หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

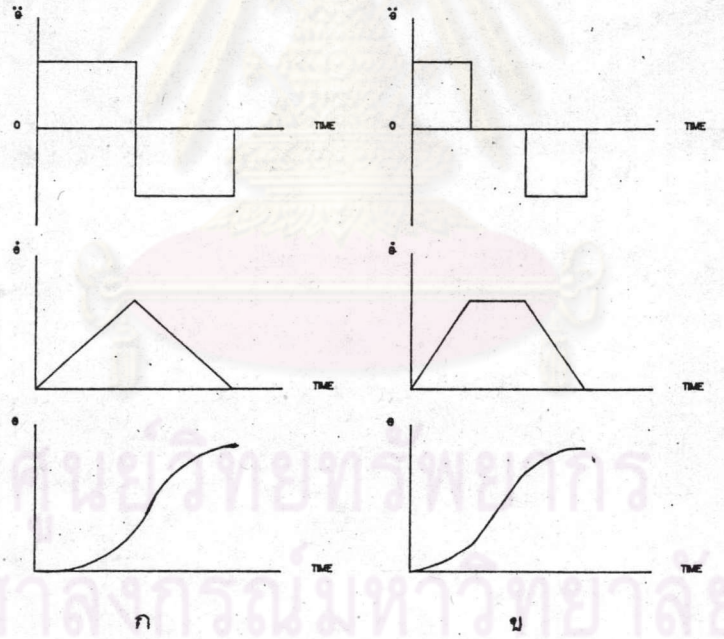
การจำลองแบบหุ่นยนต์อุตสาหกรรม

การจำลองแบบระบบ(system simulation) หมายถึงการจำลองหรือแทนระบบด้วยความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ โดยนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์(mathematical model)ที่อธิบายถึงพฤติกรรมของแต่ละชิ้นส่วนมาหาความสัมพันธ์ร่วมกัน เพื่อใช้อธิบายหรือศึกษาพฤติกรรมโดยรวมหรือเฉพาะส่วน การจำลองแบบนั้นจะใช้กับการออกแบบและตรวจสอบระบบที่มีความซับซ้อนหรือเป็นระบบที่แปลกใหม่ เพราะช่วยให้การออกแบบสมบูรณ์ยิ่งขึ้นก่อนนำไปสร้างจริง การจำลองแบบด้วยคณิตศาสตร์ควรอาศัยคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณและแสดงผลเพื่อความละเอียดแม่นยำและความสะดวกในการปรับปรุงแก้ไข สำหรับกรณีของระบบแขนกลหรือหุ่นยนต์ การจำลองแบบด้วยคณิตศาสตร์แทนระบบแยกได้สามส่วนคือ 1.ส่วนของระบบทางกลศาสตร์ 2.ส่วนของระบบควบคุมการขับเคลื่อน และ3.ส่วนกำหนดลักษณะการเคลื่อนที่ การจำลองแบบของระบบทางกลศาสตร์สร้างได้จากแบบจำลองคณิตศาสตร์ของสมการไดนามิกของแขนกล ส่วนของระบบควบคุมการขับเคลื่อนการจำลองแบบคณิตศาสตร์ของตัวควบคุม(controller)และชุดขับเคลื่อน(มอเตอร์ ตัวขยายกำลัง) และส่วนกำหนดลักษณะการเคลื่อนที่ เป็นการเตรียมตำแหน่งการเคลื่อนที่ ณ เวลาใดๆของลิงค์ให้ส่วนควบคุมการขับเคลื่อน การจำลองแบบด้วยคณิตศาสตร์แทนระบบแขนกลเพื่อช่วยให้การออกแบบทางกลศาสตร์ และระบบควบคุมสามารถทำงานร่วมกันได้ตามลักษณะการเคลื่อนที่ต่างๆอย่างมีประสิทธิภาพ แล้วจึงนำไปสร้างระบบจริงหรือใช้เพื่อการศึกษาปรับปรุงระบบต่อไป

