

## ■ Research Article



## การออกแบบและคำนวณหาแรงบิดเพื่อเลือกมอเตอร์สำหรับแขนกลหุ่นยนต์กู้ภัย

### Design and calculation of torque for motor selection for rescue robot arm

อภิชาติ ไสงาม<sup>1\*</sup>, พลกฤษณ์ กุณคำ<sup>1</sup>, นวัฐฐานต์ กันกา<sup>1</sup> นัชชา เขื่อนคำ<sup>1</sup> และณัฐพงศ์ เรืองอินทร์<sup>1</sup>

<sup>1</sup>วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา 98 หมู่ 8 ตำบลป่าป้อง อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ 50200

#### บทคัดย่อ (ภาษาไทย)

การออกแบบการทำงานของแขนกลนี้มีการใช้หุ่นยนต์แขนพับเป็นต้นแบบ โดยหุ่นยนต์แขนพับจะเป็นหุ่นยนต์ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับแขนมนุษย์และมีการเคลื่อนที่แบบหมุนในทุกข้อต่อ ดังนั้นจึงต้องคำนวณหาแรงบิดเพื่อกำหนดกำลังมอเตอร์สำหรับแขนกล ซึ่งจะต้องหาแรงบิดแต่ละจุดโดยการนำกฎการคำนวณจุดศูนย์กลางมวล, แรงบิด และอัตราทดเฟือง มาใช้ในการคำนวณเพื่อเลือกมอเตอร์สำหรับข้อต่อของแขนกลแต่ละตำแหน่ง ซึ่งจากการคำนวณแรงบิดที่มีการหาค่าความปลอดภัยของมอเตอร์ ณ จุดวิกฤตของแขนกลที่เกิดขึ้นกับ  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  และ  $\tau_3$  เท่ากับ 28.78 Nm, 6.35 Nm และ 0.20 Nm ตามลำดับ แรงบิด  $\tau_1$  ใช้กับมอเตอร์ที่มีแรงบิด 1.23 Nm แรงบิดที่ออกมาเมื่อมอเตอร์ทำงานร่วมกับเฟืองทดรอบอัตราส่วน 80:1 มีค่าเท่ากับ 98.4 Nm, แรงบิด  $\tau_2$  ใช้กับมอเตอร์ที่มีแรงบิด 0.18 Nm แรงบิดที่ออกมาเมื่อมอเตอร์ทำงานร่วมกับเฟืองทดรอบ อัตราส่วน 80:1 มีค่าเท่ากับ 14.4 Nm, แรงบิด  $\tau_3$  ใช้กับเซอร์โวมอเตอร์ที่มีแรงบิด 0.98 Nm เมื่อเทียบกับจุดวิกฤตของของแขนกลแต่ละจุด มอเตอร์ทั้ง 3 ตัว สามารถส่งถ่ายกำลังได้อย่างปลอดภัย

**คำสำคัญ:** แขนกลกู้ภัย, จุดศูนย์กลางมวล, แรงบิด, ค่าความปลอดภัย

#### Abstract

Our 3-link rescue robot arm was inspired by a human-like articulated robot that has revolute joints in all joints. To choose any motor suitable for each revolute joint, it is necessary to calculate the torque required for supporting each link of the robot arm. Therefore, in this research, calculations of the center of mass, torque, and gear ratio were made. At the critical point of each joint, we found torque  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ , and  $\tau_3$ , considered with a safety factor, of 28.78 Nm, 6.35 Nm, and 0.20 Nm, respectively. The torque produced when 2 DC motors, which have torque of 1.23 Nm and 0.18 Nm, and servo motor which has torque of 0.98 Nm, worked with a worm gear with gear ratio of 80:1 was 98.4 Nm, 0.18 Nm, and 14.4 Nm, respectively. As a result, compared to each critical point of the robot arm, all motors can support the movement of the robot arm safely.

**Keywords:** rescue robot arm, center of mass, torque, safety factor

#### Received:

16 November 2025

#### Revised:

1 May 2026

#### Accepted:

22 June 2026

#### Published:

29 June 2026

#### \*Corresponding

##### Author:

apichat\_saingam@rmutl.ac.th

Copyright:

© Rajamangala

University of

Technology Lanna.

All right reserved

#### ISSN

Print: 2586-8500

Electronic: 2586-8632

## 1. บทนำ

การออกแบบการทำงานของแขนกลนี้มีการใช้หุ่นยนต์แขนพับเป็นต้นแบบโดย หุ่นยนต์แขนพับจะเป็นหุ่นยนต์ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับแขนมนุษย์และมีการเคลื่อนที่แบบหมุนในทุกข้อต่อ ลักษณะของแขนกลที่ออกแบบเป็นแขนกลที่มีข้อต่อ 2 ข้อ และข้อต่อแบบหมุน 3 จุด โดยออกแบบให้ตำแหน่งของข้อต่อเมื่อเริ่มต้นการทำงาน ของแขนกลอยู่ในท่าพับแขนในระนาบเดียวกันดังรูปที่ 1 เพื่อให้แขนกลอยู่ในตำแหน่ง การเก็บข้อต่อที่ประหยัดพื้นที่ ข้อต่อแบบหมุนใช้เฟืองทดรอบเป็นตัวช่วยมอเตอร์ ในการส่งกำลังถึงข้อต่อเพื่อยกข้อต่อแต่ละข้อให้เกิดการเคลื่อนที่ของแขนกล และ จุดหมุนบริเวณฐานใช้เฟืองวงแหวนในการบังคับทิศทางการหมุนซ้ายและขวาของ แขนกล ตำแหน่งปลายแขนจะเป็นข้อต่อแบบหมุนซึ่งใช้เซอร์โวมอเตอร์ในการควบคุม การเคลื่อนที่ ส่วนปลายแขนเป็นชุดอุปกรณ์สำหรับตรวจจับสภาพแวดล้อม ประกอบด้วยกล้องและเซ็นเซอร์ต่าง ๆ เพื่อให้ผู้ควบคุมที่อยู่หน้าจอมอนิเตอร์ได้รับรู้ สภาพแวดล้อม ดังนั้นจึงต้องคำนวณหาแรงบิดเพื่อกำหนดมอเตอร์สำหรับแขนกล ซึ่งมีการนำทฤษฎีการคำนวณจุดศูนย์กลางมวล, แรงบิด และอัตราทดเฟือง มาใช้ในการคำนวณเพื่อเลือกมอเตอร์ให้เหมาะสมสำหรับข้อต่อของแขนกลแต่ละตำแหน่ง

