วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 29 ฉบับที่ 3 ก.ค.–ก.ย. 2562
*The Journal of KMUTNB., Vol. 29, No. 3, Jul.–Sep. 2019*

บทความวิจัย

# การพัฒนารถเคลื่อนย้ายและถ่ายเทถังบรรจุสารเคมีเหลว

เกียรติสิน กาญจนวนิชกุล* ศิวณัทร ศรีโลห้อ และ ธนภัทร นวลทูล
หน่วยวิจัยวิศวกรรมเมคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ไพจิตร สถาพรธีระ พีระพงศ์ เฉนียง และ เจนนิเฟอร์ ฮอปเป้อ
โรงไฟฟ้าน้ำพอง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0 4375 4321 ต่อ 3061 อีเมล: kiattisin.k@msu.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2019.03.003
รับเมื่อ 26 ธันวาคม 2561 แก้ไขเมื่อ 30 มกราคม 2562 ตอบรับเมื่อ 1 กุมภาพันธ์ 2562 เผยแพร่ออนไลน์ 6 มีนาคม 2562
© 2019 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

**บทคัดย่อ**

การเคลื่อนย้ายและถ่ายเทสารเคมีจากถังเป็นกระบวนการที่พบได้ทั่วไป ปัญหาที่สำคัญ คือน้ำหนักของสารเคมีในถังบรรจุสารเคมีที่ทำให้เคลื่อนย้ายลำบาก ชนิดของสารเคมีที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน และการกำหนดปริมาณของสารเคมีที่ต้องการถ่ายเท ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ คือ เพื่อพัฒนารถที่สามารถเคลื่อนย้ายถังบรรจุสารเคมีและถ่ายเทสารเคมีจากถังบรรจุสารเคมีได้สะดวกและรวดเร็ว อีกทั้งยังสามารถกำหนดน้ำหนักของสารเคมีที่ต้องการถ่ายเทได้ รถที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ชุดการเคลื่อนที่ ชุดจับยกและหมุนถัง และชุดถ่ายเทสารเคมี โดยชุดการเคลื่อนที่ถูกออกแบบให้มีฐานและล้อที่แข็งแรงเพื่อรองรับน้ำหนักของสารเคมี ชุดจับยกและหมุนถังถูกออกแบบให้มีแขนทำหน้าที่จับยึดถังสารเคมี เมื่อจับยึดแล้วใช้ก้านสูบไฮดรอลิกยกถังขึ้น แล้วใช้มอเตอร์หมุนถังคว่ำลง ชุดถ่ายเทสารเคมีทำหน้าที่ถ่ายเทสารเคมีตามน้ำหนักที่ต้องการถ่ายเท พร้อมทั้งมีลมช่วยในการดันสารเคมี สารเคมีที่ใช้ในการทดสอบ คือ PBTC และ AA/AMPS ผลการทดลองพบว่า อัตราการถ่ายเทสารเคมีชนิด PBTC คือ 30.0 กิโลกรัมต่อนาที ในขณะที่อัตราการถ่ายเทสารเคมีชนิด AA/AMPS คือ 16.8 กิโลกรัมต่อนาที น้ำหนักของสารเคมีที่ถูกถ่ายเทไปใช้งานมีความผิดพลาดไม่เกิน +/–2.8 กิโลกรัม ดังนั้น รถที่พัฒนาขึ้นนี้ทำให้ง่ายในการถ่ายเทสารเคมี ลดเวลาในการถ่ายเทสารเคมีและลดการใช้แรงงาน

**คำสำคัญ**: ถังบรรจุสารเคมี การถ่ายเทสารเคมี อุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุ การชั่งน้ำหนัก

การอ้างอิงบทความ: เกียรติสิน กาญจนวนิชกุล ศิวณัทร ศรีโลห้อ ธนภัทร นวลทูล ไพจิตร สถาพรธีระ พีระพงศ์ เฉนียง และ เจนนิเฟอร์ ฮอปเป้อ, "การพัฒนารถเคลื่อนย้ายและถ่ายเทถังบรรจุสารเคมีเหลว," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 29, ฉบับที่ 3, หน้า 408–420, ก.ค.–ก.ย. 2562.

Research Article

# Development of a Transporting and Dispensing Vehicle for a Liquid Chemical Drum

Kiattisin Kanjanawanishkul*, Siwanut Sreelohor and Thanaphat Nuantoon
Mechatronics Research Unit, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Mahasarakham, Thailand
Paichit Staporntеera, Peerapong Chaniang and Jennifer Hopper
Namphong Power Plant, Electricity Generating Authority of Thailand, Khon Kaen, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 0 4375 4321 Ext. 3061, E–mail: kiattisin.k@msu.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2019.03.003
Received 26 December 2018; Revised 30 January 2019; Accepted 1 February 2019; Published online: 6 March 2019
© 2019 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

**Abstract**

Transporting and dispensing chemicals from a drum is a common process. The main problems are that the weight of chemicals in a chemical drum makes the transport task difficult, the properties of chemicals are different, and the quantity of chemicals to be dispensed has not been controlled automatically. Thus, the research project aims to develop a vehicle that transports a chemical drum and dispenses chemicals easily and rapidly. Moreover, we can specify the weight of chemicals to be dispensed. The developed vehicle consists of 3 main parts, i.e., a movement unit, a drum lifting and rotating unit, and a chemical dispensing unit. A movement unit was designed to contain a robust base and wheels to support the weight of chemicals. The drum lifting and rotating unit was designed with grabbing arms to tighten a chemical drum to the vehicle. After that, a hydraulic rod was used to lift the chemical drum and then a motor was employed to turn the drum upside down. A dispensing unit was used to dispense chemicals with the help of compressed air until the weight of dispensed chemicals reached the preset value. The chemicals used in evaluating the vehicle were PBTC and AA/AMPS. The experimental results showed that the dispensing rate of PBTC was 30.0 kg/min, while the dispensing rate of AA/AMPS was 16.8 kg/min. Besides, the chemical dispensing error was less than +/–2.8 kg. Therefore, the developed vehicle can facilitate dispensing chemicals, reduce dispensing time, and reduce the labor cost.

**Keywords**: Chemical Drums, Chemical Dispensing, Material Handling Equipment, Weight Measurement

Please cite this article as: K. Kanjanawanishkul, S. Sreelohor, T. Nuantoon, P. Staporntеera, P. Chaniang, and J. Hopper, "Development of a transporting and dispensing vehicle for a liquid chemical drum," *The Journal of KMUTNB*, vol. 29, no. 3, pp. 408–420, Jul.–Sep. 2019 (in Thai).