การจำลองแบบลักษณะการเคลื่อนที่

เมื่อแขนกลทำงานปลายแขนกลจะเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นไปยังจุดเป้าหมาย โดยที่แนวทางการเคลื่อนที่ระหว่างทางจนถึงจุดเป้าหมายจะเป็นอย่างไร ขึ้นอยู่กับงานที่แขนกลกำลังทำอยู่นั้น เช่น การเชื่อมแบบเชื่อมจุด กับการเชื่อมแบบต่อเนื่อง จะมีลักษณะการเคลื่อนที่ต่างกัน การพิจารณาแนวทางการเคลื่อนที่ก็แบ่งได้สองแบบคือ 1. การเคลื่อนที่แบบตำแหน่งสู่ตำแหน่ง (Point to Point)สนใจเฉพาะตำแหน่งเริ่มต้นกับตำแหน่งของจุดเป้าหมาย ไม่กำหนดแนวทาง, ความเร็ว และความเร่งของการเคลื่อนที่ระหว่างทางก่อนถึงจุดเป้าหมาย และ 2. การเคลื่อนที่แบบควบคุมต่อเนื่อง(Continuous Path) แนวทางการเคลื่อนที่, ความเร็วและดวามเร่งของการเคลื่อนที่ถูกกำหนดให้ตั้งแต่ตำแหน่งเริ่มต้นถึงตำแหน่งสิ้นสุด เพราะระหว่างทางอาจต้องหลบสิ่งกีดขวาง โดยในที่นี้ขอกล่าวถึงเฉพาะแบบที่มีการเคลื่อนที่แบบตำแหน่งสู่ตำแหน่ง(point to point) ซึ่งปลายแขนกลและแต่ละข้อต่อมีอิสระในแนวทางการเคลื่อนที่ก่อนถึงเป้าหมาย การ

วิเคราะห์การเคลื่อนที่ต้องพิจารณาทั้งตำแหน่งหรือระยะทาง ความเร็ว และความเร่งของการเคลื่อนที่ สำหรับแขนกลแล้วข้อกำหนดขีดจำกัดของการเคลื่อนที่มีด้วยกันสามประการคือ ความเร็วสูงสุด ความเร่งสูงสุด และขอบเขตการเคลื่อนที่ การเคลื่อนที่ของปลายแขนกลแบบตำแหน่งสู่ตำแหน่ง แนวทางการเคลื่อนที่ของแต่ละลิงค์ตามรูปที่ 5.1ก เป็นการเคลื่อนที่โดยใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และใช้เวลาถึงจุดเป้าหมายสั้น แต่ถ้าระยะการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้น ความเร็วสูงสุดหรือปลายยอดแหลมของสามเหลี่ยมความเร็วจะมีค่ามากขึ้น และถ้าขนาดเพิ่มเกินขอบเขตสูงสุดของความเร็วที่กำหนด แนวทางการเคลื่อนที่ตามรูปที่ 5.1ข จะเป็นแนวทางการเคลื่อนที่ที่มีการใช้พลังงานและเวลาอย่างมีประสิทธิภาพเช่นกัน การหาระยะการเคลื่อนที่จากตำแหน่งเริ่มต้นถึงตำแหน่งของจุดเป้าหมายของแขนกลอาศัย อินเวอร์สไคเนมาติค(Inverse Kinematic) เปลี่ยนตำแหน่งบนระบบแกนตั้งฉากอ้างอิงเป็นมุมหมุนของแต่ละลิงค์ แล้วจึงสร้างแนวทางการเคลื่อนที่บนรูปแบบของมุมหมุนของแต่ละลิงค์



รูปที่ 5.1 แสดงแนวทางการเคลื่อนที่แบบตำแหน่งสู่ตำแหน่ง

การกำหนดแนวทางการเคลื่อนที่ เป็นการกำหนดตำแหน่ง, ความเร็ว และความเร่งที่เวลาใดๆ พิจารณาจากรูปที่ 5.1ก ระยะการเคลื่อนที่ θ ใช้เวลาการเคลื่อนที่ T ที่เวลา T/2 ความเร็วของการเคลื่อนที่เป็น $2\theta/T$ และที่เวลา T/2 นี้ความเร่งของการเคลื่อนที่เป็น $4\theta/T_2$ ซึ่งเป็นความเร็วและความเร่งสูงสุดของการเคลื่อนที่ครั้งนี้ ด้วยกราฟความเร็วและความเร่งตามรูป พิจารณาระบบแขนกลที่มีความเร็วและความเร่งสูงสุดของการเคลื่อนที่ Vm, Am

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตามลำดับ กำหนดให้แขนกลเคลื่อนที่ไป θ ด้วยความเร่ง Am ตามกราฟความเร่งรูปที่ 5.1ก ซึ่งจะใช้เวลาในการเคลื่อนที่ Ta นำระยะการเคลื่อนที่ θ และเวลาที่ใช้ Ta มาหาความเร็วของยอดสามเหลี่ยม ถ้าระยะการเคลื่อนที่ไม่มาก ความเร็วของยอดสามเหลี่ยมยังไม่เกิน Vm แนวทางการเคลื่อนที่จะเป็นตามรูปที่ 5.1ก เมื่อระยะการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นทำให้ความเร็วของยอดสามเหลี่ยมมีค่ามากขึ้น ถ้ามีค่าเกิน Vm แนวทางการเคลื่อนที่ก็จะเป็นตามรูปที่ 5.1ข หรือจะพิจารณาการกำหนดแนวทางการเคลื่อนที่สัมพันธ์กับเวลา ภายใต้ขีดจำกัดความเร็ว Vm และความเร่ง Am พบว่า $Ta = (4\theta/Am)^{1/2}$ และ $Tv = 2\theta/Vm$ ถ้า Tv น้อยกว่าหรือเท่ากับ Ta แนวทางการเคลื่อนที่จะเป็นตามรูปที่ 5.1ก แต่ถ้า Tv มากกว่า Ta แนวทางการเคลื่อนที่จะเป็นตามรูปที่ 5.1ข ความสัมพันธ์ของเวลากับตำแหน่ง,ความเร็ว และความเร่งของแนวทางการเคลื่อนที่ทั้งสองแบบ หาได้โดยพิจารณาจากรูป 5.1ก การเคลื่อนที่เป็นแบบความเร่งคงที่ แล้วอินเกรทหาความเร็ว และระยะการเคลื่อนที่ได้

