



การศึกษาการควบคุมชุดคัดแยกวัสดุแบบชุดล้อหลายทิศทาง

พชร จัยพลอย¹, ชีรศักดิ์ ศรีมิตรรุ่งโรจน์²

^{1,2}ภาควิชาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุและโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

*pachara.j@eng.kmutnb.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ 0894880725,

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการควบคุมทิศทางของวัสดุบนชุดคัดแยกวัสดุ (Sortation Conveyor) แบบชุดล้อหลายทิศทาง (Multi Direction Wheels) เพื่อแสดงให้เห็นพฤติกรรมเคลื่อนที่ของวัสดุบนชุดคัดแยกวัสดุ แบบชุดล้อหลายทิศทางรวมถึงการควบคุมการเคลื่อนที่ของวัสดุให้เป็นไปตามการเคลื่อนที่ที่ออกแบบไว้ด้วยการควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control) ใช้วิธีการหาค่าการควบคุมและออกแบบตัวควบคุมแบบป้อนกลับ โดยการจำลองการควบคุมบนคอมพิวเตอร์ รวมถึงใช้ค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เป็นของชุดคัดแยกวัสดุแบบชุดล้อหลายทิศทางที่จัดสร้างขึ้น พร้อมทั้งกำหนดผลกระทบจากปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ที่ผิดพลาดของชุดคัดแยกวัสดุ โดยความคาดหวังถึงการควบคุมการเคลื่อนที่ของวัสดุบนชุดคัดแยกวัสดุแบบชุดล้อหลายทิศทางให้เป็นไปตามการเคลื่อนที่ที่ออกแบบไว้เพื่อให้ได้ ตัวควบคุมที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานจริง

คำหลัก: การควบคุมแบบป้อนกลับ, ขนถ่ายวัสดุ, ชุดลูกล้อลำเลียง

1. บทนำ

การขนถ่ายวัสดุที่มีรูปทรงแน่นอน (Unit Load) ด้วยอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุ (Conveyors) [5] มีบทบาทสำคัญต่อภาคอุตสาหกรรมทุกขนาดเพื่อช่วยเพิ่มผลผลิตและการจัดการของอุตสาหกรรมมีความสามารถมากขึ้น อาทิเช่น ระหว่างการขนถ่ายวัสดุด้วยอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุ สามารถติดตั้งชุดคัดแยกวัสดุ (Sortation conveyor) [6] เพื่อคัดแยกวัสดุไปยังขบวนการผลิตหรือจัดเก็บตามที่ได้ออกแบบการผลิตไว้ ชุดคัดแยกวัสดุในปัจจุบันมีหลากหลายชนิดมีความสามารถและข้อจำกัดแตกต่างกันไป แต่โดยส่วนใหญ่มีข้อจำกัดในการปรับเปลี่ยนทิศทางของวัสดุ ขณะขนถ่ายวัสดุรวมถึงมีกลไกซับซ้อนและไม่มีความยืดหยุ่น ด้วยเหตุที่ชุดคัดแยกส่วนใหญ่มีข้อจำกัดที่กล่าวไปข้างต้น ทำให้ต้องเพิ่มความสามารถของชุดคัดแยกบนอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุให้สามารถปรับเปลี่ยนทิศทางของวัสดุได้หลายทิศทางมากขึ้นโดยไม่นานมานี้ได้มีการนำเอาชุดล้อโอมนิ (Multi Direction wheels) [1] มาต่อเป็น

ชุดคัดแยกวัสดุสองทิศทางด้วยการติดชุดขับที่ล้อโอมนิสองชุดตั้งสลับทิศทางสองทิศทางกัน อย่างไรก็ตามถ้านำชุดล้อหลายทิศทางมาต่อชุดขับแยกกันเป็นแถวสลับเพื่อเพิ่มทิศทางในการขนถ่ายวัสดุ ในทางปฏิบัติการมีชุดขับทำงานแยกอิสระหลายชุดจำเป็นต้องมีการควบคุมทิศทางและความเร็วของชุดขับแต่ละชุดให้มีเร็วความสัมพันธ์กันเพื่อให้ได้ทิศทางขนถ่ายวัสดุตามที่ต้องการ

