สื่อการเรียนรู้ วิชากลศาสตร์วิศวกรรม 2 โดยโปรแกรม MSC.ADAMS

(Engineering Mechanics II Simulation Training Using MSC.ADAMS)

นาย สุรศักดิ์ เสิกภูเขียว รหัสนิสิต 47380158

นาย ธวัช แลใจ รหัสนิสิต 47380387

นาย อัยการ ตุ้ยสิทธิ์ รหัสนิสิต 47380396

150741
ส.
ส 864 ส
2552
c.2

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2552

ใบรับรองโครงงาน

หัวข้อโครงงาน : สื่อการเรียนรู้ วิชากลศาสตร์วิศวกรรม 2 โดยโปรแกรม MSC.ADAMS
(Engineering Mechanics II Simulation Training Using MSC.ADAMS)

ผู้ดำเนินโครงงาน : นาย สุรศักดิ์ เสิกภูเขียว รหัสนิสิต 47380158
นาย ธวัช แลใจ รหัสนิสิต 47380387
นาย อัยการ ตุ้ยสิทธิ์ รหัสนิสิต 47380396

ที่ปรึกษาโครงงาน : อาจารย์ปองพันธ์ โอทกานนท์

ปีการศึกษา : 2552

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะกรรมการสอบโครงงาน

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์ปองพันธ์ โอทกานนท์)

.....กรรมการ
(ดร.รัตนา การุญบุญญานันท์)

.....กรรมการ
(ดร.ศลิษา วีรพันธุ์)

หัวข้อโครงงาน : สื่อการเรียนรู้ วิชากลศาสตร์วิศวกรรม 2 โดยโปรแกรม MSC.ADAMS
(Engineering Mechanics II Simulation Training Using MSC.ADAMS)

ผู้ดำเนินโครงงาน : นาย สุรศักดิ์ เสิกภูเขียว รหัสนิสิต 47380158
นาย ธวัช แลใจ รหัสนิสิต 47380387
นาย อัยการ ตุ้ยสิทธิ์ รหัสนิสิต 47380396

ที่ปรึกษาโครงงาน : อาจารย์ปองพันธ์ โอทกานนท์
สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล
ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา : 2552

บทคัดย่อ

โครงงานเรื่องนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำสื่อการเรียนรู้ที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ทางกลของอนุภาคในรายวิชากลศาสตร์วิศวกรรม 2 (Engineering Mechanics II) ซึ่งประกอบด้วยเรื่อง จลนศาสตร์ของอนุภาค (Kinematics of a particle) และจลนพลศาสตร์ของอนุภาค (Kinetics of a particle) โดยนำเอาโปรแกรม MSC.ADAMS/Views มาใช้สร้างแบบจำลองเพื่อหาผลลัพธ์

จากการสร้างแบบจำลองโดยโปรแกรมMSC.ADAMS/Views แสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนที่ของอนุภาคและผลลัพธ์ที่ได้จากกราฟในช่วงเวลาที่ทำการทดสอบ ซึ่งสามารถหาคำตอบที่ต้องการทราบที่อยู่ในช่วงต่างๆภายใต้เงื่อนไขของโจทย์ปัญหา ผลลัพธ์ที่ได้จากการสร้างแบบจำลองทางทฤษฎีทั้งหมด 10 ข้อ มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่เป็นศูนย์ ยกเว้นแบบฝึกหัดที่ 7 ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.15 เปอร์เซ็นต์ และ 0.107 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเกิดขึ้นจากจากการสร้างแบบจำลองไม่ตรงตามเงื่อนไขของการหาคำตอบทางทฤษฎี

ดังนั้นในการหาผลลัพธ์ของแบบจำลองควรเลือกใช้ช่วงความถี่ (Step size) ที่เหมาะสม เนื่องจากบางแบบจำลองใช้ช่วงความถี่ในการหาผลลัพธ์ที่ต่างกัน ยิ่งใช้ช่วงความถี่มากเท่าไรผลลัพธ์ที่ได้ก็จะมีความแม่นยำมากเท่านั้น

Project Title : (Engineering Mechanics II Simulation Training Using MSC.ADAMS)

Name : Mr. Surasak Serkphukheew Student ID 47380158

Mr. Thawat Laejai Student ID 47380387

Mr. Aiyakan Tuisit Student ID 47380396

Project Advisor : Mr. Pongpun Othaganont

Department : Mechanical Engineering

Academic Year : 2009

Abstract

The objective of this project is to create learning materials related to mechanical simulation of particles in the course Engineering Mechanics II, which contains matter Kinematics of particles and kinetics of particles. By use program MSC.ADAMS / Views to create models and find results.

Model was created by the program MSC.ADAMS / Views and simulation shows its movement during time test. The answer can found by graph under the condition of the problem. The results show that every model has a zero percentage of error. Except exercise 7 has discrepancy equal to 0.15 percent and 0.107 percent. It comes from the create modeling does not meet the exercise condition.

Therefore, appropriate simulation frequency range should be selected to have an acceptable result because different model use different frequency range to find the accurate answer. Higher frequency sampling rate shows result in greater accuracy.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานศึกษาวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีเพราะได้รับความช่วยเหลือ ในด้านการให้คำแนะนำในการทำโครงงานจาก อาจารย์ ปองพันธ์ โอทกานนท์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือให้คำปรึกษาและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ตลอดระยะเวลาที่ทำโครงการศึกษาวิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ครูช่างทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ทางด้านอุปกรณ์ต่าง ๆ เทคนิคในการทำงานเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณเพื่อนทุกท่านที่ช่วยเหลืองานด้านการทำโครงงานให้เสร็จสิ้นโดยเรียบร้อย

สุดท้ายนี้ผู้ดำเนินโครงงานขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจแก่ผู้ดำเนินโครงงานตลอดมา อย่างสม่ำเสมอ

นาย สุรศักดิ์ เสิกฎเขียว
นาย ธวัช แลใจ
นาย อัยการ ตุ้ยสิทธิ์

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงงาน	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.4 ขอบเขต	1
1.5 ระยะเวลาและแผนปฏิบัติงาน	2
1.6 รายละเอียดของงบประมาณ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ประวัติความเป็นมาของโปรแกรม MSC. ADAMS	3
2.2 คำจำกัดความ	3
2.3 จลนศาสตร์ของอนุภาค (Kinematics of Particle)	4
2.4 จลนพลศาสตร์ของอนุภาค (Kinetics of Particle)	11
2.5 จลนพลศาสตร์ของอนุภาค: งานและพลังงาน	14
2.6 จลนพลศาสตร์ของอนุภาค: การคลและโมเมนตัม	20
บทที่ 3 การดำเนินงาน	30
3.1 ศึกษาข้อมูล	30
3.2 การใช้โปรแกรม MSC. ADAMS กับวิชากลศาสตร์วิศวกรรม 2	31
3.3 การนำสื่อการเรียนรู้ไปใช้งาน	38

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์	39
4.1 การเคลื่อนที่ของแบบจำลอง	40
4.2 การแสดงผลลัพธ์	41
4.3 ความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์	43
4.4 การออกแบบการสร้างชิ้นงาน	44
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน	45
บรรณานุกรม	46
เอกสารแนบ	47
ประวัติผู้จัดทำโครงงาน	

มหาวิทยาลัยนเรศวร

สาบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงระยะ x ในตำแหน่งของ p 4

รูปที่ 2.2 แสดงระยะ x' ในตำแหน่งของ p' 4

รูปที่ 2.3 แสดงความเร็วในตำแหน่ง x และตำแหน่ง $x+\Delta x$ ณ.เวลา t และ $t+\Delta t$ 4

รูปที่ 2.4 แสดงความเร่งเมื่อช่วงเวลา t และ $t+\Delta t$ 5

รูปที่ 2.5 แสดงเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาคที่เคลื่อนที่ตามแนวเส้นโค้ง 6

รูปที่ 2.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเร็วของอนุภาค 7

รูปที่ 2.7 แสดงขนาดและทิศทางของความเร็ว 7

รูปที่ 2.8 แสดงความเร็วของอนุภาคตามเส้นทางการเคลื่อนที่ 7

รูปที่ 2.9 แสดงทิศทางของความเร่งตามเส้นทางการเคลื่อนที่ 8

รูปที่ 2.10 แสดงการเคลื่อนที่วิถีโค้งของอนุภาคแบบโปรเจกไทล์ 8

รูปที่ 2.11 แสดงอนุภาค p เมื่อเคลื่อนที่ไปตามเส้นโค้ง 9

รูปที่ 2.12 แสดงอนุภาค p ถูกกระทำด้วยแรง F_1 และ F_2 12

รูปที่ 2.13 แสดงผลลัพธ์จากการรวมแรง F_1 และ F_2 12

รูปที่ 2.14 แสดงอนุภาคเคลื่อนที่โดยเทียบกับกรอบอ้างอิงเฉื่อย $x-y-z$ 12

รูปที่ 2.15 แสดงแรงย่อยทั้งหมดที่กระทำต่ออนุภาคทิศทางตามแกน $n-t-b$ 13

รูปที่ 2.16 แสดงแรง F ที่กระทำต่ออนุภาคให้เคลื่อนที่ไปตามเส้นทางการเคลื่อนที่ s 14

รูปที่ 2.17 แสดง แรง F กระทำต่ออนุภาคตามเส้นทาง s 15

รูปที่ 2.18 พิจารณาพื้นที่ใต้กราฟ s กับ $F\cos\theta$ จะได้งาน U_{1-2} 15

รูปที่ 2.19 แสดง แรง F_c ที่กระทำต่ออนุภาค กับเส้นทาง 16

รูปที่ 2.20 แสดงงานจากพื้นที่สี่เหลี่ยมของกราฟ s_1 กับ $F\cos\theta$ 16

รูปที่ 2.21 แสดงงานเนื่องจากแรงสปริง 17

รูปที่ 2.22 แสดงหลักการงานและพลังงาน 18

รูปที่ 2.23 แสดงการการเลื่อนไถลของกล่อง 19

รูปที่ 2.24 แสดงผังการคลและโมเมนตัมของอนุภาค 21

รูปที่ 2.25 การคลและโมเมนตัมเชิงเส้นของระบบอนุภาคที่เคลื่อนที่ในกรอบอ้างอิงเฉื่อย 22

รูปที่ 2.26 การกระทบกันในแนวตรง 23

รูปที่ 2.27 แสดงกากระทบของอนุภาคในแนวเฉียง 25

รูปที่ 2.28 แสดงรูปกฎมือขวา 26

สาบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.29 แสดงมวลเคลื่อนที่ไปตามเส้นโค้ง 26
รูปที่ 2.30 แสดงแผนผังขั้นตอนกำหนดการสร้างแบบจำลอง 31
รูปที่ 4.1 แสดงการยืดตัวของสปริงเมื่อถูกมวลกระทำ 39
รูปที่ 4.2 แสดงการหดตัวของสปริงเนื่องจากแรงของสปริง 40
รูปที่ 4.3 แสดงกราฟในช่วงเวลาที่ทำการ Simulation 41
รูปที่ 4.4 แสดงกราฟเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน 42
รูปที่ 4.5 แสดงแผนภาพการออกแบบสร้างชิ้นงานของโปรแกรม MSC. ADAMS 44

มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

เนื่องจาก วิชากลศาสตร์วิศวกรรม 2 (Engineering Mechanics II) เป็นแขนงหนึ่งของวิชากลศาสตร์ที่ต้องใช้ความเข้าใจถึงสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุและผลของแรงที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่หรือเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่เป็นอย่างมาก ดังนั้นทำให้นิสิตนักศึกษาที่เรียนในรายวิชานี้ เกิดอุปสรรคในการจิตนาการสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ ในการแก้โจทย์ปัญหาข้อนั้นๆ จึงส่งผลให้นิสิตนักศึกษาเรียนไม่เข้าใจ

ดังนั้นโครงงานเรื่องนี้ จึงนำโปรแกรม MSC.ADAMS/Views ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ในจำลองการเคลื่อนที่ทางกลของวัตถุในคอมพิวเตอร์ มาแก้โจทย์ปัญหาการเคลื่อนที่ทางกลของอนุภาคในรายวิชากลศาสตร์วิศวกรรม2 (Engineering Mechanics II) โดยประกอบด้วยเรื่องจลนศาสตร์ (Kinematics) และจลนพลศาสตร์ (Kinetics) เพื่อจัดทำเป็นสื่อการเรียนรู้ให้นิสิตนักศึกษาและผู้ที่สนใจได้นำไปศึกษา ซึ่งสิ่งที่ได้นอกเหนือจากผลลัพธ์ที่ตรงกับการคำนวณด้วยทฤษฎีแล้ว โปรแกรม MSC.ADAMS/Views ยังสามารถแสดงสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุและผลลัพธ์ทางกราฟทุกตำแหน่งในแนวการเคลื่อนที่ของวัตถุได้ เพื่อทำให้นิสิตเกิดความเข้าใจมากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

โครงงานเรื่องนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำสื่อการเรียนรู้การเคลื่อนที่ทางกลของอนุภาค ในรายวิชากลศาสตร์วิศวกรรม 2(Engineering Mechanics II) โดยประกอบด้วยเรื่องจลนศาสตร์ (Kinematics) และจลนพลศาสตร์ (Kinetics) ซึ่งได้นำเอาโปรแกรม MSC.ADAMS/Views มาประยุกต์ในแก้โจทย์ปัญหาเพื่อแสดงผลลัพธ์และสภาพการเคลื่อนที่ของอนุภาค โดยจัดทำเพื่อเป็นสื่อการเรียนรู้ให้กับนิสิตนักศึกษาและผู้ที่สนใจ

1.3 ขอบข่ายของโครงงาน

1.ศึกษาทฤษฎีเรื่องจลนศาสตร์ (Kinematics) และจลนพลศาสตร์ (Kinetics) ของอนุภาคในรายวิชากลศาสตร์วิศวกรรม 2(Engineering Mechanics II)

2.ศึกษาการใช้โปรแกรม MSC.ADAMS/Views

3.สร้างสื่อการเรียนรู้การเคลื่อนที่ทางกลของอนุภาค ในเรื่องจลนศาสตร์ (Kinematics) และจลนพลศาสตร์ (Kinetics) โดยใช้โปรแกรม MSC.ADAMS/Views

1.4 กิจกรรมการดำเนินโครงงาน

1.4.1 ศึกษาทฤษฎีในเรื่องจลนศาสตร์ (Kinematics) และ จลนพลศาสตร์ (Kinetics) ของอนุภาคในรายวิชากลศาสตร์วิศวกรรม 2 (Engineering Mechanics II) และการใช้โปรแกรม MSC.ADAMS/Views

1.4.2 จัดทำสื่อการเรียนรู้การเคลื่อนที่ทางกลของอนุภาคในรายวิชากลศาสตร์วิศวกรรม 2 (Engineering Mechanics II) ซึ่งประกอบด้วยเรื่องจลนศาสตร์ (Kinematics) และจลนพลศาสตร์ (Kinetics) โดยใช้โปรแกรม MSC.ADAMS

1.4.3 ทดลองใช้สื่อการเรียนรู้

1.4.4 รวบรวมข้อมูลเย็บเป็นรูปเล่ม

ขั้นตอนดำเนินงาน	ปีการศึกษา 2552							
	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.
1.4.1	→	→	→	→				
1.4.2				→	→	→	→	
1.4.3							→	
1.4.4								→

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถใช้และเผยแพร่ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับโปรแกรม MSC.ADAMS/Views ได้ถูกต้อง

1.5.2 สามารถจัดทำสื่อการเรียนรู้การเคลื่อนที่ทางกลของอนุภาคในรายวิชากลศาสตร์วิศวกรรม 2 (Engineering Mechanics II) ได้

1.5.3 นิสิตนักศึกษาและผู้ที่สนใจ สามารถศึกษาและใช้สื่อการเรียนรู้ได้อย่างเข้าใจ

1.5.4 นิสิตนักศึกษา อาจารย์ และผู้ที่สนใจ สามารถศึกษาเพิ่มเติมและพัฒนาต่อไปได้ โดยนำสื่อการเรียนรู้เรื่องการเคลื่อนที่ทางกลของอนุภาคในรายวิชากลศาสตร์วิศวกรรม 2 (Engineering Mechanics II) ไปเป็นแนวทางเพื่อให้เกิดประโยชน์ให้ได้มากที่สุด

1.6 งบประมาณ

1.6.1 ค่ากระดาษ A4	1,000 บาท
1.6.2 ค่าถ่ายเอกสารและเข้าเล่ม	2,000 บาท
1.6.3 อื่นๆ	1,000 บาท
รวมทั้งสิ้น	**4,000 บาท**

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประวัติความเป็นมาของโปรแกรม MSC. ADAMS

ADAMS: Automatic Dynamic Analysis of Mechanical Systems. ถือเป็นเทคโนโลยีที่ถูกนำมาใช้แล้วประมาณ 25 ปี โดย สถาบันวิจัย Mechanical Dynamics Incorporated (MDI) ได้เป็นผู้พัฒนาฐานข้อมูล ADAMS ที่มหาวิทยาลัย Michigan โดย MDI ได้เป็นส่วนหนึ่งของ MSC. Software Corporation ตั้งแต่ ปี 2002

อดีต ADAMS/Solver ถือเป็นโปรแกรมวิเคราะห์ฐานข้อมูลต้นแบบที่มีขนาดใหญ่ ที่ใช้ในการแก้ปัญหากับ Nonlinear Numerical Equations โดยผู้ใช้ต้องสร้างชิ้นงาน (Models) จากเครื่องมือในโปรแกรมจากนั้นนำไปสู่การวิเคราะห์ ADAMS/Solver

ในช่วงตั้งแต่ปี 1990 ADAMS/View ได้ถูกนำมาสร้างเพื่อวิเคราะห์แก้ปัญหา และในปัจจุบันอุตสาหกรรมต่างๆ ได้มีการพัฒนาโปรแกรม MSC.ADAMS ในด้านต่างๆอีกมาก เช่น ADAMS /Car, ADAMS /Rail, ADAMS /Engine เป็นต้น

2.2 คำจำกัดความ

-พลศาสตร์ (Dynamics) คือการพิจารณาถึงสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุภายใต้แรงกระทำ ซึ่ง พลศาสตร์ (Dynamics) ได้แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ จลนคณิตศาสตร์ (Kinematics) และจลนศาสตร์ (Kinetics)

-จลนคณิตศาสตร์ (Kinematics) คือ การศึกษาสภาพและเส้นทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดยไม่พิจารณาถึงแรงที่กระทำต่อวัตถุ และสาเหตุที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่กล่าวถึงความเชื่อมโยงกันของ ระยะทาง ความเร็ว และความเร่ง

-จลนศาสตร์ (Kinetics) คือ การศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดยพิจารณาถึงแรงที่กระทำต่อวัตถุนั้นด้วย โดยกล่าวถึงความเชื่อมโยงกันของ แรง มวล และความเร่ง

-อนุภาค (Particle) คือ วัตถุใดๆ ที่มีมวล แต่จะไม่คำนึงถึงขนาดและรูปร่าง ทำให้เราจะพิจารณาวัตถุนั้นเป็นจุด หรือพิจารณาที่จุดศูนย์กลางมวลของวัตถุนั้น

-วัตถุคงรูป (Rigid Body) คือ วัตถุใดๆ ที่มีมวล และคำนึงถึงขนาดและรูปร่าง ดังนั้นเมื่อมีการเคลื่อนที่ การวิเคราะห์ปัญหาจำเป็นต้องพิจารณาการหมุนรอบจุดศูนย์กลางมวลของวัตถุด้วย

2.3 จลนคณิตศาสตร์ของอนุภาค (Kinematics of Particle)

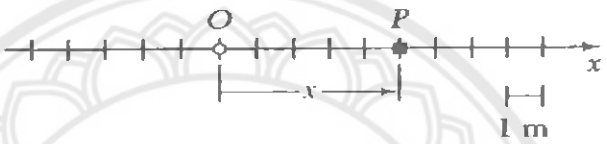
ในเรื่องจลนคณิตศาสตร์ของอนุภาค (Kinematics of Particle) จะศึกษาถึงการเคลื่อนที่ของวัตถุซึ่งเกี่ยวข้องกับความความสัมพันธ์ของตัวแปร 4 อย่างคือ ตำแหน่ง (Position), ความเร็ว (Velocity), ความเร่ง (Acceleration) และเวลา (Time) โดยไม่คำนึงถึงแรงที่กระทำต่อวัตถุ

2.3.1 จลนคณิตศาสตร์วิถีตรง (Kinematics of Rectilinear)

เป็นการวิเคราะห์การเคลื่อนที่เมื่ออนุภาคเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง หรืออนุภาคถูกบังคับให้เคลื่อนที่ใน 1มิติ เท่านั้น

- **ตำแหน่ง (Position)**

เป็นการพิจารณาอนุภาค ในแนวเส้นตรงที่แกน x



รูปที่ 2.1 แสดงระยะ x ในตำแหน่งของ p [5]

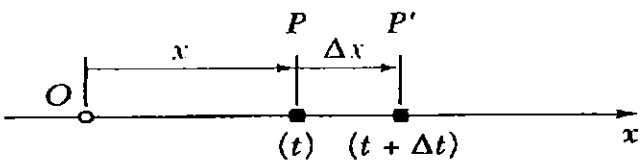
จากรูปที่ 2.1 ตำแหน่งของอนุภาคที่จุด p ซึ่งแทนด้วยตัวแปร x คือระยะทางที่วัดจากจุด O (Origin) ไปยังอนุภาค ซึ่งจะได้ $x = 5$ เมตร

รูปที่ 2.2 แสดงระยะ x' ในตำแหน่งของ p' [5]

จากรูปที่ 2.2 ตำแหน่งของอนุภาคที่จุด p' มีค่าเป็นลบ เมื่ออนุภาคอยู่ทางด้านซ้ายของจุด Origin ไปยังอนุภาค ซึ่งจะได้ $x' = -2$ เมตร

- **ความเร็ว (Velocity)**

พิจารณาอนุภาคที่กำลังเคลื่อนที่ตามแกน x โดยมีตำแหน่ง x ณ. เวลา t และตำแหน่ง $x + \Delta x$ ณ. เวลา $t + \Delta t$



รูปที่ 2.3 แสดงความเร็ว ในตำแหน่ง x และตำแหน่ง $x + \Delta x$ ณ.เวลา t และ $t + \Delta t$ [5]

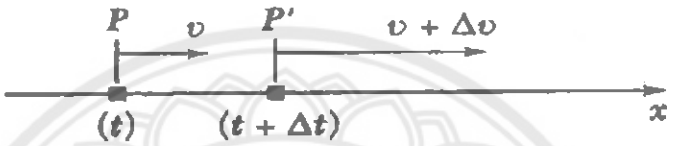
$$\text{ความเร็วเฉลี่ย (Average Velocity)} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad \ldots (1)$$

$$\text{ความเร็วขณะใดขณะหนึ่ง (Instantaneous velocity)} = v = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad \ldots (2)$$

โดยความเร็วขณะใดขณะหนึ่ง อาจจะเป็นบวกหรือลบก็ได้

- **ความเร่ง (Acceleration)**

อนุภาคมีความเร็ว v ณ. เวลา t และ มีความเร็ว $v + \Delta v$ ณ.เวลา $t + \Delta t$ ดังรูป 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงความเร่ง เมื่อช่วงเวลา t และ $t + \Delta t$ [5]

$$\text{ความเร่งเฉลี่ย (Average acceleration)} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad \ldots (3)$$

$$\text{ความเร่งขณะใดขณะหนึ่ง (Instantaneous acceleration)} = a = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad \ldots (4)$$

โดย ความเร่งขณะใดขณะหนึ่ง อาจมีค่า

เป็นบวก: ความเร็วที่เป็นบวก มีค่าเพิ่มขึ้น หรือ ความเร็วที่มีค่าเป็นลบ มีค่าลดลง

เป็นลบ: ความเร็วที่เป็นบวก มีค่าลดลงหรือ ความเร็วที่มีค่าเป็นลบ มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งความเร่งที่มีค่าเป็นลบ อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ความหน่วง (Deceleration)

จาก $v = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt}$ สมการที่ (2) และ $a = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt}$

สมการที่ (4) ซึ่ง เมื่อรวมสมการที่ (2) และสมการที่ (4) จะได้ ดังนี้

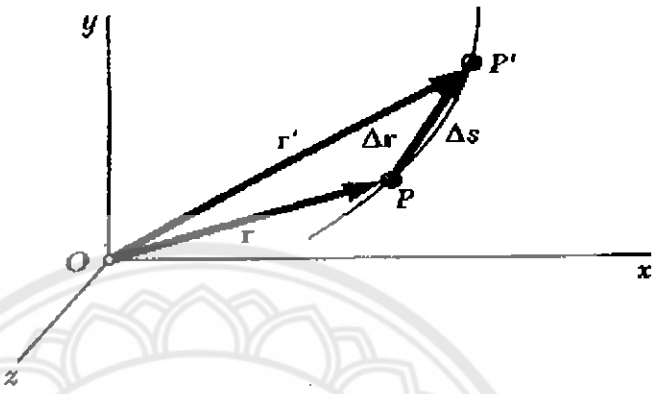
โดย $dt = \frac{dx}{v}$ มาแทนค่า ในสมการที่ (4) จะได้

$$a = \frac{dv}{dx/v} = \frac{vdv}{dx} \quad \ldots (5)$$

2.3.2 การเคลื่อนที่ทั่วไปวิถีโค้งของอนุภาค (Kinematics of Curvilinear)

การเคลื่อนที่ทั่วไปในแนวเส้นโค้งของอนุภาค(Curvilinear Motion of Particle) เป็นการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของอนุภาค เมื่ออนุภาคมีการเคลื่อนที่ใน 2 หรือ 3 มิติ

- เวกเตอร์ตำแหน่ง (Position Vector)



รูปที่ 2.5 แสดงเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาคที่เคลื่อนที่ตามแนว**เส้นโค้ง** [5]

จาก รูปที่ 2.5 จะพิจารณาอนุภาคที่เคลื่อนที่ตามแนวเส้นโค้ง จะได้

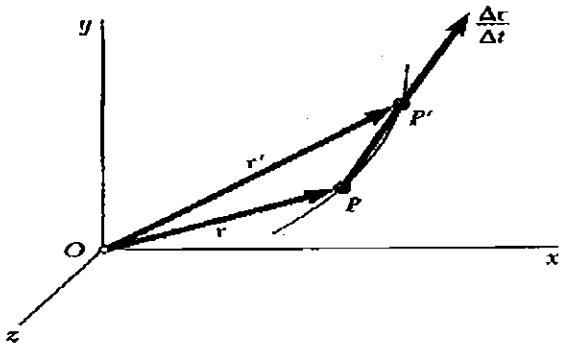
1. เวกเตอร์ตำแหน่ง ของอนุภาค ณ. เวลาใดๆ นิยามโดย เวกเตอร์จาก**จุดกำเนิด** (origin) O ซึ่งอยู่กับที่ ไปยังตำแหน่งของอนุภาค ณ. ขณะนั้น
2. อนุภาค ที่ตำแหน่ง p มีเวกเตอร์ตำแหน่งเป็น $\vec{r}$
3. อนุภาค ที่ตำแหน่ง p' มีเวกเตอร์ตำแหน่งเป็น $\vec{r}'$
4. ผลต่างของเวกเตอร์ตำแหน่งทั้งสองคือ $\Delta\vec{r} = \vec{r}' - \vec{r}$

- เวกเตอร์ความเร็ว (Velocity Vector)

ให้อนุภาค ณ. เวลา t อยู่ที่ตำแหน่ง p มีเวกเตอร์ตำแหน่งเป็น $\vec{r}$ และ ณ. เวลา $t+\Delta t$ อยู่ที่ตำแหน่ง p' มีเวกเตอร์ตำแหน่งเป็น $\vec{r}'$ จะได้

$$\text{ความเร็วเฉลี่ย} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} \qquad \ldots (6)$$

$$\text{ความเร็วขณะใดขณะหนึ่ง (Instantaneous Velocity)} \quad \vec{v} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} \qquad \ldots (7)$$

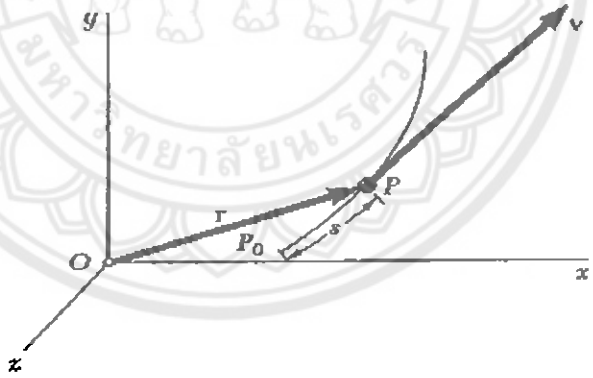


รูปที่ 2.6 แสดง การเปลี่ยนแปลงความเร็วของอนุภาค [5]

จากรูปที่ 2.6 จะได้ว่า

1. ขนาดของความเร็ว เรียกว่า อัตราเร็ว เป็นปริมาณสเกลาร์, $v = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}$ ... (8)

2. ทิศทางความเร็วจะสัมผัสกับแนวการเคลื่อนที่

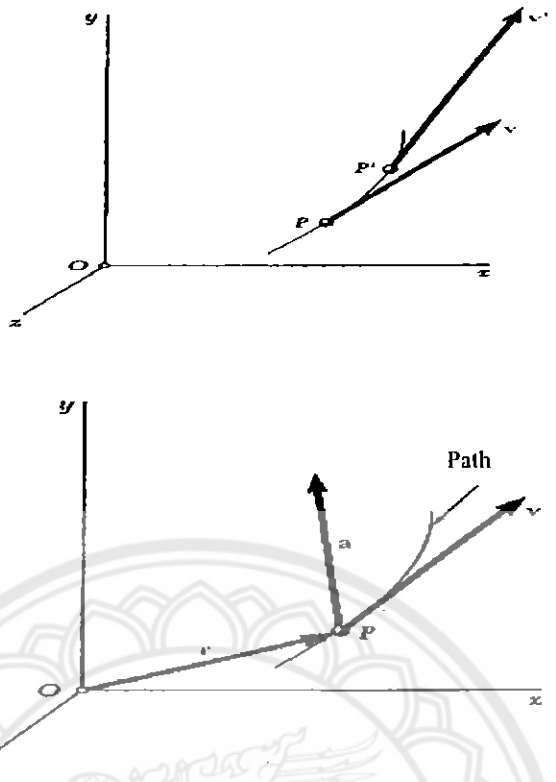


รูปที่ 2.7 แสดงขนาดและทิศทางของความเร็ว [5]

- **เวกเตอร์ความเร่ง (Acceleration Vector)**

ให้อนุภาค ณ.เวลา t อยู่ที่ตำแหน่ง p มีความเร็วเป็น v และ ณ เวลา $t + \Delta t$ อยู่ที่ตำแหน่ง p' มีความเร็วเป็น $v' = v + \Delta v$

ความเร่งขณะใดขณะหนึ่ง (Instantaneous Acceleration), $\vec{a} \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt}$ ... (9)



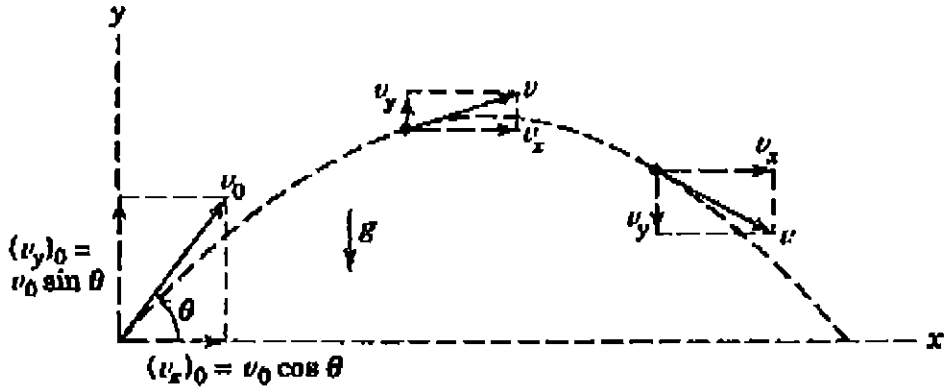
รูปที่ 2.9 แสดงทิศทางของความเร่งตามเส้นทางการเคลื่อนที่ [5]

โดยทั่วไปแล้ว ทิศทางของความเร่งไม่ได้สัมผัสกับแนวการเคลื่อนที่ ดังรูป 2.9

2.3.3 การเคลื่อนที่วิถีโค้งของอนุภาคแบบโปรเจกไทล์ (Motion of a Projectile)

เป็นการเคลื่อนที่ที่พุ่งอย่างอิสระ ไม่มีแรงมากระทำ เช่น การปาก้อนหินในอากาศ **การพุ่งแหลน เป็นต้น การเคลื่อนที่แบบนี้** มักวิเคราะห์โดยอาศัยระบบแกนพิกัด $x-y-z$ เนื่องความ**เร่งคงที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลก** ($g = a_c = 9.81 m/s^2$)

กำหนดให้อนุภาคพุ่งจากจุด (x_0, y_0) ดังแสดงในรูป 2.9 เส้นที่การเคลื่อนที่บนระนาบ $x-y$ **โดยที่จุดเริ่มต้นมีความเร็ว** v_0 และมีความเร็วย่อยตามแกน $x-y$ เป็น $(v_0)_x$ และ $(v_0)_y$ ซึ่งมีการพิจารณา ดังนี้



รูปที่ 2.10 แสดง การเคลื่อนที่วิถีโค้งของอนุภาคแบบโปรเจกไทล์ [5]

- **การเคลื่อนที่ในแนวระดับ**

ความเร็วของอนุภาคตามแกน x จะคงที่ตลอด เนื่องจาก ความเร่งตามแกน x, $a_c = 0$ ดังนั้น จะได้สมการดังนี้ $x = x_0 + (v_0)_x t$

- **การเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง**

โดยทั่วไป สมการการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งหรือแนวแกน y มีดังนี้

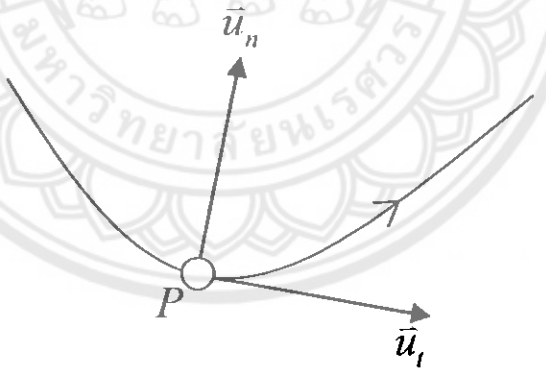
$$v_y = (v_0)_y + a_c t \quad \ldots (10)$$

$$y = y_0 + (v_0)_y t + \frac{1}{2} a_c t^2 \quad \ldots (11)$$

$$v_y^2 = (v_0)_y^2 + 2a_c(y - y_0) \quad \ldots (12)$$

2.3.4 การเคลื่อนที่วิถีโค้งระบบแกนตั้งฉากและสัมผัส (Normal and Tangential Components)

ในกรณีที่อนุภาคเคลื่อนที่ไปตามเส้นโค้งใดๆ ที่ทราบลักษณะเส้นทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค เช่น รัศมีความโค้ง หรือระยะทางของเส้นโค้ง เป็นต้น การวิเคราะห์ด้วยแกนตั้งฉากและสัมผัส, $n-t$ จะถูกนำมาใช้



รูปที่ 2.11 แสดง อนุภาค p เมื่อเคลื่อนที่ไปตามเส้นโค้ง

พิจารณาอนุภาค p เคลื่อนที่ไปตามเส้นโค้งที่อยู่กับที่ในระนาบ ดังรูปที่ 2.10 โดยแกน t จะสัมผัสกับเส้นทางการเคลื่อนที่ ส่วนแกน n จะตั้งฉากเส้นทางการเคลื่อนที่และมีทิศทางพุ่งเข้าจุดศูนย์กลางความโค้งเสมอ

- **ความเร็ว**

1.ความเร็วของอนุภาคจะต้องสัมผัสกับเส้นทางการเคลื่อนที่เสมอ

2.ขนาดของความเร็วสามารถคำนวณได้จาก การหาอนุพันธ์ของฟังก์ชันทางเดินเมื่อเทียบกับเวลา จะได้ $v = \dot{s}$

- **ความเร่งตามแกนสัมผัส**

1.ความเร่งย่อยตามแกนสัมผัสเป็นผลที่เกิดจากอัตราการเปลี่ยนแปลงของขนาดความเร็วต่อหน่วยเวลา โดยจะมีทิศเป็นบวกเมื่อมีความเร็วเพิ่มขึ้น หรือเป็นลบเมื่อมีความเร็วลดลง

2.ความสัมพันธ์ระหว่างเทอม a_t, v, t และ s จะเหมือนกับการเคลื่อนที่วิถีตรง นั้นคือ $a_t = \dot{v}$ และ $a_t ds = v dv$

3.ถ้าความเร่งตามแนวสัมผัส a_t มีค่าคงที่, $a_t = (a_t)_c$ จากสมการข้างต้นและเมื่ออินติเกรต จะได้

$$v = (v_0) + (a_t)_c t \quad \ldots (13)$$

$$s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2}(a_t)_c t^2 \quad \ldots (14)$$

$$v^2 = v_0^2 + 2(a_t)_c (s - s_0) \quad \ldots (15)$$

- **ความเร่งตามแนวตั้งฉาก**

1.ความเร่งตามแกนตั้งฉาก เกิดจากอัตราการเปลี่ยนแปลงทิศของความเร็วต่อหน่วยเวลา โดยจะพุ่งเข้าสู่จุดศูนย์กลางของเส้นโค้งทางเดินเสมอ นั้นคือ พุ่งไปตามทิศบวกของแกน n

2.ขนาดของความเร่งย่อยตามแกนตั้งฉากคำนวณได้จาก สมการ $a_n = \frac{v^2}{\rho}$

3.ถ้าเส้นทางที่กำหนดเป็นรัศมีของความโค้งที่จุดใดๆ บนเส้นทางเดินจะคำนวณหาได้จาก สมการ

$$\rho = \frac{\left[1 + (dy/dx)^2\right]^{3/2}}{\left|d^2y/dx^2\right|} \quad \ldots (16)$$

ในกรณีที่เส้นทางเดินของอนุภาคเป็น วงกลม หรือเป็นการเคลื่อนที่ที่มีวิถีโค้งหมุนรอบวงกลมรัศมีด้วยความเร็วเชิงมุม และความเร่งเชิงมุม นั่นคือ

$$v = \rho\dot{\theta} \text{ และ } v = r\dot{\theta} = r\omega \quad \ldots (17)$$

$$a_n = \frac{v^2}{r} = r\omega^2 = v\omega \quad \ldots (18)$$

เนื่องจาก รัศมีวงกลมมีค่าคงที่ ดังนั้น $\dot{\rho} = \dot{r} = 0$ นั้นคือ $a_t = r\ddot{\theta} = r\alpha = \dot{v}$

2.4 จลนศาสตร์ของอนุภาค (Kinetics of Particle)

เป็นการศึกษาการเคลื่อนที่ของอนุภาค โดยพิจารณาถึงแรงที่กระทำต่ออนุภาคนั้นด้วย โดยกล่าวถึงความเชื่อมโยงกันของ แรง มวล และความเร่ง

1. กฎข้อที่สองของนิวตัน: "อนุภาคที่ถูกกระทำโดยแรงลัพธ์หรือระบบแรงที่ไม่สมดุล F จะเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง a ที่มีทิศไปทางเดียวกับแรงลัพธ์ และขนาดของความเร่งจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงลัพธ์ที่กระทำกับอนุภาค" เขียนเป็นสมการคณิต ได้ดังนี้ $\sum \vec{F} = m\vec{a}$

2. กฎโน้มถ่วงของนิวตัน (Newton' Law of Gravitational Attraction) เป็นกฎแรงดึงดูดกันระหว่างสองอนุภาค ซึ่งได้ ดังนี้

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2} \quad \ldots (19)$$

เมื่อ

F = แรงดึงดูดกันระหว่างสองอนุภาค

$G = 66.73(10^{-12})m^3/(kg.s^2)$

3.มวลและน้ำหนัก: สามารถคำนวณหาน้ำหนัก (W) ได้

$$W = G\frac{mm_2}{r^2} \quad \ldots (20)$$

เมื่อ

m = อนุภาคของมวล m_1

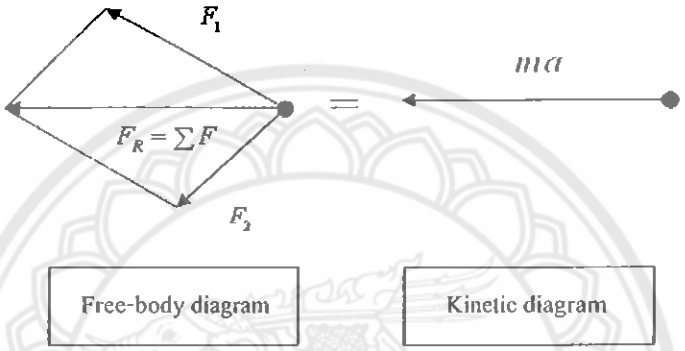
m_2 = มวลของโลก

r = ระยะทางระหว่างจุดศูนย์ของโลกถึงอนุภาค

และถ้า $g = G\frac{m_2}{r^2}$ จะได้ $W = mg$

4.สมการการเคลื่อนที่ (The Equation of Motion) : เมื่อมีแรงมากกว่าหนึ่งแรงมากระทำต่ออนุภาค แรงลัพธ์สามารถหาได้ ดังนี้ $F_r = \sum \vec{F} = m\vec{a}$

รูปที่ 2.12 แสดง อนุภาค p ถูกกระทำด้วยแรง F_1 และ F_2 [5]



รูปที่ 2.13 แสดง ผลลัพธ์จากการรวมแรง F_1 และ F_2

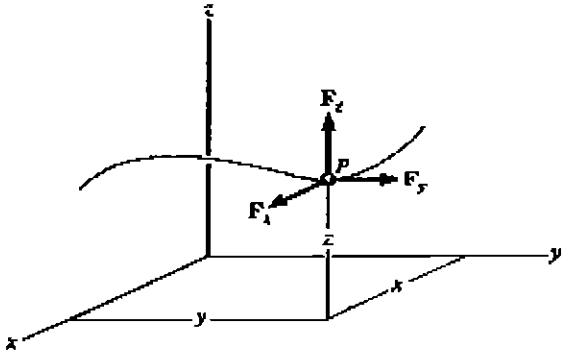
เมื่อ พิจารณาอนุภาค p มวล m ดังรูปที่ 2.12 ถูกกระทำโดยแรง F_1 และ F_2 **สามารถเขียนแผนผังวัตถุอิสระแสดง**ขนาดของแรงและทิศของแรงทั้งสองที่กระทำต่ออนุภาค ดังรูปที่ 2.13

2.4.1 สมการของการเคลื่อนที่: ระบบแกนพิกัดฉาก

พิจารณาอนุภาคเคลื่อนที่โดยเทียบกับกรอบอ้างอิงเฉื่อย $x-y-z$ แรงที่กระทำต่ออนุภาค **สามารถเขียนในเทอมย่อย**ของ i, j, k ตามแกน $x-y-z$ **ได้ดังรูปที่** 13.5 จากสมการการเคลื่อนที่ **จะได้**

$$\sum F = ma$$

$$\sum F_x i + \sum F_y j + \sum F_z k = m(a_x i + a_y j + a_z k) \qquad \ldots (21)$$



รูปที่ 2.14 แสดง อนุภาคเคลื่อนที่โดยเทียบกับกรอบอ้างอิงเฉื่อย $x-y-z$ [5]

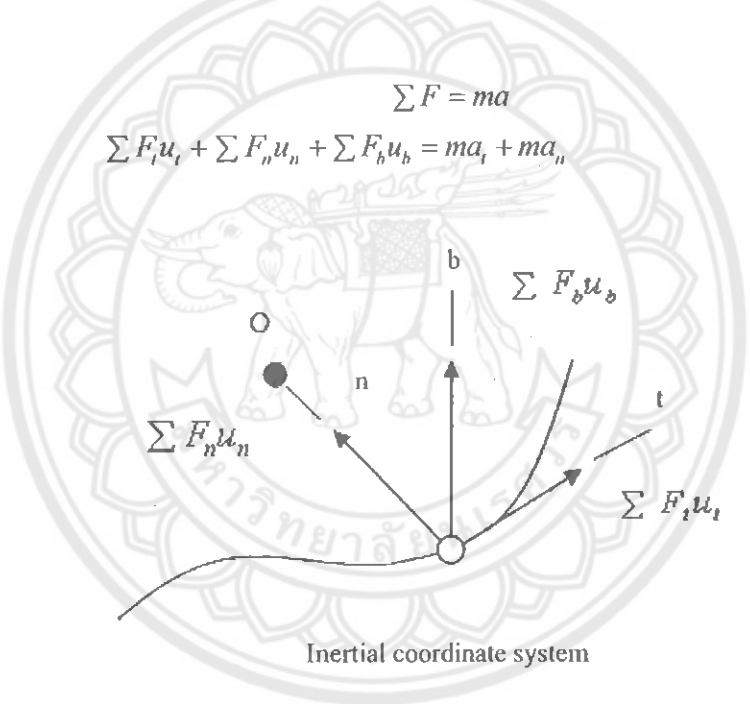
โดยการเทียบกับสัมประสิทธิ์เทอม i, j, k จะสามารถเขียนสมการย่อยของการเคลื่อนที่ในเทอมของปริมาณเสเกลาร์ได้ คือ

$$\sum F_x = ma_x$$
$$\sum F_y = ma_y$$
$$\sum F_z = ma_z$$

2.4.2 สมการของการเคลื่อนที่: ระบบแกนตั้งฉากและสัมผัส

ในกรณีที่อนุภาคเคลื่อนที่ไปตามเส้นโค้งทางเดิน สมการของการเคลื่อนที่ของอนุภาคสามารถเขียนในเทอมย่อยของระบบแกนตั้งฉากสัมผัส และตั้งฉากระนาบ (Normal, Tangent, Binormal) $n-t-b$ และสามารถเขียนยูนิตเวกเตอร์ตามแกนต่างๆ ได้เป็น u_n, u_t, u_b ตามลำดับ ได้ดังนี้

$$\sum F = ma$$
$$\sum F_t u_t + \sum F_n u_n + \sum F_b u_b = ma_t + ma_n \quad \text{... (22)}$$



รูปที่ 2.15 แสดงแรงย่อยทั้งหมดที่กระทำต่ออนุภาคทิศทางตามแกน $n-t-b$

$\sum F_n, \sum F_t, \sum F_b$ เป็นผลบวกของแรงย่อยทั้งหมดที่กระทำต่ออนุภาคทิศทางตามแกน $n-t-b$ ดังรูปที่ 2.15 เนื่องจากอนุภาคจะเคลื่อนที่ไปตามเส้นโค้งทางเดินในระนาบ $n-t$ อนุภาคจึงไม่เคลื่อนที่ไปตามแกน b ดังนั้นสมการข้างต้นเขียนในรูปสมการสเกลาร์ตามแกน $n-t-b$ ได้ดังนี้

$$\sum F_n = ma_n$$
$$\sum F_t = ma_t$$
$$\sum F_b = 0$$

พิจารณา $a_t = \frac{dv}{dt}$ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงขนาดของความเร็วเทียบการเวลา ดังนั้น $\sum F_t$ กระทำต่ออนุภาคตามทิศการเคลื่อนที่จะทำให้อนุภาคมีอัตราเร็วเพิ่มขึ้น และถ้ากระทำต่อทิศตรงกันข้ามอนุภาคจะมีอัตราเร็วลดลง ส่วนเทอม $a_n = \frac{v^2}{\rho}$ จะแทนอัตราการเปลี่ยนแปลงขนาดของความเร็วเทียบการเวลา และมีทิศพุ่งตามทิศบวกของแกน n (โดยมีทิศพุ่งเข้าสู่จุดศูนย์กลางของเส้นโค้งทางเดินเสมอ) ดังนั้น $\sum F_n$ จะกระทำต่ออนุภาคทำให้เกิดความเร่ง a_n และ มีทิศเดียวกับ a_n