**1. บทนำ**

การเคลื่อนย้ายถังบรรจุสารเคมีและถ่ายเทสารเคมีจากถังบรรจุสารเคมีเพื่อนำไปใช้งานเป็นกระบวนการพื้นฐานที่พบได้ทั่วไป อุปกรณ์หรือวิธีการสำหรับการเคลื่อนย้ายถังบรรจุสารเคมีรวมถึงถ่ายเทสารเคมี มีด้วยกันหลายแบบ [1]–[4] ขึ้นอยู่ชนิดของถังบรรจุสารเคมี ชนิดของสารเคมี น้ำหนักของสารเคมี ราคาของอุปกรณ์ และ สภาพพื้นที่ในการใช้งาน อุปกรณ์หรือวิธีการดังกล่าว ได้ช่วยให้ผู้ใช้งานสะดวกต่อการเคลื่อนย้ายและลดเวลาในการทำงานลงได้

การเคลื่อนย้ายวัตถุที่มีน้ำหนักมากมีด้วยกันหลายวิธี ไม่ว่าจะเป็นการใช้รอก ปั้นจั่น (Crane) หรือรถโฟล์คลิฟท์ (Forklift) การเลือกใช้งานขึ้นอยู่กับวัตถุที่ต้องการขนย้ายว่ามีลักษณะอย่างไร และมีน้ำหนักมากน้อยเพียงใด ยิ่งมีน้ำหนักมากก็จำเป็นจะต้องใช้อุปกรณ์ที่มีโครงสร้างที่แข็งแรงและมีความปลอดภัยในการใช้งานมากขึ้นด้วย ตัวอย่างเช่น การใช้ปั้นจั่น [5] สำหรับยกวัตถุที่มีน้ำหนักมาก ซึ่งนิยมติดตั้งแบบถาวร พบเห็นได้ตามโรงงานอุตสาหกรรม ร้านขายวัสดุก่อสร้าง ข้อดีของปั้นจั่น คือ สามารถยกวัตถุขนาดใหญ่และรับน้ำหนักมาก ใช้งานง่ายเพียงนำตะขอไปเกี่ยวกับวัตถุที่เราต้องการ ก็จะสามารถทำการขนย้ายวัตถุดังกล่าวได้ พร้อมทั้งมีปุ่มกดเพื่อยกขึ้นและเคลื่อนย้ายไปยังสถานที่ต่างๆ อย่างไรก็ตาม วิธีนี้มีข้อจำกัดคือ ต้องมีพื้นที่สำหรับการติดตั้งเนื่องจากปั้นจั่นมีขนาดใหญ่ และมีลักษณะการเคลื่อนที่ได้ 2 แกนตามรางที่กำหนดไว้ ดังนั้นจึงไม่เหมาะกับสถานที่ที่มีพื้นที่ใช้งานจำกัดและยังมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงอีกด้วย

ในกรณีที่ต้องการขนย้ายวัตถุที่มีน้ำหนักต่ำลงมานิยมใช้รถโฟล์คลิฟท์ [6] ข้อดีของวิธีนี้คือ สามารถขับเคลื่อนไปในที่ต่างๆ ได้อย่างอิสระทั้งภายนอกและภายในอาคาร แต่ข้อเสียของวิธีการนี้คือ ต้องไม่มีสิ่งกีดขวางในเส้นทางการเคลื่อนที่ ผู้ขับต้องมีความชำนาญโดยผ่านการฝึกเนื่องจากรถโฟล์คลิฟท์ก่อให้เกิดอุบัติเหตุได้ง่าย น้ำหนักที่ยกได้มีขีดจำกัดตามการออกแบบของแขนที่ยื่นออกจากตัวรถ และต้องมีพาเลท (Palette) เพื่อใช้วางวัตถุแล้วใช้แขนสอดด้านล่างและยก ดังนั้นวิธีการนี้จึงเหมาะกับการยกวัตถุที่มีพื้นผิวด้านบนเรียบ

ในกรณีที่ต้องการจับและยกวัตถุในลักษณะการทำงานซ้ำๆ ในจุดนั้นๆ จะนิยมใช้ชุดแขนกล [7], [8] ซึ่งสามารถเปลี่ยนปลายของแขนเพื่อให้สามารถใช้งานได้หลายประเภท เช่น การเชื่อมรอยต่อ ยกของจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง หยิบจับวางสิ่งของ ยกถังสารเคมีไปเทในพื้นที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ เป็นต้น ดังนั้นจึงขึ้นอยู่กับผู้ใช้งานว่าต้องการจะนำไปใช้ทำงานประเภทใด อย่างไรก็ตาม ข้อเสียของการทำงานของแขนกล คือ พื้นที่การใช้งาน (Workspace) ของแขนที่ยืดออกได้มีจำกัด ค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง และเหมาะกับงานที่มีรูปแบบการทำงานซ้ำๆ

นอกจากวิธีการข้างต้นแล้ว ได้มีผู้ผลิตเครื่องทุ่นแรงเฉพาะอย่าง เช่น รถยกถังบรรจุสารเคมีทั้งแบบธรรมดาหรือแบบไฟฟ้า [9], [10] ที่สามารถจับยกถังตามขนาดที่กำหนดไปเทยังจุดที่ต้องการได้ ผู้ผลิตบางรายยังได้ติดตั้งตัวชั่งน้ำหนักเพื่อความสะดวกในการถ่ายเทสารเคมีอีกด้วย ข้อดีของวิธีการนี้ คือ สามารถยกและหมุนถังได้ จึงทำให้สะดวกในการเทสารเคมีแต่ข้อเสียคือ มีราคาค่อนข้างสูง และรถยกถังนี้ต้องอยู่ใกล้กับบริเวณที่ต้องการถ่ายเทสารเคมี ทำให้ไม่สะดวกต่อการถ่ายเทสารเคมีในพื้นที่แคบหรือเข้าถึงยาก

อุปกรณ์หรือวิธีการที่กล่าวมาข้างต้น พบว่ายังมีข้อจำกัดหลายด้าน เช่น น้ำหนักของสารเคมีที่ค่อนข้างหนักทำให้ยากต่อการขนย้าย คุณสมบัติของสารเคมีแต่ละชนิดที่ต่างกัน เช่น ความหนืด และข้อจำกัดของสถานที่ในการใช้งาน ตัวอย่างเช่น ปัญหาที่พบในการเคลื่อนย้ายและถ่ายเทสารเคมีในโรงไฟฟ้าน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น สารเคมีที่ต้องการถ่ายเท คือ PBTC (2-Phosphonobutane -1, 2, 4-Tricarboxylic Acid) และ AA/AMPS (Acrylic Acid-2-Acrylamido-2-Methylpropane Sulfonic Acid Copolymer) สารเคมีทั้งสองเป็นของเหลวความหนืดสูงและมีฤทธิ์เป็นกรด นิยมนำมาใช้สำหรับป้องกันการเกิดตะกรันในระบบน้ำหล่อเย็น โดย PBTC ทำหน้าที่ยับยั้งการเกิดแคลเซียมคาร์บอเนต ($Ca_2CO_3$) ส่วน AA/AMPs เป็นตัวพยุงตะกอน/ตะกรันแคลเซียมคาร์บอเนตไม่ให้ตกตะกอนหรือเกาะตามผนัง ซึ่งทำให้กำจัดออกได้ง่าย ในการใช้งาน สารเคมีทั้ง 2 ชนิดจะถูกถ่ายเทลงไปผสมกันในถังผสมแล้วทำให้