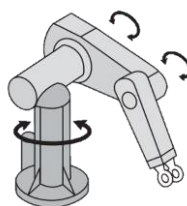
## 2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อการออกแบบและสร้างกลไก (machine design) แขนกลบนหุ่นยนต์กู้ภัย
- 2.2 คำนวณหาแรงบิดเพื่อกำหนดมอเตอร์สำหรับแขนกลบนหุ่นยนต์กู้ภัย

## 3. แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 3.1 หุ่นยนต์แขนพับ (articulated robot)

หุ่นยนต์แขนพับ เป็นหุ่นยนต์ที่ออกแบบมาให้มีลักษณะคล้ายคลึงกับแขนของมนุษย์ ตั้งแต่ช่วงหัวไหล่ลงไป โดยหุ่นยนต์ชนิดนี้จะมีสามารถในการทำงานและการเคลื่อนที่ในลักษณะที่คล้ายกับการเคลื่อนที่ของแขนมนุษย์ทุกแกนการเคลื่อนที่จะเป็นแบบหมุนหุ่นยนต์ชนิดนี้สามารถใช้งานได้กว้างขวางเพราะมีความสามารถในการเข้าถึงที่ตำแหน่งต่าง ๆ ได้ดี เช่น งานเชื่อม งานยกของ งานตัด งานทากาว และงานที่มีการเคลื่อนที่อย่างยากลำบากและลักษณะของหุ่นยนต์แขนพับจะเป็นดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 หุ่นยนต์แขนพับ  
(YASKAWA Electric Corporation, 2011)

### 3.2 แรง (force)

แรง คือ สิ่งที่ทำต่อวัตถุ แล้วทำให้วัตถุนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพของวัตถุ เช่น เปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ เปลี่ยนขนาดของอัตราเร็ว หรือเปลี่ยนขนาดในทาง ฟิสิกส์จะให้หน่วยของแรงมีหน่วยเป็นนิวตัน (N) ซึ่งแรงเป็นเวกเตอร์ที่มีทั้งขนาด และทิศทาง

### 3.3 การเคลื่อนที่ (movement)

การเคลื่อนที่ คือ การเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุในช่วงเวลาหนึ่ง โดยการเคลื่อนที่ของ วัตถุจะถูกสังเกตได้โดยผู้สังเกตที่เป็นส่วนหนึ่งของกรอบอ้างอิง ทำการวัดการ

เปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุเทียบกับกรอบอ้างอิงนั้น ถ้าตำแหน่งของวัตถุไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับกรอบอ้างอิงอาจกล่าวได้ว่าวัตถุนั้นอยู่นิ่งหรือตำแหน่งคงที่ การเคลื่อนที่ของวัตถุจะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ ยกเว้นเมื่อมีแรงมากระทำ ซึ่งการอธิบายและตรวจสอบการเคลื่อนที่ของวัตถุและระบบทางกายภาพจะใช้กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน (Newton's laws of motion) มีทั้งหมด 3 ข้อ ดังนี้

1) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 1 กล่าวว่า “วัตถุจะรักษาสถานะอยู่นิ่งหรือสถานะเคลื่อนที่อย่างสม่ำเสมอในแนวเส้นตรง นอกจากมีแรงลัพธ์มากระทำ” ถ้าแรงลัพธ์ (ผลรวมของแรงทั้งหมดที่กระทำต่อวัตถุ) เป็นศูนย์จะทำให้ความเร็วของวัตถุจะเป็นค่าคงที่หรือหยุดนิ่งหรือวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่จะไม่เปลี่ยนแปลงความเร็ว เว้นแต่จะมีแรงภายนอกมากระทำเช่นกัน ดังสมการที่ 1

$$\sum F = 0 \quad (1)$$

2) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 2 กล่าวว่า “ความเร่งของอนุภาคเป็นปริมาณโดยตรงกับแรงลัพธ์ที่กระทำต่ออนุภาค โดยมีทิศทางเดียวกันและเป็นปริมาณผกผันกับมวลของอนุภาค” ซึ่งเป็นผลทำให้แรงลัพธ์เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร่งของวัตถุกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าถ้าวัตถุมีความเร่งแสดงว่ามีแรงกระทำต่อวัตถุอยู่ โดยในกรอบอ้างอิงเฉื่อยผลรวมของเวกเตอร์ของแรงบนวัตถุมีค่าเท่ากับมวลของวัตถุคูณด้วยความเร่งของวัตถุ ดังสมการที่ 2

$$\sum F = ma \quad (2)$$

3) กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันข้อที่ 3 “ทุกแรงกิริยาย่อมมีแรงปฏิกิริยาซึ่งมีขนาดเท่ากันแต่มีทิศตรงข้ามกันเสมอ” โดยกฎข้อนี้เรียกว่า กฎของกิริยาและปฏิกิริยา (law of action and reaction) เมื่อวัตถุหนึ่งออกแรงกระทำต่ออีกวัตถุหนึ่ง จะมีแรงขนาดเท่ากันแต่ทิศทางตรงข้ามกับทิศทางของวัตถุแรก ดังสมการที่ 3