2.5 จลนศาสตร์ของอนุภาค: งานและพลังงาน

2.5.1 งานเนื่องจากแรง

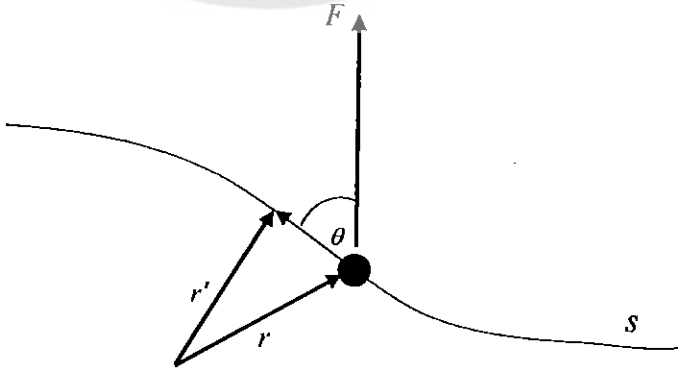
เมื่อมีแรงกระทำต่ออนุภาค จะทำให้ให้เกิดงานได้ก็ต่อเมื่ออนุภาคนั้นเคลื่อนที่แล้วการกระจัดที่ได้จะต้องมีทิศเดียวกับแรง จากรูปที่ 14.1 แรง F กระทำต่ออนุภาคทำให้เคลื่อนที่ไปตามเส้นทางการเคลื่อนที่ s จากเวกเตอร์ระบุตำแหน่ง r ไปยัง r' การกระจัดจะได้ค่าที่เป็น $dr = r' - r$ ขนาดของการกระจัด dr เขียนได้เป็น ds ซึ่งเป็นส่วนโค้งเล็กๆบนเส้นทางการเคลื่อนที่ ถ้ามุมระหว่าง dr กับ F คือ θ ดังนั้นงาน dU ที่เกิดจากการกระทำของแรง F คือ

$$dU = Fs\cos\theta$$

ซึ่งเป็นปริมาณสเกลาร์ จากคำนิยามของผลคูณเชิงสเกลาร์ เขียนสมการของงานได้เป็น

$$dU = F \cdot dr$$

จากสมการผลคูณเชิงสเกลาร์ งาน เป็นผลคูณของแรงกับการกระจัดที่มีทิศไปทางเดียวกับแรง

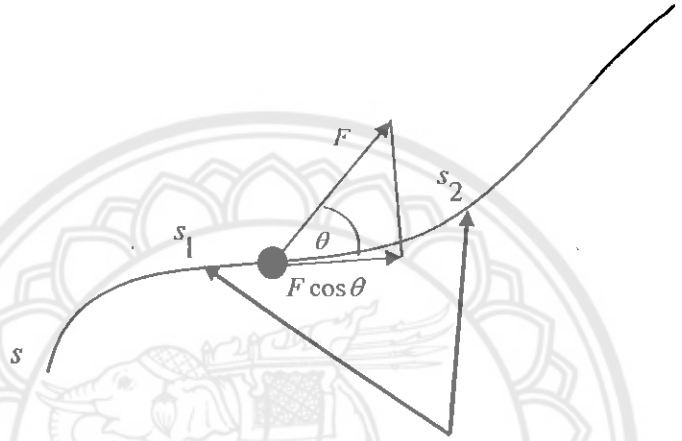


รูปที่ 2.16 แสดงแรง F ที่กระทำต่ออนุภาคให้เคลื่อนที่ไปตามเส้นทางการเคลื่อนที่ s

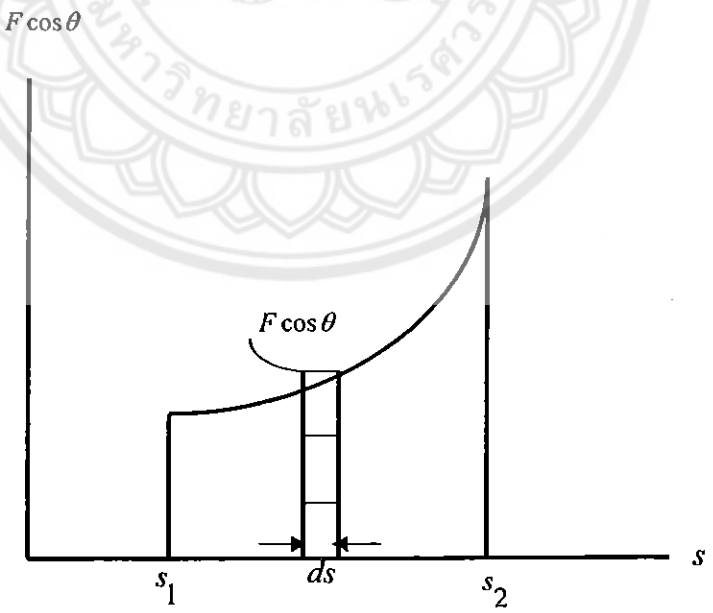
2.5.2 งานเนื่องจากแรงไม่คงที่

พิจารณาอนุภาคที่เคลื่อนที่ไปตามเส้นทางการเคลื่อนที่ใดๆ จากเวกเตอร์ระบุตำแหน่งจาก r_1 ไปยัง r_2 หรือจากตำแหน่ง s_1 ถึง s_2 ดังรูปที่ 2.17 ถ้าแรง F กระทำต่ออนุภาคเป็นฟังก์ชันของตำแหน่ง $F = F(s)$ ดังนั้นงานที่เกิดจากแรงจะคำนวณได้โดยการอินติเกรต ดังนี้

$$U_{1-2} = \int_{r_1}^{r_2} F \cdot dr = \int_{r_1}^{r_2} F\cos\theta ds \qquad \ldots (23)$$



รูปที่ 2.17 แสดง แรง F กระทำต่ออนุภาคตามเส้นทาง s



รูปที่ 2.18 แสดงงานจากพื้นที่สี่เหลี่ยมของกราฟ s_1 กับ $F\cos\theta$

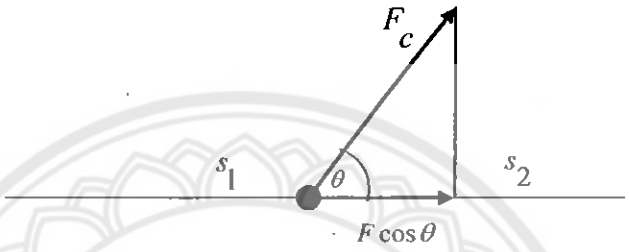
จากรูปที่ 2.18 พิจารณาพื้นที่ใต้กราฟ s กับ $F\cos\theta$ จะได้งาน U_{1-2} จากตำแหน่ง s_1 ไปยัง s_2

2.5.3 งานเนื่องจากแรงคงที่และทำให้อนุภาคเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง

ถ้าแรง F_c มีขนาดคงที่ และการะทำต่ออนุภาคเป็นมุมคงที่ θ กับทางเดินเส้นตรงดังรูปที่ 2.19 ดังนั้นแรงย่อยของ F_c ในทิศของการกระจัดคือ $F\cos\theta$ งานที่เกิดจาก F_c เมื่ออนุภาคเคลื่อนที่ จากตำแหน่ง s_1 ไป s_2 คำนวณจากสมการที่ดังนี้

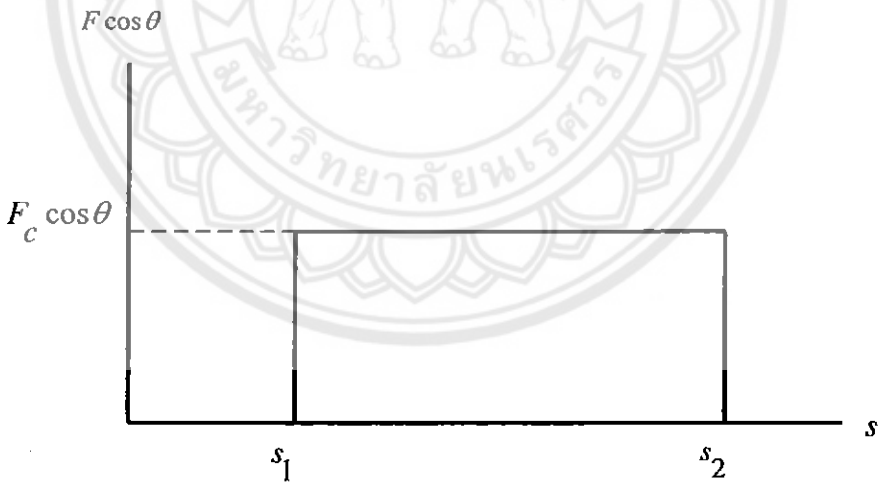
$$U_{1-2} = F_c \cos\theta \int_{1}^{2} ds$$

หรือ ...(24)



รูปที่ 2.19 แสดง แรง F_c ที่กระทำต่ออนุภาค กับเส้นทางเดิน

ดังนั้น งานเนื่องแรง จะเท่ากับพื้นที่สี่เหลี่ยมของกราฟ s_1 กับ $F\cos\theta$ ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 แสดงงานจากพื้นที่สี่เหลี่ยมของกราฟ s_1 กับ $F\cos\theta$

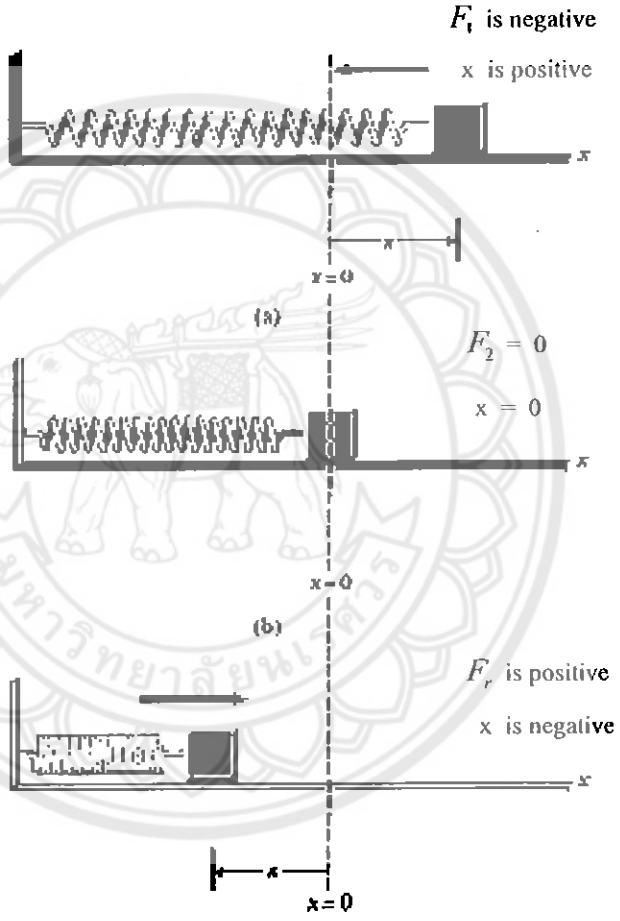
2.5.4 งานเนื่องจากแรงสปริง

สำหรับสปริงยืดหยุ่น (Linear elastic spring) ที่ถูกกดหรือดึงให้ยืดไปจากระยะสมดุล หรือตำแหน่งไม่ยืดตัว เป็นระยะ s ขนาดของแรงสปริงจะมีค่าเป็น $F_s = ks$ เมื่อ เป็นค่าความแข็งของสปริง ถ้าสปริงยืดหรือหดจากตำแหน่ง ไปตำแหน่ง ดังรูปที่ 2.21 เป็นแรงที่กระทำต่อสปริง ดังนั้นงานเนื่องจากแรง ที่ได้จะมี

เครื่องหมายบวก เนื่องจากไม่ว่าสปริงจะยืดหรือหด แรง กับการกระจัดจะมีทิศไปทางเดียวกัน จากสมการที่ 23 และโดยการอินติเกรต จะได้

$$U_{1-2} = \int_{s_1}^{s_2} F_s \cdot dr \int_{s_1}^{s_2} ksds$$

$$U_{1-2} = \frac{1}{2}ks_2^2 - \frac{1}{2}ks_1^2 \qquad \ldots (25)$$



รูปที่ 2.21 แสดงงานเนื่องจากแรงสปริง [5]

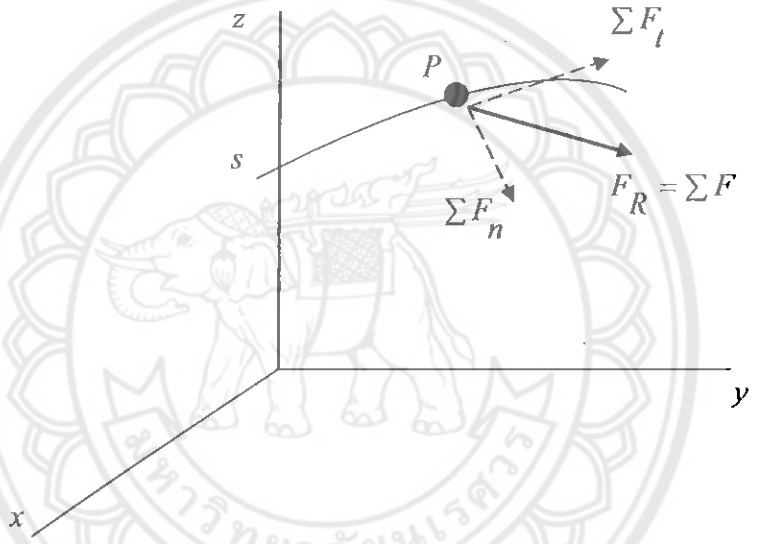
2.5.5 หลักการของงานและพลังงาน

พิจารณาอนุภาค P มวล m ดังรูปที่ 2.22 ที่เวลา ใดๆ เคลื่อนที่ไปตามเส้นทางการเคลื่อนที่ที่วัดเทียบกับแกนอ้างอิงเฉื่อย ถูกกระทำด้วยแรงภายนอกลัพธ์ $F_R = \sum F$ จากสมการของการเคลื่อนที่ของอนุภาค จะได้แรงลัพธ์ตามแกนสัมผัสเป็น $\sum F_t = ma_t$ และจากสมการจลนคณิตศาสตร์ $a_t = \frac{vdv}{ds}$ โดยอิน

ติเกรตสมการ $\sum F_t = ma_t$ และกำหนดให้เริ่มต้นอนุภาคอยู่ที่ตำแหน่ง $s = s_1$ มีอัตราเร็ว $v = v_1$ เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่ง $s = s_2$ มีอัตราเร็ว $v = v_2$ นั้นคือ

$$\sum \int_{s_1}^{s_2} F_t ds = \int_{v_1}^{v_2} mvdv$$

$$\sum \int_{s_1}^{s_2} F_t ds = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 \qquad \ldots (26)$$



รูปที่ 2.22 แสดงหลักการงานและพลังงาน

จากรูปที่ 2.22 พบว่า $\sum F_t = \sum F \cos\theta$ และเนื่องจากนิยามของงาน จะได้

$$\sum U_{1-2} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 \qquad \ldots (27)$$

เรียกสมการที่ 26 ว่า หลักการงานและพลังงาน (Principle of Work and Energy) ของอนุภาค โดยเทอม $\sum U_{1-2}$ คือผลบวกของงานทั้งหมดที่เกิดจากแรงทุกแรงที่กระทำต่ออนุภาค ส่วน เทอม $T = \frac{1}{2}mv$ เป็นพลังงานจลน์ของอนุภาคที่จุด 2 และ 1 มีค่าบวกเสมอ ดังนั้น จะได้สมการใหม่ ดังนี้

$$T_1 + \sum U_{1-2} = T_2 \qquad \ldots (28)$$

2.5.6 หลักการของงานและพลังงานสำหรับระบบของอนุภาค

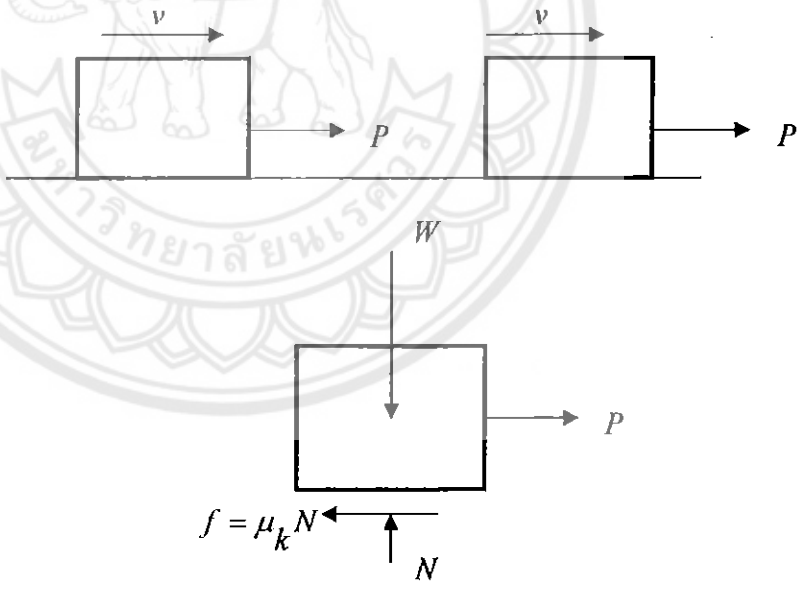
หลักการของงานและพลังงานสำหรับระบบของอนุภาค กล่าวว่า "พลังงานจลน์เริ่มต้นของระบบอนุภาคบวกกับงานทั้งหมดที่เกิดจากแรงภายนอกลัพธ์และแรงภายในลัพธ์กระทำต่อระบบอนุภาค มีค่าเท่ากับ พลังงานจลน์สุดท้ายของระบบ" ซึ่งจะได้รูป สมการดังนี้

$$\sum T_1 + \sum U_{1-2} = \sum T_2 \qquad \ldots (29)$$

2.5.7 งานเนื่องจากแรงเสียดทานเมื่อมีการเลื่อนไถล

การประยุกต์ใช้สมการที่ 28 สำหรับการวิเคราะห์ปัญหาการเคลื่อนที่ (เลื่อนไถล) ของวัตถุไปตามพื้นหยาบหรือเกิดความเสียดทานขึ้น พิจารณากล่องที่เลื่อนไปบนพื้นหยาบได้ระยะทาง ดังรูปที่ 2.23 เมื่อถูกกระทำโดยแรงในแนวระดับ P ซึ่งมีขนาดเท่ากับแรงเสียดทาน $\mu_k N$ ดังรูปที่ 2.23 ดังนั้น กล่องจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ จากสมการที่ 28 จะได้

$$\frac{1}{2}mv^2 + Ps - \mu_k Ns = \frac{1}{2}mv^2 \qquad \ldots (30)$$



ดังรูปที่ 2.23 แสดงการการเลื่อนไถลของกล่อง

2.5.8 การอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of Energy)

ในกรณีที่อนุภาคถูกกระทำโดยแรงอนุรักษ์ (W และ F_s) และแรงไม่อนุรักษ์ เช่น แรงดึงจากภายนอก, แรงเสียดทาน ดังนั้นงานที่เกิดจากแรงอนุรักษ์ จะได้

$$T_1 + V_1 = T_2 + V_2 \qquad \ldots (31)$$

จากสมการเป็นการอนุรักษ์พลังงานเชิงกล หรือ การอนุรักษ์พลังงาน กล่าวได้ว่า "ในระหว่างการเคลื่อนที่ของอนุภาค ผลรวมของพลังงานจลน์และพลังงานศักย์ของอนุภาคจะคงที่เสมอ"

2.6 จลนศาสตร์ของอนุภาค: การดลและโมเมนตัม

2.6.1 หลักการของการดลและโมเมนตัมเชิงเส้น (Principle of Linear Impulse and Momentum)

การอินติเกรตสมการของการเคลื่อนที่เทียบกับเวลา จะได้หลักการของการดลและโมเมนตัม ซึ่งผลลัพธ์ที่จะช่วยในการแก้ปัญหาจลนศาสตร์ที่ประกอบด้วย ความเร็ว แรง และเวลา

สมการของการเคลื่อนที่ของอนุภาคมวล m เขียนได้ดังนี้

$$\sum F = ma = m\frac{dv}{dt} \qquad \ldots (32)$$

เมื่อ และ วัดเทียบกับกรอบอ้างอิงเฉื่อย ทำการจัดรูปใหม่และอินติเกรตแบบมีขอบเขตระหว่าง $v = v_1$ เมื่อ $t = t_1$ และ $v = v_2$ เมื่อ $t = t_2$ จะได้

$$\sum \int_{t_1}^{t_2} F\,dt = m \int_{v_1}^{v_2} dv$$

หรือ

$$\sum \int_{t_1}^{t_2} F\,dt = mv_2 - mv_1 \qquad \ldots (33)$$

ซึ่งเราเรียกสมการนี้ว่าเป็นหลักการของการดลและโมเมนตัมเชิงเส้น

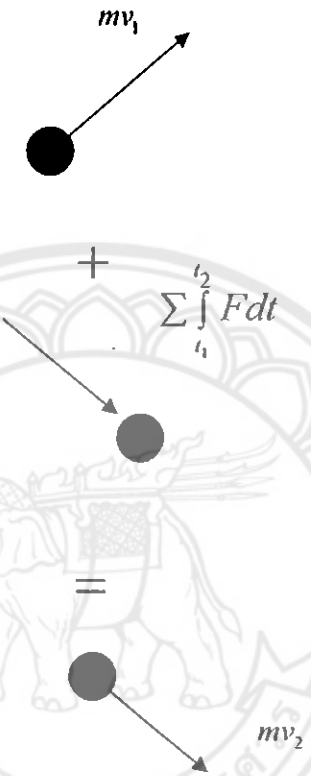
2.6.2 การดลและโมเมนตัมเชิงเส้น

สำหรับการวิเคราะห์จลนศาสตร์ที่ประกอบด้วย แรง ความเร็ว และเวลา จะเขียนได้ดังนี้

$$mv_1 + \sum \int_{t_1}^{t_2} F\,dt = mv_2 \qquad \ldots (34)$$

กล่าวได้ว่า "โมเมนตัมของอนุภาคที่ตำแหน่งเริ่มต้น ณ.เวลา t_1 บวกกับ ผลบวกของการดลทั้งหมดที่กระทำต่ออนุภาคจากเวลา t_1 ถึง t_2 จะเท่ากับโมเมนตัมของอนุภาคที่ตำแหน่งสุดท้าย ณ. เวลา t_2" โดยเทอมทั้งสามสามารถเขียนเป็นผังการดลและโมเมนตัม ดังรูปที่ 2.24

ในกรณี การดลจะเป็นแรงคงที่ การดลที่กระทำต่ออนุภาคคือ $F_c(t_2 - t_1)$ และมีทิศในการกระทำเหมือนทิศของแรง F_c



รูปที่ 2.24 แสดงผังการดลและโมเมนตัมของอนุภาค

รูปสมการสเกลาร์

จากสมการ $mv_1 + \sum \int_{t_1}^{t_2} Fdt = mv_2$ สามารถเขียนอยู่ในเทอมย่อยของระบบอ้างอิง โดยเขียนในรูปสมการสเกลาร์ตามระบบแกนพิกัดฉาก $x - y - z$ ได้ดังนี้

$$m(v_x)_1 + \sum \int_{t_1}^{t_2} F_x dt = m(v_x)_2 \quad \ldots (35)$$

$$m(v_y)_1 + \sum \int_{t_1}^{t_2} F_y dt = m(v_y)_2 \quad \ldots (36)$$

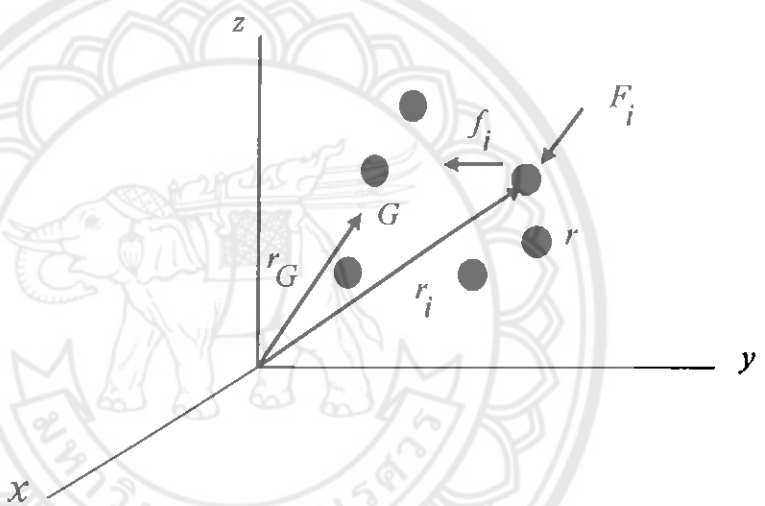
$$m(v_z)_1 + \sum \int_{t_1}^{t_2} F_z dt = m(v_z)_2 \quad \ldots (37)$$

ซึ่งสมการทั้งสามเป็น สมการของหลักการดลและโมเมนตัมเชิงเส้นของอนุภาคตามแกน $x-y-z$

2.6.3 หลักการดลและโมเมนตัมเชิงเส้นสำหรับระบบอนุภาค

หลักการดลและโมเมนตัมเชิงเส้นสำหรับระบบอนุภาคที่เคลื่อนที่ในกรอบอ้างอิงเฉื่อย ดังรูปที่ 2.25 สามารถหาได้จากสมการการเคลื่อนที่ โดยประยุกต์ใช้กับอนุภาคทั้งหมดระบบ ดังนี้

$$\sum F_i = \sum m_i \frac{dv_i}{dt} \quad \ldots (38)$$



รูปที่ 2.25 การดลและโมเมนตัมเชิงเส้นของระบบอนุภาคที่เคลื่อนที่ในกรอบอ้างอิงเฉื่อย

2.6.4 การอนุรักษ์ของโมเมนตัมเชิงเส้นสำหรับระบบอนุภาค

ถ้าผลบวกการดลภายนอกที่กระทำต่อระบบของอนุภาค, $\sum \int_{t_1}^{t_2} F_i dt = 0$ จะได้สมการ

$$\sum M_i(v_i)_1 = \sum M_i(v_i)_2 \quad \ldots (39)$$

เรียกสมการนี้ว่า การอนุรักษ์ของโมเมนตัมเชิงเส้น ซึ่งกล่าวว่า "โมเมนตัมเชิงเส้นทั้งหมดของระบบอนุภาค จะมีค่าคงที่ในช่วงเวลา t_1 ถึง t_2" แทนค่า $mv_G = \sum m_i v_i$ ลงในสมการที่ 37 จะได้

$$(v_G)_1 = (v_G)_2 \quad \ldots (40)$$

จากสมการจะเห็นว่า ความเร็ว v_G ของจุดศูนย์กลางมวลของระบบอนุภาค จะมีค่าคงที่เมื่อไม่มีการดลภายนอกมากระทำต่อระบบ

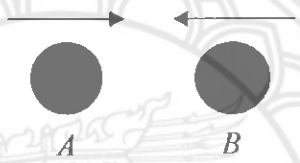
2.6.5 การกระทบ (Impact)

การกระทบเป็นปรากฏการณ์ที่วัตถุสองชิ้น เคลื่อนที่มาชนหรือกระทบกันและเกิดแรงคลหรือปฏิกิริยากระทำซึ่งกันและกันในช่วงเวลาสั้นๆ เช่น ไม้กอล์ฟและลูกกอล์ฟ เป็นต้น ซึ่งการกระทบหรือการชนของอนุภาค มี 2 ลักษณะ คือ การกระทบในแนวตรง (Direct central impact) และการกระทบแนวเฉียง (Oblique impact)

- **การกระทบในแนวตรง (Direct central impact)**

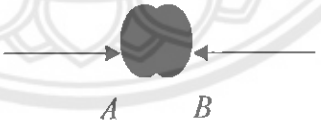
สำหรับการวิเคราะห์ปัญหาของการกระทบ พิจารณาการกระทบในแนวตรงของอนุภาค A และ B ดังแสดงในรูปที่ 2.26

- อนุภาค A และ B มีโมเมนตัมที่ตำแหน่งเริ่มต้นหรือก่อนกระทบ ดังรูปที่ 2.26a โดยความเร็ว $(v_A)_1 > (v_B)_1$ ดังนั้นในเวลาต่อมาจะเกิดการกระทบกัน



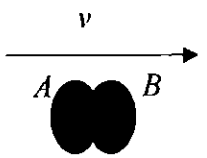
รูปที่ 2.26a

- ขณะเริ่มกระทบกันอนุภาคทั้งสองจะเกิดการเปลี่ยนรูปหรือไม่คงตัว คือ เกิดการยุบตัว โดยอนุภาคในช่วงเวลาการยุบ จะเกิดการคลช่วงยุบตัวขนาดเท่ากันกระทำซึ่งกันและกันทิศตรงข้าม คือ $\int Pdt$ ดังรูปที่ 2.26b



รูปที่ 2.26b

- ในขณะที่เกิดการยุบตัวสูงสุด อนุภาคทั้งจะเคลื่อนที่ไปด้วยกันด้วยความเร็ว v เนื่องจากการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ของทั้งสองเป็นศูนย์ ดังรูปที่ 2.26c



รูปที่ 2.26c

- ต่อมาอนุภาคทั้งสองจะเกิดการคืนตัว ซึ่งอนุภาคจะคืนสู่รูปร่างเดิมหรือจะเปลี่ยนรูปอย่างถาวร ในการคืนตัวจะเกิดการคลคืนตัว $\int Rdt$ ผลักให้อนุภาคแยกตัวออกจากกัน ดังรูปที่ 2.26d จากความเป็นจริงของคุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุใดๆทั้งสอง ขนาดของการคลช่วงการคลช่วงยุบตัวจะมีค่ามากกว่าขนาดของการคลช่วงคืนตัว นั่นคือ $\int Pdt > \int Rdt$

รูปที่ 2.26d

- เมื่ออนุภาคทั้งสองเริ่มแยกจากกัน โมเมนตัมหลังกระทบของอนุภาคทั้งสอง แสดงดังรูปที่ 2.26e เมื่อ $(v_B)_2 > (v_A)_2$

รูปที่ 2.26e

โดยปกติ ปัญหาการกระทบจะทราบความเร็วก่อนการกระทบของอนุภาคทั้งสอง และต้องการหาความเร็วหลังกระทบ จากความสัมพันธ์ข้างต้นจะเป็นการอนุรักษ์ของโมเมนตัมสำหรับระบบอนุภาค A และ B เนื่องจากในการกระทบ การคลช่วงยุบตัวเป็นการคลภายใน จึงสามารถตัดทิ้งได้ไม่ต้องนำมาพิจารณา ดังนั้นจากรูป 2.26a และ 2.26e จะได้

$$\overset{+}{(\rightarrow)} \qquad m_A(v_A)_1 + m_B(v_B)_1 = m_A(v_A)_2 + m_B(v_B)_2 \qquad \ldots(41)$$

สัมประสิทธิ์การคืนสภาพ (e),

$$e = \frac{(v_B)_2 - (v_A)_2}{(v_A)_1 - (v_B)_1} \qquad \ldots(42)$$

จากสมการที่ 40 สัมประสิทธิ์การคืนสภาพ (e) มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพของอนุภาคทั้งสอง

1509441 ค.2

- **การกระทบแบบยืดหยุ่น (Elastic Impact, $e = 1$)**

อนุภาคจะมีความสามารถในการยุบและคืนตัวเท่ากัน และหลังการกระทบจะไม่มีการสูญเสีย การกระทบแบบยืดหยุ่น แสดงการคลช่วงยุบตัว $\int Pdt$ จะมีค่าเท่ากับ $\int Rdt$ ลังงาน อย่างไรก็ตามจากความเป็นจริงแล้วการกระทบแบบยืดหยุ่นหรือ $e = 1$ ไม่สามารถเกิดขึ้นได้

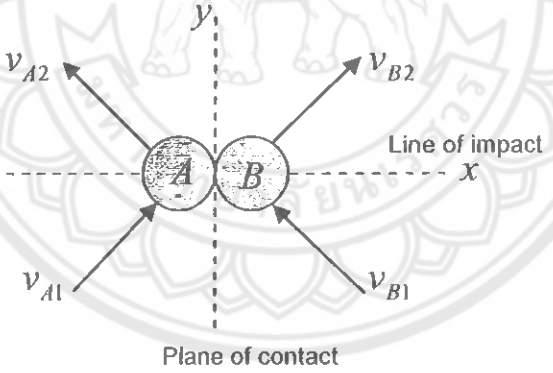
ฝร.
2554
4552

- **การกระทบแบบไม่ยืดหยุ่น (Plastic Impact, $e = 0$)**

สำหรับการกระทบกันของวัตถุหรืออนุภาคทั้งสองเป็นแบบไม่ยืดหยุ่น ในกรณีจะไม่เกิดการคลในช่วงคืนตัวกระทำต่ออนุภาค $\int Rdt = 0$ ดังนั้น หลังการกระทบ วัตถุหรืออนุภาคทั้งสองจะติดกันหรือเคลื่อนที่ไปพร้อมด้วยความเร็วเดียวกัน

- **การกระทบแนวเฉียง (Oblique impact)**

พิจารณาอนุภาคมวล m_A และมวล m_B เคลื่อนที่อยู่ในระนาบด้วยความเร็ว v_{A1} และ v_{B1} ทำมุมกับแกน x เท่ากับ θ_1 และ $\varnothing_1$ แสดงว่าอนุภาคกระทบกันในแนวเฉียง ดังรูป 2.27 ขณะที่อนุภาคกระทบกันเกิดแรงคลกระทำที่อนุภาคตามเส้นของการกระทบหรือ แกน x เท่ากับ $\int Fdt$ และ $-\int Fdt$ กำหนดให้แรงเสียดทานระหว่างอนุภาคตามแกน y มีค่าน้อยมาก



รูปที่ 2.27 แสดงกากระทบของอนุภาคในแนวเฉียง

2.6.6 โมเมนตัมเชิงมุม

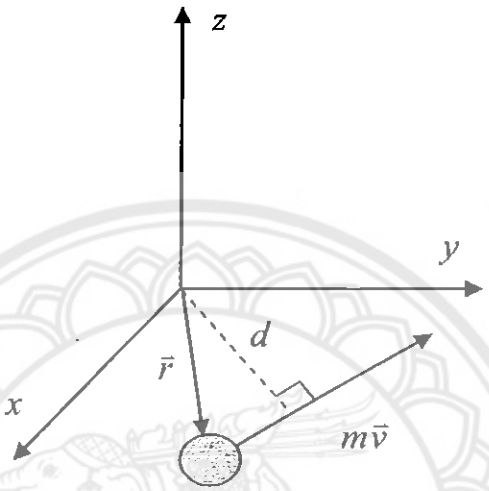
โมเมนตัมของอนุภาครอบจุด O หมายถึง โมเมนต์ของโมเมนตัมเชิงเส้นของอนุภาครอบจุด O ซึ่งจะมีนิยามคล้ายคลึงกับการคำนวณหาโมเมนต์ของแรงรอบจุดใดๆ นั้นคือ กำหนดให้ คือ โมเมนตัมเชิงมุม หรือเรียกว่า โมเมนต์ของโมเมนตัมเชิงเส้น

- **สมการในรูปของสเกลาร์**

พิจารณาอนุภาคมวล m เคลื่อนที่บนระนาบ ไปตามเส้นโค้งทางเดิน ดังรูปที่ 2.28 โมเมนตัมเชิงเส้นรอบจุด O หรือ แกน z สามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$H_o = (d)(mv) \quad \text{... (43)}$$

เมื่อ d คือ ระยะแขนของโมเมนต์หรือระยะตั้งฉากจากจุด O ถึงเส้นการกระทำของ mv โดย ทิศของ กำหนดได้จากกฎมือขวา ดังรูปที่ 2.28



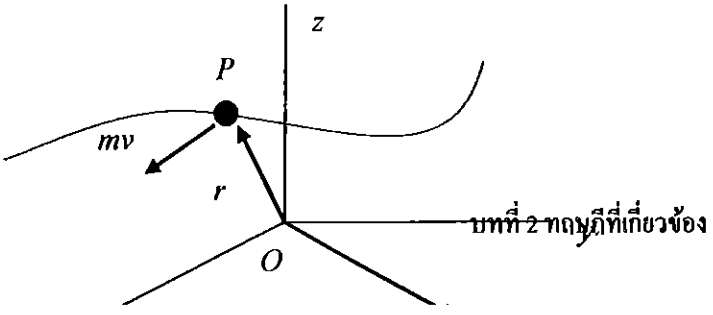
รูปที่ 2.28 แสดงรูปกฎมือขวา

- **สม**การในรูปของปริมาณเวกเตอร์

พิจารณาอนุภาคจากมวล m เคลื่อนที่ไปตามเส้นโค้งทางเดินในเนื้อที่ 3 มิติ ดังรูปที่ 2.29 จากผลคูณเชิงเวกเตอร์ สามารถคำนวณหาโมเมนตัมเชิงมุมรอบจุด O, H_o ได้ดังนี้

$$H_o = r \times mv \quad \text{... (44)}$$

เมื่อ คือ r เวกเตอร์ระบุตำแหน่งที่ลากจากจุด O ไปยังอนุภาค จากรูปที่ 2.29 จะเห็นได้ว่า มีทิศตั้งฉากกับระนาบที่แลเงาของ r กับ mv

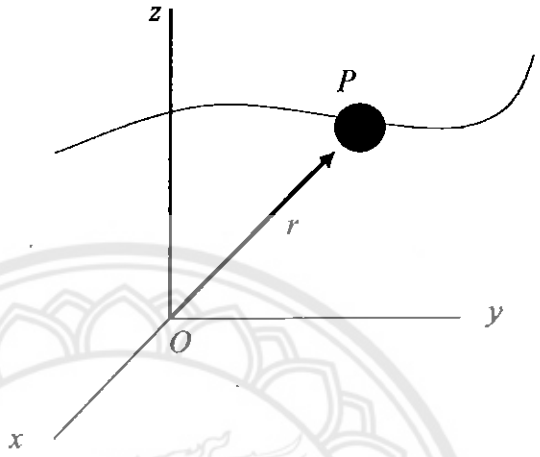


บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

- **ความสัมพันธ์:** ดังรูปที่ 2.29 แสดงมวล m เคลื่อนที่ไปตามเส้นโค้งทางเดิน

โมเมนต์รอบจุด O ของแรงทั้งหมดที่กระทำต่ออนุภาค ดังรูปที่ 2.30 มีความสัมพันธ์กับโมเมนตัมเชิงมุมของอนุภาค โดยใช้สมการของการเคลื่อนที่ ถ้ามวลของอนุภาคคงที่ เขียนได้ว่า

$$\sum F = m\dot{v} \qquad \text{... (45)}$$



ดังรูปที่ 2.30 แสดงโมเมนตัมเชิงมุมของอนุภาค

โมเมนต์ของแรงทั้งหมดรอบจุด สามารถคำได้จาก ผลคูณเชิงเวกเตอร์ของเวกเตอร์ระบุตำแหน่ง r กับเทอมจากสมการ โดยเทียบกับกรอบอ้างอิงเฉื่อย จะได้

$$\sum M_o = r \times \sum F = r \times m\dot{v} \qquad \text{... (46)}$$

การหาอนุพันธ์ของสมการ $r \times mv$ เทียบกับเวลา จะได้

$$\dot{H}_o = \frac{d}{dt}(r \times mv) = \dot{r} \times m\dot{v} \qquad \text{... (47)}$$

จาก $\dot{r} \times mv = m(\dot{r} \times \dot{r}) = 0$ เพราะผลคูณเชิงเวกเตอร์ของเวกเตอร์กันมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้น จากสมการข้างต้นทั้งสอง จะเขียนได้เป็น

$$\sum M_o = \dot{H}_o \qquad \text{... (48)}$$

ซึ่ง สมการนี้ได้กล่าวว่า "ผลรวมของโมเมนต์เนื่องจากแรงทั้งหมดที่กระทำต่ออนุภาครอบจุด O มีค่าเท่ากับอัตราการเปลี่ยนของโมเมนตัมเชิงมุมเทียบกับเวลาของอนุภาครอบจุด O " จะได้สมการ ดังนี้

$$\sum F = \dot{L} \qquad \text{... (49)}$$

เมื่อ ดังนั้น จากสมการกล่าวได้ว่า "แรงลัพธ์ที่กระทำต่ออนุภาคมีค่าเท่ากับอัตราการเปลี่ยนของโมเมนตัมเชิงเส้นเทียบกับเวลาของอนุภาค"

- **หลักของการดลและโมเมนตัมเชิงมุม**

หลักของการดลและโมเมนตัมเชิงมุม จากสมการ $\sum M_o = \dot{H}_o$ เขียนใหม่ในรูปสมการ $\sum M_o dt = dH_o$ และ โดยการอินติเกรตเมื่อเวลา $t = t_1$, $H_0 = (H_0)_1$ และ $t = t_2$, $H_0 = (H_0)_2$ จะได้

$$\sum \int_{t_1}^{t_2} M_o dt = (H_o)_2 - (H_o)_1 \qquad \ldots (50)$$

หลักของการดลและโมเมนตัมเชิงมุมของระบบอนุภาค สามารถเขียนได้ ดังนี้

$$\sum (H_o)_1 + \sum \int_{t_1}^{t_2} M_o dt = \sum (H_o)_2 \qquad \ldots (51)$$

เมื่อ เทอม $\sum (H_o)_1$ และ $\sum (H_o)_2$ เป็นโมเมนตัมเชิงมุมของระบบของอนุภาค $\left[\sum (H_o) = \sum r_i \times m v_i\right]$ ที่เวลา t_1 ถึง t_2 ส่วนเทอม $\sum \int_{t_1}^{t_2} M_o dt$ คือ ผลบวกของการดลเชิงมุมที่กระทำต่ออนุภาคทั้งหมดในช่วงเวลา t_1 ถึง t_2 การดลเชิงมุมที่เกิดขึ้น จะเกิดจากโมเมนต์ของแรงภายนอกที่กระทำต่อระบบเท่านั้น โดยพิจารณาระบบอนุภาคลำดับที่ i จะได้ $M_o = r_i \times F_i$

- **สมการในรูปของปริมาณเวกเตอร์**

จากหลักของการดลและโมเมนตัม สามารถเขียนได้ 2 สมการ ดังนี้

$$m v_1 + \sum \int_{t_1}^{t_2} F dt = m v_2$$

$$\sum (H_o)_1 + \sum \int_{t_1}^{t_2} M_o dt = \sum (H_o)_2$$

- **สมการในรูปของปริมาณสเกลาร์**

จาก สมการที่ 15.21 เราสามารถเขียนอยู่ในรูปสมการสเกลาร์ตามระบบแกนพิกัดฉาก $x-y-z$ และระบบแกนพิกัด $x-y$ ได้ดังนี้

$$m(v_x)_1 + \sum \int_{t_1}^{t_2} F_x dt = m(v_x)_2 \qquad \ldots (52)$$

$$m(v_y)_1 + \sum \int_{t_1}^{t_2} F_y dt = m(v_y)_2 \qquad \ldots (53)$$

$$\sum (H_o)_1 + \sum \int_{t_1}^{t_2} M_o dt = \sum (H_o)_2 \quad \ldots (54)$$

โดย สมการที่ 51 และสมการที่ 52 เป็นหลักการของการคลและโมเมนตัมเชิงเส้นในทิศ x และ y ส่วนสมการที่ 53 เป็นหลักการของการคลและโมเมนตัมเชิงมุมรอบแกน z

- **การอนุรักษ์ของโมเมนตัมเชิงมุม**

ถ้าไม่มีการคลเชิงมุม $\sum \int M_o dt$ การกระทำต่ออนุภาคในช่วงเวลา t_1 ถึง t_2 สมการที่ 50 จะเป็น

$$(H_o)_1 = (H_o)_2 \quad \ldots (55)$$

จาก สมการที่ 54 กล่าวคือ การอนุรักษ์โมเมนตัมเชิงมุมและจากสมการที่ 53 สามารถเขียนสมการของการอนุรักษ์ของโมเมนตัมเชิงมุมของระบบของอนุภาค ได้ดังนี้

$$\sum (H_o)_1 = \sum (H_o)_2 \quad \ldots (56)$$

ซึ่ง $\sum (H_o)$ เป็นผลบวกของโมเมนตัมเชิงมุมของทุกอนุภาคภายในระบบของอนุภาค

บทที่ 3
การดำเนินงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการการดำเนินการโครงงาน โปรแกรม MSC.ADAMS/Views เป็นโปรแกรมศึกษาที่ใช้ในการวิเคราะห์การทำงานและการเคลื่อนที่ของกลไกต่างๆในโจทย์ปัญหาทางด้านวิศวกรรมการเคลื่อนที่ ซึ่งสามารถสร้างแบบจำลอง (Model) ประกอบไปด้วยชิ้นส่วน (Parts) ต่างๆ ที่รวมเข้าเป็นกลไก ด้วยการใช้การเชื่อมต่อ (Joints) ที่มีให้เลือกหลายลักษณะ โดยโครงงานนี้จะนำโปรแกรม MSC.ADAMS/Views มาประยุกต์ใช้กับวิชากลศาสตร์วิศวกรรม 2 (Engineering Mechanics II) ในการแก้โจทย์ปัญหาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของอนุภาค โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

3.1 ศึกษาข้อมูล

3.1.1 การศึกษาที่มาและวิธีการใช้โปรแกรม MSC.ADAMS

ในการศึกษาที่มาของโปรแกรม MSC.ADAMS และวิธีการใช้ส่วนใหญ่จะค้นคว้าทางอินเตอร์เน็ตจากเว็บไซต์ www.mscsoftware.com ซึ่งจะเป็นคู่มือการใช้โปรแกรม MSC.ADAMS (MSC.ADAMS Basic Full Simulation Package Training Guide) และการทดลองสร้างโมเดลตาม tutorial ต่าง ๆ เนื่องจากยังไม่มีคู่มือภาษาไทย และยังไม่ค่อยมีความนิยมในประเทศไทยมากนัก จึงทำให้มีความยุ่งยากในการค้นหาข้อมูล

3.1.2 การศึกษาวิชากลศาสตร์วิศวกรรม 2 (Engineering Mechanics II)

วิชากลศาสตร์วิศวกรรม 2 (Engineering Mechanics II) หรือวิชา Dynamics (พลศาสตร์) จะพิจารณาถึงสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุภายใต้แรงกระทำ ซึ่งในโครงงานเรื่องนี้ ได้ศึกษา 2 ส่วน คือ Kinematics of Particle และ Kinetics of Particle

1. จลนศาสตร์ของอนุภาค (Kinematics of Particle) คือ การศึกษาสภาพและเส้นทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค โดยไม่พิจารณาถึงแรงที่กระทำต่ออนุภาค และสาเหตุที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่กล่าวถึงความเชื่อมโยงกันของ ระยะทาง ความเร็ว และความเร่ง ซึ่งจะประกอบด้วย เรื่อง Rectilinear Motion (การเคลื่อนที่เชิงเส้น), Curvilinear Motions (การเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้ง)

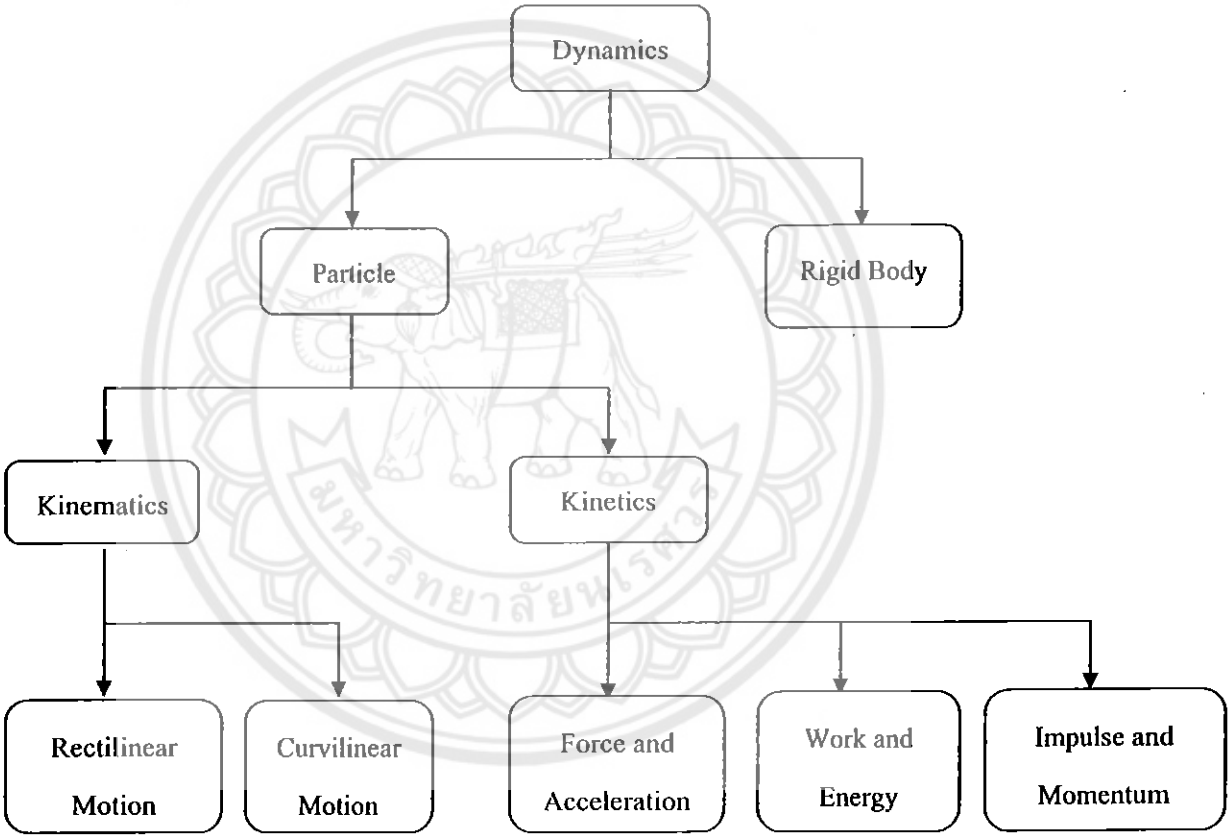
2. จลนพลศาสตร์ของอนุภาค (Kinetics of Particle) คือ การศึกษาการเคลื่อนที่ของอนุภาค โดยพิจารณาถึงแรงที่กระทำต่ออนุภาคนั้นด้วย โดยกล่าวถึงความเชื่อมโยงกันของ แรง มวล และความเร่ง ซึ่งจะประกอบด้วย เรื่อง Force and Acceleration, Work and Energy, Impulse and Momentum

