

## การออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ภาคสนามโดยใช้กลไก Rocker-Bogie

### Design and Development of a Field Mobile Robot Using the Rocker-Bogie Mechanism

วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ และ ภูริพันธุ์ สุวรรณฤกษ์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330 โทร 0-2218-6610-1 โทรสาร 0-2252-8889

E-Mail: [Viboon.S@eng.chula.ac.th](mailto:Viboon.S@eng.chula.ac.th) , [reverserp@eng.chula.ac.th](mailto:reverserp@eng.chula.ac.th)

Viboon Sangveraphunsiri and Phuripun Suvannarerg

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

Phyathai Road, Patumwan, Bangkok 10330

E-Mail: [Viboon.S@eng.chula.ac.th](mailto:Viboon.S@eng.chula.ac.th) , [reverserp@eng.chula.ac.th](mailto:reverserp@eng.chula.ac.th)

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยล้อ และใช้ระบบช่วงล่าง Rocker-Bogie การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ที่ใช้ระบบช่วงล่างนี้ ล้อทุกล้อของตัวหุ่นยนต์จะสัมผัสกับพื้นผิวที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปตลอดเวลา จึงทำให้การกระจายน้ำหนักของหุ่นยนต์ลงบนล้อต่างๆสม่ำเสมอ ส่งผลให้หุ่นยนต์มีความสามารถในการยึดเกาะพื้นผิวขรุขระได้ดีกว่าการเคลื่อนที่โดยใช้ล้อขับเคลื่อนแบบปกติแต่เพียงอย่างเดียว

การทดสอบหุ่นยนต์ประกอบด้วยทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ไปบนพื้นผิวลักษณะต่างๆ และการทดสอบวัดความผิดพลาดในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ไปในทิศทางต่างๆ บนพื้นผิวเรียบ จากการทดสอบพบว่าหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ดีทั้งบนพื้นผิวขรุขระ และอ่อนนุ่ม

คำหลัก หุ่นยนต์ภาคสนาม, กลไกโรคเกอร์โบกี้

#### Abstract

This paper describes the design, development and testing of a Rocker-Bogie six-wheel robot. This mobile robot is a six wheel drive with the mechanism, Rocker-Bogie, for maintaining full time ground contact. During the flat plane motion, the weight of a robot distributes equally to all wheels to maximize climbing performance especially when the obstacle size larger than the radius of wheel.

The mobility of robot is to show the ability of motion on various surface types such as rocky rough surface, grass sord surface and concrete surface.

**Keywords:** Field mobile robot, Rocker-Bogie mechanism

#### 1. บทนำ

การสำรวจตรวจสอบพื้นที่ในบางบริเวณที่อันตราย หรือมีความเสี่ยงสูงนั้น อาจไม่สามารถใช้มนุษย์เข้าไปทำการสำรวจได้ จึงต้องทำการส่งเครื่องมือ อุปกรณ์ หรือหุ่นยนต์ เข้าไปทำหน้าที่แทน โดยอาศัยมนุษย์สั่งการควบคุมหุ่นยนต์อยู่ในระยะไกล อันจะช่วยลดอันตรายและอุบัติเหตุที่อาจจะเกิดขึ้น ซึ่งหุ่นยนต์นั้นต้องมีความสามารถในการเคลื่อนที่ผ่านไปในสภาพพื้นผิวลักษณะต่างๆ จึงต้องทำการออกแบบระบบขับเคลื่อน และระบบช่วงล่างของหุ่นยนต์สำรวจ ให้มีความเหมาะสมกับสภาพพื้นที่การใช้งาน



รูปที่ 1 หุ่นยนต์ ATRV2, การเคลื่อนที่โดยอาศัยล้อ [1]

เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ล้อในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ดังรูปที่ 1 การเคลื่อนที่โดยใช้ล้อ จะเป็นรูปแบบที่ไม่สัมผัสกับข้อต่อ ได้รับความนิยมน้อย และสามารถสร้างขึ้นได้ง่าย แต่การเคลื่อนที่โดยใช้ล้อไม่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ขรุขระ และระบบขับเคลื่อนที่ใช้ล้อนั้น ไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางที่มีขนาดใหญ่กว่ารัศมีของล้อ จึงได้มีการพัฒนารูปแบบลักษณะกลไก เพื่อช่วยเพิ่มความสามารถในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ให้สามารถปีนป่าย อุปสรรค สิ่งกีดขวางได้ดียิ่งขึ้น

การใช้ระบบช่วงล่างแบบ Rocker-Bogie ดังแสดงในรูปที่ 2 เป็นลักษณะการเพิ่มเติมกลไกเข้าไปนอกเหนือจากการใช้ล้อขับเคลื่อนแต่เพียงอย่างเดียว ซึ่งทำให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ข้ามอุปสรรคที่มี