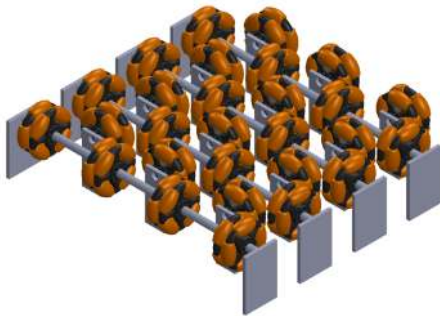
2. หลักการทำงานและส่วนประกอบ

ชุดคัดแยกวัสดุแบบชุดล้อหลายทิศทางประกอบไปด้วยล้อหลายทิศทาง (Multi Direction wheels) เป็นล้อที่มีลักษณะการหมุนในสองทิศทางประกอบด้วยล้อหมุนตัวหลักและชุดล้อขนาดเล็กที่อยู่บนล้อหมุนตัวหลักและหมุนในทิศตั้งฉากกันกับล้อหมุนตัวหลัก ดังรูปที่ 1 วางเรียงต่อกันเป็นอนุกรมสลับแนวทิศตั้งฉากกันเป็นระนาบดังรูปที่ 2 เป็นรูปชุดคัดแยกวัสดุแบบชุดล้อหลายทิศทางที่ได้ออกแบบไว้ จากการวางชุดล้อทำให้สามารถ

สร้างแนวแรงสองแรงที่ตั้งฉากกันบนระนาบซึ่งเกิดจากการหมุนชุดล้อ เมื่อนำวัสดุมาวางบนระนาบของชุดล้อทำให้วัสดุสามารถเคลื่อนที่ได้อิสระทั้งสองแนวแกน (2 Degree of Freedom) และในขณะเดียวกันเมื่อวัสดุเคลื่อนในแนวแกนหนึ่งจะไม่เกินแรงเสียดทานในอีกแนวแกนหนึ่งเนื่องด้วยล้อขนาดเล็กบนชุดล้อหลายทิศทางทำหน้าที่รองรับวัสดุในการเคลื่อนที่ในแนวตรงข้ามกับการหมุนของชุดล้อ



รูปที่ 1 ล้อหลายทิศทาง (Multi Direction wheels)



รูปที่ 2 ชุดคัตแยกวัสดุแบบชุดล้อหลายทิศทาง

3 ใน แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในการเคลื่อนที่ของวัสดุบนชุดล้อหลายทิศทาง ประกอบด้วยการเคลื่อนที่สองแนวแกนที่ตั้งฉากกันทำให้วัสดุเคลื่อนที่ได้โดยอิสระบนระนาบของชุดล้อ จึงใช้การอ้างอิงตำแหน่งจากตำแหน่งของชุดล้อตามสมการ(1) รวมถึงในการเคลื่อนที่ของวัสดุอาศัยแรงที่ถูกส่งผ่านจากการหมุนของชุดล้อผ่านแรงเสียดทานระหว่างล้อกับวัสดุ

ตั้งนั้นน้ำหนักและสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจึงมีผลต่อการเคลื่อนที่ น้ำหนักของวัสดุเขียนแทนด้วยสมการแรงปฏิกิริยาดังสมการที่ (2) เป็นสมการแสดงแรงปฏิกิริยาบนระนาบชุดล้อ [2]

$$\vec{X} = \begin{bmatrix} \vec{x} \\ \vec{y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \dots x_n \\ y_1 \dots y_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\vec{N} = \vec{W}B^T (BB^T)^{-1} \left(\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \vec{X}_{cm} \right) \quad (2)$$

