การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบและวิเคราะห์อภิมาน คุณลักษณะที่สำคัญด้านวิทยาการหุ่นยนต์เพื่อการศึกษา
Systematic Literature Review and Meta-Analysis of Key Features in Educational Robotics

นำโชค วัฒนานัย[1] พูลศักดิ์ โกษียาภรณ์[2]* และ ดวงกมล โพธิ์นาค[3]

[1]นักศึกษา [2]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า [3]อาจารย์ ภาควิชาคอมพิวเตอร์ศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ 10800

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสังเคราะห์วรรณกรรมด้านวิทยาการหุ่นยนต์เพื่อการศึกษาและนำเสนอคุณลักษณะที่สำคัญด้วยการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบและวิเคราะห์อภิมานวรรณกรรมอย่างมีแบบแผน กลุ่มประชากร คือ วรรณกรรมจากระบบสารสนเทศ 10 ฐานข้อมูล จำนวน 247 เรื่อง ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1996-2012 ผลการวิจัย พบว่า ปัญหาการเรียนการสอนวิทยาการหุ่นยนต์ส่วนใหญ่ คือ ปัญหาด้านราคา ลิขสิทธิ์และพื้นฐานความแตกต่างของผู้ใช้ แนวโน้มของงานวิจัยมุ่งพัฒนาซอฟต์แวร์และชุดฝึกหุ่นยนต์ที่มีราคาถูก ฝึกฝนผู้เรียนให้มีทักษะกระบวนการแก้ปัญหาและการทำงานร่วมกับผู้อื่น ในรูปแบบการเรียนรู้ที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติเพื่อสร้างแรงจูงใจและทำงานที่ใกล้เคียงกับประสบการณ์จริง จากการสังเคราะห์ยังพบว่า การประเมินคุณภาพของเครื่องมือ และกระบวนการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนยังมีอยู่จำนวนน้อย ซึ่งกระบวนการนี้เป็นปัจจัยสำคัญที่แสดงถึงคุณภาพของกระบวนการเรียนรู้

Abstract

This article aims to synthesize literatures in Educational Robotics and presents key features of systematic literature review and structured meta-analysis of the literature. Population consists of 247 papers from 10 databases, ranging from 1996 to 2012. Results show that common problems in Educational Robotics are high cost of tools, license, and differences instudents' background knowledge. Trends of existing researches focus on development of software and low cost robot training package in order to promote students' practice in problem-solving skills and teamwork in experience-based learning to enhance self-motivation and experience with real world applications. It was also found from the synthesis that qualitative-based evaluation of tool and learning achievement process was rare, even though it is a key factor that indicates quality of learning process.

คำสำคัญ : วิทยาการหุ่นยนต์ ปัญหาการเรียนรู้ รูปแบบการเรียนรู้ วิธีการวัดผล การเรียนรู้จากประสบการณ์

Keywords : Robotics, Learning Difficulties, Learning Model, Assessment Method, Experiential Learning

** ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ numchokekmutnb@gmail.com โทร. 08 3137 8607*

1. บทนำ

วิทยาการหุ่นยนต์ในปัจจุบัน ได้รับความสนใจอย่างมาก หลายสถานศึกษาได้นำชุดฝึกหุ่นยนต์มาใช้สอนในห้องเรียนกันมากขึ้นจนบางครั้งมีคำถามเกี่ยวกับหุ่นยนต์ที่นำมาใช้เรียนว่า *"ใช้สอนในวิชาใดได้บ้าง" "ใช้สอนอย่างไร" "นำมาใช้แล้วจะได้ผลดีเพียงใด" "ใช้ได้กับระดับชั้นเรียนใด" "เด็กได้เรียนรู้สิ่งใดจากหุ่นยนต์" "ส่งเสริมพฤติกรรมหรือทักษะให้เกิดขึ้นกับเด็กในด้านใดบ้าง" "หุ่นยนต์มีส่วนช่วยสร้างแรงบันดาลใจอย่างไร" "มีรูปแบบการเรียนการสอนอย่างไร"* หรือ *"การใช้หุ่นยนต์นั้นเป็นเพียงแค่สมัยนิยม (Fashion) ทางการศึกษาเท่านั้น"* เป็นต้น

Jeffrey (2003) สรุปว่า การนำหุ่นยนต์มาใช้เป็นเครื่องมือการเรียนรู้มีความแตกต่างกับรูปแบบการสอนแบบเดิมที่ครูผู้สอนจะบรรยายอยู่หน้าชั้นเรียน เพราะหุ่นยนต์มีส่วนช่วยสร้างเสริมประสบการณ์ต่าง ๆ ให้กับผู้เรียน มีส่วนช่วยกระตุ้นให้ผู้เรียนทุกเพศทุกวัยทุกหลักสูตรการศึกษา สร้างแรงจูงใจอยากเรียนรู้ในวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและงานวิศวกรรม ช่วยให้ผู้เรียนมีความคิดสร้างสรรค์ ฝึกการสังเกตและใฝ่ค้นคว้าข้อมูล มีผลต่อพัฒนาการของเด็กในด้านทักษะทางสังคมและทักษะการทำงานร่วมกับผู้อื่น สนองความต้องการในการเรียนรู้ได้ทุกยุคสมัยไม่มีเสื่อมหรือล้าสมัย (No Fashion) แต่ปัญหาที่พบของการใช้วิทยาการหุ่นยนต์ในชั้นเรียน คือ ราคาค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์และซอฟต์แวร์ที่สูงและมีลิขสิทธิ์ผู้ใช้ต้องมีความรู้ในด้านเทคนิคการควบคุมหุ่นยนต์ ตลอดจนความรู้และความเข้าใจอย่างลึกซึ้งของครูผู้สอนวิทยาการหุ่นยนต์ในด้านการโปรแกรมหรือการจัดกิจกรรมให้เด็กเป็นต้น

Fabiane (2012) พบว่า มีการใช้หุ่นยนต์ในการเรียนการสอนกับเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับหุ่นยนต์ เช่น การโปรแกรมหุ่นยนต์ โครงสร้างหรือระบบแมคคาทรอนิกส์ มีผลต่อการเรียนรู้โดยตรงของผู้เรียนในวิชาคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์และวิศวกรรม ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนอยู่ในเกณฑ์ที่ดีกว่ารูปแบบการเรียนเดิม ช่วยส่งเสริมความสนใจและความคิดสร้างสรรค์ให้กับผู้เรียนที่มีรูปแบบการเรียนรู้ที่แตกต่างกันได้ สร้างประสบการณ์จริงที่หลากหลายให้กับผู้เรียน สามารถพัฒนาทักษะกระบวนการคิด ทักษะการแก้ปัญหาที่เป็นระบบ และทักษะทางสังคมซึ่งเป็นการสื่อสารกับคนอื่นและทำงานร่วมกับผู้อื่นได้ เป็นไปตามแนวคิดของเพเพร์ท (Papert) นักทฤษฎีการศึกษาที่เชื่อว่าวิทยาการหุ่นยนต์มีส่วนช่วยให้เกิดการเรียนรู้และเป็นเครื่องมือสำหรับทำกิจกรรมในชั้นเรียนได้เป็นอย่างดี