เจือจางด้วยน้ำเปล่าตามอัตราส่วนที่กำหนด ปริมาณที่ใช้แต่ละครั้งไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับคุณภาพของแหล่งน้ำ ณ เวลานั้นๆ วิธีการเดิมที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายและถ่ายเทสารเคมี คือ พนักงาน 2–3 คน ช่วยกันเคลื่อนย้ายถังสารเคมีเข้ามาใกล้กับถังผสม เนื่องจากสารเคมีทั้งสองหนัก 250 กิโลกรัม หลังจากนั้นจึงใช้เครื่องสูบสารเคมีชนิดพิเศษที่มีชุดเฟืองในท่อด้านในเป็นพลาสติก จุ่มลงในถังแล้วสูบสารเคมีขึ้นไปยังถังผสม เวลาที่ใช้สูบสารเคมีชนิด PBTC ให้หมดถัง ประมาณ 20–30 นาที แต่ถ้าหากเป็นสารเคมีชนิด AA/AMPS ใช้เวลาประมาณ 60–70 นาที ในกรณีที่ต้องการถ่ายเทสารเคมีตามปริมาณที่กำหนด พนักงานจะคาดประมาณจากมาตรวัดที่อยู่ข้างถังผสม ซึ่งทำให้ล่าช้าและเป็นเพียงการประมาณจากสายตา ขาดความถูกต้องแม่นยำ นอกจากนี้เครื่องสูบที่ใช้ถอดล้างค่อนข้างยุ่งยาก ทำให้มีสารเคมีติดค้างภายในก่อให้เกิดความเสียหายต่อมอเตอร์ของเครื่องสูบ ต้องมีการเปลี่ยนโดยเฉลี่ยประมาณ 1–2 ตัวต่อปี ทำให้เสียค่าใช้จ่ายและเสียเวลาในการสั่งซื้อมาทดแทนในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว คณะผู้วิจัยได้สำรวจสถานที่ใช้งานจริง พบว่าฝาเปิดของถังผสมอยู่สูงกว่าถังบรรจุสารเคมี อีกทั้งด้านบนของถังผสมมีอุปกรณ์ต่างๆ ติดตั้งอยู่เป็นจำนวนมากจึงไม่สามารถติดตั้งปั้นจั่นหรือระบบรอกได้ อีกทั้งพื้นที่โดยรอบมีสิ่งกีดขวางไม่สะดวกต่อการใช้รถโฟล์คลิฟท์ ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวและประยุกต์ใช้กับงานด้านอื่นๆ ที่มีลักษณะเดียวกัน งานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายที่จะสร้างรถที่สามารถเคลื่อนย้ายถังบรรจุสารเคมีและถ่ายเทสารเคมีจากถังบรรจุสารเคมีได้สะดวก รวดเร็ว และกำหนดน้ำหนักของสารเคมีที่ต้องการถ่ายเทได้

## 2. วิธีการวิจัย

คณะผู้วิจัยได้พิจารณาเป้าหมายในการออกแบบดังต่อไปนี้

1) เวลาในการถ่ายเทสารเคมี

2) ความถูกต้องของปริมาณการถ่ายเทสารเคมี

3) ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง

4) พื้นที่ติดตั้ง และการใช้งานในบริเวณที่แคบ หรือมีสิ่งกีดขวางในพื้นที่การทำงาน

5) รองรับขนาดถังบรรจุสารเคมีได้หลายขนาด

**รูปที่ 1** ตัวอย่างของถังบรรจุสารเคมีที่ใช้สำหรับการออกแบบ

และคณะผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตในการออกแบบ ดังนี้

1) เวลาในการถ่ายเทสารเคมีจนหมดถังสำหรับ PBTC ไม่เกิน 10 นาที และ AA/AMPS ไม่เกิน 30 นาที

2) ความถูกต้องในการถ่ายเทสารเคมี +/-5 กิโลกรัม

3) ลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง

4) พื้นที่ติดตั้ง

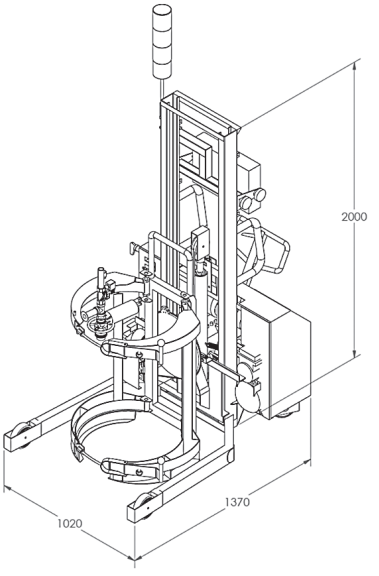
- ความสูงในการยกถังบรรจุสารเคมี ไม่เกิน 1.5 เมตร
- สายส่งสารเคมีมีความยาวไม่เกิน 8 เมตร
- ความสูงของตำแหน่งการถ่ายเทสารเคมีไม่เกิน 1.5 เมตร
- พื้นของพื้นที่ทำงานมีลักษณะเรียบ

5) ขนาดถังบรรจุสารเคมี

- น้ำหนักของถังบรรจุสารเคมีไม่เกิน 300 กิโลกรัม
- ชนิดของถังบรรจุสารเคมีมีลักษณะดังรูปที่ 1 ซึ่งเป็นถังพลาสติกชนิด Polyethylene สีน้ำเงิน มีลักษณะเป็นทรงกระบอกมีขนาดความจุ คือ 200 ลิตร น้ำหนักของถังเปล่าประมาณ 9–10 กิโลกรัม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 58.5 เซนติเมตร และสูงประมาณ 93 เซนติเมตร

จากเป้าหมายและขอบเขตในการออกแบบ คณะผู้วิจัยจึงได้พัฒนารถที่ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ชุดการเคลื่อนที่

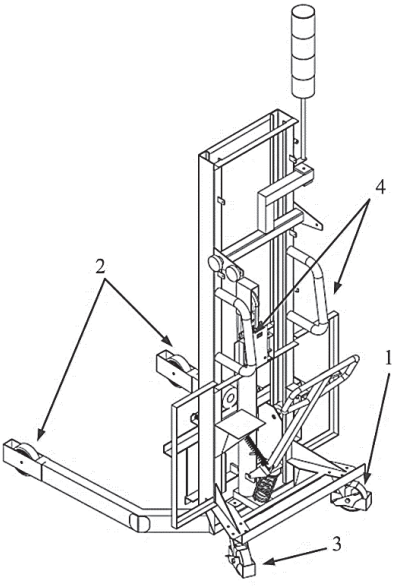
ชุดจับยกและหมุนถัง และชุดถ่ายเทสารเคมี โดยชุดการเคลื่อนที่ถูกออกแบบให้เคลื่อนที่ไปยังพื้นที่ต่างๆ ได้สะดวก มีฐานและล้อที่แข็งแรงเพื่อรองรับน้ำหนักของรถและถังบรรจุสารเคมี และมีความปลอดภัยในการใช้งาน ส่วนที่ 2 คือ ชุดจับยึดและยกถังถูกออกแบบให้มีแขนจับซึ่งทำหน้าที่จับยึดถังสารเคมีให้แน่นไม่หลุดร่วงขณะใช้งาน เมื่อยึดถังแน่นแล้วจะใช้ก้านสูบไฮดรอลิกในการยกถัง และใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในการหมุนคว่ำถังได้ 180 องศา เพื่อคว่ำถังลง ส่วนที่ 3 คือ ชุดถ่ายเทสารเคมีทำหน้าที่ถ่ายเทสารเคมี โดยมีวาล์วควบคุมสารเคมีทำหน้าที่เปิดปิดสารเคมีที่ไหลออกจากถัง พร้อมมีวาล์วควบคุมลมเพื่อปล่อยลมให้ช่วยดันสารเคมีและป้องกันการบีบถังเนื่องจากเป็นถังพลาสติก และเมื่อน้ำหนักของสารเคมีลดลงตามที่ได้ตั้งค่าไว้ ตัวควบคุมจะทำการปิดวาล์วควบคุมสารเคมี หลังจากนั้น ผู้ใช้งานสามารถเปิดวาล์วควบคุมน้ำ เพื่อให้น้ำไหลเข้าไปทำความสะอาดสายส่งสารเคมีป้องกันการแข็งตัวของสารเคมีในสาย จากแนวคิดดังกล่าวได้ผลลัพธ์ในการออกแบบดังต่อไปนี้