3.2 การใช้โปรแกรม MSC. ADAMS/Views กับวิชากลศาสตร์วิศวกรรม 2

การใช้โปรแกรม MSC.ADAMS/Views ได้สร้างแบบจำลองตามแบบฝึกหัดของวิชากลศาสตร์วิศวกรรม 2 (Engineering Mechanics II) โดยกระบวนการสร้างและวิเคราะห์ต้นแบบจำลองของโปรแกรม MSC. ADAMS. /Views มีดังนี้

3.2.1 ขั้นตอนการกำหนดแบบจำลอง

ในการสร้างสื่อการเรียนรู้ ได้จัดทำแผนผังขั้นตอนการทำงาน (Flow Chart) ขึ้นมาเพื่อเป็นแนวทางในการใช้โปรแกรม MSC.ADAMS/Views กับการแก้โจทย์ปัญหาในวิชากลศาสตร์วิศวกรรม2 มีดังนี้



1.จลนศาสตร์ของอนุภาค (Kinematics of Particle) ประกอบด้วย

1.1 การเคลื่อนที่วิถีตรง (Rectilinear Motion) ทำ 2 แบบฝึกหัดคือ

- **แบบฝึกหัดที่ 1. แสดงการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งทดสอบความเร็วและระยะทางของวัตถุที่เคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวเส้นตรง**
- **แบบฝึกหัดที่ 2. แสดงการเคลื่อนที่ในแนวราบทดสอบความเร่งและระยะทางในแนวเส้นตรง**

1.2 การเคลื่อนที่วิถีโค้ง (Curvilinear Motion) ทำ 2 แบบฝึกหัดคือ

- **แบบฝึกหัดที่ 3. แสดงการเคลื่อนที่เป็นรัศมีวงกลมทดสอบความเร่งของวัตถุที่เคลื่อนที่เป็นเส้นโค้ง**
- แบบฝึกหัดที่ 4. แสดงการเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งแบบ Projectile ทดสอบความเร็วและลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุ

2. จลนพลศาสตร์ของอนุภาค (Kinetics of Particle) ประกอบด้วย

2.1 แรงและความเร่ง (Force and Acceleration) ทำ 2 แบบฝึกหัดคือ

- แบบฝึกหัดที่ 5. แสดงการเคลื่อนที่ของวัตถุบนพื้นราบที่มีแรงเสียดทานโดยออกแรงกระทำที่วัตถุให้มีการเคลื่อนที่
- แบบฝึกหัดที่ 6. แสดงแรงดึงที่เกิดจากมวลและผลของแรงโน้มถ่วงของโลก

2.2 งานและพลังงาน (Works and Energy) ทำ 2 แบบฝึกหัดคือ

- แบบฝึกหัดที่ 7. แสดงการเปลี่ยนแปลงพลังงานจากพลังงานศักดิ์ไปเป็นพลังงานจลน์จากการปล่อยวัตถุจากที่สูง
- แบบฝึกหัดที่ 8. แสดงพลังงานที่เกิดจากสปริงที่ส่งผลต่อความเร็วของวัตถุ

2.3 การดลและโมเมนตัมเชิงมุม (Impulse and Momentum) ทำ 2 แบบฝึกหัดคือ

- แบบฝึกหัดที่ 9. แสดงการชนที่วัตถุ 2 วัตถุที่มีความเร็วและทิศทางหลังการชนเท่ากันเพื่อทดสอบความเร็วและแรงที่เกิดจากการชน
- **แบบฝึกหัดที่ 10. แสดงการชนที่วัตถุ 2 วัตถุมีมีความเร็วหลังการชนแตกต่างกันเพื่อทดสอบความเร็วที่เปลี่ยนไปหลังการชนของวัตถุทั้ง 2 ชิ้น**

3.2.2 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง

1. Kinematics of a particle: Rectilinear Motion

1. การตั้งค่าตอนเริ่มต้น
   - ปรับตั้งค่า Grid
   - การเปลี่ยนมุมมอง
   - การใช้งาน Coordinate Window
2. การสร้างชิ้นงาน
   - การกำหนด Ground
   - การสร้างชิ้นงาน
3. การกำหนดคุณสมบัติ
   - การกำหนดความเร็ว
   - การกำหนดความเร็วตามแนวแกน
4. การกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่
   - กำหนดทิศทางการเคลื่อนที่
5. การกำหนดกราฟแสดงผล(Measure)
   - กราฟแสดงผลของระยะทาง (CM Position)
   - กราฟแสดงผลของความเร็ว (CM Velocity)
   - กราฟแสดงผลของความเร่ง (CM Acceleration)
6. การวิเคราะห์ผลด้วยการ Simulation
   - การกำหนดระยะเวลาในการเคลื่อนที่(End Time)
   - การกำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่(Steps)
7. การวิเคราะห์ผลจากกราฟ
   - การหาผลลัพธ์ที่แสดงอยู่ในแกน

2. Kinematics of a particle: Curvilinear Motion

1. การตั้งค่าตอนเริ่มต้น
   - ปรับตั้งค่า Grid
   - การเปลี่ยนมุมมอง
   - การใช้งาน Coordinate Window
2. การสร้างชิ้นงาน
   - การกำหนด Ground
   - การสร้างชิ้นงาน
3. การกำหนดคุณสมบัติ
   - การกำหนดความเร็ว
   - การกำหนดความเร็วตามแนวแกน
4. การกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่
   - กำหนดทิศทางการเคลื่อนที่
5. การกำหนดกราฟแสดงผล(Measure)
   - กราฟแสดงผลของระยะทาง (CM Position)
   - กราฟแสดงผลของความเร็ว (CM Velocity)
   - กราฟแสดงผลของความเร่ง (CM Acceleration)
   - กราฟแสดงผลความเร็วสัมพัทธ์(Relative Velocity)
   - กราฟแสดงผลเร่งสัมพัทธ์(Relative Acceleration)
   - กราฟแสดงผลความเร็วเชิงมุมสัมพัทธ์(Relative Velocity)
   - กราฟแสดงผลเร่งเชิงมุมสัมพัทธ์(Relative Acceleration)
6. การวิเคราะห์ผลด้วยการ Simulation
   - การกำหนดระยะเวลาในการเคลื่อนที่(End Time)
   - การกำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่(Steps)
7. การวิเคราะห์ผลจากกราฟ
   - การหาผลลัพธ์ที่แสดงอยู่ในแกน

3. Kinetics of a particle: Force Mass and Acceleration

1. การตั้งค่าตอนเริ่มต้น
   - ปรับตั้งค่า Grid
   - การเปลี่ยนมุมมอง
   - การใช้งาน Coordinate Window
2. การสร้างชิ้นงาน
   - การกำหนด Ground
   - การสร้างชิ้นงาน
3. การกำหนดคุณสมบัติ
   - การกำหนดมวลของชิ้นงาน
   - การกำหนดแรงเริ่มต้นของชิ้นงาน
4. การกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่
   - กำหนดทิศทางการเคลื่อนที่
5. การกำหนดแรงเสียดทาน
   - กำหนดสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานที่กระทำต่อชิ้นงาน
6. การกำหนดแรงที่กระทำต่อวัตถุ
   - กำหนดแรงที่กระทำต่อวัตถุ
7. การกำหนดกราฟแสดงผล(Measure)
   - กราฟแสดงผลของตำแหน่ง (CM Position)
   - กราฟแสดงผลของความเร็ว(CM Velocity)
   - กราฟแสดงผลของความเร่ง(CM Acceleration)
   - กราฟแสดงผลของแรง(Force)
   - กราฟแสดงผลของแรงต้านที่กระทำต่อชิ้นงาน(Kinetics Energy)
8. การวิเคราะห์ผลด้วยการ Simulation
   - การกำหนดระยะเวลาในการเคลื่อนที่(End Time)
   - การกำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่(Steps)
9. การวิเคราะห์ผลจากกราฟ
   - การหาผลลัพธ์ที่แสดงอยู่ในแกน Y

4. Kinetics of a particle: Work and Energy

1. การตั้งค่าตอนเริ่มต้น
   - ปรับตั้งค่า Grid
   - การเปลี่ยนมุมมอง
   - การใช้งาน Coordinate Window
2. การสร้างชิ้นงาน
   - การกำหนด Ground
   - การสร้างชิ้นงาน
3. การกำหนดคุณสมบัติ
   - การกำหนดมวลของชิ้นงาน
   - การกำหนดแรงเริ่มต้นของชิ้นงาน
4. การกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่
   - กำหนดทิศทางการเคลื่อนที่
5. การกำหนดแรงเสียดทาน
   - กำหนดสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานที่กระทำต่อชิ้นงาน
6. การกำหนดแรงที่กระทำต่อวัตถุ
   - กำหนดแรงที่กระทำต่อวัตถุ
7. การกำหนดกราฟแสดงผล(Measure)
   - กราฟแสดงผลของตำแหน่ง(CM Position)
   - กราฟแสดงผลของแรง(Force)
   - กราฟแสดงผลของความเร็ว(CM Velocity)
   - กราฟแสดงผลของความเร่ง(CM Acceleration)
   - กราฟแสดงผลของแรงด้านที่กระทำต่อชิ้นงาน(Kinetics Energy)
   - กราฟแสดงพลังงานในการเคลื่อนที่(Translational Kinetic Energy)
8. การวิเคราะห์ผลด้วยการ Simulation
   - การกำหนดระยะเวลาในการเคลื่อนที่(End Time)
   - การกำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่(Steps)
9. การวิเคราะห์ผลจากกราฟ
   - การหาผลลัพธ์ที่แสดงอยู่ในแกน Y

5. Kinetics of a particle: Impulse and Momentum

1. การตั้งค่าตอนเริ่มต้น
   - ปรับตั้งค่า Grid
   - การเปลี่ยนมุมมอง
   - การใช้งาน Coordinate Window
2. การสร้างชิ้นงาน
   - การกำหนด Ground
   - การสร้างชิ้นงาน
3. การกำหนดคุณสมบัติ
   - การกำหนดมวลของชิ้นงาน
   - การกำหนดแรงเริ่มต้นของชิ้นงาน
4. การกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่
   - กำหนดทิศทางการเคลื่อนที่
5. การกำหนดแรงเสียดทาน
   - กำหนดสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานที่กระทำต่อชิ้นงาน
6. การกำหนดแรงที่กระทำต่อวัตถุ
   - กำหนดแรงที่กระทำต่อวัตถุ
7. การกำหนดกราฟแสดงผล(Measure)
   - กราฟแสดงผลของตำแหน่ง(CM Position)
   - กราฟแสดงผลของแรง(Force)
   - กราฟแสดงผลของความเร็ว(CM Velocity)
   - กราฟแสดงผลของความเร่ง(CM Acceleration)
   - กราฟแสดงผลของแรงต้านที่กระทำต่อชิ้นงาน(Kinetics Energy)
   - กราฟแสดงพลังงานในการเคลื่อนที่(Translational Kinetic Energy)
   - กราฟแสดง Translational Momentum
8. การวิเคราะห์ผลด้วยการ Simulation
   - การกำหนดระยะเวลาในการเคลื่อนที่(End Time)
   - การกำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่(Steps)
9. การวิเคราะห์ผลจากกราฟ
   - การหาผลลัพธ์ที่แสดงอยู่ในแกน Y

3.2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง

วิเคราะห์เปรียบเทียบผลลัพธ์จากที่ได้การสร้างแบบจำลองและจากการคำนวณตามทฤษฎีว่ามีความคลาดเคลื่อนมากน้อยเพียงใด โดยยึดหลักที่ว่าโปรแกรม MSC.ADAMS/Views ได้สร้างแบบจำลองตามหลักทฤษฎี

3.3 การนำสื่อการเรียนรู้ไปใช้งาน

นำไปใช้เป็นสื่อการเรียนรู้และเอกสารประกอบการเรียนการสอนให้กับนิสิต อาจารย์และผู้ที่สนใจที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของกลไกหรือวัตถุ ทำให้มองเห็นการเคลื่อนที่ได้อย่างชัดเจน และมีความเข้าใจมากยิ่งขึ้นส่งผลต่อการคำนวณที่ถูกต้อง

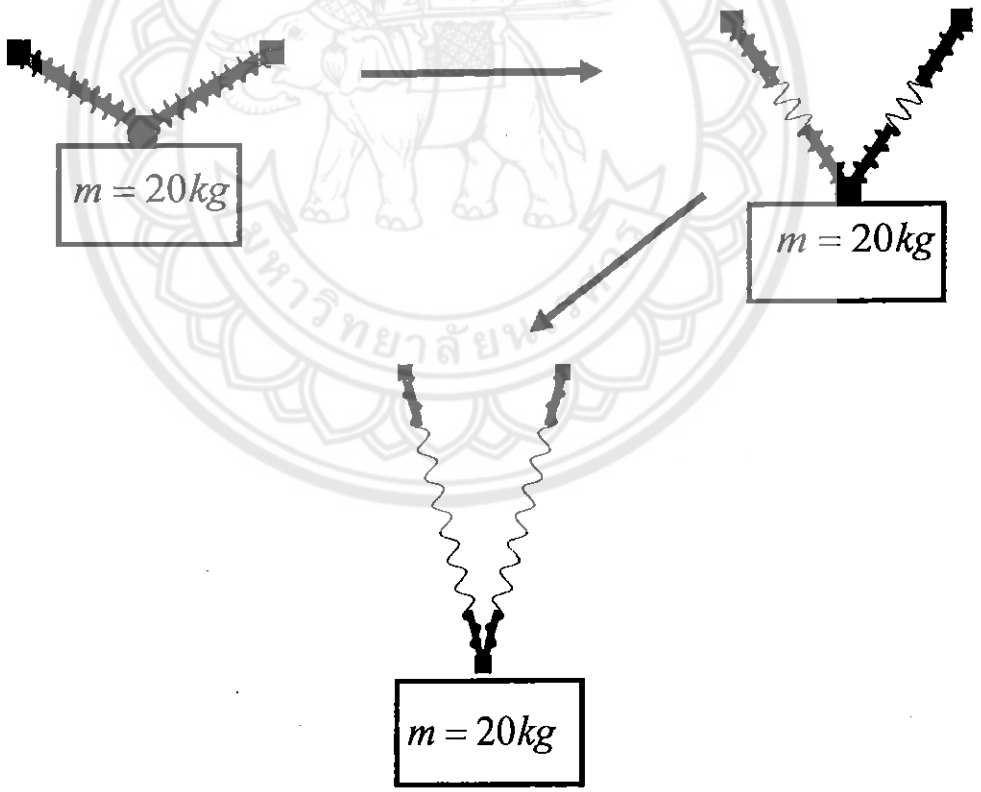
บทที่ 4
ผลการดำเนินโครงงานและการวิเคราะห์

จากการดำเนินโครงงานได้นำโปรแกรมMSC.ADAMS/Views เข้าช่วยมาสร้างสื่อการเรียนรู้การเคลื่อนที่ในรายวิชากลศาสตร์วิศวกรรม 2(Engineering Mechanics II) ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

4.1 การเคลื่อนที่ของแบบจำลอง

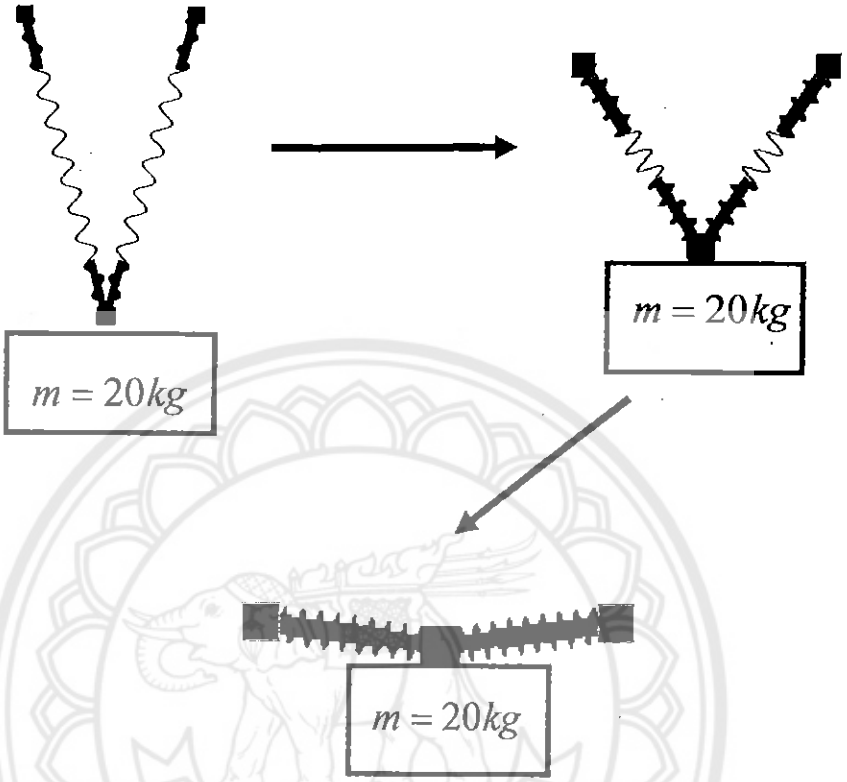
แบบจำลองจะเคลื่อนที่โดยการจำลอง (Simulation) ตั้งเป็นวินาทีต่อเฟรมสามารถดูการเคลื่อนที่เสมือนจริงได้ ทำให้เข้าใจภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุภายใต้เงื่อนไขของการเคลื่อนที่ที่กำหนด ยกตัวอย่าง เช่น แบบจำลอง (Simulation) ในแบบฝึกหัดที่ 8 หัวข้อเรื่อง Kinetics of a particle: Work and Energy การที่วัตถุเคลื่อนที่ตามแรงโน้มถ่วงโดยมีแรงจากสปริงรั้งไว้ โดยจะอธิบายการเคลื่อนที่ได้ดังนี้

-จากรูปที่ 4.1 เมื่อเริ่มการ Simulation สปริงจะเคลื่อนที่ลง (ยืดตัว) อย่างรวดเร็ว



รูปที่ 4.1 แสดงการยืดตัวของสปริงเมื่อถูกมวลกระทำ

-เมื่อสปริงยืดลงไปถึงจุดๆหนึ่งแล้วจะเด้งกลับขึ้นมาอีกครั้งแล้ว แล้วกลับลงไปตามแรงโน้มถ่วง ดังแสดงในรูปที่ 4.2



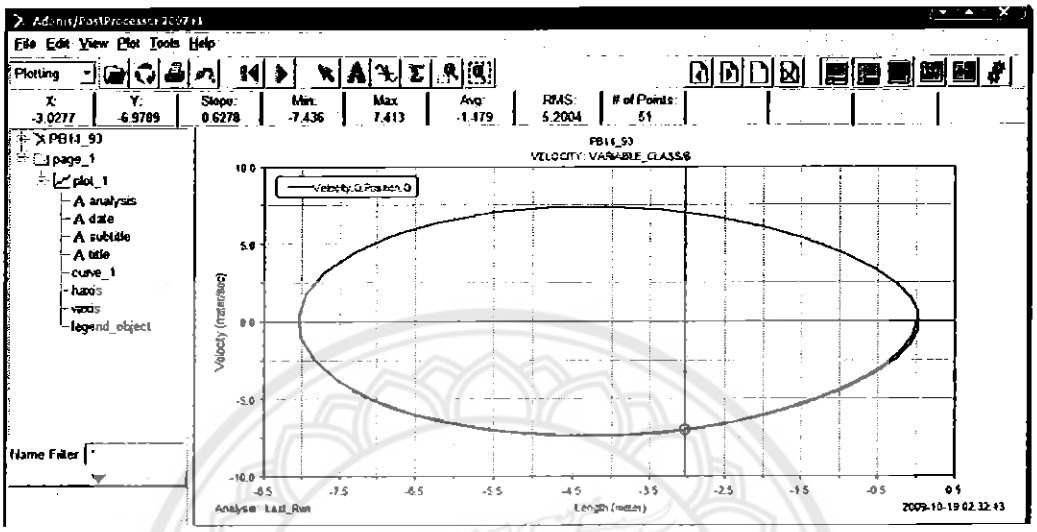
รูปที่ 4.2 แสดงการหดตัวของสปริงเนื่องจากแรงของสปริง

4.1.1 การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของแบบจำลอง

จากการเคลื่อนที่ของสปริงในแบบจำลอง (Simulation) การเคลื่อนที่ จะเห็นได้ว่าสปริงมีความยืดหยุ่น และทำให้มองภาพเห็นได้ชัดเจนกว่าการจินตนาการ ซึ่งในการเรียนของนิสิตการจินตนาการสปริงอาจจะไม่เด้งกลับขึ้นมา คงคิดเพียงว่าสปริงยืดลงไปเรื่อยๆมีความเร็วเกิดขึ้นในทิศทางเดียว การจำลอง (Simulation) การเคลื่อนที่นี้จะทำให้ทราบว่าวัตถุมีความเร็วในการเคลื่อนที่ในสองทิศทางทั้งขึ้นและลง

4.2 การแสดงผลลัพธ์ของกราฟ

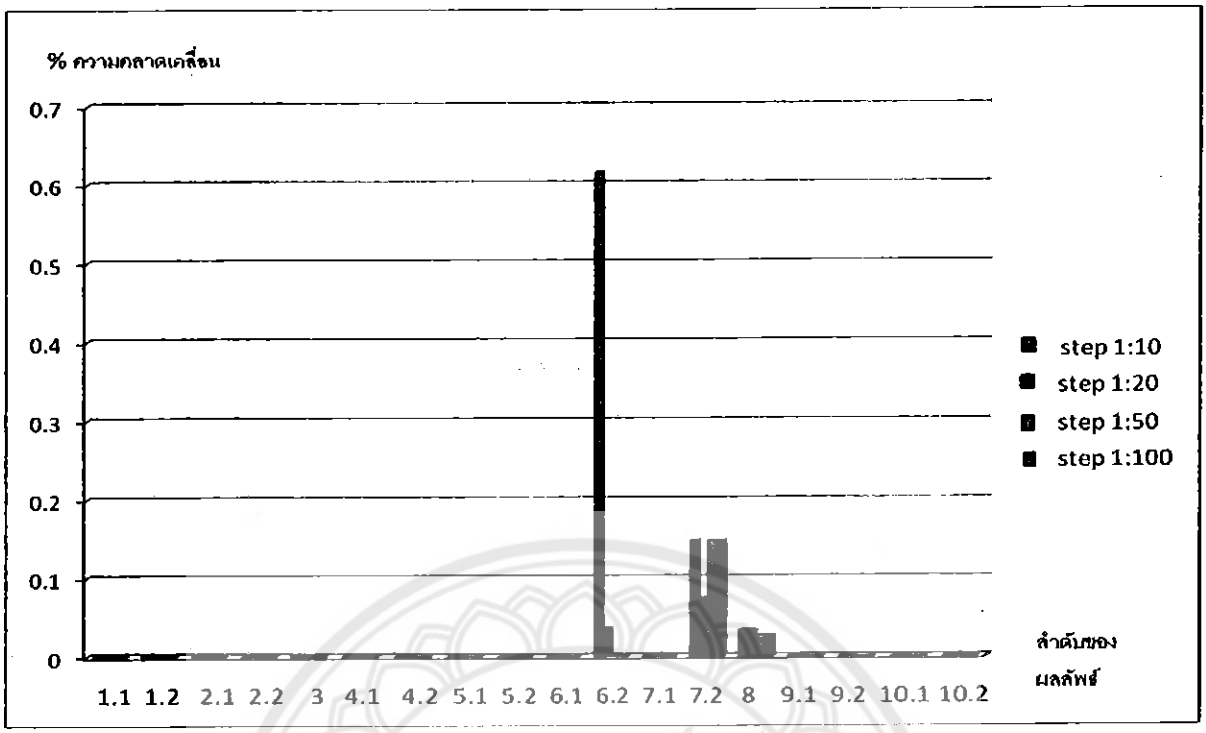
ผลลัพธ์ของแบบจำลองในรูปแบบของกราฟในช่วงเวลาที่ทำการจำลอง (Simulation) การเคลื่อนที่ทำให้สามารถหาค่าที่ต้องการในช่วงต่างๆทั้งหมดของการจำลองการเคลื่อนที่ได้



รูปที่ 4.3 แสดงกราฟในช่วงเวลาที่ทำการจำลองการเคลื่อนที่

4.2.1 การวิเคราะห์การแสดงผลลัพธ์

จากกราฟสามารถทราบค่าของความเร็วในทุกตำแหน่งการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวแกน Y สามารถหาคำตอบและบอกความเร็วของการเคลื่อนที่ในแต่ละตำแหน่งได้อย่างชัดเจน แต่ค่าที่แสดงผลลัพธ์ที่ได้ตามแนวแกน X และแกน Y เป็นค่าที่แบ่งตามสเกลซึ่งสามารถหาค่าในแต่ละตำแหน่งได้ แต่ไม่สามารถหาค่าจากการแทนค่าได้โดยตรง ซึ่งส่งผลให้กราฟไม่สามารถหาค่าบางค่าที่ต้องการได้โดยการแบ่งสเกลของโปรแกรมในการคำนวณจะมาจากการจำลอง (Simulation) การเคลื่อนที่โดยแบ่งตาม Step ในการจำลองการเคลื่อนที่ โดย Step ที่ใช้จะมีผลต่อความคลาดเคลื่อน หากใช้ Step 10 เท่าของเวลา, 20 เท่าของเวลา, 50 เท่าของเวลาและ 100 เท่าของเวลาจะส่งผลให้ค่าผลลัพธ์ที่ต้องการมีความคลาดเคลื่อนน้อยลงดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงกราฟความคลาดเคลื่อนที่ทำการจำลองการเคลื่อนที่ในความละเอียดที่ต่างกัน

จากกราฟจะเห็นความแตกต่างของความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ ซึ่งความคลาดเคลื่อนจะแปรผันแบบผกผันกลับความถี่ที่ใช้โดยหากใช้ความถี่มากๆความคลาดเคลื่อนก็จะน้อยลงโดยหากกำหนดเงื่อนไขของแบบฝึกหัดได้ตรงตามสิ่งที่โจทย์กำหนดมาการใช้ความถี่ที่ Step 10 เท่าของเวลาก็จะได้ผลลัพธ์ที่ไม่มีความคลาดเคลื่อนในการคิดที่ทศนิยมสองตำแหน่ง หากตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณหาผลลัพธ์เป็นทศนิยมมีการปัดค่าให้อยู่ในทศนิยมสองตำแหน่ง (เช่นการหาค่ามุมที่เคลื่อนที่ไปของชิ้นงาน ได้ประยุกต์ใช้ค่าในตำแหน่งในแนวแกนแทนโดยการแตกความยาวเข้าสู่แนวแกนซึ่งค่าที่นำมาคิดจะอยู่ในรูปแบบทศนิยม) ซึ่งเป็นความคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อยหากใช้การคำนวณโดยใช้ความถี่มากขึ้นที่ Step 50 เท่าของเวลาความคลาดเคลื่อนก็จะลดลงใกล้เคียงหรือเท่ากับศูนย์ในทศนิยมสองตำแหน่ง

โดยทั่วไปแล้วแบบจำลองที่สร้างได้ตรงตามที่โจทย์กำหนด ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองการเคลื่อนที่สามารถคลาดเคลื่อนจากความถี่ที่ใช้โดยหากใช้ Step 10 เท่าของเวลาความคลาดเคลื่อนที่สามารถเกิดขึ้นโดยการจำลองการเคลื่อนที่จะได้ไม่เกิน 0.1% เช่นเดียวกันหากต้องการผลลัพธ์ที่มีไม่มีความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณโดยการจำลองการเคลื่อนที่ ในทศนิยมสองตำแหน่งต้องใช้ Step 100 เท่าของเวลาซึ่งความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นได้จะไม่เกิน 0.01% ซึ่งการเลือกใช้ความถี่ในการหาผลลัพธ์ของข้อมูลขึ้นอยู่กับความละเอียดของคำตอบที่ต้องการว่าต้องการคำตอบที่มีค่าเป็นทศนิยมตำแหน่งที่เท่าไหร่ โดยการจำลองการเคลื่อนที่สามารถหาความละเอียดสูงสุดได้ที่ทศนิยมตำแหน่งที่สี่ ซึ่งหมายถึงต้องใช้ความถี่สูงสุดถึง Step 10000 เท่าของเวลาจึงจะได้คำตอบที่ตรงที่สุดในทศนิยมตำแหน่งที่สี่ แต่ต้องเสียเวลาจากการทดลองจำลองการเคลื่อนที่ ยิ่งใช้ความถี่สูงๆก็ต้องใช้เวลานานมากขึ้น

4.3 ความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์

ผลลัพธ์แบบฝึกหัดที่ 7 การจำลองการเคลื่อนที่ที่ 5 วินาที 500 Step

Kinetics of a particle: Work and Energy

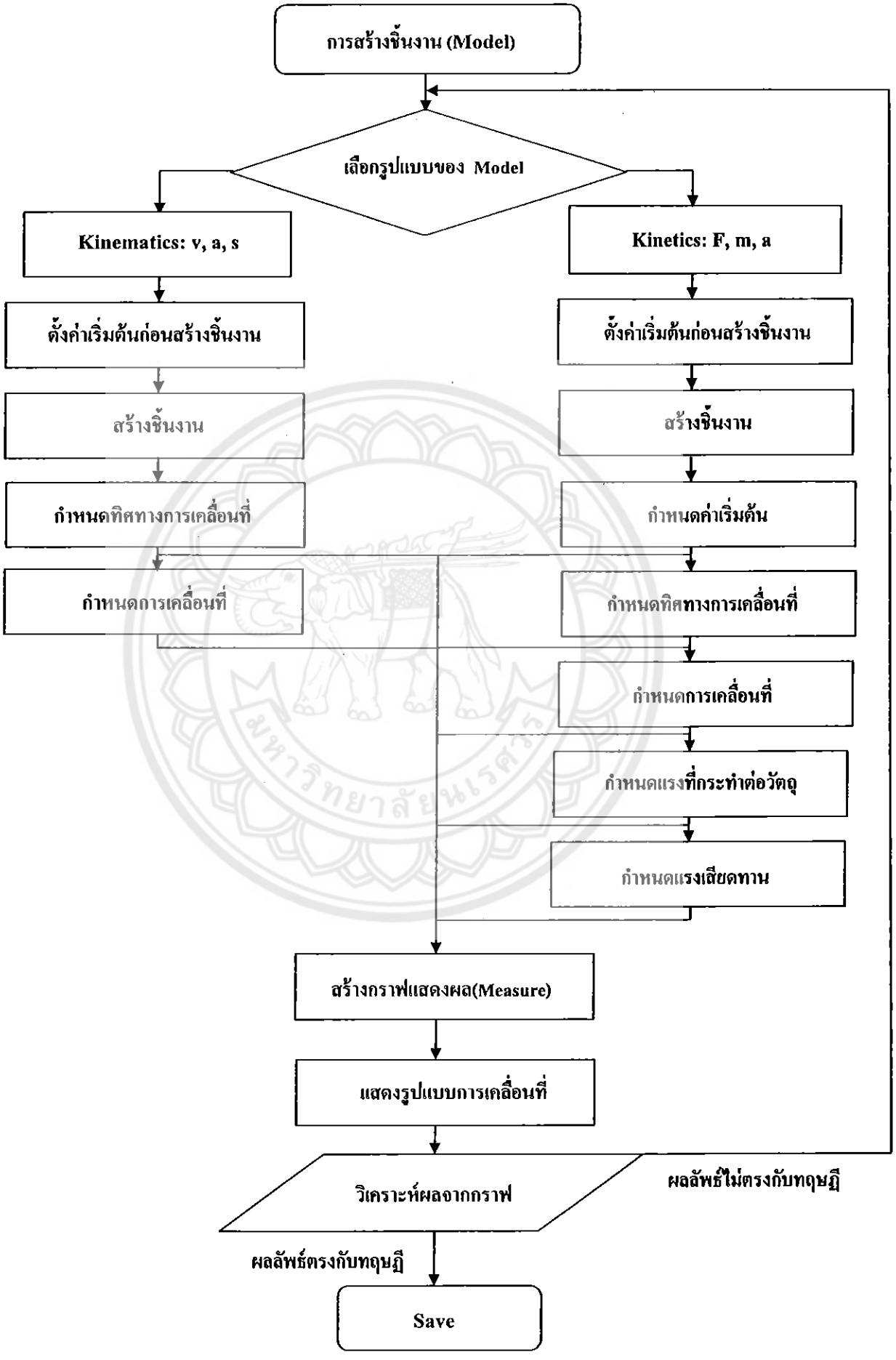
ข้อ	แบบจำลอง	ทฤษฎี	%ความคลาดเคลื่อน
7.1 ความเร็วของเครื่องบินจำลองในตำแหน่ง $\theta = 15^{\circ}, m/s$	13.52	13.5	0.15
7.2 แรงดึงของเครื่องบินจำลองในตำแหน่ง $\theta = 15^{\circ}, kN$	148.7	149.000	0.107

วิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์

ผลลัพธ์ที่คลาดเคลื่อนเกิดจากการสร้างแบบจำลองได้ไม่ตรงตามเงื่อนไขของการหาคำตอบทางทฤษฎีเพราะโปรแกรมออกแบบมาไม่รองรับกับการคำนวณในแบบที่ตัดตัวแปรเล็กๆน้อยๆบางส่วนออกไป เช่นโปรแกรมไม่อนุญาตให้มวลของชิ้นส่วนตัวใดตัวหนึ่งมีค่าเป็นศูนย์ และโปรแกรมไม่สามารถคำนวณการเคลื่อนที่ที่เป็นไปไม่ได้เช่นการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนที่ถูกยึดติดไว้กับที่ เป็นต้น

การคลาดเคลื่อนในเบื้องต้นจะมาจากการที่กำหนดการจำลอง (Simulation) การเคลื่อนที่ในความถี่น้อยเกินไป หากใช้การจำลอง (Simulation) ในความถี่มากๆแล้วคำตอบไม่ตรงตามที่ต้องการก็จะเกิดจากสาเหตุที่การกำหนดเงื่อนไขในการแก้ปัญหาคลาดเคลื่อน เช่นการคลาดเคลื่อนของแบบฝึกหัดที่ 7 เกิดจากการที่ไม่สามารถกำหนดมวลของเส้นเชือกให้เป็นศูนย์ได้ (ใช้การเชื่อม Link เข้ากับชิ้นงานทรงกลมและย้ายตำแหน่งศูนย์กลางมวลให้อยู่ที่ศูนย์กลางของชิ้นงานวงกลมซึ่ง Link ที่กำหนดให้เป็นเส้นเชือกยังมีมวลอยู่) และการกำหนดจุดคำนวณที่หาเป็นมุมของการเคลื่อนที่ภายในกราฟไม่ได้ จะต้องใช้วิธีการหาตำแหน่งในแนวแกนแทนทำให้จุดที่ใช้คำนวณคลาดเคลื่อนในหน่วยทศนิยมจึงส่งผลให้ผลลัพธ์ที่ได้คลาดเคลื่อนไป

4.4 การออกแบบการสร้างชิ้นงาน



บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการทดสอบการคำนวณด้วยโปรแกรม MSC.ADAMS/Views ผลลัพธ์ที่ได้เท่ากับการคำนวณทางทฤษฎีและอาจมีความคลาดเคลื่อนบ้าง เนื่องการสร้างชิ้นงานและการกำหนดค่าต่าง ๆ ให้กับชิ้นงาน เช่น การกำหนดค่าแรงโน้มถ่วงของโลก ($g = 9.8065\ m/s^2$) ต้องกำหนดให้ตรงตามที่โจทย์กำหนด และการกำหนดช่วงเวลาความถี่ (step size) ในการแสดงภาพเคลื่อนไหวที่น้อยเกินไป เป็นต้น ดังนั้นในการสร้างชิ้นงานแต่ละครั้งต้องอ่านโจทย์ให้เข้าใจ โจทย์ต้องการอะไรและมีตัวแปรอะไรบ้างเพื่อง่ายต่อการสร้างชิ้นงานและได้ผลลัพธ์ตรงตามทฤษฎี เมื่อทำการวิเคราะห์คำตอบที่ได้จากกราฟแล้วค่าที่ได้ไม่ตรงตามทฤษฎีให้กลับไปดูว่ามีข้อผิดพลาดตรงไหนบ้าง อาจจะใส่หน่วยผิด เครื่องหมายผิดกำหนดค่าต่าง ๆ ผิดหรืออาจจะกำหนดจุดการเชื่อมต่อต่าง ๆผิด ส่งผลต่อผลลัพธ์ที่คลาดเคลื่อน การใช้โปรแกรม MSC.ADAMS หาผลลัพธ์ในการแก้โจทย์ปัญหา ยังทำให้มองรูปแบบและทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุนั้นว่าเป็นอย่างไร ทำให้มีความเข้าใจมากยิ่งขึ้น

จากการประยุกต์โปรแกรม MSC.ADAMS ในการสร้างสื่อการเรียนการสอนนั้นก็เพื่อหวังว่าผู้ที่ได้เรียนในรายวิชานี้หรือผู้ที่ต้องการจะศึกษาเรื่องนี้จะมีความเข้าใจมากยิ่งขึ้นในการแก้โจทย์ปัญหา กรณีที่ผู้ศึกษาเกิดความชำนาญในการใช้โปรแกรม MSC.ADAMS นี้แล้วสามารนำไปประยุกต์ใช้กับงานต่าง ๆ ได้ หากผู้ศึกษาต้องการศึกษาการใช้งานโปรแกรม MSC.ADAMS เพิ่มเติมสามารถเข้าไปค้นคว้าข้อมูลได้ในอินเตอร์เน็ตอาทิ เช่น www.mscsoftware.com ซึ่งเป็นเว็ปไซต์ของโปรแกรม MSC.ADAMS โดยตรง

5.2 ข้อเสนอแนะ

- โปรแกรม MSC.ADAMS/Views ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองเป็นเวอร์ชัน 2007 ซึ่งยังมีบางส่วนที่ยังต้องปรับปรุงควรมีการนำโปรแกรม MSC.ADAMS ในเวอร์ชัน อื่นๆมาทดลองทำเปรียบเทียบกัน
- โปรแกรม MSC.ADAMS แบ่งแยกเป็นหลายส่วนสามารถใช้งานได้อีกหลายลักษณะ ควรมีการเสริม หรือยกตัวอย่างการใช้งานในรูปแบบอื่นๆด้วย
- โปรแกรม MSC.ADAMS ไม่สามารถใช้แก้โจทย์ปัญหาทุกข้อในทางวิศวกรรมได้ ต้องอาศัยการประยุกต์และศึกษาหาความรู้เพิ่มเติม
- การใช้โปรแกรม MSC.ADAMS เบื้องต้นที่ได้กล่าวไว้ใน เอกสารแนบที่ 1 ว่าด้วยการสร้างแบบจำลองไม่ได้ให้รายละเอียดมากนัก ต้องทำการศึกษาและทดลองใช้โปรแกรม MSC.ADAMS ไปด้วย
- เอกสารเกี่ยวกับโปรแกรม MSC.ADAMS ที่เป็นภาษาไทยมีน้อยมาก ควรมีการส่งเสริมและเผยแพร่เอกสารเกี่ยวกับโปรแกรมนี้ให้มากกว่านี้

บรรณานุกรม

[1] Hibbeler, R.C. กลศาสตร์วิศวกรรม ภาคพลศาสตร์ แปลและเรียบเรียงโดย
รศ. อินทรชิต หอวิจิตร. กรุงเทพฯ : เพียร์สัน เอ็ดยูเคชั่น อินโดไชน่า, 2548

[2] Hibbeler, R.C. Engineering Mechanics: Dynamics. 9 th ed.

[3] http:// www.mscsoftware.com

[4] http://www.me.cmu.edu/academics/courses/NSF_Edu_Proj/Dynamics_Adams/adams_tutor.html

[5] http://eng.sut.ac.th/me/meold/3_2551/425203/Ch11.ppt

[6] http://myfiles-express.com/download.php?file=Rc.Hibbeler.9th.Edition.