$$F_{action} = F_{reaction} \quad (3)$$

#### 3.4 แรงบิด (torque)

แรงบิด คือ แรงที่ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่เป็นแบบหมุน ซึ่งแรงบิดนั้นคำนวณโดยการคูณแรงและระยะทาง และแรงบิดนั้นเป็นปริมาณเวกเตอร์ที่มีทั้งทิศทางและขนาดโดยขนาดของแรงบิดขึ้นอยู่กับปริมาณแรงที่กระทำแบบตั้งฉากกับความยาวของแขนหรือระยะห่างระหว่างแรงกับจุดที่ใช้แรง ดังสมการที่ 4

$$\tau = F \times r \quad (4)$$

#### 3.5 อัตราทดเฟือง (gear ratio)

อัตราทดเฟือง คือ สัดส่วนระหว่างเฟือง 2 ตัวขึ้นไปที่กำลังถึงกัน ซึ่งเฟืองตัวหนึ่งจะเป็นตัวขับและเฟืองอีกตัวจะเป็นตัวตาม โดยการเคลื่อนที่ของเฟืองทั้งสองจะมีทิศทางที่ตรงกันข้ามรวมไปถึงเฟืองขับและเฟืองตาม จะมีความเร็วรอบและจำนวนฟันเฟืองที่ต่างกันโดยจำนวนฟันเฟืองหรือขนาดของเฟืองขับและเฟืองตามขึ้นอยู่กับความต้องการที่ปลายทางว่าต้องการผลลัพธ์อย่างไร ซึ่งอัตราทดเฟืองมีความสัมพันธ์กันกับความเร็ว จำนวนของฟันเฟืองและขนาดของฟันเฟืองตามอัตราส่วนดังสมการ 5

$$\text{Gear Ratio (GR)} = \frac{\text{input rotation}}{\text{output rotation}} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{t_2}{t_1} \quad (5)$$

#### 3.6 ความสัมพันธ์ของแรงบิดและอัตราทดเฟือง

อัตราส่วนของแรงบิด มีความเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของเฟือง ได้แก่ อัตราส่วนความเร็วรอบของเฟือง, อัตราส่วนจำนวนฟันของเฟือง, อัตราส่วนขนาดของเฟือง และอัตราส่วนรัศมีของเฟือง ซึ่งความสัมพันธ์ของอัตราส่วนของแรงบิดและอัตราส่วนของเฟืองที่ได้กล่าวมาดังสมการที่ 6 และ

อัตราส่วนของเฟืองนั้นจะเกี่ยวเนื่องกับอัตราทดเฟืองเมื่อเทียบกับสมการที่ 5 จะได้ความสัมพันธ์ของแรงบิดและอัตราทดเฟือง ดังสมการที่ 7

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{t_2}{t_1} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{r_2}{r_1} \quad (6)$$

$$\text{Gear Ratio (GR)} = \frac{T_2}{T_1} \quad (7)$$

### 3.7 จุดศูนย์กลางมวลและจุดศูนย์กลางถ่วง (center of mass and center of gravity)

จุดศูนย์กลางมวล คือ จุดที่เสมือนที่รวมของมวลวัตถุทั้งก้อน เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำต่อวัตถุโดยมีแนวแรงผ่านจุดศูนย์กลางนี้แล้วจะทำให้วัตถุเคลื่อนที่โดยไม่เกิดการหมุนแต่ถ้าแนวแรงไม่ผ่านจุดศูนย์กลางมวลวัตถุดังกล่าวจะเกิดการเคลื่อนที่แบบหมุน

จุดศูนย์กลางถ่วง คือ จุดที่เสมือนที่รวมน้ำหนักของวัตถุทั้งก้อน เมื่อเป็นวัตถุเป็นเนื้อเดียวกันตำแหน่งของจุดศูนย์กลางถ่วงอาจอยู่ที่เดียวกับจุดศูนย์กลางมวล หากเป็นวัตถุที่ไม่ใช่เนื้อเดียวกันหรือมีองค์ประกอบรวมในวัตถุนั้นมากกว่า 1 ชนิด มีโอกาสที่ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางถ่วงและจุดศูนย์กลางมวลจะคนละตำแหน่งกัน เนื่องจากจุดศูนย์กลางถ่วงจะอยู่ ณ จุดที่น้ำหนักของวัตถุทั้งก้อนรวมกัน

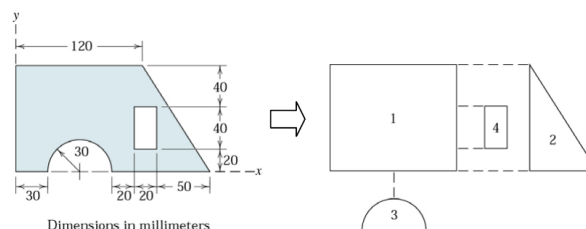
ในส่วนของการหาจุดศูนย์กลางมวลของวัตถุที่เป็นเนื้อเดียวกันจะถือว่าตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลและจุดศูนย์กลางถ่วงอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกัน หากวัตถุที่เป็นเนื้อเดียวกันและมีความหนาที่เท่ากันสามารถหาจุดศูนย์กลางมวลผ่านการคำนวณจากพื้นที่ได้ดังตารางที่ 1

การคำนวณศูนย์กลางมวล หากมีรูปร่างที่ไม่สามารถใช้สูตรการคำนวณพื้นที่ของรูปทรงเรขาคณิตพื้นฐานได้หรือรูปร่างผสม (composite body) สามารถใช้วิธีการแบ่งส่วนรูปร่างผสมให้เป็นรูปทรงเรขาคณิตพื้นฐานเนื่องจากรูปร่างผสมเกิดขึ้นจากการประกอบกันของรูปทรงเรขาคณิตพื้นฐาน จึงสามารถคำนวณจุดศูนย์กลางถ่วงโดยการแบ่งส่วนรูปร่างผสมให้เป็นรูปทรงเรขาคณิต ดังรูปที่ 2

