม .....	22
3.10 อภิธานศัพท์ลักษณะ “จักรีวงศ์” .....	22
3.11 วงเกลียวเลขจำนวนเฉพาะตัดแปลงจากแบบฉบับของ Ulam [67, 69] .....	23
4.1 ตัวอย่างความเค้นที่ทำต่อวัสดุเสริมกิ่งเมื่อรับ load ที่น้ำหนัก 10 กิโลกรัม .....	25
4.2 ผังแกนควบคุมต้นไม้และระบบฆ่าเชื้อภายในลำต้น .....	26
4.3 หน้าแรกของส่วนประสบการณ์ผู้เรียน .....	28
4.4 หน้าสองของส่วนประสบการณ์ผู้เรียน .....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.5 หน้าสามของส่วนประสบการณ์ผู้เรียน .....	29
4.6 หน้าสี่ของส่วนประสบการณ์ผู้เรียน .....	30
4.7 หน้าห้าของส่วนประสบการณ์ผู้เรียน .....	31
4.8 การเปรียบเทียบค่าสี่จากโปรแกรมการเรียนรู้ที่สร้างขึ้นกับค่ามาตรฐาน .....	32
4.9 ตัวอย่างแบบฟอร์มการบันทึกข้อมูลจากการสังเกตของเครือข่ายหุ่นยนต์ผ่านเกตเวย์ประจำหน่วยการเรียนรู้ .....	34
4.10 ตัวอย่างการฉายแปลนการกำหนด learning space เป็นฉากบรรยากาศกระตุ้นการเรียนรู้ .....	35
4.11 ผังระบบควบคุมกึ่งและใบโดยผ่านโทรศัพท์มือถือผู้เรียน .....	36
4.12 แผนผังการควบคุมด้วยระบบพีซีลอคจิก PI .....	36
4.13 ผังชุดขับเคลื่อนและใบของหุ่นยนต์ต้นไม้ม .....	36
4.14 “ต้นไม้ของพ่อ” ผลกระทบจากการต่อยอดงานวิจัย “ป่าแห่งการเรียนรู้” .....	37
4.15 ตัวอย่างการศึกษาเชิงบูรณาการแบบ STEAM .....	38
4.16 ท่านรัฐมนตรีว่าการกระทรวงศึกษาธิการพลเอกดาว์พงษ์ รัตนสุวรรณ นำเยี่ยมชม โดยท่านอธิการบดี สจล. ศาสตราจารย์ ดร. สุ��วีร์ สุวรรณสวัสดิ์ ให้เกียรติเยี่ยมชมและให้คำแนะนำเพื่อพัฒนางานวิจัย .....	38
4.17 งานตักบาตรกตัญญู ครั้งที่ 7 .....	39
4.18 หุ่นยนต์ต้นไม้มอเตอร์ขับเคลื่อนบำรุงศาสนา ศิลปวัฒนธรรม .....	39
4.19 ต้นไม้มหุยนต์ในโหมค “ต้นไม้จริยฐาน” .....	40
4.20 คลิปดวงใจจริยฐาน .....	40
4.21 สมเด็จพระเทพรัตนฯ ทรงเสด็จพระราชดำเนินทอดพระเนตร “ต้นไม้ของพ่อ” .....	41
ผก 1. กิ่งและลำต้นหุ่นยนต์ต้นไม้มเทียบส่วนร่างกายมนุษย์ .....	50
ผข 1. ส่วนดอกและชุดควบคุมกลไกการคลี่ของกลีบดอก .....	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

โครงการวิจัย "หุ่นยนต์ต้นไม้ผู้ช่วยครู" ได้แรงบันดาลใจมาจาก "แนวพระราชดำริในพื้นที่การถ่ายทอดแนวคิด ทฤษฎี สู่เยาวชน" [1] ของพระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช โดยในโครงการนี้จับประเด็นเพียงการมุ่งเน้นการถ่ายทอดองค์ความรู้สู่เยาวชน โดยนำ "ต้นไม้" ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในการอนุรักษ์สภาพแวดล้อมและเป็นฐานเศรษฐกิจชุมชน มาผสมกับเทคโนโลยีสมัยใหม่คือ "หุ่นยนต์" ผ่านระบบ "การเรียนการสอน" ที่มีอยู่แล้วในปัจจุบัน สำหรับรายละเอียดจากนี้ไปจะกล่าวในหัวข้อภูมิหลังเพื่อไม่ให้เป็นการซ้ำซ้อนกับเนื้อหาที่จะกล่าวต่อไป ในบทนำนี้จะกล่าวถึงภาพรวมของโครงการโดยเริ่มจากภูมิหลัง วัตถุประสงค์ของการวิจัย ขอบเขตการวิจัยและวิธีดำเนินการวิจัย

สำหรับโครงร่างในการนำเสนอในรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์นี้โปรดดูจากสารบัญเพื่อที่จะได้ไม่ซ้ำซ้อนในเนื้อหาและเพื่อความกระชับของการนำเสนอ โดยมีจำนวนบททั้งหมด 5 บทด้วยกัน เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่บูรณาการในสามมิติ คือมิติการเลียนแบบโครงสร้างต้นไม้โดยมิติประยุกต์ระบบหุ่นยนต์ เพื่อใช้ในมิติการถ่ายทอดความรู้โดยอาศัยสื่อการสอน โดยจะใช้ประเด็นในมิติทั้งสามนี้เป็นโครงร่างหัวข้อย่อยของรายงานฉบับจากบทนำเป็นต้นไปโดยมีรายละเอียดดังนี้

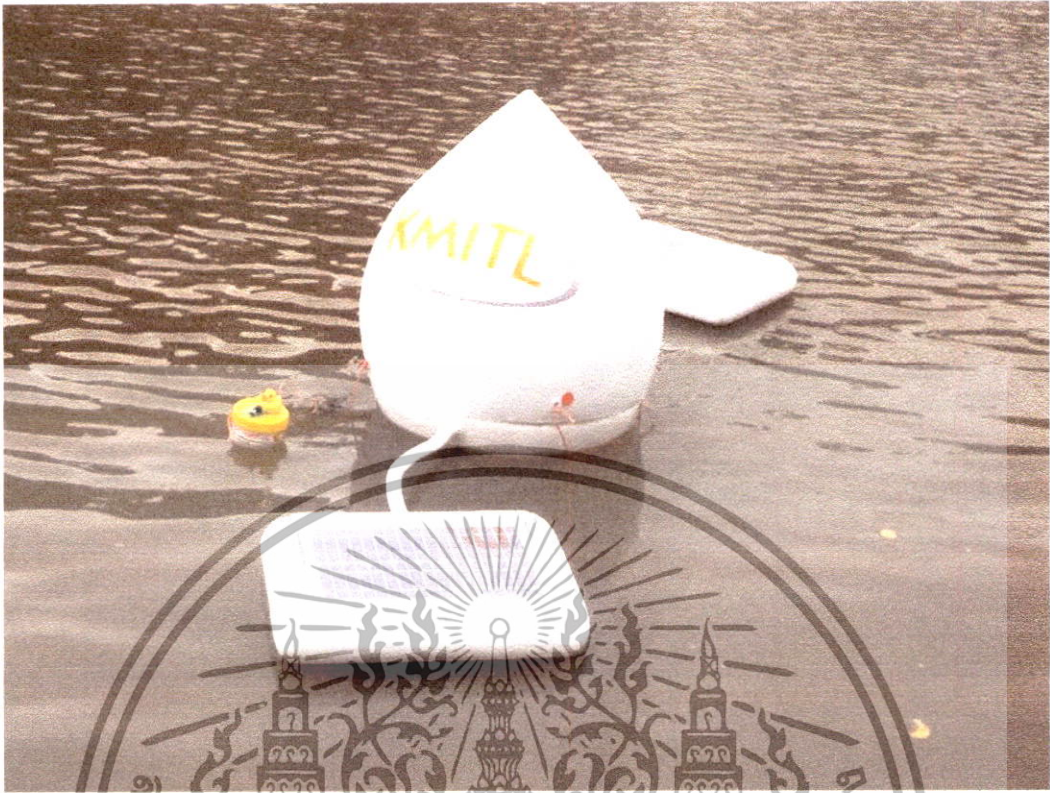
### 1.1 ภูมิหลัง

ต่อเนื่องจากเฟสที่แล้วที่คณะผู้วิจัยจะออกแบบและสร้างภายใต้แนวคิด "หุ่นยนต์ต้นไม้" ซึ่งเป็นต้นไม้เทียมที่เป็นหุ่นยนต์อันมีความสามารถเป็นผู้ช่วยสอนมีอุปกรณ์พหุสื่อ (Multimedia) เป็นทั้งสถานี Wifi ที่เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตสามารถติดต่อสังคมออนไลน์และห้องสมุดเสมือนจริง (virtual library) เพื่อให้ผู้เรียนสามารถดาวน์โหลดหนังสือ ไฟล์พหุสื่อ และสิ่งตีพิมพ์ประกอบการเรียนการสอน อีกทั้งยังสามารถให้บริการกับผู้เรียนโดยแสดงภาพพหุสื่อการเรียนรู้ที่เป็นภาพสามมิติได้อีกด้วย ซึ่งทำให้แตกต่างจากหุ่นยนต์ผู้ช่วยครูที่เคยสร้างจากนักวิจัยกลุ่มอื่น ๆ มุ่งเน้นองค์ความรู้เพื่อผลิตสิทธิบัตร เกิดองค์ความรู้ของประเทศไทย และเกิดทรัพย์สินทางปัญญา ด้วยแนวคิดที่ว่า "ไม่มีใครเหมือนและไม่เหมือนใคร"

ในเฟสนี้ ผู้วิจัยจะขยายผลสู่การนำระบบเครือข่ายสื่อสารและสารสนเทศ เช่น Wifi หรือ 3G เชื่อมต่อกับเครือข่ายหุ่นยนต์ต้นไม้ (Robotic networks) และเครือข่ายตัวตรวจรับ (Sensor network) เพื่อบูรณาการให้เป็น "ป่าแห่งการเรียนรู้" (The learning forest) ซึ่งประกอบด้วยหุ่นยนต์ต้นไม้ผู้ช่วยครูที่ได้ในเฟสที่แล้ว ผสานกับการเรียนรู้ในห้องเรียนโดยอาศัยเครือข่ายตัวตรวจรับซึ่งฝังตัวร่วมกับสิ่งแวดล้อมในธรรมชาติ ดังแสดงตัวอย่างการเรียนรู้เรื่องสภาพแวดล้อมทางน้ำ อาจทำได้โดยการเชื่อมต่อระหว่างหุ่นยนต์ต้นไม้ผู้ช่วยครูในห้องเรียน กับบัวหุ่นยนต์ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งอยู่ในสระน้ำตามธรรมชาติอีกที่หนึ่งเพื่อตรวจเช็คสภาพน้ำ ความเป็นกรดต่าง ระดับความลึก ไฟรั่วในน้ำ ความเร็วในน้ำ และอื่นๆที่ต้องการเรียนทราบ โดยบัวหุ่นยนต์เหล่านี้ทั้งจากเฮลิคอปเตอร์ให้อยู่ห่างกันได้หนึ่งกิโลเมตรเชื่อมต่อเป็นเครือข่ายยามเกิดภัยพิบัติจะเป็นเครือข่ายสื่อสารข้อมูล ยามเครือข่ายล่ม บัวหุ่นยนต์เหล่านี้จะช่วยใช้โทรศัพท์ เฟสบุ๊ค (Facebook) หรือไลน์ (Line) ขอความช่วยเหลือได้ โดยแนวคิดดังกล่าวนี้จะนำมาเชื่อมเป็นเครือข่ายหุ่นยนต์ในรัศมี 5 กิโลเมตรรอบชุมชนลาดกระบังในรูปแบบหุ่นยนต์ต้นไม้ทั้งบนบกและในน้ำ โดยจะปรับโครงสร้างการจัดการเรียนรู้ตามสภาพแวดล้อมและบริบทที่เหมาะสมในเฟสที่

เริ่มการวิจัยต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 1.1 บัวหุ่นยนต์สร้างโดยคณะทำงานเพื่อการตรวจสภาพน้ำและสิ่งแวดล้อมที่สามารถส่งข้อมูลออนไลน์ได้ด้วยตนเองซึ่งสามารถส่งข้อมูลที่ร้องขอจากผู้ใช้ผ่านเครือข่ายสื่อสารไร้สาย ซึ่งเป็นตัวอย่างหนึ่งที่ขยายการเรียนรู้จากห้องเรียนปะทะสังสรรค์ (Interaction) กับสิ่งแวดล้อม แหล่งที่มา: หุ่นยนต์กู้ภัยพิบัติ KMITL (ข่าวสามมิติ 10 สิงหาคม 2556)

งานวิจัยนี้ มุ่งเน้นการออกแบบหุ่นยนต์ต้นไม่ประสานกับหน่วยการเรียนรู้หรืออุปกรณ์อื่น ๆ เพื่อสร้างสภาพแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้ในมิติต่าง ๆ อันมีแนวทางของการใช้ STEAM ซึ่งเป็นรูปแบบการจัดการเรียนการสอนมุ่งที่ผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้แบบบูรณาการอันเป็นรูปแบบที่มีประสิทธิภาพโดยต่อยอดมาจากการศึกษาแบบ STEM โดยอาศัยการสนธิองค์ความรู้ทางด้าน Science (วิทยาศาสตร์) Technology (เทคโนโลยี) Engineering (วิศวกรรมศาสตร์) Art (ศิลปะ) และ Mathematics (คณิตศาสตร์) [52] ทั้งนี้เพื่อให้เยาวชนในทุกระดับชั้นเกิดการเรียนรู้เพื่อเป็นผู้สร้างภูมิปัญญาสู่นวัตกรรมในยุคเศรษฐกิจดิจิทัล (Digital economy)

เพื่อเป็นการสาธิตรูปแบบ STEAM ร่วมกับการศึกษาแบบสันทนาการ (Edutainment) อีกทั้งเพื่อเตรียมความพร้อมทางด้านนวัตกรรมการศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีสู่การประยุกต์ใช้ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ให้ยังประโยชน์เป็นสาธารณะหรือขยายผลต่อไป ในรายงานนี้จึงแสดงเนื้อหาเกี่ยวเนื่องกับการเทิดพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ฯ ทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสารและสารสนเทศ และพระมหากษัตริย์องค์ที่ทรงมีต่อสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยมีแรงบันดาลใจจากการที่พระองค์ทรงเป็น “ต้นแบบครูแห่งแผ่นดิน” ให้เยาวชนเจริญรอยตามเบื้องพระยุคลบาทสืบต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

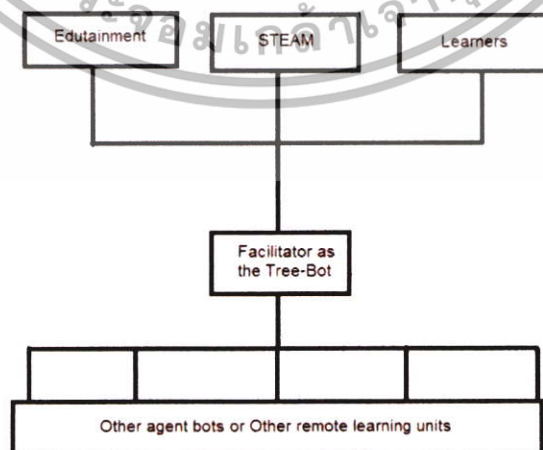
- 1). ออกแบบและสร้างต้นแบบหุ่นยนต์ต้นไม้อัจฉริยะครูเฟสสองบูรณาการเป็นป่าแห่งการเรียนรู้
- 2). จดสิทธิบัตรหรือทรัพย์สินทางปัญญาในรูปแบบอื่นของหุ่นยนต์ที่ได้ในข้อ 1).

## 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ สร้างหุ่นยนต์ต้นไม้อัจฉริยะครูในการเรียนการสอนในห้องเรียน และจำกัดบริเวณปฏิบัติการ (workspace) นั้น อยู่ในบริเวณห้องเรียนหรือสถานที่จัดประชุมทางวิชาการ สำหรับเนื้อหาวิชาการที่ใช้เป็นตัวอย่างของการสาธิตหลักการ STEAM จะแสดงเฉพาะเนื้อหาในส่วนเทอดพระเกียรติพระอัจฉริยภาพของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ ทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสารและสารสนเทศอีกทั้งพระมหากษัตริย์คุณที่ทรงที่มีต่อสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังเท่านั้น

## 1.4 กรอบแนวคิดของโครงการวิจัย

แนวคิดของโครงการนี้เป็นการบูรณาการสององค์ความรู้และสามเทคโนโลยีเข้าด้วยกัน คือองค์ความรู้ในการเรียนการสอนด้วยวิธีสื่อสนุก (Edutainment) และองค์ความรู้ด้านวิศวกรรมสารสนเทศ โดยอาศัยเทคโนโลยีโครงข่ายสื่อสาร (communication network) เทคโนโลยีหุ่นยนต์ (robotic technology) และเทคโนโลยีเครือข่ายตัวตรวจจับไร้สาย (wireless sensor network) เพื่อสร้างความบันเทิงให้ผู้เรียนควบคู่ไปกับการเรียนรู้ กล่าวคือ ผู้วิจัยสร้างหุ่นยนต์ต้นไม้อัจฉริยะครูผู้สอนในการอำนวยความสะดวกด้านการใช้สื่อออนไลน์ตลอดจนการสร้างภาพสามมิติ เพื่อให้ นักเรียนได้เห็นภาพจากตัวอย่างที่เสมือนจริง จากนั้นขยายผลให้มีการเรียนรู้โดยเชื่อมต่อกับสิ่งแวดล้อมนอกห้องเรียนซึ่งสามารถเชื่อมต่อได้กับเครือข่ายตัวตรวจจับไร้สายเพื่อเรียกข้อมูลที่สนใจจากสิ่งแวดล้อมมาได้โดยแสดงข้อมูลผ่านหุ่นยนต์ต้นไม้อัจฉริยะครู ผลแห่งการขยายขอบเขตการเรียนรู้ด้วยหุ่นยนต์ต้นไม้อัจฉริยะครูไปยังบริเวณที่น่าสนใจต่าง ๆ นอกห้องเรียนส่งผลให้เกิด “ป่าแห่งการเรียนรู้” ที่เกิดจากการผสมผสานของโลกจริง (real world) และโลกเสมือนจริง (virtual reality) โดยอาจเขียนสรุปกรอบแนวคิดของโครงการวิจัยดังภาพที่ 1.2



ภาพที่ 1.2 กรอบแนวคิดการเชื่อมต่อหน่วยประกอบหลักของระบบหุ่นยนต์ต้นไม้อัจฉริยะครูเป็นป่าแห่งการเรียนรู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.5 แผนการดำเนินงานโครงการวิจัย

แผนการดำเนินงานโครงการวิจัยนี้แสดงในตาราง 1.1 โดยเปรียบเทียบแผนงานที่วางไว้ซึ่งแสดงโดยสัญลักษณ์  $\longleftrightarrow$  โดยกิจกรรมที่ปฏิบัติได้จริงใช้สัญลักษณ์ \*

ตาราง 1.1 แผนงานและกิจกรรมที่ปฏิบัติได้จริง

กิจกรรม	เดือนที่												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1. ขั้นการสืบค้นเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Review Literatures)	*	*											
2. สร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ควบคู่ไปกับการสร้างฮาร์ดแวร์	*	*	*	*									
3. ออกแบบ เขียนซอฟต์แวร์และจำลองผลในข้อที่ 2 ด้วยคอมพิวเตอร์ และทดลองสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์สื่อสารโปรแกรมติดต่อสารสนเทศและควบคุม รวมทั้งทดสอบวัสดุประกอบต้นแบบ			*	*									
4. จัดทำรายงานความก้าวหน้า						*	*	*	*				
5. วิเคราะห์ระบบการทำงาน						*	*	*	*				
6. ทดลองใช้งานในพื้นที่และปรับแต่งพารามิเตอร์ระบบให้ได้ค่าที่ดีที่สุดในการปฏิบัติงาน					*	*	*	*	*	*	*		
7. สร้างต้นแบบสุดท้าย										*	*	*	
8. เขียนรายงานประจำปีและจัดสิทธิบัตร												*	*

ในบทที่ 1 หรือบทนำนี้กล่าวถึงภาพรวมของงานวิจัย ซึ่งยังไม่ได้ครอบคลุมการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องซึ่งจะได้กล่าวถึงในบทที่ 2 ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเฉพาะส่วนที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและสร้าง โดยหาช่องว่างที่ไม่ซ้ำรูปแบบกับงานวิจัยหรือสิทธิบัตรเดิมที่มีอยู่ตั้งเป็นระเบียบวิธีวิจัยมาตรฐาน โดยจะนำเสนอในส่วนบทความและสิทธิบัตรบางส่วนที่เกี่ยวข้องและเชื่อมโยงกับงานวิจัยในเฟสที่แล้วเพื่อให้เห็นภาพเป็นองค์รวม (Holistic approach) [1-51] เพื่อให้สะดวกต่อการอ่านและความต่อเนื่องในแนวคิดวรรณกรรมจึงขออนุญาตนำบางส่วนของวรรณกรรมในรายงานฉบับที่แล้วมาแทรกและเรียบเรียงใหม่ให้เกิดความสอดคล้องและเพิ่มเติมเนื้อหาให้กลมกลืนในการนำเสนอ

#### 2.1 เอกสารงานวิจัยและสิทธิบัตร

เอกสารที่เกี่ยวกับหุ่นยนต์โดยทั่วไปในองค์รวมนั้นมีหลายพันเรื่อง [2-10] ทว่า ในส่วนนี้จะกล่าวอ้างอิงเฉพาะวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับเรื่องที่จะทำวิจัยเท่านั้นและในวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับโครงการนี้ ในด้านการใช้หุ่นยนต์ช่วยสอนหรือเป็นผู้ช่วยครูก็มีไม่มากนักไม่เหมือนกับการประยุกต์หุ่นยนต์ทางด้านอุตสาหกรรม งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ผู้ช่วยครูซึ่งสามารถมีปฏิสัมพันธ์ (interaction) กับผู้เรียนได้ ซึ่งงานวิจัยเกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีนี้ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทำให้ความสามารถของหุ่นยนต์มีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว อาทิเช่น ASIMO [11] และ AIBO [12] ที่เป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางทั่วโลก โดยมีผู้คาดการณ์ว่าหุ่นยนต์ประเภทนี้จะสามารถอยู่ร่วมกับมนุษย์ได้ในอนาคต นอกเหนือจากการเป็นของเล่นเด็กแล้วหุ่นยนต์ดังกล่าวยังมีอำนวยความสะดวกให้กับมนุษย์ในด้านอื่น ๆ อีก เช่น ในด้านการแพทย์ การสำรวจ ด้านอุตสาหกรรม ด้านความบันเทิง ฯลฯ

งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องโดยตรงกับการนำเทคโนโลยีหุ่นยนต์มาใช้ส่งเสริมการเรียนรู้และเพิ่มประสิทธิภาพการสอนภายในห้องเรียน ที่เราเรียกว่าหุ่นยนต์ผู้ช่วยสอนหรือหุ่นยนต์ผู้ช่วยครู และได้มีพัฒนาหุ่นยนต์ประเภทนี้มาเป็นลำดับ จากงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมา Hideki Kozima และคณะ [13] ได้ออกแบบหุ่นยนต์ขนาดเล็กให้มีปฏิสัมพันธ์กับมนุษย์ (interaction) ให้เป็นเพื่อนเล่นและฝึกฝนการพัฒนาการสำหรับเด็ก, Kai-Yi Chin และคณะ [14] ทำการพัฒนาหุ่นยนต์ผู้ช่วยสอนที่มีชื่อว่า Bioloid ที่ครูผู้สอนสามารถใส่โปรแกรมการสอนผ่านคอมพิวเตอร์ ล่าสุด Jaewoo Kim และคณะ [15] ได้พัฒนาหุ่นยนต์มีรูปร่างเหมือนไข่ชื่อว่า Enkey ซึ่งมีความสามารถมากขึ้น หุ่นยนต์ตัวนี้ทำหน้าที่ในการสอนภาษา และ ประยุกต์ใช้เทคนิค three-level robot motion hierarchical structure and a gesture variation method ทำให้หุ่นยนต์สามารถโต้ตอบกับมนุษย์โดยแสดงอารมณ์ (ร่าเริง, ปกติ, เสียใจ) ออกทางหน้าจอ

ทางด้านความสัมฤทธิ์ผลของการใช้หุ่นยนต์ช่วยสอนนั้น Seymour Papert และคณะ [16] พบว่าเด็กสามารถเรียนรู้จากการออกแบบและการประกอบหุ่นยนต์ของตัวเอง ส่วน Martyn Cooper และเพื่อนร่วมงานของเขา [17] ได้ออกแบบหุ่นยนต์ผู้ช่วยสอนในการสอนคณิตศาสตร์และฟิสิกส์ Chin-Wei Chang และคณะ [18] ชี้ให้เห็นว่าหุ่นยนต์สามารถสร้างประสบการณ์การเรียนรู้แบบโต้ตอบและมีส่วนร่วมจึงจะสามารถดึงดูดความสนใจของนักเรียนและช่วยให้พวกเขาในการพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหา และที่สุดของการวิจัยดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าหุ่นยนต์ผู้ช่วยสอนจะสนับสนุนการสอนและการเพิ่มความเพลิดเพลินของผู้เรียนและการมีส่วนร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปี ค.ศ. 2013 Park และคณะ [19] ได้ออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ ROBOSEM ในเวอร์ชันล่าสุด โดยได้ทดลองใช้กับนักเรียนชั้นประถมในประเทศเกาหลี ซึ่งโครงการนี้เป็นหนึ่งในความมุ่งมั่นสู่ความเป็นเลิศในเทคโนโลยีและการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ของประเทศเกาหลีที่จะใช้หุ่นยนต์ผู้ช่วยสอนในห้องเรียน [20] ดังภาพที่ 2.1 ตัวอย่างการช่วยสอนภาษาอังกฤษดูได้จากวิดีโอสาธิตใน YouTube อ้างอิง [21]

ในปี ค.ศ. 2014 Kai-Yi Chin และคณะ [22] ได้ทดลองสอนโดยเปรียบเทียบการสอนโดยให้หุ่นยนต์เป็นผู้ช่วยสอนกับการสอนโดยใช้ Power Point แบบดั้งเดิม กับนักเรียนสองชั้นเรียนระดับประถมศึกษาจำนวน 52 คน เครื่องมือทางการประเมินผลที่ใช้คือแบบสำรวจ IMMS (Instruction Material Motivation Survey) ซึ่งวัดองค์ประกอบแรงจูงใจ 4 ด้านคือ ความสนใจ ความเกี่ยวข้องผูกพัน ความเชื่อมั่นในการใช้งาน และความพึงพอใจ พบว่าการสอนโดยการใช้หุ่นยนต์เป็นผู้ช่วยสอนนั้นโดยภาพรวมดีกว่าการสอนแบบดั้งเดิมอย่างมีนัยสำคัญ

ในปี ค.ศ. 2014 เดียวกันนั่นเอง มีการจัดประชุมวิชาการสนับสนุนโดย IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) ณ เมือง Princeton มลรัฐ New Jersey ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นการประชุมการศึกษาของมุ่งเน้นการจัดการเรียนรู้แบบ STEM สำหรับวิศวกรรมไฟฟ้าและสาขาที่เกี่ยวข้อง ซึ่งเป็นการนำ Science+Technology+Engineering+Mathematics มาบูรณาการด้วยกัน ซึ่งงานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยของ Chung [53] ที่นำเอา STEM+A (ศิลปะ) ซึ่งเน้นไปที่การออกแบบหุ่นยนต์ตามหลักการของ STEAM โดยนำการออกแบบหุ่นยนต์มาเชื่อมกับงานศิลปะ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Brown และ Howard [54] ที่ใช้หุ่นยนต์สังคมออนไลน์ หรือ Social Robot ในการสอนแบบ STEM ให้กับเด็กในการเรียนรู้ทางด้านภาษาศาสตร์อีกด้วย ซึ่งได้ผลดีกว่าการเรียนรู้แบบดั้งเดิม

ในปี ค.ศ. 2015 Uribe และ Eguchi [55] นำเสนอการออกแบบหุ่นยนต์และท่าเต้น รวมทั้งชุดที่ใช้ใส่ทั้งในส่วนที่เป็นของนักเรียนผู้เข้าแข่งขัน RoboCup Junior Dance Competition สำหรับนักเรียนเกรด 4-8 ของสหรัฐอเมริกาและส่วนของหุ่นยนต์ โปรแกรมการเรียนแบบ STEAM นี้รายงานสรุปว่าเป็นการส่งเสริมจินตนาการของผู้เรียนเป็นอย่างดี

ในส่วนที่เป็นเอกสารสิทธิบัตรนั้น สิทธิบัตร EP ของ Takenaka และคณะ [23-24] จัดหุ่นยนต์ที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างคล้ายต้นไม้เป็นชื่อกว้าง ๆ ครอบคลุมการค้ำยันของขาหุ่นยนต์หรือส่วนที่สัมผัสพื้นเพื่อการทรงตัวของหุ่นยนต์ เอกสารนี้น่าสนใจตรงที่มีการเรียกระยะค้ำยันและส่วนประกอบอื่นโดยใช้ชื่ออวัยวะต้นไม้ (เรียกตามอัลกอริธึมมากกว่าโครงจริง) เช่นเรียกส่วนสัมผัสที่ค้ำยันติดพื้นว่า "leaf" ซึ่งมีลักษณะเทียบเคียงเสมือนทำหน้าที่คล้ายใบต้นไม้ซึ่งแยกมาจากส่วนก้านาคือ "root" หรือรากต้นไม้ซึ่งในที่นี้คือลำตัวหุ่นยนต์ ซึ่งการใช้ภาษาระบุโครงสร้างที่เรียกเป็นต้นไม้กลับหัว คือมีใบติดพื้นแต่รากลอยกลางอากาศแสดงถึงส่วนที่แทนโหนด "leaf" ของระยางหมายเลข #1 ซึ่งข้อถือสิทธิที่สำคัญของสิทธิบัตรนี้คือการละเมิดสิทธิจะเกิดขึ้นถ้าใช้โครงสร้างที่ใกล้เคียงโดยประกอบด้วยส่วนสัมผัสพื้น ระยาง และตัวควบคุมปรับระดับให้หุ่นยนต์อยู่ในท่าที่ต้องการด้วยเทคนิคการคำนวณผลให้มีผลลัพธ์สุดท้ายเป็นตำแหน่งผลรวมโมเมนต์เป็นศูนย์ หรือ Zero Moment Position ซึ่งย่อว่า ZMP โดยการคำนวณนั้นเป็นการคำนวณโดยอาศัยแผนภาพต้นไม้ล้อตามโหนดซึ่งมีลักษณะเป็นต้นไม้กลับหัวแล้วคำนวณย้อนหลังจากรากไปใบ โดยอาศัยจุดสัมผัสพื้นส่งค่าแรงปฏิกิริยาเพื่อกำหนดเป็นค่าเป้าหมาย (set point) แล้วอาศัยการรวมแรงและแรงบิดในภาวะสมดุลพลศาสตร์เพื่อปรับสมดุลสถิตย์ หรือ acture point - set point = 0

เอกสารสิทธิของ EP และ JP ที่สืบค้นได้มีเพียงของ Takenaka และคณะที่ใกล้เคียงกับโครงการนี้ ทว่า รูปลักษณะและลักษณะการใช้งานยังไม่ตรงกับแผนงานหุ่นยนต์ต้นไม้ของโครงการจึงเป็นช่องว่างทางสิทธิบัตรที่สามารถยื่นครอบครองได้ อย่างไรก็ตาม ยังมีสิทธิบัตรที่น่าสนใจที่สืบค้นโดยคำเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

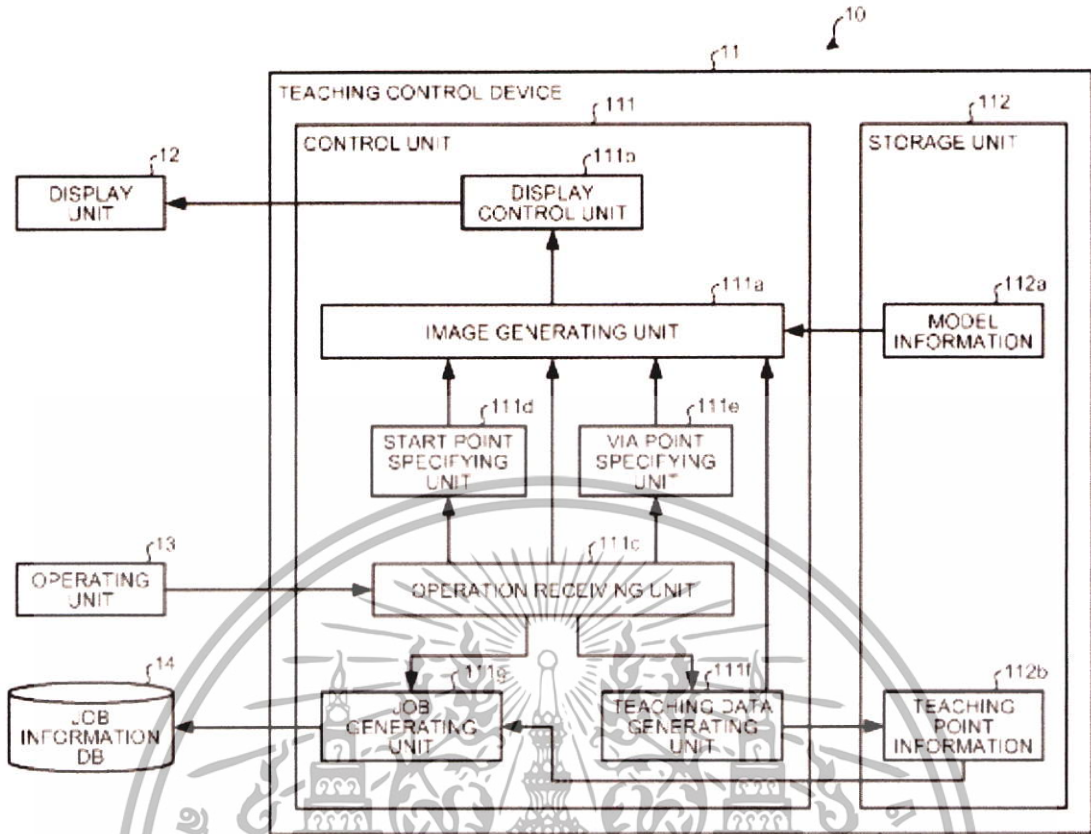
สำคัญว่า tree + robot คือ สิทธิบัตรสหรัฐอเมริกา หรือ USP ที่ได้ประกาศรับสิทธิคุ้มครองในปี ค.ศ. 2013 เป็นสิทธิบัตรในการใช้งานหุ่นยนต์กับต้นไม้ โดย Koselka และ Wallach [25] โดยอ้างสิทธิคุ้มครองการประดิษฐ์การใช้งานในการตัด ถอน และทำกิจกรรมอเนกประสงค์โดยตัวของหุ่นยนต์เพื่อการเกษตร ซึ่งเน้นการใช้งานหุ่นยนต์โดยโปรแกรมการทำงานในการเก็บเกี่ยวพืชผัก ตัดต้นไม้ และกิจกรรมอื่น จะเห็นได้ว่าสิทธิบัตรที่ได้สืบค้นที่ใกล้เคียงกับโครงการนี้ในข้อมูลของสิทธิบัตรยุโรป ญี่ปุ่นและสหรัฐอเมริกาซึ่งถือว่าเป็นฐานข้อมูลต้นกำเนิดนวัตกรรมแหล่งใหญ่และสำคัญของโลกยังไม่มีการนำเสนอหุ่นยนต์ที่ใช้ต้นไม้เป็นโครงสร้างหลัก

นอกจากนี้ โครงสร้างที่ใกล้เคียงที่สุดในการใช้โครงสร้างต้นไม้ในเชิงเทคโนโลยีสื่อสาร คือ เอกสารสิทธิบัตร British Patent Specification ที่หมดอายุแล้วของ Goerge O. Squier ในปี ค.ศ. 1904 ซึ่งประดิษฐ์ Tree Antenna โดยการฝังสายอากาศส่งและรับคลื่นวิทยุกับต้นไม้จริง จากการอาศัยโครงสร้างธรรมชาติของต้นไม้และฝังสายอากาศส่วนรับและส่วนที่ส่งเข้าไปในต้นไม้ร่วมกับการปรับระยะทางที่เหมาะสมให้ต้นไม้ฝังสายอากาศอยู่ห่างกันด้วยระยะที่รับส่งคลื่นวิทยุได้สัญญาณที่ชัดเจนจัดเป็นคุณูปการณในการใช้สิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติกับงานทางวิศวกรรมสื่อสารในยุคเริ่มต้น

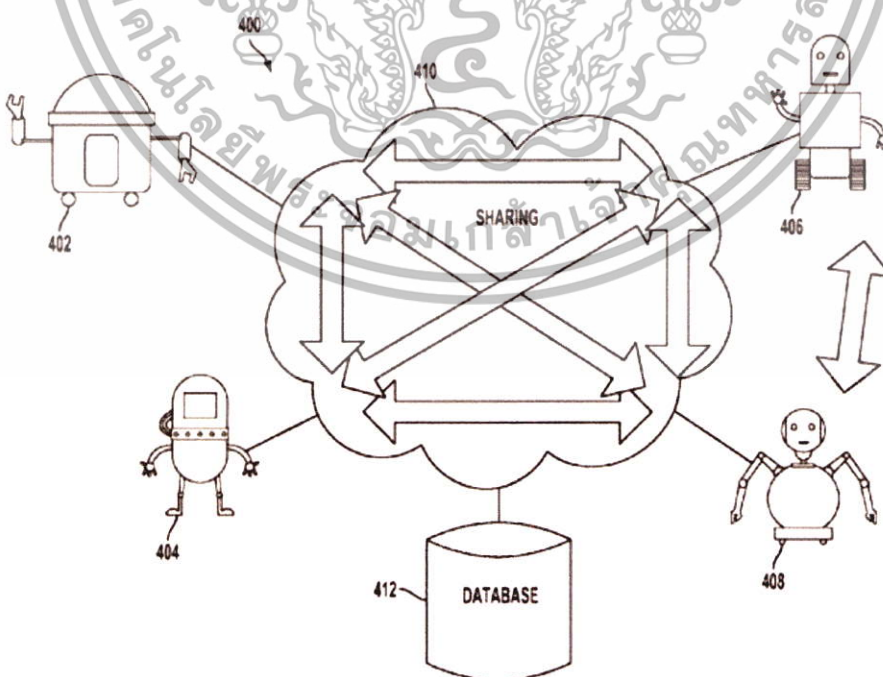
แม้ว่าจะมีสิทธิบัตรที่น่าสนใจอีกเป็นจำนวนมากที่ผู้วิจัยได้ค้นคว้าและตรวจสอบแล้ว แต่เนื่องจากไม่ตรงประเด็นหรือเป็นเพียงแค່ส่วนย่อยที่เกี่ยวข้องจึงไม่กล่าวถึงให้เป็นการสืบสน ณ ที่นี้ ทว่า ร่างสิทธิบัตรและการปรับเทคโนโลยีใหม่มาฝังตัวในต้นไม้แทนเทคโนโลยีวิทยุแบบดั้งเดิมในยุคแรกซึ่งสามารถทำได้โดยง่ายด้วยเทคโนโลยีสื่อสารและอินเทอร์เน็ตไร้สายในปัจจุบัน [28-36] อย่างไรก็ตามเอกสารสิทธิที่น่าสนใจล่าสุดของ Kaicha และ Denki [56] ซึ่งเพิ่งออกใหม่ในปี ค.ศ. 2015 นี้เป็นการจดสิทธิบัตรในสหรัฐอเมริการเกี่ยวกับการสอนโดยใช้หุ่นยนต์เป็นผู้ช่วยสอนผ่านช่องภาพเสมือนจริง (Virtual image) โดยสอนงานไปยังหุ่นยนต์อีกตัวหนึ่งที่อยู่ไกลออกไป แต่งานสอนนี้ไม่ได้ครอบคลุมถึงกรณีที่ใช้หุ่นยนต์มาเป็นผู้ช่วยปฏิสัมพันธ์หรือเป็นสื่อกลางในการเชื่อมโครงสร้างดังแสดงในบทที่ 1 ที่ผ่านมา อย่างไรก็ตามรูปแบบที่น่าเสนอใน [56] ดังภาพที่ 2.1 สามารถนำมาประยุกต์ในงานวิจัยนี้ได้

เอกสารสิทธิที่น่าสนใจมากที่สุดในปี ค.ศ. 2015 เป็นเอกสารสิทธิหุ่นยนต์ที่แชร์ข้อมูลสังคมออนไลน์ร่วมกันที่จดโดยบริษัท Google [57] วันที่ 31 เดือนมีนาคม 2015 ที่ผ่นมา โดยหุ่นยนต์สามารถปรับเปลี่ยน “บุคลิก” ของตัวเองได้เมื่อตัวหุ่นยนต์แต่ละตัวในพื้นที่ต่างกันรวบรวมข้อมูลผ่านตัวตรวจรับ (sensors) จากสิ่งแวดล้อมและปรับตัวตามสภาพข้อมูลที่ได้เพื่อส่งสัญญาณไปปรับพารามิเตอร์ในตัวขับเคลื่อน (actuator) ให้ปรับเปลี่ยนฟังก์ชันการควบคุมตามสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้หุ่นยนต์ที่อยู่ในสถานที่ต่าง ๆ กันในระยะไกลมีการแชร์ข้อมูลกันใน “ก้อนเมฆ” หรือ Cloud อันเป็นฐานข้อมูลกลางร่วมดังภาพที่ 2.2 อย่างไรก็ตามการจดสิทธิบัตรของบริษัท Google ครั้งนี้เป็นารจด “แนวคิด” แบบกรอบกว้างมาก ๆ ไม่ได้ระบุวิธีการเฉพาะทางศิลปกรรมแห่งเทคโนโลยี (state-of-the-art) ที่เป็นอัลกอริธึมเฉพาะหรือเทคนิคเฉพาะให้เป็นมรดกทางปัญญาในการนำไปสร้างจริงแก่ชนรุ่นหลัง โดยจะเห็นได้ว่าการจดสิทธิบัตรในลักษณะนี้ได้รับการอนุญาตให้จดได้ในระยะไม่กี่ปีที่ผ่านมาซึ่งการจดทรัพย์สินทางปัญญาในลักษณะนี้ในความเห็นของผู้วิจัยไม่เกิดองค์ความรู้ในด้านการปฏิบัติทางเทคนิคนวัตกรรม (Practical innovation) แต่เน้นไปทางด้านกิจกรรมก่อเกิดสิทธิบัตร (filing activity) ดังตัวอย่างเช่น การส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตไร้สายนั้นพื้นที่ในอากาศเต็มไปด้วยสัญญาณรบกวนจำนวนมากในความถี่ต่าง ๆ ในการส่งข้อมูลจริงนั้น ในเชิงเทคนิคจะมีวิธีการกรองสัญญาณรบกวนอย่างไรให้มีประสิทธิภาพสูงสุดซึ่งเป็นที่มาของหัวข้อ 2.2 ถัดไปในบทนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างส่วนอุปกรณ์ช่วยสอนระหว่างหุ่นยนต์ต่อหุ่นยนต์ [56]



ภาพที่ 2.2 หุ่นยนต์เชื่อมต่อและแชร์ข้อมูลกันด้วยเทคโนโลยีก้อนเมฆ [57]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ตัวสังเกตข้อมูลสื่อสารและอัลกอริธึม

ดังจะเห็นได้จากสิทธิบัตรของ Google [57] ซึ่งจัดโครงสร้างคล้ายกับแนวคิดการเชื่อมต่อระหว่างหุ่นยนต์ผ่านสื่อในก้อนเมฆคล้ายกับแนวคิดในงานวิจัยนี้ อย่างไรก็ตาม การรับส่งข้อมูลโดยกรองสัญญาณรบกวนในความถี่ต่าง ๆ ที่มีอยู่ทั่วไปในอากาศในสังคมปัจจุบัน จำเป็นต้องอาศัยตัวกรองหรือตัวสังเกตที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งตัวสังเกต (observer) ที่เหมาะสมกับการเชื่อมต่อโครงข่ายระหว่างโหนดการเรียนรู้ต่าง ๆ ที่อยู่ระยะไกลอันประกอบขึ้นเป็น “ป่าแห่งการเรียนรู้” ที่จะนำมาใช้ในที่นี้เป็นรุ่นที่ปรับปรุงจากตัวสังเกต Kalman (Kalman Filtering) [38-40] โดยจะนำมาใช้กับการสร้างระบบเลียนแบบการคายน้ำของพืช ซึ่งถือว่าเป็นส่วนเด่นทางงานวิชาการที่ทำให้เกิดความก้าวหน้า โดยการสร้างตัวสังเกต Kalman ในรุ่นปรับปรุงแบบใหม่ที่ได้นี้ให้ผลได้ดีเยี่ยม ผลการสังเกตจากตัวสังเกตที่สร้างขึ้นจากอัลกอริธึม (algorithm) ที่ได้ซึ่งแสดงใน [38-39] สามารถนำมาใช้กับหุ่นยนต์ต้นไม้มักเคยศึกษานำร่องจากการใช้งานภายในของต้นไม้มียามาพัฒนา โดยใส่อุปกรณ์ในส่วนของลำต้นและกิ่ง ส่วนระบบสื่อสารจะใช้คอมพิวเตอร์เป็นโหนดกระจายคลื่นทำซ้ำ (repeater nodes) เพื่อครอบคลุมและส่งสัญญาณ 3G และ WIFI ในปริมาตรที่ทดสอบ