$$\begin{aligned}
\theta &= a && 0 \le t \le T/2 \\
&= -a && T/2 \le t \le T \qquad ...5.1 \\
\dot{\theta} &= at && 0 \le t \le T/2 \\
&= a(T-t) && T/2 \le t \le T \qquad ...5.2 \\
\ddot{\theta} &= at^2/2 && 0 \le t \le T/2 \\
&= a(Tt-t^2/2-T^2/4) && T/2 \le t \le T \qquad ...5.3
\end{aligned}$$

ในทำนองเดียวกันสามารถหาความสัมพันธ์ของแนวทางการเคลื่อนที่ตามรูปที่ 5.1ข ได้

$$\begin{aligned}
\theta &= a && 0 \le t \le t_1 \\
&= 0 && t_1 \le t \le t_2 \\
&= -a && t_2 \le t \le T \qquad ...5.4 \\
\dot{\theta} &= at && 0 \le t \le t_1 \\
&= Vm && t_1 \le t \le t_2 \\
&= a(T-t) && t_2 \le t \le T \qquad ...5.5 \\
\ddot{\theta} &= at^2/2 && 0 \le t \le t_1 \\
&= \theta_1 + Vm(t-t_1) && t_1 \le t \le t_2 \\
&= a[(T-t_2+t_1)(t-t_2+t_1)-(t-t_2+t_1)^2/2- \\
&\quad (T-t_2+t_1)^2/4+(\theta_2-\theta_1) && t_2 \le t \le T \qquad ...5.6
\end{aligned}$$

การอธิบายความสัมพันธ์ของแนวการเคลื่อนที่ตามสมการ 5.1-5.6 นำไปเขียนเป็นโปรแกรมสร้างเป็นสัญญาณอ้างอิงป้อนเข้าให้ระบบควบคุมการเคลื่อนที่ ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดของโปรแกรมต่อไป

การจำลองแบบส่วนระบบควบคุมการขับเคลื่อนแขนกล

การควบคุมแบบป้อนกลับด้วยตัวควบคุมแบบ พี ไอ ดี เป็นการควบคุมที่มีการนำผลการเคลื่อนที่มาเปรียบเทียบกับคำสั่งดังที่กล่าวแล้วในบทที่ 3 สำหรับแขนกลที่มีส่วนควบคุมการขับเคลื่อนเป็นแบบดิจิตอลคอนโทรลเลอร์นั้นประกอบด้วย คอมพิวเตอร์ที่รวมเอาตัวควบคุมโปรแกรมค่าได้แบบ พี ไอ ดี และส่วนเปรียบเทียบไว้ด้วยกัน อุปกรณ์ขยายกำลัง(power amplifier)และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ส่วนปลายติดชุดเฟืองทดขยายกำลังทางกล สามารถจำลองแบบด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดังสมการที่ 5.7

$$E_{n+1} = [K_p(\theta_{n+1}-\theta_n)+K_i/(\theta_{n+1}-\theta_n)+K_d\, d(\theta_{n+1}-\theta_n)/dt]K_a \quad ....5.7$$

ซึ่งขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่ส่งไปขับเคลื่อนมอเตอร์ หาได้จากการนำค่าตัวควบคุม(kp,kj,kd) คูณกับค่าผลต่างของตำแหน่งอ้างอิงที่คาบเวลา n+1 กับตำแหน่งที่แท้จริงที่เป็นผลการเคลื่อนที่ของคำสั่งที่คาบเวลา n เมื่อเวลาผ่านไป 1 คาบคูณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์ขยายกำลังที่ถูกแทนด้วยค่าคงที่(ka) เพราะอุปกรณ์นี้มีคุณสมบัติเป็นเชิงเส้น ขนาดของแรงที่มอเตอร์สร้างขึ้น และส่งผ่านชุดเฟืองทดขยายกำลังไปขับเคลื่อนลิงค์ของแขนกลหาได้จากสมการที่ 5.8 ค่าทรานสเฟอร์ฟังก์ชั่นของมอเตอร์สามารถแทนด้วย K_m/R และชุดเฟืองทดขยายกำลังมีคุณสมบัติเชิงเส้นจึงแทนด้วยค่าคงที่ (Kma) โดย Kma มีค่าเท่ากับผลคูณของประสิทธิภาพการส่งกำลัง (30-50%) กับอัตราทดของชุดเฟืองทด