จากสมการ \vec{W} คือน้ำหนักของวัสดุ \vec{X}_{cm} แทนตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลของวัสดุ (CG) บนระนาบของชุดคัตแยกวัสดุแบบชุดล้อหลายทิศทาง B คือเมทริกซ์ตำแหน่งของชุดล้อ

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ x_1 & x_2 & x_3 & \dots & x_n \\ y_1 & y_2 & y_3 & \dots & y_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

3.1 การส่งผ่านแรง

แรงที่กระทำกับวัสดุบนชุดคัตแยกวัสดุแบบชุดล้อหลายทิศทางทั้งสองแนวแกนเกิดจากการส่งผ่านแรงเสียดทานของล้อกับวัสดุตั้งสมการต่อไปนี้ [1]

$$\vec{f} = \mu V \vec{N} - \mu \dot{\vec{X}} W \quad (4)$$

จากสมการ μ คือสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างวัสดุกับชุดล้อ V คือความเร็วของชุดล้อแต่ละลูก ถูกเขียนอยู่ในรูปของเมทริกซ์ตำแหน่งความเร็วรอบของล้อแต่ละตัว

$$V = \begin{bmatrix} v_1 & \dots & v_n \\ v_1 & \dots & v_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดของการส่งผ่านแรงระหว่างชุดล้อไปยังวัสดุคือเรื่องของการสไลด์ ถ้าเกิดขึ้นจะทำให้วัสดุไม่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างถูกต้อง ข้อจำกัดของการสไลด์ ขึ้นอยู่กับความเร่งเชิงมุมของล้อแสดงดังสมการต่อไปนี้ [3]

$$\alpha \leq \frac{2\mu g}{D} \quad (6)$$

จากสมการ g คือค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลก D เส้นผ่านศูนย์กลางของล้อหมุน

4. การควบคุมแบบป้อนกลับ

ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของวัสดุ ใช้การควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control) ในการออกแบบชุดควบคุมการเคลื่อนที่ของวัสดุบนชุดคัดแยกวัสดุแบบชุดล้อหลายทิศทาง ใช้ชุดควบคุมแบบ PID เพื่อศึกษาการควบคุมการเคลื่อนที่ การออกแบบการเคลื่อนที่ และการรักษาเสถียรภาพของการเคลื่อนที่ของวัสดุบนชุดล้อ

ในการออกแบบกฎการควบคุมแบบป้อนกลับในบทความนี้ ใช้การควบคุมการเคลื่อนที่ที่ได้ออกแบบตำแหน่งการเคลื่อนที่ของวัสดุ เคลื่อนให้เป็นไปตามรูปแบบการเคลื่อนที่ออกแบบไว้ โดยค่าความผิดพลาดของการเคลื่อนที่กับคำสั่ง (Tracking Error) [4] ของการควบคุมแสดงอยู่ในรูปของสมการที่ (7)

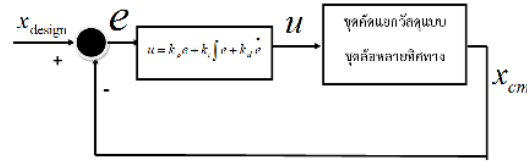
$$e = x_d - x_{cn} \quad (7)$$

จากสมการที่ (2),(4),(7) สามารถออกแบบกฎการควบคุมแบบ PID ได้ดังสมการที่ (8) [4] เพื่อไปใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของวัสดุบนชุดคัดแยกวัสดุแบบชุดล้อหลายทิศทาง