หลังจากการแบ่งส่วนรูปร่างผสมมีสูตรการคำนวณจุดศูนย์กลางถ่วงรวมตามแนวแกน X และแกน y โดยใช้สมการที่ 8 และ 9 ในการคำนวณ

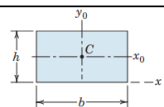
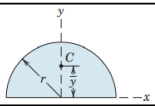
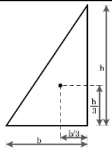
$$\bar{x} = \frac{\sum A_i \bar{x}_i}{\sum A_i} \quad (8)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum A_i \bar{y}_i}{\sum A_i} \quad (9)$$



รูปที่ 2 การคำนวณจุดศูนย์กลางถ่วงจากรูปร่างผสม (Meriam, 2011)

ตารางที่ 1 การคำนวณจุดศูนย์กลางของพื้นที่รูปเรขาคณิต (Meriam, 2011)

| รูปเรขาคณิต                                                                       | $\bar{X}$     | $\bar{Y}$         | พื้นที่             |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------|---------------------|
|  | $\frac{b}{2}$ | $\frac{h}{2}$     | $bh$                |
|  | $r$           | $\frac{4r}{3\pi}$ | $\frac{\pi r^2}{2}$ |
|  | $\frac{b}{3}$ | $\frac{h}{3}$     | $\frac{bh}{2}$      |

#### 4. วิธีดำเนินการวิจัย

##### 4.1 การออกแบบการทำงานของแขนกล

ส่วนประกอบของแขนกลมีทั้งหมด 5 ตำแหน่ง ได้แก่ ฐานของแขนกล, ชุดขับเคลื่อนที่ 1, ชุดขับเคลื่อนที่ 2, เซอร์โวมอเตอร์, ชุดวัดองศาการเคลื่อนที่ของแขนกล และชุดอุปกรณ์สำหรับตรวจจับสภาพแวดล้อม ดังรูปที่ 3 โดยหน้าที่ของแขนกลแต่ละตำแหน่งมีดังนี้

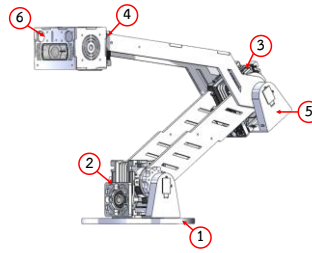
ตำแหน่งที่ 1 ฐานของแขนกล มีหน้าที่ในการทำให้แขนกลเคลื่อนที่หมุนซ้ายและหมุนขวาตามแนวระนาบด้วยกลไกของมอเตอร์ที่ส่งกำลังให้กับเฟืองตรงในการขับเฟืองวงแหวนโดยกำหนดองศาการเคลื่อนที่แบบหมุนของฐานของแขนกลอยู่ระหว่าง  $0^\circ$  -  $180^\circ$  ตำแหน่งที่ 2 ชุดขับเคลื่อนที่ 1 ประกอบด้วยมอเตอร์กระแสตรงและเฟืองทดรอบมอเตอร์กระแสตรงจะส่งกำลังไปยังเฟืองทดรอบที่อัตราทด 80:1 ชุดขับนี้จะทำให้ก้านต่อที่ 1 สามารถเคลื่อนที่แบบหมุนขึ้นลงเพื่อให้ก้านต่อที่ 1 ช่วยก้านต่อที่ 2 เคลื่อนที่ยึดสูงขึ้นและรับแรงกับน้ำหนักทั้งหมดของแขนกล โดยกำหนดองศาการเคลื่อนที่แบบหมุนของก้านต่อที่ 1 อยู่ระหว่าง  $0^\circ$  -  $135^\circ$

ตำแหน่งที่ 3 ชุดขับเคลื่อนที่ 2 ประกอบด้วยมอเตอร์กระแสตรงและเฟืองทดรอบซึ่งมอเตอร์กระแสตรงจะส่งกำลังไปยังเฟืองทดรอบที่อัตราทด 80:1 ชุดขับนี้จะทำให้ก้านต่อที่ 2 สามารถเคลื่อนที่แบบหมุนขึ้นลงเพื่อให้ก้านต่อที่ 2 เคลื่อนที่ยึดสูง โดยกำหนดองศาการเคลื่อนที่แบบหมุนของก้านต่อที่ 2 อยู่ระหว่าง  $0^\circ$  -  $180^\circ$

ตำแหน่งที่ 4 เซอร์โวมอเตอร์ มีหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่แบบหมุนขึ้นลงของชุดอุปกรณ์สำหรับตรวจจับสภาพแวดล้อม เพื่อช่วยปรับมุมมองการรับภาพของกล้องขณะที่หุ่นยนต์แขนกลเคลื่อนที่ในจุดที่มีการยึดแขนสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของตำแหน่งนี้ให้เป็นมุมมองกล้องแบบก้มหรือเงยได้ โดยกำหนดองศาการเคลื่อนที่แบบหมุนของเซอร์โวมอเตอร์อยู่ระหว่าง  $0^\circ$  -  $180^\circ$