ดังได้กล่าวแล้วข้างต้นว่า การสื่อสารและควบคุมของหุ่นยนต์ต้นไม้มะระหว่างในตนเองและกับโหนดอื่น ๆ มาจากรากคิดของอัลกอริธึมดัดแปลงเมตริกซ์ความแปรปรวนของ Kalman [40] ซึ่งได้อัลกอริธึมที่ให้ค่าดีกว่าของนักวิจัยท่านอื่นที่เคยทำมา [38-40] ส่วนในบทนี้จะนำเสนอเฉพาะส่วนสำคัญพอเป็นสังเขปให้ทราบถึงที่มาและรายละเอียดสำคัญให้เห็นภาพความเชื่อมโยงพารามิเตอร์และองค์ประกอบรวมที่เป็นหลักในการเขียนซอฟต์แวร์สำหรับตัวสังเกตซึ่งในที่นี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์มาสร้างเครือข่ายฮาร์ดแวร์ในการควบคุมและสื่อสารโดยมีอัลกอริธึมแสดงเป็นสังเขปดังนี้โดยเริ่มต้นจากการสร้างตัวสังเกตเพื่อใช้เป็นการวัดป้อนกลับ (feedback measurement) ให้กับระบบ โดยการพิจารณาจากแบบจำลองปริภูมิสถานะสำหรับตัวกรอง Kalman (state-space equation for Kalman filter) ในรูปสมการ

$$\begin{aligned} X_{(k+1)} &= \Phi_{(k)} X_{(k)} + \Gamma_{(k)} W_{(k)} \\ Z_{(k+1)} &= H_{(k+1)} X_{(k+1)} + V_{(k+1)} \end{aligned} \quad (2.1)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} E[W_{(k)}] &= 0 \\ \text{cov}[W_{(k)}] &= Q_{(k)} \\ E[V_{(k)}] &= 0 \\ \text{cov}[V_{(k)}] &= R_{(k)} \\ \text{cov}[W_{(k)}, V_{(k)}] &= 0 \end{aligned} \quad (2.2)$$

ในที่นี้กำหนดให้  $Q_{(k)}$  และ  $R_{(k)}$  เป็นเมตริกซ์ความแปรปรวนอินพุท ที่มีสัญญาณรบกวนสีขาว (white noises)  $W_{(k)}$  และสัญญาณรบกวนจากการวัด (measurement noise)  $V_{(k)}$  และกำหนดให้  $X_{(k)}$  และ  $Z_{(k)}$  เป็นเวกเตอร์สถานะและเวกเตอร์จากการวัดตามลำดับ ณ เวลาวิฤต (discrete time)  $k$ -th. โดยที่  $\Phi$  เป็นเมตริกซ์เปลี่ยนผ่าน (transition matrix) และ  $\Gamma$  เป็นเมตริกซ์รบกวนอินพุท (input noise matrix) และ  $H$  เป็นเมตริกซ์การวัดค่าความไว (the measurement sensitivity matrix)

โดยโครงสร้างและการใช้งานตัวกรอง Kalman ในการเริ่มใช้งานนั้น จำเป็นต้องทราบสมมติฐานทางสถิติ โดยเฉพาะค่าเริ่มต้นของสถานะที่ทราบค่าเฉลี่ยและค่าความผันแปรรวมที่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E[x(0)|Z^0] = \hat{x}(0|0) \quad (2.3)$$

$$\text{cov}[x(0)|Z^0] = P(0|0) \quad (2.4)$$

ที่  $Z^0$  เป็นค่าเริ่มต้นของข้อมูล

สัญญาณรบกวนของระบบและการวัดเป็นสัญญาณรบกวนสีขาวแบบเกาส์เซียนที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ และทราบค่าความผันแปรร่วม

$$E[v(k)] = 0 \quad (2.5)$$

$$E[v(k)v(j)'] = Q(k)\delta_{kj} \quad (2.6)$$

$$E[w(k)] = 0 \quad (2.7)$$

$$E[w(k)w(j)'] = R(k)\delta_{kj} \quad (2.8)$$

ซึ่งทั้งหมดจะเป็นอิสระต่อกัน โดยเราสามารถแสดงให้เห็นว่า ภายใต้สมมติฐานของเกาส์เซียน สัญญาณรบกวนจะมีค่าเป็น

$$E[v(k)|Z^k] = E[v(k)] = 0 \quad (2.9)$$

$$E[w(k)|Z^{k-1}] = E[w(k)] = 0 \quad (2.10)$$

เนื่องจากการคำนวณค่าตัวประกอบความแปรปรวนของแบบจำลองทางพลศาสตร์ใด ๆ ไม่อาจทำได้โดยตรง จึงใช้หลักการทำนายค่าส่วนเหลือ (predicted residuals) ของค่าของสัญญาณรบกวนของการวัด (Measurement noise:  $V_{(k+1)}$ ) ซึ่งสามารถหาค่าได้จากการประมาณ

$$\text{cov}[Z_{(k+1)}] = \sigma_{R0}^2 R_{(k+1)}$$

$$\text{cov}[X_{(k+1)}] = \sigma_{X0}^2 P_{(k+1/k)}$$

เมทริกซ์ความแปรปรวนร่วมของเศษเหลือทำนาย (predicted residuals) สามารถหาได้โดย:

$$\text{cov}[Vh_{(k+1)}] = \sigma_{X0}^2 H_{(k+1)} P_{(k+1/k)} H_{(k+1)}^T + \sigma_{R0}^2 R_{(k+1)} \quad (2.11)$$

ดังนั้น

$$E[Vh_{(k+1)}^T R_{(k+1)}^{-1} Vh_{(k+1)}] = \sigma_{X0}^2 \text{tr}[R_{(k+1)}^{-1} H_{(k+1)} P_{(k+1/k)} H_{(k+1)}^T] + \sigma_{R0}^2 \quad (2.12)$$

จากคุณสมบัติของกฎการคาดหวังวนรอบซ้ำ (Law of iterated expectations) คือ

$$E[E[X_k | Z^k]] = E[X_k] \quad \text{และจากวิธีการหาค่าเฉลี่ยอย่างง่าย (Sample Mean)}$$

$$\text{โดยที่ } E[X] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$$

ดังนั้น

$$E[Vh_{(k+1)}^T R_{(k+1)}^{-1} Vh_{(k+1)}] = \sigma_{X0}^2 \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \text{tr}[R_{(i+1)}^{-1} H_{(i+1)} P_{(i+1/i)} H_{(i+1)}^T] + \sigma_{R0}^2 \quad (2.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ซึ่งเผยแพร่ทางวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยอาศัยสมการดังกล่าวข้างต้นจะทำการคำนวณค่าตัวประกอบความแปรปรวน (variance factor) ของแบบจำลองทางพลศาสตร์ โดยที่ค่าตัวประกอบความแปรปรวน (variance factor) ของการวัดหาได้โดย  $\text{cov}[Z_{(k+1)}] = \sigma_{R0}^2 R_{(k+1)}$  ซึ่งสามารถหาค่าของ  $\sigma_{X0}^2$  ได้จาก

$$\sigma_{X0}^2 = [E[Vh_{(k+1)}^T R_{(k+1)}^{-1} Vh_{(k+1)}] - \sigma_{R0}^2] / \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \text{tr}[R_{(i+1)}^{-1} H_{(i+1)} P_{(i+1/i)} H_{(i+1)}^T] \quad (2.14)$$

โดยอาศัยการคำนวณข้างต้น จะสามารถหาค่าตัวประกอบความแปรปรวน (variance factor) สำหรับแบบจำลองของสัญญาณรบกวนของระบบได้โดยอาศัยสมการ

$$\sigma_{Q0}^2 = [E[Vh_{(k+1)}^T R_{(k+1)}^{-1} Vh_{(k+1)}] - \sigma_{X0}^2 \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \text{tr}[R_{(i+1)}^{-1} H_{(i+1)} \Phi_{(i)} P_{(i/i)} \Phi_{(i)}^T H_{(i+1)}^T] - \sigma_{R0}^2] / \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \text{tr}[R_{(i+1)}^{-1} H_{(i+1)} \Gamma_{(i)} Q_{(i)} \Gamma_{(i)}^T H_{(i+1)}^T] \quad (2.15)$$

ดังจะเห็นได้ว่าหัวข้อ 2.1 ที่ผ่านมากล่าวถึงภาพรวมของประเด็นเอกสารที่สื่อแนวคิดอันเป็นประโยชน์ในงานวิจัยนี้ ส่วนในหัวข้อที่ 2.2 เป็นการทบทวนเทคนิคที่น่าสนใจซึ่งปรับปรุงโดยผู้วิจัยซึ่งอาศัยเอกสาร [38-40] เป็นแนวทางในการนำทางสู่สมการความแปรปรวนซึ่งเป็นสมการที่ใช้ในการปรับปรุงพารามิเตอร์ของการสร้างตัวสังเกตในที่นี้ ซึ่งในที่นี้สามารถนำไปใช้เป็นอัลกอริธึมสำหรับตัวสังเกตในการสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างหุ่นยนต์และโหนดแห่งการเรียนรู้ สำหรับประเด็นปัญหาส่วนอื่น ๆ อันเป็นส่วนเกี่ยวกับการควบคุมและโครงสร้างของหุ่นยนต์ต้นไม้นั้นแบบที่เลียนแบบธรรมชาติการคายน้ำและการออกแบบและสร้างฟังก์ชันอื่น ๆ นั้น คณะผู้วิจัยได้แก้ปัญหาดังกล่าวสำเร็จลุล่วงด้วยดีในเฟสงานวิจัยหุ่นยนต์ต้นไม้นี้เฟสแรกดังแสดงตามรายงานการวิจัยในปีที่ผ่านมา ดังนั้น ในบทที่ 3 ซึ่งเป็นวิธีการดำเนินการวิจัยอันจะมุ่งเป้าไปที่การนำเสนอแนวคิดและแนวทางการทดลองเชิงเทคนิคนำสู่ผลการดำเนินงานในบทที่ 4 ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

ในเฟสแรกของหุ่นยนต์ต้นไม้วัดที่ผ่านมาเป็น การสร้างตัวสังเกต (observer) ให้กับฟังก์ชันหลักของหุ่นยนต์ต้นไม้วัดซึ่งจะต้องวัดและควบคุมสภาพบรรยากาศของสิ่งแวดล้อมให้เหมาะสมกับสภาพการเรียนการสอนให้ผู้เรียนเกิดความสบายเนื่องจากประเทศไทยอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรซึ่งมีสภาพอากาศร้อนชื้น อันเป็นช่องว่างของการสร้างโจทย์วิจัยที่ยังไม่มีนักวิจัยทางด้านหุ่นยนต์ศาสตร์ท่านอื่นครอบคลุมมาก่อนซึ่งคณะผู้วิจัยได้ทำการแก้ปัญหานี้ไปแล้ว

สำหรับในเฟสนี้เป็นการต่อยอดจากเฟสที่แล้วโดยนำหุ่นยนต์ต้นไม้วัดที่สร้างขึ้นใหม่มาประสานกับเฟสเดิมโดยขยายผลการใช้ตัวสังเกตที่สร้างขึ้นกับเครือข่ายหุ่นยนต์ต้นไม้วัดที่รวมตัวกันเป็นป่าแห่งการเรียนรู้เพื่อทำการส่งข้อมูลพหุสื่อในเครือข่ายหุ่นยนต์ต้นไม้วัดที่สร้างขึ้นนี้ บทนี้จะแสดงระเบียบวิธีวิจัยและการดำเนินงานพอเป็นสังเขปดังนี้

#### 3.1 ระเบียบวิธีวิจัยและการดำเนินงานโดยสังเขป

หัวข้อนี้กล่าวถึงวิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล ซึ่งการดำเนินการวิจัยเป็นไปตามมาตรฐานการดำเนินการที่ใช้กันทั่วไปในทางวิศวกรรมศาสตร์ ดังนี้คือ

##### 3.1.1 สืบค้นเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การสืบค้นเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้ดำเนินการดังแสดงในบทที่ผ่านมา

##### 3.1.2 สร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ขนานไปกับการกำหนดคุณสมบัติฮาร์ดแวร์

ในที่นี้จะกล่าวถึงแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ใช้สร้างตัวสังเกต (observer) ซึ่งเป็นรุ่นที่ปรับปรุงจากตัวสังเกต Kalman (Kalman Filtering) [38-40] ส่วนผลการสังเกตจากตัวสังเกตที่สร้างขึ้นจากอัลกอริธึม (algorithm) ที่ได้ซึ่งแสดงในผลการทดลองในบทที่ 4 สำหรับการสร้างฮาร์ดแวร์ในเฟสนี้ ได้นำหุ่นยนต์ต้นไม้วัดที่เคยศึกษานำร่องจากการใช้งานภายในของหุ่นยนต์ต้นไม้วัดโดยใส่อุปกรณ์สื่อสารและควบคุมในส่วนของลำต้นและกิ่ง ส่วนระบบสื่อสารจะใช้คอมพิวเตอร์เป็นโหนดกระจายคลื่นทำซ้ำ (repeater nodes) เพื่อครอบคลุมและส่งสัญญาณ 3G และ WIFI ในปริมาตรที่ทดสอบในงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างโหนดการเรียนรู้โดยมีเครือข่ายหุ่นยนต์ต้นไม้วัดและรูปแบบอื่น ทั้งหมดจำนวน 6 ตัวกระจายกันตามตำแหน่งต่าง ๆ ห่างกันประมาณ 700-1,500 เมตร โดยนำเอาหุ่นยนต์ไปวางไว้ ณ สถานที่ดังนี้

- (1) หุ่นยนต์ดอกบัวดิน 1 ณ ดึก 12 ชั้น คณะวิศวกรรมศาสตร์ ชั้น 9 ห้อง 903 แสดงในภาพที่ 3.1 (ก)
- (2) หุ่นยนต์ Virtual 3D บริเวณสนามหญ้ากลางดึกแปดเหลี่ยมใกล้ตึกอธิการบดี แสดงในภาพที่ 3.1 (ข)
- (3) หุ่นยนต์ดอกบัวน้ำ กลางสระด้านหน้าทางเข้าคณะวิศวกรรมศาสตร์ แสดงในภาพ 3.1 (ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (4) หุ่นยนต์ดอกบัวดิน 2 ณ ด้านหน้าหอประชุมคณะวิศวกรรมศาสตร์ แสดงในภาพ 3.1 (ง)
- (5) หุ่นยนต์ดอกบัวฟ้า ณ บริเวณบนตึก A คณะวิศวกรรมศาสตร์ แสดงในภาพ 3.1 (จ)
- (6) หุ่นยนต์ต้นไม้เฉลิมพระเกียรติฯ ณ ตำแหน่งลานกว้างหน้าบริเวณสนามกีฬา แสดงในภาพ 3.1 (ฉ)

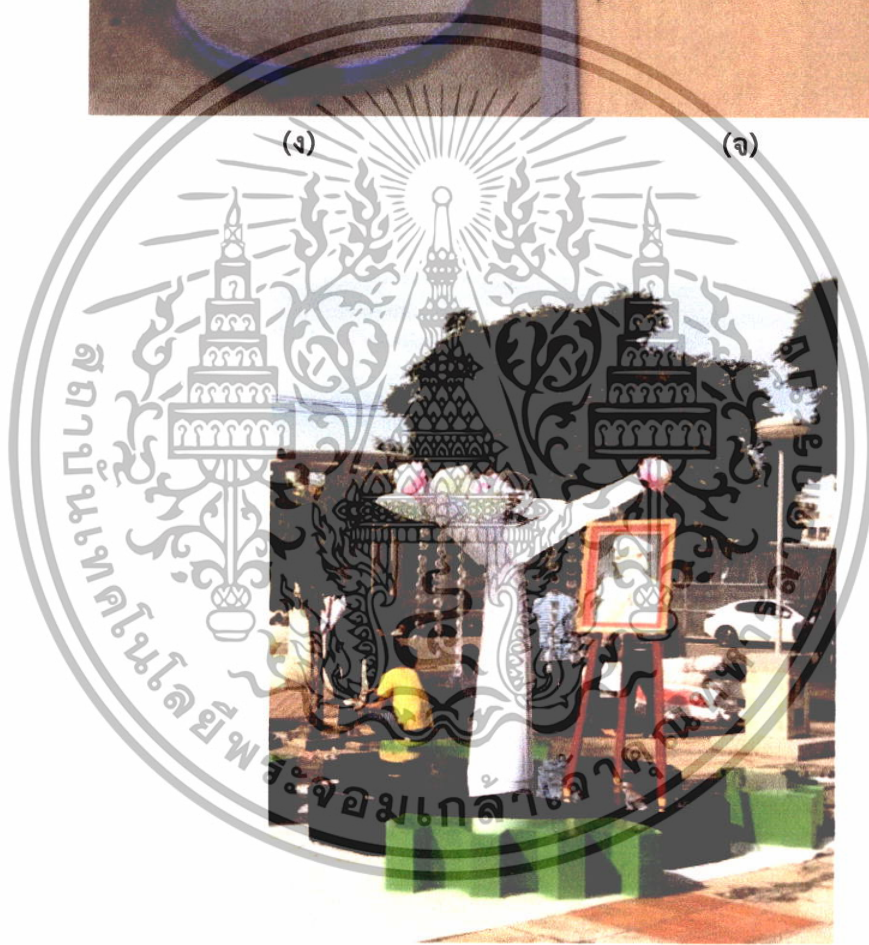
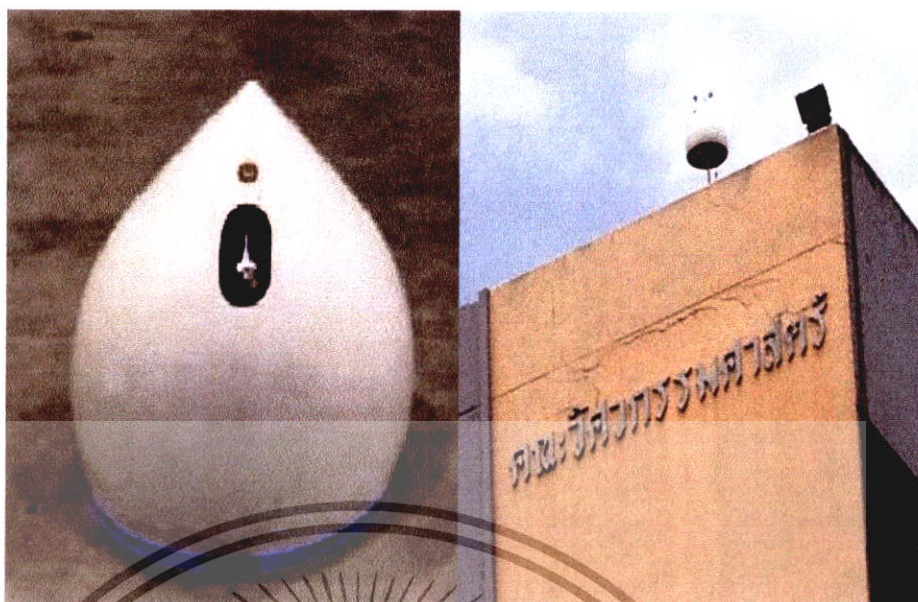
โดยมีแผนที่สรุปตำแหน่งของโหนดเครือข่ายหุ่นยนต์ดังในภาพที่ 3.2 หมายเลข สอดคล้องกับรายการหมายเลขของโหนดที่กล่าวมา



(ค)

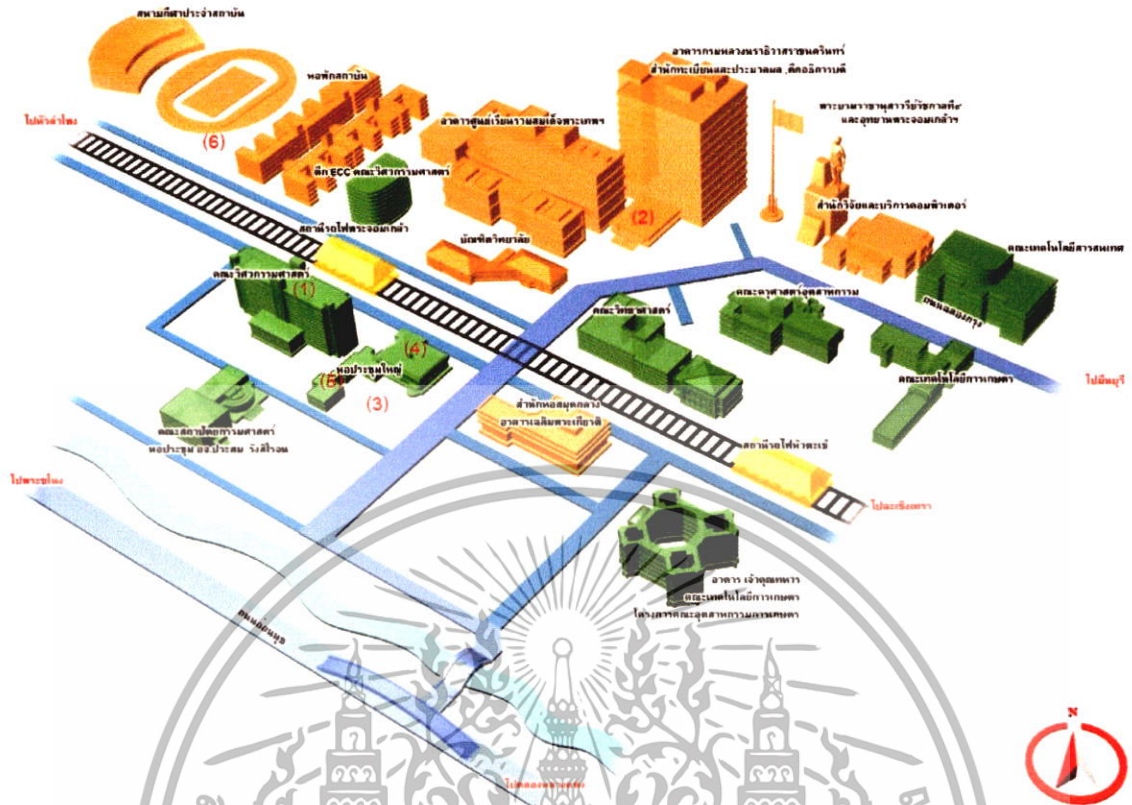
ภาพที่ 1 หุ่นยนต์ต้นไม้และเครือข่าย (ก) หุ่นยนต์ดอกบัวดิน 1 (ข) หุ่นยนต์ Virtual 3D (ค) หุ่นยนต์ดอกบัวน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 1 (ต่อ) หุ่นยนต์ต้นไม้อะครีและเครื่องขยาย (ง) หุ่นยนต์ดอกบัวดิน 2 (จ) หุ่นยนต์ดอกบัวฟ้า (ฉ) หุ่นยนต์ต้นไม้อะครีผสมพระเกียรติฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