เอกสารแนบ

สารบัญเอกสารแนบ

หน้า

เครื่องมือในการสร้างแบบจำลอง

Tool 1: การตั้งค่าใช้งานเริ่มต้นใช้โปรแกรม (Intro Create) 2

Tool 2: การเปลี่ยนมุมมองสำหรับการสร้างชิ้นงาน (Chang Views) 4

Tool 3: การสร้างชิ้นงาน (Geometric Modeling) 6

Tool 4: การกำหนดตำแหน่งของชิ้นงาน (Position) 12

Tool 5: การสร้างรูปแบบการเคลื่อนที่ (Joint Tools tack) 14

Tool 6: การกำหนดการเคลื่อนที่ (Motion Generators) 20

Tool 7: การสร้างแรง (Create Forces) 24

Tool 8 การกำหนดกราฟแสดงผล (Measure) 28

Tool 9: การจำลองการเคลื่อนที่ (Simulation) 29

Tool 10: การวิเคราะห์กราฟที่ได้ (Plotting) 30

สื่อการเรียนรู้วิชา กลศาสตร์วิศวกรรม 2 โดยโปรแกรมMSC. ADAMS

แบบฝึกหัดที่ 1: Kinematics of a particle: Rectilinear Motion 33

แบบฝึกหัดที่ 2: Kinematics of a particle: Rectilinear Motion 37

แบบฝึกหัดที่ 3: Kinematics of a particle: Curvilinear Motion 40

แบบฝึกหัดที่ 4: Kinematics of a particle: Curvilinear Motion 46

แบบฝึกหัดที่ 5: Kinetics of a particle: Force Mass and Acceleration 49

แบบฝึกหัดที่ 6: Kinetics of a particle: Force Mass and Acceleration 55

แบบฝึกหัดที่ 7: Kinetics of a particle: Work and Energy 62

แบบฝึกหัดที่ 8: Kinetics of a particle: Work and Energy 69

แบบฝึกหัดที่ 9: Kinetics of a particle: Impulse and Momentum 73

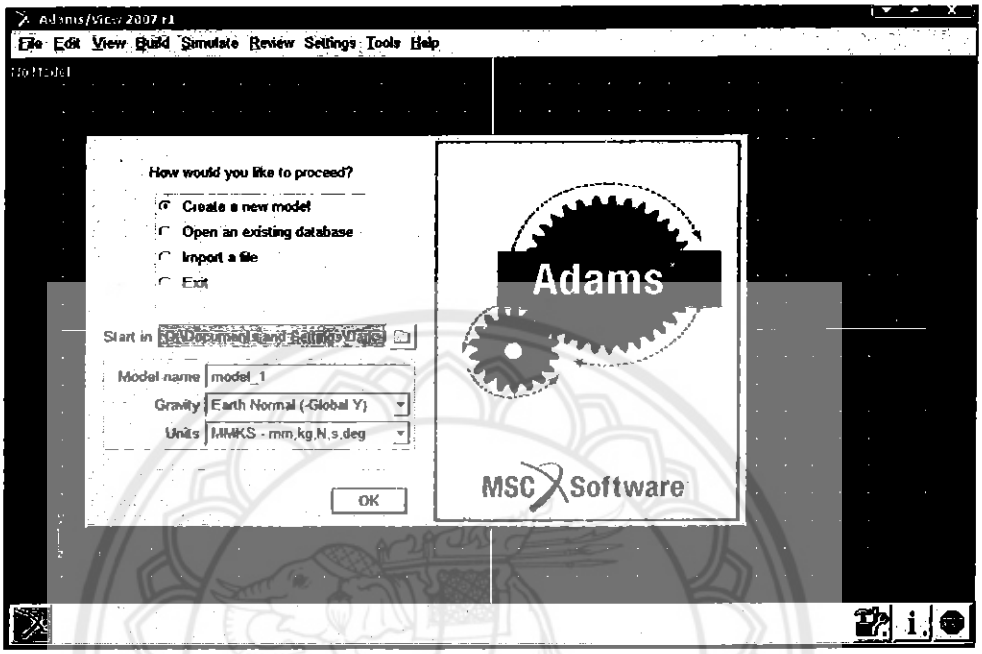
แบบฝึกหัดที่ 10: Kinetics of a particle: Impulse and Momentum 80

ผลการวิเคราะห์ค่าความถี่ในการจำลองการเคลื่อนที่ 89

เครื่องมือในการสร้างแบบจำลอง

Tool 1: การตั้งค่าใช้งานเริ่มต้นใช้โปรแกรม (Intro Create)

1.1 การตั้งค่าก่อนใช้งาน: เมื่อเปิดโปรแกรมที่ Adams View จะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 1 เพื่อกำหนดค่าต่างๆ ดังนี้



รูปที่1. การกำหนดรูปแบบของแบบจำลอง

Create a new model: สร้างแบบจำลองใหม่

Start in: ตั้งโฟลเดอร์ที่จะทำการบันทึกไว้ล่วงหน้า

Model name: ตั้งชื่อแบบจำลองที่จะสร้าง

Gravity: ตั้งค่าแรงโน้มถ่วงที่จะใช้ในการคำนวณค่าต่างๆในการเคลื่อนที่โดยเลือกได้ดังนี้

-Earth Normal (-Global Y) ค่าแรงโน้มถ่วงปกติบนพื้นโลก มีทิศทางชี้ลงตามแกนY

-No Gravity ไม่มีแรงโน้มถ่วง เช่นการจำลองชิ้นงานในอวกาศ

-Other ปรับค่าเองโดยใส่ค่าแรงโน้มถ่วงเอง ใช้ในแรงโน้มถ่วงในบริเวณที่มีค่าต่างจากปกติมากๆ

Units: ตั้งค่าหน่วยต่างที่ใช้กำหนดหน่วยของความยาว น้ำหนัก แรง เวลา และมุมโดยเลือกได้ดังนี้

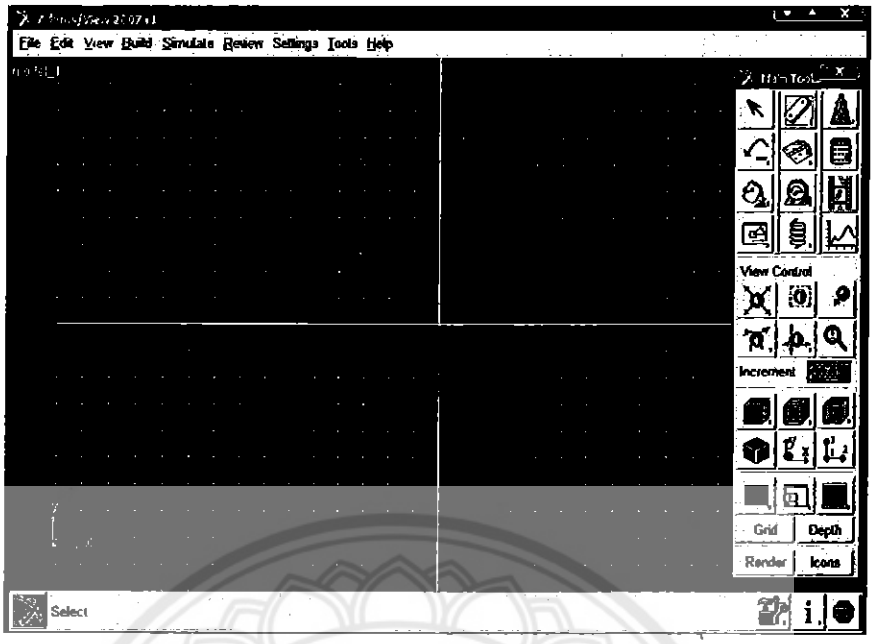
-MKS- m, kg, N, s, deg

-MMKS- mm, kg, N, s, deg

-CGS- cm, g, dyne, s, deg

-IPS- inch, lbm, lbf, s, deg

เมื่อตั้งค่าและเข้าโปรแกรม จะได้หน้าต่างโปรแกรมดังรูปที่ 2



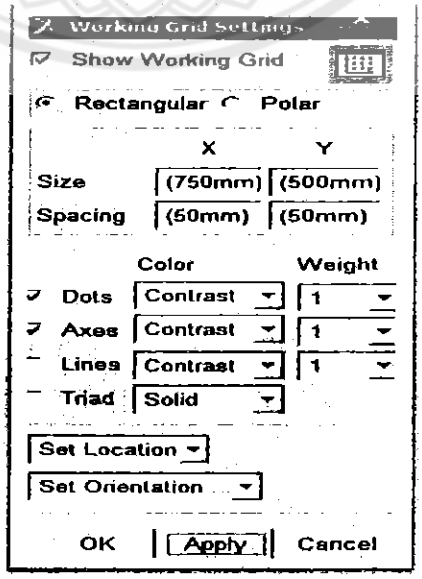
รูปที่2. แสดงลักษณะของตัวโปรแกรม

1.2 การตั้งค่า Working Grid และ Coordinate Window

การตั้งค่า Grid เป็นการตั้งค่าความละเอียด ขอบเขตการสร้างชิ้นงาน โดยการตั้งค่าจะต้องคำนึงถึงการจัดวางตำแหน่งของชิ้นงาน ความละเอียดของชิ้นงานโดยการตั้งค่าGrid ที่ดีจะช่วยให้การสร้างชิ้นงานง่ายขึ้น เซทค่าโดยเข้าไปที่ Settings > Working Grid จะปรากฏหน้าต่างสำหรับตั้งค่า ดังรูปที่ 3 ดังนี้

-แก้ไขค่าที่Size ทั้งแนวแกน X และY โดยการกำหนดค่าจะเป็นความยาวและความกว้างของGrid

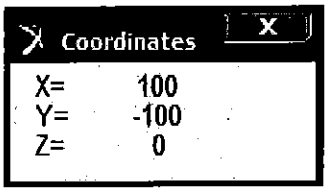
-แก้ไขค่าที่ Spacing ทั้งแนวแกน X และ Y จะเป็นการกำหนดระยะห่างของจุดแต่ละจุดตามแนวแกนX และ แกนY



รูปที่3. การตั้งค่า Working Grid Settings

1.3 การเปิดใช้งาน Coordinate Window

การเปิด Coordinate Window เป็นการเปิดหน้าต่างเพื่อดูพิกัดที่จะสร้างแบบจำลองช่วยในการวางระยะที่เหมาะสมในการสร้างแบบจำลอง โดยเข้าไปที่ View > Coordinate Window หรือกด F4 บนคีย์บอร์ด จะปรากฏหน้าต่างแสดงพิกัดในแนวแกน X Y และ Z ดังรูปที่ 4



รูปที่4. แสดงCoordinate Windows

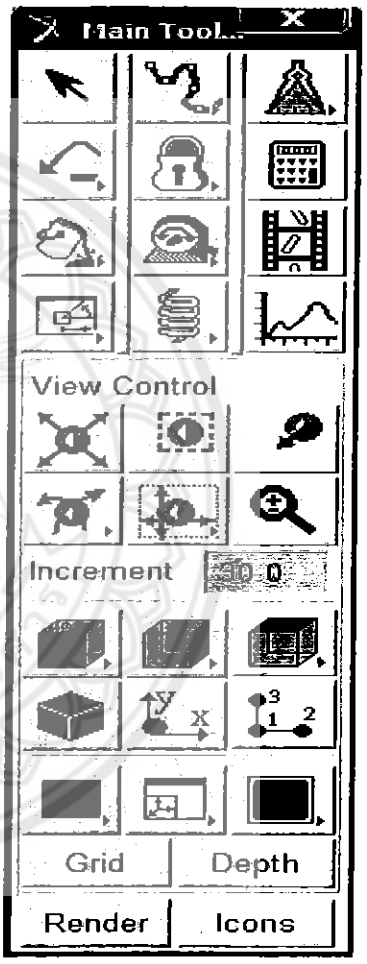
มหาวิทยาลัยนเรศวร

Tool 2: การเปลี่ยนมุมมองสำหรับการสร้างชิ้นงาน (Chang Views)

Select เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเปลี่ยนมุมมองของชิ้นไปในมุมและทิศทางต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 5

2.1 ส่วนประกอบย่อยของ Select Tool

1. Fitting a Model in the Window
2. Defining a Zoom Area
3. Setting the Center of View
4. Dynamic Rotation XY
5. Dynamic Rotation Z
6. Dynamic Translate XY
7. Dynamic Translate Z
8. Zoom In/Out Tool
9. Front View
10. Right Side View
11. Top View
12. Isometric View
13. Plane View XY
14. Plane View 123
15. Background Color
16. Toggle Triad Visibility
17. Layout View



รูปที่5. แสดง Select Tool

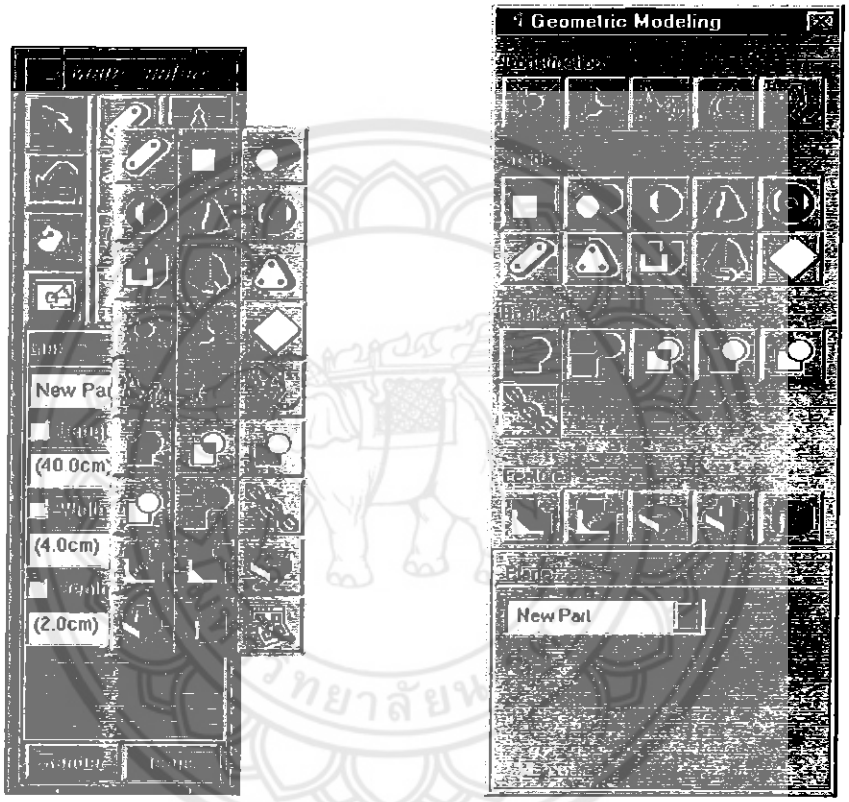
2.2 การใช้งาน Select Tool **จะยกตัวอย่างบางเครื่องมือที่จำเป็น**

1. **คลิกใช้เมื่อต้องการให้ชิ้นงานขยายได้เต็มจอ หรือโดยการกดตัวอักษร F บนคีย์บอร์ดและยังสามารถใช้ได้อีกวิธีโดยการไปที่** View --> Positions/Orientation --> Fit
2. **คลิกใช้เมื่อต้องการขยายชิ้น ณ จุดใดจุดหนึ่ง โดยการคลิกลาเมาส์ครอบจุดที่ต้องการขยาย หรือโดยการกดตัวอักษร F บนคีย์บอร์ด**
3. **คลิกใช้เมื่อต้องการกำหนดจุด Centerบนชิ้นงานและยังสามารถใช้ได้อีกวิธีโดย** การไปที่ View --> Positions/Orientation --> Center
4. คลิกใช้เมื่อต้องการหมุนชิ้นงานไปในทิศทางต่าง ๆรอบแกน XY
5. คลิกใช้เมื่อต้องการหมุนชิ้นงานไปในทิศทางต่าง ๆรอบแกน Z
6. คลิกใช้เมื่อต้องการเลื่อนชิ้นงานไปตามแกน X หรือกด Ctrl + T **ค้างไว้**
7. คลิกใช้เมื่อต้องการขยายชิ้นงานให้ใหญ่ขึ้นหรือเล็กลง หรือกด Z **ค้างไว้ หรือไป** ที่ View --> Positions/Orientation --> Zoom
8. คลิกใช้เมื่อต้องการมองภาพด้าน Front View และยังทำ**ให้ชิ้นงานกลับมาอยู่** ตำแหน่งเดิมในระนาบ Front View ได้อีกด้วย หรือไปที่ View --> Pre-Set --> Front
9. คลิกใช้เมื่อต้องการมองภาพด้านข้าง หรือไปที่ View --> Pre-Set --> Left **หรือ** Right
10. คลิกใช้เมื่อต้องการมองภาพด้านบน หรือไปที่ View --> Pre-Set --> Top
11. **คลิกใช้เมื่อต้องการมองภาพที่เป็น 3 มิติ หรือไปที่** View --> Pre-Set --> Isometric

Tool 3: การสร้างชิ้นงาน (Geometric Modeling)

Geometric Modeling เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการสร้างชิ้นงาน ซึ่งสามารถเลือกใช้ได้ในรูปแบบ ทั้งที่เป็นรูปร่างชิ้นงานแล้วหรือการสร้างชิ้นงานขึ้นมาเอง

การเรียกใช้เครื่องมือสามรถคลิกเลือกบนกล่องเครื่องมือ(Main Toolbox) ได้เลย โดยการคลิกขาวที่ Rigid Body แล้วก็เลือกรูปแบบต่าง ๆได้เลย หรือคลิกเลือกที่ Build--> Bodies/Geometry ก็จะแสดงหน้าต่างของ Geometric Modeling ออกมา ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่6. แสดงเครื่องมือในการสร้างชิ้นงาน

3.1 เครื่องมือที่นิยมใช้ในการสร้างชิ้นงาน Geometric Modeling

1. Link Tool
2. Box Tool
3. Cylinder Tool
4. Sphere Tool
5. Marker Tool
6. Spline Tool
7. Polyline Tool

3.2 การใช้งาน Geometric Modeling ในการสร้างชิ้นงาน

1.Link Tool เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการสร้างชิ้นงานที่เป็น Link นิยมใช้กับการสร้างชิ้นงานที่เป็นกลไกที่เชื่อมต่อกัน เช่น การสร้างชิ้นงานที่เป็น Pendulum ในการใช้งานนั้นให้คลิกขาวที่ Rigid Body บน Main Toolbox เลือก Link จากนั้นเลือก New Part ใส่ค่า ความยาว (Length) ความกว้าง (Width) และความหนา (Depth) เลือกคลิกวางชิ้นงานในตำแหน่งที่ต้องการ

2.Box Tool เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการสร้างชิ้นงานที่เป็นสี่เหลี่ยม ในการใช้งานนั้นให้คลิกขาวที่ Rigid Body บน Main Toolbox เลือก Box จากนั้นเลือก New Part ใส่ค่า ความยาว (Length) ความกว้าง (Width) และความหนา (Depth) เลือกคลิกวางชิ้นงานในตำแหน่งที่ต้องการ

3.Cylinder Tool เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการสร้างชิ้นงานที่เป็นทรงกระบอก ในการใช้งานนั้นให้คลิกขาวที่ Rigid Body บน Main Toolbox เลือก Cylinder จากนั้นเลือก New Part ใส่ค่า ความยาว (Length) และรัศมีของหน้าตัดชิ้นงาน(Radius) เลือกคลิกวางชิ้นงานในตำแหน่งที่ต้องการ

4.Sphere Tool เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการสร้างชิ้นงานที่เป็นทรงกลม ในการใช้งานนั้นให้คลิกขาวที่ Rigid Body บน Main Toolbox เลือก Sphere จากนั้นเลือก New Part ใส่ค่า รัศมีของหน้าตัดชิ้นงาน(Radius) เลือกคลิกวางชิ้นงานในตำแหน่งที่ต้องการ

5.Marker Tool เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการกำหนดจุดการเคลื่อนที่ของชิ้นงานว่าจะเริ่มให้เริ่ม ณ ตำแหน่งใด ในการใช้งานนั้นให้คลิกขาวที่ Rigid Body บน Main Toolbox เลือก Marker จากนั้นเลือก Add to Ground --> Global XY คลิกวางบนตำแหน่งที่ต้องการ

6. Spline Tool เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการสร้างชิ้นงานที่เป็นเส้นโค้งหรือวัตถุที่มีรูปร่างโค้งกลมแต่ขนาดแต่ละส่วนไม่เท่ากัน เช่น การสร้าง Camp ในการใช้งานนั้นให้คลิกขาวที่ Rigid Body บน Main Toolbox เลือก Spline จากนั้นเลือก New Part และเลือก Point คลิกสร้างชิ้นงานตามรูปแบบที่ต้องการ คลิกขาวเพื่อสิ้นสุดการสร้าง

7.Polyline Tool เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการสร้างชิ้นงานที่เป็นเส้นตรงและสร้างให้ชิ้นงานมีความเอียงได้ ในการใช้งานนั้นให้คลิกขาวที่ Rigid Body บน Main Toolbox เลือก Polyline จากนั้นเลือก New part เลือก One Line หรือ Polyline เพื่อกำหนดรูปแบบการสร้างว่าจะให้สร้างเส้นเดียวหรือสร้างต่อกันหลาย ๆ เส้น จากนั้นกำหนดความยาวและมุม คลิกสร้างชิ้นงานตามรูปแบบที่ต้องการ คลิกขาวเพื่อสิ้นสุดการสร้าง

Tool 3.1 การกำหนดลักษณะพิเศษของชิ้นงาน

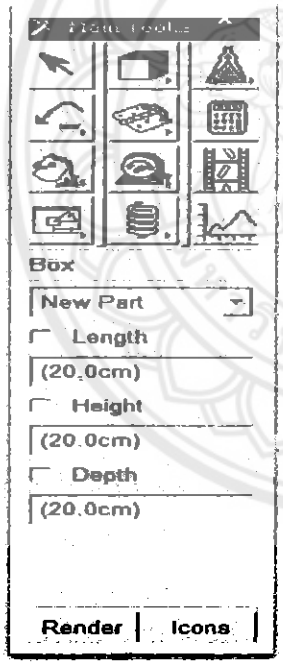
3.1.1 การสร้าง Ground

เป็นการสร้างพื้นหรือผิวสัมผัสให้กับชิ้นงาน และใช้ในการวิเคราะห์หาแรงที่กระทำต่อชิ้นงานกับผิวสัมผัส

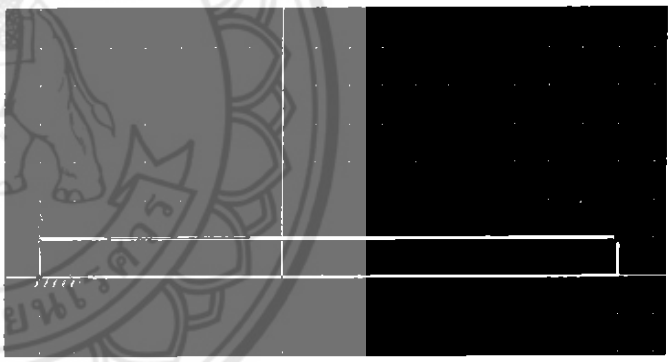
-ขั้นตอนในการสร้าง Ground

สำหรับการสร้างฐานจะใช้การสร้างพื้นที่สี่เหลี่ยม โดยคลิกขวาในส่วน Rigid Body บน Main Toolbox เลือกไอคอน จะแสดงหน้าต่างออกมา ดังแสดงในรูปที่ 7

การสร้าง Ground ทำโดยการคลิกเลือกที่รูปลูกศร New Part แล้วเลือกที่ On Ground คลิกเครื่องหมายถูกที่ Length, Height, Depth เพื่อกำหนดค่าความยาว ความสูง และความหนา ของพื้นที่ฐาน และใส่ขนาดฐานตามที่เราต้องการ แล้วใช้เมาส์คลิกเลือกจุดที่วาง Ground ที่สร้างแล้ว ลักษณะจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมเคลื่อนที่ตามเมาส์วางบนจุดที่ต้องการคลิกซ้ายหนึ่งครั้งเพื่อวาง Ground ซึ่งGround ที่ได้จะติดกับ Plane ไม่สามารถขยับได้ ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่7. Tool Box สำหรับสร้างโมเดล

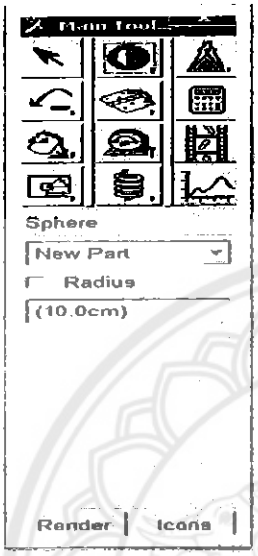


รูปที่8. แสดงการสร้าง Ground

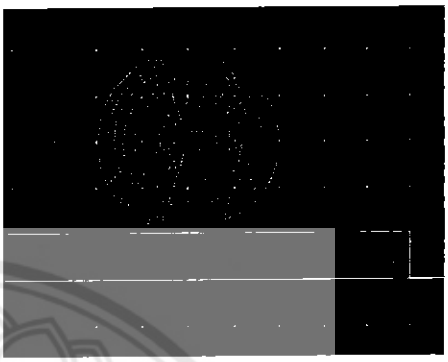
3.1.2 การสร้างส่วนจำลองชิ้นงาน

ชิ้นงานที่ใช้สร้างแบบจำลองเราจะใช้สองลักษณะคือ รูปแบบของวงกลมเพื่อแสดงแทนวัตถุที่เคลื่อนที่ในสองระนาบในเวลาเดียวกัน ส่วนอีกรูปแบบเป็นชิ้นงานสี่เหลี่ยมเพื่อแสดงแทนวัตถุที่เคลื่อนที่ในแนวระนาบเดียว

การสร้างชิ้นงานวงกลมใช้ในส่วน Rigid Body ใน Tool Box เลือกไอคอน ที่ Tool Box ด้านล่างจะเปลี่ยนลักษณะเป็นแบบรูปที่ 9โดยการสร้างวงกลมจะคลิกทำเครื่องหมายถูกที่ Radius และใส่ขนาดรัศมีของวงกลมที่เราต้องการ แล้วใช้เมาส์คลิกเลือกจุดที่วางชิ้นงานที่สร้างแล้ว ลักษณะจะเป็นรูปวงกลมเคลื่อนที่ตามเมาส์วางบนจุดที่ต้องการคลิกซ้ายหนึ่งครั้งเพื่อวาง ดังแสดงในรูปที่ 10

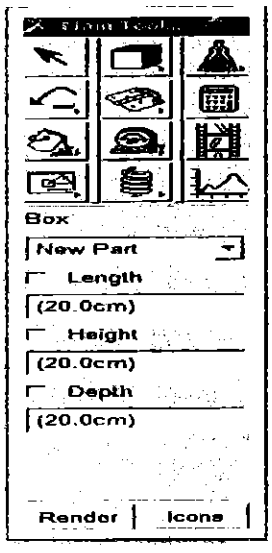


รูปที่9. Tool Box สำหรับการสร้างชิ้นงานวงกลม

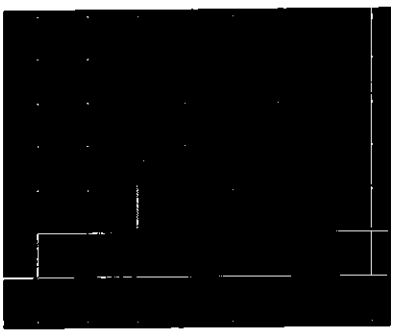


รูปที่10. แสดงการสร้างชิ้นงานที่เป็นวงกลม

การสร้างชิ้นงานสี่เหลี่ยมใช้ในส่วน Rigid Body ใน Tool Box เลือกไอคอน ที่ Tool Box ด้านล่างจะเปลี่ยนลักษณะเป็นแบบรูปที่ 11 การสร้าง Box ซึ่งทำเหมือนการสร้าง Ground เพียงแต่เราสามารถใช้การสร้าง New Part ได้เลย(ค่าเริ่มต้นที่ถูกกำหนดไว้อยู่แล้ว) สร้างชิ้นงานทำโดยการคลิกเครื่องหมายถูกที่ Length, Height, Depth เพื่อกำหนดค่าความยาว ความสูง และความหนา ของชิ้นงาน และใส่ขนาดชิ้นงานตามที่เราต้องการ แล้วใช้เมาส์คลิกเลือกจุดที่วางชิ้นงานที่สร้างแล้ว ลักษณะจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมเคลื่อนที่ตามเมาส์วางบนจุดที่ต้องการคลิกซ้ายหนึ่งครั้งเพื่อวาง



รูปที่1.1 Tool Box สำหรับการสร้างชิ้นงานสี่เหลี่ยม

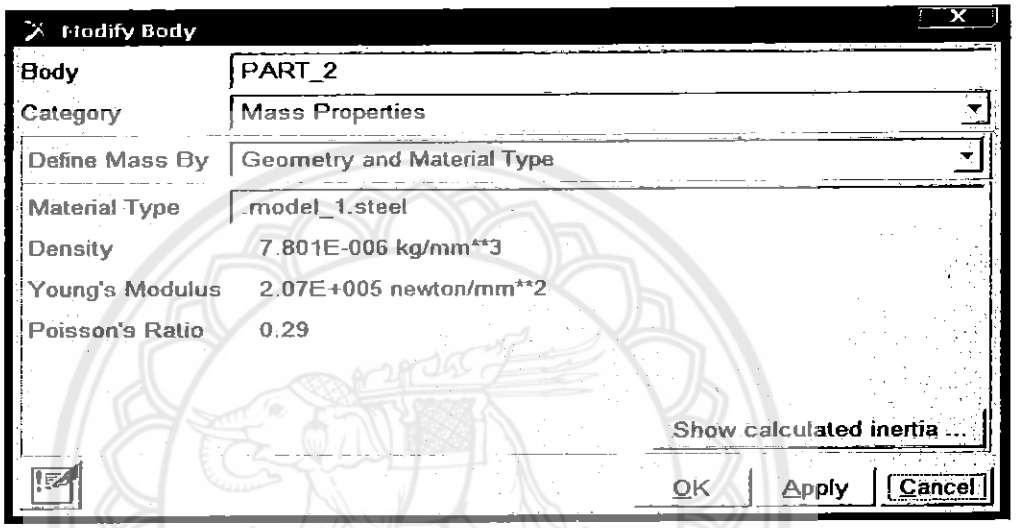


รูปที่12. แสดงการสร้างชิ้นงานที่เป็นสี่เหลี่ยม

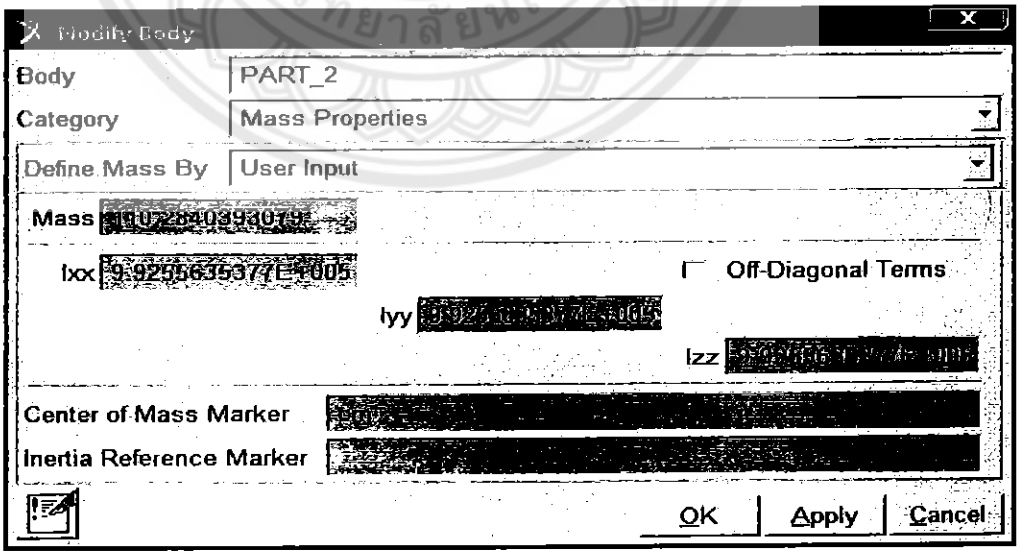
3.1.3 การเปลี่ยนชื่อและกำหนดมวลของชิ้นงาน(mass)

การตั้งชื่อของชิ้นงานทำได้โดยคลิกขวาที่ชิ้นงานเลือก Part > Modify จะปรากฏหน้าต่างสำหรับ Modify Body ดังรูปที่ 13 แล้วเปลี่ยนชื่อที่ต้องการที่ช่องว่างหลัง Body เลือก OK

กำหนดมวลของชิ้นงานเพื่อการคำนวณ ทำโดยคลิกขวาที่ชิ้นงานเลือก Part > Modify จะปรากฏหน้าต่างสำหรับ Modify Body ดังรูปที่ 13 แล้วเปลี่ยนที่ Define Mass By เลือกเป็น User Input จะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 14 แก้ไขที่ Mass ใส่ค่าของมวลชิ้นงานที่ต้องการลงไปแล้วเลือก OK



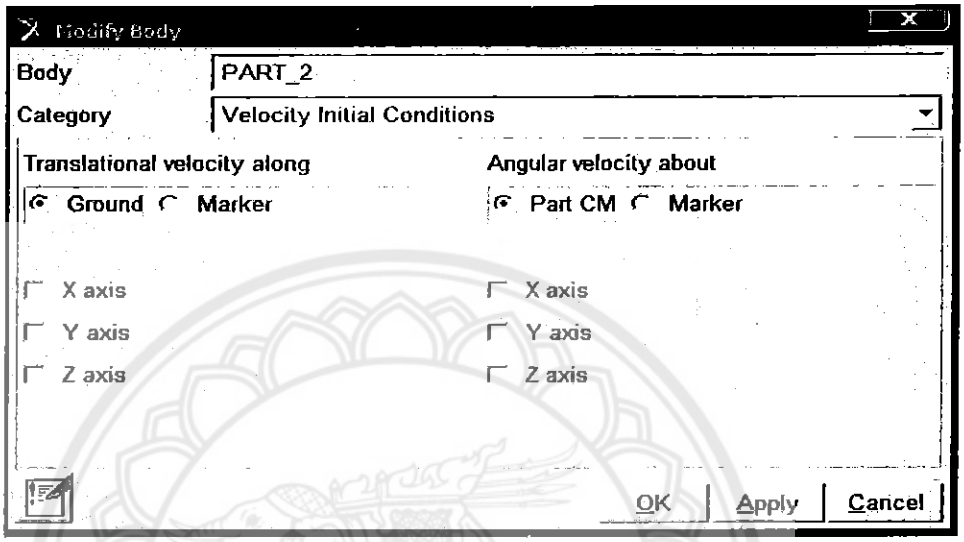
รูปที่13. หน้าต่างสำหรับ Modify Body



รูปที่14. หน้าต่างสำหรับกำหนดมวลของชิ้นงาน

3.1.4 การกำหนดความเร็วเริ่มต้นของชิ้นงาน (Initial velocity)

การใส่กำหนดความเร็วเริ่มต้นทำได้โดยการคลิกขวาที่ชิ้นงานที่ต้องการกำหนดความเร็วเริ่มต้นให้เลือก Part > Modify จะปรากฏหน้าต่างสำหรับ Modify Body ดังรูปที่ 15 การกำหนดค่าความเร็วเริ่มต้นของวัตถุที่ Category เปลี่ยนเป็น Velocity Initial Conditionals



รูปที่15. หน้าต่างสำหรับการกำหนดความเร็วเริ่มต้นให้แก่ชิ้นงาน

ทำเครื่องหมายถูกหน้าแนวแกนที่เราต้องการให้ชิ้นงานเคลื่อนที่ไปตามแนวแกนนั้นๆ และใส่ค่าความเร็วที่ต้องการ แล้วเลือก OK

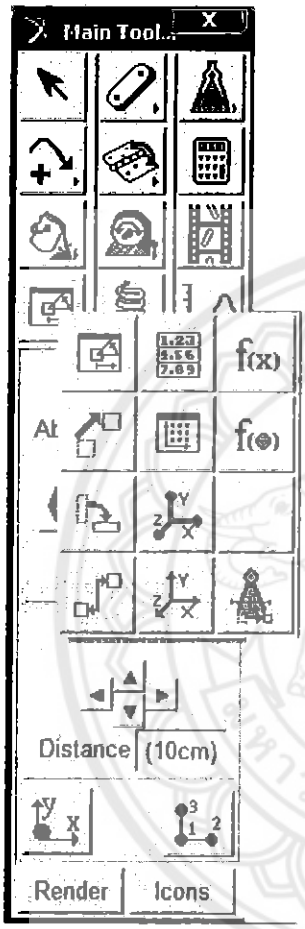
3.1.5 การลบชิ้นงาน

- การลบชิ้นงานโดยใช้งาน Undo – Redo สามารถคลิกใช้ได้เลยบน Main Toolbox หรือไปที่ Edit --> Undo or Redo หรือ กด Ctrl + Z (Undo), กด Ctrl + Shift + Z (Redo)ทำการ Undo จนชิ้นงานหายไป

- การลบชิ้นงานชิ้นที่ไม่ต้องการทำได้โดยการคลิกขวาที่ชิ้นงาน เลือกที่ชื่อชิ้นงาน > Deleteหากชิ้นงานมีการกำหนดค่าการใช้งานเกี่ยวพันกับชิ้นงานอื่นๆ จะมีข้อความถามว่าต้องการลบทั้งหมดหรือไม่ ให้เลือก Delete All ชิ้นงานก็จะหายไป

Tool 4: การกำหนดตำแหน่งของชิ้นงาน (Position)

Position เป็นการกำหนดตำแหน่งของชิ้นงาน ใช้เมื่อต้องการเปลี่ยนตำแหน่งใหม่ให้กับชิ้นงานหรือหมุนชิ้นงานไปในตำแหน่งที่ต้องการ ในการใช้งานนั้นสามารถคลิกขวาเลือก Position ต่าง ๆ บน Main Toolbox ได้เลย ดังแสดงในรูปที่ 16



ส่วนประกอบของ Position ที่นิยมใช้

1. Reposition Object Relative View
2. Move Translate Object
3. Rotate Objet

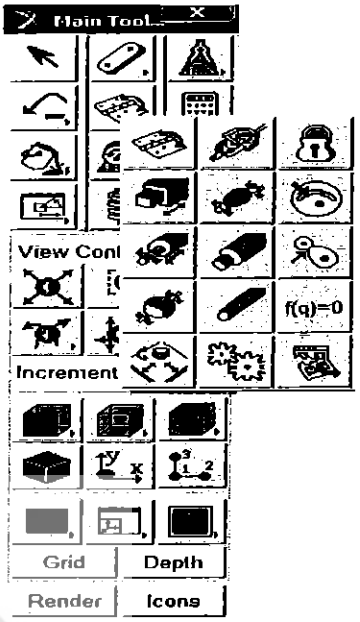
รูปที่16. แสดงเครื่องมือของ Position

วิธีการใช้เครื่องมือ Position

1. Reposition Object Relative View เป็นเครื่องมือที่ใช้กำหนดตำแหน่งของชิ้นงานที่ต้องการให้เอียงในมุมต่าง ๆ โดยการคลิกเลือก บน Main Toolbox จากนั้นใส่ค่ามุมที่ต้องการเปลี่ยนตำแหน่งชิ้นงานไปที่ Angle จากนั้นก็คลิกเลือกว่าจะหมุนไปตามเข็มหรือทวนเข็ม โดยชิ้นงานจะหมุนรอบแกนของ Gravity

2. Move Translate Object เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเปลี่ยนตำแหน่งของชิ้นงานจากจุดเริ่มต้นไปจุดที่ต้องการ โดยการคลิกเลือก บน Main Toolbox ตรง Position: Move คลิกเลือก Selected นำเมาส์ไปคลิกเลือกที่ชิ้นงานจากนั้นลากเมาส์ไปวางที่ตำแหน่งใหม่
3. Rotate Object เป็นเครื่องมือที่ใช้กำหนดตำแหน่งของชิ้นงานที่ต้องการให้เอียงในมุมต่าง ๆ หรือเคลื่อนย้ายไปตำแหน่งต่าง ๆ โดยการคลิกเลือก บน Main Toolbox จากนั้นคลิกเลือก Selected เลือก About และใส่ค่ามุมที่ต้องการเปลี่ยนตำแหน่งชิ้นงานไปที่ Angle จากนั้นก็คลิกเลือกตำแหน่งหรือจุดหมุนบนชิ้นงาน ชิ้นงานจะหมุนรอบจุด ๆนั้น

Tool 5: การสร้างรูปแบบการเคลื่อนที่ (Joint Tools tack)



รูปที่17. แสดงเครื่องมือ Joint Tools tackในTool Box

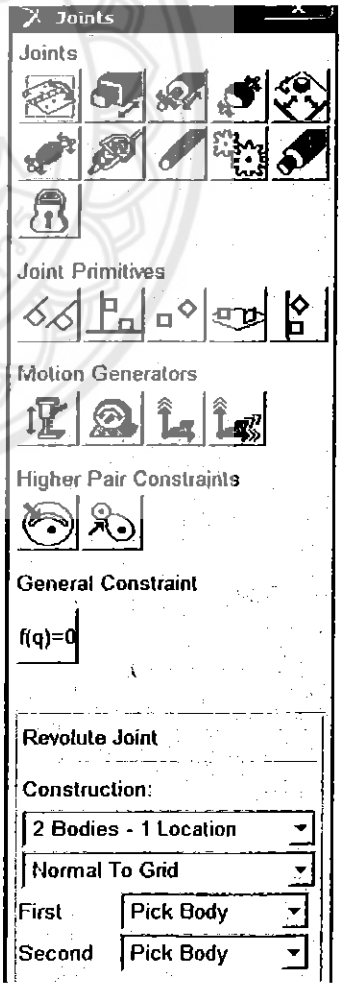
Joint เป็นเครื่องมือที่ใช้ในสร้างรูปแบบการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน (Model) เพื่อบังคับให้ชิ้นงาน (Model) ไปในทิศทางที่เราต้องการเป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 17 และ 18

การเรียกใช้ Joint Tools tack ทำได้ 2 วิธี

1. เข้าไปที่ Build--->Joint
2. คลิกขวาที่ Joint บน Main Toolbox ได้เลย

องค์ประกอบต่าง ๆ ของ Joint

1. Revolute Joint Tool
2. Hooke/Universal Joint Tool
3. Translational Joint Tool Fixed
4. Joint Tool
5. Constant-Velocity Joint Tool
6. Coupler Joint Tool
7. Point-Curve Constraint Tool
8. Cylindrical Joint Tool
9. Screw Joint Tool
10. 2D Curve-Curve Constraint Tool
11. Spherical Joint Tool
12. Point Joint Tool
13. Gear Joint Tool
14. Parallel Axes Joint Tool
15. Perpendicular Axes Joint Tool
16. Orientation Joint Tool
17. In plane Joint Tool
18. Inline Joint Tool
19. General Constrain Tool



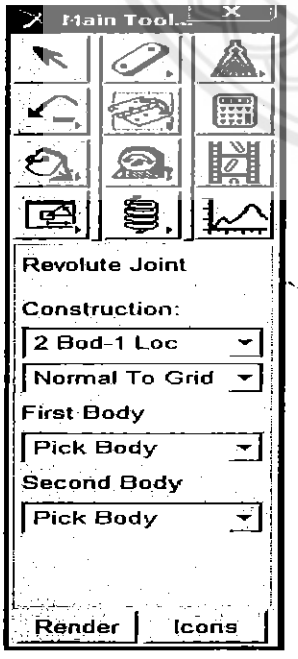
รูปที่18. แสดงเครื่องมือ Joint Tools

Joint ที่จำเป็นสำหรับใช้ในส่วนของการสร้างชิ้นงานในขอบข่ายของ Particle มี 5 รูปแบบ คือ

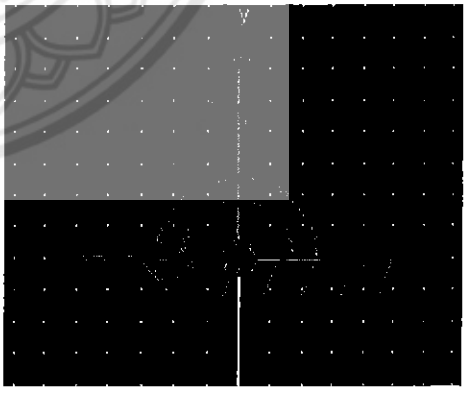
1. Revolute Joint Tool
2. Translational Joint Tool
3. 2D Curve-Curve Constraint Tool
4. Point-Curve Constraint Tool
5. Fixed Joint Tool

1. Revolute Joint Tool

Revolute Joint เป็นเครื่องมือที่ใช้เมื่อต้องการบังคับชิ้นงาน (Model) หมุนโดยการยึดจะเป็นลักษณะของหมุดยึดไว้ใช้เป็นจุดหมุนของชิ้นงาน และสามารถใช้ยึดชิ้นงานเข้าด้วยกัน ทำให้ชิ้นงานเคลื่อนที่ได้เฉพาะรัศมีวงกลมที่กำหนด โดยใช้ Revolute Joint ให้เข้าไปที่ Main Toolbox จะเปลี่ยนเป็นดังรูปที่ 19 ทำการกำหนดการเคลื่อนที่โดย คลิกเลือกชิ้นงานสองชิ้นให้ติดกัน และกำหนดจุดหมุน ชิ้นงานจะหมุนตามรัศมีที่เรากำหนดการเชื่อมชิ้นงานสองชิ้นทำได้โดยการคลิกเลือกที่ แล้วสามารถใช้งานได้เลย(ค่าเริ่มต้น 2 Bod-1 Loc) โดยขั้นตอนโปรแกรมจะสั่งให้เลือกที่ตัวชิ้นงานที่ 1 และตัวชิ้นงานที่ 2 และเลือกจุดเชื่อมต่อกัน ทำตามที่โปรแกรมสั่งโดยที่ชิ้นงานจะใช้ตัวไหนเป็นตัวที่ 1 หรือ 2 ก็ได้ จากนั้นทำการกำหนดจุดหมุนโดยการเลือกที่ Construction เปลี่ยน 2 Bod-1 Loc เป็น 1 Location แล้วเลือกจุดหมุนที่ต้องการได้เลย ดังแสดงในรูปที่ 20



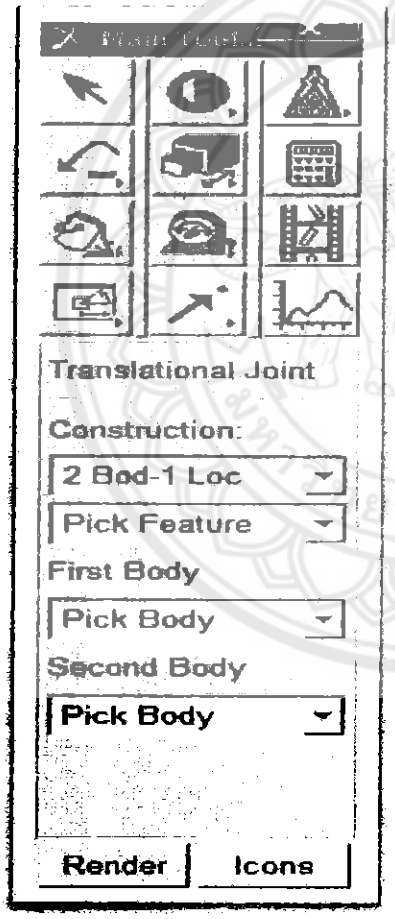
รูปที่19. Tool Box สำหรับสร้าง Revolute Joint



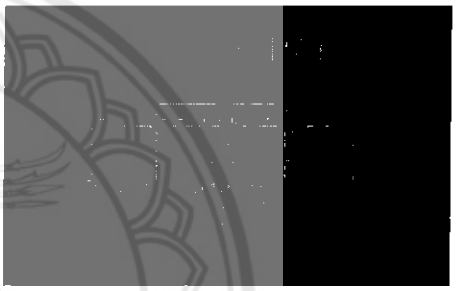
รูปที่20. แสดงรูปแบบของ Revolute Joint เมื่อสร้างเสร็จ

Translational Joint เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับชิ้นงานที่ต้องการกำหนดการเคลื่อนที่ในแนวทิศทางตรงที่ต้องการศึกษา เพื่อให้ชิ้นงานเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่ต้องการศึกษาโดยใช้ Translational Joint บน Main Toolbox จะเปลี่ยนเป็นดังรูปที่ 21

ชิ้นงานที่ใช้จะเป็นชิ้นงานหนึ่งชิ้นกับพื้นรองที่สมมุติให้เป็นพื้น (Ground) โดยเราสามารถเริ่มการใช้งานโดยเข้าไปที่ และดำเนินการตามที่โปรแกรมสั่งให้ทำคือ เลือกชิ้นงานที่1 ให้เลือกที่ พื้นรองที่สมมุติให้เป็นพื้น (Ground) จากนั้น เลือกชิ้นงานที่สอง ให้เลือกที่ชิ้นงานที่เราต้องการกำหนดทิศทาง ต่อไปกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่โดยเลือกจุดที่ต้องการให้แล้วลากเมาส์ไปในทิศทางที่ต้องการให้ชิ้นงานเคลื่อนที่ไป ชิ้นงานจะสามารถเคลื่อนที่ไปตามแนวระนาบที่เรากำหนดไว้เท่านั้น (ทิศทางตามลูกศรหรือย้อนลูกศร) ดังแสดงในรูปที่ 22



รูปที่21. Tool Box สำหรับสร้าง Translational Joint



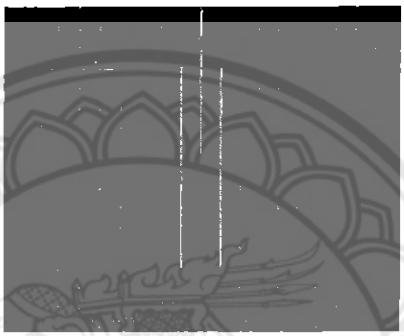
รูปที่22. รูปแบบของ Translational Joint เมื่อสร้างเสร็จ

2. **2D Curve-Curve Constraint Tool**

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการกำหนดการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ติดกันหรือต่อ และเคลื่อนที่ไปด้วยกันส่วนใหญ่จะนิยมใช้ในการสร้าง Camp ถ้าอยากได้คำตอบที่แน่นอนในการ Simulation ต้องทำการวิเคราะห์พื้นที่ที่สัมผัสเป็นช่วง ๆ

ในการใช้ Curve-Curve Constraint ให้ไปที่ Main Toolbox คลิกเลือก 2D Curve-Curve Constraint Tool จากนั้นคลิกเลือกส่วนโค้งของชิ้นงานทั้ง 2 ชิ้นจะได้หน้าตาของ

2D Curve-Curve Constraint Tool ดังแสดงในรูปที่ 23



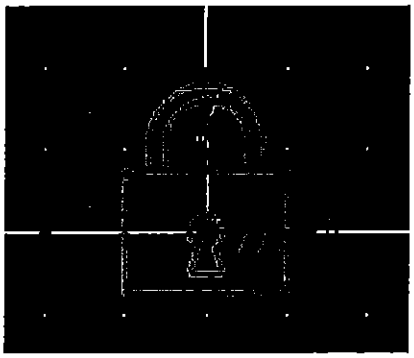
รูปที่23. รูปแบบของ Curve-Curve Constraint เมื่อสร้างเสร็จ

3. **Point-Curve Constraint Tool**

เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับกำหนดการเคลื่อนที่ในแนวเส้นโค้งในรูปแบบต่าง ๆ โดยประกอบไปด้วยชิ้นส่วนที่เป็นพื้นและชิ้นส่วนที่เป็นเคลื่อนที่ ในการใช้งานนั้นให้ไปที่ Main Toolbox คลิกขวาที่ Joint เลือก Point-Curve Constraint ตรง Point Curve เลือก Curve จากนั้นนำเมาส์ไปคลิกเลือกชิ้นงานที่ 1 ที่ต้องการให้เคลื่อนที่และนำเมาส์ไปคลิกชิ้นงาน 2 เพื่อกำหนดให้อยู่กับที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้

4. **Fixed Joint Tool**

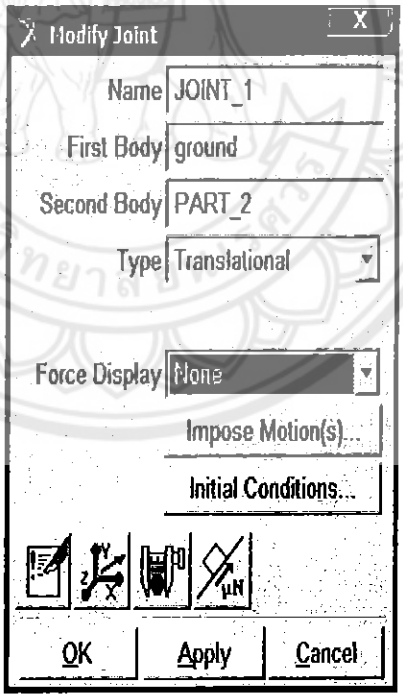
เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับใช้ล็อคหรือกำหนดให้ชิ้นงานอยู่กับที่ โดยไปที่ Main Toolbox คลิกขวาที่ Joint เลือก Fixed Joint จากนั้นตรง Construction ให้เลือกรูปแบบการ Fixed Joint มีทั้ง 1 Location, 2 Body – 1 Location, 2 Body – 2 Location จากนั้นก็เลือกตำแหน่งที่จะล็อคชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 24



รูปที่24. รูปแบบของ Fixed Joint เมื่อสร้างเสร็จ

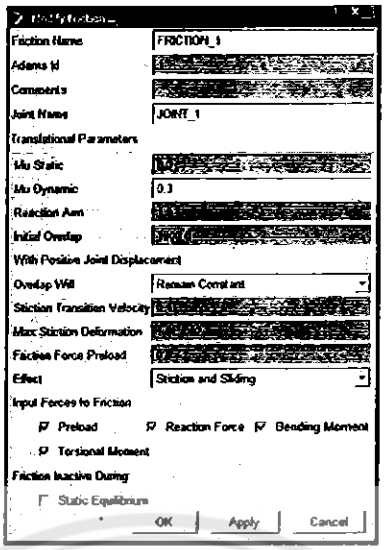
Tool 5.1 การกำหนดแรงเสียดทาน (friction)

สร้างแรงเสียดทานสามารถสร้างได้จาก Joint Translational โดยคลิกขวาเลือก joint > **Modify จะมีหน้าต่างเครื่องมือ**ดังรูปที่ 25



รูปที่ 25 Modify joint

กำหนดแรงที่กระทำบน Joint ว่าแรงกระทำที่ Body ตัวไหน เพื่อการแสดงผลที่เที่ยงตรงและเลือกเครื่องหมาย **จะปรากฏหน้าต่างเครื่องมือสำหรับกำหนดค่าแรงเสียดทานดังรูปที่ 26**