**รูปที่ 2** ลักษณะโดยรวมของรถเคลื่อนย้ายและถ่ายเทถังบรรจุสารเคมีเหลว

**2.1 โครงสร้างทางกล**

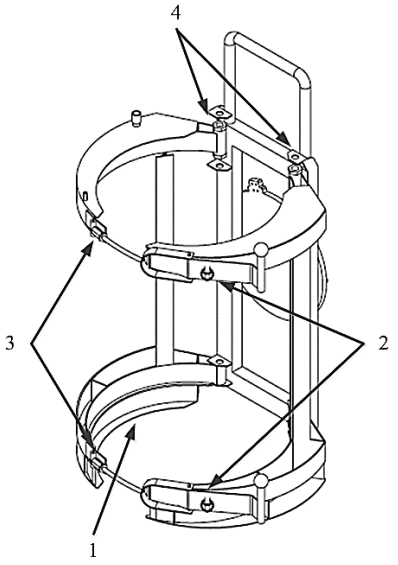
โครงสร้างทางกลโดยรวมและขนาดเป็นดังรูปที่ 2 ซึ่งประกอบไปด้วย ชุดการเคลื่อนที่ ชุดจับยกและหมุนถัง และชุดถ่ายเทสารเคมี เสาหลักใช้เหล็กตัวซีขนาด 100×50×20 มิลลิเมตร หนา 5 มิลลิเมตร เชื่อมติดกับฐานวางกระบอกไฮดรอลิกที่ใช้เหล็กตัวยู ขนาด 100×50×490 มิลลิเมตร หนา 7.5 มิลลิเมตร ฐานล้อเป็นเหล็กกล่องขนาด 50×90×1,030 มิลลิเมตร หนา 5 มิลลิเมตร พร้อมทั้งเสริมความแข็งแรงของฐานรับน้ำหนักด้วยแผ่นเหล็กสามเหลี่ยมหนา 10 มิลลิเมตร ที่จุดตั้งฉากกับเสาหลัก และมีเหล็กซับแรง หนา 5 มิลลิเมตร จากฐานล้อถูกเชื่อมต่อกับโครงสร้างหลัก น้ำหนักโดยรวมของรถประมาณ 350–400 กิโลกรัม



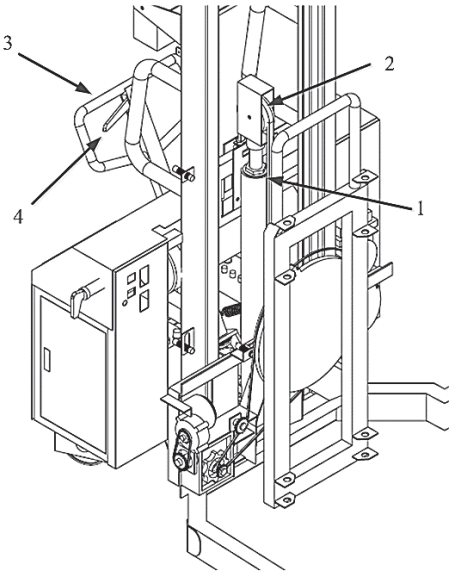

**รูปที่ 3** ลักษณะของชุดการเคลื่อนที่

2.1.1 ชุดการเคลื่อนที่

ในการออกแบบเพื่อใช้งานในพื้นที่ที่จำกัด คณะผู้วิจัยได้ออกแบบให้เคลื่อนย้ายถังบรรจุสารเคมีด้วยการใช้ล้อ (หมายเลข 1 และ 2 ในรูปที่ 3) พร้อมมีตัวล็อคล้อ (หมายเลข 3 ในรูปที่ 3) เพื่อที่ขณะใช้งานไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ ส่วนของฐานมีความแข็งแรง เพื่อรองรับน้ำหนักของถังบรรจุสารเคมี และเพื่อป้องกันการเอนเอียงเมื่อมีการยกและหมุนถัง ในการเคลื่อนย้าย คณะผู้วิจัยได้ออกแบบมือจับสำหรับเข็น (หมายเลข 4 ในรูปที่ 3)




**รูปที่ 4** ชุดจับยึดถัง

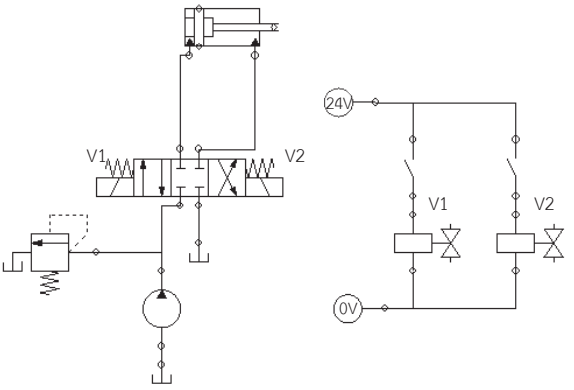



**รูปที่ 5** ชุดยกถังด้วยระบบไฮดรอลิก

2.1.2 ชุดจับยกและหมุนถัง

ในการยกถังให้สูงขึ้นนั้น จะมีแขนเพื่อโอบจับยึดถังทั้งส่วนบนและส่วนล่างโดยที่ฐานของแขนจะเป็นเหล็กแผ่นบางที่โอบล้อมรอบฐานของถังไว้ (หมายเลข 1 ในรูปที่ 4) เมื่อถังถูกรัดติดกับชุดแขนแล้ว สลัก (หมายเลข 2 ในรูปที่ 4) จะถูกใช้สำหรับล็อคถังไม่ให้เคลื่อนที่ นอกจากนี้เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งาน คณะผู้วิจัยได้ติดตั้งเซนเซอร์เพื่อตรวจสอบการรัดถัง ในกรณีที่ถังมีขนาดที่แตกต่างกัน ผู้ใช้สามารถปรับเกลียวรัด (หมายเลข 3 ในรูปที่ 4) เพื่อรองรับเส้นรอบวงของถังที่แตกต่างกัน และสามารถปรับเกลียวเลื่อน (หมายเลข 4 ในรูปที่ 4) เพื่อรองรับความสูงของถังที่แตกต่างกัน

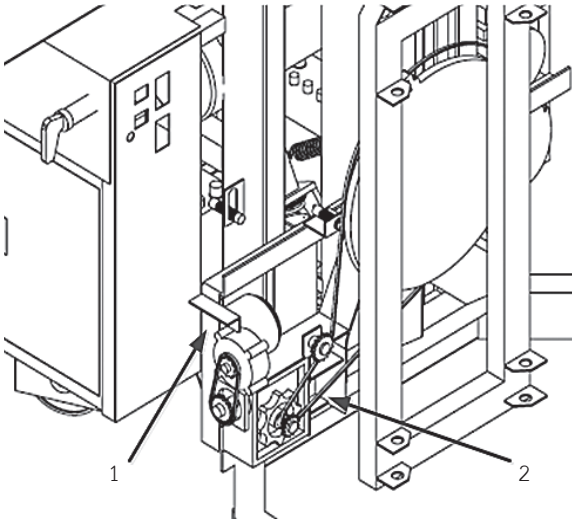
ในส่วนของการยกถังขึ้นและลง คณะผู้วิจัยได้ใช้ระบบไฮดรอลิก (หมายเลข 1 ในรูปที่ 5) โดยควบคุมผ่านวาล์วไฟฟ้า กระบอกไฮดรอลิกมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 75 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางของก้านลูกสูบ 35 มิลลิเมตร ขนาดกระบอก 7.5 ลิตร พิกัดของเครื่องสูบไฮดรอลิก คือ 24 โวลต์ 2880 วัตต์ วาล์วไฟฟ้าเป็นชนิด 4/3-way Solenoid Valve มีชุดรอกทดแรงขนาด 100 มิลลิเมตร (หมายเลข 2 ในรูปที่ 5) เชื่อมต่อกับปลายก้านลูกสูบ ชุดรอกหมุนได้อย่างอิสระและถูกขับเคลื่อนผ่านโซ่ขนาดความหนา 14 มิลลิเมตร