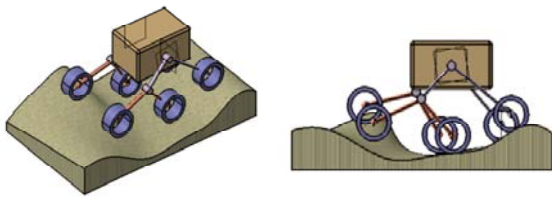
ขนาดมากกว่ารัศมีของล้อ และยังมีความคล่องตัวสูงในการเคลื่อนที่ไปในทิศทางต่างๆ และการเคลื่อนที่หมุนรอบตัวเอง ดังนั้นในหุ่นยนต์สำรวจภาคสนาม ที่ได้ทำการออกแบบและสร้างขึ้นนี้ จึงเลือกที่จะใช้ลักษณะกลไกช่วงล่างเป็นแบบ Rocker-Bogie



รูปที่ 2 หุ่นยนต์ Fido, Racer-Bogie [2]

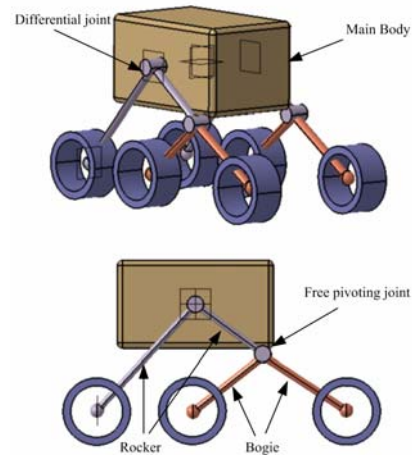
## 2. ระบบช่วงล่าง Racer-Bogie

การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ที่ใช้ระบบช่วงล่าง Racer-Bogie นั้น ล้อทุกล้อของตัวหุ่นยนต์จะสัมผัสกับพื้นผิวที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปตลอดเวลา จึงทำให้การกระจายน้ำหนักของหุ่นยนต์ลงบนล้อต่างๆ สม่ำเสมอ ทำให้แรงดันของล้อหุ่นยนต์ที่กดลงบนพื้นของล้อแต่ละล้อไม่สูงมากนัก ส่งผลให้หุ่นยนต์มีความสามารถในการยึดเกาะ ปีนป่าย ข้ามสิ่งกีดขวางต่างๆ ได้ดีขึ้นกว่าการเคลื่อนที่โดยใช้ล้อขับเคลื่อนแบบปกติ แต่เพียงอย่างเดียว ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยระบบช่วงล่างลักษณะนี้ ถูกออกแบบมาให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำ เนื่องจากระบบช่วงล่างลักษณะนี้ไม่มีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ คอยหน่วง ดูดซับแรงสั่นสะเทือนและแรงกระแทกจากพื้น ซึ่งถ้าขณะหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง แล้วเกิดการตกหลุมก็จะทำให้เกิดแรงกระแทกรุนแรงที่อาจเป็นอันตรายต่อตัวหุ่นยนต์ได้



รูปที่ 3 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ที่ใช้ช่วงล่าง Racer-Bogie บนพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอ

ลักษณะโครงสร้างของระบบช่วงล่าง Racer-Bogie [3] นั้นจะขับเคลื่อนโดยใช้ล้อเป็นจำนวนทั้งหมด 6 ล้อด้วยกัน โดยที่ล้อแต่ละล้อนั้นจะทำการขับเคลื่อนเป็นอิสระต่อกัน และล้อทั้งหมดจะทำการยึดติดเข้ากับส่วนตัวโครงรถ ดังแสดงในรูปที่ 4 โครงรถนั้นจะประกอบไปด้วยโครงสร้างหลักใหญ่ 2 ส่วนด้วยกันคือส่วนที่เรียกว่า Racer และอีกส่วนที่เรียกว่า Bogie