$$u = k_p e + k_i \int e + k_d \dot{e} \quad (8)$$

k_p, k_i, k_d เป็นเมทริกซ์ค่าคงที่ที่บวกแน่นอนสำหรับปรับขนาดการควบคุม

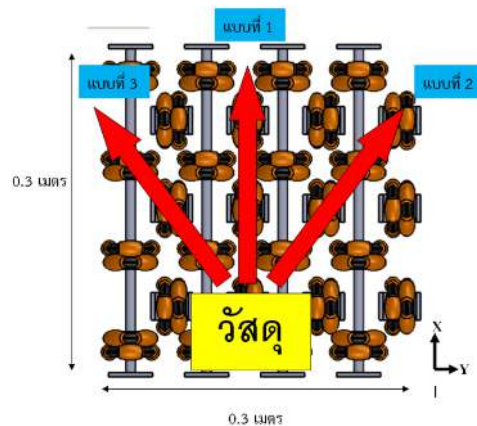
จากกฎการควบคุมข้างต้นสามารถนำมาเขียนโครงสร้างการควบคุมตาม รูปที่ 3



รูปที่ 3 โครงสร้างการควบคุมแบบป้อนกลับในการควบคุมการเคลื่อนที่ของวัสดุ

5. การจำลองการเคลื่อนที่ของวัสดุบนชุดคัดแยกวัสดุแบบชุดล้อหลายทิศทาง

จำลองการควบคุมบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Simulation Control) โดยออกแบบให้วัสดุเคลื่อนบนชุดคัดแยกวัสดุแบบชุดล้อหลายทิศทาง 3 รูปแบบการเคลื่อนที่ตาม รูปที่ 4 โดยจำลองให้เหมือนการเคลื่อนที่ของวัสดุในงานขนถ่ายวัสดุในส่วนของ การเปลี่ยนทิศทาง (Sortation Conveyor) แบบแรกให้วัสดุเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง แบบต่อมาให้วัสดุเคลื่อนที่ไปทางทิศตรงและเบี่ยงไปทางขวาและแบบสุดท้ายให้วัสดุเคลื่อนที่ไปทางทิศตรงและเบี่ยงไปทางซ้าย



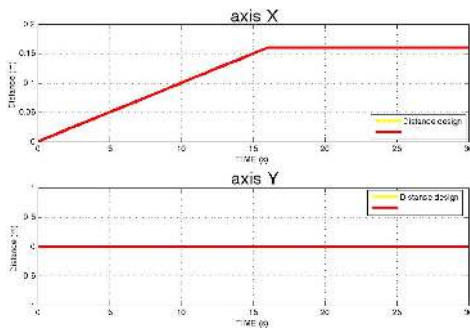
รูปที่ 4 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ที่ออกแบบไว้ของวัสดุบนชุดคัดแยกวัสดุแบบชุดล้อหลายทิศทาง

จากการจำลองการเคลื่อนที่ได้ผลการจำลองตามรูปภาพที่แสดงต่อไปนี้ โดยกราฟสีเหลืองคือการเคลื่อนที่ที่ถูกออกแบบไว้ กราฟสีแดงคือการเคลื่อนที่ของวัสดุ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน $\mu = 0.3$, น้ำหนักของ

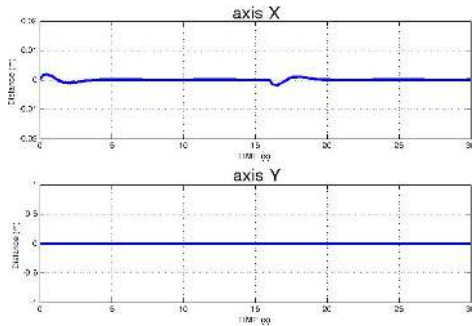
วัสดุ $W = 98 \text{ N}$ เวลาในการจำลอง $t = 30 \text{ s}$ ค่าแกน

$$\text{ของการควบคุม } k_p = \begin{bmatrix} 40 \\ 40 \end{bmatrix}, k_i = \begin{bmatrix} 20 \\ 20 \end{bmatrix}, k = \begin{bmatrix} 7 \\ 7 \end{bmatrix}$$