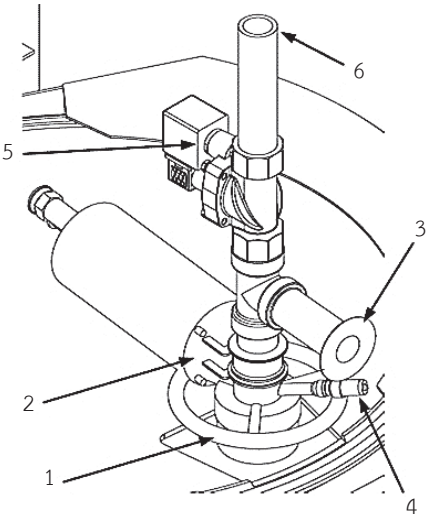

**รูปที่ 6** วงจรไฮดรอลิกที่ใช้ในชุดยกถัง

จุดยึดปลายโซ่ถูกเชื่อมติดกับอุปกรณ์ชั่งน้ำหนัก Load Cell ปลายอีกด้านถูกเชื่อมติดกับชุดจับยึดถัง (รูปที่ 4) วงจรไฮดรอลิก เป็นดังรูปที่ 6 โดยที่ V1 และ V2 คือ Solenoid ที่แสดงอยู่ในวงจร Relay ในรูปที่ 12

ในการยกถังขึ้นหรือลง จะมีตำแหน่งหยุดอยู่ 3 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งที่ 1 ตำแหน่งล่างสุดสำหรับวางถัง ตำแหน่งที่ 2 เป็นตำแหน่งหมุนถังอยู่ที่ระยะความสูงประมาณ 80 เซนติเมตร และตำแหน่งที่ 3 คือ ตำแหน่งบนสุด ใช้เป็นตำแหน่งสำหรับถ่ายเทสารเคมี ทั้ง 3 ตำแหน่ง มี Inductive Proximity




**รูปที่ 7** ชุดหมุนถังด้วยมอเตอร์กระแสตรง




**รูปที่ 8** ชุดเกลียวฝาถังและอุปกรณ์ถ่ายเท

Sensor (24VDC) เป็นตัวตรวจจับ นอกจากนี้คณะผู้วิจัยได้เพิ่มคันโยก (หมายเลข 3 ในรูปที่ 5) เพื่อให้ผู้ใช้สามารถยกถังขึ้นหรือลงด้วยตนเองโดยไม่ต้องผ่านการควบคุมจากโปรแกรม หลักการทำงาน คือเมื่อผู้ใช้ต้องการยกถังขึ้นให้โยกก้าน (หมายเลข 4 ในรูปที่ 5) ลง แล้วดันคันโยกลง จะทำให้น้ำมันไฮดรอลิกไหลเข้าไปในกระบอกไฮดรอลิก ถังจะถูกยกขึ้น เมื่อต้องการนำถังลงให้โยกก้านขึ้นแล้วดันคันโยกลงน้ำมันไฮดรอลิกจะไหลออกจากกระบอกไฮดรอลิก ทำให้ถังถูกยกลงมา เมื่อได้ระดับตามที่ต้องการแล้วให้ดันคันโยกกลับตำแหน่งเดิม

ในการหมุนถัง คณะผู้วิจัยได้ใช้มอเตอร์กระแสตรง 24 โวลต์ 350 วัตต์ (หมายเลข 1 ในรูปที่ 7) พร้อมชุดเกียร์และโซ่ (หมายเลข 2 ในรูปที่ 7) ทำการหมุนถังให้คว่ำลงและหงายขึ้น โดยจะมี Inductive Proximity Sensor (24VDC) เป็นตัวตรวจจับขอบเขตในการหมุน

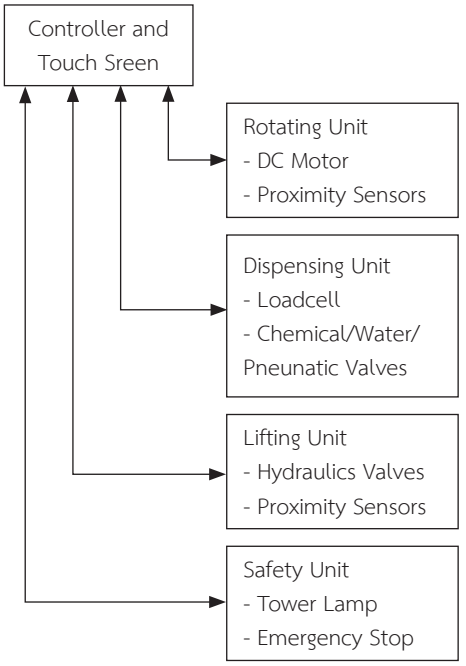
2.1.3 ชุดถ่ายเทสารเคมี

คณะผู้วิจัยได้ออกแบบฝาถัง (หมายเลข 1 ในรูปที่ 8) เพื่อใช้ถ่ายเทสารเคมีออกจากถัง โดยมีวาล์วควบคุมสารเคมี (หมายเลข 2 ในรูปที่ 8) สำหรับเปิดปิดการไหลของสารเคมีออกทางช่องต่อสายส่งสารเคมี (หมายเลข 3 ในรูปที่ 8) ซึ่งจะทำงานพร้อมกับวาล์วควบคุมลม โดยลมจากเครื่องอัดลม 24 โวลต์ 600 วัตต์ จะถูกส่งผ่านเข้าทางช่องต่อท่อลม (หมายเลข 4 ในรูปที่ 8) เข้าไปในถัง ในขณะที่ถังถูกคว่ำและกำลังเริ่มถ่ายเทสารเคมี อากาศที่เข้าไปจะลอยตัวขึ้นด้านบนและดันสารเคมีลงด้านล่างให้ไหลออกทางช่องต่อสายส่งสารเคมี ด้วยหลักการดังกล่าวทำให้ลดเวลาในการถ่ายเทสารเคมี ดันสารเคมีให้ไหลไปยังถังผสมที่อยู่สูงกว่า และอยู่ในระยะไกลได้ อีกทั้งยังลดการบีบตัวของถังบรรจุสารเคมีเนื่องจากตัวถังทำจากพลาสติก