ตำแหน่งที่ 5 ชุดวัดองศาการเคลื่อนที่ของแขนกล มีหน้าที่วัดมุมมององศาการเคลื่อนที่ของแขนกลเพื่อให้ผู้ควบคุมได้ทราบองศาการเคลื่อนที่ของก้านต่อแต่ละส่วนประกอบด้วยเซ็นเซอร์วัดการหมุนและชุดยึดเซ็นเซอร์ การวัดมุมมององศาการเคลื่อนที่ของข้อต่อในแขนกลแต่ละจุดจะออกแบบให้ตัวเซ็นเซอร์วัดการหมุนติดอยู่ที่บริเวณเพลาส่งกำลังของเฟืองทดรอบ โดยชุดยึดเซ็นเซอร์นี้จะเป็นตัวช่วยในการประกอบเซ็นเซอร์วัดการหมุนให้ติดอยู่กับข้อต่อของแขนกลและทำให้เซ็นเซอร์วัดการหมุนติดอยู่กับชุดยึดเซ็นเซอร์ เพื่อให้ส่วนที่รับค่าการหมุนของเซ็นเซอร์หมุนตามข้อต่อของแขนกล

ตำแหน่งที่ 6 ชุดอุปกรณ์สำหรับตรวจจับสภาพแวดล้อม มีหน้าที่เก็บอุปกรณ์สำหรับตรวจจับสภาพแวดล้อมภายในจะมีกล้องและเซ็นเซอร์ต่าง ๆ

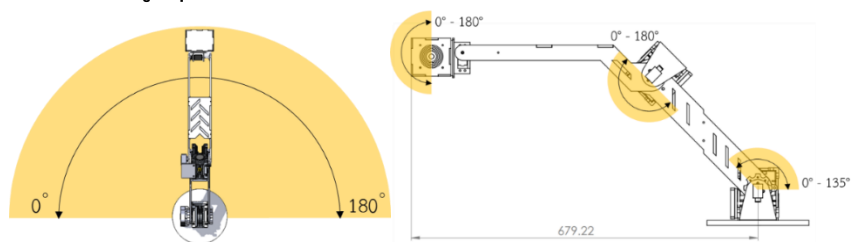


รูปที่ 3 ส่วนประกอบของแขนกล

4.1.1 การกำหนดมุมมองการเคลื่อนที่แต่ละข้อต่อของแขนกลและระยะเอื้อมสูงสุด  
การกำหนดมุมมองการเคลื่อนที่แต่ละข้อต่อของแขนกลรวมถึงระยะเอื้อมสูงสุดดัง  
รูปที่ 4 ซึ่งมุมมองการเคลื่อนที่นั้นได้มีการกำหนดไว้เพื่อเป็นระยะต่ำสุดและสูงสุด  
สำหรับการควบคุมการเคลื่อนที่ในแต่ละข้อต่อโดยกำหนดไว้ ดังนี้

- 1) ฐานของแขนกลมุมมองการเคลื่อนที่ คือ  $0^{\circ} - 180^{\circ}$
- 2) ชุดขับเคลื่อนข้อต่อที่ 1 มุมองศาการเคลื่อนที่ คือ  $0^{\circ} - 135^{\circ}$
- 3) ชุดขับเคลื่อนข้อต่อที่ 2 มุมองศาการเคลื่อนที่ คือ  $0^{\circ} - 180^{\circ}$
- 4) เซอร์โวมอเตอร์มุมมองการเคลื่อนที่ คือ  $0^{\circ} - 180^{\circ}$

โดยระยะเอื้อมสูงสุดของแขนกลจะอยู่ ณ ชุดขับเคลื่อนข้อต่อที่ 1, ชุดขับเคลื่อนข้อต่อที่ 2 และ  
เซอร์โวมอเตอร์กำหนดองศาที่  $135^{\circ}$ ,  $180^{\circ}$  และ  $90^{\circ}$  ตามลำดับ ซึ่งเป็นมุมมองศา  
สูงสุดของแต่ละข้อต่อจากตำแหน่งดังกล่าวเมื่อวัดที่ชุดขับเคลื่อนข้อต่อที่ 1 ถึงปลายแขน  
จะได้ระยะเอื้อมสูงสุด คือ 679.22 mm



รูปที่ 4 มุมที่ฐานของแขนกลสามารถหมุนได้ และ มุมที่ชุดขับเคลื่อนข้อต่อที่ 1, ชุดขับเคลื่อน  
ข้อต่อที่ 2 และเซอร์โวมอเตอร์สามารถหมุนได้และระยะเอื้อมสูงสุดของแขนกล

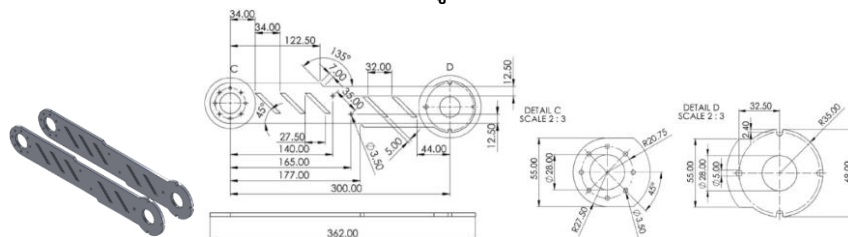
## 4.2 การคำนวณแรงบิดแต่ละจุดเพื่อใช้เลือกมอเตอร์สำหรับแขนกล

การคำนวณแรงบิดแต่ละจุดเพื่อใช้เลือกมอเตอร์สำหรับแขนกลมีการใช้ทฤษฎี  
การคำนวณจุดศูนย์กลางมวล, แรงบิด และอัตราทดเฟือง ในการคำนวณเพื่อเลือก  
มอเตอร์สำหรับข้อต่อของแขนกลแต่ละตำแหน่ง ดังนี้