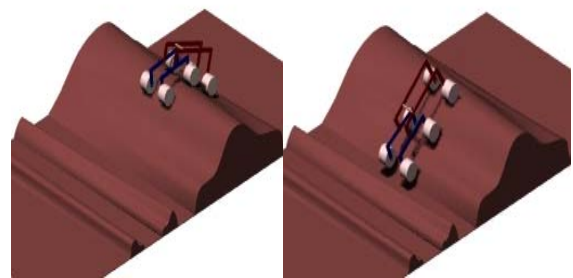


รูปที่ 4 โครงสร้างของระบบช่วงล่างแบบ Racer-Bogie

โครงสร้างในส่วนที่เรียกว่า Racer ในแต่ละข้างของหุ่นยนต์ จะเป็นเสมือนกระดิ่งที่ต่อเชื่อมเข้ากับลำตัวหุ่นยนต์ ปลายข้างหนึ่งของ Racer จะเชื่อมต่อกับล้อหลัง ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งนั้นจะทำการยึดติดกับโครงสร้างส่วน Bogie ในลักษณะของแกนหมุน (Free pivoting joint) โดยที่ปลายทั้งสองข้างของส่วน Bogie นั้นจะทำการยึดติดล้อเข้าไปทั้งสองด้าน ส่วนการต่อแขน Racer ทั้งสองเข้ากับลำตัวนั้น จะเชื่อมต่อกับลักษณะของ Differential joint ซึ่งการเชื่อมต่อกับลักษณะนี้จะทำให้มุมของลำตัวหุ่นยนต์ (Pitch angle) เป็นค่าเฉลี่ยของมุมลำตัวหุ่นยนต์ของแขน Racer ทั้งสอง

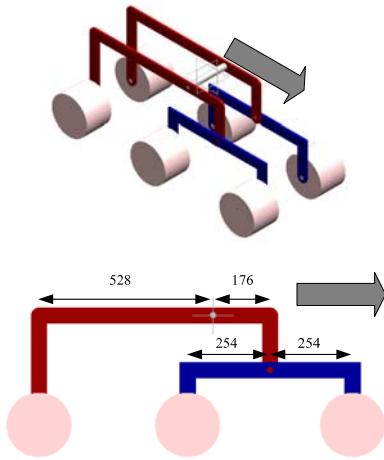
## 3. การออกแบบ

ภายหลังจากทำการออกแบบลักษณะระบบกลไก ว่าจะต้องมีลักษณะข้อต่อ จุดหมุนอะไร บ้างแล้ว ขั้นตอนต่อมาจะเป็นการทำการกำหนดจุดหมุน ข้อต่อ ระยะห่างระหว่างล้อต่างๆ ว่าจะวางไว้ที่ตำแหน่งไหน และมีค่าเท่าไร เพื่อที่จะทำให้หุ่นยนต์นั้นมีความสามารถในการเคลื่อนที่ไปในลักษณะพื้นผิวต่างๆ ได้ดีและเหมาะสมที่สุด โดยในการออกแบบในขั้นตอนนี้ได้มีการนำเอาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างและจำลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ว่าจุดหมุนและข้อต่อต่างๆ จะอยู่ที่ตำแหน่งใดบ้าง ได้ใช้โปรแกรม Visual Nastran 4D นำมาช่วยทำการวิเคราะห์ และจำลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 5



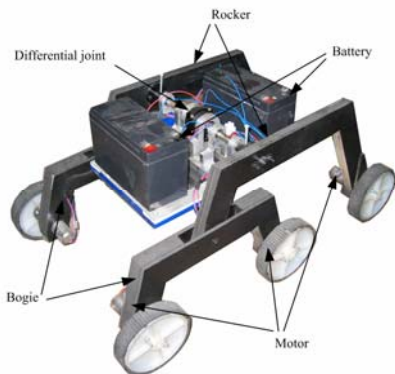
รูปที่ 5 การวิเคราะห์และจำลองการเคลื่อนที่ด้วยโปรแกรม Visual Nastran 4D

จากการอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการออกแบบ ตำแหน่งจุดหมุน และระยะห่างระหว่าง ล้อต่างๆ ได้ตำแหน่งของจุด หมุน และระยะต่างๆของหุ่นยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ตำแหน่งจุดหมุนและระยะต่างๆ ของหุ่นยนต์

เนื่องจากการที่จะสร้างหุ่นยนต์ขึ้นมาต้องใช้เงินทุนวิจัย และ ระยะเวลา ค่อนข้างมาก ดังนั้นเมื่อได้แบบลักษณะทางกลมาแล้ว ขั้นตอนต่อไป ก่อนที่จะทำการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์จริงขึ้นมา จะต้องมีการสร้างโมเดล (Model) ที่สามารถสร้างขึ้นมาได้ง่าย และใช้ เวลาไม่มากนัก เพื่อทำการทดสอบแบบลักษณะทางกลที่ได้ออกแบบมา ว่ามีความสามารถในการเคลื่อนที่ และ สามารถข้ามสิ่งกีดขวางต่างๆได้ จริง จึงได้ทำการสร้างโมเดลที่มีลักษณะดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 หุ่นยนต์ต้นแบบที่ทำการสร้างขึ้น