น้ำหนักของสารเคมีถูกวัดด้วยอุปกรณ์ชั่งน้ำหนัก Load Cell เมื่อถ่ายเทสารเคมีได้น้ำหนักตามที่ต้องการแล้ว ตัวควบคุมจะทำการปิดวาล์วควบคุมสารเคมีและวาล์วควบคุมลมอย่างอัตโนมัติ นอกจากนี้ยังมีวาล์วควบคุมน้ำ (หมายเลข 5 ในรูปที่ 8) สำหรับเปิดน้ำให้ไหลจากช่องต่อสายส่งน้ำ (หมายเลข 6 ในรูปที่ 8) ไปยังช่องต่อสายส่งสารเคมี (หมายเลข 3 ในรูปที่ 8) เพื่อทำความสะอาดสายส่งสารเคมี

**2.2 ระบบควบคุมและขั้นตอนการทำงาน**

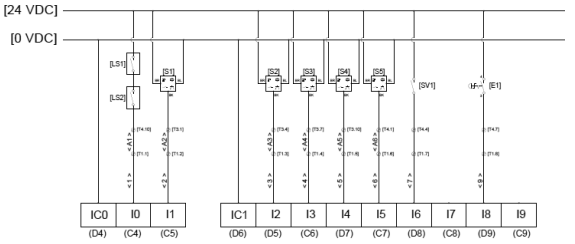
เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานได้ง่ายและสามารถทำงานคนเดียวได้ คณะผู้วิจัยได้ออกแบบให้ขั้นตอนการยกและถ่ายเทสารเคมีเป็นแบบอัตโนมัติ โดยผู้ใช้สามารถกำหนดน้ำหนักในการถ่ายเทสารเคมีได้ ระบบการถ่ายเท



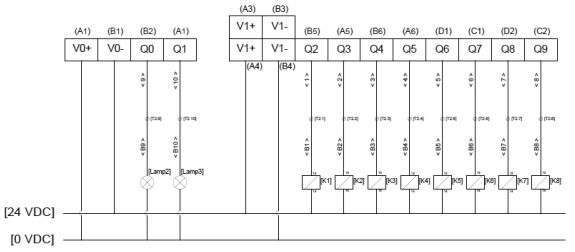

**รูปที่ 9** ส่วนประกอบของทั้งระบบ

สารเคมีจะทำงานอย่างอัตโนมัติ เพื่อให้ได้น้ำหนักตามที่ต้องการ แผนภาพส่วนประกอบของทั้งระบบ แสดงดังรูปที่ 9 ระบบทางไฟฟ้าทั้งหมด ใช้แหล่งจ่ายจากแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 85 แอมแปร์ 2 ชุด ต่ออนุกรมเพื่อให้ได้ 24 โวลต์ พร้อมทั้งมีเครื่องชาร์จประจุ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถชาร์จประจุให้กับแบตเตอรี่ได้โดยตรง ตัวควบคุมที่ใช้ คือ Pro-face LT-4301TM พร้อมหน้าจอสัมผัส (Touchscreen) ขนาด 5.7 นิ้ว นอกจากหน้าจอสัมผัสที่ใช้ติดต่อกับผู้ใช้งานแล้ว ยังมีส่วนของปุ่มฉุกเฉิน (Emergency Stop) ซึ่งเมื่อผู้ใช้กดปุ่มนี้จะเป็นการตัดการจ่ายกำลังทั้งหมดของรถ และ มีไฟสัญญาณ (Tower Lamp) ซึ่งหลอดไฟสีแดงสว่างจะบ่งบอกว่ารถกำลังทำการถ่ายเทสารเคมี เมื่อถ่ายเทสารเคมีเสร็จสิ้นแล้วจะมีเสียงเตือนดัง 5 วินาที แล้วหลอดไฟสีเหลืองจะสว่าง

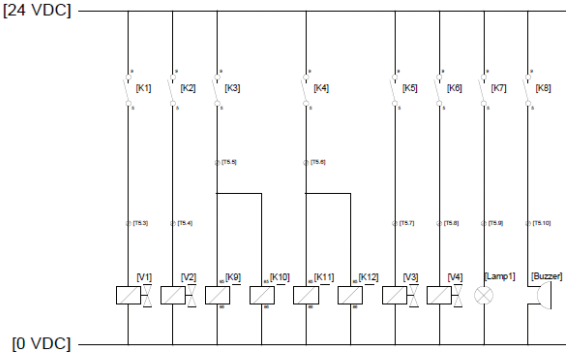
จากรูปที่ 9 อุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับตัวควบคุมสามารถแบ่งได้เป็นส่วนของอุปกรณ์ Input และส่วนของอุปกรณ์ Output ดังแสดงในตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ วงจรไฟฟ้าแสดงได้ดังรูปที่ 10–12 สำหรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์ Input อุปกรณ์ Output และวงจร Relay ตามลำดับ




**รูปที่ 10** วงจรการเชื่อมต่ออุปกรณ์ Input เข้ากับตัวควบคุม




**รูปที่ 11** วงจรการเชื่อมต่ออุปกรณ์ Output เข้ากับตัวควบคุม




**รูปที่ 12** วงจร Relay

**ตารางที่ 1** อุปกรณ์ Input ที่ต่อเข้ากับตัวควบคุม

| หมายเลข Input | รายละเอียดของอุปกรณ์ |
|---|---|
| I0 | สลักล็อคถังและเปลี่ยนฝาถัง |
| I1 | ตำแหน่งบนสุดของชุดยกถัง |
| I2 | ตำแหน่งล่างสุดของชุดยกถัง |
| I3 | ตำแหน่งหงายถังของชุดหมุนถัง |
| I4 | ตำแหน่งคว่ำถังของชุดหมุนถัง |
| I5 | ตำแหน่งหมุนถังของชุดยกถัง |
| I6 | เซนเซอร์ตรวจสอบการสวมสาย |
| I7 | สำรอง |
| I8 | Emergency Stop |

**ตารางที่ 2** อุปกรณ์ Output ที่ต่อเข้ากับตัวควบคุม

| หมายเลข Output | รายละเอียดของอุปกรณ์ |
|---|---|
| Q0 | ไฟสัญญาณ (สีเหลือง) |
| Q1 | ไฟสัญญาณ (สีเขียว) |
| Q2 | Relay ควบคุมการยกถังขึ้น |
| Q3 | Relay ควบคุมการยกถังลง |
| Q4 | Relay ควบคุมการคว่ำถัง |
| Q5 | Relay ควบคุมการหงายถัง |
| Q6 | Solenoid Valve ควบคุมการถ่ายเทสารเคมี |
| Q7 | Solenoid Valve ควบคุมการถ่ายเทน้ำ |
| Q8 | ไฟสัญญาณ (สีแดง) |
| Q9 | ไฟสัญญาณ (Buzzer) |

ขั้นตอนการทำงาน เป็นดังต่อไปนี้

1) เปลี่ยนฝาถังของถังบรรจุสารเคมีเหลวเป็นฝาถังที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้

2) เคลื่อนรถด้วยการใช้มือจับสำหรับเข็น (หมายเลข 4 ในรูปที่ 3) เพื่อให้ถังเข้าไปอยู่ภายในชุดจับยึดถัง

3) ใช้ชุดจับยึดถังรัดถังให้ติดกับชุดแขน แล้วใช้สลัก (หมายเลข 2 ในรูปที่ 4) ล็อคถังไม่ให้เคลื่อนที่ ถ้าหากผู้ใช้จับยึดถังไม่ถูกต้องระบบจะไม่ทำงาน