### 4.2.1 การคำนวณจุดศูนย์กลางมวลของแขนกลแต่ละชั้น

การคำนวณจุดศูนย์กลางมวลของแขนกลแต่ละชั้น เนื่องจากแขนกลที่ออกแบบเป็น  
รูปร่างผสม ที่ไม่ใช่รูปร่างเรขาคณิตพื้นฐาน ทำให้จุดที่เสมือนที่รวมมวลทั้งหมดของ  
วัตถุนั้นไม่ได้อยู่ ณ จุดกึ่งกลาง และวิธีการคำนวณจุดศูนย์กลางมวลของแขนกล  
ของรูปร่างผสมคือ การแบ่งส่วนรูปร่างผสมเพื่อคำนวณจุดศูนย์กลางมวลของแขน  
กล โดยแบ่งเป็นก้านต่อที่ 1 และก้านต่อที่ 2 ดังนี้

- 1) ก้านต่อที่ 1 มีชิ้นส่วนทั้งหมด 2 ชิ้น ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ก้านต่อที่ 1 ในแขนกล





พื้นที่ทั้งหมดของคานบนก้านต่อที่ 2 คือ 9,341.37 mm และการหาค่า  $\bar{x}$  ที่แนวแกน  $X$  ที่มีการรวม  $\bar{x}$  ของก้านต่อที่ 2 ทั้งหมดสามชิ้นมีสองชิ้นที่รูปร่างเหมือนกันจึงมีค่า  $\bar{x}$  เหมือนกัน

$$\text{จากสมการ 1 จะได้เป็น } \bar{x} = \frac{2(A_1\bar{x}_1) + (A_2\bar{x}_2)}{2A_1 + A_2} \quad (2)$$

กำหนดให้  $A_1$  คือ พื้นที่รวมของก้านต่อที่ 2

$\bar{x}_1$  คือ จุดกึ่งกลางจากแกน  $X$  ของก้านต่อที่ 2

$A_2$  คือ พื้นที่รวมของคานบนก้านต่อที่ 2

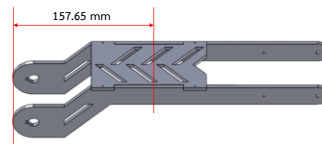
$\bar{x}_2$  คือ จุดกึ่งกลางจากแกน  $X$  ของคานบนก้านต่อที่ 2

จากสมการที่ 2 แทนค่าในสมการจะได้

$$\bar{x} = \frac{2(14,139.87 \times 185.52) + (9341.37 \times 73.27)}{2(14,139.87) + 9341.37}$$

$$\bar{x} = 157.65 \text{ mm}$$

ดังนั้น ค่าจุดกึ่งกลางจากแกน  $X$  ของก้านต่อที่ 2 คือ 157.65 mm ดังรูปที่ 13

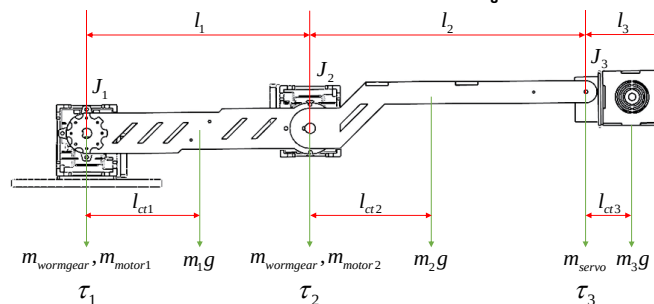


รูปที่ 13 จุดศูนย์กลางมวลจากแกน  $X$  ของก้านต่อที่ 2 ทั้งหมดสามชิ้น

## 5. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

### 5.1 การคำนวณแรงบิดที่เกิดขึ้น ณ จุดวิกฤตของแขนกล

เมื่อได้ค่าจุดศูนย์กลางมวลในแต่ละก้านต่อของแขนกล จะทำให้สามารถคำนวณแรงและแรงบิดที่เกิดขึ้นในแต่ละจุดที่มีการเคลื่อนที่ เพื่อที่จะนำไปใช้ในการตรวจสอบว่ามอเตอร์ที่เลือกสำหรับใช้ควบคุมแขนกลมีแรงบิดเพียงพอหรือไม่ โดยกำหนดตำแหน่งของแขนกล ณ จุดวิกฤตเพื่อที่จะคำนวณแรงและแรงบิดที่เกิดขึ้นสูงสุดโดยแผนภาพเวกเตอร์แรงทั้งหมดที่กระทำต่อแขนกลดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 แผนภาพเวกเตอร์แรงทั้งหมดที่กระทำต่อแขนกล ณ จุดวิกฤต

โดยความหมายของแต่ละตัวแปรจากภาพที่ 13 มีดังนี้

$J_1$  คือ ข้อต่อของก้านต่อที่ 1  $J_2$  คือ ข้อต่อของก้านต่อที่ 2

$J_3$  คือ ข้อต่อของเซอร์โวมอเตอร์  $\tau_1$  คือ แรงบิดที่เกิดขึ้นกับตำแหน่ง

$\tau_2$  คือ แรงบิดที่เกิดขึ้นกับตำแหน่ง  $J_2$   $\tau_3$  คือ แรงบิดที่เกิดขึ้นกับตำแหน่ง

$m_1$  คือ มวลของก้านต่อที่ 1  $m_2$  คือ มวลของก้านต่อที่ 2

$m_3$  คือ มวลของชุดอุปกรณ์สำหรับตรวจจับสภาพแวดล้อม

$m_{wormgear}$  คือ มวลของเฟืองทดรอบ

$m_{motor1}$  คือ มวลของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนที่ 1

$m_{motor2}$  คือ มวลของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนที่ 2

$m_{servo}$  คือ มวลของชุดอุปกรณ์สำหรับตรวจจับสภาพแวดล้อม

$l_1$  คือ ความยาวของ  $J_1$  ถึง  $J_2$   $l_2$  คือ ความยาวของ  $J_2$  ถึง  $J_3$