$$F = EK_m/R\, K_{ma} \quad .....5.8$$

การจำลองแบบพลศาสตร์ของแขนกล

การจำลองแบบด้วยคณิตศาสตร์กับส่วนของระบบกลศาสตร์ ต้องพิจารณาถึงกลไกการทำงานของระบบว่าระบบมีการเคลื่อนที่อย่างไร มีความสัมพันธ์ไคเนมาติกและไคเนติกอย่างไรเพื่อนำมาหาความสัมพันธ์ไดนามิกให้ระบบ สำหรับระบบแขนกลสามแกนที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นเป็นระบบที่มีการเคลื่อนที่ในสามมิติ การสร้างแบบจำลองพลศาสตร์ของระบบแขนกลต้องอาศัยเมตริกทรานสฟอร์มและสมการของลากรานจ์มาประยุกต์ โดยที่สมการลากรานจ์ได้อธิบายว่าแรงที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่เป็นฟังก์ชั่นของความเร็วเชิงมุม , ความเร่งเชิงมุม และรูปร่างของระบบในขณะนั้น($F = f(\ddot{\theta},\dot{\theta},\text{configuration})$) แต่การจำลองแบบด้วยคณิตศาสตร์แทนระบบต้องการแสดงว่าที่ตำแหน่งใดๆของระบบ ถ้าระบบถูกกระทำด้วยแรงหรือทอร์คที่ทราบค่าแล้วระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่อย่างไร ซึ่งเป็นการหาคำตอบกลับทางกับ Dynamic Model ที่กล่าวแล้วในบทที่ 4 จากสมการลากรานจ์

$$F = M\ddot{q}+N\dot{q}+P \quad ...5.8$$

หรือ

$$M\ddot{q} = N\dot{q}+P-F \quad ...5.9$$

I16814769.

สมการที่ 5.1 เป็นสมการอนุพันธ์อันดับที่ 2 โดยที่ q เป็นตัวแปรแสดงตำแหน่ง , F เป็นแรงที่กระทำให้ระบบเกิดการเคลื่อนที่ และ M, N, P, เป็นสัมประสิทธิ์ที่ขึ้นอยู่กับรูปร่างของระบบ การหาคำตอบของสมการอนุพันธ์อันดับ 2 สามารถทำให้ง่ายโดยจัดรูปสมการให้อยู่ในลักษณะของสมการอนุพันธ์อันดับ 1 ดังนี้

กำหนดให้ $\dot{x} = \ddot{q}$ $x = \dot{q}$ ...5.10

แทนลงในสมการที่ 5.9 ได้ $M\dot{x} = Nx + P - F$ ...5.11

จากสมการพลศาสตร์(4.11-4.15)ของแขนกลดังในรูปที่ 4.3 นำมาจัดรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เช่นเดียวกับสมการที่ 5.11 ได้ดังนี้(รายละเอียดดูจากภาคผนวก ค.)

$$x_1 = x_2 \quad ...5.12$$

$$x_2 = VA_2x_2^2+VB_2x_2x_4+VC_2x_2x_6+VD_2x_4^2+VE_2x_4x_6+VF_2x_6^2+ UA_2(F_1-D_1)+UB_2(F_2-D_2)+UC_2(F_3-D_3) \quad ...5.13$$

$$x_3 = x_4 \quad ...5.14$$

$$x_4 = VA_4x_2^2+VB_4x_2x_4+VC_4x_2x_6+VD_4x_4^2+VE_4x_4x_6+VF_4x_6^2+ UA_4(F_1-D_1)+UB_4(F_2-D_2)+UC_4(F_3-D_3) \quad ...5.15$$