4) กดปุ่มบนหน้าจอสัมผัส เพื่อยกถังขึ้น ถังจะถูกยกขึ้นถึงตำแหน่งหมุนถัง (80 เซนติเมตรจากพื้น) ระบบจะมีการหน่วงเวลา 3 วินาที แล้วถังจะถูกพลิกคว่ำลง เมื่อคว่ำเรียบร้อยแล้วถังจะถูกยกขึ้นถึงตำแหน่งบนสุด

5) ผู้ใช้งานต่อสายส่งสารเคมีเข้ากับฝาถังตรงตำแหน่งช่องต่อสายส่งสารเคมี (หมายเลข 3 ในรูปที่ 8) และต่อสายส่งน้ำเข้ากับช่องต่อสายส่งน้ำ (หมายเลข 6 ในรูปที่ 8) ในขณะที่ท่อลมจะต่อเข้ากับช่องต่อท่อลม (หมายเลข 4 ในรูปที่ 8)

6) ผู้ใช้งานกดปุ่ม เริ่มทำการวัดน้ำหนักและกำหนดน้ำหนักของสารเคมีที่ต้องการถ่ายเท แล้วกดปุ่มเริ่มถ่ายเทสารเคมี

7) วาล์วควบคุมสารเคมีและวาล์วควบคุมลมจะทำงานพร้อมกัน ทำให้อากาศไหลเอาไปช่วยดันสารเคมีให้ไหลออกจากถังผ่านสายส่งสารเคมี

8) สารเคมีจะถูกถ่ายเทเท่ากับน้ำหนักที่กำหนดไว้ แล้วหลังจากนั้น ผู้ใช้งานสามารถสั่งเปิดวาล์วควบคุมน้ำเพื่อจ่ายน้ำเข้าไปล้างทำความสะอาดสายแล้วปิดวาล์ว

9) เมื่อเสร็จสิ้นแล้ว ถังจะถูกพลิกหงายขึ้น และถูกนำลงวางบนพื้น

**รูปที่ 13** โครงสร้างโดยรวมของรถ (ด้านหน้า)

## 3. ผลการวิจัย

ผลการวิจัยในโครงการวิจัยนี้ แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ผลของการสร้างโครงสร้างและการควบคุม และผลการทดสอบ ในส่วนของโครงสร้างจะพิจารณาหน้าที่การทำงาน ตามที่ได้ออกแบบไว้หรือไม่ ในส่วนของผลการทดสอบจะทดสอบหาประสิทธิภาพ ซึ่งได้แก่ อัตราการถ่ายเทสารเคมี เวลาในการถ่ายเทสารเคมี และความถูกต้องของน้ำหนักของสารเคมีที่ถูกถ่ายเท

### 3.1 โครงสร้างและการควบคุม

จากการออกแบบโครงสร้างของรถเคลื่อนย้ายและถ่ายเทถังบรรจุสารเคมีเหลวที่พัฒนาขึ้นเป็นดังรูปที่ 13 และ 14

**รูปที่ 14** โครงสร้างโดยรวมของรถ (ด้านหลัง)

**รูปที่ 15** การจับยึดถังบรรจุสารเคมีเข้ากับชุดจับยกและหมุนถัง

ในการใช้งาน ผู้ใช้งานนำรถที่พัฒนาขึ้นจับยึดกับตัวถัง ดังแสดงในรูปที่ 15 และเปลี่ยนฝาถังเป็นฝาถังที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ ดังรูปที่ 16 หลังจากนั้นผู้ใช้งานสามารถถ่ายเทสารเคมีได้ 2 แบบ คือ แบบอัตโนมัติและแบบควบคุมด้วยตนเองโดยตรง (Manual) จากหน้าจอสัมผัสดังรูปที่ 17

ในการกำหนดน้ำหนักของสารเคมี ผู้ใช้งานสามารถระบุน้ำหนักที่ต้องการถ่ายเท ดังรูปที่ 18 และเริ่มถ่ายเทสารเคมีดังรูปที่ 19

**รูปที่ 16** การติดตั้งชุดฝาถังพร้อมวาล์ว

**รูปที่ 17** หน้าจอสัมผัสสำหรับการใช้งาน

**รูปที่ 18** การระบุน้ำหนักที่ต้องการถ่ายเท

**รูปที่ 19** การถ่ายเทสารเคมี

### 3.2 ผลการทดลอง

ในการทดลองได้ใช้สายส่งสารเคมี ยาว 8 เมตร ถังผสมสารเคมีสำหรับรองรับการถ่ายเทสารเคมี สูง 1.5 เมตร คณะผู้วิจัยได้ทดสอบการทำงานขั้นต้น โดยปรับค่าความดันของลม 4 ค่า คือ 0.1, 0.25, 0.5 และ 0.75 บาร์ เพื่อเติมอากาศเข้าไปในถังขณะทำการถ่ายเทสารเคมีพบว่า เมื่อใช้ความดัน 0.25 บาร์ และ 0.5 บาร์ เวลาที่ใช้ในการถ่ายเทสารเคมีทั้งสองชนิดใกล้เคียงกัน และผนังถังมีสภาพปกติ แต่ถ้าใช้ความดัน 0.1 บาร์ ผนังถังมีการยุบตัว เนื่องจากความดันไม่เพียงพอเมื่อเทียบกับการไหลออกของสารเคมี แต่ถ้าหากใช้ความดัน 0.75 บาร์ เมื่อทำการถ่ายเทสารเคมีไปสักพัก พบว่าผนังถังมีการพองตัวจึงต้องหยุดการทดสอบ ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงเลือกความดันของลมที่ 0.25 บาร์ ซึ่งจะประหยัดพลังงานมากกว่าการใช้ความดันของลมที่ 0.5 บาร์

เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายและถ่ายเทสารเคมี แบ่งได้เป็น 3 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 คือ ช่วงเวลาตั้งแต่เปลี่ยนฝาถังจนกระทั่งต่อสายต่างๆ พร้อมที่จะถ่ายเทสารเคมี ช่วงที่ 2 คือ ช่วงเวลาในการถ่ายเทสารเคมีจนได้น้ำหนักที่ต้องการ และช่วงที่ 3 คือ ช่วงเวลาที่ใช้ในการปล่อยน้ำล้างสายส่งสารเคมี นำถังลง และนำไปเก็บในการจับเวลานั้นจะมุ่งเน้นเฉพาะช่วงที่ 2 เนื่องจากช่วงที่ 1 และช่วงที่ 3 ขึ้นอยู่กับความชำนาญของผู้ใช้งาน ซึ่งถ้าหากคุ้นเคยในการใช้งานแล้ว จะใช้เวลารวมกันไม่เกิน 15 นาที และสามารถทำทุกขั้นตอนได้เพียงคนเดียว แต่ในกรณีของการเคลื่อนที่และถ่ายเทสารเคมีแบบเดิมนั้น ต้องใช้พนักงาน 2–3 คน ช่วยกันเคลื่อนย้ายถังจากบริเวณที่เก็บถังไปยังบริเวณที่ต้องการถ่ายเทสารเคมี ระยะทางประมาณ 20–30 เมตร ใช้เวลาประมาณ 5–10 นาที แต่ต้องอาศัยพละกำลังในการเคลื่อนย้าย และมีโอกาสเกิดอุบัติเหตุได้สูง ในงานวิจัยนี้จึงเปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทสารเคมีและเวลาที่ใช้ถ่ายเทจนหมดถัง (250 กิโลกรัม) เฉพาะช่วงที่ 2 ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยทดลอง 3 ซ้ำ ซึ่งจะเห็นได้ว่าสารเคมีชนิด PBTC ถูกถ่ายเทได้เร็วกว่าชนิด AA/AMPS เนื่องจากมีความหนืดที่น้อยกว่า