$l_3$  คือ ความยาวของ  $J_3$  ถึงปลายชุดอุปกรณ์สำหรับตรวจจับสภาพแวดล้อม

$l_{ct1}$  คือ ความยาวของ  $J_1$  ถึง  $\bar{x}$  ของก้านต่อที่ 1

$l_{ct2}$  คือ ความยาวของ  $J_2$  ถึง  $\bar{x}$  ของก้านต่อที่ 2

$l_{ct3}$  คือ ความยาวของ  $J_3$  ถึงจุดกึ่งกลางชุดอุปกรณ์สำหรับตรวจจับสภาพแวดล้อมแต่ละตัวแปรที่กำหนดมีค่า ดังนี้

$$m_1 = 0.46 \text{ kg} \quad m_2 = 0.50 \text{ kg}$$

$$m_3 = 0.39 \text{ kg} \quad m_{wormgear} = 1.40 \text{ kg}$$

$$m_{motor1} = 0.52 \text{ kg} \quad m_{motor2} = 0.48 \text{ kg}$$

$$m_{servo} = 0.06 \text{ kg} \quad l_1 = 0.30 \text{ m}$$

$$l_2 = 0.37 \text{ m} \quad l_3 = 0.10 \text{ m}$$

$$l_{ct1} = 0.16 \text{ m} \quad l_{ct2} = 0.13 \text{ m}$$

$$l_{ct3} = 0.05 \text{ m} \quad g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

โดยแรงบิดของแต่ละจุดวิกฤตของแขนกลสามารถคำนวณได้จากสมการ 4

1) แรงบิด  $\tau_1$  ณ จุดวิกฤตของแขนกลที่เกิดขึ้นกับตำแหน่ง  $J_1$

$$\begin{aligned} \tau_1 &= F_1 \times r_1 \\ &= [m_1 g \times l_{ct1}] + [g(m_{gearbox} + m_{motor2}) \times l_1] + [m_2 g \times (l_1 + l_{ct2})] \\ &\quad + [(m_{servo} g) \times (l_1 + l_2)] + [m_3 g \times (l_1 + l_2 + l_{ct3})] \\ &= [(0.46 \times 9.81) \times 0.16] + [9.81(1.40 + 0.48) \times 0.30] \\ &\quad + [(0.50 \times 9.81) \times (0.30 + 0.13)] \\ &\quad + [(0.06 \times 9.81) \times (0.30 + 0.37)] \\ &\quad + [(0.39 \times 9.81) \times (0.30 + 0.37 + 0.05)] \\ \tau_1 &= 11.50 \text{ Nm} \end{aligned}$$

ดังนั้น แรงบิด ณ จุดวิกฤตของแขนกลที่เกิดขึ้นกับตำแหน่ง  $J_1$  คือ 11.50 Nm

2) แรงบิด  $\tau_2$  ณ จุดวิกฤตของแขนกลที่เกิดขึ้นกับตำแหน่ง  $J_2$

$$\begin{aligned} \tau_2 &= F_2 \times r_2 \\ &= [m_2 g \times l_{ct2}] + [m_{servo} g \times l_2] + [m_3 g \times (l_2 + l_{ct3})] \\ &= [(0.50 \times 9.81) \times 0.13] + [(0.06 \times 9.81) \times 0.37] \\ &\quad + [(0.39 \times 9.81) \times (0.37 + 0.051)] \\ \tau_2 &= 2.47 \text{ Nm} \end{aligned}$$

ดังนั้น แรงบิด ณ จุดวิกฤตของแขนกลที่เกิดขึ้นกับตำแหน่ง  $J_2$  คือ 2.47 Nm

3) แรงบิด  $\tau_3$  ณ จุดวิกฤตของแขนกลที่เกิดขึ้นกับตำแหน่ง  $J_3$

$$\begin{aligned} \tau_3 &= F_3 \times r_3 \\ &= m_3 g \times l_{ct3} \\ &= (0.39 \times 9.81) \times 0.05 \\ \tau_3 &= 0.19 \text{ Nm} \end{aligned}$$

ดังนั้น แรงบิด ณ จุดวิกฤตของแขนกลที่เกิดขึ้นกับตำแหน่ง  $J_3$  คือ 0.19 Nm

## 6. บทสรุป

แรงบิดแต่ละตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณจะนำไปคำนวณกับค่าความปลอดภัย (safety factor) เพื่อทำให้มีค่าความเผื่อในการเลือกใช้มอเตอร์ ค่าความปลอดภัยของมอเตอร์ที่แนะนำคือ 1.5 – 2.5 (Xin, 2018) และค่าความปลอดภัยของเซอร์โวมอเตอร์ที่แนะนำคือ 1.1–1.2 (litechmotion, n.d.) ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้ค่าความปลอดภัยของมอเตอร์เท่ากับ 2.5 และค่าความปลอดภัยของเซอร์โวมอเตอร์เท่ากับ 1.2 จะได้

$$\tau_1 = 11.51 \times 2.5 = 28.78 \text{ Nm}$$

$$\tau_2 = 2.54 \times 2.5 = 6.35 \text{ Nm}$$

$$\tau_3 = 0.195 \times 1.2 = 0.20 \text{ Nm}$$

ดังนั้น แรงบิดที่มีการเผื่อค่าความปลอดภัย ณ จุดวิกฤตของแขนกลที่เกิดขึ้นกับ  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  และ  $\tau_3$  เท่ากับ 28.78 Nm, 6.35 Nm และ 0.20 Nm ตามลำดับ

7.1 จำนวนแรงบิดของมอเตอร์ที่ใช้งานจริงกับค่าของแรงบิดที่มีการเผื่อค่าความปลอดภัย

เมื่อได้ค่าจุดศูนย์กลางมวลของแขนกลทำให้สามารถคำนวณแรงและแรงบิดที่เกิดขึ้นในแต่ละจุดที่มีการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ได้ เพื่อที่จะนำค่าที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบกับมอเตอร์ที่เลือกสำหรับใช้ควบคุมแขนหุ่นยนต์มีแรงบิดเพียงพอหรือไม่