รูปที่26. แสดงModify Friction

กำหนดค่าตามที่เราต้องการคือ Mu Static = μs, Mu Dynamic = μk

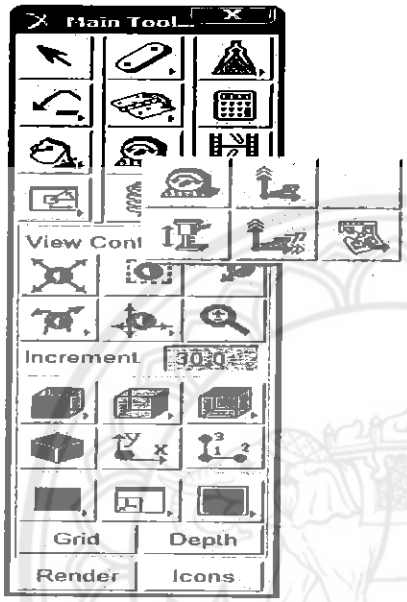
Effect **มี**สามตัวเลือกคือ

- Stiction and Sliding แสดงแรงเสียดทานตั้งแต่ก่อนการเคลื่อนที่ จนวัตถุ**เคลื่อนที่** (μs และ μk)
- Stiction Only แสดงแรงเสียดทานเฉพาะแรงเสียดทานที่ฉุดรั้งวัตถุไม่**ให้เคลื่อนที่** (μs)
- Sliding Only แสดงแรงเสียดทานตั้งแต่วัตถุเริ่มเคลื่อนที่จนวัตถุเคลื่อน**ที่ (ไม่คิดแรงฉุดรั้ง** ขณะยังไม่เคลื่อนที่)

Tool 6: การกำหนดการเคลื่อนที่ (Motion Generators)

Motion Generators เป็นเครื่องมือที่ใช้ในสร้างรูปแบบการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน (Model) เพื่อกำหนดให้ชิ้นงานมีขนาดและทิศทางตามที่เราต้องการ

การเรียกใช้ Motion Generators ทำได้โดยคลิกขวาในส่วนของ Main Toolbox ที่ Rotational joint motion แล้วเลือกรูปแบบของ Motion Generators ที่ต้องการได้เลยดังรูปที่ 27



เครื่องมือของMotion Generators มีดังนี้

1. Rotational joint motion
2. Translational joint motion
3. Point Motion
4. General Motion

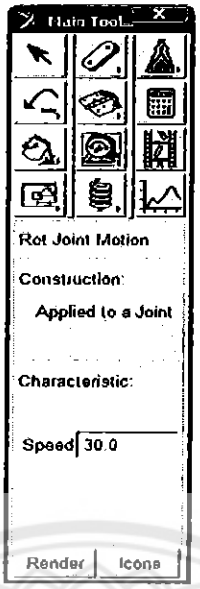
รูปที่ 27. แสดงเครื่องมือในการกำหนดการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน

6.1 Motion Generators ใช้สำหรับใสค่าขนาดของความเร็ว (Speed) ซึ่งแต่ละส่วนสามารถกำหนดรูปแบบการเคลื่อนที่ แตกต่างกันไปดังนี้

1. Rotational joint motion ใช้สำหรับกำหนดขนาดของความเร็ว (Speed) ในการหมุนของชิ้นงาน โดยเราจะต้องกระทำการเคลื่อนที่บน joint สำหรับการหมุนทำได้โดยการใช้เครื่องมือ ใน Tool Box วิธีการใช้งานมีดังนี้

คลิกเลือกเครื่องมือ ใน Tool Box Tool Box จะเปลี่ยนรูปแบบเหมือนดังรูปที่ 28

โดยเราสามารถกำหนดอัตราของความเร็วได้โดยใส่ค่าใดๆ ลงใน Speed ค่าที่ใส่ลงไปจะมีหน่วยตามที่เราตั้งไว้เริ่มต้น โดยใส่ค่าที่เราต้องการลงช่องว่างข้างหลัง Speed แล้วคลิกเลือกที่ joint ที่เราต้องการใส่ขนาดของความเร็วลงไปก็จะได้ Rotational joint motion ซึ่งหมุนทวนเข็มนาฬิกา หากต้องการให้หมุนตามเข็มนาฬิกาสามารถทำได้โดยใส่ขนาดของความเร็วเป็นติดลบ

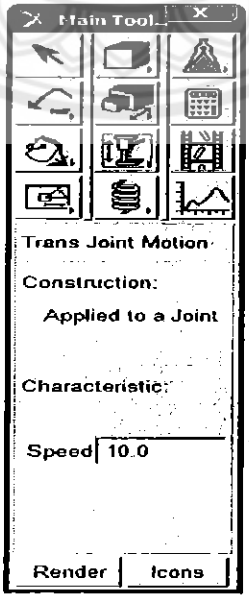


รูปที่28. แสดงเครื่องมือสร้าง Rotational joint motion

2. Translational joint motion ใช้สำหรับกำหนดขนาดของความเร็ว (Speed) ในการเคลื่อนที่ของชิ้นงานโดยเราจะต้องกระทำการเคลื่อนที่บน joint สำหรับการเคลื่อนที่ทำได้โดยการใช้เครื่องมือ ใน Tool Box วิธีการใช้งานมีดังนี้

คลิกเลือกเครื่องมือ ใน Tool Box Tool Box จะเปลี่ยนรูปแบบเหมือนดังรูปที่ 29

โดยเราสามารถกำหนดขนาดของความเร็วได้โดยใส่ค่าใดๆ ลงใน Speed ค่าที่ใส่ลงไปจะมีหน่วยตามที่เราตั้งไว้ตอนเริ่มต้น โดยใส่ค่าที่เราต้องการลงช่องว่างข้างหลัง Speed แล้วคลิ๊กเลือกที่ joint ที่เราต้องการใส่อัตราความเร็วลงไปก็จะได้ Translational joint motion



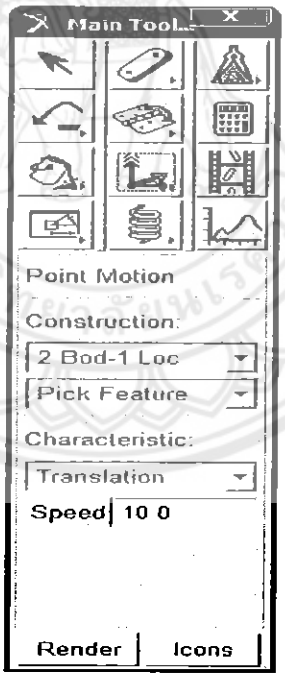
รูปที่29. แสดงเครื่องมือสร้าง Rotational joint motion

3. Point Motion ใช้สำหรับกำหนดขนาดของความเร็ว (Speed) ในการเคลื่อนที่ของชิ้นงานโดยเราจะต้องกำหนดการเคลื่อนที่จุดใดๆบนชิ้นงาน สำหรับการเคลื่อนที่ทำได้โดยการใช้เครื่องมือ ใน Tool Box วิธีการใช้งานมีดังนี้

คลิกเลือกเครื่องมือ ใน Tool Box Tool Box จะเปลี่ยนรูปแบบเหมือนดังรูปที่ 30 ซึ่งเราสามารถกำหนดการเคลื่อนที่ของชิ้นงานที่Construction สามารถกำหนดได้ 3 ลักษณะคือ

- 1 Location เลือกตำแหน่งจากจุดหนึ่งจุดบนชิ้นงานให้เคลื่อนที่
- 2 Bod-1Loc เลือกตำแหน่งของชิ้นงานสองชิ้นและจุดหนึ่งจุดให้เคลื่อนที่
- 2 Bod-2Loc เลือกตำแหน่งของชิ้นงานสองชิ้นและจุดสองจุดให้เคลื่อนที่โดยสองชิ้นงานจะเคลื่อนที่ในทิศทางตรงข้ามกันและกำหนด Characteristic เลือกการเคลื่อนที่ได้ 2 ลักษณะคือ Translation หรือ Rotation

โดยเราสามารถกำหนดขนาดของความเร็วได้โดยใส่ค่าใดๆ ลงใน Speed ค่าที่ใส่ลงไปจะมีหน่วยตามที่เราตั้งไว้ตอนเริ่มต้น โดยใส่ค่าที่เราต้องการลงช่องว่างข้างหลัง Speed แล้วคลิ๊กเลือกจุดที่ต้องการลากลูกศรกำหนดทิศทางที่ต้องการ จะได้ Point Motion



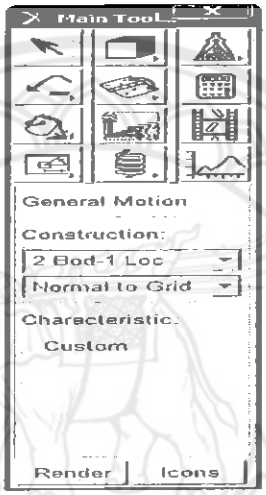
รูปที่30. แสดงเครื่องมือสร้าง Point motion

4. General Motion ใช้สำหรับกำหนดขนาดของความเร็ว (Speed) ในการเคลื่อนที่ของชิ้นงานซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีรูปแบบคล้ายกับ Point Motion เพียงแต่ General Motion สามารถกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ได้ในหลายทิศทางกว่า โดยเราจะต้องกำหนดการเคลื่อนบนจุดใดๆของชิ้นงาน สำหรับการเคลื่อนที่หลายทิศทางทำได้โดยการใช้เครื่องมือ ใน Tool Box วิธีการใช้งานมีดังนี้

คลิกเลือกเครื่องมือ ใน Tool Box Tool Box จะเปลี่ยนรูปแบบเหมือนดังรูปที่ 31 ซึ่งเราสามารถกำหนดการเคลื่อนที่ของชิ้นงานที่Construction สามารถกำหนดได้ 3 ลักษณะคือ

- 1 Location เลือกตำแหน่งจากจุดหนึ่งจุดบนชิ้นงานให้เคลื่อนที่
- 2 Bod-1Loc เลือกตำแหน่งของชิ้นงานสองชิ้นและจุดหนึ่งจุดให้เคลื่อนที่
- 2 Bod-2Loc เลือกตำแหน่งของชิ้นงานสองชิ้นและจุดสองจุดให้เคลื่อนที่โดยสองชิ้นงานจะเคลื่อนที่ในทิศทางตรงข้ามกัน

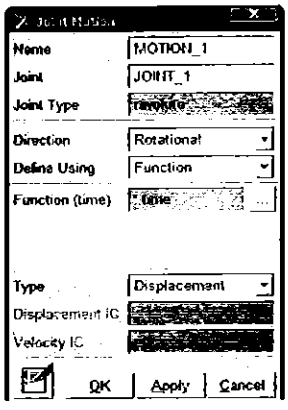
เลือกที่ชิ้นงาน จะปรากฏหน้าต่างสำหรับ กำหนดการเคลื่อนที่ Impose Motion(s) โดยสามารถกำหนดค่าต่างๆ ตามแนวระนาบ แล้วเลือก OK จะได้ General Motion



รูปที่31. แสดงเครื่องมือสร้าง General Motion

Tool 6.1 การแปลงค่า Speed เป็นความเร็วและความเร่ง

ในการแปลงค่า Speed เป็นความเร็วและความเร่ง ทำได้โดยการคลิกขวาที่ Motion Generators ที่สร้าง แล้วเลือก Motion--- > Modify จะปรากฏหน้าต่าง joint motion ดังรูปที่ 32 จากนั้นเปลี่ยนเป็นใส่ความเร็วในการเคลื่อนที่โดยการเปลี่ยน Type จาก Displacement เป็น Velocity และเปลี่ยนเป็นใส่ความเร่งในการเคลื่อนที่โดยการเปลี่ยน Type จาก Displacement เป็น Acceleration

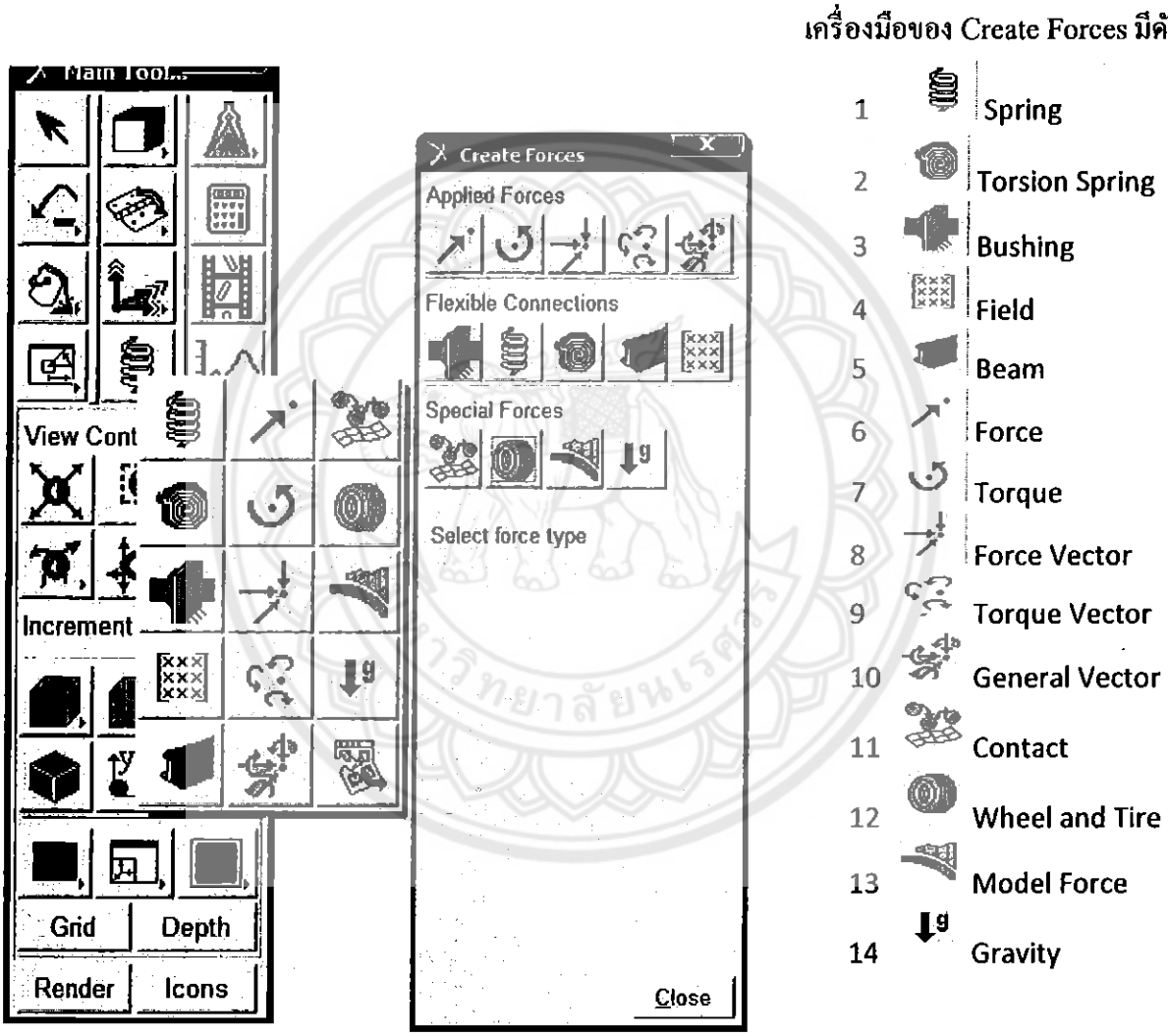


รูปที่32. แสดง Modify joint motion

Tool 7: การสร้างแรง (Create Forces)

Create Forces เป็นเครื่องมือที่ใช้ในสร้างรูปแบบแรงให้กระทำต่อชิ้นงานเพื่อกำหนดให้ชิ้นงาน มีแรงมากระทำตามที่เราต้องการ

การเรียกใช้ Create Forces ทำได้2 วิธีโดยคลิกขวาในส่วนของ Main Toolbox ที่ Spring แล้วเลือกรูปแบบของ Create Forces ที่ต้องการได้เลยดังรูปที่... หรือ เข้าที่ Build > Forces จะปรากฏหน้าต่าง Create Forces ดังแสดงในรูปที่ 33



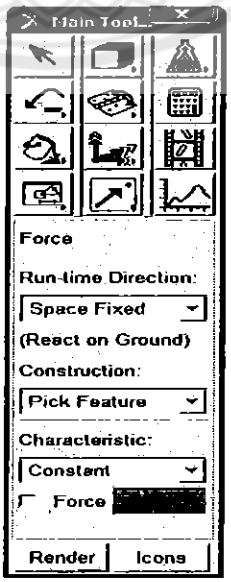
รูปที่33. แสดงเครื่องมือในการกำหนดแรงให้กับชิ้นงาน

Create Forces ใช้สำหรับใส่แรงให้กับชิ้นงาน มีคุณลักษณะแต่ล่ะเครื่องมือแตกต่างกันไป โดยในที่นี้จะแสดงวิธีการใช้เฉพาะที่จำเป็นสำหรับการสร้างโมเดล ที่เกี่ยวข้องในส่วนของ Particle ซึ่งมีเครื่องมือที่สำคัญดังนี้

1. Spring แรงที่โปรแกรมได้กำหนดให้ใส่ได้เมื่อมีจุดยึดสองจุดจากสองชิ้นงานโดยสามารถสร้างสปริงโดยใช้ เลือกใช้แล้ว Tool Box จะเปลี่ยนเป็นดังรูปที่ 34 โดยสามารถกำหนดค่า K หรือค่า C ที่ช่องว่างด้านหลังและคลิกเลือกจุดสองจุดบนชิ้นงานสองชิ้นก็จะได้สปริงหนึ่งชิ้นที่เชื่อมระหว่างชิ้นงานสองชิ้น

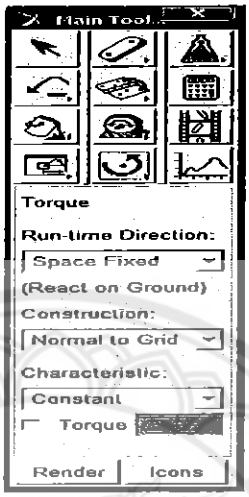
รูปที่34. แสดงเครื่องมือในการสร้างสปริง

2. Force การกำหนดแรงใช้ Tool Box เข้าไปที่ ที่ Tool Box จะเปลี่ยนเป็นดังรูปที่ 35 แรงที่กระทำต่อวัตถุ เราใช้ทำเครื่องหมายถูกที่หน้า Force และใส่ค่าแรงที่เราต้องการลงไปทางด้านหลัง จากนั้นทำตามขั้นตอนที่โปรแกรมสั่งคือเลือกชิ้นงานที่ต้องการ แล้วเลือกจุดที่ต้องการให้แรงกระทำ จากนั้นลากเมาส์ไปในทิศทางที่ต้องการให้แรงพุ่งไป



รูปที่35. Tool Box สำหรับสร้าง Force

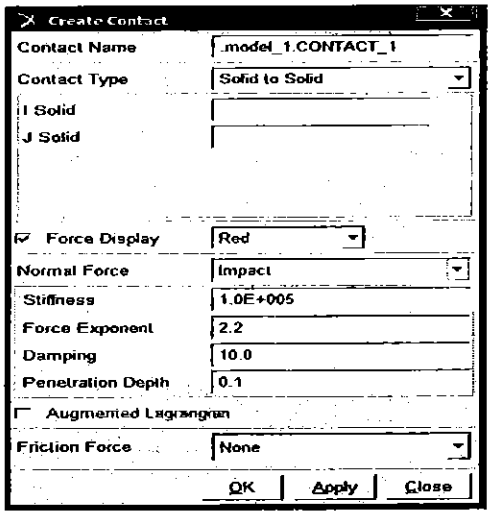
3. Torque การกำหนดแรงบิด เข้าไป ที่ Tool Box จะเปลี่ยนเป็นดังรูปที่ 36 แรงบิดที่กระทำต่อวัตถุ เราใช้ทำเครื่องหมายถูกที่หน้า Torque และใส่ค่าแรงบิดที่เราต้องการ ลงไปทางด้านหลัง จากนั้นทำตามขั้นตอนที่โปรแกรมสั่งคือเลือกชิ้นงานที่ต้องการ แล้วเลือกจุดที่ต้องการให้แรงกระทำ จะได้แรงบิด แบบทวนเข็มนาฬิกาหากต้องการแรงบิดในทิศทางตามเข็มนาฬิกาเพียงใส่ค่าที่ต้องการให้ติดลบ



รูปที่36. Tool Box สำหรับสร้าง Torque

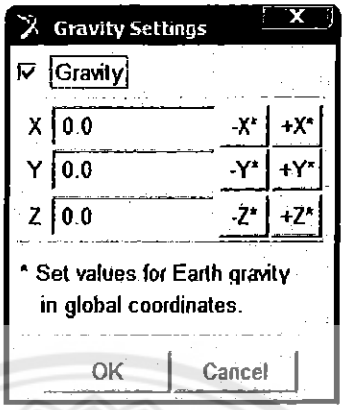
4. Contact สร้างรูปแบบการสัมผัสกันของวัตถุสองชิ้นโดยการใช้ ใน Tool Box จะปรากฏหน้าต่าง ดังรูปที่ 37 แสดง Create Contact สร้างรูปแบบการชน จากนั้น ที่ช่องว่างหลัง I Solid คลิกขวาเลือก Contact _Solid > Pick แล้วเลือกวัตถุชิ้นที่1ที่ช่องว่างหลัง J Solid คลิกขวาเลือกContact _Solid > Pick แล้วเลือกวัตถุชิ้นที่ 2 กำหนด Normal Force เป็น Restitution โดยสามารถเปลี่ยนรูปแบบของการชนได้ดังนี้

- การชนแบบที่วัตถุที่ 1 และวัตถุที่ 2 ชนแล้วติดกันไป โดยกำหนดค่า Restitution coefficientเป็น 0
- การชนแบบที่วัตถุที่ 1 และวัตถุที่ 2 ชนกันแล้วมี ความเร็วหลังชนต่างกัน โดยกำหนดค่า Restitution coefficient เป็น ค่ามากกว่า 0 แต่ไม่เกิน 1 แล้วเลือก OK



รูปที่ 37. หน้าต่างสำหรับสร้าง Contact

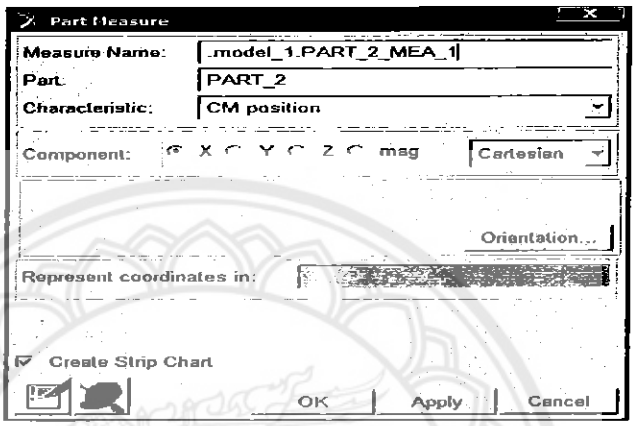
5. Gravity การกำหนดค่าแรงโน้มถ่วงสามารถกำหนดให้มีทิศทางได้ทั้ง แกนX, Y, และZ โดยใช้ ⬇ ปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 38 จากนั้นใส่ค่าแรงโน้มถ่วงที่ต้องการในแกนนั้นๆแล้วเลือกOK



รูปที่38. หน้าต่างสำหรับกำหนดแรงโน้มถ่วง

Tool 8: การกำหนดกราฟแสดงผล (Measure)

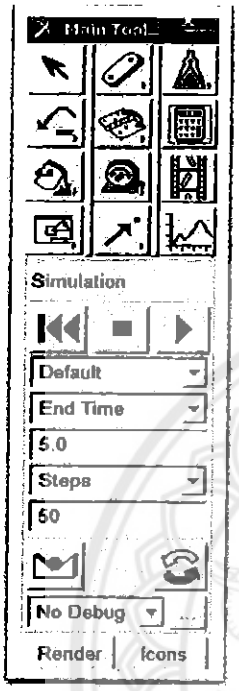
ทำโดยคลิกขวาที่ชิ้นงานเลือก Part > Measure หรือ Joint > Measure จะปรากฏหน้าต่างสำหรับสร้างกราฟ ดังรูปที่ 39 การสร้างกราฟทำได้โดยเลือกกราฟที่ต้องการแสดงที่ Characteristic กำหนดแกนที่ Component และการเปลี่ยนชื่อที่ Measure Name เพื่อง่ายต่อการจดจำว่าเป็นกราฟของอะไร กราฟที่สร้างเสร็จแล้วจะแสดงค่าเทียบกับเวลา (ค่าที่ได้จะมาจากการ Simulation)



รูปที่39. หน้าต่างสำหรับสร้างกราฟ

Tool 9: การจำลองการเคลื่อนที่ (Simulation)

เมื่อสร้างชิ้นงานเสร็จสมบูรณ์ สามารถทำการ Simulation โดยเลือกที่ Tool Box จะเปลี่ยนลักษณะดังรูปที่ 40 Tool Box สำหรับ Simulation

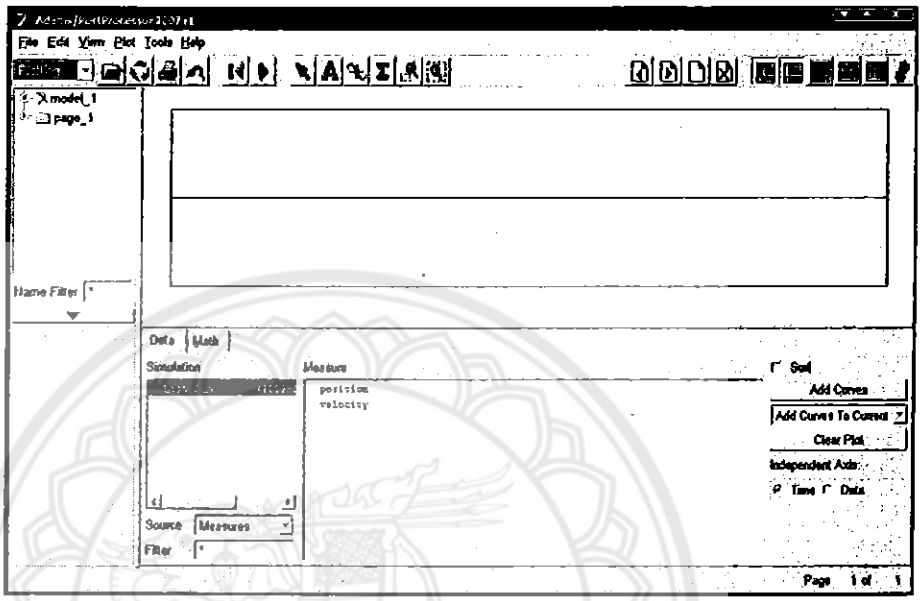


รูปที่40. Tool Box สำหรับ Simulation

Simulation โดยการ ใส่ค่าเวลาที่ต้องการที่ข้างล่าง End Time การ Simulation จะหยุดที่วินาทีที่เราใส่ไปข้างล่าง Steps ใส่ค่าเฟรมที่ต้องการให้แสดง ยิ่งใส่ค่ามากการ Simulation จะนานขึ้นเพราะเฟรมที่แสดงจะเยอะขึ้น สามารถสังเกตการเคลื่อนที่ได้อย่างชัดเจนใส่ค่าที่ต้องการแล้วทำการ Simulation โดยเลือกที่ ▶ การ Simulation จะดำเนินไปจนจบเฟรมที่เราต้องการ หากต้องการหยุดเฟรมให้เลือก ■ และหากต้องการเริ่ม Simulation ใหม่จะต้องรีเซทไปจุดเริ่มต้นโดยเลือก ⏮

Tool 10: การวิเคราะห์กราฟที่ได้ (Plotting)

สามารถวิเคราะห์กราฟที่ทำการ Measure ไว้ทำได้โดยการ เข้าที่ ใน Tool Box หน้าต่างโปแกรมจะเปลี่ยนเป็นดังรูปที่ 41 แสดงหน้าต่างสำหรับวิเคราะห์กราฟ



รูปที่41. หน้าต่างสำหรับวิเคราะห์กราฟ

เลือก จะปรากฏค่าของกราฟในจุดต่าง แสดงขึ้นเป็นแถบใต้เครื่องมือข้างต้น โดยเราสามารถ Add กราฟได้ทั้งเทียบกับเวลา (เหมือนใน Measure) และนำกราฟสองอันมาเปรียบเทียบกัน โดยกราฟที่ต้องการแบบเทียบกับเวลาสามารถเลือก กราฟที่ต้องการจากหน้าต่าง Measure แล้วเลือก Add Curves ได้เลย ส่วนการเปรียบเทียบสองกราฟนั้น ทำได้โดยการเลือกค่าที่ต้องการแสดงในแนวแกน Y ใน Measure และคลิกเลือก Data ที่ Independent Axis จะปรากฏหน้าต่างให้เลือกกราฟที่จะแสดงในแกน X คลิกเลือกแล้วกด OK จากนั้นทำการ Add Curves จะได้กราฟเปรียบเทียบแบบที่เราต้องการออกมา จากนั้นเลื่อนเมาส์ไปบนจุดใดจุดหนึ่งบนกราฟทำให้เราทราบค่าที่ต้องการในเวลานั้นๆได้

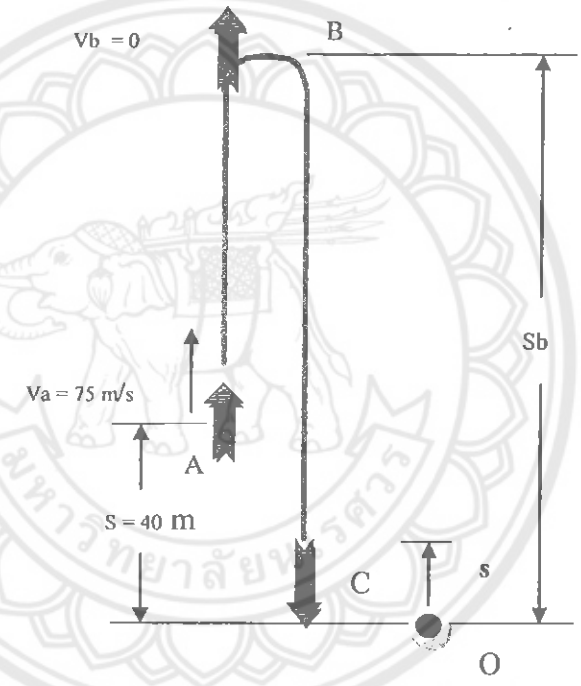
หรือใช้ ชี้ไปบนจุดใดๆบนกราฟจะปรากฏค่าของ แกนX, แกนY ที่ข้างๆเม้าท์ที่ชี้อยู่ซึ่งการใช้เครื่องมือนี้จะได้ความละเอียดมากกว่าการใช้เครื่องมือ

สื่อการเรียนรู้
วิชากลศาสตร์วิศวกรรม 2
โดยโปรแกรมMSC. ADAMS

แบบฝึกหัดที่ 1

Kinematics of a particle: Rectilinear Motion

During a test a rocket traveling upward at 75 m/s, and when it is 40m from the ground its engine fails. Determine the maximum height S_B reached by the rocket and its speed just before it hits the ground while in motion the rocket is subjected to a constant downward acceleration of 9.81 m/s^2 due to gravity. Neglect the effect of air resistance. (จาก หนังสือเรียน Engineering Mechanics (Dynamics), Ninth Edition, R.C.Hibbeler, page 12, Ex 12-3)



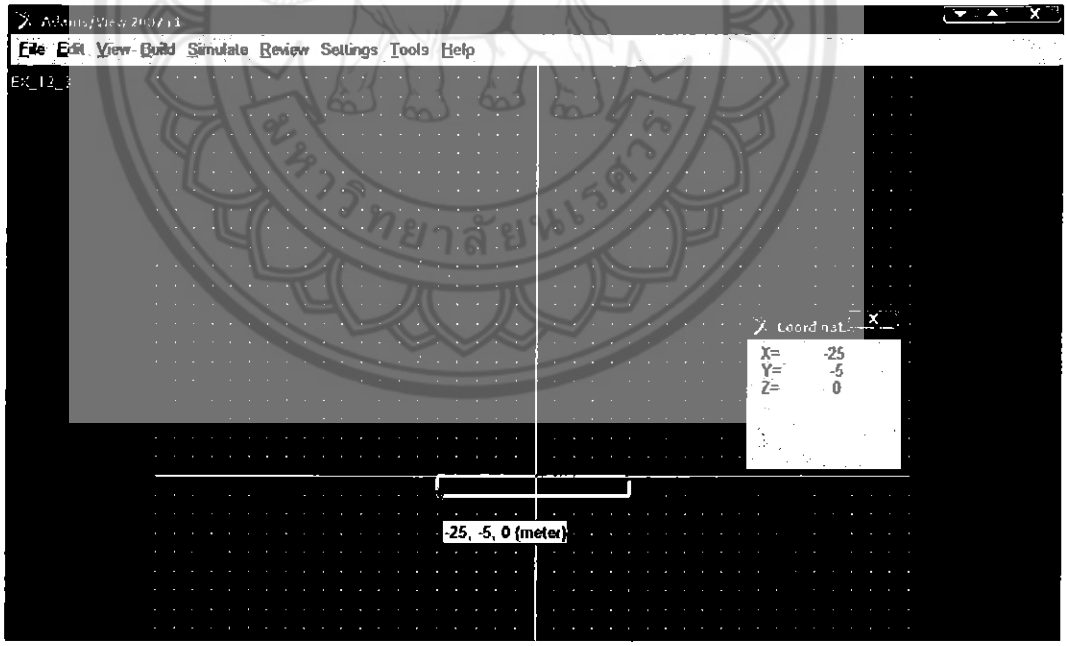
จากโจทย์สร้างแบบจำลองเพื่อหาระยะทางสูงสุดและความเร็วขณะตกถึงพื้นโดยใช้โปรแกรม MSC. ADAMS

วิธีการสร้างแบบจำลอง

1. การตั้งค่าเริ่มต้น(Tool 1)
   - เปิดโปรแกรม MSC. ADAMS ขึ้นมา
   - Model name เปลี่ยนเป็น Model_1
   - Gravity เปลี่ยนเป็น other
   - Unit เปลี่ยนเป็น MKS – m,kg,N,s,deg
   - กด OK

- โปรแกรมจะมีหน้าต่างสำหรับใส่ค่าแรงโน้มถ่วงขึ้นมา ที่Y = ใส่ค่า- 9.81 ลงไปแล้วเลือก OK

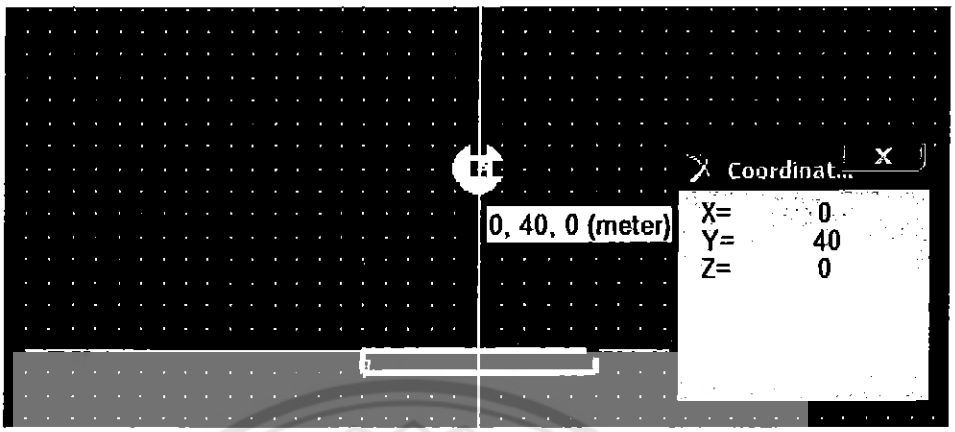
2. การตั้งค่า Grid (Tool 1)
   - ไปที่ Settings เลือก Working Grid
   - Size X = 100 m และ Y = 350 m
   - Spacing X = 5 m และ Y = 5 m
   - กด OK
3. เปิด Coordinate Window โดยเข้าไปที่ View > Coordinate Window
4. สร้าง ground(Tool 3.1.1) ขนาด 50 m X 5 m X 50 m วางที่จุด -25,-5 ,0 ดังรูปที่ 1.1
   - คลิกขวาที่ Rigid Body เลือก Box
   - เปลี่ยน New Part เป็น On ground
   - เปลี่ยน Length = 50 m, Height = 5 m, Depth = 50 m
   - คลิกวางบนพิกัด -25,-5 ,0



รูปที่1.1 การสร้าง ground

5. สร้างชิ้นงานรูปวงกลม(Tool 3.1.2) ขนาดรัศมี 5 m ที่จุด 0,40,0 ดังรูปที่ 1.2
   - คลิกขวาที่ Rigid Body เลือก Sphere

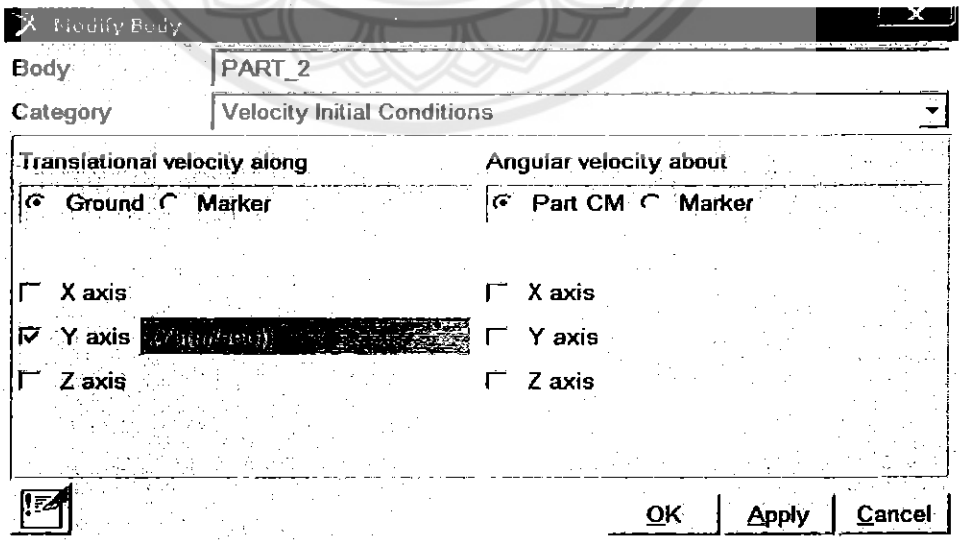
- เปลี่ยน Radius เป็น 5 m
- คลิกวางบนพิกัด 0,40,0



รูปที่ 1.2 การสร้างชิ้นงานรูปวงกลมแทน Rocket

6. กำหนดค่าความเร็วเริ่มต้นของชิ้นงานรูปวงกลม(Tool 3.1.4) ที่ 75 m/s ตามแนวแกน Y ดังรูปที่ 1.3

- คลิกขวาที่ ชิ้นงานรูปวงกลม เลือก Part: PART_2 เลือก Modify
- Category เปลี่ยนเป็น Velocity Initial Conditions
- คลิกเลือก Y axis ใส่ค่าความเร็ว = (75(m/sec))
- กด OK



รูปที่ 1.3 กำหนดค่าความเร็วเริ่มต้นของชิ้นงาน

7. เลือกแสดงกราฟที่ต้องการ(Tool 8) 2 กราฟคือ

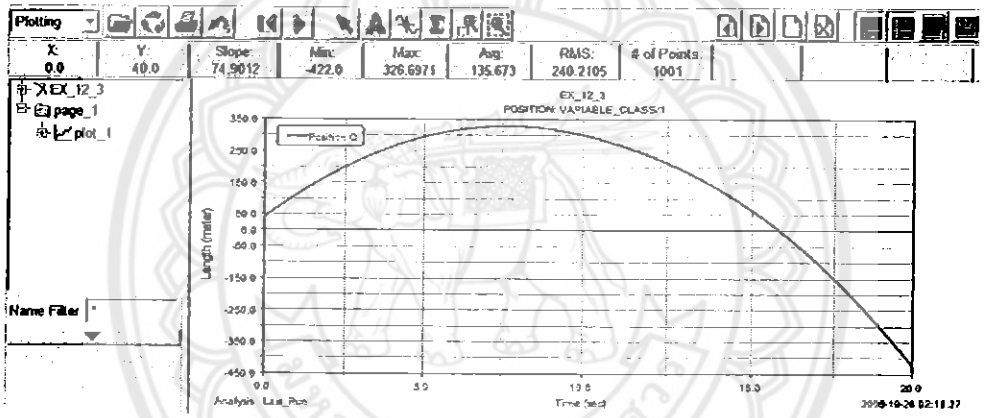
-กราฟแสดงตำแหน่งตามแนวแกน Y โดยที่ Characteristic เลือก CM Position และComponent เลือก Y

- กราฟแสดงความเร็วตามแนวแกน Y โดยที่ Characteristic เลือก CM Velocity และComponent เลือก Y

8. Run Simulation (Tool 9) โดยกำหนด End time ที่ 20 และ Steps ที่ 2000

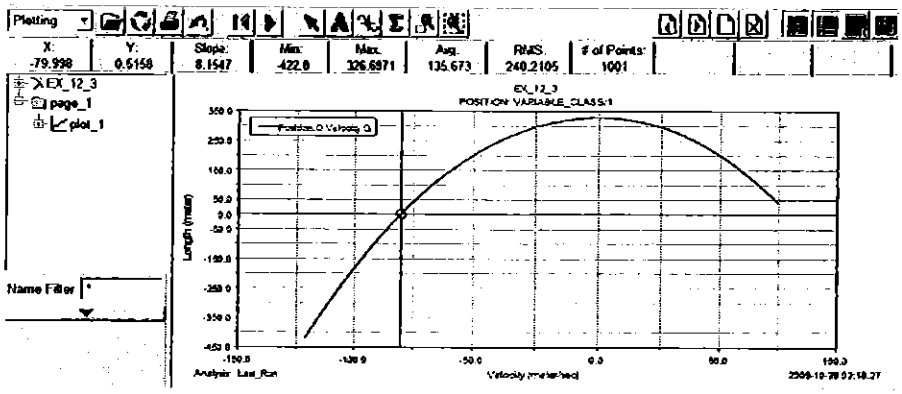
9. การหาคำตอบโดยการวิเคราะห์กราฟ(Tool 10)

- เลือกกราฟ Position ขึ้นมาแสดง เลือก และดูค่าที่ Max จะได้ค่า326.70 เป็นจุดสูงสุดของRocket ที่เคลื่อนที่ขึ้นไป ดังแสดงในรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 แสดงกราฟตำแหน่ง

- กดClear Plot เพื่อ Add Curves ใหม่ในการหาค่าความเร็วที่ Rocket ถึงพื้น โดยใช้การแสดงกราฟตำแหน่งในแนวแกน Y และกราฟความเร็วในแนวแกน X ดังปรากฏในรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 แสดงกราฟตำแหน่งเทียบกับความเร็ว

จุดที่เราสนใจคือตำแหน่ง ที่ Y= 0 (เป็นค่าที่ชิ้นงานถึงพื้นซึ่งเราจะหาความเร็วนั้นๆ ได้จากค่า X) เลื่อนเมาส์ไปที่ตำแหน่ง Y = 0 และดูคำตอบจากค่า X ที่ได้ จากกราฟจะได้ X= -79.998 ซึ่งคำตอบมีค่าติดลบเนื่องจากความเร็วพุ่งลงในทิศทางตรงข้ามกับความเร็วเริ่มต้น

ผลการคำนวณโดยใช้สมการ

หาระยะทางสูงสุด และความเร็วขณะตกถึงพื้น โดย

ระยะสูงสุด $(+\uparrow)$

$$V^2_B = V^2_A + 2a_c(S_B - S_A)$$

$$0 = (75m/s)^2 + 2(-9.81m/s^2)(S_B - 40m)$$

$$S_B = 326.7m$$ **ANS.**

ความเร็ว $(+\uparrow)$

$$V^2_C = V^2_B + 2a_c(S_C - S_B)$$

$$= 0 + 2(-9.81m/s^2)(0 - 327m)\ 326.6972$$

$$V_C = -80.1m/s = 80.06m/s\downarrow$$ **ANS.**

แบบฝึกหัดที่ 2

Kinematics of Particle: Rectilinear Motion

A particle is moving along a straight line through a fluid medium such that its speed is measured as $v = (2t)$ m/s, where t is in seconds. If it is released from rest at $s = 0$, determine its positions and acceleration when $t = 3$ s.(จาก Engineering Mechanics By R.C.Hibbeler, Chapter 12 , Multiple choice ,PB (http://wps.prenhall.com/esm_hibbeler_engmech_11/48/12305/3150170.cw/index.html))

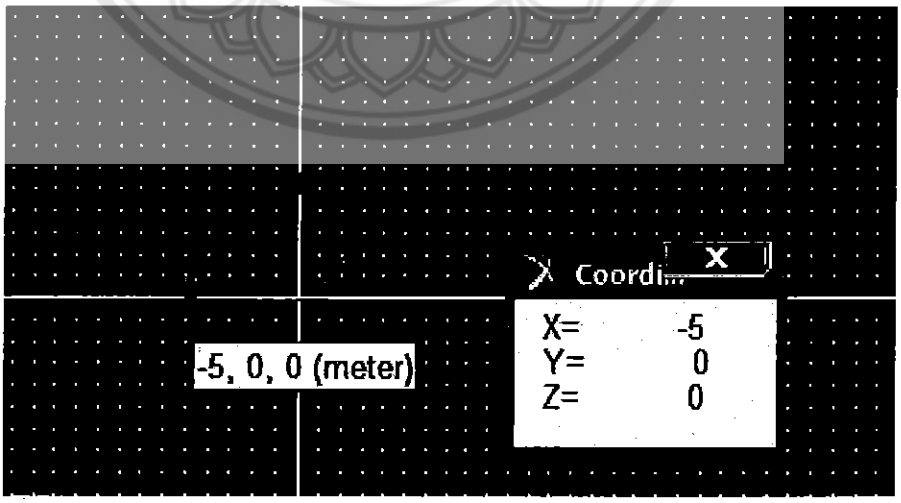
จากโจทย์สร้างแบบจำลอง เพื่อหาระยะทางและความเร่ง ที่วินาทีที่ 3

วิธีการสร้างแบบจำลอง

1. การตั้งค่าตอนเริ่มต้น (Tool 1)
   - ใช้ชื่อโมเดลว่า Model_2
   - Gravity ใช้ Earth Normal (-Global Y)
   - Units ใช้ MKS- m,kg N,s,deg

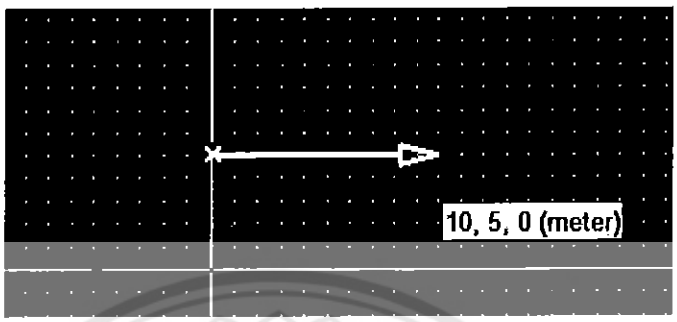
   เข้าตัวโปรแกรมในส่วนของ New Model
   - ปรับตั้งค่า Grid ที่ Size X = 50 m Size Y = 50 m

     Spacing X = 1 m Spacing Y = 1 m
   - เปิด Coordinate Window โดยเข้าไปที่ View > Coordinate Window
2. สร้างชิ้นงานรูปสี่เหลี่ยม(Tool 3.1.2) ขนาด 10 m X 10 m X 10 m ที่จุด -5,0,0 ดังรูปที่ 2.1



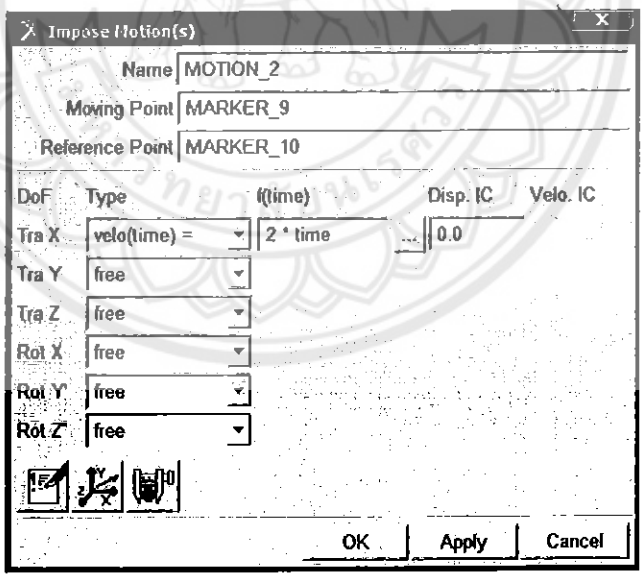
รูปที่ 2.1 การสร้างชิ้นงานรูปสี่เหลี่ยม

3. กำหนดการเคลื่อนที่แบบ Translational (Tool 5) ให้กับชิ้นงาน โดยกำหนดให้เคลื่อนที่ไปทางขวาตามแนวแกน X ในลักษณะของ 1 Location คลิกเลือกจุดที่ 0,5,0 เลื่อนเม้าก้ำหนดทิศทางได้านขวา ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 กำหนดการเคลื่อนที่แบบ Translational

4. กำหนดความเร็วในการเคลื่อนที่ใช้ General Motion (Tool 6) ใส่ค่าที่ Tra X เปลี่ยน Type เป็น velo(time) แล้วเลือก OK



รูปที่ 2.3 กำหนดความเร็วของวัตถุ

5. เลือกแสดงกราฟที่ต้องการ(Tool 9) 2 กราฟคือ
   - กราฟแสดงตำแหน่งตามแนวแกน X โดยที่ Characteristic เลือก CM Position และComponent เลือก X

- กราฟแสดงความเร่งตามแนวแกน X โดยที่ Characteristic เลือก CM acceleration และ Component เลือก X

6. Run Simulation (Tool 10) โดยกำหนด End time ที่ 3 และ Steps ที่ 100

7. จากการจำลองการเคลื่อนที่ที่วินาทีที่ 3 กราฟที่ทำการแสดงไว้จะแสดงออกมาอย่างชัดเจน วัตถุจะเคลื่อนที่ระยะทาง $9m$ โดยมีความเร่งคงที่ที่ $2m/s^2$

ผลการคำนวณโดยใช้สมการ

หาระยะทางและความเร่ง ที่วินาทีที่ 3

ระยะทางที่วินาทีที่ 3 $(+\rightarrow)$

$$v = \frac{dS}{dt} = (2t)$$

$$\int_0^S dS = \int_0^t (2t)dt$$

$$S = t^2$$

$$S = 3^2 = 9\ m$$ **ANS.**

ความเร่งที่วินาทีที่ 3 $(+\rightarrow)$

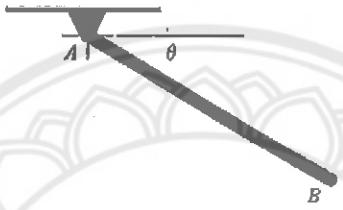
$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d(2t)}{dt}$$

$$a = 2m/s^2$$ **ANS.**

แบบฝึกหัดที่ 3

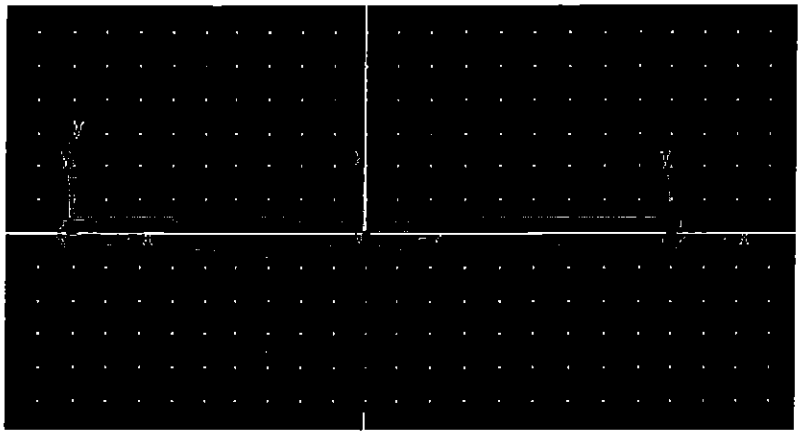
Kinematics of Particle: Curvilinear Motion

AB is a uniform bar with a mass of 2 kg and a length of 450mm. Bar *AB* swings in a vertical plane about the pivot at *A*. The angular velocity (theta dot) = 3 rad/s when theta = 30 degrees. Compute the force supported by the pin at *A* at that instant.(จาก Engineering Mechanics By R.C.Hibbeler, Chapter 12 , Multiple choice (http://www.me.cmu.edu/undergrad/adams/ADAMS%20Labs%20Pendulum.htm))



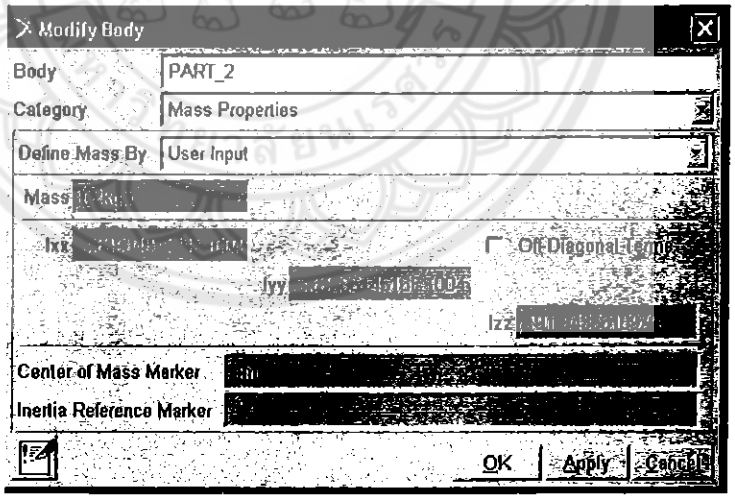
วิธีการสร้างแบบจำลอง

1. การตั้งค่าเริ่มต้น(Tool 1)
   - เปิดโปรแกรม MSC. ADAMS ขึ้นมา
   - Model name เปลี่ยนเป็น Model_3
   - Gravity เปลี่ยนเป็น Earth Normal (-Global Y)
   - Unit เปลี่ยนเป็น MMKS – mm,kg,N,s,deg
   - กด OK
2. การตั้งค่า Grid
   - ไปที่ Settings เลือก Working Grid
   - Size X = 750 mm และ Y = 750 mm
   - Spacing X = 25 mm และ Y = 25 mm
   - กด OK
3. เปิด Coordinate Window โดยเข้าไปที่ View > Coordinate Window
4. การสร้างชิ้นงาน(Tool 3)
   - คลิกขวาที่ Rigid Body เลือก Link
   - เปลี่ยน Length = 450 mm, Height = 20 mm, Depth = 27.5 mm
   - คลิกวางบนพิกัด -225, 0, 0



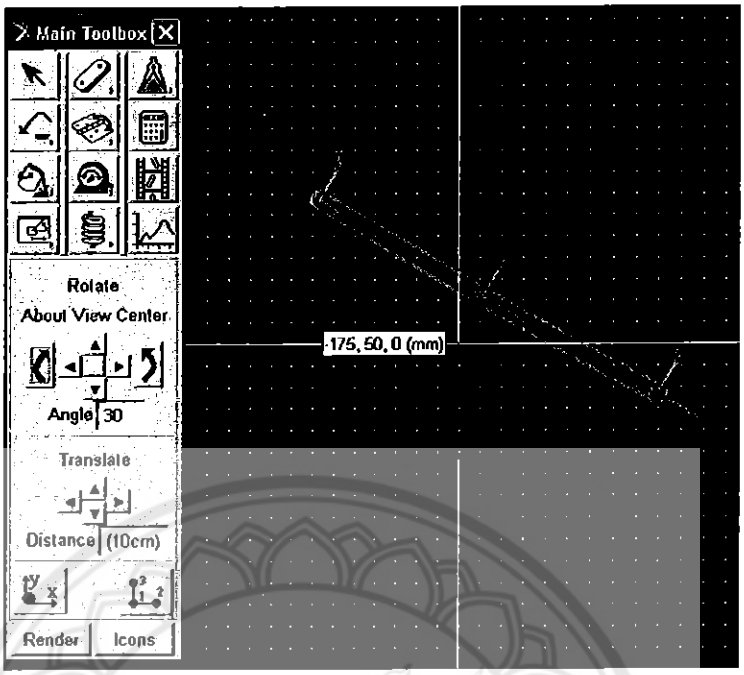
รูปที่ 3.1 แสดงการสร้างชิ้นงาน Link

5. การกำหนดค่ามวลของ Link (Tool 3.1.3)
   - คลิกขวาที่ Link เลือก Part: PART_2 เลือก Modify
   - Difine Mass By เปลี่ยนเป็น User Input
   - Mass เปลี่ยนเป็น 2kg
   - กด OK



รูปที่ 3.2 แสดงการกำหนดค่ามวลของ Link

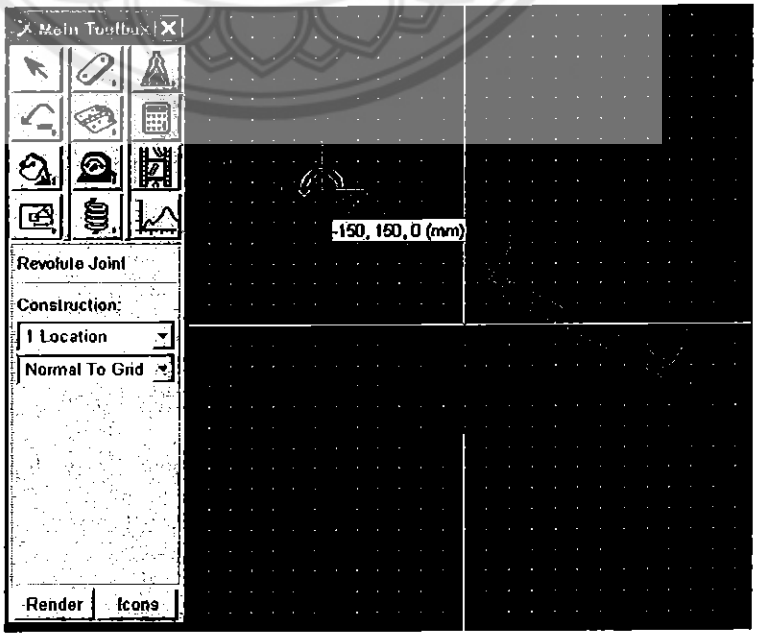
6. การกำหนดมุมของ Link(Tool 4)
   - คลิกเลือก Position
   - Angle เลือก 30
   - คลิกเลือกหมุนตามเข็มนาฬิกา(clockwise)



รูปที่ 3.3 แสดงการกำหนดมุมของ Link

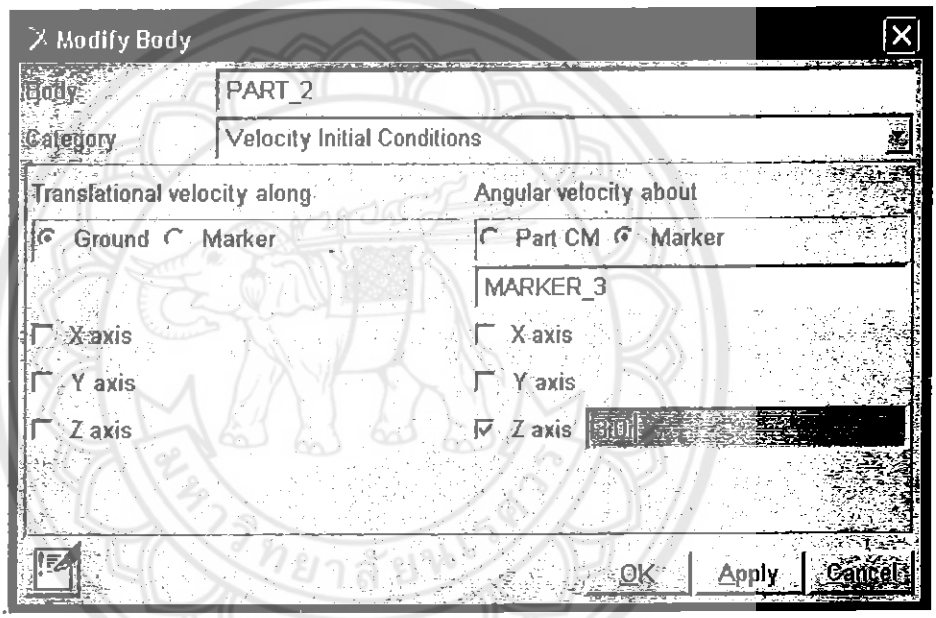
7. การกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่(Tool 5)

- ไปที่ Joint เลือก Joint: Revolute
- Construction เลือก 1 Location และ Normal to Grid.
- นำเมาส์ไปคลิกวางที่ PART_2 MARKER_1



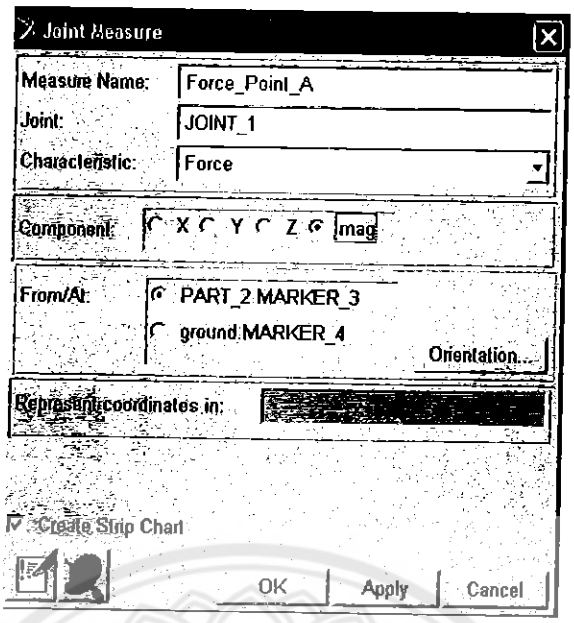
รูปที่ 3.4 แสดงการกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของ Link

8. การกำหนดค่าความเร็วเริ่มต้น Link(Tool 3.1.4)
   - คลิกขวาที่ Link เลือก Part: PART_2 เลือก Modify
   - Category เปลี่ยนเป็น Velocity Initial Conditions
   - Angular velocity about เลือก Marker
   - ดับเบิ้ลคลิกในช่องว่าง เลือก MARKER_3
   - กด OK หรือ ดับเบิ้ลคลิก MARKER_3
   - คลิกเลือก Z axis ใส่ค่าความเร็ว = 3.0r
   - กด Apply
   - กด OK



รูปที่ 3.5 แสดงการกำหนดค่าความเร็ว Link

9. การกำหนดค่า Measure(Tool 8)
   - คลิกขวาที่ Joint เลือก JOINT_1 เลือก Measure
   - Measure Name เปลี่ยนเป็น Force_Point_1
   - Characteristic เปลี่ยนเป็น Force
   - Compoment เลือก mag (magnitude)
   - กด OK จะแสดงกราฟ Force_Point_1 ออกมา



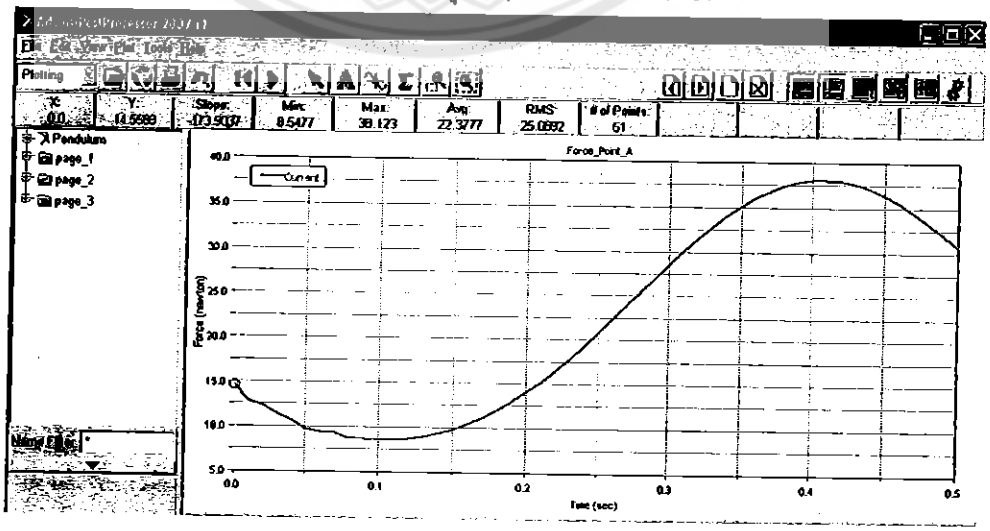
รูปที่ 3.6 แสดงการกำหนดค่า Measure

10. การ Run Simulation(Tool 9)

- คลิกเลือก Interactive Simulation Control
- กำหนด End Time = 0.5, Steps = 50
- กด Play เพื่อทำการ Run Simulation

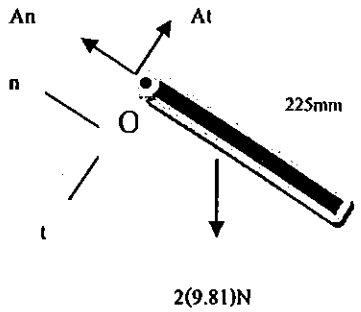
11. การหาคำตอบโดยวิเคราะห์จากกราฟ(Tool 10)

- คลิกขาวที่กราฟ Force_Point_1 เลือก Transfer To Full Plot
- สังเกตที่ X = 0 จะได้ค่าแรงที่จุด A, Y = 14.5589 N



รูปที่ 3.7 แสดงผลลัพธ์ของความเร็ว

ผลการคำนวณโดยใช้สมการ



$\omega = \dot{\theta} = 3$ rad/s

$$\sum M_o = I_o\alpha \; ; \quad 2(9.81)(0.225\cos 30^0) = \frac{1}{3}2(0.45)^2\alpha$$

$$\alpha = 28.32\,{}^{rad}/_{s^2}$$

$$\sum F_t = m\bar{r}\alpha \; ; \quad 2(9.81)\cos 30^0 - A_t = 2(0.225)(28.32)$$

$$A_t = 4.25\ \text{N}$$

$$\sum F_n = m\bar{r}\omega^2 \; ; \quad A_n - 2(9.81)\sin 30^0 = 2(0.225)3^2$$

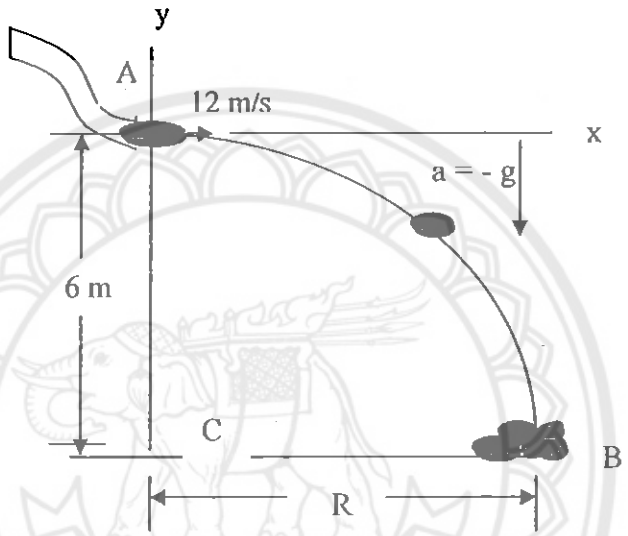
$$A_n = 13.86\ \text{N}$$

$$A = \sqrt{4.247^2 + 13.86^2} = 14.56N$$ **ANS.**

แบบฝึกหัดที่ 4

Kinematics of Particle: Curvilinear Motion

A sack slides off the ramp, with a horizontal velocity of 12 m/s. If the height of the ramp is 6 m from the floor, determine the time needed for sack to strike the floor and the range R where sacks begin to pile up.(จากหนังสือเรียน Engineering Mechanics (Dynamics),Ninth Edition, R.C.Hibbeler, page 39, Ex12-11)



จากโจทย์สร้างแบบจำลอง เพื่อหาเวลาที่วัตถุตกถึงพื้น และระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่จากจุดเริ่ม ต้นถึงจุดตกตามแนวแกน X (Range R) โดยใช้โปรแกรม MSC. ADAMS

วิธีการสร้างแบบจำลอง

1. การตั้งค่าตอนเริ่มต้น (Tool 1)

   - ใช้ชื่อโมเดลว่า Model_4
   - Gravity ใช้ Earth Normal (-Global Y)
   - Units ใช้ MKS- m,kg N,s,deg

   เข้าตัวโปรแกรมในส่วนของ New Model

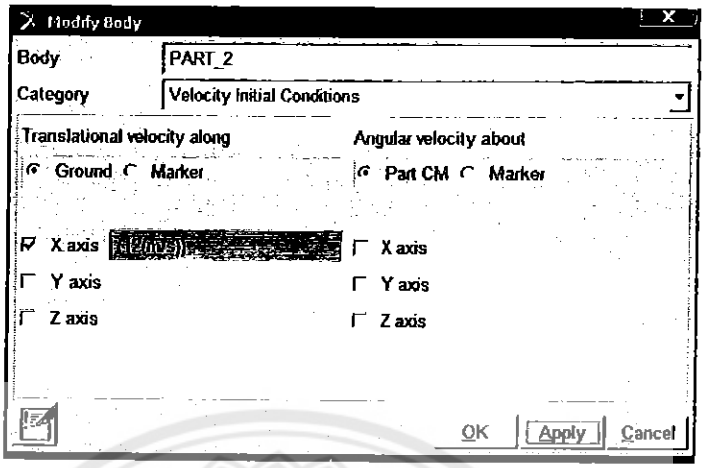
   - ปรับตั้งค่า Grid ที่ Size X = 50 m Size Y = 50 m

     Spacing X = 0.5 m Spacing Y = 0.5 m
   - เปิด Coordinate Window โดยเข้าไปที่ View > Coordinate Window

2. สร้าง ground(Tool 3.1.1) ขนาด 20 m X 0.5 m X 20 m วางที่จุด 0,-5 ,0

3. สร้างชิ้นงานรูปวงกลม(Tool 3.1.2) ขนาดรัศมี 0.5 m ที่จุด 0,6,0

4. กำหนดค่าความเร็วเริ่มต้นของชิ้นงานรูปวงกลม(Tool 3.1.4) ที่ 12 m/s ตามแนวแกน X ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กำหนดค่าความเร็วเริ่มต้นของชิ้นงาน

5. เลือกแสดงกราฟที่ต้องการ(Tool 8) 2 กราฟคือ

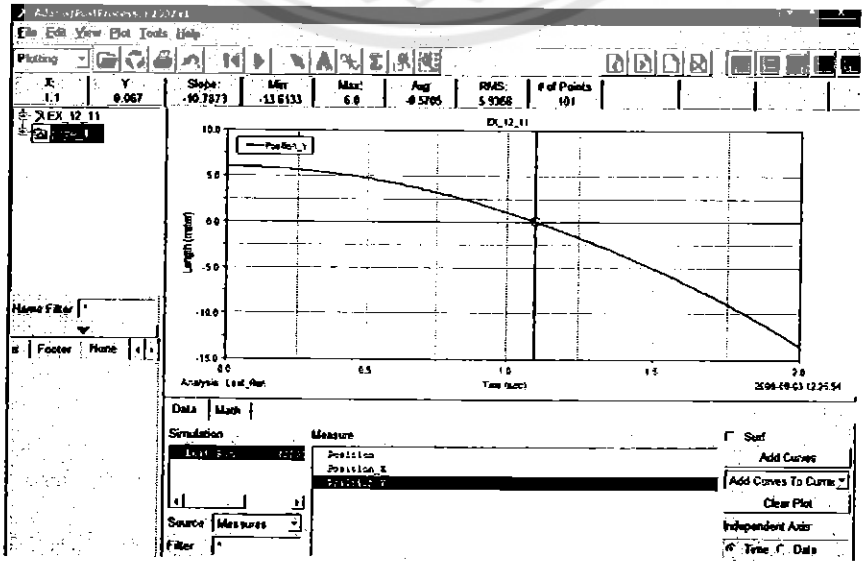
- กราฟแสดงตำแหน่งตามแนวแกน X โดยที่ Characteristic เลือก CM Position และComponent เลือก X

- กราฟแสดงตำแหน่งตามแนวแกน Y โดยที่ Characteristic เลือก CM Position และComponent เลือก Y

6. Run Simulation (Tool 9) โดยกำหนด End time ที่ 2 และ Steps ที่ 200

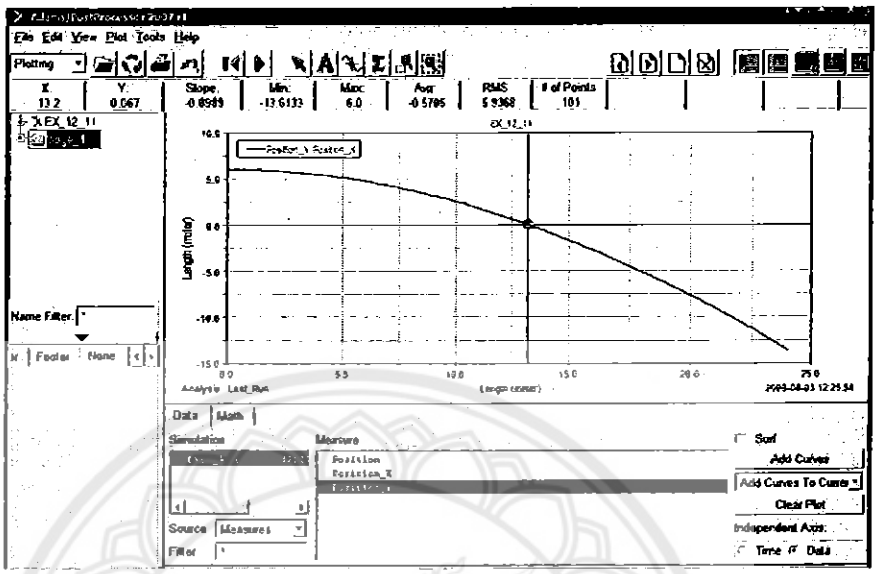
7. การหาคำตอบโดยการวิเคราะห์กราฟ(Tool 10)

- เลือกกราฟ Position ขึ้นมาแสดง เลือก และเคลื่อนเม้าท์ไปที่ตำแหน่งที่ Y=0 ดูค่าที่ X จะได้เวลาที่วัตถุตกถึงพื้น ซึ่งจากกราฟได้ 1.11 วินาที ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงกราฟตำแหน่ง

- กดClear Plot เพื่อ Add Curves ใหม่ในการหาRange R โดยใช้การแสดงกราฟตำแหน่งในแนวแกน Y แสดงในแนวแกน Y เทียบกับกราฟตำแหน่งในแนวแกน X แสดงในแนวแกน X ดังปรากฏในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงกราฟตำแหน่งแกน Yเทียบกับตำแหน่งแกน X

จุดที่เราสนใจคือตำแหน่ง ที่ Y= 0 (เป็นค่าที่ชิ้นงานถึงพื้นซึ่งเราจะหาระยะจากแนวแกน X ได้จากค่า X เลื่อนเม้าไปที่ตำแหน่ง Y = 0 และดูคำตอบจากค่า X ที่ได้ จากกราฟจะได้ X= 13.2 ซึ่งเป็นระยะทางการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X นั่นเอง

ผลการคำนวณโดยใช้สมการ

หาเวลาที่วัตถุตกถึงพื้น และระยะห่างจุดตกตามแนวแกน X (Range R)

เวลาที่วัตถุตกถึงพื้น (+ ↑)

$$y = y_0 + (v_0)_y t_{AB} + \frac{1}{2} a_c t_{AB}^2$$

$$-6\ \text{m} = 0 + 0 + \frac{1}{2}(9.81 m/s^2) t_{AB}^2$$

$$t_{AB} = 1.11 s$$ **ANS.**

Range R (+ →)

$$x = x_0 + (v_0)_x t_{AB}$$

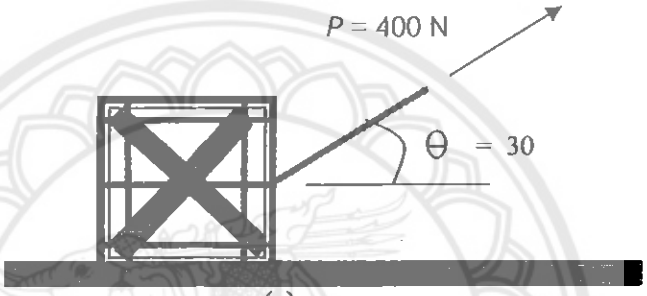
$$R = 0 + 12 m/s (1.11 s)$$

$$R = 13.27 m$$ **ANS.**

แบบฝึกหัดที่ 5

Kinetics of a particle: Force and Acceleration

The 50-kg rests on a horizontal plane for which the coefficient of kinetic friction is μk = 0.3. If the crate is subjected to a 400-N towing force as shown, determine the velocity of the crate in 3 s starting from rest.(จาก หนังสือเรียน Engineering Mechanics (Dynamics), Ninth Edition, R.C.Hibbeler , page 108, Ex 13-1)



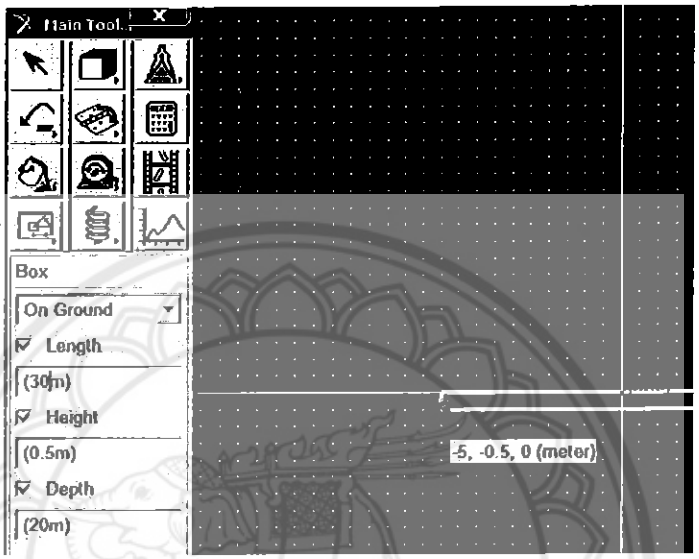
(a)

จากโจทย์สร้างแบบจำลอง เพื่อหาความเร็วและความเร่งที่ วินาทีที่ 3

วิธีการสร้างแบบจำลอง

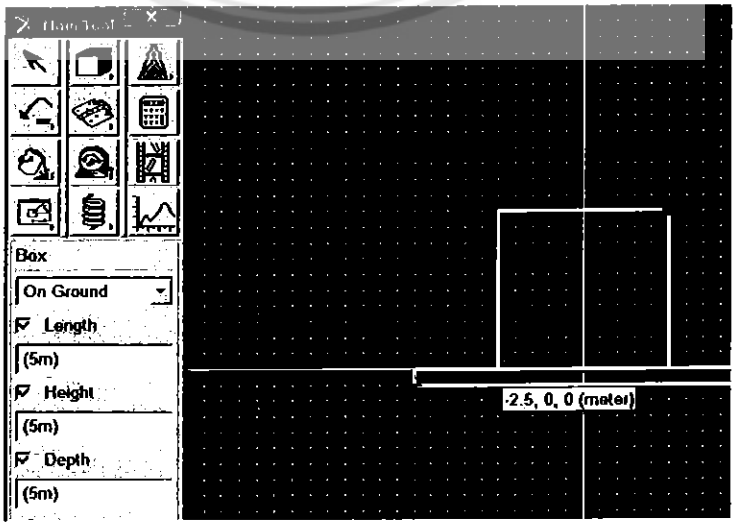
1. การตั้งค่าเริ่มต้น (Tool 1)
   - เปิดโปรแกรม MSC. ADAMS ขึ้นมา
   - Model name เปลี่ยนเป็น Model_5
   - Gravity เปลี่ยนเป็น other
   - Unit เปลี่ยนเป็น MKS – m,kg,N,s,deg
   - กด OK
   - โปรแกรมจะมีหน้าต่างสำหรับใส่ค่าแรงโน้มถ่วงขึ้นมา ที่ Y = ใส่ค่า - 9.81 ลงไปแล้วเลือก OK
2. การตั้งค่า Grid (Tool 1)
   - ไปที่ Settings เลือก Working Grid
   - Size X = 50 m และ Y = 50 m
   - Spacing X = 0.5 m และ Y = 0.5 m
   - กด OK
3. เปิด Coordinate Window โดยเข้าไปที่ View > Coordinate Window

4. สร้าง ground(Tool 3.1.1) ขนาด 30 m X 0.5 m วางที่จุด -5,-0.5 ,0 ดังรูปที่ 5.1
   - คลิกขวาที่ Rigid Body เลือก Box
   - เปลี่ยน New Part เป็น On ground
   - เปลี่ยน Length = 30 m, Height = 0.5 m
   - คลิกวางบนพิกัด -5,-0.5 ,0



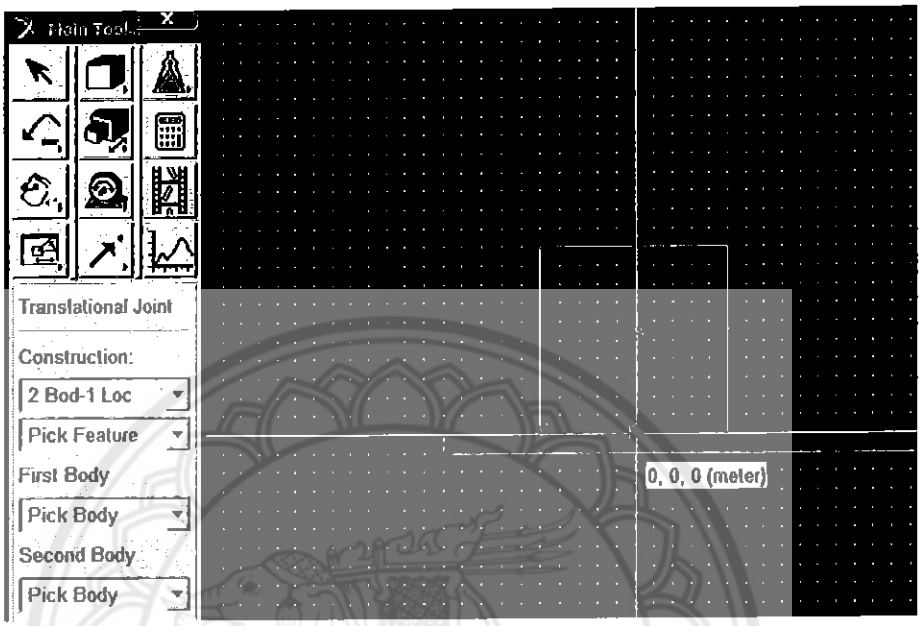
รูปที่ 5.1 การสร้าง ground

5. สร้างชิ้นงานรูปสี่เหลี่ยม(Tool 3.1.2) ขนาด 5 m X 5 m ที่จุด -2.5,0,0 ดังรูปที่ 5.2
   - คลิกขวาที่ Rigid Body เลือก Box
   - เปลี่ยน Length = 5 m, Height = 5 m
   - คลิกวางบนพิกัด -2.5,0 ,0



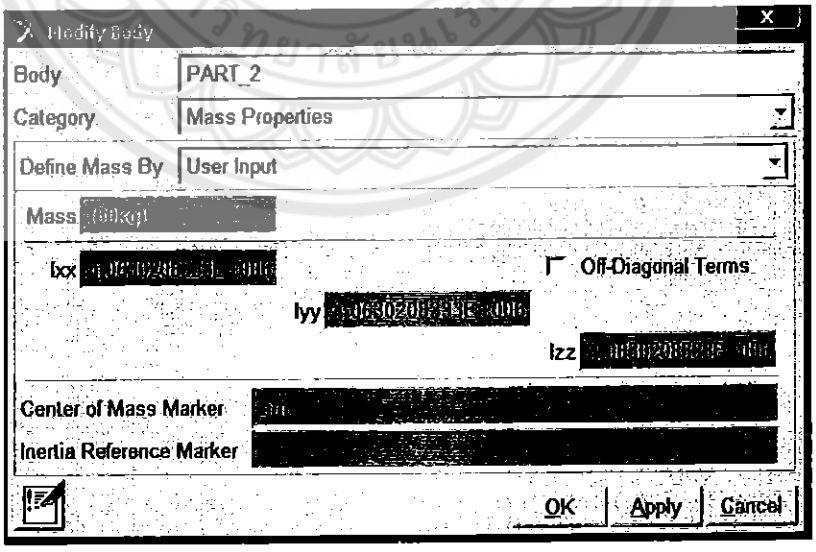
รูปที่ 5.2 การสร้างชิ้นงานรูปสี่เหลี่ยม

6. กำหนดการเคลื่อนที่แบบ Translational (Tool 5) ให้กับชิ้นงาน โดยกำหนดให้เคลื่อนที่ไปทางขวาตามแนวแกน X คลิกเลือกที่ ground เลือกที่ Part 2 แล้วเลือกจุดที่ 0,0,0 เลื่อนเม้ากำหนดทิศทางไปด้านขวา ดังแสดงในรูปที่ 5.3



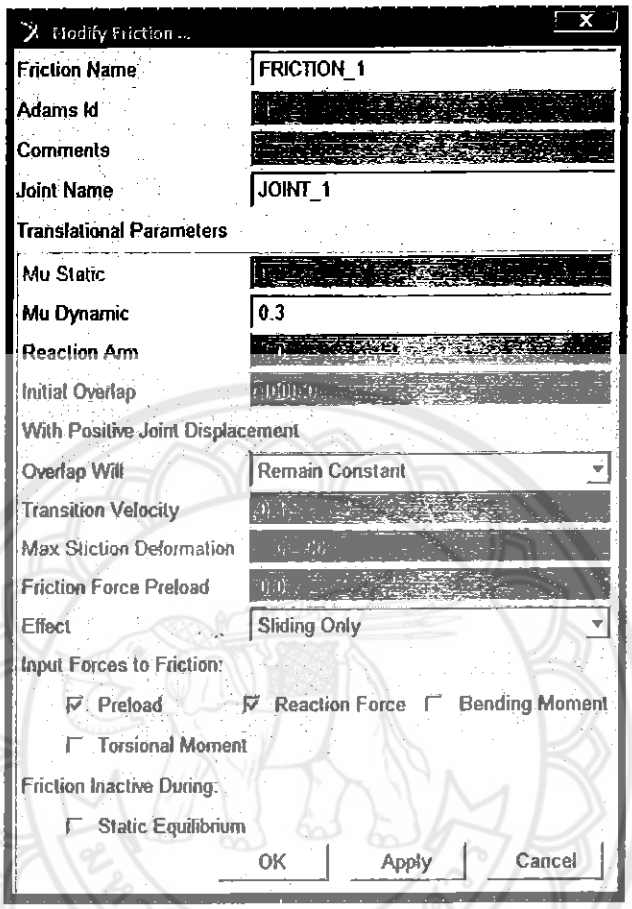
รูปที่ 5.3 กำหนดการเคลื่อนที่แบบ Translational

7. กำหนดมวลของกล่องสี่เหลี่ยม(Tool 3.1.3) ที่ 50-kg ดังรูปที่ 5.4



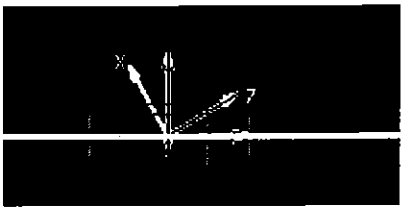
รูปที่ 5.4 กำหนดมวลของกล่องสี่เหลี่ยม

8. กำหนดแรงเสียดทาน(Tool 5.1) โดยกำหนด Mu Dynamic = 0.3 และ Effect เลือก Sliding Only ดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 กำหนด Friction

9. กำหนดแรงที่กระทำต่อวัตถุ (Tool 7) แรง 400 N ไปทางด้านขวาทำมุม 30° กับแกน X ที่กึ่งกลางด้านล่างของกล่องสี่เหลี่ยม(0,0,0) โดยเรากำหนดแรงขนานกับแกน X ก่อน แล้วซูมเข้าไปที่แรง (โปรแกรมออกแบบให้สอดคล้องกับสเกลแบบ มิลลิเมตร ทำให้รูปของแรงออกมาเล็กมาก) จากนั้นใช้ หมุนแรงขึ้นไป 30° ดังรูปที่ 5.6

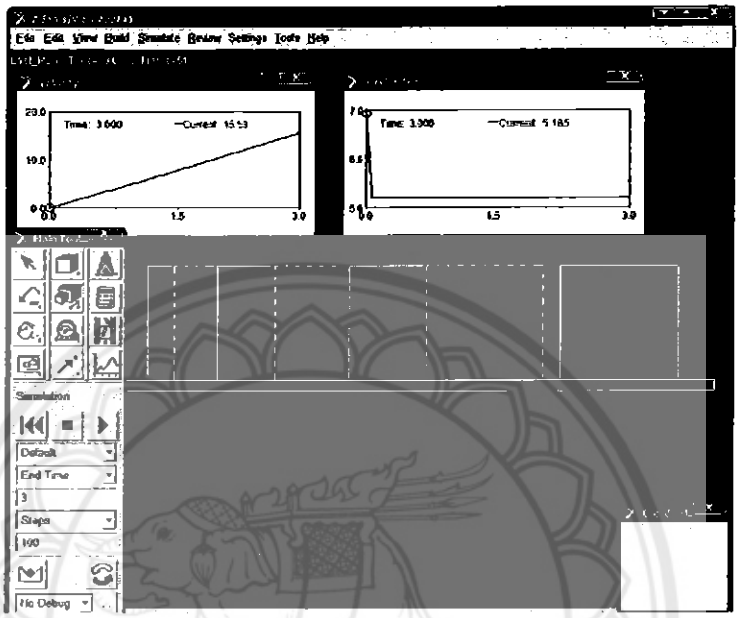


รูปที่ 5.6 แรงที่กระทำต่อวัตถุ

10. เลือกกราฟแสดงความเร็วตามแนวแกน X และ กราฟความเร่งตามแนวแกน X (Tool 8)

- กราฟความเร็วสร้าง โดยที่ Characteristic เลือก CM Velocity และComponent เลือก X
- กราฟความเร็วสร้าง โดยที่ Characteristic เลือก CM acceleration และComponent เลือก X

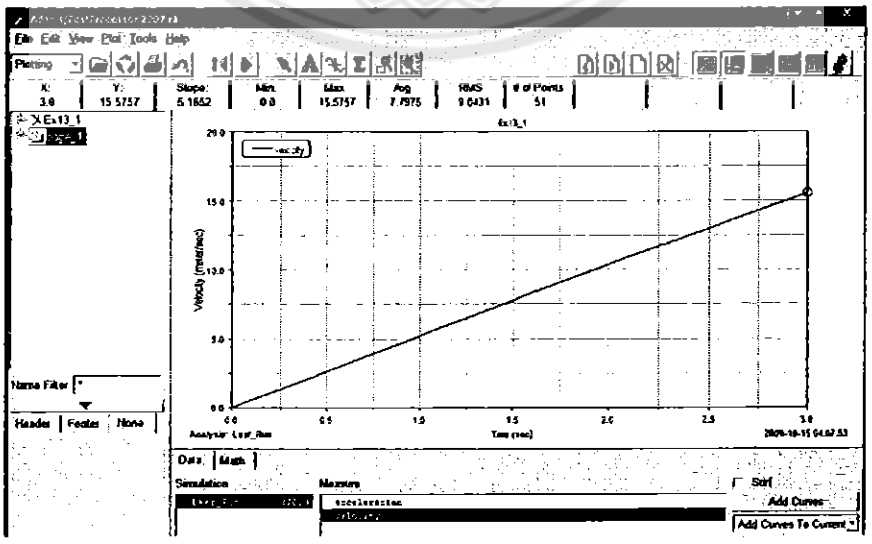
11. Run Simulation (Tool 9) โดยกำหนด End time ที่ 3 และ Steps ที่ 100 โดยกราฟจะเป็นดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 ผลการSimulation

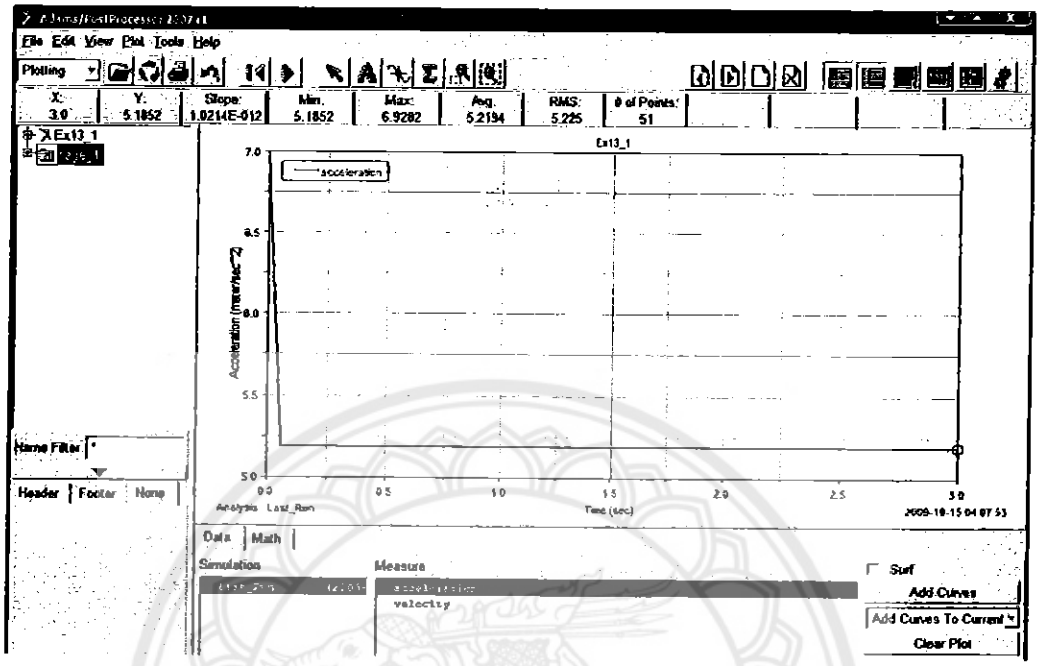
12. การหาคำตอบโดยการวิเคราะห์กราฟ(Tool 10)

- เลือกกราฟ Velocity ขึ้นมาแสดง เลือก และเคลื่อนเมาส์ไปที่ตำแหน่งที่ X=3 ดูค่าที่ Y จะ ได้ค่าความเร็วที่วินาทีที่3 ซึ่งเท่ากับ 15.5757 m/s ดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 แสดงกราฟความเร็ว

- เลือกกราฟ Acceleration ขึ้นมาแสดง เลือก และเคลื่อนเมาส์ไปที่ตำแหน่งที่ X=3 ดูค่าที่ Y จะได้ค่าความเร่งที่วินาทีที่3 ซึ่งเท่ากับ 5.1852 m/s ดังรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 แสดงกราฟความเร่ง

ผลการคำนวณโดยใช้สมการ

หาความเร็วและความเร่งที่ วินาทีที่ 3

ความเร่ง

$$(+\rightarrow)\sum F_x = ma_x;\ 400\cos 30^\circ - 0.3N_C = 50a$$

$$(+\uparrow)\sum F_y = ma_y;\ N_C - 490.5 + 400\sin 30^\circ = 0$$

$$N_C = 290.5N$$

$$a = 5.19 m/s^2$$ **ANS.**

ความเร็ว $(+\rightarrow)$

$$v = v_0 + a_C t$$

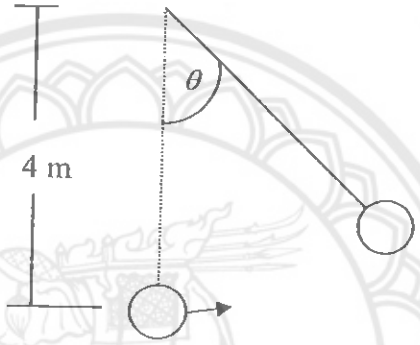
$$= 0 + 5.19(3)$$

$$= 15.6 \text{ m/s}$$ **ANS.**

แบบฝึกหัดที่ 6

Kinetics of a particle: Force and Acceleration

The ball has a mass of 30 kg and a speed V = 4 m/s at the instant it is at its lowest point, $\theta = 0°$ Determine the tension in the cord and the rate at which the ball's speed decreasing at the instant $\theta = 20°$ Neglect the size of the ball.(จาก หนังสือเรียน Engineering Mechanics (Dynamics), Ninth Edition, R.C.Hibbeler, page 131, PB13-69)



จากโจทย์สร้างแบบจำลอง เพื่อหาแรงดึงของลูกตุ้มและความเร่งที่ตำแหน่งลูกตุ้มอยู่ที่ $\theta = 20°$ (Y= 4 cos 20° = 3.7587)