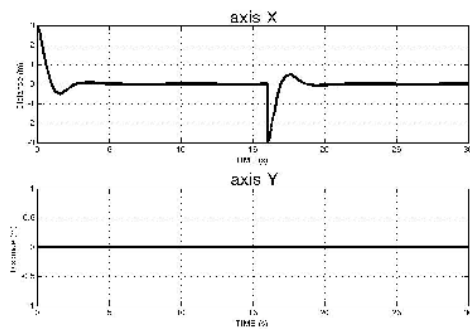
โดยการเคลื่อนแบบแรกให้วัสดุเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้น (0, 0) ไปยังตำแหน่ง 0.16 เมตร ในแนวแกน X แล้วให้วัสดุหยุด ได้ผลการเคลื่อนที่ดังรูปที่ 5 และค่าความผิดพลาดของการเคลื่อนที่ดังรูปที่ 6 รวมถึงแรงที่กระทำกับวัสดุดังรูปที่ 7



รูปที่ 5 แสดงผลการเคลื่อนที่ที่ออกแบบไว้กับการเคลื่อนที่ของวัสดุ



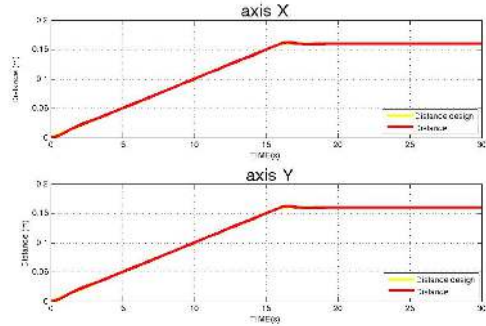
รูปที่ 6 แสดงค่าความผิดพลาดของการเคลื่อนที่ที่ออกแบบไว้กับการเคลื่อนที่ของวัสดุ



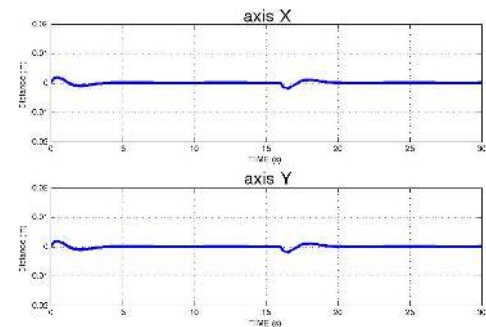
รูปที่ 7 แสดงค่าของแรงที่กระทำต่อวัสดุ

จากการจำลองการเคลื่อนที่ โดยให้วัสดุเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในทิศทางเดียว จาก รูปที่ 5 กราฟของการเคลื่อนที่ที่ออกแบบไว้ (สีเหลือง) กับกราฟการเคลื่อนที่ของวัสดุ (สีแดง) เคลื่อนที่ติดตามกันได้อย่างสมบูรณ์ (Tracking) รูปต่อมา รูปที่ 6 แสดงให้เห็นว่ายังมีค่าความผิดพลาดของการเคลื่อนที่อยู่ไม่เกิน 0.005 เมตร ในส่วนของแรงที่กระทำกับวัสดุจะมีค่ามากในช่วงเริ่มต้นและช่วงของการหยุดการเคลื่อนที่มีค่าประมาณ 3 นิวตัน เห็นได้จาก รูปที่ 7

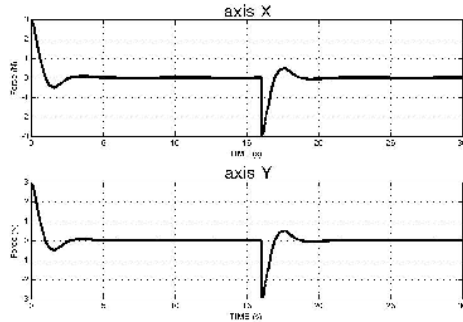
แบบต่อมาให้วัสดุเคลื่อนที่จากเริ่มต้น (0, 0) ไปยังตำแหน่ง 0.16 เมตร ในแนวแกน X และในเวลาเดียวกันให้วัสดุเคลื่อนที่ ไปยังตำแหน่ง 0.16 m ในแนวแกน Y ได้ผลการเคลื่อนที่ดังรูปที่ 8 และค่าความผิดพลาดของการเคลื่อนที่ดังรูปที่ 9 รวมถึงแรงที่กระทำกับวัสดุดังรูปที่ 10