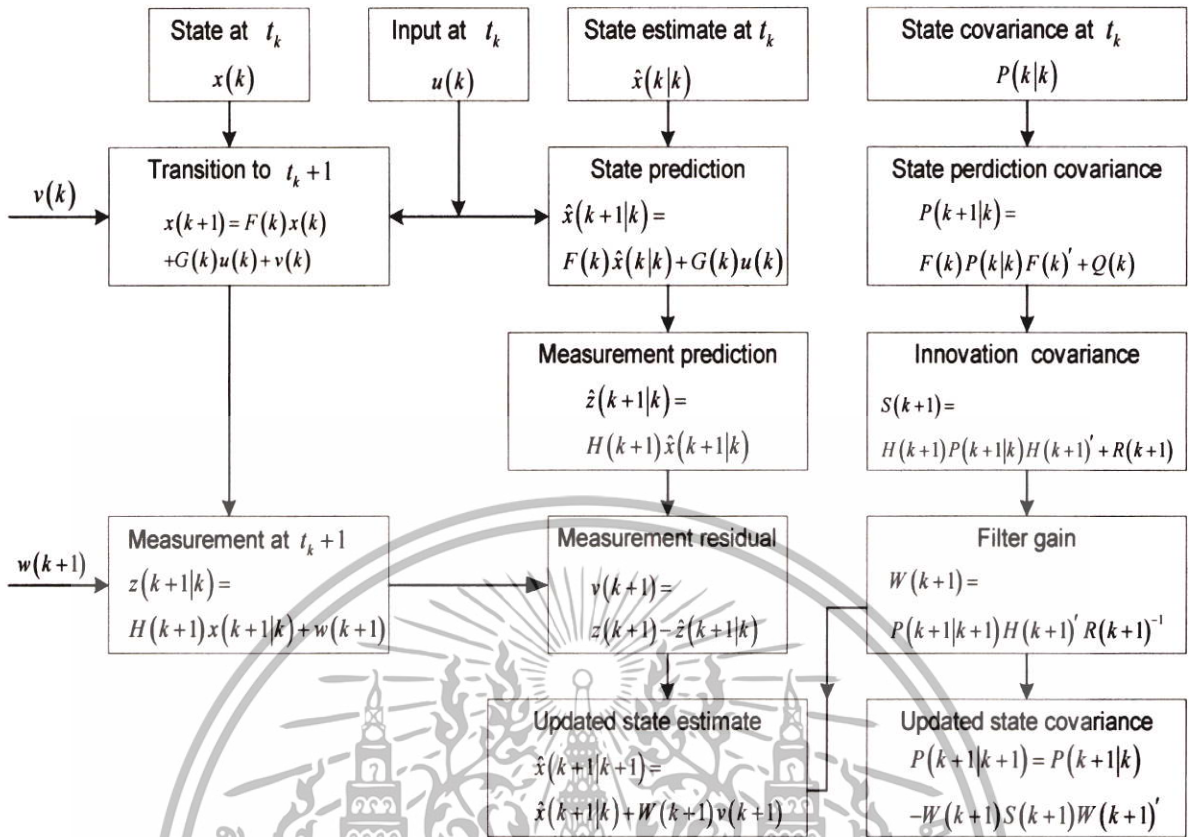


ภาพที่ 3.2 ตำแหน่งหุ่นยนต์ต้นไม้อะและบริเวณไหนดเคือข่ายหุ่นยนต์  
หมายเหตุ ดัดแปลงแผนที่จากแผนที่ภายในสถาบันฯ

3.1.3 ออกแบบระบบควบคุมและสื่อสารของหุ่นยนต์ควบคู่กับการเขียนซอฟต์แวร์  
ตั้งได้กล่าวแล้วข้างต้นว่า การสื่อสารและควบคุมของหุ่นยนต์ต้นไม้อะมาจากแนวความคิด  
ของอัลกอริธึมตัดแปลงเมตริกซ์ความแปรปรวนของ Kalman (KF) [40] โดยนำมาใช้เป็น  
ตัวสังเกตการส่งค่าสัญญาณหรือข้อมูลพหุสื่อนั้นในรายงานนี้จะรายงานเฉพาะส่วนสำคัญ  
พอเป็นสังเขปให้ทราบถึงที่มาและรายละเอียดสำคัญให้เห็นภาพความเชื่อมโยง  
พารามิเตอร์และองค์ประกอบรวมที่เป็นหลักในการเขียนซอฟต์แวร์สำหรับตัวสังเกตซึ่งใน  
ที่นี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตั้งได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.2 ในบทที่ผ่านมา โดยในส่วนนี้  
สามารถสรุปอัลกอริธึมเป็นแผนผังดังภาพที่ 3.3 ซึ่งในกรณีนี้การสังเกตจะต่างกับเฟสที่  
แล้วซึ่งนำตัวกรอง KF มาใช้สังเกตผลการควบคุมบรรยากาศภายในห้องเรียน แต่ในครั้ง  
นี้ นำมาใช้สังเกตการรับส่งข้อมูลระหว่างไหนดการเรียนรู้อะหุ่นยนต์ต้นไม้อะที่อยู่ในเครือข่าย

3.1.4 จำลองการควบคุมและสื่อสารในฟังก์ชันตามที่กำหนด  
การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์นี้จะมุ่งเน้นจำลองผลในส่วนที่สอดคล้องกับที่ได้กล่าวมาใน  
หัวข้อย่อยข้างต้น ซึ่งจะแสดงในบทต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.3 แผนผังโครงสร้างการทำงานของตัวกรอง Kalman

### 3.1.5 วิเคราะห์การทำงานของระบบ

ในขั้นนี้ จะวิเคราะห์การทำงานของระบบในภาพรวมและในองค์ประกอบย่อย ก่อนที่จะประยุกต์ใช้งานเพื่อเตรียมพร้อมจากสเกลห้องปฏิบัติการสู่สเกลสนาม ดังจะกล่าวถึงต่อไปในบทที่ 4

### 3.1.6 ทดลองและประยุกต์ใช้งาน

3.1.7 ทดลองและประเมินผลหากยังไม่ได้ตามเกณฑ์ประเมินกลับไปทำข้อ 3.1.6

3.1.8 นำต้นแบบที่ได้ทดลองในภาคสนาม และปรับแต่งจนได้ต้นแบบสมบูรณ์

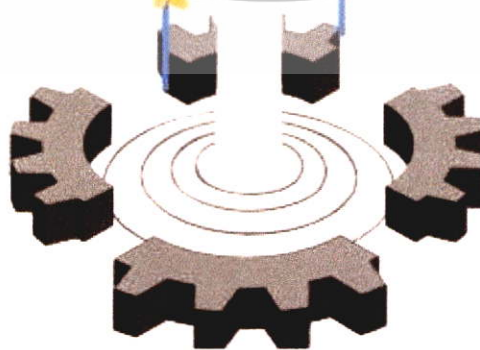
เพื่อความกระชับของเนื้อหา ความซับซ้อน 3.1.6-3.1.8 จะกล่าวถึงโดยนำเสนอแทรกในเนื้อหาต่อไปในบทที่ 4

### 3.2 การดำเนินการเรียนรู้ตามแบบ STEAM

ในหัวข้อ 3.1 ในบทที่ 3 ที่ผ่านมาแล้วนั้นเป็นการนำเสนอเชิงเทคนิคเพื่อให้ได้ฟังก์ชันการครอบคลุมทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสารเป็นการกรองสัญญาณรบกวนที่หลากความถี่รวมกันมีสภาพคล้ายดังสัญญาณรบกวนประเภท white noise ส่วนในหัวข้อนี้จะเป็นการลำดับเนื้อหาตามมุมมองการจัดการเรียนรู้แบบ STEAM เพื่อเป็นตัวอย่างในการจัดการเรียนการสอน เนื่องจากเนื้อหาในการจัดการเรียนการสอนมีมากมายไม่สิ้นสุด ในที่นี้จะคัดสรรเนื้อหาเฉพาะในเรื่องของการเกิดพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ เนื่องในวันครบรอบพระชนมายุ 88 พรรษา โดยเป็นการเล่าเรื่องอัจฉริยภาพทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสารผ่านหุ่นยนต์ต้นไม้ที่สร้างใหม่ในเฟสนี้ โดยบุคลากรพื้นฐานเป็นเสมือนหนึ่งการให้ต้นไม้เล่าเรื่อง “ต้นไม้ KMitL” ที่เติบโตภายใต้ร่มพระบารมีตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา 55 ปี นับตั้งแต่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงพระราชทานชื่อสถาบันตลอดจนทรงพระมหากรุณาธิคุณเสด็จมาทอดพระเนตรในงานนิทรรศการถึงสามครั้ง คือ ในปี พ.ศ. 2519, 2526 และ 2530 ซึ่งพระองค์ทรงเป็นแรงบันดาลใจให้คณะผู้วิจัยเดินทางสายเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์สายนี้ จึงมุ่งสร้างหุ่นยนต์ต้นไม้ในรูปแบบ “นวัตกรรมการสื่อสาร” ที่จับต้องได้เพื่อหวังส่งต่อเป็นแรงบันดาลใจให้กับเยาวชนรุ่นหลังได้ตระหนักถึงความเป็น “ครูต้นแบบของพระองค์”

#### 3.2.1 S-Science

หุ่นยนต์ต้นไม้ที่สร้างขึ้นใหม่ในงานวิจัยเฟสนี้ เป็นนวัตกรรมการสื่อสารที่จะประกอบขึ้นมาเป็นป่าแห่งการเรียนรู้ มีมิติต่าง ๆ ซ่อนอยู่หลากหลายมิติด้วยกัน ซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวถึงมิติการเรียนรู้ในชั้นกายภาพหรือสัณฐานที่เห็น และมิติเชิงเชิงแห่งกลไกทางด้านวิทยาศาสตร์ โดยจะพิจารณาจากสัณฐานของหุ่นยนต์ต้นไม้ซึ่งสร้างซึ่งใหม่เป็นรูปฟอร์มเรขาคณิต (Simple free form) ดังภาพที่ 3.4

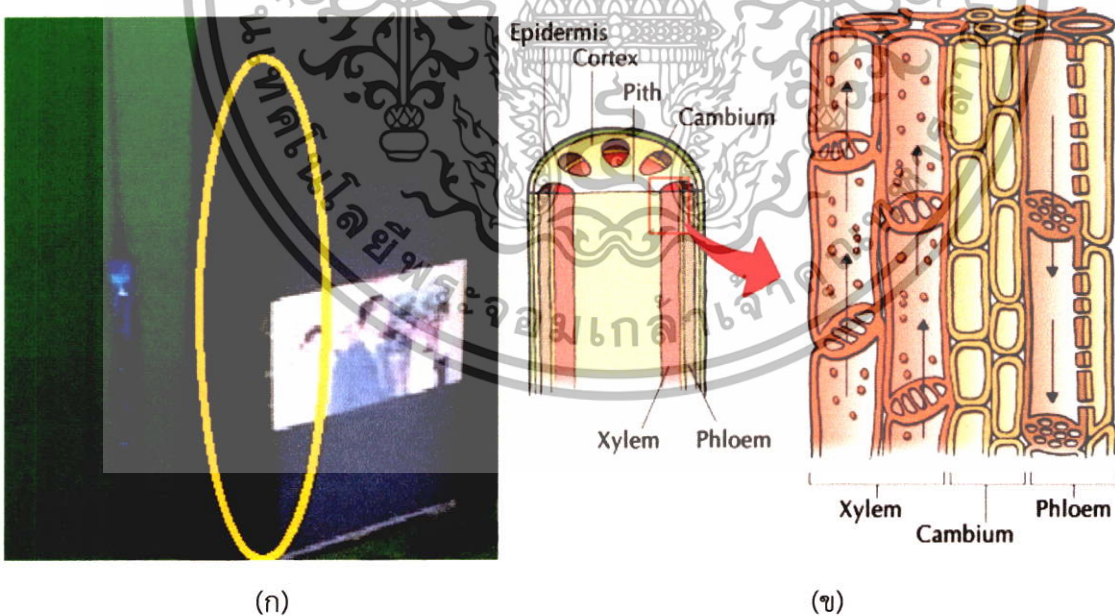


ภาพที่ 3.4 แบบหุ่นยนต์ต้นไม้ KMitL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้ามองด้านบนลงมาจะเป็นรูปของสมาชิกของจุดที่โปรเจกชัน (projection) ลงบนวงกลมประจักษ์สัญญาณ จากฟ้าโปรเจกต์ลงมาเป็นพิกัด (coordinate) โดยมีแกนอ้างอิงด้านแนวนอน (abscissa) เป็นแกนสมมาตร (symmetry) โดยการหมุนซึ่งสะท้อนการไม่เปลี่ยนแปลงของด้านในวงกลม ซึ่งมีหลายชั้นตามค่าของรัศมีในระบบพิกัดโพลาร์ (polar coordinate) โดยที่การแปลงพิกัดแบบนี้เป็นการหมุนของตัวดำเนินการ  $\exp(+j\omega)$  หากหมุนนิยามค่านิยามเวลา (time convention) ตามแนวทวนเข็มนาฬิกา (counterclockwise, CCW) หรือกฎมือซ้าย (left hand rule) และ  $\exp(-j\omega)$  ซึ่งหากหมุนนิยามค่านิยามเวลา (time convention) ตามแนวเข็มนาฬิกา (clockwise, CW) ซึ่งเป็นการกำเนิดรากฐานเรขาคณิตวิเคราะห์และตรีโกณมิติ อันนำไปสู่การแปลงจากโดเมนเวลา (time domain) ไปยัง โดเมนความถี่ (frequency domain) ซึ่งการหมุนของตัวดำเนินการนี้ไปสู่การแปลงสัญญาณโดยอาศัยการแปลงแบบฟูรีเยร์ (Fourier Transform) และเมื่อพิจารณาค่าปัจจัยการเข้าถึง (attenuation factor) ก็จะครอบคลุมถึงโดเมนเชิงซ้อน (complex domain) เป็นการแปลงแบบลาปลาซ (Laplace Transform) [58] อันเป็นพื้นฐานเชิงเครื่องมือและสัญญาณลักษณะในการต่อยอดการคิดสู่ทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การแผ่รังสี และสายอากาศ

ภายในลำต้นบางบางส่วนไว้เป็นภาคตัดขวางตรงกลางสอดป้อมและใส่น้ำเข้าไปให้ไหลวนกลางลำต้นแทนท่อลำเลียงน้ำ (xylem) และท่อลำเลียงอาหาร (phloem) ซึ่งใช้แสงและสีแทนแต่ละแบบของท่อลำเลียงและระบุการตั้งน้ำด้วยการใช้ฟองอากาศแทน โดยมีวงปีและส่วนที่เป็นวาสคิวลาร์แคมเบียม (vascular cambium) ให้เห็นเป็นชั้น ๆ [59] โดยมีเปลือกนอกปิดลำต้นที่สร้างขึ้นดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 การสร้างตามแบบทางวิทยาศาสตร์กลไกลำเลียงของน้ำและอาหารของต้นไม้

(ก) การเลียนแบบโครงสร้างกลางลำต้น (ข) โครงสร้างตามหลักวิทยาศาสตร์ [60]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 T-Technology

เทคโนโลยีที่ใช้กับหุ่นยนต์ต้นไม้อินเฟส “ป่าแห่งการเรียนรู้” ซึ่งในที่นี้เป็นป่าแห่งการเรียนรู้ในทัศนะของยุคเศรษฐกิจดิจิทัลอันมีการแผ่คลื่นพหุสื่อเป็นทะเลอันแห่งรหัสข้อมูลอันไร้ขอบเขต ซึ่งในที่นี้ใช้เทคโนโลยีการสื่อสารแบบ WiFi และ 4G ซึ่งได้แนวคิดการสร้างเสาอากาศสำหรับการแผ่คลื่นในย่าน 2.4GHz [62] จากการดัดแปลงสายอากาศแบบไส้กรอกหลวง (Royal sausage) อันเป็นแนวคิดและพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ ซึ่งได้ทรงทำให้ดูเป็นตัวอย่างในย่านวิทยุสื่อสาร [61] โดยคำนวณตามศูนย์กลางแบนด์ (the center of the band) ในพิสัยความถี่ย่าน 2.4000-2.4835 GHz โดยมี

$$\text{Center frequency (Fc)} = 2.4441 \text{ GHz}$$

ซึ่งนำมาใช้คำนวณหาระยะท่อน (segment) ของสายอากาศแต่ละท่อนได้จากสูตร

$$\text{Segment length} = (c/Fc) \times (Vo/2)$$

โดยที่ c คือความเร็วแสง Vo เป็นความเร็วในสายโคเอกเซียล (coaxial line) ซึ่งในที่นี้แทนค่า

$$c = 300000$$

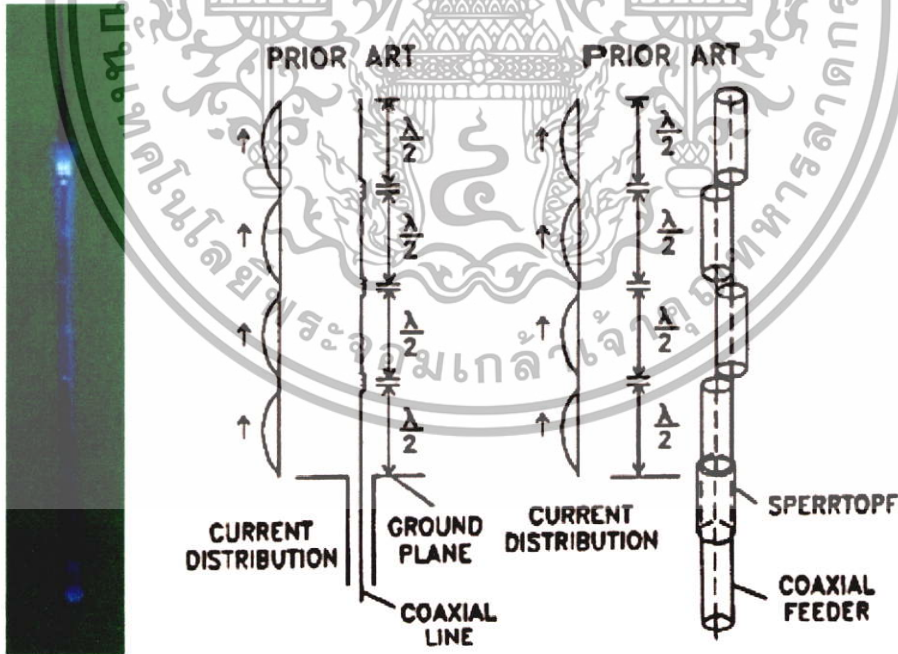
$$fc = 2441000000$$

$$Vo = 0.85$$

จะได้

$$\text{Segment length} = 52.5 \text{ mm}$$

ดังสร้างและแสดงเปรียบเทียบแบบในภาพที่ 3.6 ซึ่งนำร่องการสร้างโครงตามแบบและประยุกต์จาก [63]

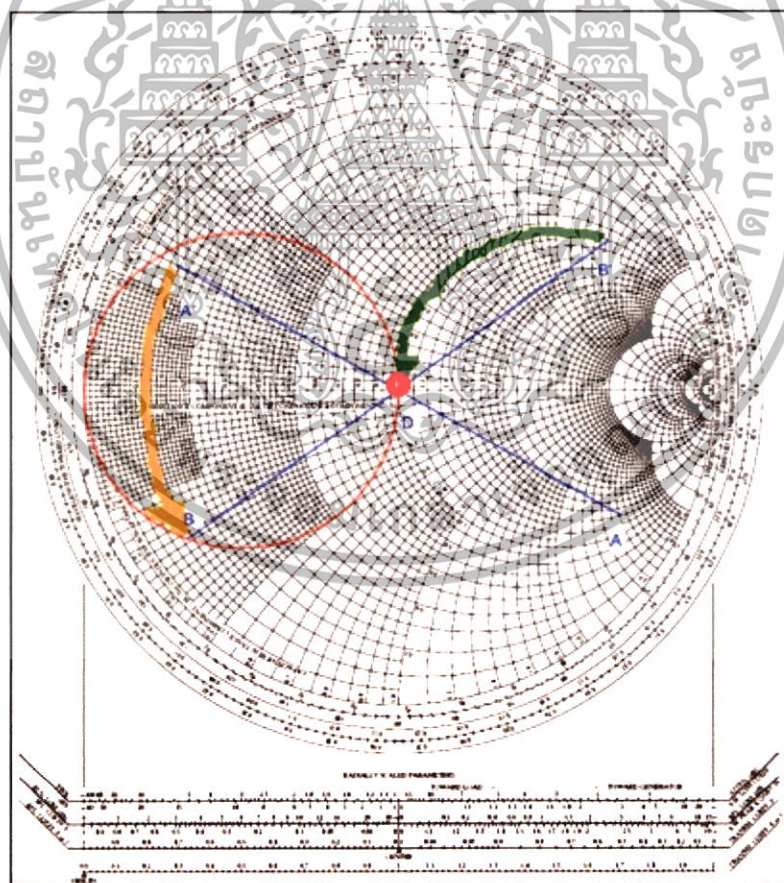


ภาพที่ 3.6 การสร้างสายอากาศเพื่อแผ่คลื่นข้อมูลสื่อสารตามแนวคิดเทคโนโลยี [61-63]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3 E-Engineering

ในส่วนวิศวกรรมด้านหลักการออกแบบสายอากาศแบบใส่กรอกหลวงโดยประยุกต์ความถี่เป็นความถี่ WiFi ที่ใช้กันแพร่หลายในปัจจุบันนั้น ออกแบบโดยใช้เครื่องมือคือ Smith Chart ตามหลักวิศวกรรมที่ว่าถ้าพารามิเตอร์ค่า  $VSWR = 1$  ซึ่งสอดคล้องกับสัมประสิทธิ์การสะท้อนเท่ากับ  $0$  ซึ่งก็คือจุด ณ ที่กึ่งกลาง Smith Chart ซึ่งคือจุดสีแดงดังภาพ 3.7 จะทำให้ได้ค่าการส่งผ่านของข้อมูลสูงที่สุด (maximum transfer) โดยมีการสูญเสียกำลังน้อยที่สุด (minimum return loss) [64] ในการสร้างจึงต้องกวาดค่าความถี่ที่ต้องการใช้งานและพล็อตหาค่าความถี่โดยปรับ (matching) ให้ได้ความถี่ที่ตรงกับจุดกลางของ Smith chart ดังภาพที่ 3.7 ในที่นี้โครงสร้างของพรมที่ใช้เป็นส่วนประกอบของหุ่นยนต์ต้นไม้จำลองขนาดของ Smith chart ตามสัดส่วนโดยใช้คอนตันแทนการกวาดของความถี่ซึ่งในความเป็นจริงอาจไม่ได้ค่า  $VSWR = 1$  แต่ที่กำลังขยายไม่เกิน 1.3:1 ถือว่าเข้ามาตรฐานหลวง (Royal standard) ตามแนวพระราชดำริแล้วซึ่งถือว่าสูงกว่ามาตรฐานของการสร้างเสาอากาศสำหรับวิทยุสมัครเล่นทั่วไปในการออกแบบเชิงวิศวกรรมเมื่อกว่า 40 ปีที่แล้ว ซึ่งพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวจัดเป็น “ครูของแผ่นดิน” และเป็น “นายช่างใหญ่ผู้เป็นพลังแห่งแผ่นดิน” อย่างแท้จริงเพราะทรงเชี่ยวชาญในการออกแบบ สร้าง และการ “ปรับ” ให้ได้ค่าตามมาตรฐานหลวงให้เป็นตัวอย่างแก่เยาวชนที่ได้แรงบันดาลใจต้องการเป็นวิศวกรเจริญรอยตามเบื้องพระยุคลบาทในพระอัจฉริยภาพเชิงวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสารของพระองค์



**ภาพที่ 3.7** การปรับให้ได้การถ่ายทอดกำลังสูงสุดในการแพร่กระจายคลื่นพหุสื่อโดยใช้แผนภูมิ Smith เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.4 A-Art

ส่วนของการผสมผสานศิลปะเข้ากับหุ่นยนต์ต้นไม้นั้นมีแนวคิดมาจากการเรียงร้อยศิลปะวิทยาการในคณะและภาควิชาต่าง ๆ ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เข้าด้วยกันจนท้ายที่สุด “แปลงรูป (metaphor)” หรือวิวัฒนาการไปเป็นสัญลักษณ์ของ “จักรี” ซึ่งประกอบด้วยลักษณะแปลงรูปจาก “จักร” และ “ตรี” ตามสัณฐานของหุ่นยนต์ต้นไม้นี้ ตามคำกลอนแปดสัมผัส โดยแต่ละวรรคแทนแต่ละภาพย่อยในภาพที่ 3.8 ดังนี้

สถาปัตยกรรมสัญลักษณ์บริสุทธิ์ วิศrutเกษตรล้ำนำสมัย วิทยาฟิสิกส์แสงแรงกลไก ศิลปะมโนไร้กรอบดวงมลายวิ  
วิศวกรรมสรรพณภูมิิต สังเคราะห์คิดสื่อเฟสสนเทศสาร ครุคั่นคว่าศิภาวิชาการ อภิธานสัญลักษณ์ “จักรีวงค์”

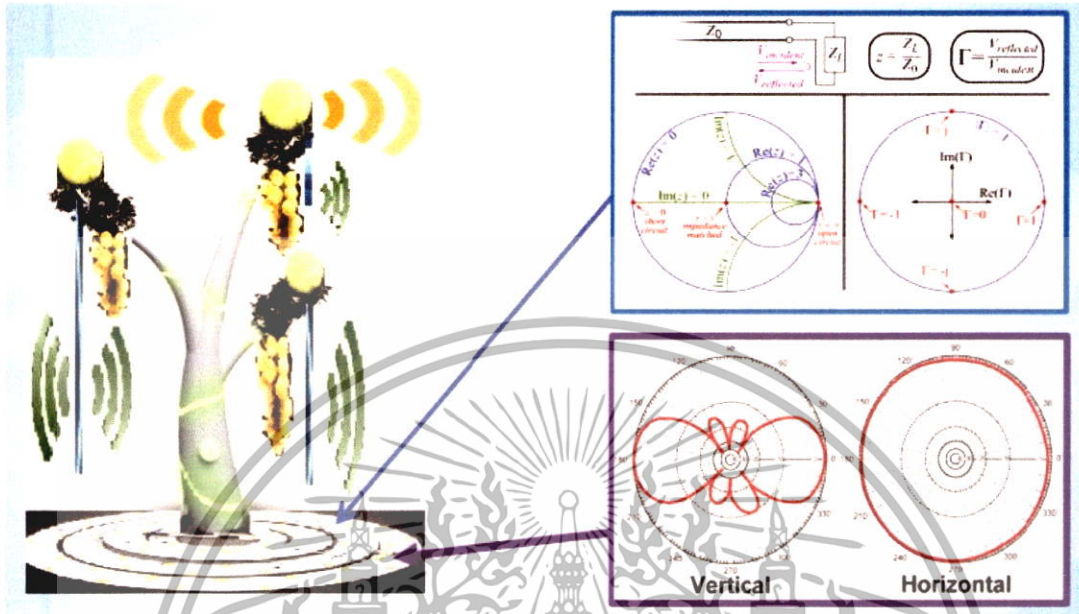


ภาพที่ 3.8 การแปลงลักษณะของหุ่นยนต์ต้นไม้นี้ KMITL

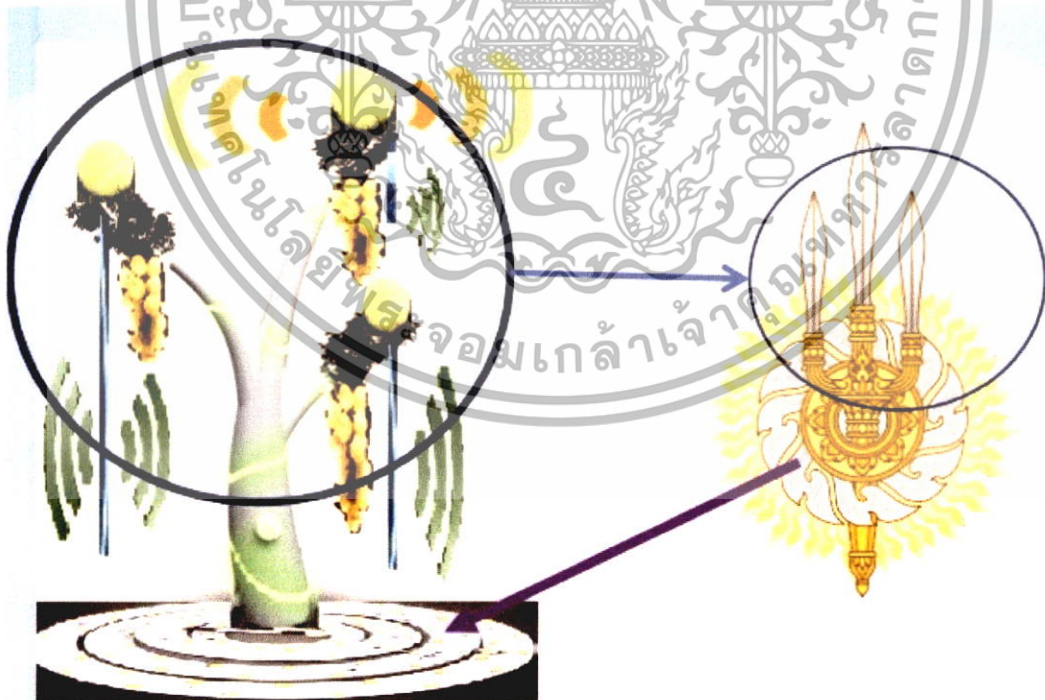
ภาพที่ 3.8 ขยายแนวคิดของต้นไม้แห่งการเรียนรู้ ที่สามารถควบรวมและส่งผ่านเนื้อหาหรือข้อความผ่านสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่ต่าง ๆ ในภาพฐานออกแบบล้อเนื้อหาในหัวข้อ 3.2.3 E-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Engineering ไปรอบบริเวณเป็นการสร้าง “ป่าแห่งการเรียนรู้” จากมุมมองบุคลากรพื้นฐานและเชิงกายภาพ  
 ดังแสดงมิติเชิงสัญลักษณ์ในภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 แนวคิดการผนวกวิศวกรรมในศิลปกรรม



ภาพที่ 3.10 อภิธานสัญลักษณ์ “จี้กริ่ง”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.5 M-Mathematics

จากการที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวมีพระมหากรุณาธิคุณทรงแปล “นายอินทร์ ผู้ปิดทองหลังพระ” [66] ซึ่งเป็นเรื่องราวเกี่ยวกับเบื้องหลังการทำงานของหน่วยงานลับที่อยู่เบื้องหลังชัยชนะของสัมพันธมิตรในสงครามโลกครั้งที่ 2 ซึ่งแสดงให้เห็นสภานักวิชาการชาวไทยทราบและตระหนักความสำคัญของวิทยาการรหัสลับ (Cryptography) จากการที่ Alan Turing และทีมสามารถถอดเครื่องรหัส Enigma ของกองทัพเยอรมันอันเกรียงไกรได้ ส่งผลให้สงครามพลิกความได้เปรียบกลับไปเป็นฝ่ายสัมพันธมิตร ด้วยแรงบันดาลใจนี้ขนาดสัดส่วนของหุ่นยนต์ต้นไม้อัจฉริยะมีความยาวและความกว้างของลำต้นในแต่ละช่วงนับจากวงปวงแรกที่กว้าง 17 มม ขยายออกไปตามลำต้นแนวกว้างตามสมการ  $n^2 + n + 17$  โดยเริ่มจาก  $n = 0, 1, 2, 3, \dots$  เป็นต้นไป ซึ่งหากนับความลาดของช่วงทำมุมของกิ่งและลำต้นไปตามแนวทแยงมุมแล้ว จะได้ตัวเลขในแนวทแยงมุมเป็นเลขจำนวนเฉพาะ (prime number) ซึ่งสามารถเขียนได้ดังภาพที่ 3.10 ดังที่ค้นพบโดย Ulam [67] ซึ่งเลขจำนวนเฉพาะนี้มีคุณสมบัติพิเศษในการสร้างและถอดชุดของกุญแจรหัสในวิทยาการรหัสลับ [68]



ภาพที่ 3.11 วงเกลียวเลขจำนวนเฉพาะดัดแปลงจากแบบฉบับของ Ulam [67, 69]

บทถัดไปเป็นการนำเสนอผลการวิจัยโดยจะนำกรอบแนวคิดที่ได้จากบทที่ผ่านมา ร่วมกับระเบียบวิธีวิจัยและแนวคิดการเรียนรู้แบบ STEAM เพื่อออกแบบและสร้าง “ป่าแห่งการเรียนรู้” ในมิติของเครือข่ายหุ่นยนต์และการเข้าถึงฐานข้อมูลจากตัวสังเกตที่ได้ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้คือมุ่งเน้นการประดิษฐ์อันมีการจดสิทธิบัตรเป็นเป้าหมายสำคัญ เนื่องจากตามข้อกำหนดนั้นการเปิดเผยการประดิษฐ์ก่อนการยื่นจดในรูปรายงานต่อสาธารณะถือเป็นการละสิทธิเพราะว่าถือเป็นการทำให้เป็นสาธารณะ โดยข้อกำหนดเบื้องต้นนี้คณะผู้วิจัยจึงขอสงวนสิทธิในการเปิดเผยรายละเอียดในการประดิษฐ์และผลการทดลองในมิติที่ลงรายละเอียด ณ ที่นี้ จึงขอกล่าวถึงผลการประดิษฐ์และการทดลองที่สามารถเปิดเผยได้โดยในหัวข้อ 4.1 เป็นผลลัพธ์เชิงเทคนิค (technical output) ที่ได้จากการวิจัยซึ่งในรายงานฉบับนี้เน้นการใช้ตำแหน่งการเรียนรู้และการใช้ข้อมูลร่วมกันของหุ่นยนต์ที่กำหนดตำแหน่งเฉพาะตามภาพที่ 3.1 และ 3.2 โดยกำหนดให้หุ่นยนต์ดกบววดินที่ 1 และ 2 ในภาพที่ 3.1 ก และ ง เคลื่อนที่ในตำแหน่งท้องที่และส่ง Normalized coordinates มาเป็นการให้พิกัดร่วมกับหุ่นยนต์ตัวอื่น ๆ ผ่านการใช้ตัวสังเกตที่นำเสนอในบทที่ 2 ส่วนในหัวข้อ 4.2 เป็นผลพลอยได้ (outcome) ซึ่งเป็นผลกระทบ (impact) ที่ได้จากงานวิจัยนี้ซึ่งเป็นส่วนของการจัดการเผยแพร่หุ่นยนต์ต้นไม้อ่างส่วนในมิติของ STEAM ซึ่งได้แสดงหลักการในหัวข้อ 3.2 ที่ผ่านมา

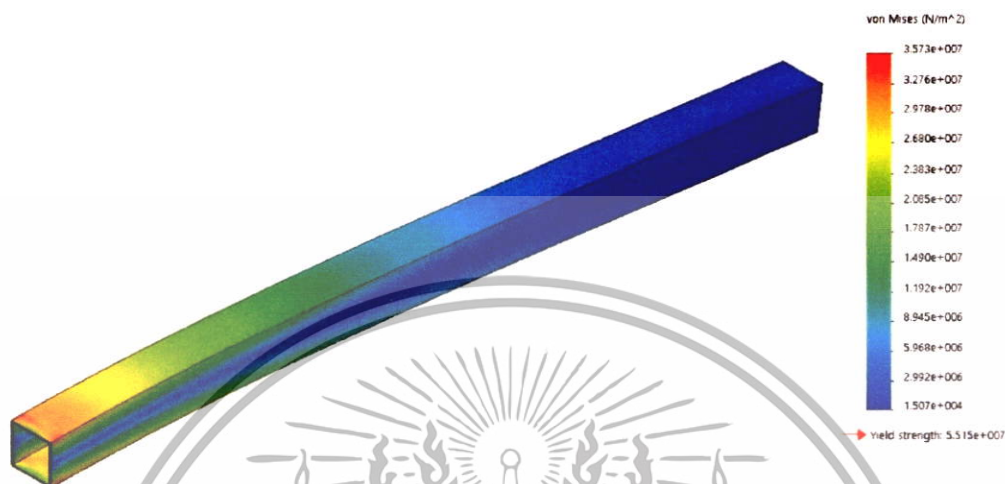
#### 4.1 ผลลัพธ์เชิงเทคนิค

##### 4.1.1 การวิเคราะห์โครงสร้างเชิงกล

การทดสอบวัสดุที่ใช้ทำกึ่งและก้านต้นไม้ ซึ่งเป็นการต่อเชื่อมระหว่างตัวต้นกับอุปกรณ์ภายนอกสำหรับควบคุมและส่งสัญญาณ ซึ่งหากการเชื่อมต่อของก้านและกึ่งซึ่งในที่นี้เสริมภายในด้วยอลูมิเนียมสี่เหลี่ยมสอดเข้ากับโครงสร้างกลางของกึ่งเพื่อรับน้ำหนักภายใน โดยออกแบบไว้ให้รับน้ำหนักได้ตั้งแต่ 1-10 กิโลกรัม ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าจะใช้ในส่วนใดของร่างกายที่ยื่นจากลำต้น ผลการจำลองด้วยวิธี Finite Element ได้ผลดังภาพที่ 4.1 และตารางที่ 1

ในภาพที่ 4.1 จุดที่รับความเค้นมากไปน้อยในผลการจำลองจะให้สีแดงไปจนถึงสีน้ำเงินตามลำดับในระดับขนาดสเกล (order of magnitude) ห่างกันประมาณ 1,000 จากค่าสูงสุดไปยังต่ำสุดตามลำดับ ดังนั้นจะเห็นว่าที่โคนกึ่งจะรับน้ำหนักมากที่สุดซึ่งเป็นไปตามสามัญสำนึก เพราะเป็นบริเวณที่เชื่อมต่อซึ่งตรงตามทฤษฎีของคาน (beam theory) [70] โครงสร้างลักษณะนี้เป็นท่อกว้างจึงสามารถมีบริเวณภายในที่สามารถทำวัสดุสอดใส่เพื่อเพิ่มฟังก์ชันการใช้งานและเป็นฐานสำหรับการติดยึดเชื่อมกับโครงสร้างอื่น ๆ ซึ่งจากความเค้นที่หาได้จากแบบจำลองเชิงอันดับ (Finite element model) ทำให้สามารถคำนวณค่าของความเครียดที่เป็นไปได้โดยคิดค่าสูงสุดเพื่อการออกแบบในสถานการณ์ที่คาดว่าแย่ที่สุด (worst case scenario) กล่าวคือเป็นค่าความเครียด (strain) ที่สูงที่สุดที่ซึ่งหากวัสดุสอดใส่ยึดตัวมากไปกว่านั้นจะทำให้กึ่งผิดรูปและเกิดระยะเคลื่อนตัวที่สูญเสียรูปร่างดังที่ออกแบบโครงสร้างไว้ ดังจะเห็นจากตารางที่ 1 ว่าเป็นไปตามสามัญสำนึกนั่นคือ ระยะเคลื่อนตัวที่สูงสุดที่เป็นไปได้ในหน่วยมิลลิเมตรที่โคนกึ่งเมื่อรับภาระถึง 10 กก จะเคลื่อนตัวสูงที่สุดนั่นคือ 2.349 มม อันเป็นจุดจำกัดที่อาจทำให้เกิดรอยร้าวตามดที่อาจไม่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า และอาจก่อให้เกิดรอยร้าวที่เพิ่มขึ้นกว่านี้เมื่อเวลาผ่านไป ดังนั้นจึงควรจำกัดน้ำหนักในการสอดใส่และรวมน้ำหนักของกึ่งไม่ให้เกิน 10 กก เพราะน้ำหนักดังกล่าวจะทำให้เกิดความล้าสะสม (collective fatigue load) กับกึ่งก้านที่ออกแบบไว้ได้ สำหรับการสร้างจริงโดยอาศัยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวทางจากการวิเคราะห์โครงสร้างเชิงกลในหัวข้อย่อย 4.1.1 ดูจากภาคผนวก ก เพื่อการกระชับของการนำเสนอจึงควรใส่ไว้ในภาคผนวก



ภาพที่ 4.1 ตัวอย่างความเค้นที่ทำต่อวัสดุเสริมกึ่งเมื่อรับ load ที่น้ำหนัก 10 กิโลกรัม

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของวัสดุที่ใช้สอดภายในกึ่งเทียม

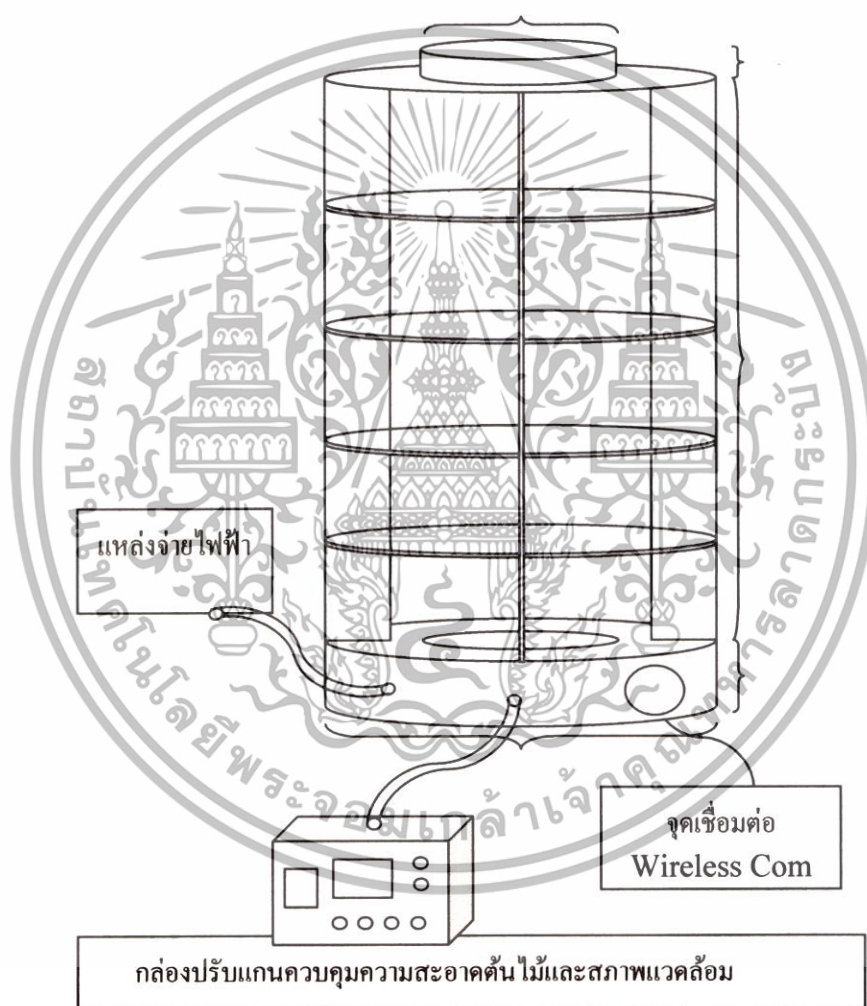
ประเภทของ ภาระที่ทำต่อ กึ่ง	น้ำหนักภาระ (kg)	ความเค้นที่เกิดขึ้นในวัสดุ สอดใส่			ระยะยืดตัวของวัสดุใส่สอด		หน่วย
		ความเค้น ต่ำสุด	ความเค้น สูงสุด	หน่วย	ระยะเคลื่อน ตัว ต่ำสุด	ระยะเคลื่อน ตัว สูงสุด	
กดทับ	0.1	0	$3.573 \times 10^5$	$\text{N/m}^2$	0	$2.349 \times 10^{-2}$	mm.
	1	0	$3.573 \times 10^6$	$\text{N/m}^2$	0	$2.349 \times 10^{-1}$	mm.
	10	0	$3.573 \times 10^7$	$\text{N/m}^2$	0	2.349	mm.
ดึงข้าง	0.1	0	$1.038 \times 10^4$	$\text{N/m}^2$	0	$7.418 \times 10^{-5}$	mm.
	1	0	$1.038 \times 10^5$	$\text{N/m}^2$	0	$7.418 \times 10^{-4}$	mm.
	10	0	$1.038 \times 10^6$	$\text{N/m}^2$	0	$7.418 \times 10^{-3}$	mm.

#### 4.1.2 การทดสอบความปลอดภัยภายในโครงสร้างหุ่นยนต์ต้นไม้

ในการทดสอบที่ผ่านมาเป็นรายละเอียดของความเค้นที่กระทำต่อวัสดุสอดใส่ภายในกึ่งกับระยะที่เปลี่ยนไปอันเป็นผลมาจากความเครียดที่เกิดขึ้นแสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งรายงานในหัวข้อย่อยที่ผ่านมา ส่วนในหัวข้อย่อย 4.1.2 นี้เป็นการทดสอบกักรักษาความสะอาดเชิงกักจำกัดเชื้อโรคภายในลำต้นไม้เพื่อไม่ให้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นแหล่งแพร่เชื้อระหว่างการเรียนรู้ตามสถานที่ต่าง ๆ ที่เป็นที่ยุบัติการของหุ่นยนต์ต้นไม้เมื่อเคลื่อนย้ายไปในจุดอื่นที่กำหนดให้เป็นโหนดแห่งการเรียนรู้หรือในบริเวณชั้นเรียน

ในการทดสอบนี้วางแกนควบคุมต้นไม้ดังภาพที่ 4.2 โดยแกนภายในมีระบบการฆ่าเชื้อใช้แสง UVC เพื่อให้สภาพห้องเรียนปลอดเชื้อและลดการติดต่อในกรณีที่มี airborne infection ในห้องเรียนจากนักเรียนที่มาเรียนในภาวะแพร่เชื้อ โดยใช้ความเข้มแสง :  $23 \mu W/cm^3$  ค่าวัตต์ต่อพื้นที่เท่ากับ  $0.15 W/m^2$  ภายในระยะ 1 เมตรที่คาดว่าจะติดในส่วนที่วัดจากพื้นขึ้นมา ซึ่งค่าบริเวณที่ติดพื้นนั้นจะเป็นบริเวณที่ค่า RH สูงสุด



ภาพที่ 4.2 แผงแกนควบคุมต้นไม้และระบบฆ่าเชื้อภายในลำต้น

โดยค่าความสัมพันธ์ของ RH กับบริเวณต่าง ๆ นั้นได้ทำการวัดและทดลองในเฟสที่ผ่านมา อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองวัดปริมาณความเข้มในจุดต่าง ๆ ที่ติดลำแสง UVC บริเวณท่อภายในกิ่งที่รับภาระโหลดโดยวัดจากโคนกิ่งที่เชื่อมตั้งในหัวข้อย่อยที่ 4.1.1 โดยวัดจากโคนไปแสดงในตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการวัดความเข้มแสงเทียบจากโคนถึงกึ่งภายในลำต้น (แสดงค่าเพียง 10 ค่าแรก)

ระยะห่างจากโคนที่ติดตั้ง UVC (cm)	ค่าความเข้มแสงที่วัดได้ ( $W/cm^2$ )
2	9.5
4	7.4
6	3.5
8	2.8
10	2
12	1.6
14	1.3
18	1
20	0.8
22	0.7

และเมื่อทำการตรวจแบคทีเรียโคลิฟอร์มด้วยน้ำยาจากชุด KIT SI-2\_ โดยทำการ swap ในบริเวณที่ไกลที่สุดในตารางที่ 4.2 แล้วตั้งขวดน้ำยาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24-48 ชม. พบว่าพบว่าบริเวณเดียวกันก่อนการฉายแสงให้ผล - negative แสดงว่ามีเชื้อโคลิฟอร์ม ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของสีน้ำยาเป็นเหลืองเข้ม แสดงว่ามีจำนวนของเชื้อโคลิฟอร์มมาก และเมื่อทำการฉายแสง UVC เป็นเวลา 30 นาที พบว่าแสงสามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าวได้ทำให้มั่นใจได้ว่าระบบโครงสร้างหุ่นยนต์ต้นไม้ที่ออกแบบจะไม่สร้างปัญหาการแพร่เชื้อโรคให้สิ่งแวดล้อมเมื่อติดตั้งในระยะเวลานานเพราะมีกลไกฆ่าเชื้อโรคดังที่ได้แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบกลไกการควบคุมปริมาณเชื้อโรคในโครงสร้างภายในหน่วยการเรียนรู้หุ่นยนต์ต้นไม้

สีน้ำยาชุดควบคุม	ก่อนเปิดระบบฆ่าเชื้อในโครงสร้าง	หลังเปิดระบบฆ่าเชื้อ
		

#### 4.1.3 การออกแบบประสบการณ์การเรียนรู้จากบทเรียนการทดสอบค่าสี

ในหัวข้อนี้แสดงส่วนการออกแบบและสร้างประสบการณ์การเรียนรู้จากบทเรียนในการทดสอบค่าสี ซึ่งผู้เรียนสามารถดูได้จากอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือหรือคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล หรืออุปกรณ์แสดงผลเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พกพาอื่น ๆ ที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) ในการออกแบบหน้าผู้ใช้ตลอดจนวิธีการใช้งานในส่วนนี้จะรายงานเป็นสังเขปซึ่งจะเสนอเฉพาะส่วนที่เป็นการทดลองทดสอบค่าสีเป็นตัวอย่างได้ดังนี้คือ

#### 4.1.3.1) หน้าแรกของแอปพลิเคชันการทดสอบค่าสี

ในส่วนหน้าแรกของประสบการณ์ผู้เรียนผ่าน “ป่าแห่งการเรียนรู้” ซึ่งในงานวิจัยนี้คือการเชื่อมต่อของเครือข่ายหุ่นยนต์ในบริเวณทดสอบบริเวณต่าง ๆ ภายในติกรอบ สจล. ซึ่งมีหน้าแรกดังภาพที่ 4.3 การออกแบบรักษาภูของความง่ายต่อการใช้งานมีปุ่มกดตัวเลือกให้ตัดสินใจไม่มากนักเพื่อประหยัดเวลาในการเข้าสู่หน้าต่าง ๆ โดยไม่ต้องเสียเวลาค้นหา (Self-directed gateway concept)



ภาพที่ 4.3 หน้าแรกของส่วนประสบการณ์ผู้เรียน

#### 4.1.3.2) หน้าประสบการณ์เรียนรู้ที่สอง

ในหน้านี้จะปรากฏหน้าต่างดังภาพที่ 2 ให้ผู้เรียนทำการกรอกข้อมูลซึ่งเป็นรายละเอียดต่อจากหน้าแอปพลิเคชันแสดงในภาพที่ 4.4 ซึ่งมีรายละเอียดของ

ชื่อไฟล์: (กรอก ชื่อไฟล์ ที่เราต้องการเก็บข้อมูล ซึ่งจะบันทึกไว้ในไฟล์นามสกุล .xls)

จำนวนตัวอย่าง: (ให้ระบุ จำนวนตัวอย่าง ที่ต้องการค้นข้อมูล)

จำนวนครั้ง: (ให้ระบุ จำนวนครั้ง ที่ต้องการบันทึกข้อมูล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



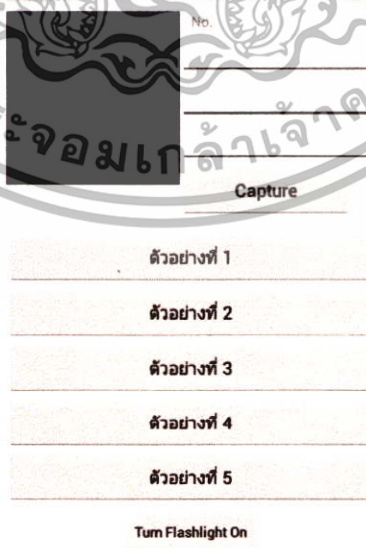
ชื่อไฟล์:  
 \_\_\_\_\_  
 จำนวนตัวอย่าง:  
 \_\_\_\_\_  
 จำนวนครั้ง:  
 \_\_\_\_\_

Save

#### ภาพที่ 4.4 หน้าสองของส่วนประสบการณ์ผู้เรียน

4.1.3.3) หน้าประสบการณ์เรียนรู้ที่สาม

หลังจากทำขั้นตอนที่ผ่านมาจะปรากฏหน้าจอของการเก็บภาพข้อมูลเพื่อทำการประมวลผลภาพ ดังภาพที่ 4.5 หลังจากนั้นให้ คลิก ที่ปุ่ม Turn Flashlight On เพื่อทำการเปิด Flash ค้างไว้

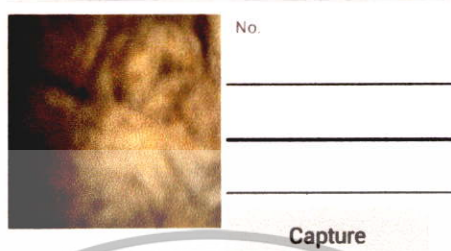


#### ภาพที่ 4.5 หน้าสามของส่วนประสบการณ์ผู้เรียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.3.4) หน้าประสบการณ์เรียนรู้ที่สี่

หลังจากทำขั้นตอนที่แล้ว จะปรากฏภาพที่หน้าจอดังภาพที่ 4.5 หลังจากกดปุ่ม Flash ให้ทำงานแล้ว ปุ่มจะเปลี่ยนสถานะเป็น Turn Flashlight Off ในที่นี้แสดงภาพเป็นภาพของสีเยื่อไม้ภายใต้แสงแฟลชที่ส่องจากกล้องของโทรศัพท์มือถือของผู้เรียน



ภาพที่ 4.6 หน้าสี่ของส่วนประสบการณ์ผู้เรียน

#### 4.1.3.5) หน้าประสบการณ์เรียนรู้ที่ห้า

ในหน้านี้ให้ทำการคลิกที่ปุ่ม Capture เพื่อทำการเก็บภาพข้อมูลและประมวลผลภาพโดยหุ่นยนต์ต้นไม้และให้ค่ากลับมาทำโดยผ่านระบบ Cloud ที่ระบุในหน้าโปรแกรม โดยรายละเอียดของหน้าแอปพลิเคชันมีดังนี้

No: แจ้งถึง จำนวนครั้งที่ คลิก ปุ่ม Capture

R: บอค่าสีแดง (Red)

L\*: บอค่าความสว่าง (lightness)

G: บอค่าสีเขียว (Green)

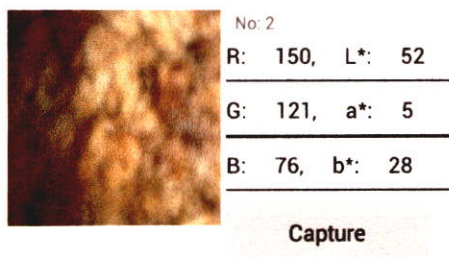
a\*: จะบอกถึงแกนสีจากเขียว (-a\*) ไปจนถึงแดง(+a\*)

B: บอค่าสีน้ำเงิน (Blue)

b\*: จะบอกถึงแกนสีจากน้ำเงิน (-b\*) ไปเหลือง(+b\*)

ทั้งนี้ระบบการกำหนดค่าสีเป็นระบบมาตรฐานอ้างอิงจาก [71] และในระหว่างคลิกปุ่ม Capture เพื่อทำการเก็บภาพ จะปรากฏข้อความแจ้งเตือน NEXT เพื่อทำการคลิกปุ่ม Capture ต่อไป จนกว่าจะครบตามจำนวนครั้งที่ได้กรอกข้อมูลไว้เบื้องต้นดังแสดงในภาพที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตัวอย่างที่ 1

ตัวอย่างที่ 2

ตัวอย่างที่ 3

ตัวอย่างที่ 4

ตัวอย่างที่ 5

NEXT  
Turn flashlight Off

#### ภาพที่ 4.7 หน้าห้าของส่วนประสบการณ์ผู้เรียน

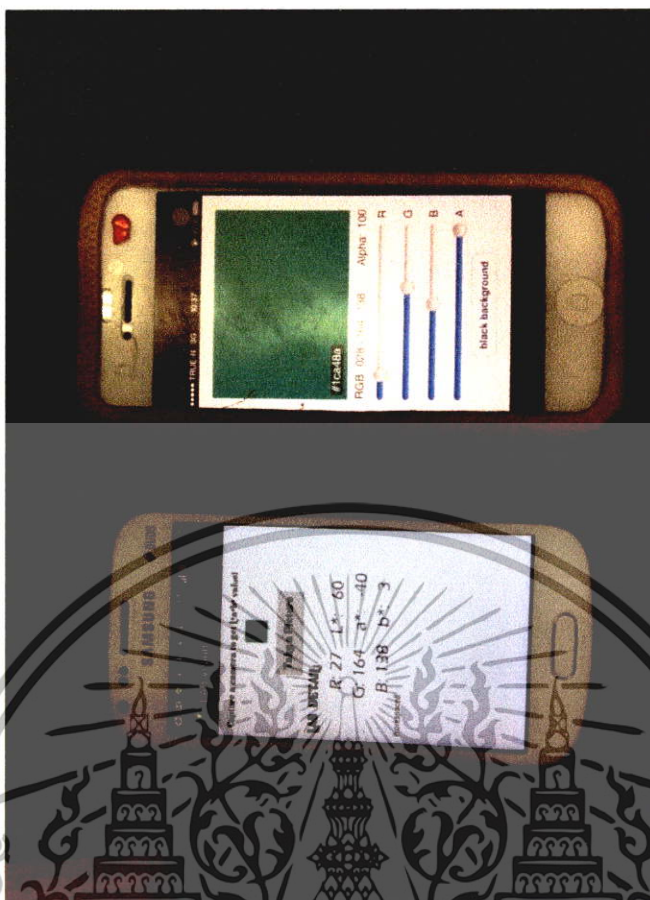
##### 4.1.3.6) หน้าประสบการณ์เรียนรู้ที่หก

เพื่อให้การแสดงผลเป็นไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะต้องทำการเก็บตัวอย่างมากกว่าหนึ่งครั้ง และเมื่อครบตามจำนวนที่ระบุไว้คือ 10 ครั้ง ที่หน้าจอแอปพลิเคชัน จะปรากฏหน้าต่างแจ้งเตือนว่า *การทดลองเสร็จสมบูรณ์*

##### 4.1.3.7) ขั้นตอนสุดท้ายสำหรับแอปพลิเคชันการเรียนรู้สี

ตัวแอปพลิเคชันจะทำการสลับหน้าโดยอัตโนมัติไปยังหน้าต่างไฟล์ Excel ที่โปรแกรมได้ทำการบันทึกไว้ โดยรายละเอียดของหน้าแอปพลิเคชัน บันทึกข้อมูล ชื่อไฟล์, ครั้งที่กด Capture เพื่อทำการเก็บภาพ, ค่า  $L^*$ , ค่า  $a^*$ , ค่า  $b^*$  ในแต่ละครั้งที่เราทำการกด Capture, ค่าเฉลี่ย Mean, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน SD และ ในแถวสุดท้ายของในแต่ละตัวอย่างการทดลอง แจ้งผลลัพธ์ Result ว่าตัวอย่างสีจากเยื่อในต้นไม้ที่นำมาทดลองนั้นผ่านค่าที่กำหนดหรือไม่ ในที่นี้สามารถระบุกับระบบ RGB และค่าอื่น ๆ เพื่อทำการควบคุมฉากและพื้นหลังประกอบฉากให้เปลี่ยนสีและลดโทนสีได้ตามที่ต้องการ ผลการทดสอบยืนยันความถูกต้องของโปรแกรมการเรียนรู้ผ่านแอปพลิเคชันที่สร้างขึ้นนี้ ยืนยันจากภาพที่ 4.7 ซึ่งทดสอบสีของความเขียวที่วัดได้ในภาพเปรียบเทียบกับโทรศัพท์มือถือตัวกลางเทียบกับค่าสีมาตรฐานของโทรศัพท์ตัวบนซึ่งแสดงจากรายค่าสีมาตรฐาน ซึ่งได้ค่าตรงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.8 การเปรียบเทียบค่าสีจากโปรแกรมการเรียนรู้ที่สร้างขึ้นกับค่ามาตรฐาน

#### 4.1.4 การกำหนดโหนดเครือข่าย

โหนดเครือข่ายในภาพที่ 3.1 สามารถระบุเป็นหน่วยสื่อสารตามเครือข่ายหุ่นยนต์เพื่อทำการรับส่งข้อมูลโดยให้

$$P = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6\}$$

เป็นตำแหน่งประจำจุด (1)-(6) ตามลำดับโดยในที่นี้ กำหนดให้ข้อมูลหรือค่าที่ส่งระหว่างโหนดการสื่อสารทั้ง 6 เป็น  $T = \{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6\}$

โดยตัวเลข 1-6 สอดคล้องกับตำแหน่งในภาพที่ 3.1 ดังได้กำหนดแล้ว ในที่นี้มีเพียงโหนด 1 และ 4 ซึ่งเป็นหุ่นยนต์บวดินทั้งสองตัวเท่านั้นที่สามารถเคลื่อนที่ได้ภายในบริเวณห้องที่เนื่องจากมีสภาพเป็นหุ่นยนต์เคลื่อนที่ (mobile robots) และกำหนดให้สถานภาพข้อมูลโทเคน (token) ใดๆตามสถานะที่เป็นได้คือ  $M_i(p_k)$  ซึ่งเป็นฟังก์ชันสถานะที่ครอบครองดัชนี  $k$  ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดให้ตามเส้นทางเดินข้อมูลที่ออกแบบหรืออาจกำหนดให้เป็นสถานะที่เป็นตัวแปรอิสระได้

การทดลองการสังเกตสถานการณ์เคลื่อนย้ายข้อมูล (data transaction) และการกำเนิดเหตุการณ์ (trick events) นั้นมีสมมติฐานระบบขับเคลื่อนเวลา (time driven systems) ดังนี้

(1) Initialize  $p_1$  ( $m_1=1$ ),

(2)  $I_i(t_1)=p_1$ , โดยที่ฟังก์ชัน  $I$  เป็นค่าฟังก์ชันถ่ายโอนอินพุต (transition input function) ณ เวลา  $t$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3)  $p_1$  เป็นสมาชิกของ  $O(t_1)$  โดยที่  $O$  เป็นค่าฟังก์ชันถ่ายโอนเอาต์พุต (transition output function) และกำหนดให้ค่าสัมบูรณ์ของจำนวนนี้มีค่ามากกว่า 1

(4)  $I_p(p_1) = O_p(p_1) = \{t_1\}$

จากการกำหนดโครงสร้างของระบบเครือข่ายหุ่นยนต์เพื่อส่งค่าผ่านโหนดการเรียนรู้สามารถเขียนตัวอย่างการกำหนดโครงสร้างเน็ตเวิร์คเป็นภาษา PNL [72] ได้ดังนี้

$t_1: \text{init}(p_1) \text{ invokes}(\text{accept}(\text{request}, \text{parameters}))$

$p_1: \text{place}(t_1)$

$t_1: \text{trans}(p_2, p_3)$

$p_2: \text{place}(t_2)$

$t_2: \text{trans}(p_4) \text{ invokes}(\text{acknowledge})$

$p_3: \text{place}(t_3)$

$t_3: \text{trans} \text{ invokes}(\text{examine}(\text{parameters}, \text{limits}))$

$p_4: \text{place}(t_4)$

$t_4: \text{trans}(p_5)$

$p_5: \text{place}(t_5)$

$t_5: \text{place}(p_6) \text{ invokes}(\text{update}(\text{link}))$

$p_6: \text{place}(t_6)$

$t_6: \text{term}$

โดยการกำหนดให้ Simulation time เท่ากับ 1000/s

Arriving rate เท่ากับ 1/s

Service rate เท่ากับ 0.1/s

จากการกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับเครือข่ายจะได้ผลการจำลองและการทดลองที่แตกต่างกันไปสุดแท้แต่จะออกแบบการส่งผ่านแพ็คเกจข้อมูลว่าจะให้ผ่านไปยังโหนดไหนด้วยโครงสร้างใด และเวลาประวิง (delay time) เท่ากับเท่าใด ตัวอย่างผลการเก็บข้อมูลของ Gateway จาก Robot Source ถึง Robot Destination ในแต่ละช่วงเวลาแสดงดังภาพที่ 4.8 ผู้สนใจสามารถขอข้อมูลการบันทึกจากฐานข้อมูลทั้งหมดได้ที่คณะวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

=====Records Time : 1 =====

**RN\_A Forest of Learning Database at Time = 1**

ID	Robot Destination	Robot Source	Time
1	FL5-1	Rn_a	1

**RN\_C Forest of Learning Database at Time = 1**

ID	Robot Destination	Robot Source	Time
1	FL6-1	Rn_c	1

**Gateway for Forest of Learning Database at Time = 1**

ID	Forest Gateway	Gateway Time	Destination	Robot Source	Time
1	FL5-1	1	begin Rn A	Rn_a	0
2	FL6-1	1	begin Rn C	Rn_c	0

=====Records Time : 2 =====

**RN\_A Fesst of Learning Database at Time = 2**

ID	Robot Destination	Robot Robot Source	Time
1	FL5-1	Rn_a	2

**RN\_B Forest of Learning Database at Time = 2**

ID	Robot Destination	Robot Robot Source	Time
1	FL1-5	Rn_b	2

**Gateway for Forest of Learning Database at Time = 2**

ID	Forest Gateway	Gateway Time	Robot Destination	Robot Source	Time
1	FL5-1	1	begin Rn A	Rn_a	0
2	FL6-1	1	begin Rn C	Rn_c	0
3	FL5-1	2	FL5-1	Rn_a	1

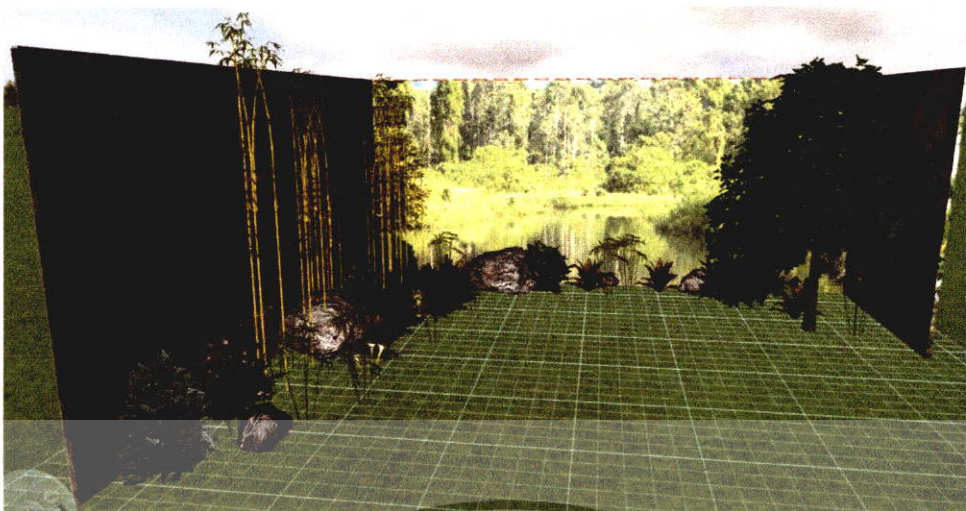
ภาพที่ 4.9 ตัวอย่างแบบฟอร์มการบันทึกข้อมูลจากการสังเกตของเครือข่ายหุ่นยนต์ผ่านเกตเวย์ ประจำหน่วยการเรียนรู้

#### 4.1.5 การสร้างพื้นที่การเรียนรู้ไซเบอร์จากการฉายภาพพหุสื่อ

ในเฟสที่ 1 ของปีที่แล้ว กรอบแนวคิดงานวิจัยนี้ใช้แนวคิดหุ่นยนต์เลียนแบบต้นไม้ โดยหุ่นยนต์ต้นไม้จะเป็นผู้ช่วยสอนหรือผู้ช่วยครูที่สามารถแสดงพหุสื่อในรูปแบบภาพสามมิติ เป็นสถานี WIFI เชื่อมต่อสังคมออนไลน์และโลกอินเทอร์เน็ต ให้ผู้เรียนสามารถดาวน์โหลดบทเรียนและพหุสื่อรวมทั้งโปรแกรมใช้งานที่เกี่ยวข้องกับการเรียนการสอนได้ และขณะที่ไม่มีการใช้งานหุ่นยนต์ต้นไม้จะเป็นเฟอร์นิเจอร์ในห้องเรียนที่สามารถปรับบรรยากาศควบคุมทั้งความชื้น อุณหภูมิ เป็นเครื่องฟอกอากาศให้ห้องเรียนมีสภาพปลอดเชื้อโรคและสามารถควบคุมโรคติดต่อทางเดินหายใจได้อีกด้วย โดยในเฟสที่ 2 นี้เป็นการบูรณาการเป็น “ป่าแห่งการเรียนรู้” ซึ่งมีองค์มิติในการเรียนรู้ที่ขยายผลจากระบบ “flipped classroom “ สู่อารการเรียนรู้แบบ “STEAM” โดยใช้เนื้อหาเป็นองค์นำ ซึ่งก็คือ Science, Technology, Engineering, Art, และ Mathematics โดยเรียนรู้แบบ “เพลิน” (Plean=Play+Learn)