เมื่อทำการเปรียบเทียบแรงบิดที่มีการเผื่อค่าความปลอดภัย ณ จุดวิกฤตของแขนกลกับมอเตอร์ที่ใช้งานในแต่ละตำแหน่งมีการคำนวณ ดังนี้

1) แรงบิด  $\tau_1 = 28.78 \text{ Nm}$  ใช้มอเตอร์ที่มีแรงบิด 1.23 Nm ต่อกับเฟืองทดรอบที่อัตราส่วน 80:1 โดยสาเหตุที่เลือกใช้เฟืองทดรอบที่มีการทดรอบสูงเนื่องจากจำนวนฟันของเฟืองทดรอบมีความถี่มาก ทำให้การเคลื่อนที่ของแขนกลไม่ติดขัด ดังนั้นการคำนวณแรงบิดที่เกิดขึ้นเมื่อมอเตอร์ทำงานร่วมกับเฟืองทดรอบจะเป็นไปดังสมการ

$$\text{Gear Ratio (GR)} = \frac{T_2}{T_1} \quad (4)$$

$$\tau_1 = 98.4 \text{ Nm}$$

ดังนั้น แรงบิดที่ออกมาเมื่อมอเตอร์ทำงานร่วมกับเฟืองทดรอบมีค่าเท่ากับ 98.4 Nm สามารถใช้งานกับเกียร์ต่อที่ 1 ของแขนกลได้ เมื่อเทียบกับแรงบิดที่มีการเผื่อค่าความปลอดภัย ณ จุดวิกฤตของแขนกลมีค่าเท่ากับ 28.78 Nm

2) แรง  $\tau_2 = 6.35 \text{ Nm}$  ใช้มอเตอร์ที่มีแรงบิด 0.18 Nm ต่อกับเฟืองทดรอบที่อัตราส่วน 80:1 สาเหตุที่เลือกใช้เฟืองทดรอบนี้เป็นสาเหตุเช่นเดียวกับที่ได้กล่าวไปในข้างต้นดังนั้นจึงได้ใช้การคำนวณแรงบิดที่เกิดขึ้นเมื่อมอเตอร์ทำงานร่วมกับเฟืองทดรอบดังสมการที่ 4 จะได้

$$\tau_2 = 14.4 \text{ Nm}$$

ดังนั้น แรงบิดที่ออกมาของมอเตอร์ที่ต่อกับเฟืองทดรอบมีค่าเท่ากับ 14.4 Nm สามารถใช้งานกับเกียร์ต่อที่ 2 ของแขนกลได้ เมื่อเทียบกับแรงบิดที่มีการเผื่อค่าความปลอดภัย ณ จุดวิกฤตของแขนกลมีค่าเท่ากับ 12.70 Nm

3) แรงบิด  $\tau_3 = 0.20 \text{ Nm}$  ใช้เซอร์โวมอเตอร์ที่มีแรงบิด 0.98 Nm สามารถใช้งานกับส่วนที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของชุดตรวจจับสภาพแวดล้อมได้ เมื่อเทียบกับ

แรงบิดที่มีการเพื่อค่าความปลอดภัย ณ จุดวิกฤตของแขนกลมีค่าเท่ากับ 0.20 Nm

## 7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ หลักสูตร วศ.บ.เมคคาทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่สนับสนุนสถานที่ในการทดลองวิจัยในครั้งนี้

## 8. เอกสารอ้างอิง

- กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย กระทรวงมหาดไทย. (2560). คู่มือปฏิบัติงาน คณะที่ปรึกษาด้านการค้นหาและกู้ภัยระหว่างประเทศ (INSARAG Guidelines): การเตรียมความพร้อมและการเผชิญเหตุ. (พิมพ์ครั้งที่ 1, เล่ม 2). ศูนย์สื่อและสิ่งพิมพ์แก้วเจ้าจอม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
- ชนัตต์ รัตนสุมาวงศ์. (ม.ป.ป.). เอกสารประกอบการสอน วิชา กลศาสตร์วิศวกรรม 1: ส่วนที่ 1 STATICS. สืบค้นจาก [http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~rchanat/2103213%20MechI/statics\\_total\\_20100610.pdf](http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~rchanat/2103213%20MechI/statics_total_20100610.pdf)
- ไชยเจริญเทศ. (ม.ป.ป.). เพื่อง อุปกรณ์เครื่องกลพิเศษ ที่ช่วยลดการทำงาน ช่วยผ่อนแรง ทำให้เกิดการทำงานเชิงกล. สืบค้นจาก [https://www.chi.co.th/article/article2\\_0\\_1\\_3/?fbclid=IwAR0\\_kxubim4JfL\\_M5a4aU8utlCbvaifriAr-osJzsvUfRm9nmtksENUP66TI](https://www.chi.co.th/article/article2_0_1_3/?fbclid=IwAR0_kxubim4JfL_M5a4aU8utlCbvaifriAr-osJzsvUfRm9nmtksENUP66TI)
- Jiang, Xin. (2018). Design and development of robotic arm for cutting trees. Retrieved from <https://www.theseus.fi/handle/10024/148876>
- litechmotion, n.d. Design Considerations. Retrieved from <https://www.Litechmotion.com/pdf/files/MotorSizing-2006-03.pdf>
- Meriam, J. L. & Kraige, L. G. (2011). Engineering Mechanics: Statics (7th ed.).United States: John Wiley & Sons, Inc.
- YASKAWA Electric Corporation. (2011). YASKAWA NEWS No.296 (p.17) Retrieved from <https://www.yaskawa.co.jp/wpcontent/uploads/2015/01/296.pdf>