$$x_5 = x_6 \quad ...5.16$$

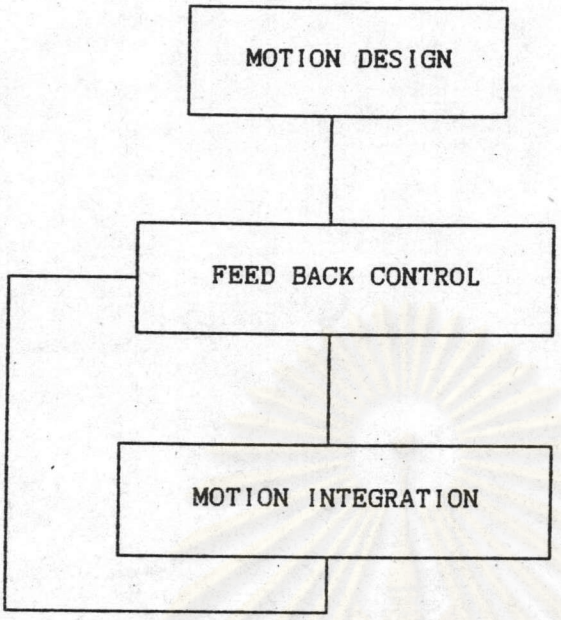
$$x_6 = VA_6x_2^2+VB_6x_2x_4+VC_6x_2x_6+VD_6x_4^2+VE_6x_4x_6+VF_6x_6^2+ UA_6(F_1-D_1)+UB_6(F_2-D_2)+UC_6(F_3-D_3) \quad ...5.17$$

การจำลองแบบด้วยคณิตศาสตร์แทนกลศาสตร์ระบบเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ทางโครงสร้างหรือใช้สำหรับการพัฒนาระบบควบคุมคือ การหาคำตอบให้สมการที่ 5.12-5.17 การหาคำตอบให้กับสมการอนุพันธ์อันดับที่ 1 ใช้วิธีของรังกุตต้า(Runge-Kutta Nemerical Integration) ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>การจำลองแบบหุ่นยนต์อุตสาหกรรม</u>

การจำลองแบบด้วยคณิตศาสตร์แทนหุ่นยนต์หรือระบบแขนกล 3 แกนทั้งระบบ ต้องอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของทั้งสามส่วนที่ได้กล่าวแล้ว มาสร้างความสัมพันธ์ดังรูปที่ 5.2 การคำนวณผลการเคลื่อนที่ต้องอาศัยคอมพิวเตอร์ โดยมีโฟลชาร์ทการคำนวณดังรูปที่ 5.3-5.5 โปรแกรมย่อยทั้งหมดถูกเรียกใช้จากโปรแกรมหลัก ที่มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับการคำนวณ ซึ่งการใช้โปรแกรมย่อยแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้