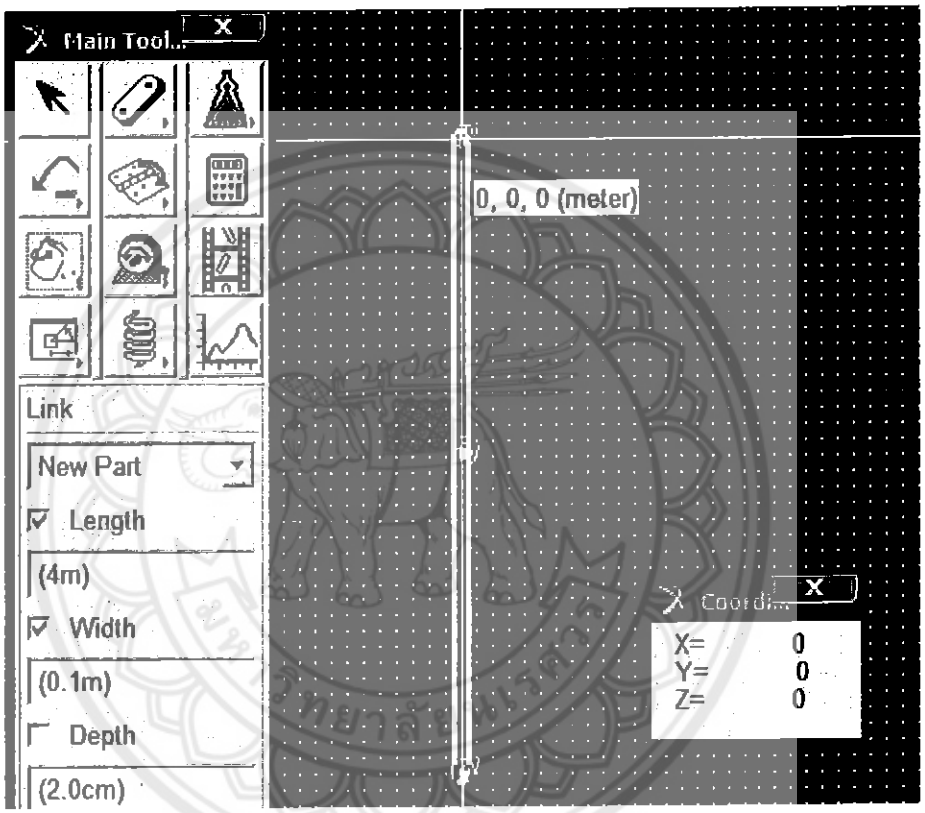
วิธีการสร้างแบบจำลอง

1. การตั้งค่าเริ่มต้น (Tool 1)
   - เปิดโปรแกรม MSC. ADAMS ขึ้นมา
   - Model name เปลี่ยนเป็น Model_6
   - Gravity เปลี่ยนเป็น other
   - Unit เปลี่ยนเป็น MKS – m,kg,N,s,deg
   - กด OK
   - โปรแกรมจะมีหน้าต่างสำหรับใส่ค่าแรงโน้มถ่วงขึ้นมา ที่Y = ใส่ค่า - 9.81 ลงไปแล้วเลือก OK
2. การตั้งค่า Grid (Tool 1)
   - ไปที่ Settings เลือก Working Grid
   - Size X = 10 m และ Y = 10 m
   - Spacing X = 0.1 m และ Y = 0.1 m
   - กด OK

3. เปิด Coordinate Window โดยเข้าไปที่ View > Coordinate Window

4. สร้างชิ้นงาน Like (Tool 3) ขนาด 4 m X 0.1 m วางที่จุด 0 ,0 ,0 ดังรูปที่ 6.1

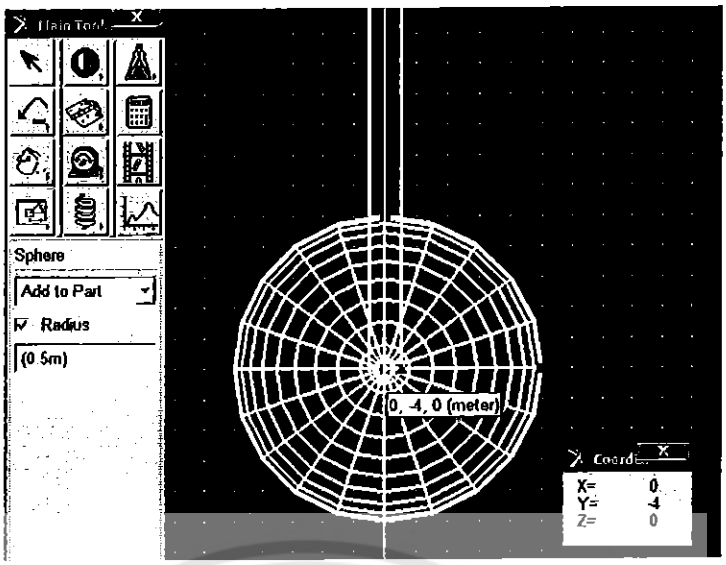
   - คลิกขวาที่ Rigid Body เลือก Link
   - เปลี่ยน Length = 4 m, Height = 0.1 m
   - คลิกวางบนพิกัด 0, 0, 0 แล้วเลื่อนเม้าลงข้างล่าง



รูปที่ 6.1 การสร้าง link

5. สร้างชิ้นงานรูปวงกลม(Tool 3.1.2) ขนาดรัศมี 0. 5 m ที่จุด -4,0,0 ดังรูปที่ 6.2

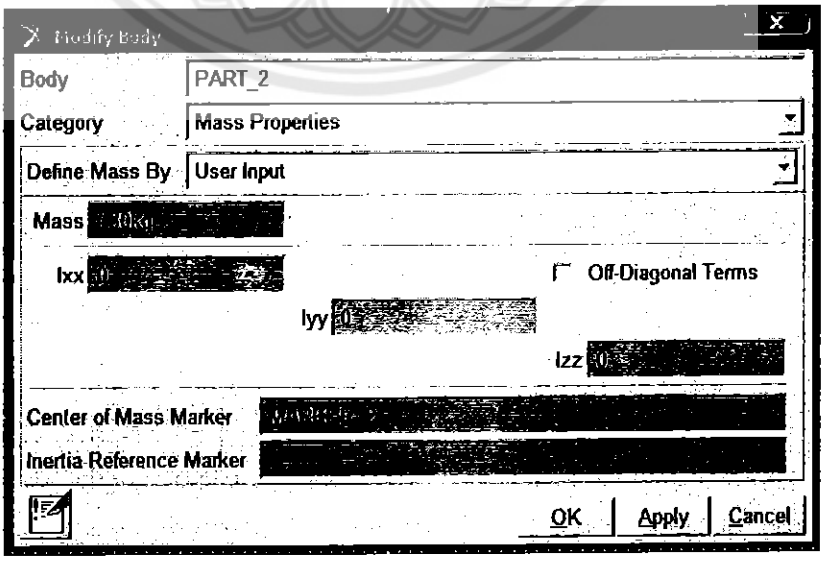
   - คลิกขวาที่ Rigid Body เลือก sphere
   - ที่ New Part เปลี่ยนเป็น Add to Part
   - เปลี่ยน Radius = 0.5 m
   - คลิกเลือกที่ Link
   - คลิกวางบนพิกัด -4 ,0 ,0



รูปที่ 6.2 การสร้างชิ้นงานแทนลูกตุ้ม

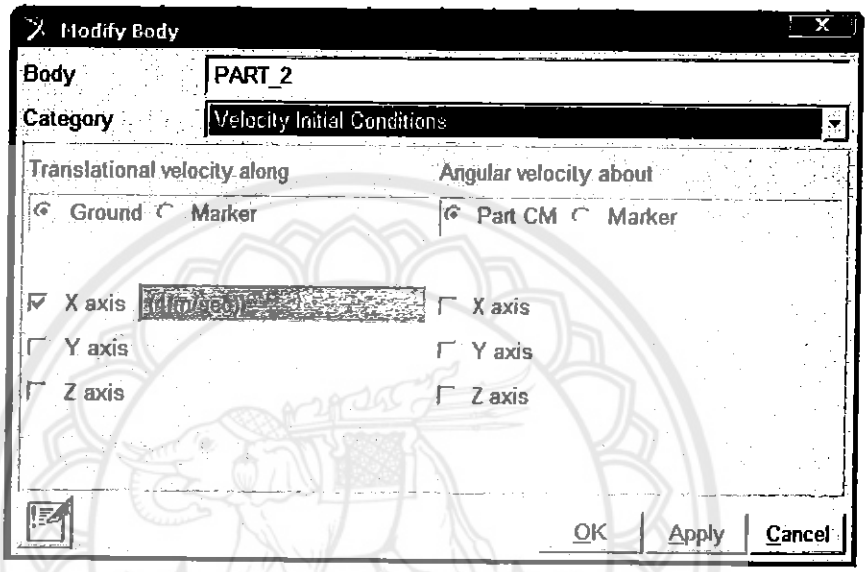
6. **กำหนดมวลของชิ้นงาน**(Tool 3.1.3) ที่ 30-kg และกำหนดจุดศูนย์กลางมวลอยู่ที่ลูก**ตุ้ม ดังรูปที่** 6.3

- คลิกขวาที่ Link เลือก Part: PART_2 เลือก Modify
- Difine Mass By เปลี่ยนเป็น User Input
- Mass เปลี่ยนเป็น 30 kg
- คลิกขวาที่ช่องว่างหลัง Center of Mass Marker เลือก Marker เลือก Pick
- คลิกเลือกที่กึ่งกลางลูกตุ้ม
- กด OK



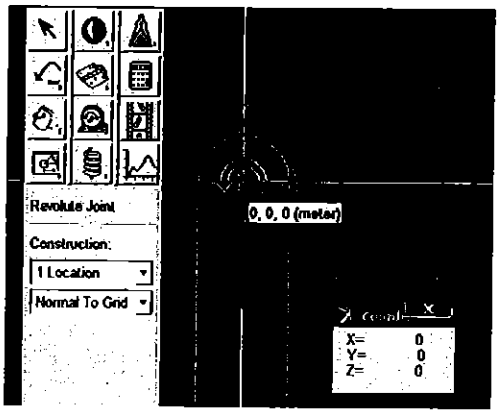
รูปที่ 6.3 กำหนดน้ำหนักของชิ้นงาน

7. กำหนดความเร็วเริ่มต้นของชิ้นงาน 4 m/s (Tool 3.1.4) ดังรูปที่ 6.4
   - คลิกขวาที่ Link เลือก Part: PART_2 เลือก Modify
   - Category เปลี่ยนเป็น Velocity Initial Conditions
   - เลือก X axis
   - ใส่ค่าความเร็วเริ่มต้น (4(m/sec))
   - กด OK



รูปที่ 6.4 กำหนดความเร็วเริ่มต้นของชิ้นงาน

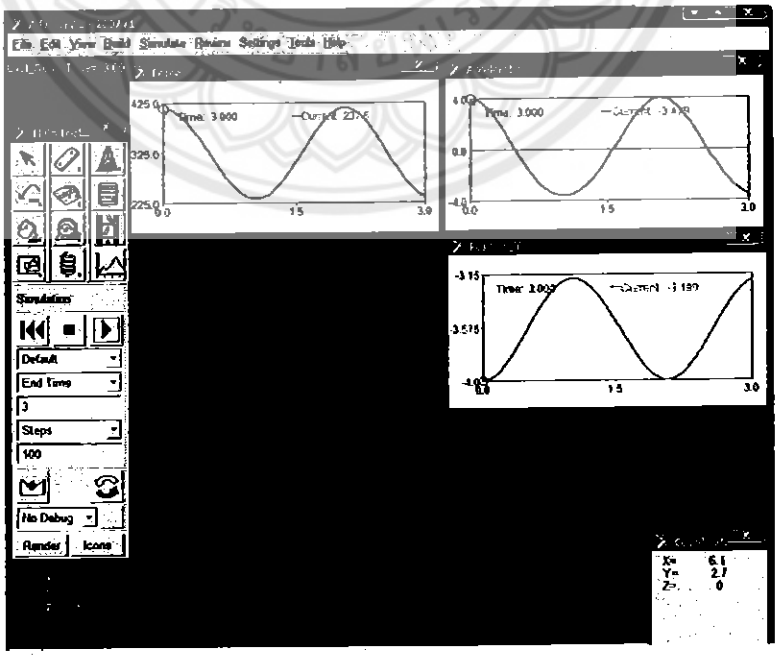
8. สร้างการกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ (Tool 5)
   - ไปที่ Joint เลือก Joint:Revolute
   - Construction เลือก 1 Location และ Normal to Grid.
   - นำเมาส์ไปคลิกวางที่ 0 , 0 , 0



รูปที่ 6.5 แสดงการกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของ Link

9. การกำหนดค่า Measure (Tool 8)
   - คลิกขวาที่ Joint เลือก JOINT_1 เลือก Measure
   - Measure Name เปลี่ยนเป็น Force
   - Characteristic เปลี่ยนเป็น Force
   - Compoment เลือก mag (magnitude)
   - กด OK จะแสดงกราฟ Force ออกมา
   - และคลิกขวาที่ ลูกตุ้ม เลือก Part 2 เลือก Measure
   - Measure Name เปลี่ยนเป็น Velocity
   - Characteristic เปลี่ยนเป็น CM Velocity
   - Compoment เลือก Y
   - กด OK จะแสดงกราฟ Velocity ออกมา
   - และคลิกขวาที่ ลูกตุ้ม เลือก Part 2 เลือก Measure
   - Measure Name เปลี่ยนเป็น Position_Y
   - Characteristic เปลี่ยนเป็น CM Position
   - Compoment เลือก Y
   - กด OK จะแสดงกราฟ Position_Y ออกมา

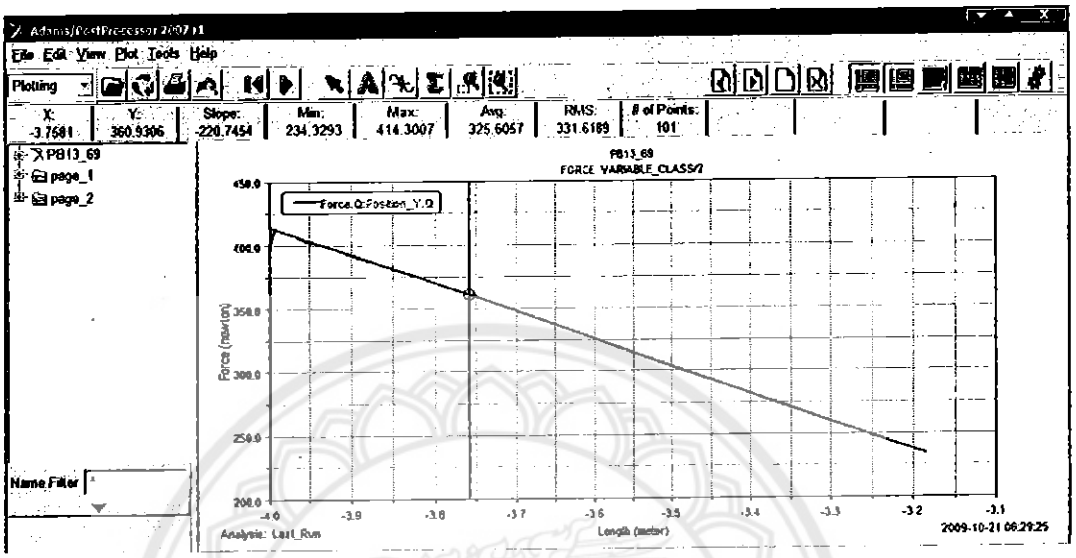
10. Run Simulation (Tool 9) โดยกำหนด End time ที่ 3 และ Steps ที่ 100 โดยกราฟจะเป็นดังรูปที่ 6.6



รูปที่ 6.6 ผลการSimulation

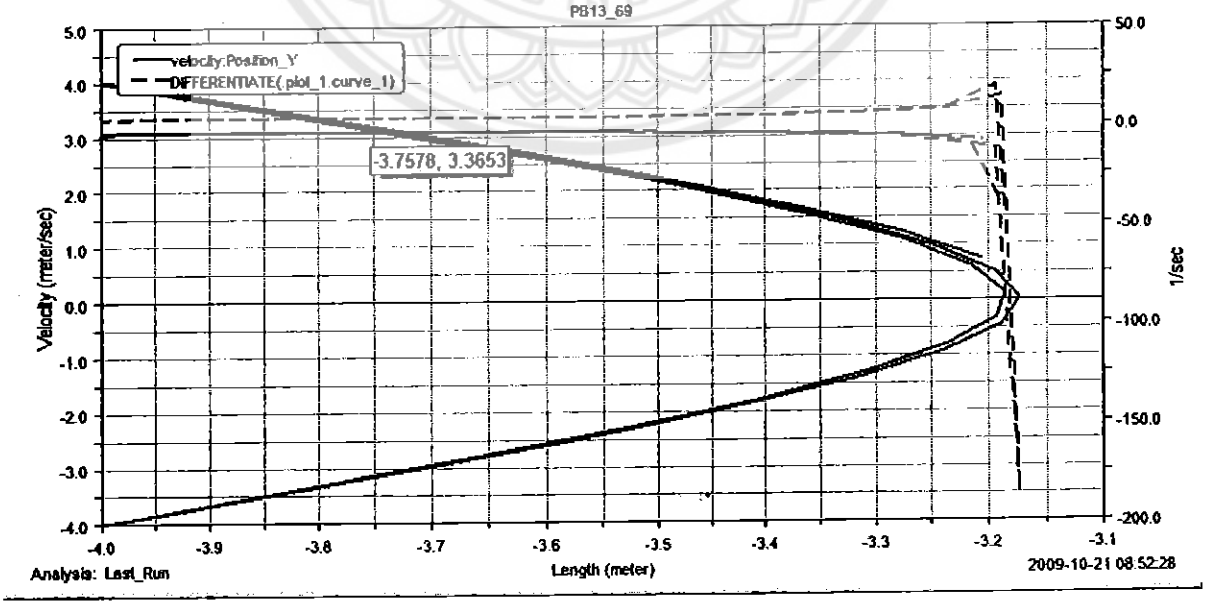
11. การหาคำตอบโดยการวิเคราะห์กราฟ(Tool 10)

- เลือกกราฟ Force ขึ้นมาเทียบกับกราฟ Position_Y ใช้ และเคลื่อนเม้าไปที่ตำแหน่งที่ Position_Y = -3.7587 ดูค่าที่ Force จะ ได้แรงดึงที่กระทำที่ Joint เท่ากับ 360.9306 N ดังรูปที่ 6.7



รูปที่ 6.7 แสดงกราฟ Force เทียบกับกราฟ Position_Y

- เลือกกราฟ Velocity ขึ้นมาเทียบกับกราฟ Position_Y ใช้ เลือกใช้การ $\frac{dx}{dy}$ และเคลื่อนเม้าไปที่กราฟความเร็ว ทำการ Differentiate กราฟความเร็วจะได้กราฟความเร่งออกมา ตำแหน่งที่ Position_Y = -3.7587 ดูค่าที่จากการ Differentiate กราฟความเร็ว จะได้ ความเร่งในแนวแกน Y เท่ากับ $3.3653 m/s^2$ ดังรูปที่ 6.8



รูปที่ 6.8 แสดงกราฟ Differentiate ความเร็วเทียบกับกราฟ Position_Y

ผลการคำนวณโดยใช้สมการ

A.หาแรงดึงของลูกตุ้มและความเร่งที่ตำแหน่งลูกตุ้มอยู่ที่ $\theta = 20^{\circ}$

$$T = m\frac{v_i^2 - 2g(r - r\cos\theta)}{r} + mg\cos\theta$$

$$T = (30)\frac{(4)^2 - 2(9.81)\left[(4) - (4)\cos(20)\right]}{4} + (30)(9.81)\cos(20)$$

$$T = (30)\frac{11.26}{4} + 276.6$$

$$T = 84.5 + 276.6$$

$$T = 361.05N$$ **ANS.**

B.ความเร่ง

$$\sum F_t = -W\sin\theta = ma_t$$

$$-mg\sin\theta = ma_t$$

$$a_t = -g\sin\theta$$

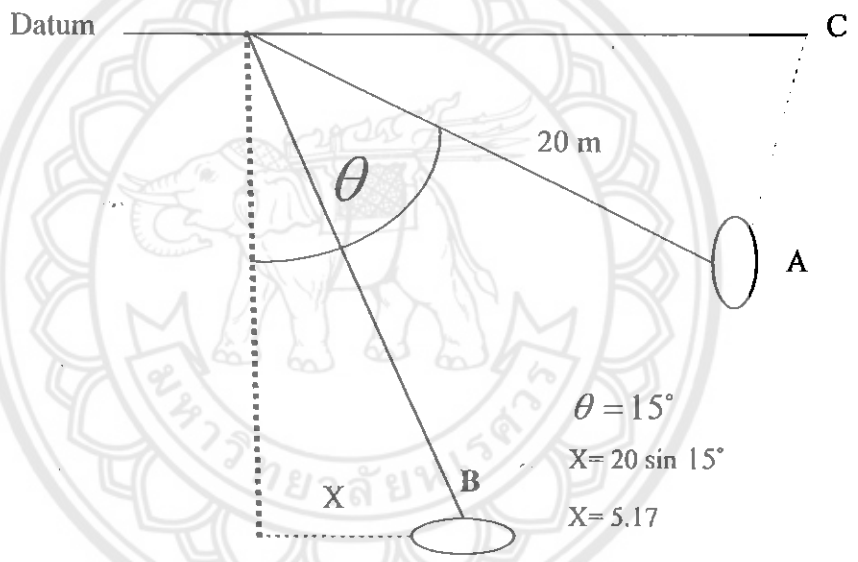
$$a_t = -(-9.81)\sin\theta(20)$$

$$a_t = 3.36m/s^2$$ **ANS.**

แบบฝึกหัดที่ 7

Kinetics of a particle: Work and Energy

The gantry structure in the photo is used to test the response of an airplane during a crash. As shown in Picture, the Plane, having mass of 8 Mg, is hoisted back until $\theta = 60^{\circ}$ and then the pull-back cable AC is released when the plane is at rest. Determine the speed of the plane just be for crashing in to the ground, $\theta = 15^{\circ}$ Also, when is the maximum tension developed in the supporting cable during the motion? Neglect the effect of lift caused by the wing during the motion and a size of airplane. (จาก **หนังสือเรียน** Engineering Mechanics (Dynamics), Ninth Edition, R.C.Hibbeler , page 196,Ex 14-9)

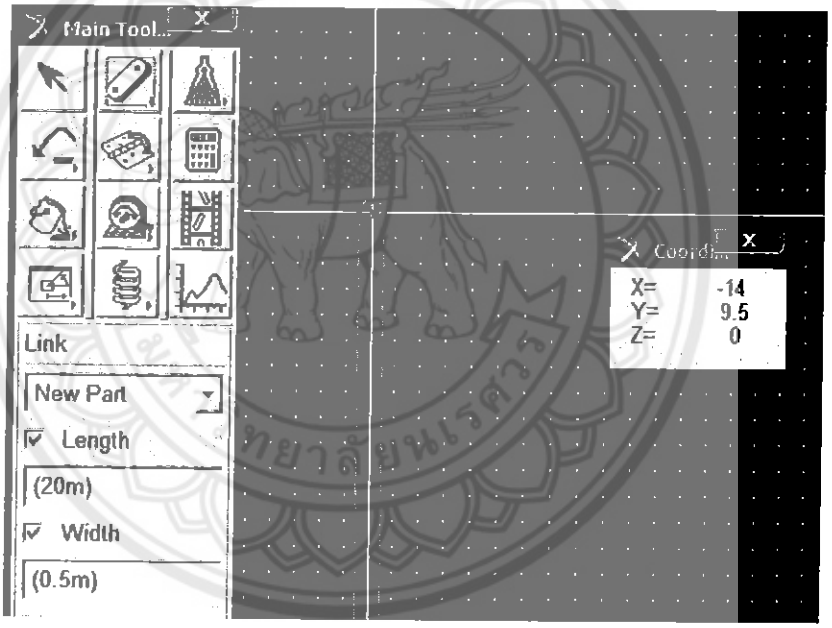


จากโจทย์สร้างแบบจำลอง เพื่อหาแรงดึงและความเร็วที่ตำแหน่ง $\theta = 15^{\circ}$ (X= 5.17)

วิธีการสร้างแบบจำลอง

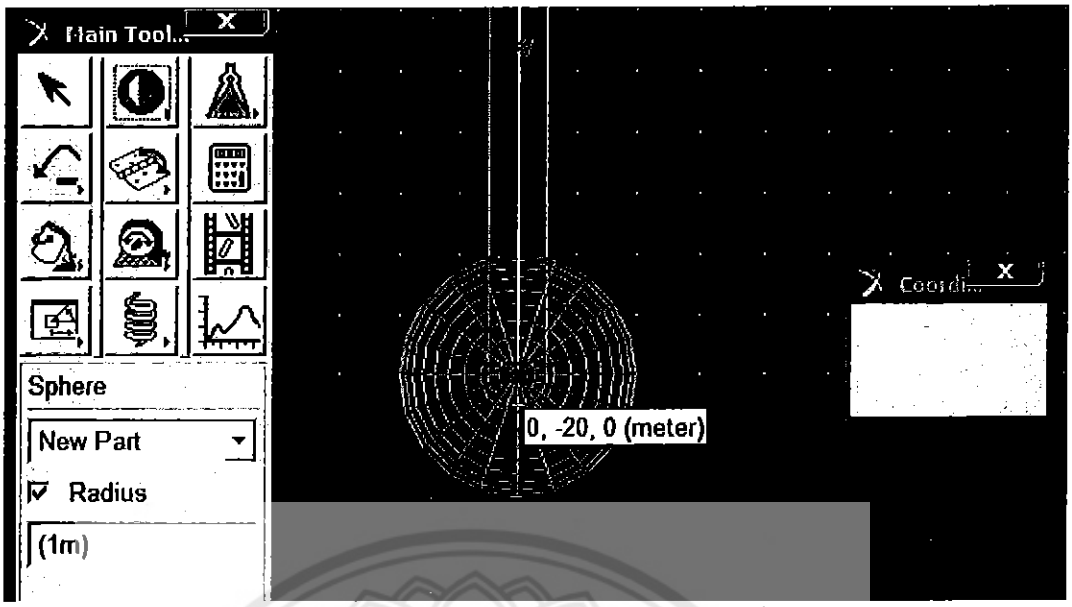
1. การตั้งค่าเริ่มต้น(Tool 1)
   - เปิดโปรแกรม MSC. ADAMS ขึ้นมา
   - Model name เปลี่ยนเป็น Model_7
   - Gravity เปลี่ยนเป็น other
   - Unit เปลี่ยนเป็น MKS – m,kg,N,s,deg
   - กด OK
   - โปรแกรมจะมีหน้าต่างสำหรับใส่ค่าแรงโน้มถ่วงขึ้นมา ที่Y = ใส่ค่า -9.81 ลงไปแล้วเลือก OK

2. การตั้งค่า Grid (Tool 1)
   - ไปที่ Settings เลือก Working Grid
   - Size X = 20 m และ Y = 20 m
   - Spacing X = 0.5 m และ Y = 0.5 m
   - กด OK
3. เปิด Coordinate Window โดยเข้าไปที่ View > Coordinate Window
4. สร้างชิ้นงาน Like (Tool 3)ขนาด 20 m X 0.5 m วางที่จุด 0 ,0 ,0 ดังรูปที่ 7.1
   - คลิกขวาที่ Rigid Body เลือก Link
   - เปลี่ยน Length = 20 m, Height = 0.5 m
   - คลิกวางบนพิกัด 0, 0, 0 แล้วเลื่อนเมาส์ลงข้างล่าง



รูปที่ 7.1 การสร้าง link

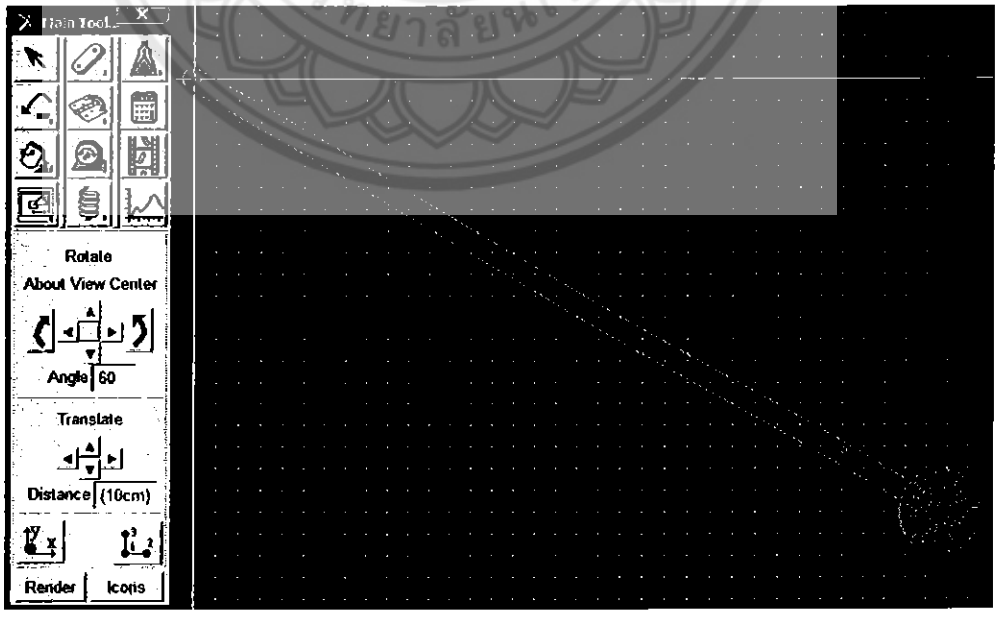
5. สร้างชิ้นงานรูปวงกลม(Tool 3.1.2) ขนาดรัศมี 1 m ที่จุด -20,0,0 ดังรูปที่ 7.2
   - คลิกขวาที่ Rigid Body เลือก sphere
   - ที่ New Part เปลี่ยนเป็น Add to Part
   - เปลี่ยน Radius = 1 m
   - คลิกเลือกที่ Link
   - คลิกวางบนพิกัด -20 ,0 ,0



รูปที่ 7.2 การสร้างชิ้นงานแทนลูกตุ้ม

6. ใช้ Reposition Object Relative View (Tool 4) หมุนชิ้นงานขึ้นมา 60 องศาดังรูปที่ 7.3

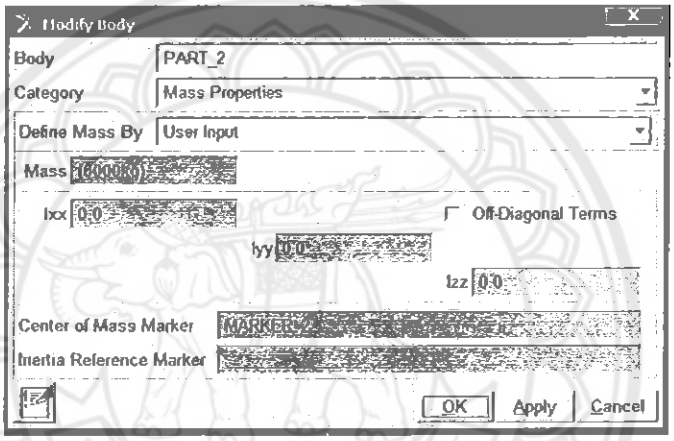
- คลิกเลือก Position
- Angle เลือก 60
- คลิกเลือกหมุนทวนเข็มนาฬิกา(counterclockwise)



รูปที่ 7.3 กำหนดมุมของชิ้นงาน

7. กำหนดมวลของชิ้นงาน(Tool 3.1.3) ที่ 8000-kg และกำหนดจุดศูนย์กลางมวลอยู่ที่ลูกตุ้ม ดังรูปที่ 7.4

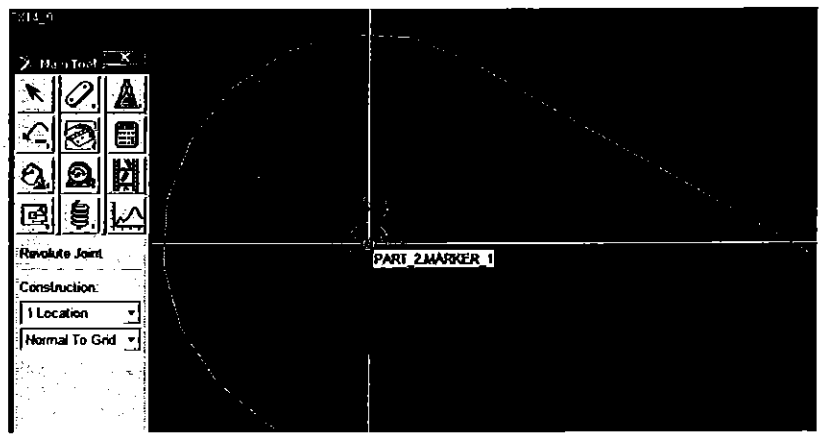
- คลิกขวาที่ Link เลือก Part: PART_2 เลือก Modify
- Difine Mass By เปลี่ยนเป็น User Input
- Mass เปลี่ยนเป็น 8000 kg
- คลิกขวาที่ช่องว่างหลัง Center of Mass Marker เลือก Marker เลือก Pick
- คลิกเลือกที่กึ่งกลางลูกตุ้ม
- กด OK



รูปที่ 7.4 กำหนดน้ำหนักของชิ้นงาน

8. สร้างการกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ (Tool 5)

- ไปที่ Joint เลือก Joint: Revolute
- Construction เลือก 1 Location และ Normal to Grid.
- นำเมาส์ไปคลิกวางที่ 0 , 0 , 0

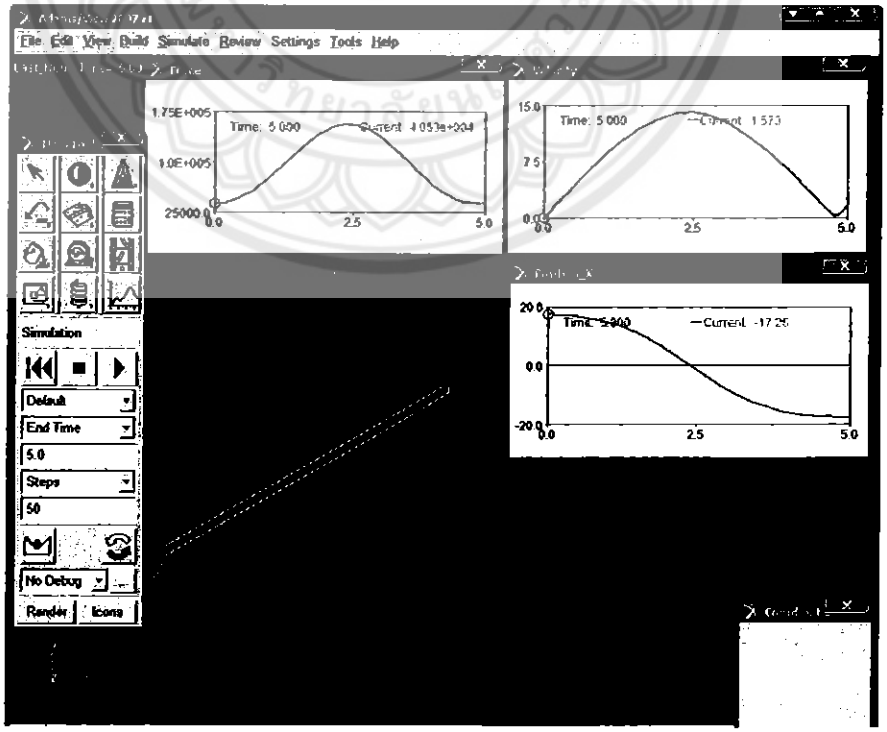


รูปที่ 7.5 แสดงการกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของ

9. การกำหนดค่า Measure (Tool 8)

- คลิกขวาที่ Joint เลือก JOINT_1 เลือก Measure
- Measure Name เปลี่ยนเป็น Force
- Characteristic เปลี่ยนเป็น Force
- Compoment เลือก mag (magnitude)
- กด OK จะแสดงกราฟ Force ออกมา
- และคลิกขวาที่ ลูกตุ้ม เลือก Part 2 เลือก Measure
- Measure Name เปลี่ยนเป็น Velocity
- Characteristic เปลี่ยนเป็น CM Velocity
- Compoment เลือก mag (magnitude)
- กด OK จะแสดงกราฟ Velocity ออกมา
- และคลิกขวาที่ ลูกตุ้ม เลือก Part 2 เลือก Measure
- Measure Name เปลี่ยนเป็น Position_X
- Characteristic เปลี่ยนเป็น CM Position
- Compoment เลือก Y
- กด OK จะแสดงกราฟ Position_X ออกมา

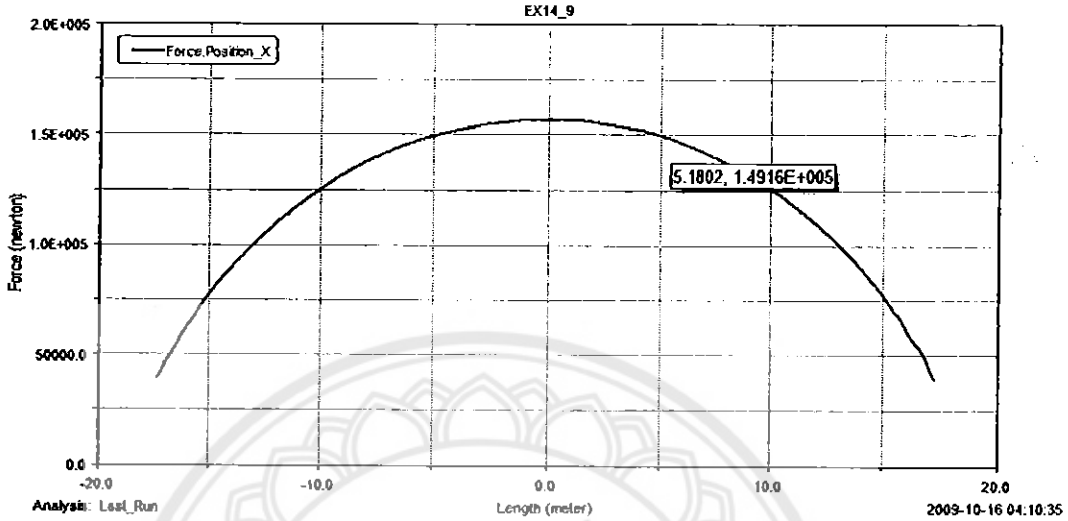
10. Run Simulation (Tool 9) โดยกำหนด End time ที่ 5 และ Steps ที่ 500 โดยกราฟจะเป็นดังรูปที่ 7.6



รูปที่ 7.6 ผลการSimulation

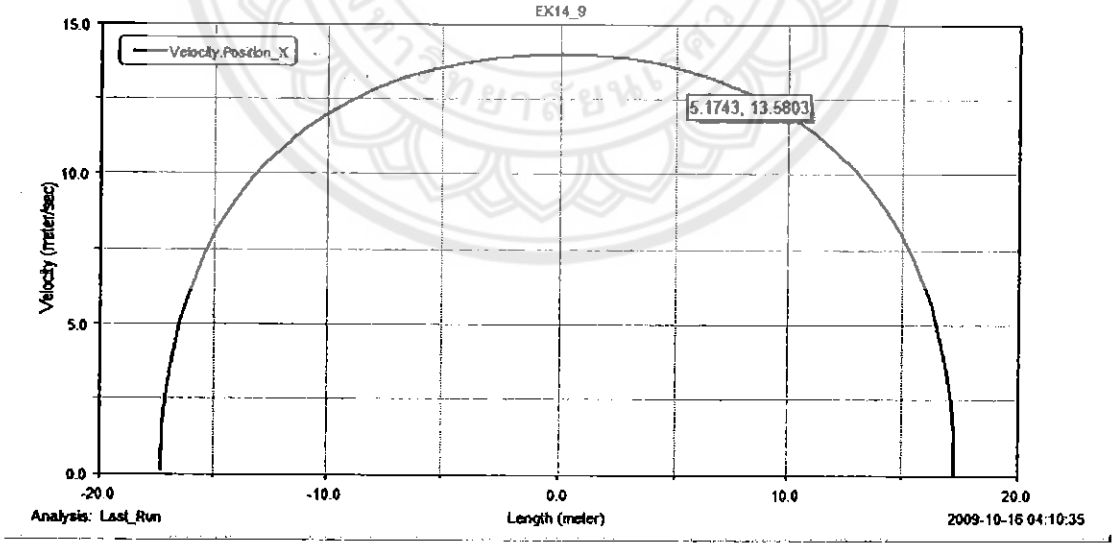
11. การหาคำตอบโดยการวิเคราะห์กราฟ(Tool 10)

- เลือกกราฟ Force ขึ้นมาเทียบกับกราฟ Position_X ใช้ และเคลื่อนเม้าท์ไปที่ตำแหน่งที่ Position_X = 5.17ดูค่าที่ Force จะ ได้แรงดึงที่กระทำที่ Joint เท่ากับ 149.16 k N ดังรูปที่ 7.7



รูปที่ 7.7 แสดงกราฟ Force เทียบกับกราฟ Position_X

- เลือกกราฟ Velocityขึ้นมาเทียบกับกราฟ Position_X ใช้ และเคลื่อนเม้าท์ไปที่ตำแหน่งที่ Position_X = 5.17ดูค่าที่ Velocity จะ ได้ความเร็วที่ต้องการ 13.58 m/s ดังรูปที่ 7.8



รูปที่ 7.8 แสดงกราฟความเร็วเทียบกับ Position_X

ผลการคำนวณโดยใช้สมการ

หาแรงดึงของเครื่องบินจำลองและความเร็วที่ตำแหน่ง $\theta = 15^\circ$ (X= 5.17) โดย

ความเร็วของเครื่องบินจำลองในตำแหน่ง $\theta = 15^\circ$

$$T_A + v_A = T_B + v_B$$

$$0 - 8000kg(9.81m/s^2)(20\cos 60^\circ m) = \frac{1}{2}(8000kg)v_B^2 - 8000kg(9.81m/s^2)(20\cos 15^\circ m)$$

$$v_B = 13.5m/s$$

แรงดึงของเครื่องบินจำลองในตำแหน่ง $\theta = 15^\circ$

$$(+\square)\sum F_n = ma_n;$$

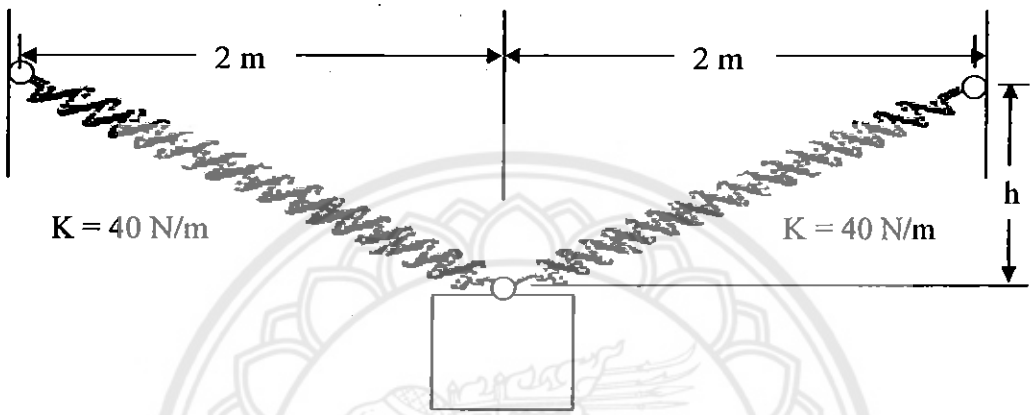
$$T - 8000(9.81)N\cos 15^\circ = (8000kg)\frac{(13.5m/s)^2}{20m}$$

$$T = 149kN$$ **ANS.**

แบบฝึกหัด 8

Kinetics of a particle: Work and Energy

The cylinder has mass of 20 kg and is released form rest when h=0 .Determine its speed when h=3 m. The springs each have an unstretched length of 2 m.(จาก หนังสือเรียน Engineering Mechanics (Dynamics), Ninth Edition, R.C.Hibbeler , page 204)



จากโจทย์สร้างแบบจำลอง เพื่อหาความเร็วที่ตำแหน่งเปลี่ยนไป 3 m.