**ตารางที่ 3** อัตราการถ่ายเทสารเคมีและเวลาที่ใช้ถ่ายเทสารเคมีจนหมดถัง

| ชนิดสารเคมี | อัตราการถ่ายเทสารเคมี (กิโลกรัม/นาที) | | เวลาที่ใช้ถ่ายเทสารเคมีจนหมดถัง (นาที) | |
|---|---|---|---|---|
| | วิธีใหม่ | วิธีเดิม | วิธีใหม่ | วิธีเดิม |
| PBTC | 30.0 | 11.1 | 8.3 | 22.5 |
| AA/AMPS | 16.8 | 3.9 | 14.9 | 64.2 |

ตารางที่ 4 แสดงความถูกต้องของการตรวจวัดค่าน้ำหนักด้วย Load Cell ในการถ่ายเทสารเคมีชนิด PBTC

**ตารางที่ 4** ความถูกต้องของการวัดน้ำหนัก

| การทดลอง | น้ำหนักจาก Load Cell (กิโลกรัม) | น้ำหนักจากเครื่องชั่ง (กิโลกรัม) | ความคลาดเคลื่อน (กิโลกรัม) |
|---|---|---|---|
| 1 | 11.6 | 14.0 | 2.4 |
| 2 | 11.9 | 13.0 | 1.1 |
| 3 | 11.7 | 14.0 | 2.3 |
| 4 | 10.4 | 11.2 | 0.8 |
| 5 | 21.2 | 24.0 | 2.8 |
| 6 | 21.0 | 22.2 | 1.2 |
| 7 | 20.8 | 22.0 | 1.2 |
| 8 | 20.6 | 21.5 | 0.9 |

**4. อภิปรายผลและสรุป**

งานวิจัยนี้ได้สร้างและหาประสิทธิภาพของรถที่ใช้สำหรับเคลื่อนย้ายและถ่ายเทถังบรรจุสารเคมีเหลว ส่วนประกอบหลักประกอบด้วย ชุดการเคลื่อนที่ ชุดจับยกหมุนถัง และชุดถ่ายเทสารเคมี ชุดการเคลื่อนที่ถูกออกแบบให้ใช้ล้อขนาดใหญ่และมีฐานที่กว้าง เพื่อรองรับการยกและการหมุนถัง ชุดจับยกและหมุนถังถูกออกแบบให้สามารถรัดถังได้มั่นคงปลอดภัย มีก้านสูบไฮดรอลิกสำหรับยกถัง และใช้มอเตอร์กระแสตรงสำหรับหมุนถัง ชุดถ่ายเทสารเคมีมีวาล์วเปิดปิดสารเคมีที่ออกจากถัง และเมื่อน้ำหนักของสารเคมีลดลงตามที่ได้ตั้งค่าไว้ ตัวควบคุมจะทำการปิดวาล์ว แล้วผู้ใช้งานสามารถเปิดวาล์วน้ำ เพื่อให้น้ำไหลเข้าไปทำความสะอาดสายส่งสารเคมี เพื่อป้องกันการแข็งตัวของสารเคมีในสาย

ผลการทดสอบพบว่า อัตราการถ่ายเทสารเคมีสำหรับสารเคมีชนิด PBTC คือ 30.0 กิโลกรัมต่อนาที ในขณะที่อัตราการถ่ายเทสารเคมีสำหรับสารเคมีชนิด AA/AMPS คือ 16.8 กิโลกรัมต่อนาที ความผิดพลาดในการถ่ายเทสารเคมีไม่เกิน +/–2.8 กิโลกรัม จะเห็นได้ว่าอัตราการถ่ายเทสารเคมีด้วยวิธีที่นำเสนอเร็วกว่าวิธีการเดิมมาก

ในการคำนวณหาระยะเวลาคืนทุน ต้นทุนของรถอยู่ที่ประมาณ 250,000 บาท แบตเตอรี่ที่ใช้สามารถจ่ายพลังงานให้กับระบบสำหรับการถ่ายเทสารเคมีได้ 20–30 ครั้ง ค่าใช้จ่ายในการชาร์จประจุเมื่อรวมกับค่าซ่อมบำรุง คาดว่าไม่เกิน 10,000 บาทต่อปี ในขณะที่วิธีการเดิมนั้น มอเตอร์ของเครื่องสูบที่เสียมีราคาประมาณ 100,000 บาท ดังนั้นระยะเวลาในการคืนทุนประมาณ 2 ปี อีกทั้งยังสามารถลดจำนวนพนักงานจากเดิม 2-3 คน ให้เหลือเพียง 1 คน

สำหรับงานวิจัยในอนาคต คณะผู้วิจัยจะทดสอบเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อความถูกต้องของน้ำหนักและอัตราการถ่ายเทสารเคมี

**5. กิตติกรรมประกาศ**

งานวิจัยได้รับทุนวิจัยและพัฒนา นวัตกรรม จากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง และขอขอบพระคุณ ผู้บริหารและเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องของโรงไฟฟ้าน้ำพอง ที่เสียสละเวลาให้ข้อมูลและช่วยเหลือในการทดลอง

**เอกสารอ้างอิง**

[1] G. Sharp, Y. Wan, L. McGinnis, M. Goetschalckx, D. Bodner, T. Govindaraj, B. Ram, and J. Everette, “A structured approach to material handling system selection and specification for manufacturing,” in *Proceedings of the 2001 Industrial Engineering Research Conference*, 2001.

[2] M. Hassan, “A framework for selection of material handling equipment in manufacturing and logistics facilities,” *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 21, no. 2, pp. 246–268, 2010.

[3] P. Karande and S. Chakraborty, “Material handling equipment selection using weighted utility additive theory,” *Journal of Industrial Engineering*, vol. 2013, pp. 1–9, 2013.

[4] M. Bouh and D. Riopel, “Material handling equipment selection: New classifications of equipments and attributes,” presented at the 6th Industrial Engineering and Systems Management International Conference, Seville, Spain, October 2015.

[5] T. Aized, “Materials handling in flexible manufacturing systems,” in *Future Manufacturing Systems*, Rijeka: Intech, 2001, pp. 121–136.

[6] S. Khamsalai, W. Supitak, and S. Svetasreni, “Development of reach typed forklift truck working standard for the operation of warehouse with selective rack,” in *Proceedings of the 15th National Kasetsart University Kamphaeng*

*Saen Conference*, 2016, pp. 683–691 (in Thai).

[7] B. Stewart, C. Clark, and P. Patton, "Materials-handling accident reduction in underground mines," presented at the 6th International Symposium on Mine Mechanization and Automation, Spokane, WA, 2001.

[8] S. Sakai, M. Iida, K. Osuka, and M. Umeda, "Design and control of a heavy material handling manipulator for agricultural robots," *Autonomous Robots*, vol. 25, no. 3, pp. 189–204, 2008.

[9] A. Sivasubramanian, M. Jagadish, and C. Sivaram, "Design and modification of semi automatic stacker," *Indian Journal of Applied Research*, vol. 4, no. 4, pp. 174–178, 2011.

[10] R. Gujar, A. Arole, K. Barhate, S. Gawande, and M. Viroff, "Design and development of attachment for hydraulic stacker," *International Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 2, no. 5, pp. 796–801, 2010.