ในรายงานนี้ คณะผู้วิจัยได้ออกแบบสร้างโครงสร้างกิ่งกายภาพของป่าแห่งการเรียนรู้โดยใช้การสอดประสานโดยหุ่นยนต์ต้นไม้เพื่อกำหนด leaning space หรือ พื้นที่แห่งการเรียนรู้เพื่อกำหนดอาณาห้องเรียนกิ่งเสมือนจริง ณ บริเวณที่ต้องการ ซึ่งหุ่นยนต์ต้นไม้สามารถฉายภาพผ่านโปรเจคเตอร์สู่ผนังเปลี่ยนบรรยากาศให้ห้องเรียนเป็น Active learning space และสามารถกำหนดการให้แสงโดยเปลี่ยนสีได้จาก Interactive control โดยผู้เรียนเป็นผู้เลือก ตัวอย่างของฉากบรรยากาศผ่านโปรเจคเตอร์ของหุ่นยนต์ต้นไม้แสดงดังภาพที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

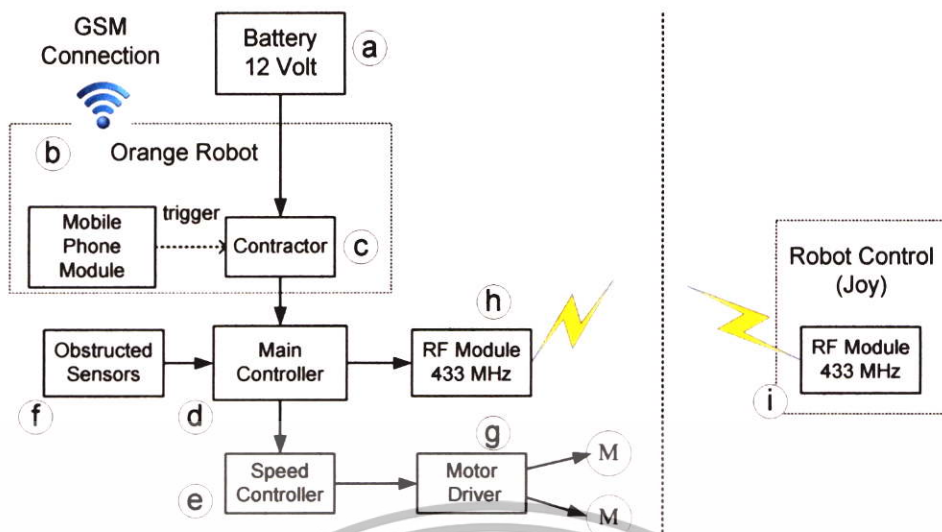


ภาพที่ 4.10 ตัวอย่างการฉายแปลนการกำหนด Learning space เป็นฉากบรรยากาศกระตุ้นการเรียนรู้

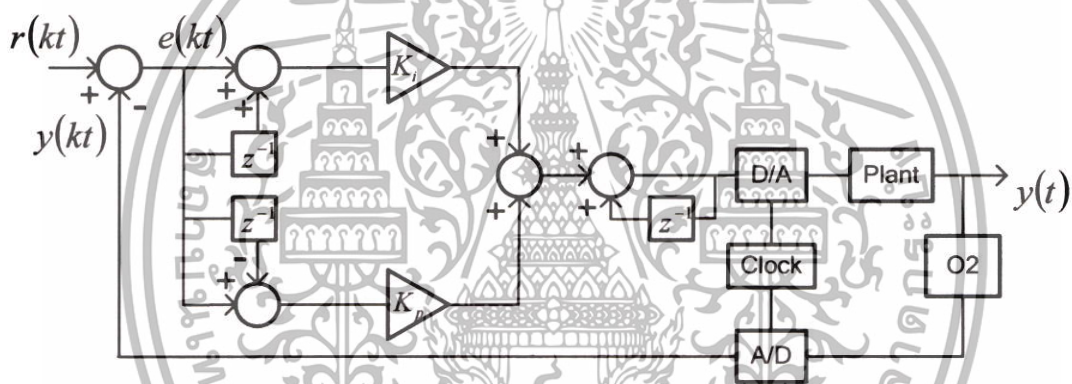
และเมื่อนำภาพอินพุตทั้งสี่ด้านจากฐานข้อมูลในเซิร์ฟเวอร์มาบูรณาการกับ Learning space ในภาพที่ 4.9 มาผ่านกระบวนการรวมภาพเป็นไฟล์วิดีโอจะเห็นภาพทั้งหมดประกอบกันเสมือนผู้เรียนอยู่ท่ามกลางป่าจริง โดยในเฟสนี้สามารถจัดการปรับค่าสีและความเข้มแสงผ่านหน้าจอมือถือของผู้เรียนเพื่อปรับระดับสายตา และเลือกสีได้ตามต้องการ ดังอาจใช้การปรับตั้งที่ได้กล่าวมาในภาพที่ 4.7 ของหัวข้อย่อย 4.1.2 ที่ผ่านมา โดยการปรับสีฉากจากโทรศัพท์มือถือซึ่งสามารถใช้เป็นอุปกรณ์ริโมทควบคุมบทเรียนและจังหวะแห่งการเรียนรู้เฉพาะตน (individual customized learning)

ในส่วนโครงสร้างของหุ่นยนต์ต้นไม้ที่ได้ดัดแปลงจากต้นแบบแรกนั้น ในเฟสนี้ได้ปรับโครงสร้างที่จะทำให้งิ่งและส่วนขยับเคลื่อนไหวของใบไม้ โดยมีตัวขับเคลื่อนที่ควบคุมผ่านวงจรควบคุมที่ได้ออกแบบดังภาพที่ 4.10 ซึ่งแสดงแผนภาพระบบควบคุมการเคลื่อนไหวของกิ่งและใบโดยรวม และในภาพที่ 4.11 เป็นการควบคุมตัวขับเคลื่อนกิ่งและใบด้วยพีซีบล็อกจิก PI [73] รูปวงจรตัวขับเคลื่อนที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น โดยมีฮาร์ดแวร์ในภาพที่ 4.12 ในส่วนที่เป็นการทดสอบฟังก์ชันการทำงานของระบบควบคุมกลไกการปิดเปิดคลีของดอกและสถานะของท่อลำเลียงน้ำที่ได้สร้าง (implement) โดยการจำลองระบบท่อไซเล็ม (xylem) ซึ่งเลียนแบบธรรมชาติกลไกการลำเลียงน้ำของพืชได้แสดงไว้ในภาพที่ 3.5 ของบทที่ 3 ผลการทดสอบในส่วนที่เป็นสมรรถนะของพีซีพีไอ เป็นที่ทราบกันเป็นความรู้สามัญ (general knowledge) ซึ่งเป็นเพียงความรู้เทคนิคที่เติบโต “เต็มวัย (maturity)” แล้ว ณ ปัจจุบันและไม่ได้เป็นประเด็นที่มุ่งเน้นถึงความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมใหม่แต่เพียงไรจึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องแสดง ณ ที่นี้ ตัวอย่างภาพการประยุกต์ในองค์รวมต่างหากที่เป็นผลพวงของนวัตกรรมในงานวิจัยเชิงบูรณาการในทางกว้างซึ่งเน้นการนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดอันเป็นผลกระทบ (outcome) ดังที่จะได้กล่าวถึงต่อไปในหัวข้อ 4.2 สำหรับผู้ที่สนใจรายละเอียดเชิงเทคนิคสามารถสอบถามหรือขอข้อมูลงานวิจัยในเชิงการควบคุมหรืองานเทคนิคเชิงช่างเพิ่มเติมได้ที่คณะผู้วิจัยโดยตรง ภาพผังตำแหน่งมอเตอร์ของกลีบดอกในภาคผนวก ข ระบุจุดที่ใช้ประยุกต์ใช้การควบคุมมอเตอร์ด้วยอัลกอริธึมนี้

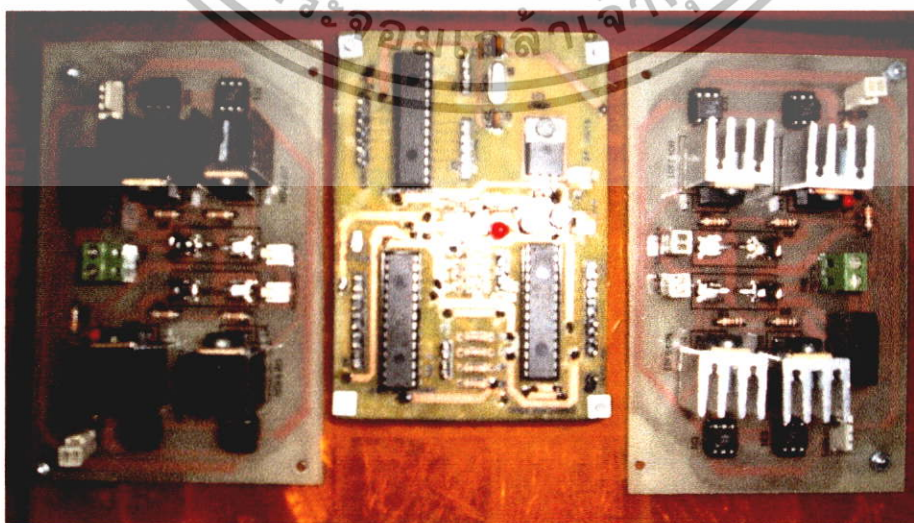
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.11 ผังระบบควบคุมกึ่งและใบโดยผ่านโทรศัพท์มือถือผู้เรียน



ภาพที่ 4.12 แผนผังการควบคุมด้วยระบบพีซีลอคจิก PI



ภาพที่ 4.13 ผังชุดขับกึ่งและใบของหุ่นยนต์ต้นไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ผลกระทบ (Outcome)

ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการประดิษฐ์ (invention) ที่มีนวัตกรรม (innovation) ทางด้านการศึกษาในลักษณะการสร้างพหุสื่อการเรียนรู้ที่ก่อให้เกิดการใช้งานเป็นต้นแบบเพื่อให้เกิดการกระตุ้นการเรียนรู้ อันก่อให้เกิดคุณูปการเพื่อพัฒนาชาติ ทุนบารุงศาสนา และเทิดพระเกียรติแด่พระมหากษัตริย์ดังนี้คือ

### 4.2.1 ผลกระทบในเชิงการพัฒนาชาติ

จากคำกล่าวที่ว่า “การศึกษาสร้างคน คนสร้างชาติ” ผลกระทบประการแรกจากงานวิจัยก่อให้เกิดคุณูปการตั้งแต่การกระตุ้นเยาวชนให้เกิดการเรียนรู้ในมิติต่าง ๆ ตั้งแต่นักเรียนระดับเด็กอนุบาลเรียนรู้ส่วนบุคคลไปจนถึงนักศึกษาเรียนรู้แบบกลุ่มระดับมหาวิทยาลัยดังแสดงในภาพที่ 4.13 โดยจากรูปเป็น “นวประติมากรรม 9 มิติ” โดยคำว่า “นว แปลว่า ใหม่ หรือ เก้า” ชื่อว่า “ต้นไม้ของพ่อ” เป็นผลกระทบจากการต่อยอดขยายผลงานวิจัย “ป่าแห่งการเรียนรู้” ซึ่งได้ปรับปรุงจากโครงการหุ่นยนต์ต้นไม้เฟสสอง ในภาพทั้งสองเยาวชนของชาติกำลังเรียนรู้ถึงมิติต่าง ๆ ตั้งแต่การเข้าถึงสื่อด้วยเทคโนโลยีสารสนเทศในรูปแบบต่าง ๆ จนถึงการดาวน์โหลดข้อมูลผ่านเครือข่ายสื่อสารที่มีต้นไม้กระจายคลื่นพหุสื่อจากฐานข้อมูลในลำต้น

นอกจากนี้ได้สาธิตรูปแบบการเรียนรู้แบบ STEAM ในการเผยแพร่นำเสนอผลงานวิจัยนี้ ในวันศุกร์ที่ 18 ธันวาคม 2558 เวลา 8.30-17.00 น ณ หอประชุมเจ้าพระยาสุรวงศ์ไวยวัฒน์ (วร บุนนาค) โดยเนื่องในโอกาสที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล) ร่วมกับที่ประชุมอธิการบดีแห่งประเทศไทย (ทปอ) ประจำปี 2558 เรื่อง “ความร่วมมือของอุดมศึกษาไทยในการแก้ไขปัญหาของประเทศ” ดังแสดงในภาพที่ 4.14-4.15

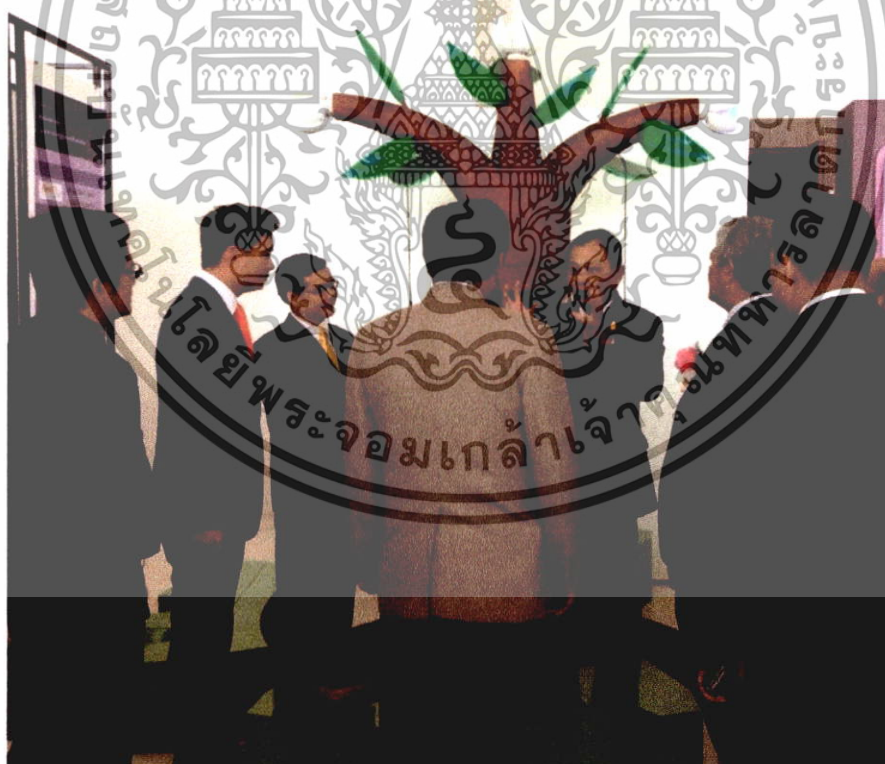


ภาพที่ 4.14 “ต้นไม้ของพ่อ” ผลกระทบจากการต่อยอดงานวิจัย “ป่าแห่งการเรียนรู้”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.15 ตัวอย่างการศึกษาเชิงบูรณาการแบบ STEAM



ภาพที่ 4.16 ท่านรัฐมนตรีว่าการกระทรวงศึกษาธิการพลเอกดาว์พงษ์ รัตนสุวรรณ นำเยี่ยมชมโดยท่านอธิการบดี สจล. ศาสตราจารย์ ดร. สุชีวีร์ สุวรรณสวัสดิ์ ให้เกียรติเยี่ยมชมและให้คำแนะนำเพื่อพัฒนา งานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2 ผลกระทบในเชิงทุนบำรุงศาสนา

ในวันที่ 9 กันยายน 2558 ได้จัดแสดงนวัตกรรมหุ่นยนต์ต้นไม้เฟสสอง “ป่าแห่งการเรียนรู้” เนื่องในงานตักบาตรกตัญญูเพื่อถวายเป็นพระราชกุศลแด่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวเนื่องในโอกาสมหามงคลเฉลิมพระชนพรรษา ๘๘ พรรษา ดังแสดงในภาพที่ 4.16 และ 4.17



ภาพที่ 4.17 งานตักบาตรกตัญญู ครั้งที่ 7



ภาพที่ 4.18 หุ่นยนต์ต้นไม้เวอร์ชันทุนบำรุงศาสนา ศิลปวัฒนธรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในเวอร์ชันทะนุบำรุงศาสนา นักเรียน นักศึกษา และท่านสาธุชนที่มาร่วมงานสามารถดาวน์โหลดข้อมูลเกี่ยวกับตารางพิธีกรรมตลอดจนสามารถใช้เชื่อมต่อโลกออนไลน์ผ่านการหุ่นยนต์ต้นไม้นี้ นอกจากนี้ ต้นไม้หุ่นยนต์ในเวอร์ชันนี้มีฟังก์ชันที่สามารถเป็น “ต้นไม้อธิษฐาน” ดังในภาพที่ 4.18 โดยสาธุชนที่มาร่วมงานจะได้รับแจกรูปหัวใจซึ่งด้านหนึ่งเป็นรูปองค์พระสัมมาสัมพุทธเจ้า ซึ่งการอธิษฐานนี้ผู้อธิษฐานจะใช้เหรียญบาทใส่ลงไปในตลาดรูปหัวใจโดยใช้ด้านที่มีรูปเจดีย์อันเป็นสัญลักษณ์ของพระศาสนาเป็นด้านเดียวกับรูปองค์พระ ส่วนอีกด้านซึ่งมีพระบรมฉายาลักษณ์ของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวจะเป็นการถวายราชบูชาโดยน้อมจิตระลึกให้พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงมีพระวรกายที่แข็งแรงเป็นมิ่งขวัญที่รักยิ่งของปวงชนชาวไทยทรงพระเจริญยั่งยืนนาน และเมื่อใส่ตลับลงในช่องพวงระย้าที่แขวนกับต้นไม้แล้วจะมีไฟอธิษฐานติดสว่างดังภาพที่ 4.19



ภาพที่ 4.19 ต้นไม้หุ่นยนต์ในโหมด “ต้นไม้อธิษฐาน”



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภาพที่ 4.20 ตลับดวงใจอธิษฐาน ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.3 ผลกระทบในเชิงเทิดพระเกียรติแด่พระมหากษัตริย์

เนื่องในพิธีพระราชทานปริญญาบัตร สจล. 2558 พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เสด็จพระราชดำเนินแทนพระองค์ไปพระราชทานปริญญาบัตร แก่ผู้สำเร็จการศึกษา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) วันที่ 13 พฤศจิกายน 2558 ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในครั้งนี้ พระองค์ทรงมีพระมหากษัตริย์คุณเสด็จทอดพระเนตรสิ่งประดิษฐ์ ต้นไม้ของพ่อ “นายช่างใหญ่ผู้เป็นพลังแผ่นดิน” ซึ่งเป็นงานวิจัยที่สืบเนื่องและต่อยอดมาจากโครงการทุนยนต์ต้นไม้เฟสสอง “ป่าแห่งการเรียนรู้” ดังภาพที่ 4.20

โดยสิ่งประดิษฐ์นี้นำเสนอในรูปแบบ “นวประติมากรรมแบบสื่อผสม” แสดงถึงอัตลักษณ์ ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ที่ได้รับพระมหากษัตริย์คุณจากพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวนับตั้งแต่พระราชทานนาม พร้อมกับมีพระบรมราชานุญาตให้อัญเชิญพระราชลัญจกร “พระมหามงกุฏ” ของพระบาทสมเด็จพระจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว เป็นตราสถาบันในปี พ.ศ. 2516 รวมทั้งทรงพระกรุณาโปรดเกล้าโปรดกระหม่อมเป็นองค์ประธานเสด็จเปิดสถาบันในปี พ.ศ. 2519 อีกทั้งเสด็จพระราชดำเนิน นิทรรศการ “พระจอมเกล้าลาดกระบังนิทรรศ” ในปี พ.ศ. 2526 และ พ.ศ.2530

ประติมากรรมเล่าถึงพระอัจฉริยภาพของพระองค์ในด้านวิศวกรรม โดยเฉพาะวิศวกรรมไฟฟ้า สื่อสาร ที่สถาบันได้ทูลเกล้าถวายปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิตกิตติมศักดิ์สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม ในปี พ.ศ. 2531 โดยนวัตกรรมแสดงถึงพระปรีชาสามารถทางด้านสายอากาศ ที่ได้พระราชทาน ระบบโทรคมนาคม ทฤษฎีสารสนเทศ พร้อมกันกับพระอัจฉริยภาพทางด้านดนตรี หมายเหตุ โดยคำว่า “นว” ในที่นี้หมายถึง 9



ภาพที่ 4.21 สมเด็จพระเทพรัตนฯ ทรงเสด็จพระราชดำเนินทอดพระเนตร “ต้นไม้ของพ่อ”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่เน้นการประดิษฐ์เชิงนวัตกรรม โดยมีวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อสร้างหุ่นยนต์ต้นไม้อัจฉริยะที่สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายหุ่นยนต์และรูปแบบการจัดการความรู้แบบ STEAM ซึ่งเป็นรูปแบบที่เหมาะสมกับยุคสังคมออนไลน์ตามแนวคิดรวบยอดเป็น “ป่าแห่งการเรียนรู้” ซึ่งเข้าถึงได้ทุกที่และทุกเวลา และเพื่อจดเอกสารสิทธิ์เป็นภูมิปัญญาของไทยให้คนรุ่นต่อมาได้ต่อยอดสร้างสังคมอุดมปัญญา งานวิจัยจึงมุ่งตอบโจทย์วิจัยดังกล่าว และได้ผลลัพธ์ตลอดจนผลกระทบสำเร็จสนองจุดประสงค์ในงานวิจัยที่กำหนดไว้ ดังมีข้อสรุปและข้อเสนอแนะดังนี้

### 5.1 บทสรุป

#### 1) ผลลัพธ์

ในเฟสแรกที่ผ่านมาเมื่อปีที่แล้วได้ตัวสังเกตแบบปรับเปลี่ยนค่าได้เองโดยใช้อัลกอริธึมตัวกรอง Kalman ซึ่งในที่นี้พบว่าการใช้เมตริกซ์ความแปรปรวนร่วมมาดวงน้ำหนักจะให้ความการเข้าสู่ค่าจริงในการสังเกตท่ามกลางสัญญาณรบกวนสีขาวที่คิดว่าเป็นเพียงค่าคงที่ไม่ดวงน้ำหนัก โดยที่ในเฟสที่แล้วก็ได้ประยุกต์ใช้ตัวสังเกตเพื่อปรับสภาพบรรยากาศรอบ ๆ บริเวณที่ติดตั้งหุ่นยนต์ต้นไม้อัจฉริยะ แต่ยังไม่มีการเชื่อมต่อกันทั้งทางกายภาพและทางโปรโตคอล (protocol)

ทว่า ในเฟสนี้ได้นำตัวกรองดังกล่าวมาสังเกตการส่งและรับค่าของข้อมูลผ่านเกตเวย์ (gateway) เครือข่ายป่าแห่งการเรียนรู้ซึ่งเกิดจากการเชื่อมต่อกันของหุ่นยนต์ต้นไม้อัจฉริยะ สิ่งที่ได้ในภาคปฏิบัติก็คือได้ทำการสร้างหุ่นยนต์ต้นไม้อัจฉริยะที่สามารถสื่อสารได้ทั้งระบบเครือข่ายภายใน (intranet) ซึ่งเชื่อมโดยสัญญาณ WiFi สัญญาณวิทยุ สัญญาณอินฟราเรด และระบบสื่อสารระหว่างเครือข่ายหรืออินเทอร์เน็ต (internet) ซึ่งช่วงเวลาปฏิบัติการของแต่ละหน่วยการเรียนรู้อันประกอบด้วยระบบทางกายภาพคือเครือข่ายหุ่นยนต์นั้นสามารถจัดตารางการทำงานและโครงสร้างเชิงเครือข่ายในรูปแบบ Petri Net ซึ่งได้แสดงให้เห็นแนวคิดจากงานวิจัยนี้