รูปที่ 8 แสดงผลการเคลื่อนที่ที่ออกแบบไว้กับการเคลื่อนที่ของวัสดุ



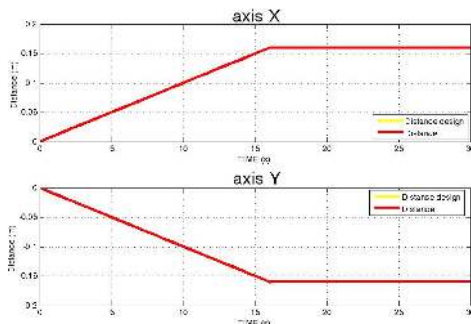
รูปที่ 9 แสดงค่าความผิดพลาดของการเคลื่อนที่ที่ออกแบบไว้กับการเคลื่อนที่ของวัสดุ



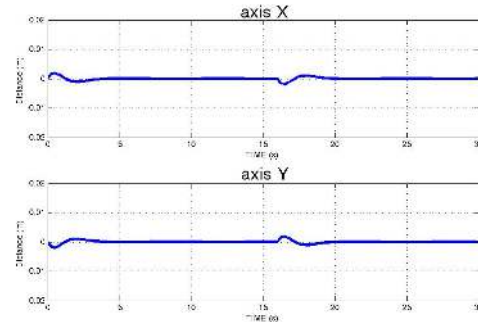
รูปที่ 10 แสดงค่าของแรงที่กระทำต่อวัสดุ

จากการจำลองการเคลื่อนที่แบบที่สอง โดยให้วัสดุเครื่องที่เป็นแนวทะแยงมุม จากรูปที่ 8 กราฟของการเคลื่อนที่ที่ได้ออกแบบไว้ (สีเหลือง) กับกราฟการเคลื่อนที่ของวัสดุ (สีแดง) เคลื่อนที่ติดต่อกันได้อย่างสมบูรณ์ทั้งในแนวแกน X และแนวแกน Y รูปต่อมา รูปที่ 9 แสดงให้เห็นว่ายังมีค่าความผิดพลาดของการเคลื่อนที่อยู่ไม่เกิน 0.005 m ทั้งสองแนวแกน ในส่วนของแรงที่กระทำกับวัสดุจะมีค่ามากในช่วงเริ่มต้นและช่วงของการหยุดการเคลื่อนที่มีค่าประมาณ 3 N ทั้งสองแนวการเคลื่อนที่แสดงอยู่ใน รูปที่ 10

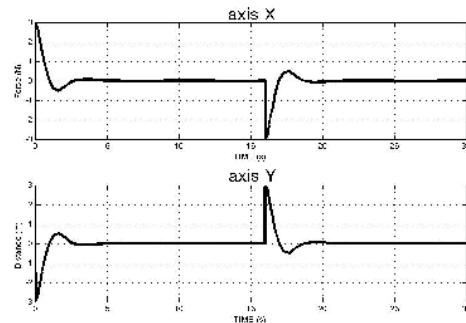
แบบสุดท้ายให้วัสดุเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้น (0,0) ไปยังตำแหน่ง 0.16 เมตร ในแนวแกน X และในเวลาเดียวกันให้วัสดุเคลื่อนที่จากระยะ 0 m ไปยังตำแหน่ง - 0.16 m ในแนวแกน Y ได้ผลการเคลื่อนที่ดังรูปที่ 11 และค่าความผิดพลาดของการเคลื่อนที่ดังรูปที่ 12 รวมถึงแรงที่กระทำกับวัสดุดังรูปที่ 13