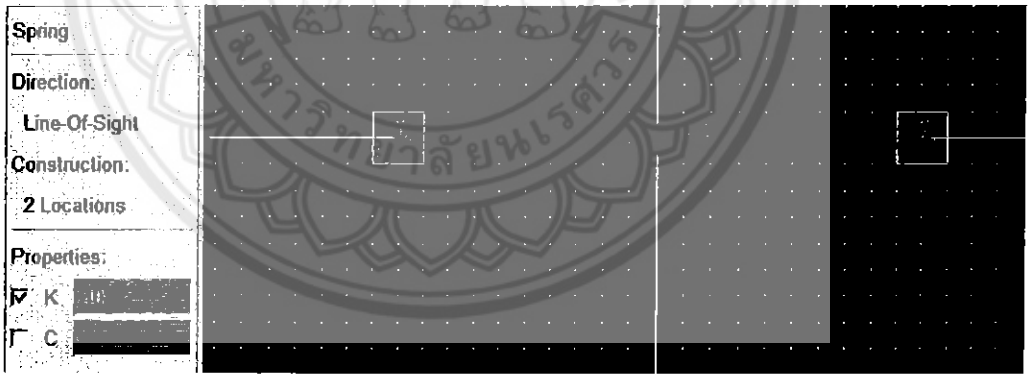
วิธีการสร้างแบบจำลอง

1. การตั้งค่าเริ่มต้น (Tool 1)
   - เปิดโปรแกรม MSC. ADAMS ขึ้นมา
   - Model name เปลี่ยนเป็น Model_8
   - Gravity เปลี่ยนเป็น other
   - Unit เปลี่ยนเป็น MKS – m,kg,N,s,deg
   - กด OK
   - โปรแกรมจะมีหน้าต่างสำหรับใส่ค่าแรงโน้มถ่วงขึ้นมา ที่Y = ใส่ค่า -9.81 ลงไปแล้วเลือก OK
2. การตั้งค่า Grid (Tool 1)
   - ไปที่ Settings เลือก Working Grid
   - Size X = 5 m และ Y = 5 m
   - Spacing X = 0.2 m และ Y = 0.2 m
   - กด OK
3. เปิด Coordinate Window โดยเข้าไปที่ View > Coordinate Window

4. สร้างชิ้นงานสี่เหลี่ยม(Tool 3.1.2) ขนาด 0.4 m X 0.4 m X 0.4 m วางที่จุด -2 ,-2 ,0
   - คลิกขวาที่ Rigid Body เลือก Box
   - เปลี่ยน Length = 0.4 m, Height = 0.4 m, Depth = 0.4 m
   - คลิกวางบนพิกัด -2 ,-2 ,0

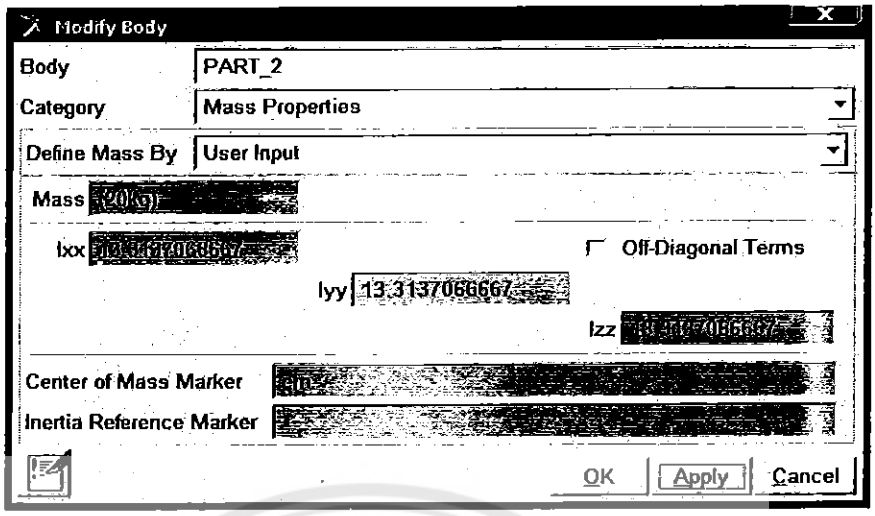
5. สร้างGround (Tool 3.1.1) ขนาด 0.4 m X 0.4 m X 0.4 m วางที่จุด -22 ,-2 ,0และ 18 ,-2 ,0
   - คลิกขวาที่ Rigid Body เลือก Box
   - เปลี่ยน New Past เป็น On Ground
   - เปลี่ยน Length = 0.4 m, Height = 0.4 m, Depth = 0.4 m
   - คลิกวางบนพิกัด -22 ,-2 ,0 และ พิกัด 18 ,-2 ,0

6. สร้างสปริง(Tool 7)ที่ค่า K = 40 N/m เชื่อมจากกึ่งกลาง Ground มาที่กล่องจากทั้งสองข้าง ดังรูปที่ 8.1
   - คลิกขวาที่ Force เลือก spring
   - เลือกใช้ค่า K กำหนดเป็น 40
   - คลิกที่กึ่งกลาง Ground และมาคลิกที่ กึ่งกลางกล่อง
   - ทำเช่นเดียวกันทั้งสองข้าง



รูปที่ 8.1 การสร้างSpring

7. กำหนดมวลของชิ้นงาน(Tool 3.1.3) ที่ 20 kg และกำหนดจุดศูนย์กลางมวลอยู่ที่ลูกตุ้ม ดังรูปที่ 97
   - คลิกขวาที่ กล่องตรงกลาง เลือก Part: PART_2 เลือก Modify
   - Difine Mass By เปลี่ยนเป็น User Input
   - Mass เปลี่ยนเป็น 20 kg
   - กด OK



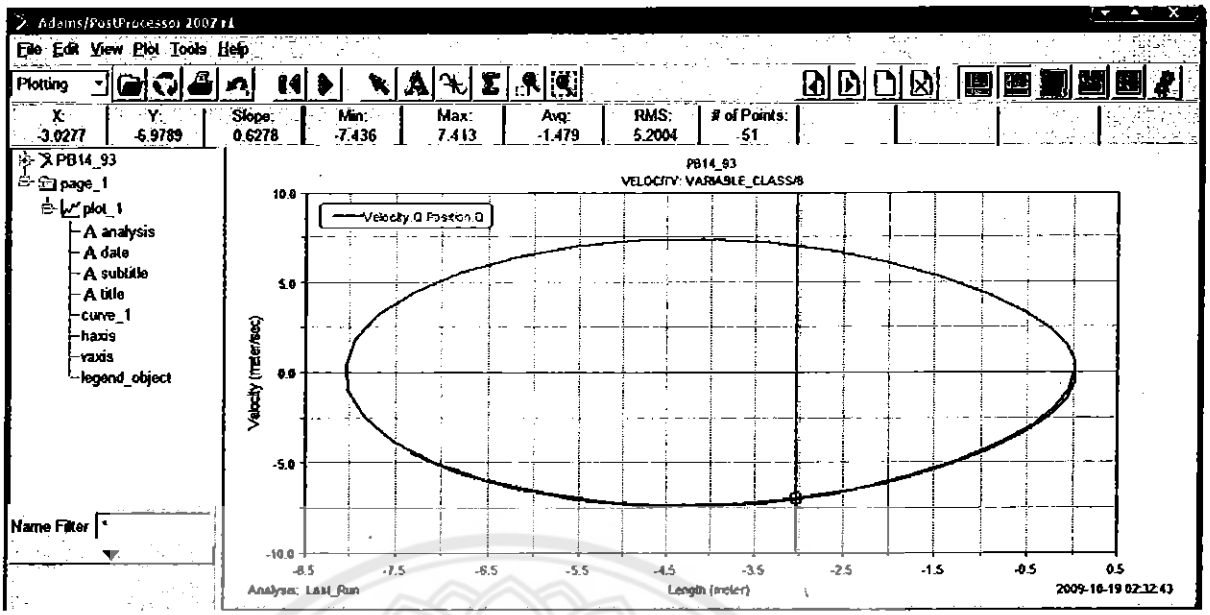
รูปที่ 8.2 กำหนดน้ำหนักของชิ้นงาน

8. การกำหนดค่า Measure (Tool 8)
   - และคลิกขวาที่ กล่อง เลือก Part 2 เลือก Measure
   - Measure Name เปลี่ยนเป็น Velocity
   - Characteristic เปลี่ยนเป็น CM Velocity
   - Component เลือก Y
   - กด OK จะแสดงกราฟ Velocity ออกมา
   - และคลิกขวาที่ ลูกตุ้ม เลือก Part 2 เลือก Measure
   - Measure Name เปลี่ยนเป็น Position
   - Characteristic เปลี่ยนเป็น CM Position
   - Component เลือก Y
   - กด OK จะแสดงกราฟ Position ออกมา

9. Run Simulation (Tool 9) โดยกำหนด End time ที่ 3 และ Steps ที่ 300

10. การหาคำตอบโดยการวิเคราะห์กราฟ(Tool 10)

- เลือกกราฟ Velocity ขึ้นมาเทียบกับกราฟ Position ใช้ และเคลื่อนเม้าท์ไปที่ตำแหน่งที่ Position = - 3 ดูค่าที่ Velocity จะ ได้ความเร็ว เท่ากับ – 6.9789m/s ดังรูปที่ 8.3



รูปที่ 8.3 แสดงกราฟ Velocity ขึ้นมาเทียบกับกราฟ Position

ผลการคำนวณโดยใช้สมการ

Potential Energy: Datum is set at the cylinder position when h=0.when the cylinder moves to a position h=3m below the datum, its gravitational potential energy at this position is 20(9.81)(-3)=-588.6J.the initial and final elastic potential energy are $2\left[\frac{1}{2}(40)(2-2)^2\right]=0$ and $2\left[\frac{1}{2}(40)(\sqrt{2^2+3^2}-2)^2\right]=103.11J$,respectively

Conservation of Energy: $\sum T_1+\sum V_1=\sum T_2+\sum V_2$

$$0+0=\left(\frac{1}{2}(20)v^2\right)+\left\{[20(9.81)(-3)]+2\left[\frac{1}{2}(40)(\sqrt{2^2+3^2}-2)^2\right]\right\}$$

$$0+0=\left(\frac{1}{2}(20)v^2\right)103.11+(-588.6)$$

$$v=6.97m/s$$ **Ans.**

แบบฝึกหัด 9

Kinetics of a particle: impulse and Momentum

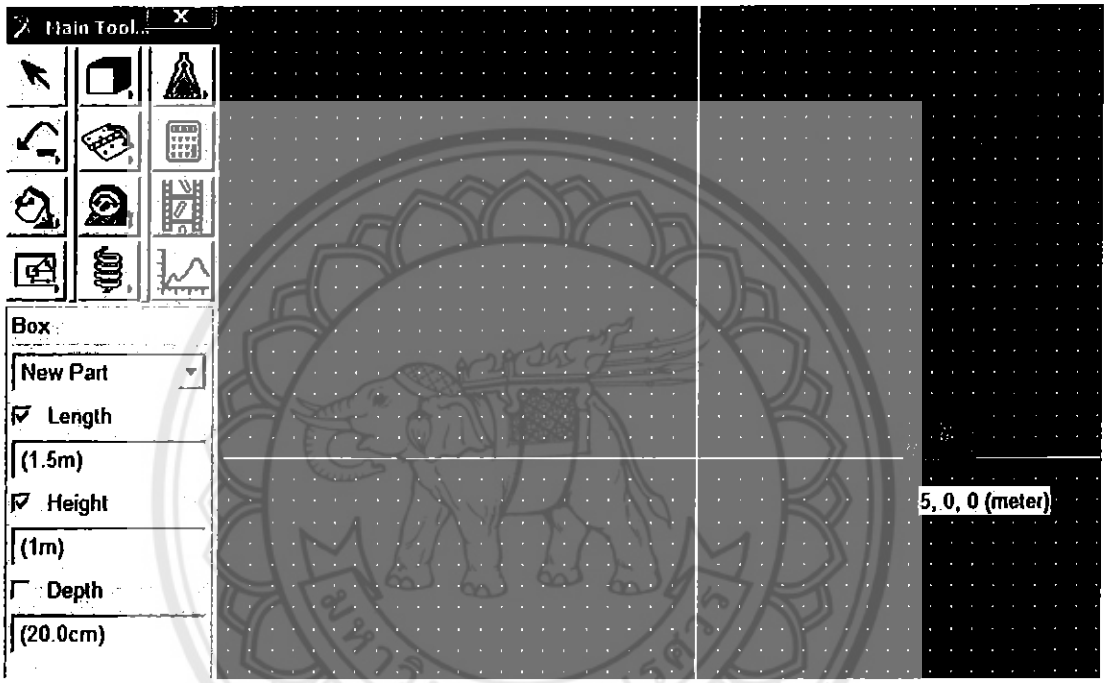
The 15-Mg boxcar A is coasting at 1.5 m/s on the horizontal track when it encounters a 12-Mg tank car B coasting at 0.75 m/s toward it as show in Fig. 15-8a. If the cars meet and couple together determine (a) the speed of both cars just after the coupling, and (b) the average force between them if the coupling takes place in 0.8 s.(จากหนังสือเรียน Engineering Mechanics (Dynamics), Ninth Edition, R.C.Hibbeler, page 224, Ex 15-4)

จากโจทย์สร้างแบบจำลอง เพื่อหาความเร็วของรถเมื่อชนติดกันไปและแรงหลังการชน

วิธีการสร้างแบบจำลอง

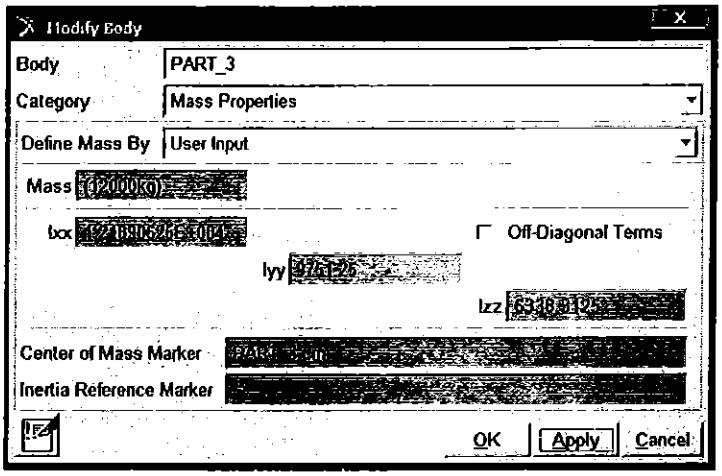
1. การตั้งค่าเริ่มต้น (Tool 1)
   - เปิดโปรแกรม MSC. ADAMS ขึ้นมา
   - Model name เปลี่ยนเป็น Model_9
   - Gravity เปลี่ยนเป็น No Gravity
   - Unit เปลี่ยนเป็น MKS – m,kg,N,s,deg
   - กด OK
2. การตั้งค่า Grid (Tool 1)
   - ไปที่ Settings เลือก Working Grid
   - Size X = 50 m และ Y = 50 m
   - Spacing X = 0.5 m และ Y = 0.5 m
   - กด OK
3. เปิด Coordinate Window โดยเข้าไปที่ View > Coordinate Window

4. การสร้างชิ้นงาน (Tool 3.1.2)
   - คลิกขวาที่ Rigid Body เลือก Box
   - เปลี่ยน Length = 2 m, Height = 1 m
   - คลิกวางบนพิกัด -7, 0, 0
   - สร้าง Box มาอีกชิ้น โดยให้มีขนาด Length = 1.5 m, Height = 1 m
   - คลิกวางบนพิกัด 5, 0, 0



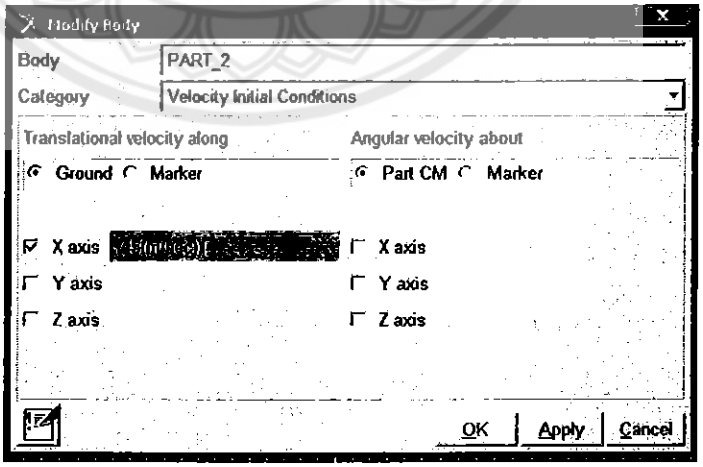
รูปที่ 9.1 แสดงการสร้างชิ้นงาน

5. การกำหนดค่ามวลของ Box (Tool 3.1.3)
   - คลิกขวาที่ Box 1 เลือก Part: PART_2 เลือก Modify
   - Difine Mass By เปลี่ยนเป็น User Input
   - Mass เปลี่ยนเป็น 15000kg
   - กด OK
   - คลิกขวาที่ Box 2 เลือก Part: PART_3 เลือก Modify
   - Difine Mass By เปลี่ยนเป็น User Input
   - Mass เปลี่ยนเป็น 12000kg
   - กด OK



รูปที่ 9.2 แสดงการกำหนดค่ามวลของ Box

6. การกำหนดค่าความเร็ว Box (Tool 3.1.4)
   - คลิกขวาที่ Box I เลือก Part: PART_2 เลือก Modify
   - Category เปลี่ยนเป็น Velocity Initial Conditions
   - คลิกเลือก X axis ใส่ค่าความเร็ว = (1.5(m/sec))
   - กด OK
   - คลิกขวาที่ Box 2 เลือก Part: PART_3 เลือก Modify
   - Category เปลี่ยนเป็น Velocity Initial Conditions
   - คลิกเลือก X axis ใส่ค่าความเร็ว = (-0.75(m/sec))
   - กด OK

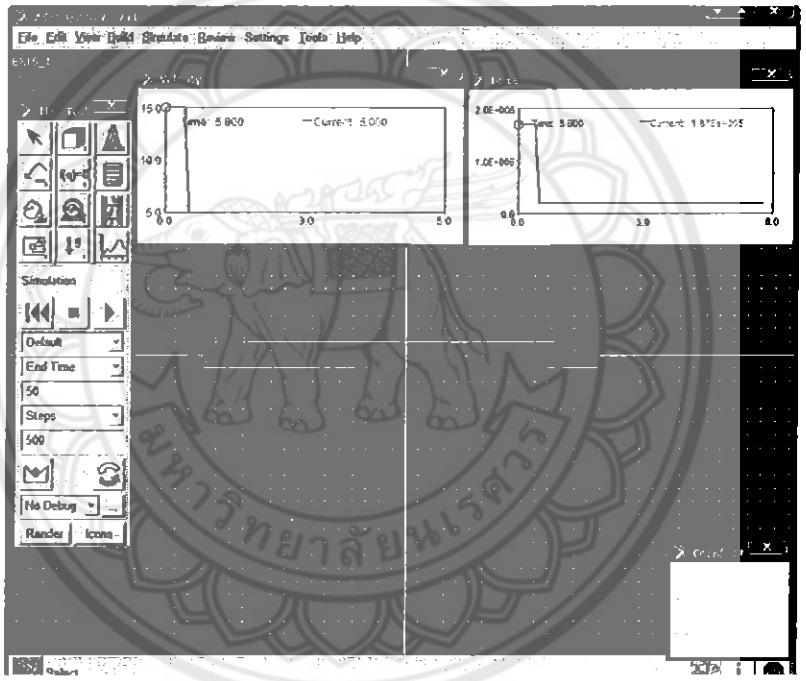


รูปที่ 9.3 แสดงการกำหนดค่าความเร็ว

7. การกำหนดค่า Contact (Tool 7)
   - คลิกขวาที่ Connector เลือก Contact
   - Contact Type เลือก Solid to Solid
   - คลิกขวาในช่องของ I Solid เลือก Contact_ Solid เลือก Pick
   - คลิกเลือก Box 1
   - คลิกขวาในช่องของ J Solid เลือก Contact_ Solid เลือก Pick
   - คลิกเลือก Box 2
   - Normal Force เลือก Impact
   - Damping เลือก 1.0E+025
   - กด OK

รูปที่ 9.4 แสดงการกำหนดค่า Contact

8. การกำหนดค่า Measure (Tool 8)
   - คลิกขวาที่ Box 1 เลือก Part: PART_2 เลือก Measure
   - Measure Name เปลี่ยนเป็น Velocity
   - Characteristic เปลี่ยนเป็น CM velocity
   - กด OK จะแสดงกราฟ Velocityออกมา
   - คลิกขวาที่ Box 1 เลือก Part: PART_2 เลือก Measure
   - Measure Name เปลี่ยนเป็น Force
   - Characteristic เปลี่ยนเป็น Kinetic_Energy
   - กด OK จะแสดงกราฟ Force ออกมา

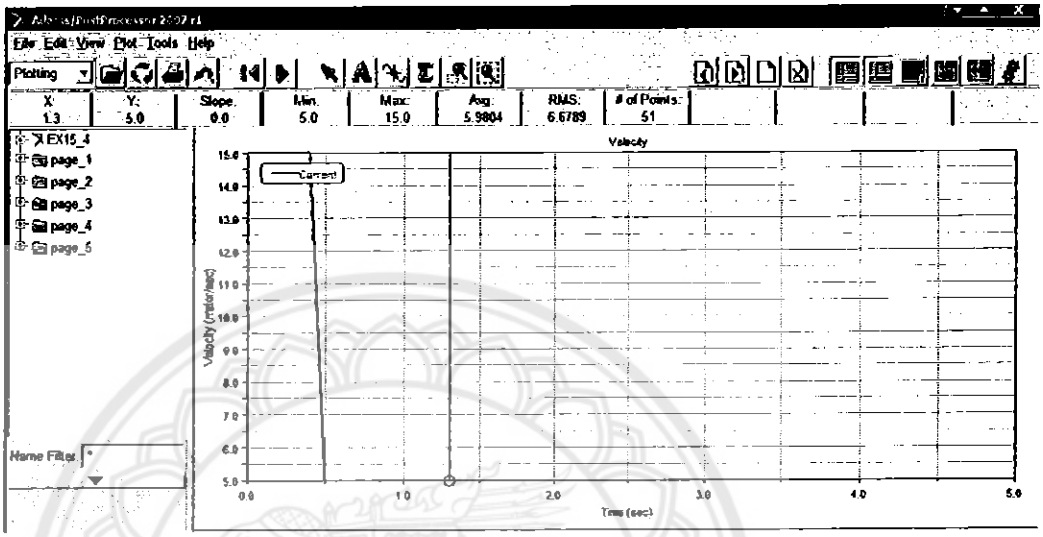


รูปที่ 9.5 แสดงกราฟ Velociy และแสดงกราฟ Force

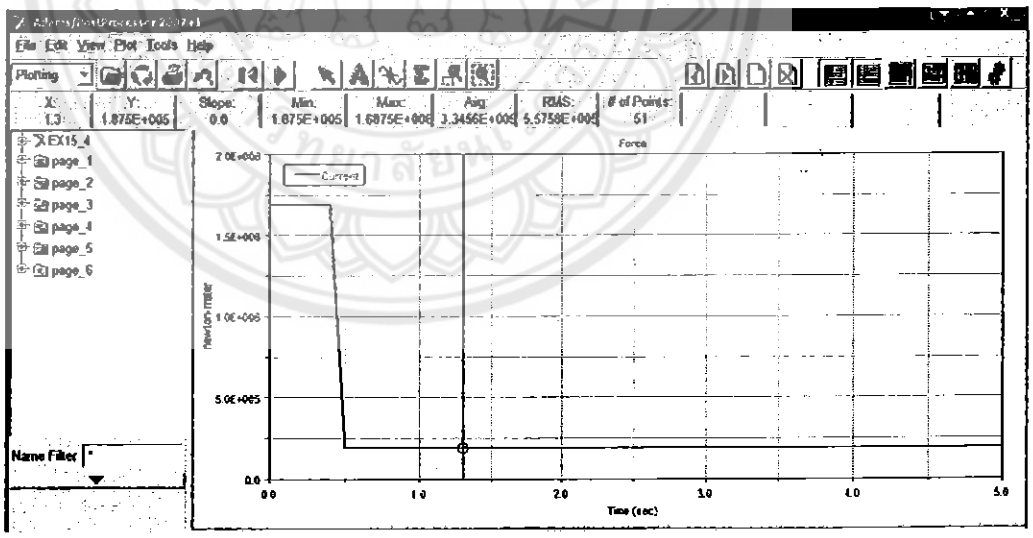
9. การ Run Simulation (Tool 9)
   - คลิกเลือก Interactive Simulation Control
   - กำหนด End Time = 30, Steps = 3000
   - กด Play เพื่อทำการ Run Simulation

10. การหาคำตอบโดยวิเคราะห์จากกราฟ (Tool 10)
   - คลิกขาวที่กราฟ Velociy เลือก Transfer To Full Plot
   - สังเกตค่าหลังเกิดการชนกัน 0.8 s จะได้ค่าความเร็วที่แกน Y = 0.5 m/s

- คลิกขาวที่กราฟ Force เลือก Transfer To Full Plot
- สังเกตค่าหลังเกิดการชนกัน 0.8 s จะได้ Translational Kinetic Energy (F avg) ที่แกน Y = 18.75 kN.m



รูปที่ 9.6 แสดงผลลัพธ์ของความเร็ว



รูปที่ 9.7 แสดงผลลัพธ์ของแรง

ผลการคำนวณโดยใช้สมการ

หาความเร็วของรถเมื่อชนติดกันไปและแรงหลังการชน 8 วินาทีโดย

ความเร็วของรถเมื่อชนติดกันไป $(+\rightarrow)$

$$m_A(v_A)_1 + m_B(v_B)_1 = (m_A + m_B)v_2$$

$$(15000kg)(1.5m/s) - 12000kg(0.75m/s) = (27000kg)v_2$$

$$v_2 = 0.5m/s$$ **ANS.**

แรงหลังการชน 8 วินาที $(+\rightarrow)$

$$m_A(v_A)_1 + \sum \int F\partial t = m_A v_2$$

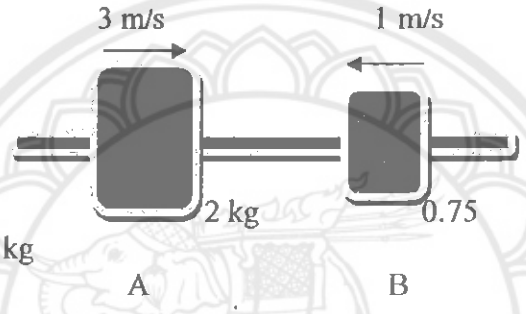
$$(15000kg)(1.5m/s) - F(0.8s) = (15000kg)(0.5m/s)$$

F = 18.75 kN **ANS.**

แบบฝึกหัดที่ 10

Kinetics of a particle: impulse and Momentum

Two mass slide on a horizontal frictionless rod as show in Picture. Slide A has a mass of 2 kg And is sliding to the right at 3 m/s, whereas slider B has a mass off 0.75 kg and is sliding to the left at 1 m/s. If the coefficient of restitution for the sliders is 0.6, Determine the velocity of each mass after they collide (จาก หนังสือเรียน Engineering Mechanics (Dynamics), Second Edition, William F.Riley&Leroy D.Sturges, page 456, Ex 19-6)



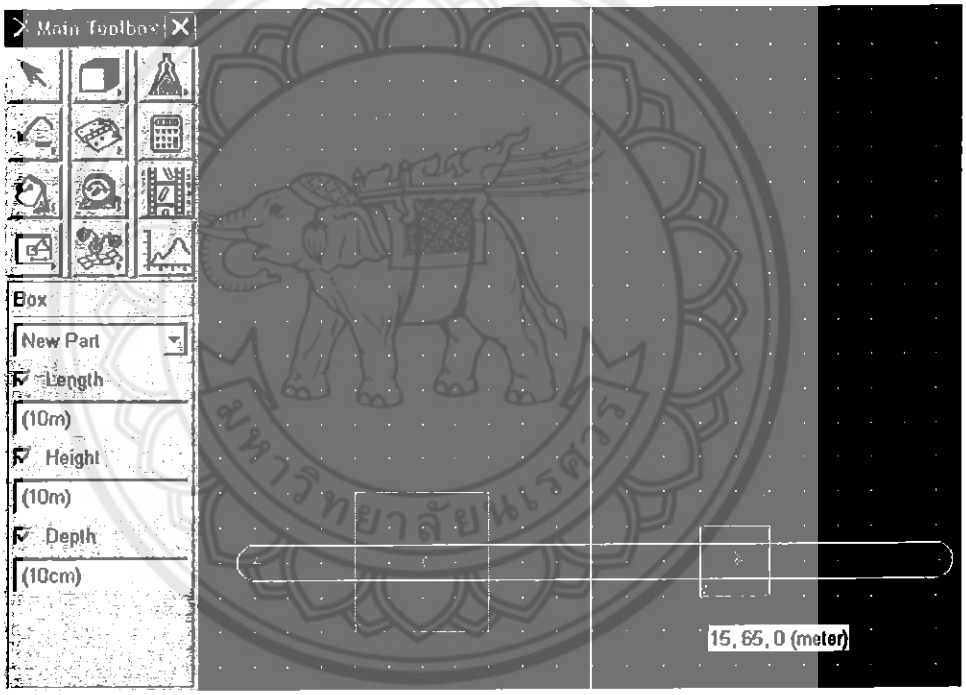
วิธีการสร้างแบบจำลอง

1. การตั้งค่าเริ่มต้น (Tool 1)
   - เปิดโปรแกรม MSC. ADAMS ขึ้นมา
   - Model name เปลี่ยนเป็น Model_10
   - Gravity เปลี่ยนเป็น No Gravity
   - Unit เปลี่ยนเป็น MKS – m,kg,N,s,deg
   - กด OK

2. การตั้งค่า Grid (Tool 1)
   - ไปที่ Settings เลือก Working Grid
   - Size X = 500 m และ Y = 500
   - Spacing X = 5 m และ Y = 5 m
   - กด OK

3. เปิด Coordinate Window โดยเข้าไปที่ View > Coordinate Window

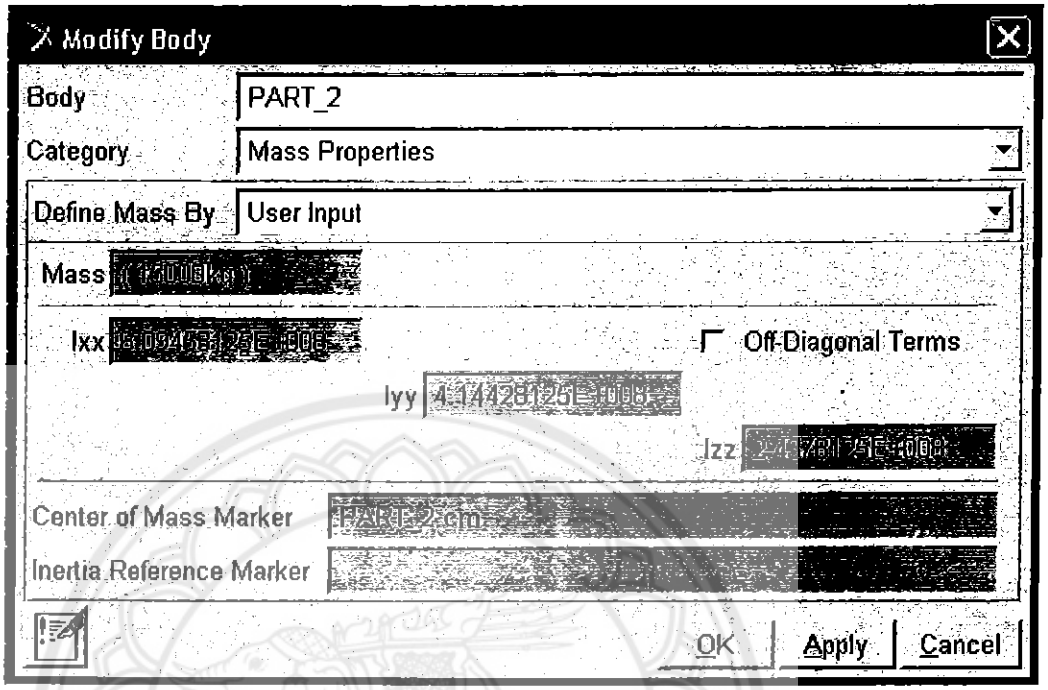
4. การสร้างชิ้นงาน (Tool 3)
   - คลิกขวาที่ Rigid Body เลือก Link
   - ในช่องของ New Part เปลี่ยนเป็น On Ground
   - เปลี่ยน Length = 100 m, Height = 5 m, Depth = 5 m
   - คลิกวางบนพิกัด -50, 70, 0
   - คลิกขวาที่ Rigid Body เลือก Box
   - เปลี่ยน Length = 20 m, Height = 20 m, Depth = 20 m
   - คลิกวางบนพิกัด -35, 60, 0
   - เปลี่ยน Length = 10 m, Height = 10 m, Depth = 10 m
   - คลิกวางบนพิกัด 15, 65, 0



รูปที่ 10.1 แสดงการสร้างชิ้นงาน

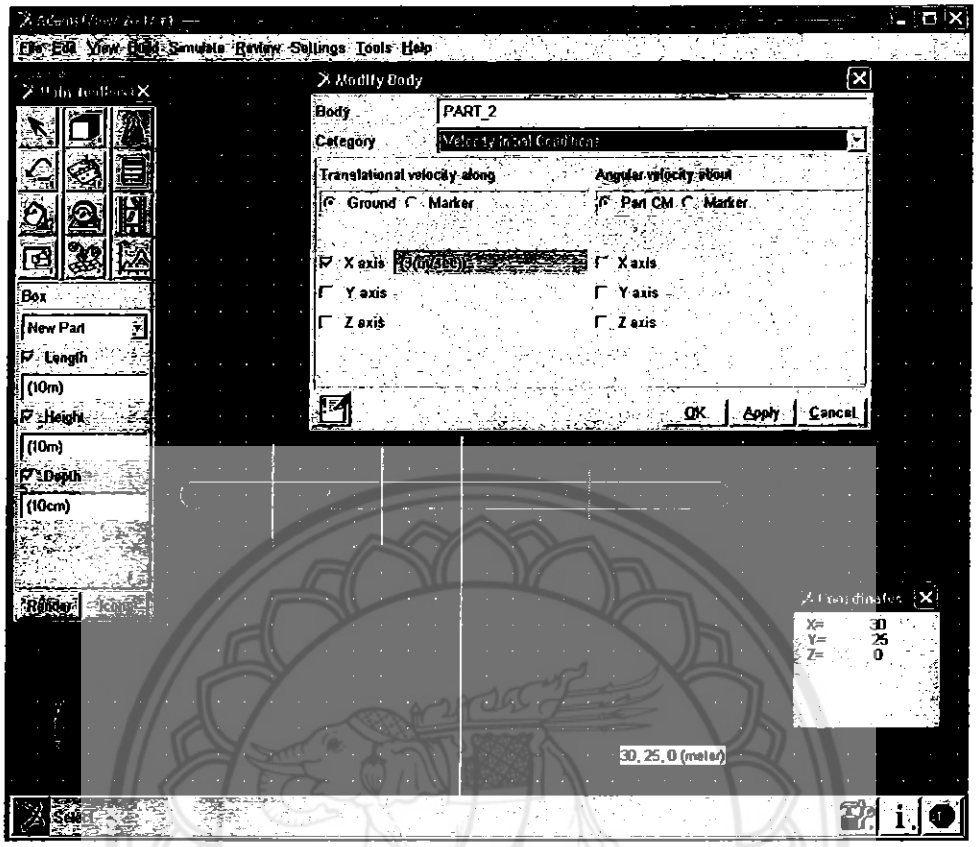
5. การกำหนดค่ามวลของ Box (Tool 3.1.3)
   - คลิกขวาที่ Box 1 เลือก Part: PART_2 เลือก Modify
   - Difine Mass By เปลี่ยนเป็น User Input
   - Mass เปลี่ยนเป็น 2 kg
   - กด OK
   - คลิกขวาที่ Box 2 เลือก Part: PART_3 เลือก Modify
   - Difine Mass By เปลี่ยนเป็น User Input

- Mass เปลี่ยนเป็น 0.75 kg
- กด OK



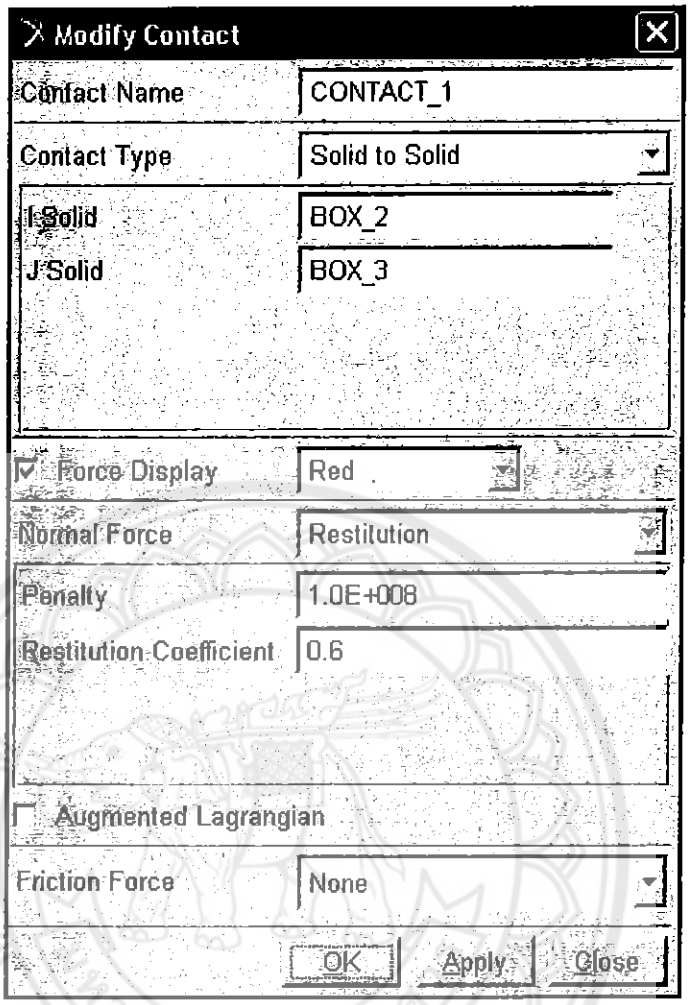
รูปที่ 10.2 แสดงการกำหนดค่ามวลของ Box

6. การกำหนดค่าความเร็ว Box (Tool 3.1.4)
   - คลิกขวาที่ Box 1 เลือก Part: PART_2 เลือก Modify
   - Category เปลี่ยนเป็น Velocity Initial Conditions
   - คลิกเลือก X axis ใส่ค่าความเร็ว = (3.0(m/sec))
   - กด OK
   - คลิกขวาที่ Box 2 เลือก Part: PART_3 เลือก Modify
   - Category เปลี่ยนเป็น Velocity Initial Conditions
   - คลิกเลือก X axis ใส่ค่าความเร็ว = (-0.75(m/sec))
   - กด OK



รูปที่ 10.3 แสดงการกำหนดค่าความเร็ว Box

7. การกำหนดค่า Contact (Tool 7)
   - คลิกขวาที่ Connector เลือก Contact
   - Contact Type เลือก Solid to Solid
   - คลิกขวาในช่องของ I Solid เลือก Contact_ Solid เลือก Pick
   - คลิกเลือก Box 1
   - คลิกขวาในช่องของ J Solid เลือก Contact_ Solid เลือก Pick
   - คลิกเลือก Box 2
   - Normal Force เลือก Retitution
   - Retitution Coefficient ใส่ค่า e = 0.6
   - กด OK

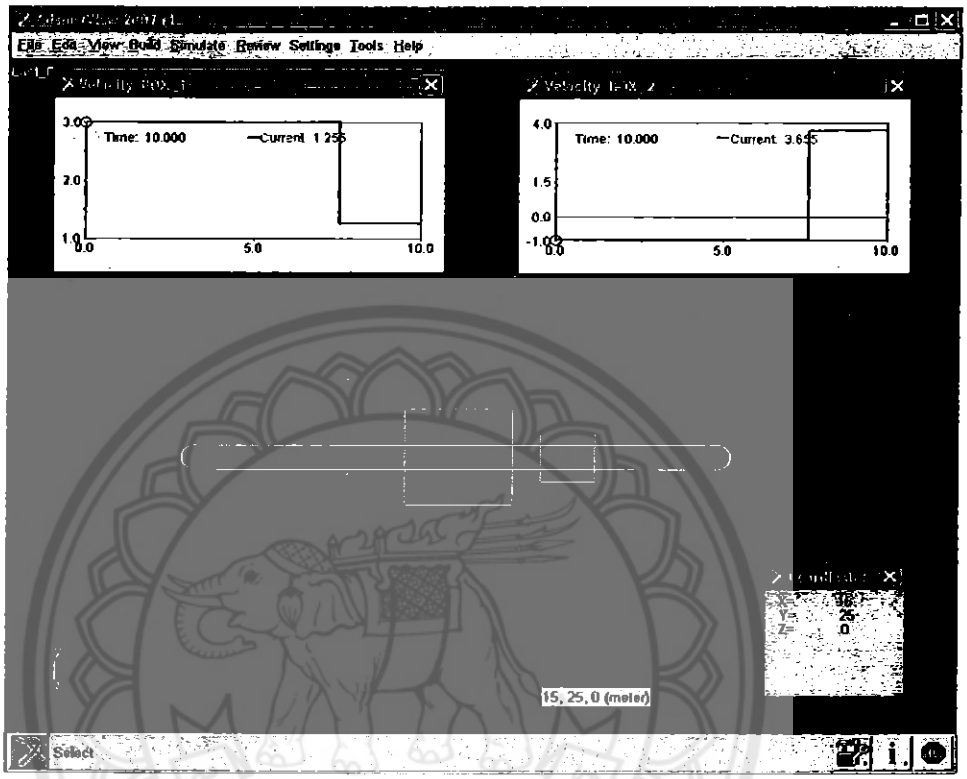


รูปที่ 10.4 แสดงการกำหนดค่า Contact

8. การกำหนดค่า Measure (Tool 8)
   - คลิกขวาที่ Box 1 เลือก Part: PART_2 เลือก Measure
   - Measure Name เปลี่ยนเป็น Velociy_BOX_1
   - Characteristic เปลี่ยนเป็น CM velocity
   - กด OK จะแสดงกราฟ Velociy_BOX_1 ออกมา
   - คลิกขวาที่ Box 2 เลือก Part: PART_3 เลือก Measure
   - Measure Name เปลี่ยนเป็น Velociy_BOX_2
   - Characteristic เปลี่ยนเป็น CM velocity
   - กด OK จะแสดงกราฟ Velociy_BOX_2 ออกมา

9. การ Run Simulation (Tool 9)

- คลิกเลือก Interactive Simulation Control
- กำหนด End Time = 10, Steps = 1000
- กด Play เพื่อทำการ Run Simulation

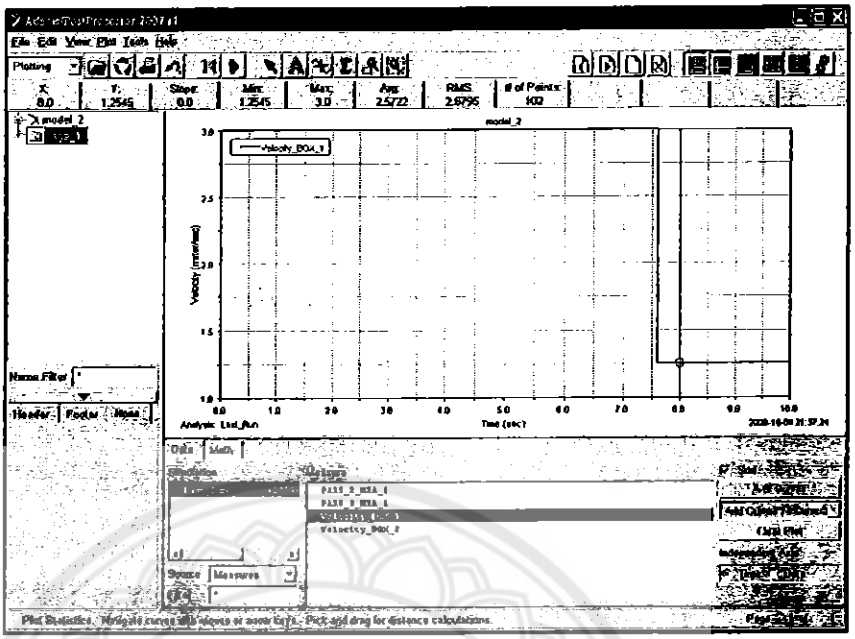


รูปที่ 10.5 แสดงการ Run Simulation

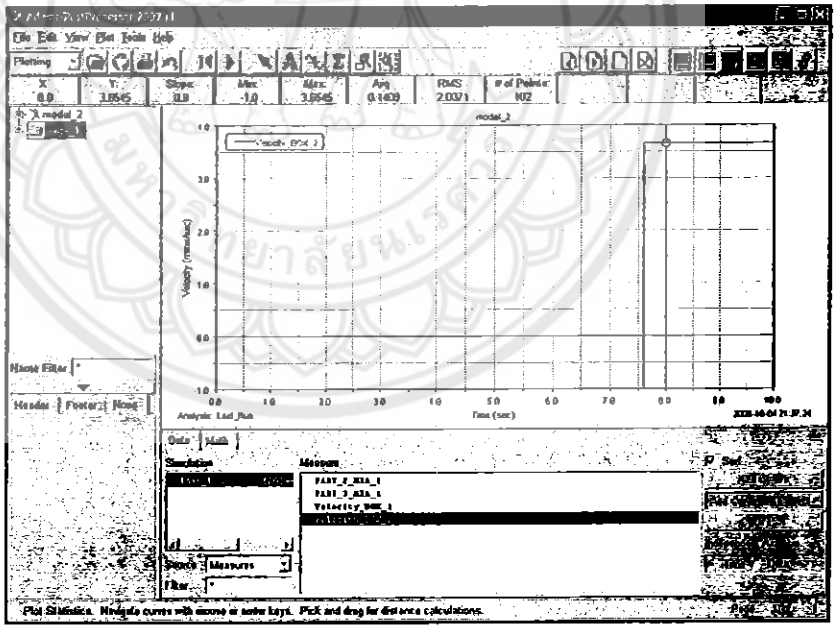
10. การหาคำตอบโดยวิเคราะห์จากกราฟ (Tool 10)

- คลิกขาวที่กราฟ Velociy_BOX_1 เลือก Transfer To Full Plot
- สังเกตค่าหลังเกิดการชนกัน Y จะได้ค่าความเร็วที่แกน Y = 1.2545 m/s
- คลิกขาวที่กราฟ Velociy_BOX_2 เลือก Transfer To Full Plot
- สังเกตค่าหลังเกิดการชนกัน Y จะได้ค่าความเร็วที่แกน Y = 3.6545 m/s

(ในการหาคำตอบบางครั้งอาจจะดูกราฟบนหน้าจอตอนการ Run Simulation เลยก็ได้)



รูปที่ 10.6 แสดงผลลัพธ์ของความเร็ว BOX_1



รูปที่ 10.7 แสดงผลลัพธ์ของความเร็ว BOX_2

ผลการคำนวณโดยใช้สมการ

A.หาความเร็วของมวลแต่ละอันหลังจากชนกัน

$$m_A(v_A)_1 + m_B(v_B)_1 = (m_A + m_B)v_2$$

$$(2kg)(3m/s) - (0.75kg)(-1m/s) = 2v_{Af} + 0.75v_{Bf} \quad \ldots (1)$$

จากค่า สัมประสิทธิ์การคืนสภาพ, $e = 0.6$

$$e = -\frac{v_{Bf} - v_{Af}}{v_{Bi} - v_{Ai}}$$

$$0.6 = -\frac{v_{Bf} - v_{Af}}{(-1) - (3)} \quad \ldots (2)$$

แก้สมการทั้งสอง จะได้ $v_{Af} = 1.255m/s$, $v_{Bf} = 3.65m/s$ **Ans.**

ผลการวิเคราะห์ค่าความถี่ในการจำลองการเคลื่อนที่

ทำการจำลองการเคลื่อนที่หาผลลัพธ์ของแบบจำลองในทุกแบบฝึกหัดโดยใช้ Step 10 เท่าของเวลา, 20 เท่าของเวลา, 50 เท่าของเวลาและ 100 เท่าของเวลาโดยดำนวณโดยเปรียบเทียบที่ทศนิยมสองตำแหน่ง แล้วเปรียบเทียบผลลัพธ์กับผลลัพธ์ทางทฤษฎีโดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

แบบฝึกหัดที่ 1

Kinematics of a particle: Rectilinear Motion

ข้อ	1:10	1:20	1:50	1:100	ทฤษฎี
1.1 ระยะสูงสุด, m $(+\uparrow)$	326.69	326.7	326.7	326.7	326.7
เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	0.003	0	0	0	0
1.2 ความเร็ว, m/s $(+\uparrow)$	80.06	80.06	80.06	80.06	80.06
เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	0	0	0	0	0

แบบฝึกหัดที่ 2

Kinematics of Particle: Rectilinear Motion

ข้อ	1:10	1:20	1:50	1:100	ทฤษฎี
2.1 ระยะทางที่วินาทีที่ 3, m	9	9	9	9	9
เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	0	0	0	0	0
2.2 ความเร่งที่วินาทีที่ 3, m/s^2	2	2	2	2	2
เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	0	0	0	0	0

แบบฝึกหัดที่ 3

Kinematics of Particle: Curvilinear Motion

ข้อ	1:10	1:20	1:50	1:100	ทฤษฎี
3.1 แรงที่เกิดจากความเร่ง, N	14.56	14.56	14.56	14.56	14.56
เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	0	0	0	0	0

แบบฝึกหัดที่ 4

Kinematics of Particle: Curvilinear Motion

ข้อ	1:10	1:20	1:50	1:100	ทฤษฎี
4.1 เวลาที่วัตถุตกถึงพื้น, s	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11
เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	0	0	0	0	0
4.2 Range R, m $(+\rightarrow)$	13.27	13.27	13.27	13.27	13.27
เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	0	0	0	0	0

แบบฝึกหัดที่ 5

Kinetics of a particle: Force and Acceleration

ข้อ	1:10	1:20	1:50	1:100	ทฤษฎี
5.1 ความเร็ว, m/s	15.56	15.56	15.56	15.56	15.56
เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	0	0	0	0	0
5.2 ความเร่งที่วินาทีที่ 3, m/s^2	5.19	5.19	5.19	5.19	5.19
เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	0	0	0	0	0

แบบฝึกหัดที่ 6

Kinetics of a particle: Force and Acceleration

ข้อ	1:10	1:20	1:50	1:100	ทฤษฎี
6.1 แรงดึงของลูกตุ้ม, N	363.27	361.18	361.05	361.05	361.05
เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	0.615	0.036	0	0	0
6.2 ความเร่งของลูกตุ้ม, m/s^2	3.37	3.37	3.37	3.37	3.37
เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	0	0	0	0	0

แบบฝึกหัดที่ 7

Kinetics of a particle: Work and Energy

ข้อ	1:10	1:20	1:50	1:100	ทฤษฎี
7.1 ความเร็วของเครื่องบินจำลอง, *m/s*	13.52	13.51	13.52	13.52	13.5
เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	0.148	0.074	0.148	0.148	0
7.2 แรงดึงของเครื่องบินจำลอง, *kN*	148.95	148.95	148.96	148.96	149
เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	0.034	0.034	0.027	0.027	0

แบบฝึกหัดที่ 8

Kinetics of a particle: Work and Energy

ข้อ	1:10	1:20	1:50	1:100	ทฤษฎี
8.1ความเร็วที่ตำแหน่งเปลี่ยนไป	6.96	6.95	6.97	6.97	6.97
เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	0.001	0.003	0	0	0

แบบฝึกหัด 9

Kinetics of a particle: impulse and Momentum

ข้อ	1:10	1:20	1:50	1:100	ทฤษฎี
9.1 ความเร็วของรถเมื่อชนติดกันไป, *m/s* (+ →)	5	5	5	5	5
เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	0	0	0	0	0
9.2 แรงหลังการชน 8 วินาที, *kN* (+ →)	18.75	18.75	18.75	18.75	18.75
เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	0	0	0	0	0

แบบฝึกหัดที่ 10

Kinetics of a particle: impulse and Momentum

ข้อ	1:10	1:20	1:50	1:100	ทฤษฎี
10.1 ความเร็วของมวลA, *m/s*	1.255	1.255	1.255	1.255	1.255
เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	0	0	0	0	0
10.2 ความเร็วของมวลB, *m/s*	3.65	3.65	3.65	3.65	3.65
เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	0	0	0	0	0