อนึ่ง หน่วยการเรียนรู้ของแต่ละชุดการเรียนในงานวิจัยนี้ได้แสดงตัวอย่างการสาธิตการใช้ STEAM ซึ่งประกอบด้วยบูรณาการของศาสตร์ในพหุสาขา คือ Science, Technology, Engineering, Art และ Mathematics เข้าด้วยกัน ซึ่งในที่นี้ได้สาธิตโดยการนำวิทยาการเหล่านั้นมาสร้างหุ่นยนต์ต้นไม้อัจฉริยะที่สามารถเปลี่ยนโปรแกรมบทเรียนได้ตามต้องการ ซึ่งในงานวิจัยแสดงตัวอย่างในการนำหุ่นยนต์มาเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารทั้งภายนอกและภายใน แม้ว่าบางส่วนของผลงานวิจัยที่ได้ยังไม่อาจเปิดเผยเนื่องจากติดในข้อกำหนดการเปิดเผยการประดิษฐ์ที่มีผลต่อการจดสิทธิบัตรอันเป็นเป้าหมายหนึ่งของโครงการ อย่างไรก็ตาม สำหรับผู้ที่สนใจ สามารถติดต่อคณะผู้วิจัยได้โดยตรงถึงข้อคำถามเชิงเทคนิคที่อาจต้องการทราบคำตอบหรือแนวคิดบางอย่างที่อาจจะระบุไม่ชัดเจนในรายงาน

#### 2) ผลกระทบ

ผลกระทบจากโครงการนี้เป็นที่น่าพึงพอใจเนื่องจากมีผลกระทบครบองค์สามคือ ได้ตอบสนองการสร้างสังคมอุดมปัญญาในระดับชาติ ส่งเสริมทุนบำรุงศาสนาและศิลปวัฒนธรรม ตลอดจนเทิดพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ ดังที่ได้นำเสนอในหัวข้อ 4.2 ในบทที่ผ่านมา ผลการต่อยอดและขยายผลเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า เหมื่อนญาติที่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หุ่นยนต์ต้นไม้อันช่วยครูในเฟสที่สองนี้ ได้ขยายผลการสร้างหุ่นยนต์ไปเป็นนวัตกรรม “ต้นไม้ของพ่อ: นายช่างใหญ่ผู้เป็นพลังแผ่นดิน” ซึ่งได้ใช้เป็นสื่อการสอนตามแนว STEAM ผ่านอัจฉริยะภาพของพระองค์ ทางด้านการประดิษฐ์ วิศวกรรมไฟฟ้าโทรคมนาคม การสื่อสารและสารสนเทศ โดยมีพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงเป็นต้นแบบแรงบันดาลใจให้แก่ครูผู้สอนในฐานะที่พระองค์ทรงเป็น “ครูต้นแบบของแผ่นดิน” และสร้างแรงบันดาลใจให้เยาวชน โดยเฉพาะอย่างยิ่งนักศึกษาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่มีพระเจ้าอยู่หัวฯ เป็น “นายช่างใหญ่ต้นแบบของแผ่นดิน” ให้เรียนรู้เข้าใจทฤษฎีได้จริง ปฏิบัติได้จริง ด้วยจริยธรรมในวิชาชีพ สมดังปณิธานและคำขวัญของ สจล. ในการผลิตนักศึกษาว่า “ซื่อสัตย์ ใฝ่รู้ สู้งาน”

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

เช่นเดียวกับงานวิจัยที่ผ่านมา ปัญหาการขาดความต่อเนื่องของงบประมาณและระยะเวลาทำให้การดำเนินงานกิจกรรมวิจัยไม่อาจไปสุดเส้นทาง เช่น ถ้าเป็นการวิจัยเชิงพัฒนาผลิตภัณฑ์ ก็ต้องทำวิจัยจนถึงขั้นตอนที่ส่งไปผลิตเชิงพาณิชย์ได้ หรือถ้าเป็นเชิงเทคโนโลยีนวัตกรรมการศึกษาเชิงวิศวกรรมก็ควรที่จะขยายผลในวงกว้างให้สามารถรักษาต้นแบบหรือมีหน่วยงานที่รองรับองค์ความรู้ที่ได้ไปต่อยอดต่อไป ซึ่งข้อเสนอแนะนี้เป็นการเสนอแนะเชิงนโยบายให้กับหน่วยงานผู้ให้ทุนสนับสนุน ได้ขยายหน่วยงานที่จะมาช่วยรองรับการจัดการความรู้ไปสู่ผู้ใช้ประโยชน์ที่แท้จริง และหน่วยงานต้นสังกัดควรจัดสรรทุนอีกประเภทที่จะสานพัฒนาต้นแบบให้ได้รับการบำรุงรักษาที่เหมาะสมสามารถทำงานได้โดยอาจเก็บเป็นทรัพย์สินหรือห้องเก็บต้นแบบ หรือห้องสื่อการสอนตัวอย่างเชิงปฏิบัติที่นำมาใช้ได้ตลอดไปจนสิ้นอายุของสิ่งประดิษฐ์นั้น มากกว่าจะต้องรู้เพื่อ “พิสูจน์ทราบ” และซากที่เหลือจากการวิจัยไว้ “พิสูจน์ซาก”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] <http://th.wikipedia.org/wiki/พระราชกรณียกิจของพระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช>  
วันที่สืบค้น 5 ธันวาคม 2557
- [2] <http://www.manager.co.th/cyberbiz/ViewNews.aspx?NewsID=9520000156173>  
วันที่สืบค้น 16 ตุลาคม 2557
- [3] Choset, H., Lynch, K., Hutchinson, S., Kantor, G., Burgard, W., Kavraki, L., and Thrun, S., *Principles of Robot Motion: Theory, Algorithms, and Implementation*, Cambridge, MA, MIT Press, 2005.
- [4] Dudek, G., and Jenkin, M., *Computation of Principles of Mobile Robotics*, New York, NY, Cambridge Press, 2000.
- [5] Turk, V., "The 24 robot arms of the K-Band Multi-Object Spectrograph," *Wired Magazine*, May 29, 2013.
- [6] Sooraksa, P., and Chen, G., "Mathematical Modeling and Fuzzy Control of a Flexible-Link Robot Arm," *J. of Mathematical Computing and Modeling*, Vol. 27, pp. 73-93, 1998.
- [7] Patently Apple, "New robotic arm finishing system for iPhone," <http://www.patentlyapple.com>.
- [8] Lam, C. P., Chou, C.T., Chiang, K.H., and Fu, L.C., "Human-Centered Robot Navigation-Towards a Harmoniously Human-Robot Coexisting Environment," *IEEE Trans. on Robotics*, Vol. 27, No. 1, pp. 99-112, Feb. 2011
- [9] Khatib, O., "Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots," *Int. J. Robot. Res.*, Vol. 5, pp. 90-98, 1986.
- [10] LaValle, S.M., and Kuffner, Jr., J.J., "Randomized kinodynamic planning," *Int. J. Robot. Res.*, Vol. 20, pp. 378-400, 2001.
- [11] Hirai, K., Hirose, M., Haikawa, Y. and Takenaka, T., "The development of the Honda humanoid robot," *In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, New York: IEEE, May 1998.
- [12] Fujita, M., "AIBO: Towards the era of digital creatures," *International Journal of Robotics Research*, Vol. 20, pp. 781-794, July, 2001.
- [13] Kozima, H., [Marek Piotr Michalowski](#), and Cocoro Nakagawa "Keepon: A playful robot for research, therapy, and entertainment" *International Journal of Social Robotics*, Vol. 1, No. 1, pp. 3-18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

January, 2009.

- [14] Chin, K-Y., Wu, C-H., and Hong, Z-W., "A Humanoid Robot as a Teaching Assistant for Primary Education," Fifth International Conference on Genetic and Evolutionary Computing, pp. 21-24, 2011.
- [15] Jaewoo Kim Kyoung Soo Chun ; Dong-Soo Kwon "Gesture motion programming by applying robot motion hierarchy structure for the educational/entertainment robot Engkey, " *The Proceeding of 2012 IEEE Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts (ARSO)*, pp.36 - 39, May 2012.
- [16] Papert, S., *The Children's Machine*, Basic Books, New York. 1993.
- [17] Cooper, M., Keating, D., Harwin, W. and Dautenhahn, K., *Robots in the Classroom-Tools for Accessible Education*, IOS Press, Christian Buhler and Harry Knops, 1999.
- [18] Chang, C-W., Lee, J-H., Chao, P-Y., and Chen, G-D., "Exploring the possibility of using humanoid robots as instructional tools for teaching a second language in primary school," *Educational Technology & Society (IFETS)*, Vol. 13(2), pp. 13-24, January 2010.
- [19] Park, S. J., Han, J. H., Kang, B. H., and Chin, K. C., "Teaching assistant robot, ROBOSEM, in English class and practical issues for its diffusion," *IEEE Workshop on Advanced Robotics and Its Social Impacts*, pp. 8-11, October 2011.
- [20] Saenz, A., "Another robot teacher enters Korean classroom," <http://singularityhub.com/2011/02/26/another-robot-enters-korean-classrooms-as-automated-teaching-advances/> Retrieved Date: Sept 15, 2014.
- [21] *Smart English Teaching Robot, ROBOSEM*, <http://www.youtube.com/watch?v=JLGwSX03M7Q> Retrieved Date: Sept 15, 2014.
- [22]Chin, K-Y., Wu, C-H., and Hong, Z-W.,"Impact of Using an Educational Robot-based Learning System on Students' Motivation in Elementary Education," *IEEE Trans. on Learning Technology*, Online: DOI 10.1109/TLT.2014.2346756, 2014.
- [23]Takenaka, T., Matsumoto, T., Yoshiike, T., "Control device for mobile body," *European Patent EP169439A1*, 06-09-2006.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [24] Takenaka, T., Matsumoto, T., Yoshiike, T., "Control device for mobile body," *European Patent EP169439A2*, 06-09-2006.
- [25] Koselka, H., and Wallach, B., Agricultural robot system and method, " *US Patent US8381501 B2*, 26- 2-2013.
- [26] Squier, G. O., "Improvement in and related to radio communication systems," *British Patent Specification #149917*, 1904.
- [28] Sun, J., Zhu, X., Zhang C., and Fang, Y., "RescueMe: Location-Based Secure and Dependable VANETs for Disaster Rescue," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, March, 2011.
- [29] K Kanchanasut, "Building A Long-distance Multimedia Wireless Mesh Network for Collaborative Disaster Emergency Responses", *Publisher: Internet Education and Research Laboratory, Asian Institute of Technology (AIT)*, pp. 1-19 , " April, 2007.
- [30] Tony L. "Routing Protocols in Wireless Ad-hoc Networks, A Simulation Study," *Master's thesis in Computer Science and Engineering, Lulea University of Technology, Stockholm*, 1998.
- [31] Lundgren, H., Nordstrom, E., and Tschudin, C., *Coping with Communication Gray Zones in IEEE 802.11b based Ad hoc Networks*, Department of Information Technology, Uppsala University, September 2002.
- [32] Lundgren, H. et.al, "A Large-scale Testbed for Reproducible Ad hoc Protocol Evaluations," *In Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC02)*, March 2002.
- [33] Lundberg, D., *Ad hoc Protocol Evaluation and Experience of Real World Ad Hoc Networking*, Department of Information Technology, Uppsala University, 2002.
- [34] Corson, S. and Macker, J., "Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations," *RFC 2501*, January 1999.
- [35] O'Hara, B., Petrick, A., *IEEE 802.11 Handbook: A Designer's Companion*, IEEE Press, New York 2011.
- [36] Lau, B. K., and Matinez-Vazquez, M., Guest Editorial: IEEE AWPL special cluster on terminal antenna systems for 4G and beyond," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 12, pp. 1669-1672, 2013.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [37] Zeiger, E., Farquhar, G.D. and Cowan, I. R. (Eds.), *Stomatal Function*, Stanford University Press, Stanford, California, 1987.
- [38] Chen, G., *Approximate Kalman Filtering*, World Scientific, New York, 1993.
- [39] Dahshayani BP, Ananthasayanam MR, Vighnesam NV, "Adaptive Kalman filter Technique for relative orbit estimation for collocate deostationary satellites," *AIAA Atmospheric Flight Mechanics Conference*, pp. 481-484, 2001.
- [40] Brown, R. G., and Hwang, P. Y. C., *Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering with Matlab Exercises*, John Wiley & Sons, Inc., 2012.
- [41] <http://th.wikipedia.org/wiki/การคายน้ำ>, วันที่สืบค้น 25 มิถุนายน 2557.
- [42] Reece, J. B., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., Jackson, R. B., Campbell Biology, 9Ed, Pearson: New York, 2011.
- [43] Heidar A. Malki, Huaidong Li., Guanrong Chen. "New Design and Stability Analysis of Fuzzy Proportional- Derivative Control Systems". *IEEE Transaction on Fuzzy Systems*, Nov., pp. 245-254, 1994.
- [44] Onboonare, T. , Charumartphan, S. and Sooraksa, P., "A Geno-Fuzzy P<sup>2</sup>ID Controller For Mobile Robots". *Proceedings of the Third Asian Conference on Industrial Automation and Robotics*, Bangkok, Thailand, pp. 189-192, May. 8-9, 2003.
- [45] Payakkawan, P., Areejit, S., and Sooraksa, P. "Design , fabrication, and operation of continuous microwave biomass carbonization system," *Renewable Energy*, Vol. 66, pp. 49-55, June 2014.
- [46] Sisbot, E. A., Marin-Urias, L. F., Alami, R. and Simeon, T., "A human aware mobile robot motion planner," *IEEE Trans. Robot.*, Vol. 23, No. 5, pp. 874 -883, Oct. 2007.
- [47] Takeshi, S. and Hideki, H., "Human observation based mobile robot navigation in intelligent space," in *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robots Syst.*, 2006, pp. 1044–1049.
- [48] Minguéz, J., and Montano., L., "Nearness Diagram (ND) Navigation: Collision Avoidance in Troublesome Scenarios," *IEEE Trans. Robot.*, Vol.20, No.1, pp. 45-59, Feb. 2004.
- [49] Fox, D., Burgard, W., and S. Thrun, "The dynamic window approach to collision avoidance," *IEEE Robot. Autom. Mag.*, Vol. 4, No.1, pp. 23-33, Mar. 1997.
- [50] Alami, R., Belousov, I., Fleury, S., Herrb, M., Ingrand, F., Minguéz, J., and Morisset, B., "Diligent: towards a human-friendly navigation system," in *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robot. Syst.*, 2000,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- pp. 21–26.
- [51] [www.quipperschool.com/th/signup1.html](http://www.quipperschool.com/th/signup1.html) Retrieved date: October 3, 2014.
- [52] <http://stemtosteam.org/> Retrieved date: September 6, 2015.
- [53] Chung, C. J., “Integrated STEAM education through global robotics art festival (GRAF),” *2014 IEEE Integrated STEM Education Conference (ISEC)*, March 8, 2014, pp. 1-6 (6 pages).
- [54] Brown, L. N., and Howard, A. M., “The positive effects of verbal encouragement in mathematics education using a social robot,” *2014 IEEE Integrated STEM Education Conference (ISEC)*, March 8, 2014, pp. 1-5 (5 pages).
- [55] Uribe, L., and Eguchi, A., “Robo team dance,” ,” *2015 IEEE Integrated STEM Education Conference (ISEC)*, March 7, 2015, pp. 156-158.
- [56] Kaisha, K., and Denki, Y., “Teaching system, robot system, and teaching method,” *US Patent 20150290801*, 2015.
- [57] Francis, A. G. Jr., and Lewis, T., “Methods and systems for personality robot development,” ,” *US Patent 8996429*, 2015.
- [58] Wasyliwskij, W., *Signal and Transform in Linear System Analysis*, Springer, 2013.
- [59] Hopkins, W. G., and Huner, N. P., *Introduction to Plant Physiology*, 4<sup>th</sup> Ed., John Wiley and Sons, 2008.
- [60] *Everything Math and Sciences*, [www.everythingmaths.co.za/](http://www.everythingmaths.co.za/) Retrieved date: September 30, 2015.
- [61] สายอากาศสุธี 1 2 3 สายอากาศสี่กรอกหลวง สายอากาศพระราชทาน, <http://www.hs3lzx.com/suthi-antenna/> Retrieved date: October 1, 2015.
- [62] Carr, J. J., and Hippisley, G. W., *Practical Antenna Handbook*, 5th Ed., McGrawHills, 2012.
- [63] Kaegebein, D. P., “Pararelle fetch collinear antenna arrays,” *US Patent 6057804*, 2012.
- [64] Collin, R. E., *Foundation of Microwave Engineering*, Wiley-IEEE Press, 2000.
- [65] [http://www.reocities.com/daddygroup/Our\\_Father.htm](http://www.reocities.com/daddygroup/Our_Father.htm), Retrieved date: October 9, 2015.
- [66] พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว (ทรงแปล), นายอินทร์ ผู้ปิดทองหลังพระ (จากเรื่อง *A man called intepid* โดย William Stevenson, พิมพ์ครั้งที่ 18, 2554.
- [67] Stein, M., and Ulam, S. M. , "An Observation on the Distribution of Primes", *American Mathematical Monthly* (Mathematical Association of America), **74** (1), 1967, pp. 43–44.
- [67] กฤดากร กล่อมการ, *วิทยาการรหัสลับ ความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศ, คณะวิศวกรรมศาสตร์ จสจ.*,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2558.

[69] <http://www.visualsquirrels.net/tag/prime-numbers/>, Retrieved date: October 10, 2015.

[70] Bauchau, O. A., Craig, J. I., "Euler-Bernoulli beam theory," in *Structural Analysis, Vol. 163 (of the series Solid Mechanics and Its Applications)*, pp. 173-221.

[71] Kuehni, R. G., "The early development of the Munsell system". *Color Research and Application*, Vol. 27, No. 1, 2002, pp. 20–27.

[72] Nelson, R., Haibt, L., and Sheridan, P., "Casting Petri Net into Program," *IEEE Trans. on Software Engineering*, Vol. SE-9, No. 5, 1983, pp. 590-602.

[73] Chen, G. and Ying, H., "BIBO stability of nonlinear fuzzy PI control system," *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, Vol. 5, 1997, pp. 245-256.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก

### ก. รูปตัวอย่างกึ่งและลำต้นหุ่นยนต์ต้นไม้

โดยอาศัยการออกแบบและคำนวณแบบที่ได้ในบทที่ 4 ตัวอย่างโครงสร้างหุ่นยนต์ต้นไม้ส่วนกึ่งและลำต้นเทียบกับร่างกายมนุษย์ในแสดงในภาพที่ ผก 1.

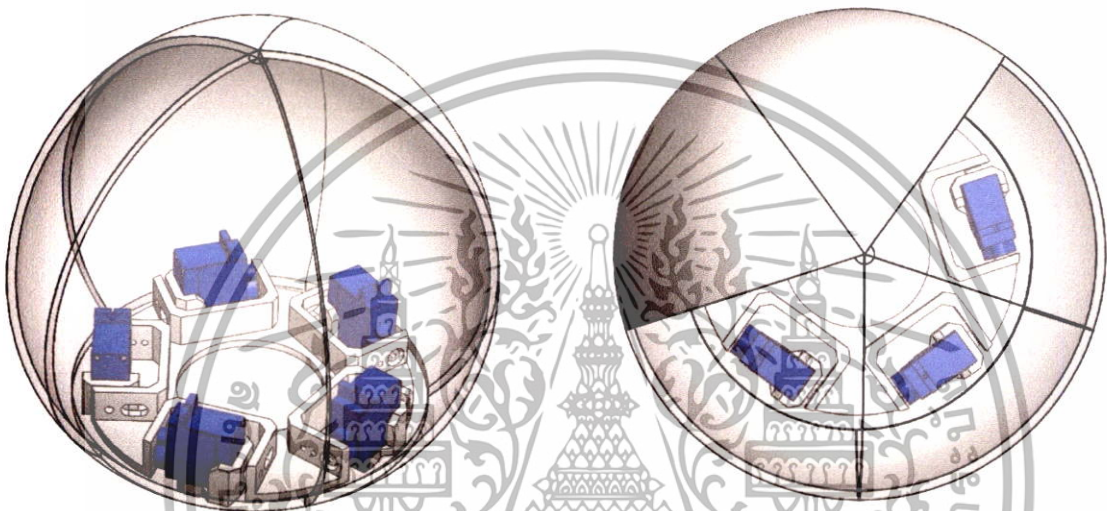


ภาพที่ ผก1. กึ่งและลำต้นหุ่นยนต์ต้นไม้เทียบส่วนร่างกายมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข. ส่วนดอกและชุดควบคุมกลไกการคลี่ของกลีบดอก

การออกแบบกลีบดอกและกลไกการควบคุมการคลี่ของกลีบดอกอาศัยการควบคุมมอเตอร์ที่อยู่พื้นฐานของดอกโดยมอเตอร์แต่ละตัวควบคุมการคลี่หรือการเปิดปิดของตำแหน่งของแต่ละกลีบ



(ก) มองเฉียงลง

(ข) มองจากด้านบน

ภาพที่ ผขบ. ส่วนดอกและชุดควบคุมกลไกการคลี่ของกลีบดอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย



ชื่อ-สกุล ปิติเชต สุ์รักษา

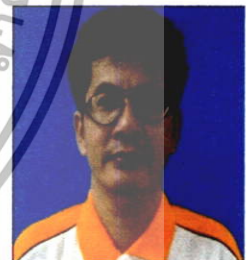
ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.

การศึกษาสูงสุด Ph.D. (Electrical Engineering) University of Houston, USA

ได้รับรางวัลงานวิจัยดีเด่นปี 2542 และ 2551 มอบโดย สกว. รางวัลต้นแบบโทรคมนาคมยอดเยี่ยม ปี 2553

และสิทธิบัตร World Patent PCT 2008: An Authentication Device ร่วมกับ กฤดากร กล่อมการ

และรางวัลข้าราชการ พนักงานของรัฐและถูกจ้างประจำที่มีผลปฏิบัติงานดีเด่นปี 2546



ชื่อ-สกุล กฤดากร กล่อมการ

ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.

การศึกษาสูงสุด D. Eng. KMITL

ได้รับรางวัลงานวิจัยดีเด่นปี 2551 มอบโดย สกว. และรางวัลต้นแบบโทรคมนาคมยอดเยี่ยม ปี 2553 และ

สิทธิบัตร World Patent PCT 2008: An Authentication Device ร่วมกับ ปิติเชต สุ์รักษา

และครูทของคำรางวัลข้าราชการดีเด่น ปี 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้