โมเดลที่สร้างออกมานั้น ได้ลดขนาดทางกลให้มีขนาดเป็น เครื่องหนึ่งขนาดที่ได้ทำการออกแบบไว้ โครงสร้างของหุ่นยนต์สร้างขึ้นมาจากไม้อัด ดังนั้นจึงมีน้ำหนักที่เบา และโครงสร้างส่วน Rocker ทั้งสองข้างของหุ่นยนต์ เชื่อมต่อกันผ่านลำตัวหุ่นด้วย Differential joint โดยหุ่นยนต์ต้นแบบนี้สร้างขึ้นมาให้สามารถเดินหน้าและถอยหลังได้ เท่านั้น เมื่อได้ทำการทดลองนำโมเดล ไปวิ่งข้ามสิ่งกีดขวางต่างๆนั้น พบว่าหุ่นยนต์สามารถข้ามสิ่งกีดขวางต่างๆได้ดี โดยสามารถข้าม อุปสรรคที่มีลักษณะเป็นขั้น (step) ที่มีขนาดเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อได้ และยังสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงทางลาดชันที่มีมุมเอียง 35 องศาได้อีกด้วย ดังรูปที่ 8 สาเหตุหนึ่งที่ทำให้หุ่นยนต์ต้นแบบเคลื่อนที่

ผ่านอุปสรรคได้ดีคือ มีอัตราส่วนของกำลังขับเคลื่อนเมื่อเทียบกับ น้ำหนักของหุ่นยนต์ที่ค่อนข้างสูงนั่นเอง



รูปที่ 8 หุ่นยนต์ต้นแบบเคลื่อนที่ผ่านอุปสรรค ที่ลักษณะเป็นขั้น และทางลาดชัน

#### 4. การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์

หลังจากได้ทำการทดลองสร้างโมเดลของหุ่นยนต์ขึ้นมาทำการ ทดสอบ และทำการเลือกเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง วัสดุ อุปกรณ์ชนิดต่างๆที่เลือกใช้แล้ว ขั้นตอนต่อมาคือการทำการออกแบบอย่างละเอียด ซึ่งในการออกแบบนั้นสิ่งที่ต้องพิจารณาถึงปัจจัยที่ สำคัญนั้นคือ ต้นทุน และ เวลาที่ใช้ในกระบวนการออกแบบและผลิต

ในส่วนของต้นทุนนั้นต้องคำนึงถึงว่าจะออกแบบอย่างไรให้มี ต้นทุนต่ำสุด นั่นก็คือ ให้มีการย้อนกลับมาทำการแก้ไขส่วนที่ผิดพลาด บกพร่องน้อยที่สุด ซึ่งจะส่งผลต่อเนื่องไปถึงระยะเวลาที่ใช้ในการ ออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ทั้งหมด ให้น้อยลงตามไปด้วย ดังนั้นในการ ออกแบบจึงได้มีการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการออกแบบ โดย สามารถแบ่งลักษณะการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้ในการออกแบบและ ผลิตได้ดังนี้

##### 4.1 คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (Computer Aided Design / CAD)

การใช้คอมพิวเตอร์มาช่วยในการออกแบบนั้น ทำให้ผู้ออกแบบ สามารถออกแบบลักษณะชิ้นส่วนโครงสร้างต่างๆได้สะดวกและง่ายขึ้น สามารถทำการตรวจสอบชิ้นงานที่ได้ทำการออกแบบมา ว่าเมื่อนำ ชิ้นส่วนต่างๆที่ออกแบบนั้นมาประกอบกัน จะมีการสวมแล้วชนกัน ชัดกันหรือไม่ ทั้งการออกแบบด้วยคอมพิวเตอร์นั้นสามารถทำให้ กระบวนการผลิต และวิเคราะห์เป็นไปได้อย่างง่ายดาย เนื่องจากเราสามารถ ส่งไฟล์ชิ้นงานที่ได้ทำการออกแบบไว้แล้ว ไปยังโปรแกรมที่สามารถ วิเคราะห์ ลักษณะโครงสร้างความแข็งแรงของชิ้นงานว่าชิ้นงานที่ ออกแบบสามารถทนต่อแรงกระทำนั้นได้หรือไม่ หรือแม้กระทั่งส่งไฟล์ ชิ้นงานไปยังโปรแกรมที่ใช้ในกระบวนการผลิต เพื่อสร้างและกำหนดทิศ ทางเดินของหัวกัด เพื่อสร้างชิ้นงานขึ้นมา