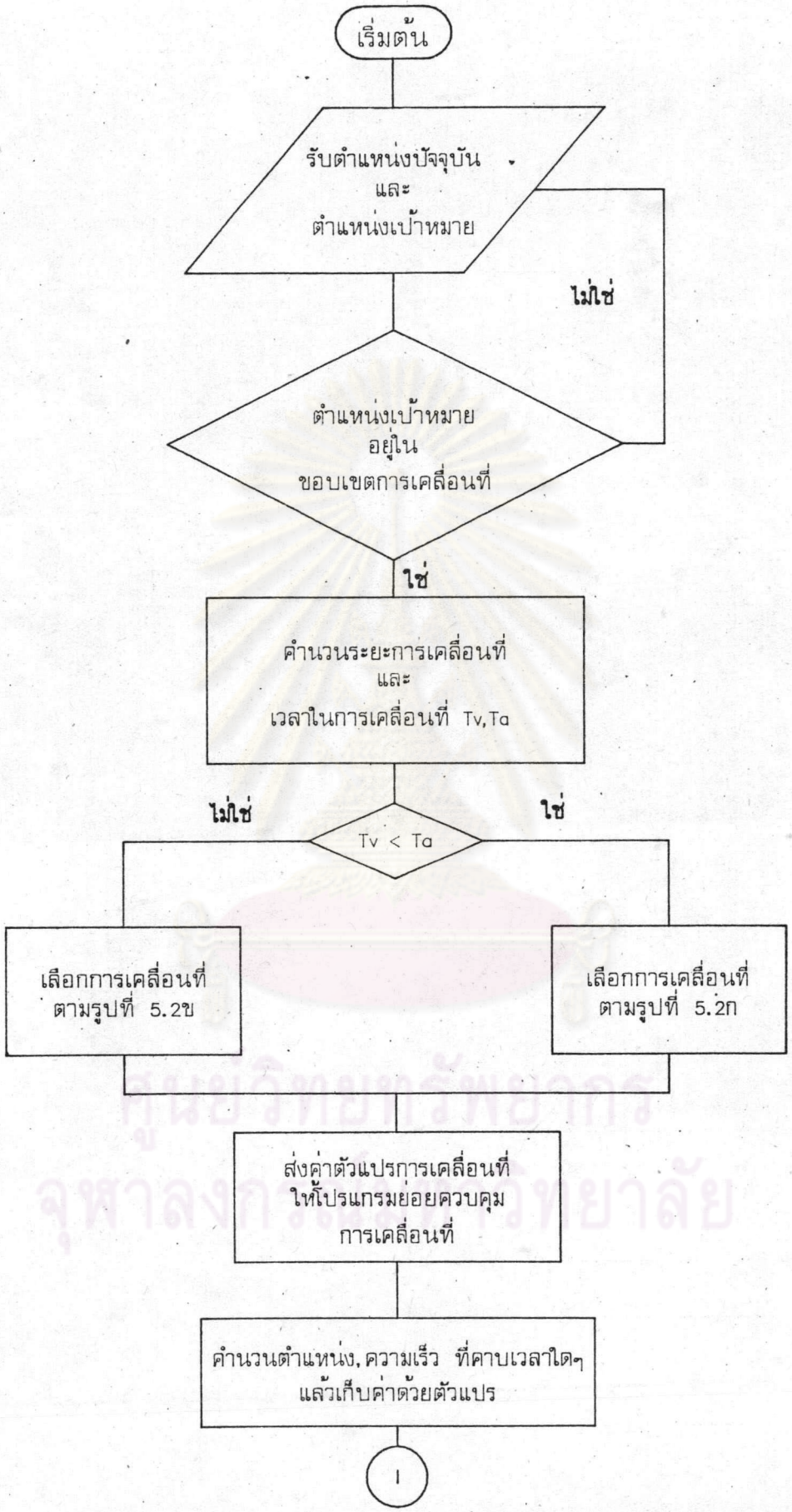
รูป 5.2 การจำลองแบบหุ่นยนต์อุตสาหกรรม

1. โปรแกรมย่อยกำหนดแนวทางการเคลื่อนที่(Motion Design)เป็นส่วนสร้างข้อมูลการเคลื่อนที่ ณ คาบใดๆระหว่างตำแหน่งเริ่มต้นถึงตำแหน่งเป้าหมายการเคลื่อนที่ของลิงค์ทั้งสามให้กราฟความเร็วเป็นรูปสามเหลี่ยมดังได้กล่าวมาแล้ว หรือกล่าวได้ว่าโปรแกรมย่อยส่วนนี้เป็นการสร้างสัญญาณอ้างอิงอินพุทให้ระบบควบคุม โปรแกรมย่อยนี้เรียกใช้โดยมีรูปแบบเป็น ref(zs,zf,nl)โดยที่ zs,zf เป็นอเรย์อินพุทของตำแหน่งเริ่มต้น และตำแหน่งเป้าหมายของลิงค์ 1-3 ตามลำดับ สำหรับค่าตามเวลาส่งข้อมูล(smp) ความเร่งสูงสุด(amx) และความเร็วสูงสุด(vmx) สามารถกำหนดและเปลี่ยนค่าได้จากโปรแกรมหลัก เพื่อใช้สำหรับคำนวณข้อมูลการเคลื่อนที่ทั้งหมดแล้วนำไปเก็บไว้ด้วยอเรย์อินพุทของโปรแกรมหลักโดยมีตัวแปร nl เก็บค่าจำนวนอเรย์ทั้งหมดส่งเป็นเอาท์พุท รายละเอียดโปรแกรมดูจากภาคผนวก จ. และโฟลชาร์ทดูจากรูปที่ 5.3