ประโยชน์หรือข้อจำกัดบางประการที่กล่าวมาข้างต้นนี้ ทำให้ผู้วิจัยสนใจเกี่ยวกับคุณลักษณะงานวิจัยทางด้านวิทยาการหุ่นยนต์เพื่อการศึกษา จึงได้ทำการทบทวนวรรณกรรมด้านวิทยาการหุ่นยนต์เพื่อการศึกษาอย่างเป็นระบบ (Systematic Reviews) และวิเคราะห์อภิมาน (Meta-Analysis) หาองค์ความรู้เพื่อประโยชน์ต่อการพัฒนารูปแบบและวิธีการเรียนการสอนวิทยาการหุ่นยนต์เพื่อการศึกษาต่อไป

1.1 วัตถุประสงค์งานวิจัย

1. เพื่อศึกษางานวิจัยอย่างเป็นระบบและวิเคราะห์อภิมานวรรณกรรมด้านวิทยาการหุ่นยนต์

2. เพื่อสังเคราะห์คุณลักษณะที่สำคัญด้านรูปแบบและวิธีการเรียนการสอนวิทยาการหุ่นยนต์เพื่อการศึกษา

2. วิธีการศึกษา

ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับรูปแบบวิธีวิทยาการวิจัยในลักษณะการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ และวิเคราะห์อภิมานเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับงานวิจัยทางด้านวิทยาการหุ่นยนต์เพื่อการศึกษา

จากการศึกษาในเบื้องต้นเกี่ยวกับงานวิจัยทางด้านวิทยาการหุ่นยนต์ พบว่า นักวิจัยได้ทำการศึกษาและพัฒนารูปแบบการเรียนการสอน โดยใช้วิทยาการหุ่นยนต์ในชั้นเรียนมากขึ้น แต่ยังไม่พบงานวิจัยที่ใช้วิธีวิทยาการวิจัยเชิงคุณภาพที่กระทำอย่างเป็นระบบและวิเคราะห์อภิมานอย่างมีแบบแผนมากนัก ทั้งที่วิธีวิทยาการวิจัยนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งในการทำให้การวิจัยมีคุณภาพมากขึ้น ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยครั้งนี้มี 4 ขั้นตอน คือ

ขั้นที่ 1 ศึกษาและทบทวนวรรณกรรมโดยกำหนดแหล่งข้อมูลที่ต้องการสืบค้น จากฐานข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้

ขั้นที่ 2 วิเคราะห์และจัดกลุ่มข้อมูลโดยคัดเลือกหัวข้อแล้วแบ่งแยกกลุ่มข้อมูล สรุปประเด็นที่เกี่ยวข้อง

ขั้นที่ 3 สังเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากวรรณกรรมแต่ละฉบับ

ขั้นที่ 4 สรุปผลของการทบทวนวรรณกรรมและองค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษา เพื่อความสะดวกในการสืบค้น (Facilitate) และพัฒนา (Improve the Implement) รูปแบบการสอนวิทยาการหุ่นยนต์เพื่อการศึกษาในลำดับต่อไป

2.1 ศึกษาและทบทวนวรรณกรรม

การวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เป็นคุณลักษณะของการเรียนการสอนวิทยาการหุ่นยนต์ โดยบันทึกลงในแบบบันทึกข้อมูลเชิงคุณลักษณะ

ประชากรในการวิจัย คือ แหล่งข้อมูลจากฐานข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ รายงานการวิจัยวิทยานิพนธ์ฉบับเต็มและบทคัดย่อตั้งแต่ปี ค.ศ. 1996-2012 จำนวน 247 เรื่องที่เกี่ยวข้องกับวิทยาการหุ่นยนต์เพื่อการศึกษา

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ใช้วิธีสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงจากรายงานการวิจัยวิทยานิพนธ์ฉบับเต็มและบทคัดย่อที่อยู่ในฐานข้อมูลบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1996-2012 จำนวน 17 เรื่องที่มีการระบุประเด็นในด้านเนื้อหาสาระของงานวิจัยด้านหุ่นยนต์เพื่อการศึกษา ระเบียบวิธีการวิจัยเครื่องมือการเรียนรู้และวิธีการวัดผลผู้เรียนอย่างชัดเจน เช่น การแสดงปัญหาของการเรียนการสอน รูปแบบการเรียนการสอน การจัดกิจกรรมการเรียนรู้และการวัดผลผู้เรียนในชั้นเรียน เป็นต้น แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ฐานข้อมูลที่สืบค้น

ฐานข้อมูล*	ปี ค.ศ.	ประชากร	กลุ่มตัวอย่าง
ACM	1999-2012	17	2
EBSCOhost	2004-2011	13	2
ASEE / IEEE	2000-2012	125	2
ProQuest	2003-2012	22	2
ScienceDirect	2001-2012	16	2
SpringerLink	1997-2012	20	2
ThaiList	1996-2009	14	1**
Wiley	2009-2010	2	1
WASET	2005-2011	3	1
Article online	2000-2012	15	2
รวม		247	17

หมายเหตุ: * สืบค้นจาก 10 ฐานข้อมูล

** เลือกกลุ่มตัวอย่างจาก ThaiList ที่เป็นงานวิจัยทางด้านการศึกษา เนื่องจากส่วนใหญ่เป็นการวิจัยทางวิศวกรรม

2.2 วิเคราะห์และจัดกลุ่ม

ผู้วิจัยสรุปประเด็นและจัดกลุ่มงานวิจัยที่ทำการทบทวน จำนวน 247 เรื่อง โดยแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ประกอบด้วย

- งานวิจัยด้านรูปแบบการเรียนการสอนที่นำวิทยาการหุ่นยนต์และสื่อที่เป็นการจำลอง (Simulation) ที่นำมาใช้ในชั้นเรียน

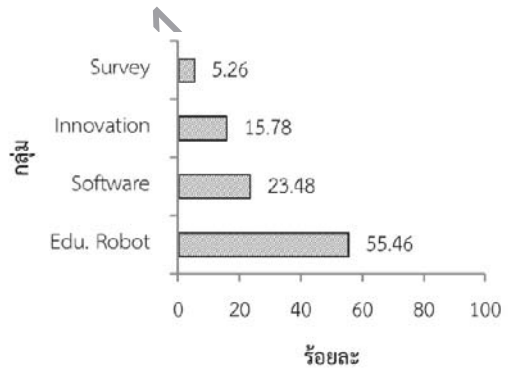
- งานวิจัยด้านการสร้างชุดโมดูลหรือพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อใช้ศึกษาการทำงานและพฤติกรรมการทำงานของหุ่นยนต์

- งานวิจัยที่นำเสนอความก้าวหน้าทางวิศวกรรมหุ่นยนต์ ทางการแพทย์และงานอุตสาหกรรม หรือเป็นนวัตกรรมทางการศึกษาที่สร้างขึ้นมาเพื่อเรียนรู้พฤติกรรม

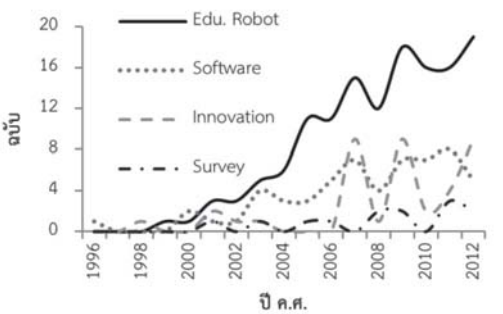
- งานวิจัยที่ทำการสำรวจความคิดเห็นศึกษาพฤติกรรมการเรียนรู้ของมนุษย์และการศึกษาพิเศษ การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับหุ่นยนต์และงานวิจัยที่ทำการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวกับโปรแกรมจำลองแบบกราฟิกเป็นต้น

จากรูปที่ 1 พบว่า ร้อยละ 55.46 ของกลุ่มประชากร ได้ใช้หุ่นยนต์และสื่อประเภทแบบจำลอง (Robot Simulation) เข้ามาช่วยสนับสนุนจินตนาการของผู้เรียนมากกว่าการเน้นพัฒนาเฉพาะซอฟต์แวร์อย่างเดียวเพื่อดูพฤติกรรมของหุ่นยนต์เท่านั้น

นอกจากนั้น ยังพบอีกว่า ร้อยละ 15.78 ของงานวิจัยทางด้านวิศวกรรมจะเน้นที่การสร้างนวัตกรรมใหม่ ๆ เช่น การพัฒนามือจับ (End-effect)

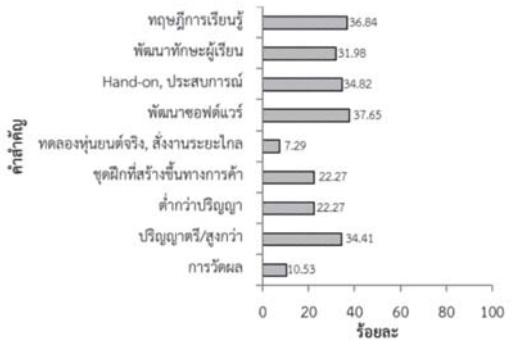


รูปที่ 1 จำแนกกลุ่มงานวิจัยจาก 247 เรื่อง



รูปที่ 2 แผนภูมิแสดงแนวโน้มของการวิจัยด้านวิทยาการหุ่นยนต์ 247 เรื่อง

การสร้างหุ่นยนต์เคลื่อนที่ในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ หรือสร้างเพื่อฝึกอบรมการผ่าตัดด้วยหุ่นยนต์ (Surgery) เป็นต้น ส่วนงานวิจัยประเภทการสำรวจนั้น มีเพียงร้อยละ 5.26 ซึ่งเป็นการศึกษาพฤติกรรมของเด็กพิเศษ การสำรวจชนิดของซอฟต์แวร์ที่เป็นแบบจำลอง เป็นต้น ซึ่งแนวโน้มของงานวิจัยวิทยาการหุ่นยนต์ทางด้านการศึกษา พบว่า มีการนำหุ่นยนต์มาใช้ในการเรียนการสอนกันมากขึ้น แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 3 คำสำคัญที่ปรากฏในงานวิจัย 247 เรื่อง

จากรูปที่ 3 แสดงข้อค้นพบจากการศึกษางานวิจัย 247 เรื่อง พบว่า ร้อยละ 36.84 มีการประยุกต์ใช้ทฤษฎีการเรียนรู้ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น การเรียนรู้แบบประสบการณ์เป็นฐาน การเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐาน เป็นต้น ร้อยละ 31.98 ต้องการเน้นให้ผู้เรียนมีพัฒนาการและทักษะที่พึงประสงค์ เช่น การทำงานร่วมกันเป็นทีม ทักษะการแก้ไขปัญหา เป็นต้น ร้อยละ 34.82 ต้องการให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติ (Learning by Doing) เพื่อให้เกิดประสบการณ์ทางด้านหุ่นยนต์ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดทางการเรียนรู้ของวีก็อตสกี้และเพียเจต์ (Vygotsky and Piaget) ความเชื่อของจอห์น ดิวอี้ (John Dewey) แนวคิดความเชื่อของจอห์น ล็อค (John Locke) และทฤษฎีการเรียนรู้เชิงประสบการณ์ (Experiential Learning) ของโคล์บ (Kolb) ซึ่งเน้นให้ผู้เรียนสร้างความรู้ขึ้นจากการทำงานด้วยตนเอง

นอกจากนั้น ยังพบอีกว่า มีการกล่าวถึงการใช้หุ่นยนต์อุตสาหกรรมในการทดลอง ตลอดจนการวัดและประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนนั้นยังมีน้อยมาก เพราะถือได้ว่าการวัดผลเป็นสิ่งสำคัญและเป็นเครื่องมือในการวัดความก้าวหน้าของผู้เรียน

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรมอย่างมีระบบนี้ สามารถสังเคราะห์ข้อมูล แยกตามสาระและประเด็นที่เกี่ยวข้องกับวิทยาการหุ่นยนต์เพื่อการศึกษาได้ 4 หัวข้อ คือ 1) ปัญหาของการเรียนการสอนวิทยาการหุ่นยนต์ 2) วัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่นำหุ่นยนต์มาใช้ในชั้นเรียน 3) รูปแบบการเรียนและทักษะอันพึงประสงค์ และ 4) การวัดผลการเรียนรู้ ประกอบด้วย

3.1 ปัญหาการเรียนการสอน

ปัญหาของการเรียนรู้วิทยาการหุ่นยนต์แบ่งได้เป็น 3 ด้าน คือ 1) ด้านหุ่นยนต์ 2) ด้านวิธีการและเทคนิคการใช้งาน และ 3) ด้านผู้ใช้งาน แสดงดังรูปที่ 4

จากรูปที่ 4 ปัญหาที่พบส่วนใหญ่ คือ ราคาของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์หุ่นยนต์ที่จะนำมาใช้เรียนวิธีการและเทคนิคการใช้งานหุ่นยนต์ ซึ่งธรรมชาติของวิทยาการหุ่นยนต์นั้นมีความยากและมีความหลากหลายของศาสตร์ต่าง ๆ เช่น ไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ เครื่องกล และคอมพิวเตอร์ เป็นต้น ผู้ใช้จึงต้องมีความรู้ในด้านคณิตศาสตร์

และวิศวกรรมพอสมควรในการเรียนรู้พฤติกรรมการทำงานของหุ่นยนต์ เพราะงานบางอย่างมีความซับซ้อนจำเป็นต้องใช้หุ่นยนต์ที่มีความสามารถในการเคลื่อนที่ได้อย่างคล่องตัว ดังนั้น หากมีการนำหุ่นยนต์มาใช้ในห้องเรียน ถ้าผู้เรียนไม่มีทักษะและพื้นฐานความรู้ที่เพียงพออาจเกิดความเสียหายต่อหุ่นยนต์และตัวผู้เรียนเองได้ สาระสำคัญแสดงไว้ในตารางที่ 2

รูปที่ 4 ประเด็นที่ค้นพบในด้านปัญหาของการเรียนวิทยาการหุ่นยนต์

ตารางที่ 2 สรุปสาระสำคัญในด้านปัญหาการเรียนวิทยาการหุ่นยนต์ที่ได้จากกลุ่มประชากร

ด้าน	ปัญหา
หุ่นยนต์ (ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์)	- ราคาและลิขสิทธิ์ (Poolsak Koseeyaporn, 2003) - ขนาดและจำนวนการติดตั้งในชั้นเรียน (G. López-Nicolás, 2009) - การบำรุงรักษา (Tim L. Dunn, 2003) - การสูญเสียพลังงานไฟฟ้าและการใช้เวลาในการปรับปรุงซ่อมแซมแก้ไข (ปณิธิ ศิริอักษร, 2008)
วิธีการและเทคนิคการใช้งาน (ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์)	- ความเสี่ยงอันตราย (Veljko Potkonjak, 2010) - การแก้ไขเพิ่มเติมอัลกอลิธึมได้ยาก (Lady Daiana O. Maia, 2009) - การควบคุมที่ซับซ้อนและความสามารถในการต่อขยายการทำงานของปลายแขน (M. Samaka, 2005) - ความเสียหายจากการทดลอง (Tim L. Dunn, 2003) - ความยากต่อการใช้งาน (Ho-Sik Roh, 2004)
ผู้ใช้งาน	- คิดแก้ไขและจัดการปัญหาไม่ได้ (Randall D. Beer, 1999) - ไม่ตรงกับสภาพงานจริง (Abraham Howell, 2006) - ไม่มีกิจกรรมที่ส่งเสริมประสบการณ์เพราะไม่ได้ลงมือทำ (Stephen H. Whitehead, 2010) - ไม่มีความอดทน รับผิดชอบ (Randall D. Beer, 1999) - ไม่มีทักษะด้านการโปรแกรมและคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง (Amanda Oddie, 2010) - ไม่มีแรงจูงใจในการเรียนรู้ เพราะยากต่อการทำความเข้าใจ (Kenneth Berry, 2005) - ทำงานร่วมกับผู้อื่นไม่ได้ (Randall D. Beer, 1999) - พื้นฐานผู้เรียนไม่เท่ากัน (Mustafa Cakir, 2007) - จินตนาการไม่ได้ยากต่อการมองเห็นเป็นรูปธรรมและไม่เข้าใจถึงความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ (C.G. Rajeevlochana, 2011) - ต้องเข้าใจระบบพิกัดการเคลื่อนที่ (Baki Koyuncu, 2007) - การวางแผนการทำงานและการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ให้เที่ยงตรงแม่นยำ (Ioan Doroftei, 2010) - จลนศาสตร์และการวิเคราะห์ (Jamshed Iqbal, 2012) - ผ่านการฝึกอบรมจนชำนาญและมีประสบการณ์ (Tim L. Dunn, 2003) - เรียนทฤษฎีมากกว่าการปฏิบัติ (Tim L. Dunn, 2003) - ช่วงเวลาการเรียนรู้ที่มีจำกัด (Carlos A. Jara, 2011)

จากตารางที่ 2 พบว่า ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของหุ่นยนต์ วิธีการและเทคนิคการใช้ตลอดจนทักษะความรู้ของผู้ใช้ เป็นปัญหาของการเรียนการสอนวิทยาการหุ่นยนต์ นักวิจัยและนักการศึกษาจึงได้ทำการวิจัยเพื่อแก้ไขปัญหาการเรียนรู้ โดยมีเป้าหมายและวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน

3.2 วัตถุประสงค์การวิจัยของกลุ่มตัวอย่าง

เนื่องด้วยการเรียนรู้วิทยาการหุ่นยนต์ในชั้นเรียน มีปัญหาและข้อจำกัดดังได้กล่าวมาข้างต้น นักวิจัยและนักการศึกษาจึงหาวิธีการแก้ไขเพื่อให้การเรียนรู้วิทยาการหุ่นยนต์มีประสิทธิภาพ มุ่งหวังให้ผู้เรียนมีความเข้าใจ มีประสบการณ์ในการควบคุมหุ่นยนต์ จึงได้พยายามจัดสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ที่ใกล้เคียงกับงานจริงได้มากที่สุด เช่น แบบจำลองหรือจัดสถานการณ์จำลอง โดยสาระสำคัญที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 17 เรื่อง ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สรุปสาระสำคัญในด้านวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่ได้จากกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่าง	ค.ศ.	วัตถุประสงค์ของงานวิจัย
มณฑล แสงประไพทิพย์	1996	สร้างและหาประสิทธิภาพชุดการสอน ภาคทฤษฎีและปฏิบัติ กับนักศึกษาระดับปริญญาตรีภาควิชาเครื่องกล ในวิชาการควบคุมหุ่นยนต์อุตสาหกรรมเบื้องต้น
Abhijit Nagchaudhuri	2002	พัฒนารูปแบบการเรียนรู้สำหรับนักศึกษาแมคคาทรอนิกส์ด้วยรูปแบบการเรียนรู้แบบประสบการณ์ (Experiential Learning' Cycle)
Franklyn Turbak	2002	การใช้หุ่นยนต์เป็นเครื่องมือในการเรียนรู้และสร้างเสริมประสบการณ์ต่าง ๆ ด้วยชุดฝึกสำเร็จรูป
P. Koseeyaporn (พูลศักดิ์ โกษียาภรณ์)	2003	พัฒนาซอฟต์แวร์แบบกราฟิกเสมือนจริงในลักษณะสามมิติแบบ Open Source
Christopher Kitts	2004	สร้างความตื่นเต้นและกระตุ้นความสนใจให้กับนักศึกษา เพื่อให้เผชิญกับประสบการณ์จริงในการทำงาน
Illah R. Nourbakhsh	2005	ศึกษาส่วนประกอบกลไก อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อเรียนรู้พฤติกรรมหุ่นยนต์ การเคลื่อนที่และการควบคุมระยะไกล ตลอดจนซอฟต์แวร์
M. Samaka	2005	พัฒนาซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับจำลองการทำงานของหุ่นยนต์แบบ Off-line Robot ให้ผู้ใช้สามารถมีปฏิสัมพันธ์ (GUI) กับโปรแกรมได้
EijaKrn-Lin	2006	งานวิจัยนี้ได้นำหุ่นยนต์มาใช้ในกระบวนการเรียนเพื่อสนับสนุนการเรียนรู้และความต้องการที่แตกต่างของบุคคล เพื่อให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยี
Karen E. Bledsoe	2007	ใช้ชุดฝึกหุ่นยนต์ ช่วยอธิบายความรู้ต่าง ๆ ให้เกิดขึ้นด้วยการลงมือทำ
Mustafa Cakir	2007	ต้องการนำเสนอเครื่องมือทางการศึกษาด้านวิทยาการหุ่นยนต์ (Educational Tool for Robotics) ในลักษณะซอฟต์แวร์กราฟิกเพื่อลดค่าใช้จ่าย
G. López-Nicolás,	2009	บทความนี้นำเสนอรูปแบบกิจกรรมที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนมีประสบการณ์ในการทำกิจกรรมต่าง ๆ และการใช้แบบจำลองเป็นเครื่องมือในการเรียนรู้และสร้างงาน (Project-based)
Gianluca Antonelli	2009	พัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับใช้ในการศึกษาด้าน Robotics, Computer Sciences, Non-linear Control, Behavioral and Cognitive Science
Amanda Oddie	2010	นำเสนอการเรียนรู้ด้วยตนเอง ฝึกทักษะการแก้ไขปัญหา สร้างความรู้จากสิ่งแวดล้อม เรียนรู้ร่วมกันแบบการเสาะแสวงหา (Exploration)
T. J. Mateo Sanguino	2010	พัฒนาเครื่องมือจำลองแบบ เพื่อดึงดูดความสนใจและใช้กับการเรียนการสอนจลนศาสตร์ของหุ่นยนต์แบบ Serial Robotic Arms ใช้ GUI ช่วยให้เข้าใจและเรียนรู้เรื่องเข้าใจง่าย
Carlos A. Jara	2011	การเรียนรู้ด้วยการได้ลงมือทำ ปฏิบัติจนเกิดประสบการณ์กับการทดลองเสมือนจริงและควบคุมระยะไกลในชื่อโครงการ RobUAlab
Uvais Qidwai	2011	ใช้หุ่นยนต์เป็นเครื่องมือในการเรียนรู้ด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และวิศวกรรมเพื่อสร้างความสนใจในด้านวิทยาศาสตร์ เพิ่มทักษะแก้ปัญหาอย่างมีตรรกะและการทำงานร่วมกัน
Jamshed Iqbal	2012	พัฒนาแบบจำลองจลนศาสตร์ของหุ่นยนต์ 6 DOF และวิเคราะห์พื้นฐานขอบเขตการทำงาน เพื่อใช้ศึกษาความเป็นไปได้ของการควบคุม

ตารางที่ 4 สรุปสาระสำคัญในด้านทฤษฎี/รูปแบบการเรียนรู้และทักษะที่ต้องการ

ทฤษฎี/รูปแบบกิจกรรม	ทักษะ/พฤติกรรมอันพึงประสงค์
- Constructivist (Amanda Oddie, 2010) - Constructionism (Matthew W. Berland, 2008) - Experiential Learning (G. López-Nicolás,, 2009) - Task-based learning & project-based learning (Karen E. Bledsoe, 2007) - Problem based (Eli Michael Silk, 2011) - Blended-learning method (Carlos A. Jara, 2011) - Learning by doing (Kenneth Berry, 2005) - Learning form mistake (Trial and error) (Marian Petre, 2004) - Discovery learning, team based learning (Liesl Hotaling, 2007)	- Open-ended problem solving (Ann-Marie Vollstedt, 2005) - Decision-making (M. Samaka, 2005) - Social and team (Abhijit Nagchaudhuri, 2002) - Cognitive (Lady Daiana O. Maia, 2009) - Solving problems (Amanda Oddie, 2010) - Collaborate (Eija Kärnä-Lin, 2006)

ตารางที่ 5 สรุปสาระสำคัญในด้านเนื้อหา เครื่องมือ และกิจกรรมที่ได้จากกลุ่มประชากร

ด้าน	สาระสำคัญของงานวิจัยด้านวิทยาการหุ่นยนต์เพื่อการศึกษาในระดับอุดมศึกษา
เนื้อหา	- วิทยาการคอมฯ และการพัฒนาอัลกอริธึม (Amanda Oddie, 2010) - ระบบเมคานิกส์ (Uvais Qidwai, 2011) - การคำนวณและการโปรแกรมเส้นทางเดิน พิกัดและการเคลื่อนที่ (Boris Kerkez, 2008) - การจำลองภาระของหุ่นยนต์ (Uvais Qidwai, 2011) - จลนศาสตร์และพลศาสตร์ (Yan-Shen Wang, 2011) - Modeling, design, simulation, control, optimization & performance evaluation (Jenelle A. Piepmeier, 2003) - อิเล็กทรอนิกส์และไฟฟ้า (Karen E. Bledsoe, 2007) - วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์ (Eli Michael Silk, 2011)
เครื่องมือ	- Teleoperation (Christopher Kitts, 2004) - Boe-Bot®Robots Kits (Uvais Qidwai, 2011) - Lego and more (Eli Michael Silk, 2011) - Robotics toolbox for MatLab (Mustafa Cakir, 2007) - Software simulation and multimedia (Yan-Shen Wang, 2011)
กิจกรรม	- จัดสิ่งแวดล้อมแบบ discovery (Christopher Kitts, 2004) - Hand-on, ประสบการณ์จากการปฏิบัติ การทำงานเป็นทีม (Uvais Qidwai, 2011) - ป้อนค่าและดูผลในรูปกราฟิก (Mustafa Cakir, 2007) - การเล่น แข่งขัน เรียนรู้ร่วมกันเป็นกลุ่มเล็ก (Amanda Oddie, 2010) - ออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ด้วยกราฟิก (G. López-Nicolás, 2009) - การโปรแกรมร่วมกับการเรียนรู้โครงสร้างหุ่นยนต์ (Lady Daiana O. Maia, 2009) - รูปแบบการเรียนรู้ 4Cs (คือ Connect, Construct, Contemplate, and Continue) (Ann-Marie Vollstedt, 2005)

จากตารางที่ 3 พบว่า การนำหุ่นยนต์มาใช้ในการเรียนการสอน มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแรงจูงใจให้ผู้เรียนสามารถสื่อสารทำงานร่วมกับผู้อื่น สนองความแตกต่างทางการเรียนรู้ของแต่ละบุคคล ฝึกทักษะการแก้ไขปัญหาและสร้างประสบการณ์ที่ใกล้เคียงกับการควบคุมหุ่นยนต์ จึงได้พัฒนาซอฟต์แวร์จำลองแบบ เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการเรียนการสอนที่ผู้เรียนสามารถมีปฏิสัมพันธ์โดยตรงกับโปรแกรม สังเกตพฤติกรรมและเรียนรู้การควบคุมหุ่นยนต์

3.3 รูปแบบการสอนที่สำคัญ

รูปแบบของกิจกรรมที่ใช้หุ่นยนต์เป็นสื่อการเรียนการสอนและทักษะอันพึงประสงค์ให้เกิดขึ้น

กับผู้เรียนแสดงไว้ในตารางที่ 4 พบว่า การเรียนการสอนวิทยาการหุ่นยนต์ส่วนมากใช้ทฤษฎีการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนสร้างความรู้ด้วยตนเองจากการกระทำ เรียนรู้จากประสบการณ์ของปัญหา การลองผิดลองถูกจนเกิดความรู้ขึ้นกับตนเองและมอบหมายงานให้ทำโครงงานส่วนในด้านทักษะและพฤติกรรมอันพึงประสงค์ให้เกิดขึ้นกับผู้เรียนนั้น พบว่า มีการเน้นทักษะในด้านการแก้ปัญหาและการทำงานร่วมกับผู้อื่น

3.4 เนื้อหาและกิจกรรม

วรรณกรรมที่กล่าวในข้างต้นนั้น มีเนื้อหาหลายระดับตั้งแต่การศึกษาขั้นพื้นฐาน อุดมศึกษา และการศึกษาพิเศษ ผู้วิจัยจึงได้คัดเลือกบทความที่กล่าวถึงเฉพาะเนื้อหาทางด้านวิศวกรรมหุ่นยนต์ สื่อและเครื่องมือการเรียนรู้กิจกรรมที่จัดขึ้นในชั้นเรียนระดับอุดมศึกษาเท่านั้น เช่น คณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง โครงสร้างของหุ่นยนต์ จลศาสตร์ การวางแผน-การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ เป็นต้น แสดงได้ดังตารางที่ 5

จากตารางที่ 5 แสดงชนิดและประเภทของหุ่นยนต์ ที่นำมาใช้เป็นเครื่องมือในการเรียนการสอน เช่น Teleoperation, Robots Kits, Lego and Another, Robotics Toolbox for MatLab, และ Software Simulation ประกอบการเรียนการสอนในเรื่อง การวิเคราะห์จลนศาสตร์ พลศาสตร์ การคำนวณเส้นทางการเคลื่อนที่ โครงสร้างของหุ่นยนต์ การออกแบบและการควบคุม ตลอดจนเรื่องที่เกี่ยวกับวิทยาการคอมพิวเตอร์ วิชาในด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์ (STEM) เป็นต้น กิจกรรมที่เกิดขึ้นในชั้นเรียน ได้แก่ การจัดสิ่งแวดล้อมในการเรียนรู้ให้ใกล้เคียงกับงานจริง ส่วนใหญ่ใช้ซอฟต์แวร์เพื่อการเรียนรู้และฝึกแก้ปัญหาโจทย์จลนศาสตร์ ฝึกฝนประสบการณ์ด้วยการลงมือกระทำ ค้นหา วิเคราะห์ และสรุปผลด้วยการทดลองป้อนค่าแล้วดูผลลัพธ์ที่แสดงออกมาในลักษณะของภาพกราฟิกสามมิติที่ได้จากโปรแกรมจำลองแบบ นอกจากนั้นยังได้จัดแข่งขันผลงานหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยการเน้นให้เรียนรู้ร่วมกันและทำงานเป็นทีม

3.5 การวัดผลการเรียนรู้

วิธีการและรูปแบบการวัดผลของกลุ่มประชากร พบว่า มีวิธีการวัดและประเมินผลผู้เรียนในรูปแบบต่าง ๆ ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 สรุปสาระสำคัญในด้านการวัดผลผู้เรียน

ผู้วิจัย	ระดับชั้น	วิธีการวัดผลการเรียนรู้วิทยาการหุ่นยนต์
มณฑล แสงประไพทิพย์, 1996	ปริญญาตรี	ระหว่างการเรียนการสอนต้องทำแบบฝึกหัดทั้งภาคทฤษฎีและปฏิบัติ แล้วทำการทดสอบผู้เรียน
Randall D. Beer, 1999	ปริญญาตรี	นำเสนอผลงานและจัดการแข่งขันแสดงผลงานที่สร้างสรรค์
Amruth N. Kumar, 2004	ปริญญาตรี	Midterm Problems and Final Exam Problem
Elizabeth Sklar, 2004	ปริญญาตรี	ออกแบบไว้ 14 สัปดาห์ โดย 75 นาทีในการฟังบรรยายทฤษฎี (Lecture) และ 75 นาทีสำหรับการลงปฏิบัติ (Lab) ต่อสัปดาห์ มีการสอบประเมินผลกลางภาคและปลายภาค (Midterm & Final Exam) ระหว่างภาคมีการมอบหมายให้ทำรายงานทั้งในส่วนของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ประกอบโครงงานและนำเสนอภายในห้องเรียนด้วย
Igor M. Verner, et al., 2004	ปริญญาตรี	วัดผลประสบการณ์ของผลตอบสนองที่ได้ ในด้าน Knowledge and Ability in Mechanics, Electronics, Programming, and Sensors
Donald Sanford Griffith, Jr., 2005	ต่ำกว่าปริญญาตรี	แบบประเมินการเรียนรู้ในลักษณะการเรียนรู้ที่เน้นประสบการณ์เป็นฐาน (Experiential Learning) ที่สอดคล้องใกล้เคียงกับงานจริง
Jerry B. Weinberg, 2005	ปริญญาตรี	การให้เกรดเน้นในด้านการลงมือทำงาน ผลงานและการทำงานเป็นทีมเป็นหลัก ประเมินผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียน ประกอบด้วย Team Assignments 25%, Team Project 30%, Quizzes 25%, and Final Exam 20%
Liesl Hotaling, 2005	ปริญญาตรี	วัดผลโดยการสังเกตจากกิจกรรมและผลของการทดลองของผู้เรียน ความตั้งใจการใช้คำถามและการนำเสนอผลงานของผู้เรียน
เชษฐ์ ศิริสวัสดิ์, 2007	ต่ำกว่าปริญญาตรี	วัดผลการเรียนรู้ ด้านความรู้ความเข้าใจ การแก้ปัญหา ทักษะปฏิบัติและด้านเจตคติด้วยแบบวัดผลการเรียนรู้
Liesl Hotaling, 2007	ต่ำกว่าปริญญาตรี	วัดผลโดยการสังเกตผู้เรียนระหว่างทำกิจกรรม วิธีการแก้ไขปัญหา ทักษะการฟังและการถามในสิ่งที่พวกเขาสนใจ
Lady Daiana O. Maia, 2009	ปริญญาตรี	Project (Prototype; Test and Re-test)
Seung-Ki Min, 2009	ปริญญาตรี	Projects, Presentations, Final Examination
Sheryl Marie Hurner, 2009	ปริญญาตรี	Interview
Araceli Martínez Ortiz, 2010	ต่ำกว่าปริญญาตรี	- Communication and Group Behavior - Interview: Background and Definitions Questions, Observation
Debra Lynn Bernstein, 2010	ต่ำกว่าปริญญาตรี	Questions and Interview
Eric Zhi-Feng Liu, 2010	เด็กเล็กอายุ 4-6 ปี	สัมภาษณ์โดยใช้ Four-point Likert Scale
Ismail Marulcu, 2010	-	สัมภาษณ์ผู้เรียนและผู้สอน, แบบสังเกตการณ์ในชั้นเรียน

ข้อค้นพบซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 6 เกี่ยวกับวิธีการวัดและประเมินผลผู้เรียนระดับปริญญาตรีมีหลายวิธี ได้แก่ การทำแบบฝึกหัดและทดสอบทั้งในส่วนของทฤษฎีและปฏิบัติ การสอบกลางภาคและปลายภาค การทำโครงงานและการนำเสนอผลงาน การแข่งขันหรือการทำรายงาน ส่วนในระดับต่ำกว่าปริญญาตรี (ระดับการศึกษาขั้นพื้นฐาน) จะใช้วิธีการสังเกตพฤติกรรมการสัมภาษณ์และคำถามอย่างสั้นเข้าใจง่าย เพื่อดูพฤติกรรมของผู้เรียนและเพื่อนร่วมงาน

4. สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพด้วยการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบและสังเคราะห์งานเชิงสถิติมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณลักษณะงานวิจัยทางด้านวิทยาการหุ่นยนต์เพื่อการศึกษาจำนวน 247 เรื่องได้ค้นพบปัญหาการเรียนการสอนหุ่นยนต์ รูปแบบการเรียนการสอนที่สำคัญการสร้างและการใช้เครื่องมือเพื่อการเรียนรู้วิทยาการหุ่นยนต์วิธีการวัดประเมินผลผู้เรียนข้อค้นพบจากงานวิจัยทางด้านวิทยาการหุ่นยนต์ สามารถสรุปผล ดังนี้

สถานศึกษาทุกระดับชั้นได้นำวิทยาการหุ่นยนต์ (Robotics) มาใช้เป็นเครื่องมือทางการศึกษา (Educational Tool) มากขึ้นด้วยรูปแบบการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติ (Learning by Doing) และสั่งสมประสบการณ์จากการเรียนรู้ (Experience) ในสิ่งแวดล้อมของสังคมหรือสถานการณ์ต่าง ๆ ที่ครูเป็นผู้กำหนดเพื่อให้ผู้เรียนมีประสบการณ์ที่ใกล้เคียงกับการควบคุมหุ่นยนต์อุตสาหกรรมจริงงานวิจัยส่วนมากจึงได้พัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อจำลองสถานการณ์การทำงานของหุ่นยนต์ มีการใช้หุ่นยนต์อุตสาหกรรมจริงในชั้นเรียนน้อยเนื่องจากมีปัญหาด้าน ราคา ขนาด และจำนวนการติดตั้ง นอกจากนั้น ยังพบว่าผู้เรียนมีปัญหาในด้านการเขียนโปรแกรม งานวิจัยส่วนหนึ่งจึงใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่เป็นคำสั่งแบบภาพกราฟิก สำหรับฝึกการเขียนคำสั่งควบคุมหุ่นยนต์แนวโน้มของงานวิจัยทางด้านวิทยาการหุ่นยนต์เพื่อการศึกษาจึงมุ่งพัฒนาที่ซอฟต์แวร์และชุดฝึกหุ่นยนต์ที่มีราคาถูก

ในด้านวิธีการวัดและประเมินผู้เรียนนั้นมีการใช้วิธีการสังเกต สัมภาษณ์ การนำเสนอผลงานแสดงโครงงานที่ทำสำเร็จแล้วนำมาแข่งขัน หรือวัดผลด้วยการทำแบบทดสอบในด้านทฤษฎีและปฏิบัติ จากการวิเคราะห์ พบว่า มีการกล่าวถึงวิธีการวัดประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนน้อยมาก ซึ่งขั้นตอนนี้ถือเป็นขั้นหนึ่งที่สำคัญของกระบวนการเรียนรู้

การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบและวิเคราะห์อภิมานนี้ สังเกตได้ว่าสังคมการศึกษาได้ให้ความสนใจกับการเรียนการสอนทางด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ (STEM Education) จึงได้นำหุ่นยนต์มาใช้ในการเรียนการสอนหรือฝึกอบรม ด้วยการใช้แบบจำลอง (Simulation) ควบคู่กับหุ่นยนต์จริงเพื่อส่งเสริมจินตนาการและทำความเข้าใจในโครงสร้างของวัตถุที่วางอยู่พื้นที่ว่างใด ๆ (Free Space) ของระบบสามมิติ แบบจำลองที่สร้างขึ้นควรมีสภาพแวดล้อมทางภาพกราฟิกที่ใกล้เคียงกับงานอุตสาหกรรม เพื่อฝึกให้ผู้เรียนได้สังเกตและวิเคราะห์ผลของการจำลอง ซึ่งเมื่อได้เรียนรู้ระบบจำลองการทำงานของหุ่นยนต์กอปรกับได้ทดลองร่วมกับหุ่นยนต์อุตสาหกรรมจริง จะทำให้ผู้เรียนนั้นเห็นภาพการทำงานของหุ่นยนต์ได้อย่างเป็นรูปธรรม ทำให้เกิดความกระตือรือร้นที่อยากเรียนรู้วิทยาการหุ่นยนต์ ซึ่งกระบวนการที่จะทำให้ผู้เรียนมีความรู้และทักษะในการควบคุมหุ่นยนต์อุตสาหกรรม คือ ผู้เรียนต้องได้รับประสบการณ์โดยตรงหรือเรียนรู้โดยตรงจากประสบการณ์ (Experiential Learning)

การดำเนินงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยพบข้อจำกัดในการทบทวนงานวิจัยอย่างเป็นระบบ คือ การไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลฉบับเต็มของฐานข้อมูลบางส่วนได้ เพราะต้องมีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม ผู้วิจัยจึง

ทำการวิเคราะห์จากบทคัดย่อเท่านั้น นอกจากนั้นยังมีความหลากหลายของข้อมูล เช่น วัตถุประสงค์การวิจัย กลุ่มตัวอย่างที่ทดลอง รูปแบบของการวิจัย ตัวแปรและเครื่องมือที่ใช้ซึ่งมีการออกแบบไว้แตกต่างกัน อีกทั้งการรายงานผลการวิจัยในบางงานนั้น มิได้มีการรายงานข้อมูลทางสถิติที่เพียงพอ ผู้วิจัยจึงต้องวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสรุปเนื้อหาของงานวิจัยนั้นตามความเป็นไปได้ของงานวิจัย ด้วยวิธีวิจัยเชิงปริมาณ นั่นคือ การวิเคราะห์อภิมาน (Meta-analysis)

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาหุ่นยนต์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า-พระนครเหนือ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ทำการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

เชษฐ์ ศิริสวัสดิ์. 2550. **การพัฒนาหลักสูตรการสร้างหุ่นยนต์ เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำหรับนักเรียนช่วงชั้นที่ 3**. ปริญญาการศึกษาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

ปณิธิ ศิรอักษร และสยาม เจริญเสียง. 2551. **การโปรแกรมหุ่นยนต์ด้วยวิธีสาธิตเพื่อการประกอบชิ้นงาน.** การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 22 (ME NETT 22), มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต.

มณฑล แสงประไพทิพย์. 2539. **การสร้างชุดการสอนเรื่อง การควบคุมหุ่นยนต์อุตสาหกรรมเบื้องต้นตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ พุทธศักราช 2537.** ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรม-มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

Abhijit Nagchaudhuri, Sastry Kuruganty, et al. 2002. Introduction of mechatronics concepts in a robotics course using an industrial SCARA robot equipped with a vision sensor. **Mechatronics, Elsevier Science** 12: 183-193.

Abraham Howell, Eileen Way, et al. 2006. **Autonomous Robots as a Generic Teaching Tool**. ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, San Diego, CA.

Amanda Oddie, Paul Hazlewood, et al. 2010. **Introductory problem solving and programming: robotics versus traditional approaches.** ITALICS 9(2).

Amruth N. Kumar. 2004. Three years of using robots in an artificial intelligence course: lessons learned. **Journal on Educational Resources in Computing** (JERIC) 4(3).

Ann-Marie Vollstedt. 2005. **Using Robotics to Increase Student Knowledge and Interest in Science, Technology, Engineering, and Math.** Master of Science in Mechanical Engineering University of Nevada, Reno.

Araceli Martínez Ortiz. 2010. **Running Head: Students' Understanding of Ratio and Proportion within Engineering Robotics**. Doctor of Philosophy in Engineering Education, TUFTS UNIVERSITY.

Baki Koyuncu and Mehmet Güzel. 2008. Software Development for the Kinematic Analysis of a Lynx 6 Robot Arm. **International Journal of Engineering and Applied Sciences** 4(4): 230-235.

Boris Kerkez. 2008. Robotics and machine learning in a core college curriculum. **Journal of Computing Sciences in Colleges** 24(1).

C.G. Rajeevlochana and S.K. Saha. 2011. **RoboAnalyzer: 3D Model Based Robotic Learning Software.** International Conference on Multi Body Dynamics Vijayawada, India.

Carlos A. Jara, F.A.C., Santiage T. Puente, Fernando Torres. 2011. Hands-on experience of undergraduate students in Automatics and Robotics using a virtual and remote laboratory. **Computers & Science, ELSEVIER** 57: 2451-2461.

Christopher Kitts and Neil Quinn. 2004. An interdisciplinary field robotics program for undergraduate computer science and engineering education. **Journal on Educational Resources in Computing** (JERIC) 4(2).

Claudia Pons, Roxana Giandini, et al. 2010. **A Systematic Review of the Application of Modern Software Engineering Techniques to the Development of Robotic Systems.** Objeto de conferencia, Universidad Nacional de La Plata, 689-698.

Debra Lynn Bernstein. 2010. **Developing Technological Fluency Through Creative Robotics.** Doctor of Philosophy, University of Pittsburgh.

Eija Kärnä-Lin, Kaisa Pihlainen-Bednarik, et al. 2006. **Can Robots Teach? Preliminary Results on Educational Robotics in Special Education.** Proceedings of the Sixth International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT'06).

Eli Michael Silk. 2011. **Resources for learning robots: environments and framings connecting math in robotics.** Doctor of Philosophy, Universityvof Pittsburgh.

Elizabeth Sklar, Simon Parsons, et al. June 2004. Using RoboCup in university-level computer science education. **Journal on Educational Resources in Computing** (JERIC) 4(2).

Eric Zhi-Feng Liu. 2010. Early adolescents' perceptions of educational robots and learning of robotics. **British Journal of Educational Technology.**

Vol. 41 No. 3. EBSCOhost, E44-E47.

Franklyn Turbak, R.B. 2002. Robotic Design Studio: Exploring the Big Ideas of Engineering in a Liberal Arts Environment. **Journal of Science Education and Technology** 11.

G. López-Nicolás, A. Romeo, et al. 2009. **Simulation Tools for Active Learning in Robot Control and Programming.** EAEEIE Annual Conference.

Gianluca Antonelli, Filippo Arrichiello, et al. 2009. **ROBBIT: An open source simulator for education in robotics.** Proceedings MATHMOD 09 Vienna.

Ho-Sik Roh and Jin-Oh Kim. 2004. **Manipulator Modeling from D-H Parameters.** 30th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Busan, Korea.

Igor M. Verner and David J. Ahlgren. 2004. Robot contest as a laboratory for experiential engineering education. **Journal on Educational Resources in Computing** (JERIC) 4(2).

Illah R. Nourbakhsh, K.C., Ajinkya Bhave, Emily Hamner, et al. 2005. **The Robotic Autonomy Mobile Robotics Course: Robot Design, Curriculum Design and Educational Assessment.** Autonomous Robots 18: 103-127.

Ioan Doroftei and Gheorghe Plesu. 2010. **An Educational Manufacturing and Assembling Flexible System.** METALURGIA INTERNATIONAL XV (Special Issue no. 7): 55-59.

Ismail Marykcy. 2010. **Investigating the Impact of A Lego™ - Based, Engineering-Oriented Curriculum Compared to an Inquiry-Based Curriculum on fifth Graders' Content Learning of Simple Machines.** Deegree of Doctor of Pilosophy, Department of Teacher Education, Boston College, Lynch School of Education.

Jamshed Iqbal, Raza ul Islam, et al. 2012. Modeling and Analysis of a 6 DOF Robotic Arm Manipulator. **Canadian Journal on Electrical and Electronics Engineering** 3, No. 6: 300-306.

Jeffrey Johnson. 2003. **Children, robotics, and education.** Artificial Life and Robotics, SpringerLink 7, Number 1-2: 16-21.

Jenelle A. Piepmeier, Bradley E. Bishop, et al. 2003. **Modern Robotics Engineering Instruction.** IEEE Robotics & Automation Magazine. 10: 33-37.

Jerry B. Weinberg, William W. White, et al. 2005. **Multidisciplinary teamwork in a robotics course.** SIGCSE' 05: Proceedings of the 36th SIGCSE technical symposium on Computer science education.

Karen E. Bledsoe. 2007. **How Do Engineering Students Develop and Reason With**

Concepts of Electricity Within a Project-Based Course?. Doctor of Philosophy, Oregon State University.

Kenneth Berry. 2005. **Teacher Perceptions of the Educational Value of the First Robotics Competition for Workforce Preparation with Regards to Math, Science and Technology.** Doctor of Education in Educational Technology, Pepperdine University.

Lady Daiana O. Maia, Vandermi J. da Silva, et al. 2009. **An Experience to use Robotics to Improve Computer Science Learning**. 39th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, San Antonio.

Liesl Hotaling, Richard Sheryll, et al. 2007. **A paradigm for vertically integrated curriculum innovation–how curricula were developed for undergraduate, middle and high school students using underwater robotics.** International Conference on Engineering Education–ICEE 2007, Coimbra, Portugal.

Liesl Hotaling, Richard Sheryll, et al. 2005. **Discovery based learning in the engineering classroom using underwater robotics**. Proceedings of the Fall 2005 American Society for Engineering Education Middle Atlantic Section Conference, American Society for Engineering Education.

M. Samaka. 2005. **Robot Task-Level Programming Language and Simulation.** World Academy of Science, Engineering and Technology 9.

Marian Petre and Blaine Price. 2004. **Using Robotics to Motivate 'Back door' Learning.** Education and Information Technologies SpringerLink. 9: 2, 147-158.

Matthew W. Berland. 2008. **VBOT: Motivating Computational And Complex Systems Fluencies With Constructionist Virtual / Physical Robotics**. Doctor of Philosophy Field of Learning Sciences, Northwestern University.

Mustafa Cakir and Erhan Butun. 2007. An Educational Tool for 6-DOF Industrial Robots With Quaternion Algebra. **Computer Applications in Engineering Education** 15(2): 143-154.

Poolsak Koseeyaporn. 2003. **Component-Based Robotic Simulation.** Doctor of Philosophy in Electrical Engineering, Vanderbilt University.

Randall D. Beer, Hillel J. Chiel, et al. 1999. Using Autonomous Robotics to Teach Science and Engineering. **Communications of The AMC.** Vol. 42. No. 6: 85-92.

Seung-Ki Min, Suk-Hyun Seo, et al. 2009. **A Creative Engineering Design Course for Freshman using LEGO Robots.** IEEE International Symposium

on Industrial Electronics (ISIE 2009), Seoul Olympic Parktel, Seoul, Korea.

Stephen H. Whitehead. 2010. **Relationship of Robotic Implementation on Changes In Middle School Students' Beliefs And Interest Toward Science, Technology, Engineering And Mathematics.** Doctor of Education, Indiana University of Pennsylvania.

T.J. MATEO SANGUINO and J.M. ANDJAR MRQUEZ. 2010. **Simulation Tool for Teaching and Learning 3D Kinematics Workspaces of Serial Robotic Arms With up to 5 DOF.** Wiley Periodicals.

Tim L. Dunn and Aster Wardhani. 2003. **A 3D robot simulation for education.** GRAPHITE' 03: Proceedings of the 1st international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australasia and South East Asia, AMC.

Uvais Qidwai. 2011. **Fun to learn: project-based learning in robotics for computer engineers.** ACM Inroads 2(1).

Veljko Potkonjak, Miomir Vukobratovic, et al. 2010. **Virtual Mechatronic/ Robotic laboratory e A step further in distance learning.** Elsevier: 55, 465-475.

Yan-Shen Wang, Yu-Xian Gai, et al. 2011. **A robot kinematics simulation system based on OpenGL.** IEEE 5th International Conference on Robotics, Automation and Mechatronics (RAM).