รูปที่ 11 แสดงผลการเคลื่อนที่ได้ออกแบบไว้กับการเคลื่อนที่ของวัสดุ



รูปที่ 12 แสดงค่าความผิดพลาดของการเคลื่อนที่ได้ออกแบบไว้กับการเคลื่อนที่ของวัสดุ



รูปที่ 13 แสดงค่าของแรงที่กระทำต่อวัสดุ

จากการจำลองการเคลื่อนที่แบบที่สาม โดยให้วัสดุเครื่องที่เป็นแนวทะแยงมุมเหมือนแบบที่สองแต่แนวทะแยงตรงกันข้าม จาก รูปที่ 11 กราฟของการเคลื่อนที่ที่ได้ออกแบบไว้ (สีเหลือง) กับกราฟการเคลื่อนที่ของวัสดุ (สีแดง) เคลื่อนที่ติดต่อกันได้อย่างสมบูรณ์ทั้งในแนวแกน X และแนวแกน Y รูปต่อมา รูปที่ 12 แสดงให้เห็นว่ายังมีค่าความผิดพลาดของการเคลื่อนที่อยู่ไม่เกิน 0.005 m ทั้งสองแนวแกน ในส่วนของแรงที่กระทำกับวัสดุจะมีค่ามากในช่วงเริ่มต้นและช่วงของการหยุดการเคลื่อนที่มีค่าประมาณ 3 N ทั้งสองแนวการเคลื่อนที่แสดงอยู่ใน รูปที่ 13

จากผลการจำลองการเคลื่อนที่ของวัสดุบนชุดคัตแยกวัสดุแบบชุดล้อหลายทิศทางเห็นการเคลื่อนที่ของวัสดุเป็นไปตามการเคลื่อนที่ที่ได้ออกแบบไว้ แต่ยังพบค่าความผิดในช่วงของการเริ่มและหยุดการเคลื่อนที่ของวัสดุ



6. สรุป

จากการจำลองการเคลื่อนที่ของวัสดุบนชุดคัตแยก วัสดุแบบชุดล้อหลายทิศทางเห็นได้ว่าการควบคุมแบบป้อนกลับสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของวัสดุบนชุดคัตแยกวัสดุแบบชุดล้อหลายทิศทางได้เป็นที่น่าพอใจ ซึ่งสามารถนำผลการควบคุมจากการจำลองในคอมพิวเตอร์ไปปรับใช้งานจริงกับชุดคัตแยกวัสดุแบบชุดล้อหลายทิศทางในงานขนถ่ายวัสดุ แต่ยังมีข้อบกพร่องในการจำลองคือ ไม่มีผลกระทบจากปัจจัยอื่นที่อาจเกิดขึ้น ตัวอย่างเช่น ผิวของวัสดุที่อาจไม่เรียบขนานกับระนาบของชุดล้ออาจส่งผลให้การควบคุมผิดพลาดได้ จึงเป็นข้อสังเกตในงานวิจัยต่อไปในภายภาคหน้า

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Mark Bedillion, William Messner and Howie Choset (2001). Limitations Imposed by Single DOF Actuators on Discrete Actuator Arrays International Conference on Intelligent Robots and System Maui, Hawaii, USA
- [2] Jonathan Luntz, William Messner and Howie Choset (1998) Velocity Field Design for the Modular Distributed Manipulator System (MDMS), Robotics Institute School of Computer Science, Carnegie Mellon University
- [3] Mark Bedillion and William Messner (2011). Limitations imposed by single DOF actuators on Discrete actuator arrays, CONFERENCE PAPER International Conference on Intelligent Robots and Systems Maui, Hawaii Oct. 29 - Nov. 03, 2001 , USA,
- [4] สุวัฒน์ กุลธนปรีดา (2554) , Automatic Control Engineering, สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. กรุงเทพฯ
- [5] Siddhartha Ray (2007), Introduction to Materials Handling , Ansari Road, Daryaganj, New

- [6] Delhi Michael G. Kay (2012) , Material Handling Equipment, North Carolina State University