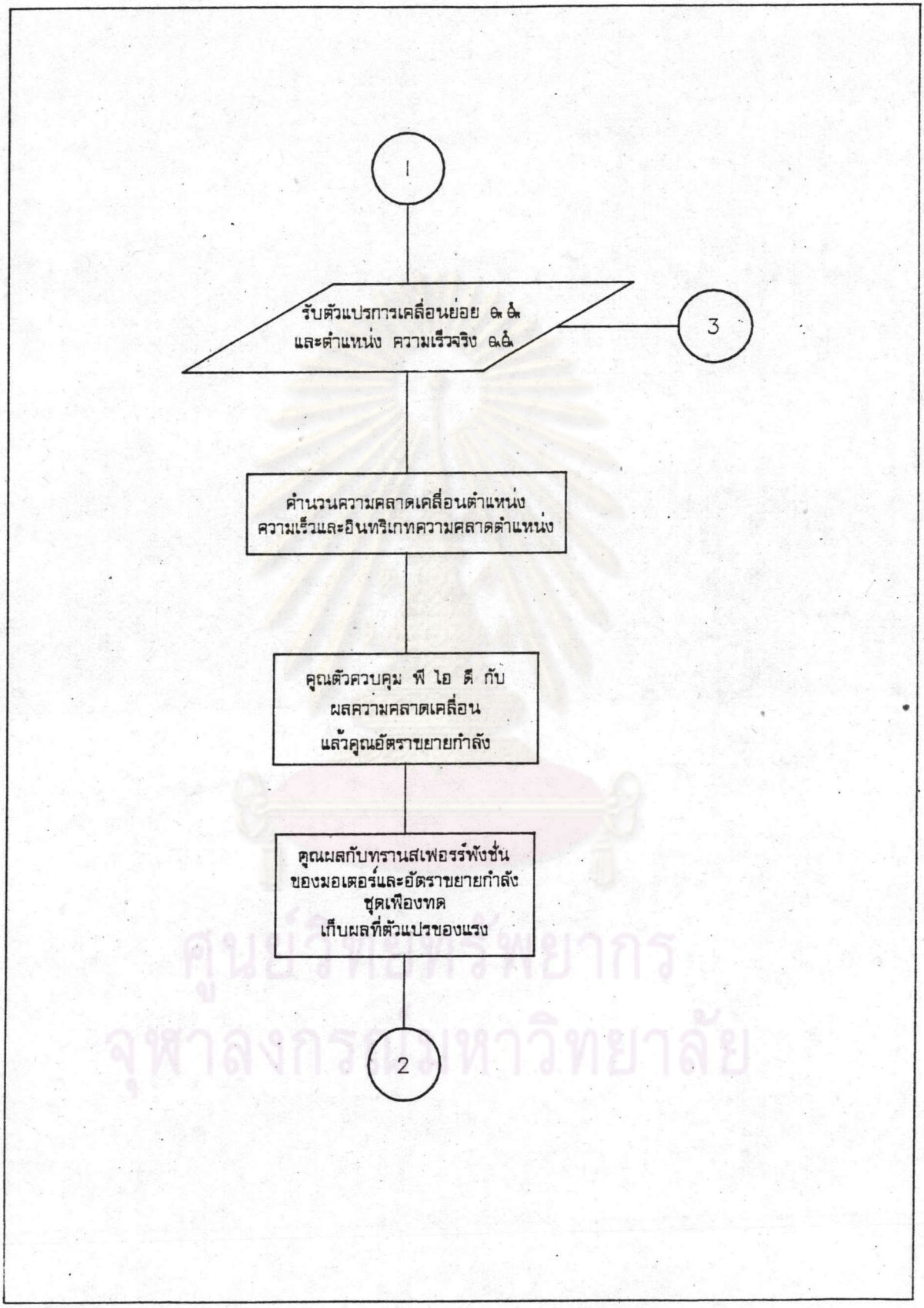
2. โปรแกรมย่อยควบคุมการเคลื่อนที่แบบป้อนกลับ(Feedback Control) เป็นส่วนคำนวณขนาดของแรงที่ส่งออกไปควบคุมการเคลื่อนที่ของลิงค์ทั้งสาม ซึ่งมีรูปแบบการเรียกใช้เป็น ctrl-sim(chk) โดยที่ chk เป็นอินพุทบอกจำนวนของข้อมูลการเคลื่อนที่ของลิงค์ สำหรับค่าคงที่ที่ถูกกำหนดให้เฉพาะลิงค์ในโปรแกรมย่อยนี้คือ ค่าคงที่อัตราขยาย และทรานสเฟอร์ฟังก์ชั่นของมอเตอร์แทนด้วย km ค่าคงที่อัตราทดกำลังและประสิทธิภาพการทดกำลังแทนด้วย n ส่วนค่าคงที่ของตัวควบคุม kp,kj,kd สามารถกำหนดและเปลี่ยนค่าได้จากโปรแกรมหลักและข้อมูลของแรงที่คำนวณได้ถูกเก็บด้วยอเรย์ของโปรแกรมหลัก รายละเอียดโปรแกรมดูจากภาคผนวก จ. โฟลชาร์ทดูจากรูปที่ 5.4

3. โปรแกรมย่อยอินทิเกรทหาผลการเคลื่อนที่(Motion integration) เป็นการอินทิเกรททางนิวเมอริคัลด้วยวิธีรังกุตต้า โดยแยกส่วนของฟังก์ชั่นที่ต้องการอินทิเกรท หรือแบบจำลองพลศาสตร์ของแขนกลเป็นโปรแกรมย่อยจากโปรแกรมย่อยอินทิเกรท ซึ่งมีรูปแบบของการเรียกใช้เป็น romech(nofe,x,y,,f) โดยที่ nofe บอกจำนวนของสมการอนุพันธ์อันดับที่ 1 x เป็นเวลาใดๆ ,y เป็นตัวแปรอนุพันธ์ ,h เป็นค่าของคาบเวลาของการส่งสัญญาณควบคุมและ f เป็นขนาดของแรงที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ การคำนวณของโปรแกรมย่อยนี้จะเรียกโปรแกรมย่อยฟังก์ชั่นด้วยรูปแบบ fcn(nofe,xfen,yfen,ydot,f) โดยที่ yfon เป็นค่าปัจจุบันของอนุพันธ์ ydot เป็นค่าของอนุพันธ์ที่เวลาเพิ่มขึ้น 1 คาบหรือผลการเคลื่อนที่เมื่อมีแรง F มากระทำต่อลิงค์ ซึ่งจะเป็นตำแหน่งปัจจุบันของคาบเวลาต่อมา รายละเอียดโปรแกรมดูจากภาคผนวก จ. โฟลชาร์ทดูจากรูปที่ 5.5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