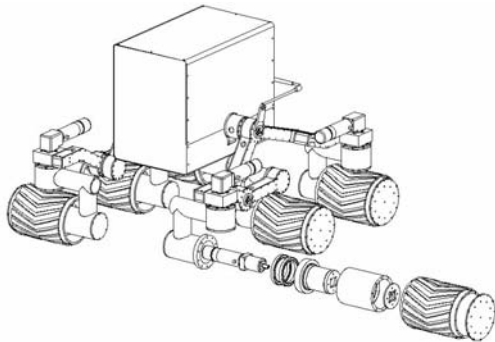
ในการออกแบบหุ่นยนต์ภาคสนามนี้ได้ใช้โปรแกรม CATIA ซึ่งเป็นโปรแกรมออกแบบสามมิติ เข้ามาช่วยในการออกแบบ โดยจาก แบบชิ้นส่วนสามมิติที่ได้ทำการออกแบบแล้วนั้น เราสามารถเขียนให้เป็นแบบสองมิติ เพื่อส่งแบบไปยังผู้ผลิตได้โดยง่าย อีกทั้งในการ ประกอบชิ้นส่วนแต่ละชิ้นเข้าด้วยกันนั้น โปรแกรมยังสามารถตรวจหา จุดที่มีการชนกัน สวมแล้วไม่พอดีได้โดยอัตโนมัติ ซึ่งเป็นการสะดวกต่อ ผู้ออกแบบ

#### 4.2 คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (Computer Aided

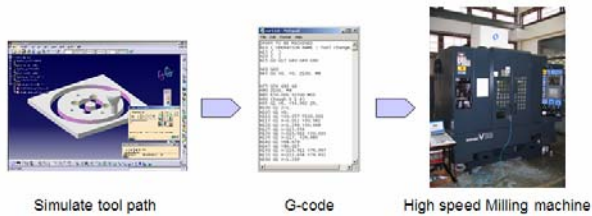
#### Manufacturing / CAM)

ในส่วน of ขั้นตอนกระบวนการผลิตในปัจจุบันนั้น ได้มีการนำคอมพิวเตอร์เข้ามามีส่วนร่วมหลายลักษณะด้วยกัน ดังเช่น การนำคอมพิวเตอร์มาทำการคำนวณกำหนดเส้นทางการวิ่งของหัวกัด (Generate Tool Path) หรือนำคอมพิวเตอร์มาช่วยทำการกำหนดตารางเวลา ขั้นตอนวิธีการผลิตต่างๆ เป็นการทำให้กระบวนการผลิตนั้นมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

สำหรับการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ภาคสนามนั้น ได้มีการใช้โปรแกรม CATIA ซึ่งมีส่วนของกระบวนการผลิตมาช่วย โดยหลังจากที่ได้ทำการออกแบบชิ้นส่วนต่างๆเสร็จ ได้ใช้โปรแกรมทำการเลือกกระบวนการขั้นตอนการผลิต และให้โปรแกรมสร้างไฟล์ทิศทางเดินของหัวกัด เพื่อส่งต่อไปสร้างชิ้นงานจริงยังเครื่องจักร CNC (Computer numerical control) ต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 9 หุ่นยนต์ภาคสนามที่ออกแบบโดยใช้โปรแกรม CATIA

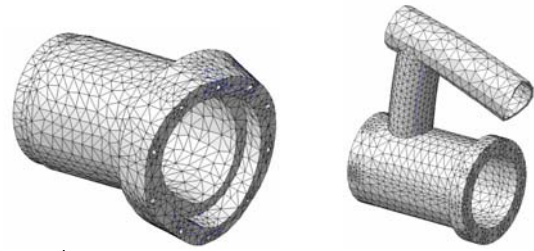


รูปที่ 10 ลักษณะขั้นตอนการสร้างชิ้นงาน โดยใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วย

#### 4.3 คอมพิวเตอร์ช่วยทางวิศวกรรม (Computer Aided

#### Engineering / CAE)

การออกแบบคำนวณทางวิศวกรรมของหุ่นยนต์ภาคสนามนั้น ได้มีการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการออกแบบด้วยกันหลายส่วน ไม่ว่าจะเป็นการใช้โปรแกรม Visual Nastran 4D มาช่วยจำลองลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ดังได้เคยกล่าวถึงมาแล้ว นอกจากนั้นยังได้ใช้โปรแกรม CATIA มาช่วยวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างชิ้นส่วนต่างๆ ว่าชิ้นงานจะสามารถรับแรงกระทำจริงได้หรือไม่ ตำแหน่งไหนของชิ้นงานเกิดความเค้น (Stress) สูงที่สุด และชิ้นงานจะเกิดการแอ่นตัว บิดตัวเป็นระยะเท่าไร รูปที่ 11 เป็นตัวอย่างการใช้โปรแกรม CATIA วิเคราะห์ความแข็งแรง และลักษณะการแอ่นตัวของชิ้นงานที่ได้ทำการออกแบบ



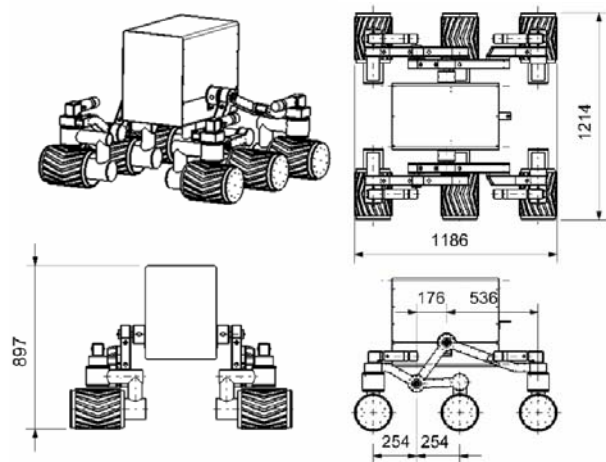
รูปที่ 11 การวิเคราะห์โครงสร้างโดยใช้โปรแกรม CATIA

#### 5. ลักษณะและโครงสร้างของหุ่นยนต์

หุ่นยนต์สำรวจภาคสนามที่ทำการออกแบบนั้น ใช้ระบบช่วงล่างแบบ Rocker-Bogie โดยขับเคลื่อนอิสระ 6 ล้อ โดยหุ่นยนต์ภาคสนามใช้มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ขับเคลื่อน 10 ตัว โดยใช้ขับเคลื่อน 6 ตัว และควบคุมมุมบังคับเลี้ยวที่มุมทั้ง 4 ของหุ่นยนต์อีก 4 ตัว หุ่นยนต์ที่ออกแบบมีลักษณะจำเพาะเชิงกล ดังแสดงในตารางที่ 1 และมีรูปร่างลักษณะโครงสร้างโดยรวมดังแสดงในรูปที่ 12

ตารางที่ 1 ลักษณะจำเพาะเชิงกลของหุ่นยนต์สำรวจภาคสนาม

ขนาดของหุ่นยนต์ (มิลลิเมตร)	1214 × 1178 × 897
เส้นผ่านศูนย์กลางของล้อ (มิลลิเมตร)	220
น้ำหนักรวมของหุ่น (กิโลกรัม)	140
ความเร็วสูงสุดของหุ่นยนต์ (มิลลิเมตร/วินาที)	200



รูปที่ 12 ขนาดและลักษณะโครงสร้างของหุ่นยนต์สำรวจ

#### 6. การทดสอบหุ่นยนต์ภาคสนาม

การทดสอบหุ่นยนต์ภาคสนามที่ทำการสร้างขึ้นมานั้นจะเป็นการทดสอบเบื้องต้น โดยให้หุ่นยนต์ทำการเคลื่อนที่ผ่านอุปสรรคสิ่งกีดขวางในรูปแบบต่างๆด้วยกัน ซึ่งในที่นี้จะให้หุ่นยนต์ทำการทดลองเคลื่อนที่บนพื้นผิวที่มีลักษณะอ่อนนุ่มดังเช่น พื้นสนามหญ้า พื้นผิวที่มีลักษณะขรุขระเช่น บริเวณเนินดิน กองหิน และบนพื้นผิวเรียบทั่วไปเช่น พื้นถนนคอนกรีต พื้นผิวภายในอาคาร เป็นต้น นอกจากนี้ยังทำการทดลองให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ขึ้นลงทางลาดชัน โดยผู้บังคับหุ่นยนต์ทำการบังคับหุ่นยนต์จากระยะไกล



รูปที่ 13 หุ่นยนต์ภาคสนามที่ใช้ในการทดสอบ

ในการทดสอบการเคลื่อนที่ให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปบนพื้นผิวขรุขระ ดังแสดงในรูปที่ 14 นั้นพบว่าหุ่นยนต์สามารถปีนป่ายเคลื่อนที่ผ่านเนินดิน และเนินหินได้โดยง่าย เนื่องจากการใช้ระบบช่วงล่าง Rocker-Bogie นั้น ล้อทุกล้อจะสัมผัสกับพื้นผิวตลอดเวลา ทำให้การกระจายน้ำหนักของหุ่นยนต์ไปยังล้อแต่ละล้อมีความสม่ำเสมอ ส่งผลให้ความสามารถในการยึดเกาะและการปีนป่ายก้อนหินสูง สามารถเคลื่อนที่ผ่านเนินดินและเนินหินไปได้ แต่การใช้ระบบช่วงล่างลักษณะนี้ จะไม่สามารถใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ผ่านพื้นผิวขรุขระได้สูงมากนัก เนื่องจากระบบช่วงล่างนี้ไม่มีอุปกรณ์ดูดซับแรงกระแทกอันจะเกิดขึ้นในกรณีที่ล้อของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ตกหลุม ดังนั้นในการทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ผ่านพื้นผิวขรุขระนั้น ได้กำหนดให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 5 เซนติเมตรต่อวินาที



รูปที่ 14 หุ่นยนต์เคลื่อนที่ผ่านพื้นผิวขรุขระ

ส่วนในการทดสอบการเคลื่อนที่บนพื้นผิวอ่อนนุ่มเช่น การเคลื่อนที่ไปบนพื้นสนามหญ้า และการเคลื่อนที่ไปบนพื้นผิวถนนคอนกรีตนั้น สามารถทำการทดสอบให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปในทิศทางต่างๆ ด้วยความเร็วสูงกว่าการเคลื่อนที่บนพื้นผิวขรุขระ โดยหุ่นยนต์สามารถวิ่งที่ความเร็วปกติ 10 เซนติเมตรต่อวินาที และทำความเร็วสูงสุดได้ถึง 20 เซนติเมตรต่อวินาที



รูปที่ 15 หุ่นยนต์เคลื่อนที่บนพื้นสนามหญ้า



รูปที่ 16 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในตัวอาคาร

ภายในตัวอาคารโดยปกติทั่วไปนั้น จะมีสิ่งของเครื่องใช้ต่างๆ วางอยู่ ณ ตำแหน่งต่างๆ และทางเดินทั่วไปนั้นจะมีพื้นที่ความกว้างไม่มากนัก ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในตัวอาคาร แต่เนื่องจากหุ่นยนต์ภาคสนามที่ได้ทำการออกแบบนั้นสามารถเคลื่อนที่ได้หลายลักษณะ ดังเช่น การหมุนรอบตัวเอง และการเลี้ยวโค้งไปข้างหน้า และข้างหลังที่รัศมีความโค้งต่างๆ ดังนั้นจึงส่งผลให้หุ่นยนต์ภาคสนามที่ทำการสร้างขึ้นมานั้นมีความคล่องตัวในการเคลื่อนที่ค่อนข้างสูง สามารถเคลื่อนที่ได้ดีในพื้นที่อันจำกัด ไม่จำเป็นต้องอาศัยพื้นที่จำนวนมากในการเคลื่อนที่เปลี่ยนทิศทาง



รูปที่ 17 การเคลื่อนที่ขึ้นบนทางลาดชัน

สำหรับการทดสอบการเคลื่อนที่ขึ้นทางลาดชันนั้น พบว่าหุ่นยนต์ภาคสนามสามารถเคลื่อนที่ขึ้นและลง บนทางลาดชันที่มีความลาดเอียง 30 องศา ดังแสดงในรูปที่ 17

ลักษณะการเคลื่อนที่โดยใช้ล้อของหุ่นยนต์ และยานพาหนะต่างๆโดยทั่วไปนั้น เมื่อเจอสิ่งกีดขวางที่มีลักษณะเป็นขั้น (step) มักจะไม่สามารถข้ามผ่านไปได้ แต่หุ่นยนต์ภาคสนามที่ได้ทำการออกแบบนั้นใช้ระบบช่วงล่าง Rocker-Bogie ซึ่งระบบช่วงล่างนี้ขับเคลื่อนโดยใช้ล้อ 6 ล้อและล้อทุกล้อนั้นจะขับเคลื่อนโดยอิสระ มีตัวขับเคลื่อนซึ่งในที่นี้คือมอเตอร์ แยกอิสระจากกัน อีกทั้งการใช้ระบบช่วงล่างแบบนี้ทำให้มีการกระจายน้ำหนักตัวของหุ่นยนต์อย่างสม่ำเสมอไปที่ล้อแต่ละล้อ จึงส่งผลให้หุ่นยนต์มีแรงขับเคลื่อนเพียงพอที่จะข้ามสิ่งกีดขวางที่มีลักษณะเป็นขั้นได้

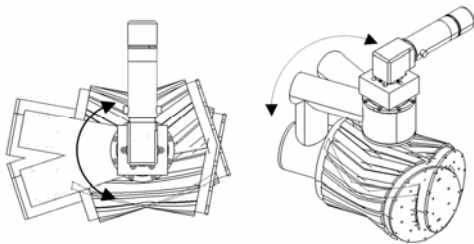
จากรูปที่ 18 นั้นเป็นการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ข้ามท่อนไม้ซึ่งมีลักษณะเป็นขั้น โดยขนาดความสูงของสิ่งกีดขวางนั้นมีขนาดประมาณ 9 เซนติเมตร ซึ่งมีขนาดเกือบเท่ารัศมีของล้อหุ่นยนต์ และความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่ค่อนข้างต่ำคือใช้ความเร็ว 3 เซนติเมตรต่อวินาที เพื่อป้องกันการตกกระแทกของล้อ ในขณะที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ลงจากสิ่งกีดขวาง



รูปที่ 18 ข้ามสิ่งกีดขวางที่มีลักษณะเป็นขั้น

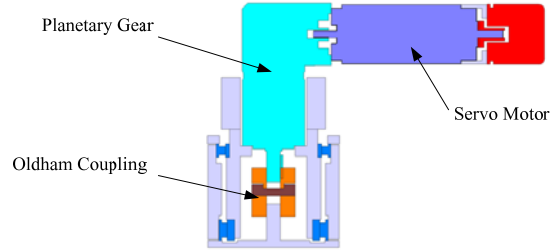
### 7. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง และพื้นผิวชนิดต่างๆ นั้นพบว่าหุ่นยนต์ภาคสนาม สามารถเคลื่อนที่ผ่านอุปสรรคสิ่งกีดขวางต่างๆไปได้ด้วยดี โดยหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวาง ที่มีขนาดเกือบเท่ากับรัศมีของล้อ และสามารถผ่านเคลื่อนที่ผ่านพื้นผิวขรุขระ เช่น กองดินกองหิน ได้อย่างดี เนื่องจากหุ่นยนต์ภาคสนามที่ทำการออกแบบและสร้างขึ้นมานั้น ใช้ระบบช่วงล่างแบบ Rocker-Bogie ดังนั้นล้อทุกล้อของหุ่นยนต์จึงสัมผัสกับพื้นผิวที่เคลื่อนที่ไปตลอดเวลา ส่งผลให้น้ำหนักของหุ่นยนต์มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ทำให้ความสามารถในการปีนป่ายของหุ่นยนต์สูงขึ้นตามไปด้วย แต่การใช้ระบบช่วงล่างชนิดนี้หุ่นยนต์จะไม่สามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงมากนัก เนื่องจากระบบช่วงล่างชนิดนี้ไม่มีตัวดูดซับแรงกระแทก ดังนั้นถ้าหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วและตกหลุมอาจได้รับความเสียหายได้ และการเคลื่อนที่ภายในตัวอาคารของหุ่นยนต์ หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่างๆได้อย่างคล่องตัว เนื่องจากหุ่นยนต์มีความสามารถเคลื่อนที่ได้หลายรูปแบบ ทั้งเดินหน้าถอยหลัง เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา และหมุนรอบตัวเอง



รูปที่ 19 แบคแลชที่เกิดขึ้นในโครงสร้างส่วนบังคับล้อ

ซึ่งเมื่อพิจารณาความผิดพลาดในการบังคับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์นั้น พบว่ามีมาจากหลายสาเหตุด้วยกัน ดังเช่น เกิดการสั่นไถลของล้อหุ่นยนต์ในขณะที่ทำการเคลื่อนที่ ความผิดพลาดในโครงสร้างของหุ่นยนต์ที่สร้างขึ้น ยกตัวอย่างเช่น เกิดแบคแลช (Backlash) ขึ้นในส่วนโครงสร้างส่วนบังคับล้อทำให้มุมบังคับล้อเกิดการแกว่งตัวได้เนื่องจาก การใช้เฟืองแบบแพลนเนตทอรี และการส่งผ่านกำลังโดยการขับเคลื่อนแบบโอลด์แฮม (Oldham Coupling) ดังแสดงในรูปที่ 20



รูปที่ 20 ลักษณะการส่งผ่านกำลังโครงสร้างบังคับล้อ

### เอกสารอ้างอิง

- [1] Shigeo Hirose, Naritoshi Ootsukasa, Takaya Shirasu, Hiroyuki Kuwahara, Kan Yoneda. "Fundamental Considerations for the Design of a Planetary Rover." Proc. of the IEEE International Conference on Robotics and Automation., Vol. 2, 1995, pp. 1939-1944.
- [2] Paolo Fiorini. "Ground Mobility Systems for Planetary Exploration." Proc. Of the IEEE International Conference on Robotics and Automation., Vol. 1, 2000, pp. 908-913.
- [3] Yasutaka Fuke, Dimitrios Apostolopoulos, Eric Rollins, Jack Silberman, and William Whittaker. "A Prototype Locomotion Concept for a Lunar Robotic Explorer." Proc. of the IEEE International Conference on Robotics and Automation., Vol. 2, 1995, pp. 382-387.