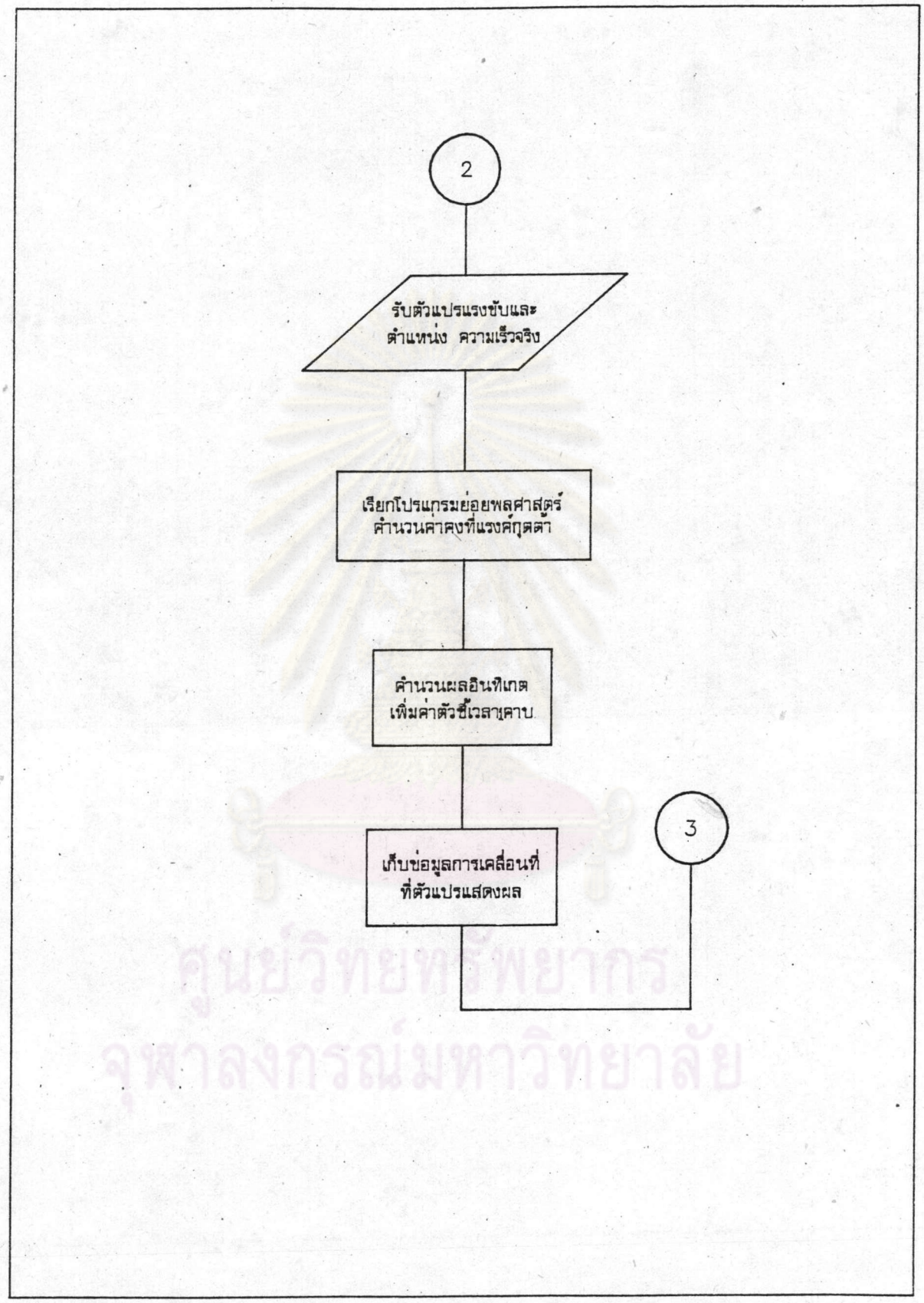


รูปที่ 5.3 โฟลชาร์ทโปรแกรมกำหนดแนวทางการเคลื่อนที่



รูปที่ 5.4 โฟลชาร์ทโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่แบบป้อนกลับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.5 โฟลชาร์ทโปรแกรมอินทิเกรทหาผลการเคลื่อนที่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย