

การออกแบบสไลเดอร์ โดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์

SLIDER DESIGN BY MICROCOMPUTER



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มี

033259



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE BACHELOR DEGREE
OF CONSTRUCTION ENGINEERING
KING MONGKUT' INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1993

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การออกแบบสไลเดอร์ โดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์

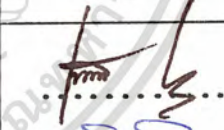

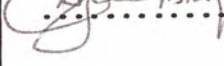
SLIDER DESIGN BY MICROCOMPUTER

นักศึกษา นางสาว ชารินี วิศวกร รหัสประจำตัว 33100142

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขา วิศวกรรมการก่อสร้าง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ สักดิ์ชัย สถาบันพงษ์

คณะกรรมการสอบโครงการ	ลายมือชื่อ
อ. สุวัฒน์ หวังเจริญ	
อ. สักดิ์ชัย สถาบันพงษ์	
อ. สุวัฒน์ กิรเศรษฐ์	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(สุวัฒน์ หวังเจริญ)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบสไลเดอร์โดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์

(SLIDER DESIGN BY MICROCOMPUTER)

โดย นางสาวชาวีณี วิเศษการ

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.ศักดิ์ชัย สถาบันพงษ์

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในการออกแบบสไลเดอร์ 2 มิติ ซึ่งผู้ใช้สามารถนำโปรแกรมนี้ไปใช้ได้สะดวก รวดเร็ว โดยการป้อนข้อมูลที่ใช้ในการแสดงผลเข้าไป และภาษาที่เลือกใช้ คือ ภาษา C อันเนื่องมาจากภาษา C เป็นภาษาขั้นสูงภาษาหนึ่งที่มีความคล่องตัว และเหมาะแก่การใช้งานทั่วไป เป็นภาษาโครงสร้างที่มีฟังก์ชันใช้งานจำนวนมากให้เลือกใช้ แต่อย่างไรก็ตามโปรแกรมนี้ยังต้องได้รับการพัฒนาต่อไปอีก โดยมีการคิดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างสไลเดอร์และตัวผู้เล่นด้วย

ABSTRACT

This special project is about writing program fo design two dimation of slider which can use this program comfortably . By data used in this program which entered to run and this language is Turbo C . Because Turbo C is a high language which have fluent language and can be use in any work . And be constuct language have many functions to improve in the future . By calculation friction happened between slider and user

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ประการใด
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้จะสำเร็จล่วงไปด้วยดี ก็ด้วยการสนับสนุนจากบุคคลหลายฝ่าย ผู้จัดทำ

ขอขอบคุณ

1. อ. ศักดิ์ชัย สदानพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา
2. คุณ นิสิทธิ์ สมิทธิ์สมบูรณ์
3. คุณ วิฑูรย์ กัลยาณรัตน์
4. คุณ จิตติ วิเศษการ
5. คุณ แก่นคุณ วิเศษการ

นอกจากผู้จัดทำขอขอบคุณพาร์ตเนอร์ที่ให้ความช่วยเหลือด้านกำลังใจและกำลังใจทรัพย์
รวมทั้งเพื่อนๆ ทุกคนที่ช่วยให้ความสะดวกและคอยให้ความช่วยเหลือ ทำให้โครงการนี้
สำเร็จล่วงไปด้วยดี

ชารินี วิเศษการ

นักศึกษาผู้ประกาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	I
กิตติกรรมประกาศ	II
สารบัญ	III
สารบัญภาพ	V
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ	1
1.3 ทฤษฎีและแนวคิดที่ใช้ในโครงการพิเศษ	2
1.4 ขอบเขตของโครงการพิเศษ	2
1.5 วิธีที่ใช้ในการดำเนินโครงการพิเศษ	2
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวเส้นตรง	3
2.2 การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวโค้ง	7
2.3 กฎข้อที่สองของนิวตันที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่	14
2.4 งานที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลก	16
2.5 พลังงานจลน์ของวัตถุ และ กฎของงานและพลังงาน	17
2.6 แรงเสียดทาน	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
2.7 วัสดุที่ใช้นำมาทำสไลเดอร์	30
บทที่ 3 การนำโปรแกรมไปใช้งาน	35
3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการแสดงผล	36
บทที่ 4 สรุปและข้อเสนอแนะ	44
บรรณานุกรม	46
ภาคผนวก	47



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงการเคลื่อนที่ของวัตถุไปในทิศทางและลบ	3
รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและเวลาในการเคลื่อนที่ ที่เปลี่ยนแปลงไป	4
รูปที่ 2.3 แสดงทิศทางของความเร็วที่มีค่าบวกและลบ	4
รูปที่ 2.4 แสดงความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป	5
รูปที่ 2.5 แสดงกรณีต่างๆ ที่ทำให้ a มีค่าเป็นบวกและลบ	6
รูปที่ 2.6 แสดงการหาเวกเตอร์ v ที่สัมพันธ์กับส่วนโค้งของการเคลื่อนที่	8
รูปที่ 2.7 แสดงความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไป Δv ในช่วงเวลา Δt ใดๆ	9
รูปที่ 2.8 แสดงการหาเวกเตอร์สัมพันธ์กับวงกลม 1 หน่วย	11
รูปที่ 2.9 แสดงรัศมีของเส้นโค้ง r	12
รูปที่ 2.10 แสดงเวกเตอร์ประกอบของความเร่งในแนวตั้งฉากและ แนวสัมผัสส่วนโค้ง	14
รูปที่ 2.11 แสดงทิศในการเคลื่อนที่ของวัตถุ ว่ามีทิศเดียวกับแรงที่มากกระทำ	14
รูปที่ 2.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง F และ a ตามกฎข้อที่สองของนิวตัน	15
รูปที่ 2.13 แสดงงานที่เกิดจากน้ำหนักของวัตถุ จากจุด A_1 ไป A_2	16
รูปที่ 2.14 แสดงการเคลื่อนที่ของวัตถุไปตามเส้นทางโค้ง ภายใต้แรง กระทำ F	17
รูปที่ 2.15 แสดงการวัดแรงเสียดทาน	20
รูปที่ 2.16 แสดงการคำนวณเกี่ยวกับแรงที่กระทำต่อ sliding friction	20
รูปที่ 2.17 แสดงแรงที่กระทำบนวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสม่ำเสมอ	

บนพื้นผิวที่มีความฝืด

21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.18	แสดงการพิจารณาน้ำหนักของวัตถุออกเป็นแรงประกอบ 2 แรง คือ F ที่ขนานกับระนาบเอียง และ N ที่ตั้งฉากกับระนาบเอียง	22
รูปที่ 2.19	แสดงการวิเคราะห์ที่เกี่ยวกับแรงที่กระทำบนวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ลงไปตามระนาบเอียงที่มีแรงเสียดทาน	22
รูปที่ 2.20	แสดงมุม (α) ระหว่างเส้นสัมผัสส่วนโค้งกับแนวราบ	24
รูปที่ 2.21	แสดงข้อเสื่อนอแนวทางทฤษฎีของ Griffith	33
รูปที่ 2.22	แสดงรูปร่างของ fibre glass ชนิดต่างๆ	34
รูปที่ 3.1	แสดงลักษณะของ slider แบบ 2 มิติ	35
รูปที่ 3.2	แสดงลักษณะของ slider แบบ 3 มิติ	35
รูปที่ 3.3	แสดงภาพของหน้าจอหลังจากที่มีการ run โปรแกรม	40
รูปที่ 3.4	แสดงภาพหน้าจอหลังจากป้อนข้อมูล Loop ที่ 1 ไปแล้ว	41
รูปที่ 3.5	แสดงภาพหน้าจอหลังจากป้อนข้อมูล Loop ที่ 2 ไปแล้ว	42
รูปที่ 3.6	แสดงภาพหน้าจอหลังจากป้อนข้อมูล Loop ที่ 5 ไปแล้ว	43

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 การจัดรูปของเส้นใยใน glass fibre ชนิดต่างๆ	31
ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของรูปแบบใยแก้ว	32



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ถ้าวัดถึงสไลเดอร์ ในอดีตเราจะนึกถึงเครื่องเล่นที่เป็นไม้กระดานลื่นเพียงแผ่นเดียว แต่ในปัจจุบันสไลเดอร์ได้มีการพัฒนาทั้งในด้านวัสดุที่ใช้ทำ และรูปร่างลักษณะที่แปลกออกไป ดังจะเห็นได้จากส่วนส่นขนาดใหญ่ทั้งในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งจะมีสไลเดอร์ทั้งแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ (ดังรูปที่ 3.1 และ 3.2 ในบทที่ 3) ทั้งนี้เพื่อความแปลกใหม่และดึงดูดความสนใจได้เป็นอย่างดี สำหรับวัสดุที่นิยมนำมาทำสไลเดอร์ในปัจจุบัน ได้แก่ไฟเบอร์กลาส เพราะมีคุณสมบัติคล้ายพลาสติก คือสามารถดัดแปลงรูปร่างได้ตามที่ต้องการ แต่จะมีความแข็งแรงและความคงทนมากกว่า

จากการสอบถามไปยังบริษัทในเมืองไทยที่รับทำสไลเดอร์ จากวัสดุไฟเบอร์กลาสนั้น (บริษัท เคพี ไฟเบอร์กลาส เป็นต้น) พบว่าบริษัทเหล่านี้รับสั่งทำ สไลเดอร์จากลูกค้า โดยยึดลักรูปแบบและ specification ทั้งหมดจากต่างประเทศ ซึ่งมีได้มีการดัดแปลงหรือแก้ไขจากที่ได้ออกแบบไว้เลย นั่นหมายถึงตัวบริษัทหรือลูกค้าที่สั่งทำ จะต้องมีการจ่ายค่าลิขสิทธิ์สำหรับแบบที่ดัดลอกมา ประกอบกับการดัดแปลงรูปร่างให้ได้ ตามที่ความต้องการก็สามารถทำได้ลำบาก เพราะต้องคำนึงถึงความเหมาะสม และความปลอดภัยของผู้ผู้เล่นเป็นสำคัญ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

โครงการนี้ทำขึ้นเพื่อใช้ในการออกแบบสไลเดอร์ 2 มิติโดยเฉพาะ เพื่อให้บุคคลที่สนใจหรือต้องการที่จะสร้างสไลเดอร์ สามารถออกแบบได้ด้วยตัวเอง โดยป้อนข้อมูลหรือตัวแปรที่จำเป็นเข้าไปในโปรแกรม ซึ่งตัวแปรเหล่านี้ผู้ออกแบบสามารถกำหนดได้เอง ไม่ว่าจะเป็นความสูงหรือรัศมีโค้งของสไลเดอร์ โดยไม่ต้องศึกษาทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณ

ก็จะสามารถออกแบบ สไลเดอร์ได้อย่างเหมาะสม รวดเร็ว แม่นยำ และปลอดภัยด้วย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ทฤษฎีที่ใช้ในโครงการพิเศษ

จะใช้หลักทาง dynamics ดังนี้

1. การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวเส้นตรง และแนวเส้นโค้ง
2. กฎข้อสองของนิวตัน
3. กฎของงานและพลังงาน

1.4 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

โปรแกรมที่ใช้ในโครงการนี้เขียนขึ้นโดยใช้ภาษา C เพื่อให้ออกแบบเฉพาะสไลเดอร์ 2 มิติ และออกแบบได้เพียง 5 ชั้นเท่านั้น ส่วนค่าแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างสไลเดอร์กับตัวผู้เล่น จะไม่นำมาพิจารณาในการเขียนโปรแกรม

1.5 วัตถุประสงค์ในการดำเนินโครงการพิเศษ

มีการศึกษาและวิเคราะห์ทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณออกแบบสไลเดอร์ จากวิชา dynamics จากนั้นนำสูตรที่ได้สรุปไว้ไปเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษา C ซึ่งผลที่ได้จะแสดงออกมาเป็นรูปภาพของสไลเดอร์ 2 มิติ ตามที่ต้องการ

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษา ค้นคว้า และทดลองเกี่ยวกับสไลเดอร์ต่อไป
2. เพื่ออำนวยความสะดวกและรวดเร็ว แก่ผู้ที่สนใจจะออกแบบสไลเดอร์ด้วยตนเอง
3. เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาโปรแกรมให้ยืดหยุ่นและทันสมัยขึ้น โดยเพิ่มแรงเสียดทานเข้าไปในการคำนวณออกแบบด้วย
4. เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบ slider 3 มิติต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวเส้นตรง (Rectilinear Motion of Particles)

ตำแหน่ง, ความเร็ว และ ความเร่ง

กำหนดให้วัตถุเคลื่อนที่จากจุด O ไปจุด P เป็นระยะทาง x โดยให้การเคลื่อนที่จากซ้ายไปขวามีค่าเป็นบวก ดังรูป 2.1 (a) $x = +5$ m. ขณะที่จุด P' ในรูป 2.1(b) $x' = -2$ m.



รูปที่ 2.1 แสดงการเคลื่อนที่ของวัตถุไปในทิศทางบวกและลบ

เราจะทราบเวลา (t) ที่ตำแหน่งใดๆ ของวัตถุเสมอ พิจารณาจุด P ที่ใช้เวลาในการเคลื่อนที่ t ได้ระยะทางเท่ากับ x (รูป 2.2) ขณะที่จุด P' ใช้เวลาทั้งหมด $t + \Delta t$ ซึ่งจุด P' นี้ อาจระบุว่าวัตถุเคลื่อนที่ไปได้เล็กน้อยให้เท่ากับ Δx ซึ่งค่าที่ออกมาจะเป็นบวกหรือลบ ขึ้นอยู่กับว่าจุด P' อยู่ทางขวาหรือซ้ายของจุด P ความเร็วเฉลี่ยของวัตถุหาได้จาก

$$\text{ความเร็วเฉลี่ย (v)} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

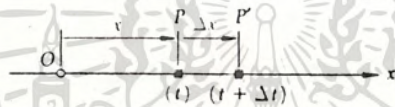
v มีหน่วยเป็น เมตร/วินาที ความเร็วเฉลี่ยที่เกิดขึ้นของวัตถุในช่วงเวลาและระยะทาง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อื่นๆ นี้ หาได้จาก

$$\text{ความเร็วชั่วขณะ} = v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

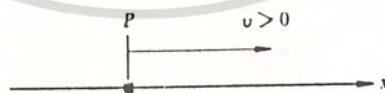
และจากนิยามเมื่อ Δt มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ จะเขียนได้ว่า

$$v = \frac{dx}{dt} \tag{2.1}$$

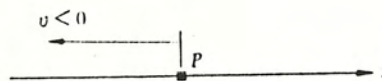


รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางและเวลาในการเคลื่อนที่ที่เปลี่ยนแปลงไป

ความเร็วชั่วขณะ v เป็นตัวเลขทางพีชคณิตซึ่งอาจเป็นได้ทั้งค่าบวกหรือลบ ถ้า v เป็นบวก นั่นคือ x มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งหมายถึง วัตถุมีการเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่เป็นบวก (รูปที่ 2.3 a) แต่ถ้า v เป็นลบ นั่นคือ x มีค่าลดลง ซึ่งหมายถึงวัตถุเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงกันข้าม (รูปที่ 2.3 b) ค่า v นั้นเหมือนกับความเร็ว (speed) ของวัตถุ



(a)



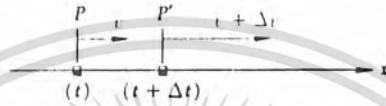
(b)

รูปที่ 2.3 แสดงทิศทางของความเร็วที่มีค่าบวกและลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาความเร็ว v ที่เวลา t และความเร็ว $v+\Delta v$ ที่เวลา $t+\Delta t$ (รูป 2.4)
 ความเร่งของวัตถุในช่วงเวลา Δt คือ

$$\text{ความเร่ง} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad \text{มีหน่วยเป็น เมตร/(วินาที)}^2$$



รูปที่ 2.4 แสดงความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเวลาเปลี่ยนไป

ความเร่งชั่วขณะ (a) ของวัตถุนั้น เมื่อ Δt มีค่าน้อยมากๆ หาได้จาก

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

ในทำนองเดียวกับกรณีข้างต้น จะได้ว่า

$$a = \frac{dv}{dt} \quad (2.2)$$

หรือแทนค่าจากสมการ 2.1

$$a = \frac{d^2 x}{dt^2} \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการพิจารณาว่า a มีค่าเป็นบวกหรือลบนั้น ก็พิจารณาท่านองเดียวกันกับความเร็ว ดังแสดงในรูป 2.5 a และ 2.5 b ส่วนในรูป 2.5 c นั้น แม้วัตถุจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่เป็นบวก แต่ความเร็วลดลง ก็จะทำให้ความเร่งมีค่าเป็นลบได้ หรือในรูป 2.5 d วัตถุเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่เป็นลบ แต่ความเร็วเพิ่มขึ้น

สมการที่ 2.2 สามารถเขียนใหม่ได้

$$a = v \frac{dv}{dx} \quad (2.4)$$



รูปที่ 2.5 แสดงกรณีต่างๆ ที่ทำให้ a มีค่าเป็นบวกและลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวโค้ง (Curvilinear Motion of Particles)

2.2.1 เวกเตอร์ตำแหน่ง, ความเร็ว และความเร่ง

ให้วัตถุอยู่ที่จุด P ณ เวลา t โดยเลือกให้การเคลื่อนที่อยู่ในรูป 3 มิติ คือ มีแกน x , y และ z ดังรูป 2.6 a และลากเวกเตอร์ r เชื่อมจุดเริ่มต้น O กับจุด P ซึ่งเวกเตอร์ r ก็คือเวกเตอร์ตำแหน่ง (position vector) ของวัตถุที่เวลา t

พิจารณาวัตถุอันเดิมเคลื่อนที่ไปที่จุด P' ใช้เวลาทั้งหมด $t+\Delta t$ พร้อมกับเกิดเวกเตอร์ r' ขึ้น เวกเตอร์ Δr จะลากจากจุด P ไป P' แสดงถึงการเปลี่ยนเวกเตอร์ตำแหน่งระหว่างช่วงเวลา Δt ใดๆ ซึ่งเวกเตอร์ r' เกิดจากการรวมกันของเวกเตอร์ r และ Δr ความเร็วเฉลี่ยของวัตถุที่ใช้ในช่วงเวลา Δt หาได้จากผลหารของ Δr และ Δt แต่เนื่องจาก Δr เป็นปริมาณเวกเตอร์ ส่วน Δt เป็นปริมาณสเกลาร์ทำให้ผลหารที่ออกมายังเป็นเวกเตอร์อยู่ซึ่งมีทิศเดียวกับเวกเตอร์ Δr และมีขนาดเท่ากับ Δr หารด้วย Δt ดังรูป 2.6 b

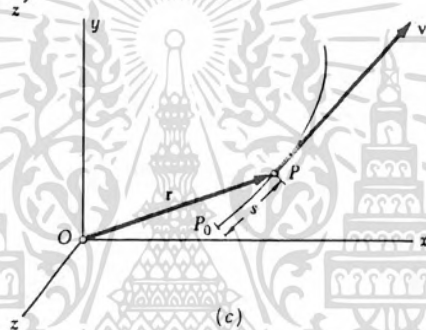
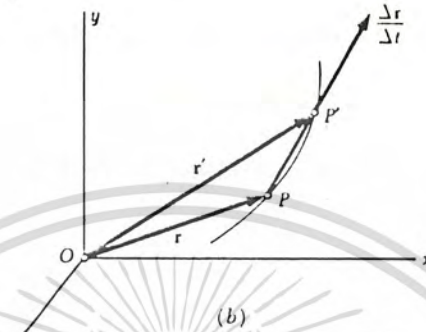
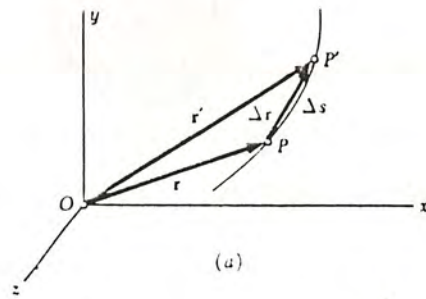
ความเร็วชั่วขณะของวัตถุในช่วงเวลา Δt สั้นๆ หาได้จาก

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta r}{\Delta t} \quad (2.5)$$

นั่นคือ Δr ก็จะมีสั้นเข้าด้วย ทำให้จุด P และ P' อยู่ใกล้กันยิ่งขึ้น ทำให้เวกเตอร์ v ที่หาได้ กลายเป็นเส้นสัมผัสกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ (รูปที่ 2.6 c) แต่เวกเตอร์ r เกิดขึ้นภายใต้เวลา t เราอาจจะบุให้เป็น vector function ของตัวแปรสเกลาร์ t และนิยามโดย $r(t)$ จากหลักการของแคลคูลัส เราจะหา limit ของผลหาร $\Delta r/\Delta t$ โดยเกี่ยวข้องกับฟังก์ชันเวกเตอร์ $r(t)$ จะได้ว่า

$$v = \frac{dr}{dt} \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงการหาเวกเตอร์ v ที่สัมพันธ์กับส่วนโค้งของการเคลื่อนที่

ขนาด v ของเวกเตอร์ v เรียกว่า ความเร็วของวัตถุ ซึ่งค่านี้อาจหาได้จากการแทนค่าเวกเตอร์ Δr ในสูตร (2.5) ด้วยขนาดของเส้น PP'

แต่เส้น PP' นี้ หมายถึงความยาว Δs ของโค้ง PP' ของช่วง Δt (รูป 2.6 a) เราอาจเขียนได้ว่า

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{PP}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

$$v = \frac{ds}{dt} \tag{2.7}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



พิจารณาความเร็ว v ของวัตถุที่เวลา t และความเร็ว v' ที่เวลา $t+\Delta t$ (รูป 2.7 a) แล้วลากเวกเตอร์ทั้ง v และ v' จากจุดเริ่มต้นเดียวกัน O (รูป 2.7 b) เวกเตอร์ Δv จะเชื่อมระหว่าง Q และ Q' ซึ่งใช้แทนการเปลี่ยนแปลงความเร็วของวัตถุในช่วง Δt ใดๆ แต่เวกเตอร์ v' อาจหาได้จากการบวกเวกเตอร์ v ด้วย Δv เราควรระบุว่า Δv เป็นการเปลี่ยนทิศทางของความเร็ว เหมือนการเปลี่ยนความเร็วนั่นเอง ความเร็วเฉลี่ยของวัตถุในช่วง Δt อาจหาได้จากผลหารของ Δv และ Δt แต่เนื่องจาก Δv เป็นเวกเตอร์ และ Δt เป็นสเกลาร์ ให้ผลหารออกมาเป็นเวกเตอร์ มีทิศเดียวกับ Δv

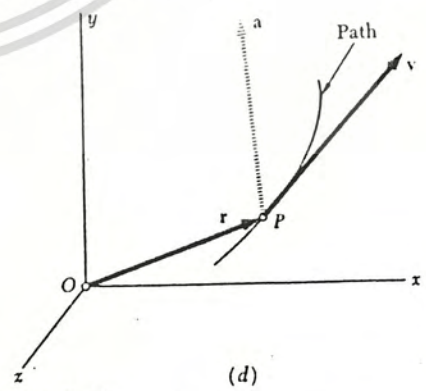
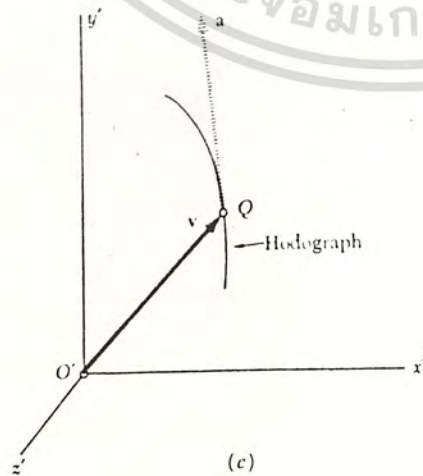
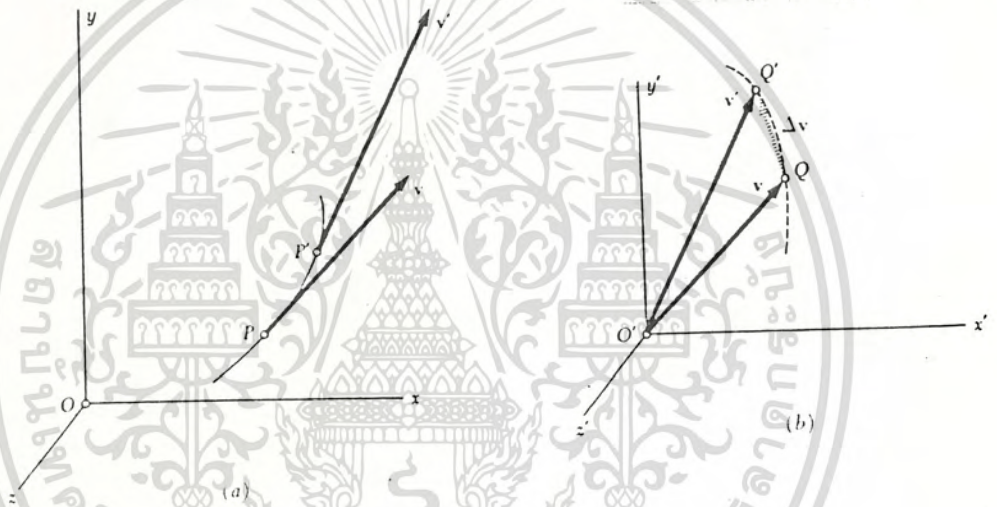


Fig. 11.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.7 แสดงความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไป ในช่วงเวลาใดๆ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร่งชั่วขณะของวัตถุที่เวลา t อาจหาได้จากการเลือกค่าที่น้อยมากๆ ให้กับ Δt และ Δv ดังนี้

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (2.8)$$

กำหนดความเร็ว v เป็นฟังก์ชันเวกเตอร์ $v(t)$ ของเวลา t เราอาจทำให้ limit ของผลหาร $\Delta v/\Delta t$ อยู่ในรูปของ v และ t ได้ดังนี้

$$a = \frac{dv}{dt} \quad (2.9)$$

เราจะสังเกตเห็นได้ว่า ความเร่ง a คือเส้นสัมผัสส่วนโค้งที่จุด Q ของเวกเตอร์ v โดยลากจากจุด O (รูป 2.7 c) โดยทั่วไปความเร่งจะไม่ใช้เส้นสัมผัสกับเส้นทางเดินของวัตถุ (รูป 2.7 d) โค้งที่ลากเส้นโดยปลาย v และแสดงในรูป 2.7 c เรียกว่า Hydrograph ของการเคลื่อนที่

2.2.2 องค์ประกอบในแนวสัมผัสและตั้งฉาก (Tangential and Normal Components)

เราเห็นใน 2.2.1 ว่า ความเร็วของวัตถุเป็นเวกเตอร์สัมผัสกับเส้นทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ แต่ความเร่งไม่สัมผัสกับเส้นทางนี้ เพื่อความสะดวกในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับความเร่ง จึงต้องใช้เส้นสัมผัส และเส้นตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของวัตถุมาประกอบกัน

ระนาบการเคลื่อนที่ของวัตถุ

ให้ P เป็นตำแหน่งของวัตถุ และให้หน่วยเวกเตอร์ e_t สัมผัสกับเส้นทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ และมีทิศทางไปตามทิศทางเคลื่อนที่ (รูป 2.8 a) ให้ e_n เป็นหน่วยเวกเตอร์ตั้งฉากกับ e_t โดยที่ e_n เป็นหน่วยเวกเตอร์ชี้เข้าหาศูนย์กลางของวิถีโค้ง (รูป 2.8 b) ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวกเตอร์ที่จุด P' ในตำแหน่งถัดมา ลากเวกเตอร์ทั้งสองจากจุด O เดียวกัน จะได้ว่า $\Delta e_c = e'_c - e_c$ (รูป 2.8 b) แต่ e_c และ e'_c เป็นหน่วยความยาวมีค่าเท่ากับรัศมีวงกลม (รัศมี = 1) มีมุม $\Delta\theta$ เกิดขึ้น เราจะพบว่าขนาดของ Δe_c เท่ากับ $2\sin(\Delta\theta/2)$ และจากเวกเตอร์ $\Delta e_c/\Delta\theta$ เราให้ $\Delta\theta$ มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ทำให้เวกเตอร์นี้กลายเป็นเวกเตอร์สัมผัสกับวงกลม 1 หน่วย ดังรูป 2.8 b



รูปที่ 2.8 แสดงการหาเวกเตอร์สัมผัสกับวงกลม 1 หน่วย

$$\lim_{\Delta\theta \rightarrow 0} \frac{2\sin(\Delta\theta/2)}{\Delta\theta} = \lim_{\Delta\theta \rightarrow 0} \frac{\sin(\Delta\theta/2)}{\Delta\theta/2} = 1$$

แสดงว่าเวกเตอร์ของ limit เป็นเวกเตอร์ตั้งฉากกับเส้นทางการเคลื่อนที่
เขียนได้ว่า

$$e_n = \lim_{\Delta\theta \rightarrow 0} \frac{\Delta e_c}{\Delta\theta}$$

$$e_n = \frac{de_c}{ds} \tag{2.10}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่เวกเตอร์ความเร็ว v ของวัตถุสัมพันธ์กับเส้นทางการเคลื่อนที่ เราอาจแสดง
ในรูปผลคูณของสเกลาร์ v และหน่วยเวกเตอร์ e_t

$$v = v e_t \quad (2.11)$$

เราอาจ differential สมการข้างบน (2.11) เทียบกับ t ได้ว่า

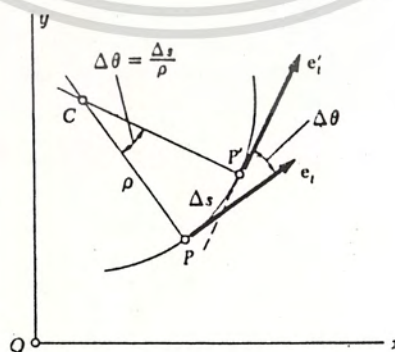
$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dt} e_t + v \frac{de_t}{dt} \quad (2.12)$$

แต่

$$\frac{de_t}{dt} = \frac{de_t}{ds} \frac{ds}{dt}$$

แต่จากสมการ (2.7) ที่ว่า $ds/dt = v$ และ จาก (2.10) $de_t/ds = e_n$
และจาก ds/ds เท่ากับ $1/d\rho$ โดยที่ ρ เป็นรัศมีของเส้นโค้ง (รูป 2.9)

$$\frac{de_t}{dt} = \frac{v}{\rho} e_n \quad (2.13)$$



รูปที่ 2.9 แสดงรัศมีของเส้นโค้ง ρ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภายในเท่านั้น ผู้อ่านควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าใน (2.12) ได้ว่า

$$\mathbf{a} = \frac{dv}{dt} \mathbf{e}_t + \frac{v^2}{\rho} \mathbf{e}_n \quad (2.14)$$

ส่วนตัวประกอบสเกลาร์ของความเร็ว คือ

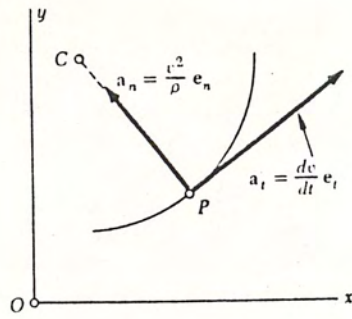
$$a_t = \frac{dv}{dt} \quad a_n = \frac{v^2}{\rho} \quad (2.15)$$

จากความสัมพันธ์นี้ แสดงว่า ตัวประกอบในแนวเส้นสัมผัสของความเร่ง เท่ากับ อัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วของวัตถุ ขณะที่ตัวประกอบในแนวตั้งฉากเท่ากับ ความเร็ว กำลังสองหารด้วยรัศมีโค้งของเส้นทางที่จุด P ไม่ว่าความเร็วของวัตถุจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง a_t จะมีค่าบวกหรือลบ และเวกเตอร์ประกอบ a_t จะมีทิศเดียวกันหรือตรงกันข้ามกับทิศ การเคลื่อนที่ เวกเตอร์ a_n ก็จะมีทิศตรงไปยังศูนย์กลางของโค้ง c ของเส้นทางการ เคลื่อนที่ (รูป 2.10)

ความเร่งในแนวสัมผัสจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วของวัตถุ ขณะที่ ความเร่งในแนวตั้งฉากจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ ความ เร่งของวัตถุจะเท่ากับศูนย์ก็ต่อเมื่อความเร่งประกอบทั้ง 2 แนวต้องเป็นศูนย์เท่านั้น ดังนั้น ความเร่งในการเคลื่อนที่ของวัตถุกับความเร็วที่คงที่ตลอดทางโค้งจะไม่เป็นศูนย์ เว้นเสีย แต่วัตถุจะมีการเบี่ยงออกจากโค้ง (ซึ่งรัศมีของโค้งมีค่าไม่จำกัด) หรือเว้นเสียแต่โค้งจะ กลายเป็นเส้นตรง

ในความเป็นจริงแล้ว องค์ประกอบในแนวตั้งฉากของความเร่งที่มีค่ารัศมีของ ความโค้งที่แน่นอนของทางเดินของวัตถุถูกใช้ในการออกแบบเกี่ยวกับโครงสร้างหรือเครื่อง จักรกลในด้านผลต่างของความกว้าง เช่น ปีกของเครื่องบิน, ทางรถไฟ และ cam

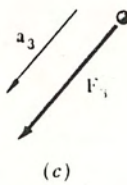
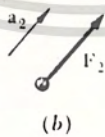
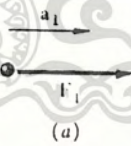
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 แสดงเวกเตอร์ประกอบของความเร่งในแนวตั้งฉากและสัมผัสกับส่วนโค้ง

2.3 กฎข้อที่สองของนิวตันที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ (Newton's Second Law of Motion)

มีใจความดังนี้ " ถ้าแรงลัพธ์ที่กระทำกับวัตถุไม่เท่ากับศูนย์ วัตถุจะมีความเร่งเกิดขึ้นตามขนาดของแรงลัพธ์ และมีทิศเดียวกับแรงลัพธ์ " เราอาจเข้าใจได้ดียิ่งขึ้น ถ้าตามตัวอย่าง ดังต่อไปนี้ :



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สรุปที่ 2.11 แสดงทิศในการเคลื่อนที่ของวัตถุว่ามีทิศเดียวกับแรงที่มวลกระทำหรือไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

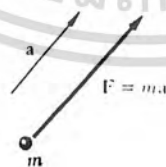
วัตถุ A ถูกกระทำโดยแรง F_1 ด้วยทิศทางคงที่ และมีขนาด F_1 คงที่ ภายใต้การกระทำของแรง วัตถุจะถูกทำให้เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง และในทิศเดียวกันกับแรงนั้น (รูป 2.11 a) เราจะพบว่า ความเร่งมีค่าคงที่เท่ากับ a_1 ถ้าเปลี่ยนให้แรง F_2, F_3, \dots ฯลฯ ที่มีขนาดและทิศทางต่างๆ กัน (รูปที่ 2.11 b และ c) เราจะพบว่าในแต่ละครั้ง วัตถุจะเคลื่อนที่ในทิศของแรงที่มากกระทำ และมีขนาดความเร่ง a_1, a_2, a_3, \dots ตามขนาดของ F_1, F_2, F_3, \dots ตามลำดับ

$$\frac{F_1}{a_1} = \frac{F_2}{a_2} = \frac{F_3}{a_3} = \dots = \text{ค่าคงที่}$$

ค่าคงที่ของอัตราส่วนของขนาดของแรงและความเร่งเป็นตัวเลขที่เรียกว่า มวล (mass) ของวัตถุ แทนด้วยตัว m เมื่อวัตถุมวล m ถูกกระทำโดยแรง F ทำให้เกิดความเร่ง a เขียนความสัมพันธ์ได้ว่า

$$F = ma \tag{2.16}$$

ความสัมพันธ์นี้เป็นสูตรสมบูรณ์ ของกฎข้อที่สองของนิวตัน ซึ่งไม่เพียงแต่บอกถึงขนาดของ F และ a เท่านั้น แต่บอกถึงเวกเตอร์ F และ a ว่ามีทิศทางเดียวกัน (รูป 2.12) (m เป็นปริมาณสเกลาร์ที่มีค่าเป็นบวก)



รูปที่ 2.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง F และ a ตามกฎข้อที่สองของนิวตัน

เมื่อวัตถุถูกกระทำด้วยแรงหลายๆ แรงพร้อมกัน สมการ (2.16) จะเปลี่ยนเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
 $\Sigma F = ma$ (2.17)
 ไม่ว่าจะผิดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ ΣF แทนผลรวมหรือผลลัพธ์ของแรงทั้งหมดที่กระทำบนวัตถุ ในกรณีวัตถุเคลื่อนที่เป็นแนวโค้ง เราอาจแทนสมการ (2.17) ได้ว่า

$$\Sigma F_t = ma_t, \quad \Sigma F_n = ma_n \tag{2.18}$$

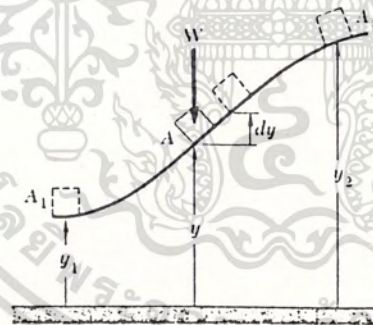
หรือ

$$\Sigma F_t = m \frac{dv}{dt}, \quad \Sigma F_n = m \frac{v^2}{r} \tag{2.19}$$

2.4 งานที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลก (Work of the force of Gravity)

งานจากน้ำหนัก w ของวัตถุหรือที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลก แทนด้วย w โดยให้แกน y มีทิศทาง (รูป 2.13) เรามิ $F_x = 0, F_y = w, F_z = 0$ จึงเขียนได้ว่า

$$du = -w dy$$



รูปที่ 2.13 แสดงงานที่เกิดจากน้ำหนักของวัตถุ จากจุด A_1 ไปยัง A_2

ให้งานจากจุด A_2 ไปยัง A_1 คือ $U_{1..2}$ ซึ่งได้จากการอินทิเกรตสมการข้างบน

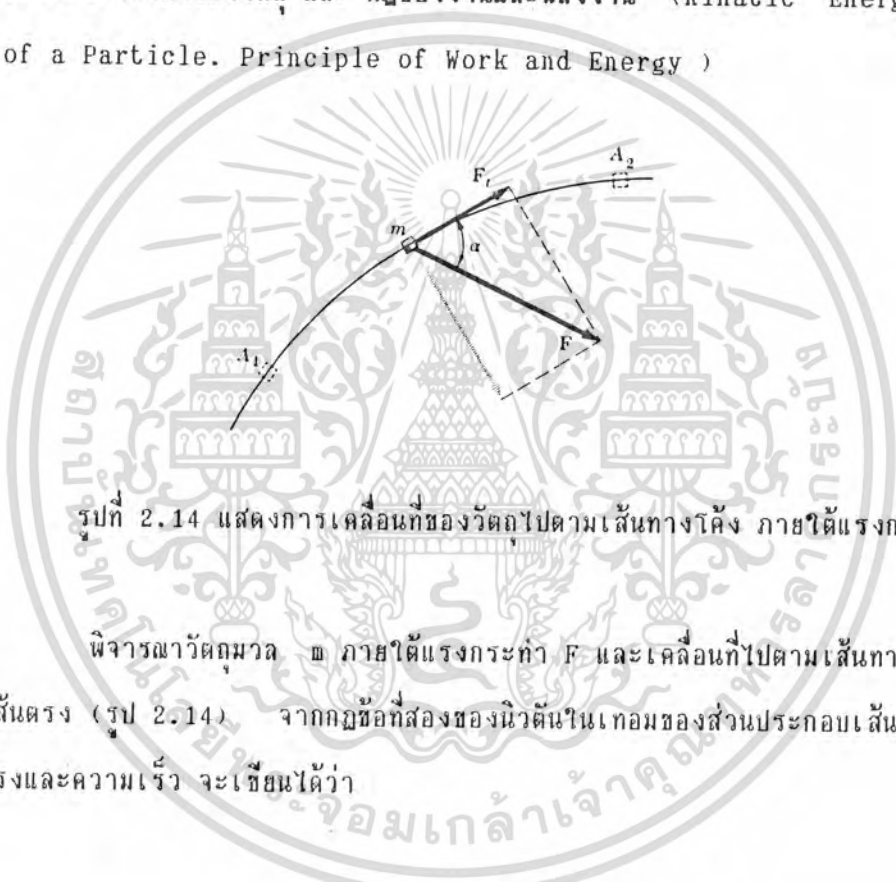
$$U_{1..2} = -\int_{y_2}^{y_1} w dy = wy_1 - wy_2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$U_{1,2} = -W(y_1 - y_2) = -W\Delta y$$

เมื่อ Δy คือระยะในแนวตั้งจาก A_1 ไป A_2 งานที่เกิดจากน้ำหนัก W จะเท่ากับ ผลคูณของ W กับระยะทางในแนวตั้งของจุดศูนย์กลางถ่วงของรูปร่างวัตถุ งานที่ได้จะมีค่าเป็น บวก เมื่อ $\Delta y < 0$ และวัตถุเคลื่อนที่ลง

2.5 พลังงานจลน์ของวัตถุ และ กฎของงานและพลังงาน (Kinetic Energy of a Particle. Principle of Work and Energy)



รูปที่ 2.14 แสดงการเคลื่อนที่ของวัตถุไปตามเส้นทางโค้ง ภายใต้แรงกระทำ F

พิจารณาวัตถุมวล m ภายใต้แรงกระทำ F และเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางโค้งหรือเส้นตรง (รูป 2.14) จากกฎข้อที่สองของนิวตันในเทอมของส่วนประกอบเส้นสัมผัสของแรงและความเร็ว จะเขียนได้ว่า

$$F_t = ma_t \quad \text{หรือ} \quad F_t = m \frac{dv}{dt}$$

เมื่อ v เป็นความเร็วของวัตถุ และจาก $v = ds/dt$ (2.1)

$$F_t = m \frac{dv}{ds} \frac{ds}{dt} = mv \frac{dv}{ds}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินทิเกรตจาก A_1 เมื่อ $s = s_1$ และ $v = v_1$ ไปที่ A_2 เมื่อ $s = s_2$ และ $v = v_2$

$$\int_{s_1}^{s_2} F_c ds = m \int_{v_1}^{v_2} v dv = \frac{1}{2} m(v_2)^2 - \frac{1}{2} m(v_1)^2 \quad (2.20)$$

สมการทางด้านซ้ายแสดงถึงงาน $U_{1,2}$ ของแรง F ที่กระทำบนวัตถุขณะเคลื่อนที่จาก A_1 ไป A_2 งาน $U_{1,2}$ เป็นปริมาณสเกลาร์ ดังนั้น $\frac{1}{2} m(v_2)^2$ ก็เป็นปริมาณสเกลาร์

ด้วย ซึ่งใช้อธิบายพลังงานจลน์ของวัตถุได้ แทนด้วย T

$$T = \frac{1}{2} m v^2 \quad (2.21)$$

แทนใน (2.20) ได้ว่า

$$U_{1,2} = T_2 - T_1 \quad (2.22)$$

ซึ่งบอกได้ว่า เมื่อวัตถุเคลื่อนที่จาก A_1 ไป A_2 ภายใต้การกระทำของแรง F งานจากแรง F จะเท่ากับพลังงานจลน์ที่เปลี่ยนแปลงไปในวัตถุ เรียกหลักการของการทำงานและพลังงาน เขียนใหม่ได้เป็น

$$T_1 + U_{1,2} = T_2 \quad (2.23)$$

ดังนั้นพลังงานจลน์ของวัตถุที่ A_2 อาจมีค่าเพิ่มขึ้นจากพลังงานจลน์ที่ A_1 ซึ่งงานได้ถูกทำไประหว่างระยะทางจาก A_1 ไป A_2 โดยแรง F ความเร็ว v ที่ใช้ในการคำนวณหา พลังงานจลน์ (T) ควรทำการวัดโดยละเอียดตาม newtanian frame of

เอกสารนี้เป็น **reference** ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 แรงเสียดทาน (Friction Forces)

แรงเสียดทาน หมายถึง แรงที่ต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุหนึ่งกับวัตถุอื่นๆ โดยวัตถุทั้งสองมีพื้นผิวสัมผัสกัน การเสียดทานระหว่างของแข็งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ Sliding Friction และ Rolling Friction ซึ่งในโค์รงงานจะศึกษาเกี่ยวกับ Sliding Friction เท่านั้น

2.6.1 Coefficient of Sliding Friction

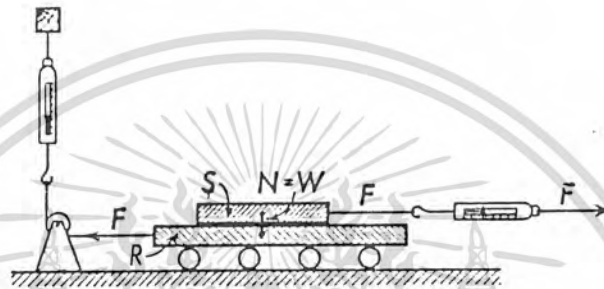
ในการคำนวณหาขนาดของแรงเสียดทานระหว่างวัตถุสองอันที่มีพื้นผิวสัมผัสกันอาจอธิบายได้จากการทดลองพื้นฐาน ดังนี้

การที่ต้องการหาแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นของเหล็ก S ที่มีรูปร่างเป็นแท่งสี่เหลี่ยมพื้นผิวเล็กๆ ที่มีการเลื่อนไปบนแผ่นเหล็กที่วางในแนวราบ R ดังรูป 2.15 จะเริ่มต้นโดยการดึงเหล็ก S ไปในแนวราบ โดยมีสปริงติดอยู่ตรงปลายของด้านที่ออกแรงดึง แรง F ที่ทำให้วัตถุ S เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสม่ำเสมอเพื่อต้านแรงเสียดทาน F_f ระหว่างผิวสัมผัสทั้งสอง สามารถอ่านค่าได้โดยตรงจากสปริง และมักจะพบว่า ค่าที่อ่านได้จากสปริงในตอนเริ่มต้นของการเคลื่อนที่จะมีค่ามากกว่าหลังจากที่วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสม่ำเสมอ แรงเสียดทานในตอนเริ่มต้นนี้ เรียกว่า Starting Friction ส่วนแรงเสียดทานที่ต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุ เรียกว่า Sliding Friction หรือ Kinetic Friction โดยทั่วไปแล้ว Starting Friction จะมีค่ามากกว่า Kinetic friction

แรง F นั้นจะมีค่าเท่ากับแรง F_f ซึ่งเป็นแรงที่ต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุ S บนแผ่น R สามารถพิสูจน์ให้เห็นได้จากการวาง R บนล้อเลื่อนและผูกปลายอีกด้านหนึ่งของ R ติดกับสปริงอีกอันหนึ่งไว้ ดังรูป 2.16 เมื่อการเคลื่อนที่เกิดขึ้น ค่า F และ F_f ที่อ่านได้จากสปริงจะมีค่าเท่ากัน



รูปที่ 2.15 แสดงการวัดแรงเสียดทาน



รูปที่ 2.16 แสดงการคำนวณเกี่ยวกับแรงที่กระทำต่อ sliding friction

ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองหลายๆ ครั้ง คือ ขนาดของแรงเสียดทาน F_r จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรง N ที่กดลงบนผิวสัมผัสทั้งสอง

$$F_r \propto N$$

หรือ

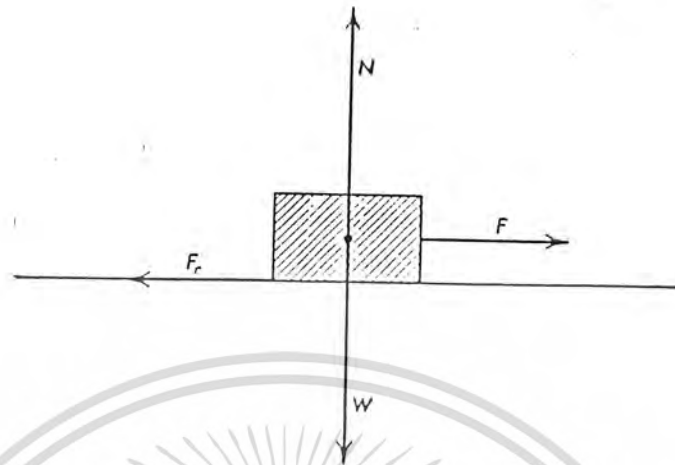
$$F_r = fN$$

(2.24)

ตัว f เรียกว่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน (Coefficient of Friction) ของระหว่างผิวสัมผัส แรงกด N ของผิวสัมผัส เรียก Normal ซึ่งจะตั้งฉากกับพื้นผิวสัมผัสของวัตถุ (ดูรูป 2.17)

เมื่อผิวสัมผัสอยู่ในแนวระดับและ normal force อยู่ในแนวตั้ง โดยปกติแล้วค่า N จะเท่ากับน้ำหนักของวัตถุ คือ W ค่า f นี้จะเป็นค่าเฉพาะของผิวสัมผัสระหว่างวัตถุทั้ง

เอกสารนี้เป็น สงวนลิขสิทธิ์ ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 แรงที่กระทำบนวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสม่ำเสมอบนพื้นผิวที่มีความเสียด

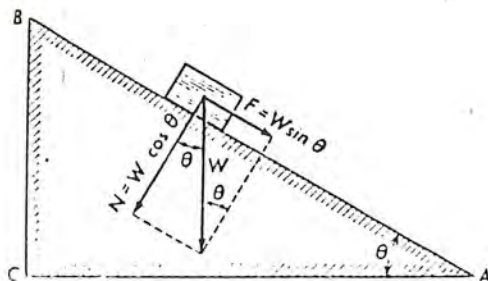
2.6.2 การเคลื่อนที่บนระนาบเอียงที่มีแรงเสียดทาน (Motion on A Rough Inclined Plan)

เมื่อวัตถุมวล M เคลื่อนที่บนระนาบเอียงที่ไม่มีแรงเสียดทาน น้ำหนักของวัตถุ $W = Mg$ และ normal force ที่เกิดจากการผลักวัตถุไปตามระนาบ แรง F ที่ขนานกับระนาบนั้นจะสัมพันธ์กับ W และ N คือ

$$F = Mg \sin \theta = W \sin \theta \quad (2.25)$$

โดยที่ θ เป็นมุมที่แผ่นระนาบทำกับแนวราบ ถ้าเราแตกแรงอันเนื่องมาจากน้ำหนักของวัตถุไปเป็นแรงประกอบสองแรง คือ แรงที่ขนานกับระนาบเอียง และแรงที่ตั้งฉากกับระนาบเอียง ดังรูป 2.18 เราจะเห็นว่า แรงประกอบที่ขนานกับระนาบ คือ $W \sin \theta$ และแรงประกอบที่ตั้งฉากกับระนาบ คือ $W \cos \theta$ ซึ่งแรงประกอบที่ขนานกับระนาบนั้นมีค่าเท่ากับแรง F ที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ลงไปตามระนาบเอียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



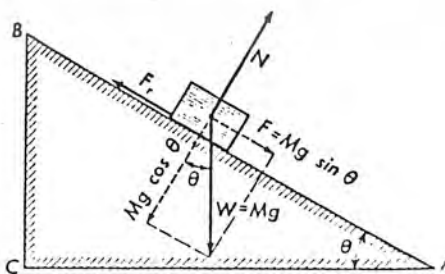
รูปที่ 2.18 แสดงการพิจารณาน้ำหนักของวัตถุออกเป็นแรงประกอบ 2 แรง คือ F ที่ขนานกับระนาบเอียง และ N ที่ตั้งฉากกับระนาบเอียง

ถ้าวัตถุเคลื่อนที่บนระนาบเอียงที่มีแรงเสียดทาน และสามารถเลื่อนลงไปได้ นั่นแสดงว่ามีแรงที่สามเกิดขึ้น คือแรงเสียดทานระหว่างวัตถุกับระนาบ แรงเสียดทาน F_r นี้จะต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุตลอดความยาวของการเคลื่อนที่ (ดูรูป 2.19) ถ้าระนาบมีการเอียงมากพอ แรง F ก็มากกว่า F_r วัตถุจะถูกทำให้เคลื่อนที่ลงตามระนาบเอียงโดยแรงที่เท่ากับ $F - F_r$ ซึ่งแรงทั้งสองนี้จะกระทำในทิศทางขนานกับระนาบเอียง สามารถประยุกต์สูตรข้อที่สองของนิวตัน ได้ดังนี้

$$F - F_r = Ma$$

(2.26)

ซึ่ง a เป็นความเร่งของวัตถุบนระนาบ



รูปที่ 2.19 แสดงการวิเคราะห์เกี่ยวกับแรงที่กระทำบนวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ... ตามระนาบเอียงที่มีแรงเสียดทาน... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ขนานกับระนาบเอียง จะไม่มีความเร่งสู่ศูนย์กลาง (acceleration normal) แรงที่ตั้งฉากกับระนาบเอียงได้แก่ N และแรงประกอบของน้ำหนักซึ่งเท่ากับ $W \cos \theta$ และแรงทั้งสองนี้จะต้องมีค่าเท่ากัน

$$N - W \cos \theta = 0$$

ดังนั้น

$$N = W \cos \theta = Mg \cos \theta \quad (2.27)$$

แต่ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงเสียดทาน และ normal force เป็นไปตามสมการที่ (2.24) คือ

ดังนั้น

$$F_f = fN$$

$$F_f = f Mg \cos \theta \quad (2.28)$$

เมื่อ f เป็นสัมประสิทธิ์ของ Sliding Friction ระหว่างวัตถุอยู่บนระนาบกับผิวสัมผัสของระนาบ เมื่อแทนค่า F จากสมการ (2.25) และค่า F_f จากสมการ (2.28) ลงในสมการ (2.26) จะได้

$$Mg \sin \theta - f Mg \cos \theta = Ma$$

จัดรูปสมการใหม่ได้

$$a = g \sin \theta - fg \cos \theta \quad (2.27)$$

ดังนั้นความเร่งของวัตถุที่เคลื่อนที่ลงตามระนาบเอียงที่มีแรงเสียดทาน จะมีค่าน้อยกว่าระนาบเอียงที่ไม่มีแรงเสียดทาน

ถ้ามุม θ มีค่า $\theta = \theta_c$ นี้คือ ความเร่งของวัตถุมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ สมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เป็นการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$0 = g \sin \theta_c - fg \cos \theta_c$$

$$\sin \theta_c = f \cos \theta_c$$

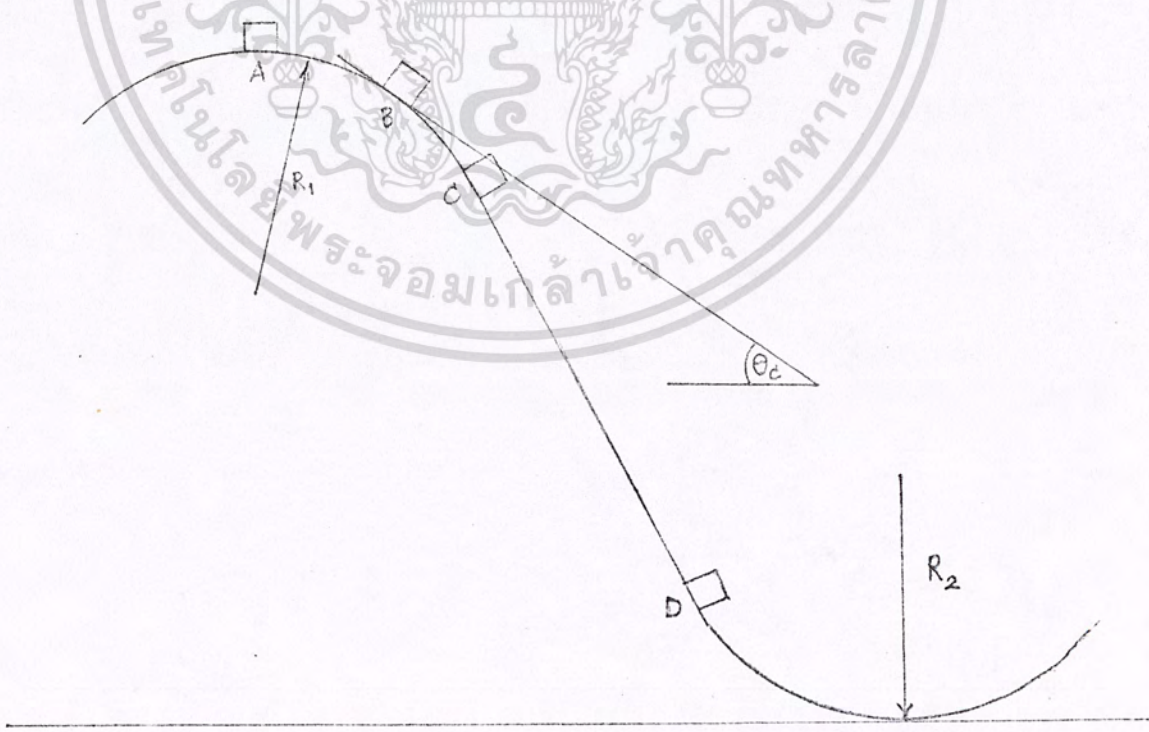
หรือ

$$\tan \theta_c = f$$

(2.28)

สมการ (2.28) แสดงถึงค่าของมุมวิกฤติในการเอียงของระนาบ ซึ่งไม่ขึ้นกับน้ำหนักของวัตถุบนระนาบ แต่ขึ้นกับสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัส สมการนี้จะแสดงถึงหลักการทั่วไปของการคำนวณหาสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน

แต่ถ้าไม่ใช่เฉพาะระนาบเอียงดังที่ได้กล่าวมา หากเป็นสไลเดอร์ 2 มิติที่ประกอบไปด้วยส่วนของเส้นตรง และส่วนโค้งของวงกลม เราจะพบว่าแรงเสียดทานไม่สม่ำเสมอทุกๆ จุดตลอดการเคลื่อนที่ของวัตถุ พิจารณาที่ จุด A ดังรูป 2.20

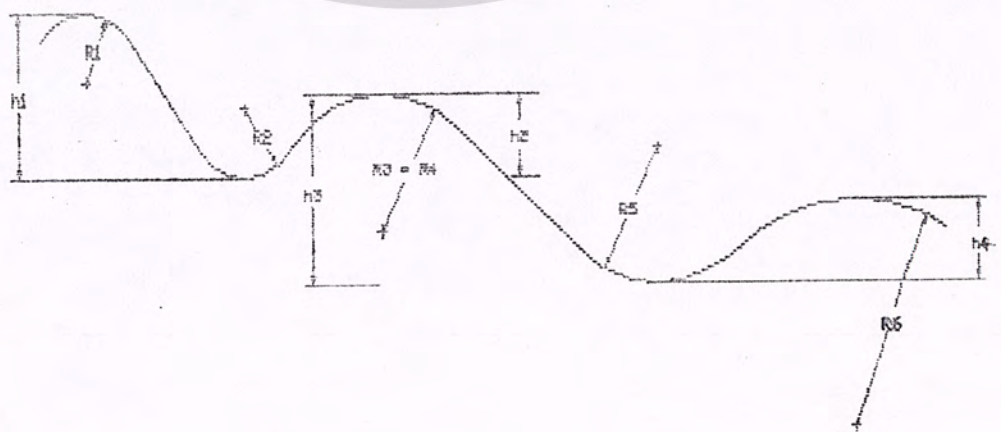


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.20 แสดงมุม (θ) ระหว่างเส้นสัมผัสส่วนโค้งกับแนวราบ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

friction = 0 เพราะยังไม่มี การเคลื่อนที่ ในจุดเริ่มต้น และเมื่อต้นวัตถุมา ยังจุด B ซึ่ง เป็นจุดที่ $\theta = \theta_c$ นั่นคือวัตถุ จะเริ่มมีการเคลื่อนที่ ณ จุด B นี้ และหลังจากนั้นมุมของเส้น สัมผัสจะมีค่าเพิ่มขึ้น ตลอดส่วนโค้งของวงกลมรัศมี R_2 และมีค่าคงที่จากจุด C ถึงจุด D เพราะเป็นส่วนหนึ่งของเส้นตรงที่เชื่อมระหว่าง 2 ส่วนโค้งของวงกลมรัศมี R_1 และ R_2 แล้วหลังจากนั้น ค่าของมุม θ จะเปลี่ยนไปตามรัศมี R_2 ดังนั้นค่าของ friction จึงเปลี่ยนไปทุกๆ จุดตลอดการเคลื่อนที่ ในการคำนวณต้องใช้สมการทางคณิต ศาสตร์ที่ยุ่งยากซับซ้อน และนั่นหมายถึงต้องให้เวลาสำหรับการวิเคราะห์และศึกษาปัญหา กัน อย่างลึกซึ้ง ประกอบกับค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (f) ของไฟเบอร์กลาสที่นำมาทำ สไลเดอร์มีค่าเท่ากับ 0.15 (ถือว่า มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับตารางที่ 2.1) และยังมีน้ำไหล หล่อลื่นอยู่ตลอดเวลาทำให้ไม่มีการนำค่าแรงเสียดทานมาพิจารณาในการออกแบบสไลเดอร์ สำหรับโครงการนี้

ต่อไปนี้จะ เป็นตัวอย่างการนำสูตรที่ได้กล่าวมาแล้วทั้งหมดในบทที่ 2 มาประยุกต์ ใช้กับ slider ของโครงการ และเพื่อนำไปเขียนโปรแกรมใช้งานดังในบทที่ 4

ตัวอย่าง ให้วัตถุมวล 60 Kg เริ่มเคลื่อนที่จากสภาพนิ่งในจุด 1 และเคลื่อนที่ โดยปราศจากแรงเสียดทาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) หาแรง N ที่จุด 2 โดยกำหนดให้ $R_2 = 6 \text{ m}$. และ $h_1 = 12 \text{ m}$.

จะใช้ principle of work and energy ในการคำนวณ v_2 ที่จุด 2 ดังนี้

$$\text{Kinetic Energy} : T_1 = 0 ; T_2 = \frac{1}{2} m(v_2)^2$$

W คือ งานเพียงอันเดียวที่กระทำต่อวัตถุ ดังนั้นงานของวัตถุจากจุด 1 ไปจุด 2

คือ

$$U_{1 \rightarrow 2} = +mg(12 \text{ m.})$$

Principle of Work and Energy

$$T_1 + U_{1 \rightarrow 2} = T_2$$

$$0 + mg(12 \text{ m.}) = \frac{1}{2} m(v_2)^2$$

$$(v_2)^2 = 24g$$

$$= 24(9.81)$$

$$= 15.34 \text{ m/s}$$

และจากกฎข้อที่สองของนิวตัน ความเร่ง a_n ที่จุด 2 มีขนาดเท่ากับ $a_n = (v_2)^2 / R_2$ และมีทิศทาง ส่วนแรงภายนอกที่กระทำกับวัตถุ W และ N มีทิศตรงข้ามกัน ดังนี้

$$+ \Sigma F_n = ma_n$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ผู้ใช้ไปเผยแพร่ในด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= m(24g/6)$$

$$= 4mg$$

$$N = 5mg$$

$$= 5(60)(9.81)$$

$$= 2.94 \text{ kN}$$

(ง) หาค่า R_3 ที่น้อยที่สุดและปลอดภัยที่สุด สำหรับ $h_2 = 4.5$ ม.

เราสามารถประยุกต์สูตร Principle of Work and Energy ระหว่างจุด 1 และ จุด 3 ได้ดังนี้

$$T_1 + U_{1 \rightarrow 3} = T_3$$

$$0 + mg(h_1 - h_2) = \frac{1}{2} m(v_3)^2$$

$$(v_3)^2 = 2g(12 - 4.5)$$

$$= 15g$$

$$v_3 = 15(9.81) = 12.13 \text{ m/s}$$

และจากกฎข้อที่สองของนิวตัน ใช้ในการหาค่า R_3 เมื่อ $N = 0$ คือ

$$+ \Sigma F_n = ma_n$$

$$mg = m[(v_3)^2 / R_3]$$

$$gR_3 = 15g$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (ค) ถ้าต้องการหา R_5 ที่ปลอดภัยที่สุดและมีค่าน้อยที่สุด โดยกำหนด $h_3 = 25$ ม.
 $h_4 = 6$ ม. และ $R_5 = 10$ ม.

วิธีที่ 1 เราสามารถใช้หลัก Principle of Work and Energy ระหว่างจุด 1 และจุด 6 ได้ดังนี้

$$T_1 + U_{1 \rightarrow 6} = T_6$$

$$0 + mg(25 - 6 - 4.5 + 12) = \frac{1}{2} m(v_6)^2$$

$$(v_6)^2 = 2g(26.5)$$

$$= 53g$$

ในทำนองเดียวกันกับข้อ (ข) ที่จุด 6 ค่า $N = 0$

$$\Sigma F_n = ma_n$$

$$mg = m[(v_6)^2 / R_5]$$

$$gR_5 = 53g$$

$$R_5 = 53 \text{ ม.}$$

วิธีที่ 2 เราอาจหาจากจุด 3 ไปยังจุด 6

$$T_3 = \frac{1}{2} m(v_3)^2 \quad , \quad T_6 = \frac{1}{2} m(v_6)^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภาควิชา 2 ชั้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_3 + U_{3 \rightarrow 6} = T_6$$

$$\frac{1}{2} m (v_3)^2 + mg(h_3 - h_4) = \frac{1}{2} m (v_6)^2$$

$$\frac{1}{2} (15g) + g(25-6) = \frac{1}{2} (v_2)^2$$

$$15g + 38g = (v_5)^2 = 53g$$

จากนี้แก้หาค่า R_6 เหมือนวิธีแรก จะได้

$$R_6 = 53 \text{ ม.}$$

จากตัวอย่างจะเห็นว่า ในการหาค่า R_3 และ R_6 จะไม่มีมวลเข้ามาเกี่ยวข้องเลย นั่นก็คือ ตัวแปรที่จำเป็นในการหาค่ารัศมี R_3 และ R_6 (ที่ปลอดภัยที่สุดและมีค่าน้อยที่สุด) ได้แก่ h_1 , h_2 , h_3 และ h_4 ซึ่งเป็นค่าที่ต้องกำหนดขึ้นมาเอง ส่วนค่า R_2 และ R_5 จะกำหนดขึ้นมาเพื่อใช้ในการเขียนรูป slider ซึ่งจะสรุปสูตรที่จะนำไปเขียนโปรแกรมได้ดังต่อไปนี้

R_2 , R_4 , h_1 , h_2 , h_3 และ h_4 กำหนดขึ้นมาเอง

$$R_3 = 2(h_1 - h_2)$$

$$R_6 = R_3 + 2(h_3 - h_4)$$

$$R_9 = R_3 + R_6 + 2(h_5 - h_6)$$

·
·
·

และเป็นสิ่งที่สังเกตว่า รัศมีของส่วนโค้งคว่ำของ slider ขึ้นล่างลงไป จะมีรัศมีมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเพียงบันทึกเพื่อความปลอดภัยของผู้เล่นเองศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 วัสดุที่นำมาทำสไลเดอร์

ไฟเบอร์กลาส (Glass Fibres)

ใยแก้วเป็นวัสดุราคาถูกและมีความแข็งแรงมาก ซึ่งมีแรงดึงประลัยถึง 3500 MN/m^2 โดยเกิดจาก E-glass ค่าโมดูลัสของ glass อยู่ในช่วง $50-110 \text{ GN/m}^2$ และค่าโมดูลัสสไลด์ติกเมื่อเป็น plastic ต่ำกว่า 7 GN/m^2 ส่วนความหนาแน่นของ glass สามารถเทียบเท่ากับ plastic ได้ และไฟเบอร์กลาสก็มีผลกระทบต่อพฤติกรรมทางเคมีของ plastic matrices

ไฟเบอร์กลาสที่ผ่านการหลอมละลายจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 มม. หลังจากนั้นจะถูกดึงอย่างรวดเร็วจนมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.01 มม. ใน strand แต่ละชั้นประกอบด้วยไฟเบอร์มากมาย และเคลือบผิวทำให้ไฟเบอร์กลาส มีความคงทนต่อการดูดซึมน้ำ

strand และ roving เป็นรูปแบบการเคลือบผิวที่ประหยัดที่สุด strand จะหุ้มอยู่ด้านบนและ roving จะหุ้มระหว่าง strand ซึ่งกระบวนการทำนี้ใช้เทคนิค winding และ prepreg strand หรือ roving และอาจถูกทำให้ละเอียดเป็น chopped fibre สำหรับแผ่นไฟเบอร์กลาสจะเกิดจากการพันกันของเส้นใยหรือเกิดจาก strand ที่กระจายตัวอยู่ใน chopped fibre อย่างต่อเนื่อง และอัตราส่วนที่ใช้มากที่สุดของไฟเบอร์ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงนี้ จะแตกต่างกันตรงราคาและความซับซ้อนของชิ้นส่วน

ผลของการทำให้อุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วในขณะที่ทำไฟเบอร์นั้น โครงสร้างของไฟเบอร์กลาสจะเหมือนกับแก้วที่ระดับอุณหภูมิขณะนั้น คือเพิ่มพื้นที่ระหว่างอะตอม และการจัดเรียงตัว ซึ่งเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับแก้วที่อุณหภูมิต้อง การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้เป็นผลมาจากการลดความหนาแน่นและ elastic modulus ของไฟเบอร์ และคุณสมบัติของไฟเบอร์กลาสต่างจากแก้วธรรมดาตรงที่มีเสถียรภาพที่ 373 K สูงกว่าโครงสร้างโดยปกติที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของแก้วที่ใช้ทำใยแก้ว (fibre) กันอย่างแพร่หลายมากที่สุด คือ E-glass lime-alumina-borosilicate glass ที่ใช้เป็นตัวต้านทานไฟฟ้าอย่างดี และมีคุณสมบัติของรูปร่างใยแก้วที่ดี การจัดรูปของเส้นใยแสดงดังตารางที่ 3.1 และคุณสมบัติของรูปแบบใยแก้วแสดงในตารางที่ 3.2 soda lime glass ทั่วไป (A-glass) ซึ่งใช้ในการผลิตขวดและกระจกจะใช้ในงานเสริมเหล็ก เพื่อเพิ่มความแข็งแรงต่างๆ C-glass จะมีคุณสมบัติต้านทานสารเคมีได้สูงกว่า E-glass ส่วน D-glass จะใช้เป็นฉนวนไฟฟ้า M-glass ที่มี BeO เป็นองค์ประกอบอยู่ 8% จะมีค่าโมดูลัส 110 GN/m² S-glass จะได้ทำเส้นใยแก้วที่มี strength สูงขึ้น และมีค่ายืดหยุ่นมากกว่า E-glass โดยการปรับปรุง strength และค่าอุณหภูมิให้สูงขึ้น พิวส์ซิลิกาเป็นตัวอย่างแก้วที่ไม่หดตัวเนื่องจากผลของอุณหภูมิและความหนาแน่นต่ำ มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวน้อย และมีกำลังสูง

ตารางที่ 2.1 การจัดรูปของเส้นใยในไฟเบอร์กลาส ชนิดต่างๆ

Typical compositions of glass fibres

	PER CENT						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	B ₂ O ₃	Na ₂ O	OTHERS
E-glass	54	14	19	2	10	1	K ₂ O, TiO ₂ , Fe ₂ O ₃ , F ₂
A-glass	72	1	10	2		14	SO ₃ 1%
C-glass	65	4	14	3	5.5	8	K ₂ O 0.5%
M-glass	54		13	9			BeO 8%, TiO ₂ 8%, CeO ₂ , Li ₂ O, ZrO ₂ , Fe ₂ O ₃
S-glass	65	25		10			

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของรูปแบบใยแก้ว

Glass fibres: summary of properties of relevance to fibre reinforcement

	RELATIVE COST (*)	YOUNG'S MODULUS (GN/m ²)	ULTIMATE TENSILE STRENGTH (MN/m ²)	SPECIFIC GRAVITY	STRAIN POINT (K)	REMARKS
E-glass	0.2	72	3400	2.54	889	Most readily available fibre
A-glass	0.2	70	3200	2.50	800	Common soda-lime glass
C-glass	1	69	3100	2.49	825	Corrosion-resistant
D-glass	3	52	2400	2.16	748	High dielectric constant glass
M-glass	2	110	3400	2.89	800	High modulus
S-glass	0.5	85	4800	2.48	1033	Developed to give higher strength than E-glass
Fused SiO ₂	5	73	7000	2.20	1343	

* Steel wire = 1 per unit of weight

Strain point is a measure of temperature capability, being the temperature at which the viscosity is 10^{13.5} N s/m².

Costs and properties are dependent on fibre diameter; comparable representative figures are given.

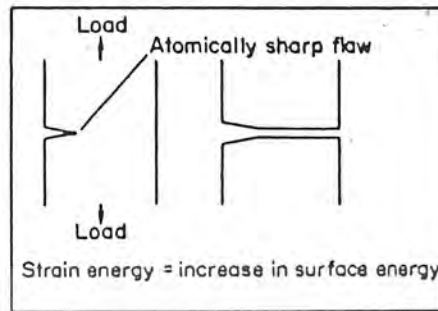
เนื่องจากแก้วจะมีกำลังรับแรงดึงได้สูง ทำให้มีทฤษฎีของ Griffith ขึ้นมาเพื่ออธิบายผลกระทบของขนาดรอยร้าวที่มีผลต่อกำลัง และได้มีการนำไปประยุกต์ใช้กับรอยร้าวในของแข็งที่มีความเปราะ ตามทฤษฎีของ Griffith ของแข็งที่เปราะจะประกอบไปด้วยการกระจายของรอยร้าวที่ผิว และการแตกหักจะเกิดที่รอยร้าวที่ใหญ่ที่สุด เมื่อค่าพลังงานความเครียดที่มีอยู่ในชิ้นส่วนที่มีความเค้นมีค่าเท่ากับพลังงานที่ผิวของผิวที่แตกหัก รูปที่ 3.1 ขนาดของรอยร้าว C ซึ่งจะกลายเป็นรอยแหลม ให้ค่าความเค้นต่ำสุดเป็น S แสดงได้ตามสูตรของ Griffith ดังนี้

$$S = \left[\frac{2Er}{\pi c} \right]^2$$

เมื่อค่า E คือค่าโมดูลัสของยัง (young' modulus)

r คือพลังงานผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

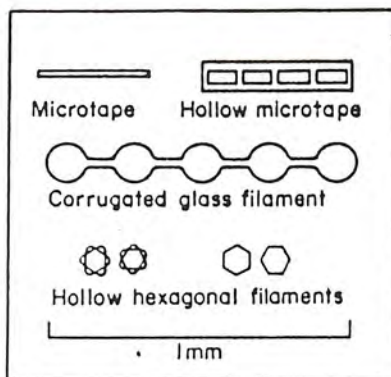


รูปที่ 2.21 แสดงข้อเสนอนะทางทฤษฎีของ Griffith

สำหรับ E-glass ค่ากำลัง E/20 จะทำให้เกิดรอยแตกสูงสุดประมาณ $0.0015 \mu\text{m}$ ซึ่งทำให้ประมาณได้ว่ารอยร้าวจะมีขนาดประมาณขนาดของอะตอม หรืออาจจะไม่เป็นรอยแหลมรอยร้าวภายในของเส้นใยแก้ว จะไม่มีผลกระทบมากนักต่อกำลังของมัน

เป็นที่รู้จักกันดีว่าความชื้นจะมีผลกระทบต่อกำลังของไฟเบอร์กลาส การดูดซึมสารเคมีทางกายภาพจะทำให้เกิดการกัดกร่อนและทำให้กำลังลดลง ซึ่งบางทีอาจจะเป็นผลเนื่องมาจากผลรวมของการลดลงของความเค้นและการที่พลังงานผิวลดลง ความล้าทางกลศาสตร์จะทำให้เกิดการเสียหายของแก้ว หลังจากมีการขยายตัวภายใต้น้ำหนักบรรทุกทางกลนานๆ ซึ่งจะ เป็นพื้นฐานของการเกิดการขยายตัวของรอยร้าวในแก้วนั่นเอง

วัฏจักรของของแข็งจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้นๆ เมื่อเกิดรอยแตกหักเป็นจำนวนสูงสุดที่จะเกิดได้ ซึ่งจากข้อสังเกตนี้ได้มีการพัฒนารูปร่างของไฟเบอร์กลาสขึ้นไฟเบอร์สามารถทำให้กลวงเพื่อให้ความหนาแน่นต่ำและมี stiffness ของความโค้งงอ (flexual) สูง การควบคุมการเสริมเส้นใยแก้วพลาสติกสามารถทำได้โดยการใช้เส้นใยที่มีหน้าตัดขวางซับซ้อน รูปที่ 3.2 แสดงการเลือกรูปร่างของไฟเบอร์กลาส



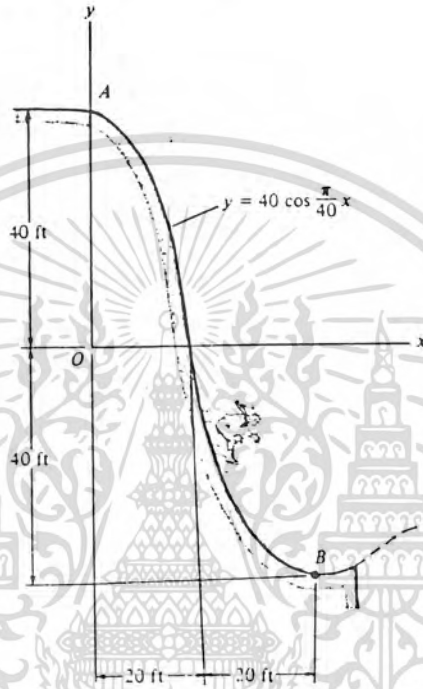
รูปที่ 2.22 แสดงรูปร่างของ fibre glass ชนิดต่างๆ

สำหรับไฟเบอร์กลาส ที่ใช้ในการทำ slider นั้นมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเท่ากับ 0.15 (ซึ่งค่านี้หมายถึง slider ที่มีน้ำไหลผ่านตลอด และผู้เล่นใส่ชุดว่ายน้ำที่เปียก)

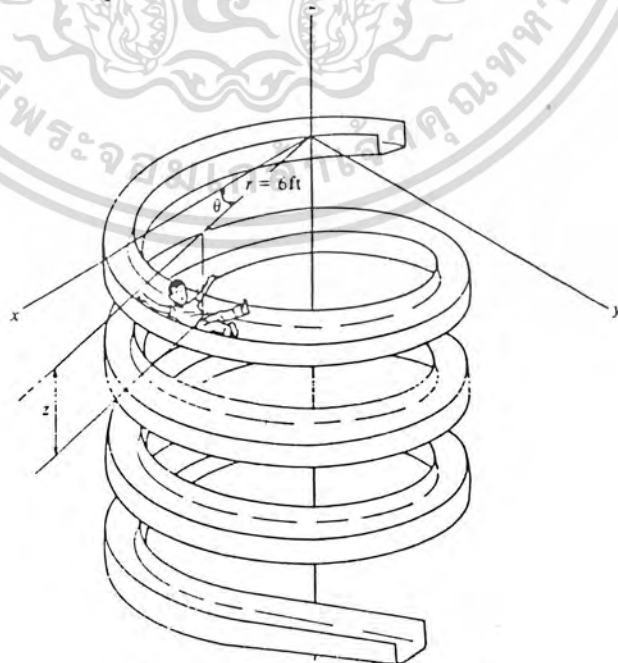
บทที่ 3

การนำโปรแกรมไปใช้งาน

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า โปรแกรมที่เขียนขึ้นมาจะใช้ออกแบบได้เฉพาะสไลเดอร์ 2 มิติและ 3 มิติ แสดงดังรูปที่ 3.1 และ 3.2



รูปที่ 3.1 แสดงสไลเดอร์ 2 มิติ



รูปที่ 3.2 แสดงสไลเดอร์ 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาษาที่นำมาใช้เขียนโปรแกรมเป็นภาษา C โดยสามารถออกแบบสไลเดอร์ได้ สูงสุด 5 ชั้น มีหลักการทำงานของโปรแกรมดังนี้

3.1 ข้อมูลเพื่อใช้ในการแสดงผล (Input)

ก่อนอื่นเราต้องทราบส่วนประกอบของสไลเดอร์ที่มีรูปแบบเฉพาะตัวของโครงงาน นี้ ซึ่งจะแสดงดังรูปในตัวอย่างหน้า

m = มวลของวัตถุ

h_1 = ความสูงจากยอดโค้งคว่ำถึงยอดโค้งหงายถัดไป

h_2 = ความสูงจากยอดโค้งหงายถึงยอดโค้งคว่ำถัดไป

h_3, h_4, \dots มีความหมายเหมือนกับ h_1 และ h_2 ดังรูปหน้า 25

R_1 = รัศมีของโค้งคว่ำอันแรก ซึ่งถือว่าจุดยอดของโค้งเป็นจุดเริ่มต้นของการเคลื่อนที่ โดยวัตถุมีความเร็ว = 0 และให้ค่าเท่ากับ

R_3 เสมอ

R_2 = รัศมีของโค้งหงายถัดจากโค้งคว่ำ R_1

R_3 = รัศมีของโค้งคว่ำถัดจากโค้งหงาย R_2

R_4, R_5, \dots มีความหมายเหมือนกับ R_1 และ R_2

ค่า h_1, h_2, \dots และค่า R_2, R_3, \dots ผู้ออกแบบจะต้องกำหนดขึ้นมาเองตามความต้องการ ทั้งนี้จะต้องเหมาะสมกับความเป็นจริงด้วย

ค่า R_3, R_4, \dots เป็นค่าที่โปรแกรมจะต้องคำนวณออกมา ซึ่งค่า R เหล่านี้เป็นค่าของรัศมีที่มีค่าน้อยที่สุดและปลอดภัยที่สุด ซึ่งหมายความว่าค่า R อาจจะมีค่ามากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ให้ใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การใช้โปรแกรม

ก่อนใช้โปรแกรมผู้ออกแบบต้องกำหนดรูปร่างของสไลเดอร์ตามที่ต้องการก่อน

(1) อันดับแรกต้องกำหนดจำนวนชั้นและความสูงรวมทั้งหมดของสไลเดอร์ก่อน

(2) ทำการแบ่งความสูงรวมทั้งหมดจากข้อ (1) ว่า จะให้แต่ละชั้นสูงเท่าไร (แต่ละชั้นไม่จำเป็นต้องสูงเท่ากัน)

(3) กำหนดรัศมี R_2, R_4, \dots และควรกำหนดให้รัศมีถัดไปมีค่าประมาณ 2 เท่าของรัศมีก่อนหน้านั้น $R_4 = 2R_2, R_8 = 2R_4$ เป็นต้น

(4) จากนั้นเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ แล้วเข้าสู่โปรแกรม Turbo C เรียก file slider ตั้งลำดับชั้นต่อไป



เปิดเครื่อง จะปรากฏ

C>

พิมพ์ cd tc

C> cd tc

กด Enter

C> tc>tc

กด Enter

หน้าจอจะปรากฏเป็น Turbo C ขึ้นมา จากนั้นกด F10 เมื่อเข้าเมนู (menu) จะปรากฏแถบสีดำตรงคำว่า File ที่อยู่แถวข้างบน แล้วกด Enter เครื่องจะแสดง function ใช้งาน เลื่อนแถบสีดำไปที่ Load แล้วกด Enter จะปรากฏ block ขึ้นมา เขียนว่า

```
C:

```

ให้ใส่ชื่อไฟล์ slider ลงไป

C:slider

กด Enter

เครื่องจะ load ไฟล์ slider ออกมา เป็นโปรแกรมที่จะนำไปใช้งานออก
แบบนี้ ตัวโปรแกรมจะแสดงอยู่ในภาคผนวกทั้งหมด

(5) จากนั้น RUN Program โดยกดคีย์ Ctrl F₉ พร้อมกับ เครื่องจะทำ
การ RUN Program และปรากฏหน้าจอดังรูป 3.3

จะสังเกตเห็นแถวข้างล่างของจอเขียนว่า

A-About เป็นการเว้นช่องว่างเอาไว้ให้เขียนอะไรลงไปก็ได้ ซึ่งในโปรแกรม
นี้ให้เขียนไว้ว่า "Program by Witoon KMIT'L"

I-Input เป็นการเริ่มต้นป้อนข้อมูลเข้าไปในโปรแกรม

N-New เป็นการกลับไปจุดเริ่มต้นใหม่หมดหลังจากที่ RUN โปรแกรมแล้ว

E-End หมายถึงสิ้นสุดการออกแบบ โดยจะกลับไปแสดงผลของตัวโปรแกรม
ก่อนที่จะมีการ RUN โปรแกรม

(6) ผู้ใช้ต้องกดคีย์ I เพื่อเริ่มต้นป้อนข้อมูลของ Loop แรกก่อน ซึ่งลำดับการ
ป้อนดังนี้ $m =$ หมายถึงน้ำหนักของผู้เล่นลงไป ซึ่งค่า m นี้จะไม่มีผลในการออก
แบบเลข เพราะตัวแปรที่มีผลต่อการออกแบบ คือ ความสูงและ
รัศมีโค้ง นั่นคือ ไม่ว่าผู้เล่นจะมีน้ำหนักมากน้อยเพียงไร โค้งที่
ออกแบบมาจะปลอดภัยสำหรับผู้เล่นทุกคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับวิธีการแข่งขันฟิสิกส์โอลิมปิกแห่งประเทศไทย เมื่อผู้จัดทำนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$h2$ = หมายถึง ความสูงในตอนท้ายของ Loop ที่ 1

$R2$ = หมายถึงรัศมีของโค้งหางของ Loop ที่ 1

เมื่อป้อนข้อมูลครบทุกตัวแล้ว ($m, h1, h2, R2$) ก็จะปรากฏรูปสไลเดอร์ของ Loop ที่ 1 บนจอ (ดังรูป 3.4)

(7) ถ้าต้องการ Loop ที่ 2 ให้กด I บนจอจะปรากฏเหมือนในข้อที่ 6 คือให้ป้อนข้อมูล $m, h1, h2, R2$ ซึ่งค่า $h1, h2, R2$ นี้หมายถึง $h3, h4, R4$ ใน Loop ที่ 2 นั้นเอง (ดังรูป 3.5)

(8) ผู้ออกแบบสามารถออกแบบได้สูงสุด 5 ชั้น (ดังรูป 3.6) โดยมีลำดับขั้นตอนการป้อนข้อมูลเหมือนในข้อ 6 ทั้งหมด และถ้าต้องการเริ่มต้นใหม่ทั้งหมด ให้กด N เพื่อเข้าสู่ Loop ที่ 1 อีกครั้ง

(9) เมื่อออกแบบได้ตามที่ต้องการแล้วก็ให้ทำการ print รูปและข้อมูลที่ปรากฏบนจอลงบนกระดาษ โดยกด key print screen

(10) กด E เมื่อต้องการออกจากโปรแกรม

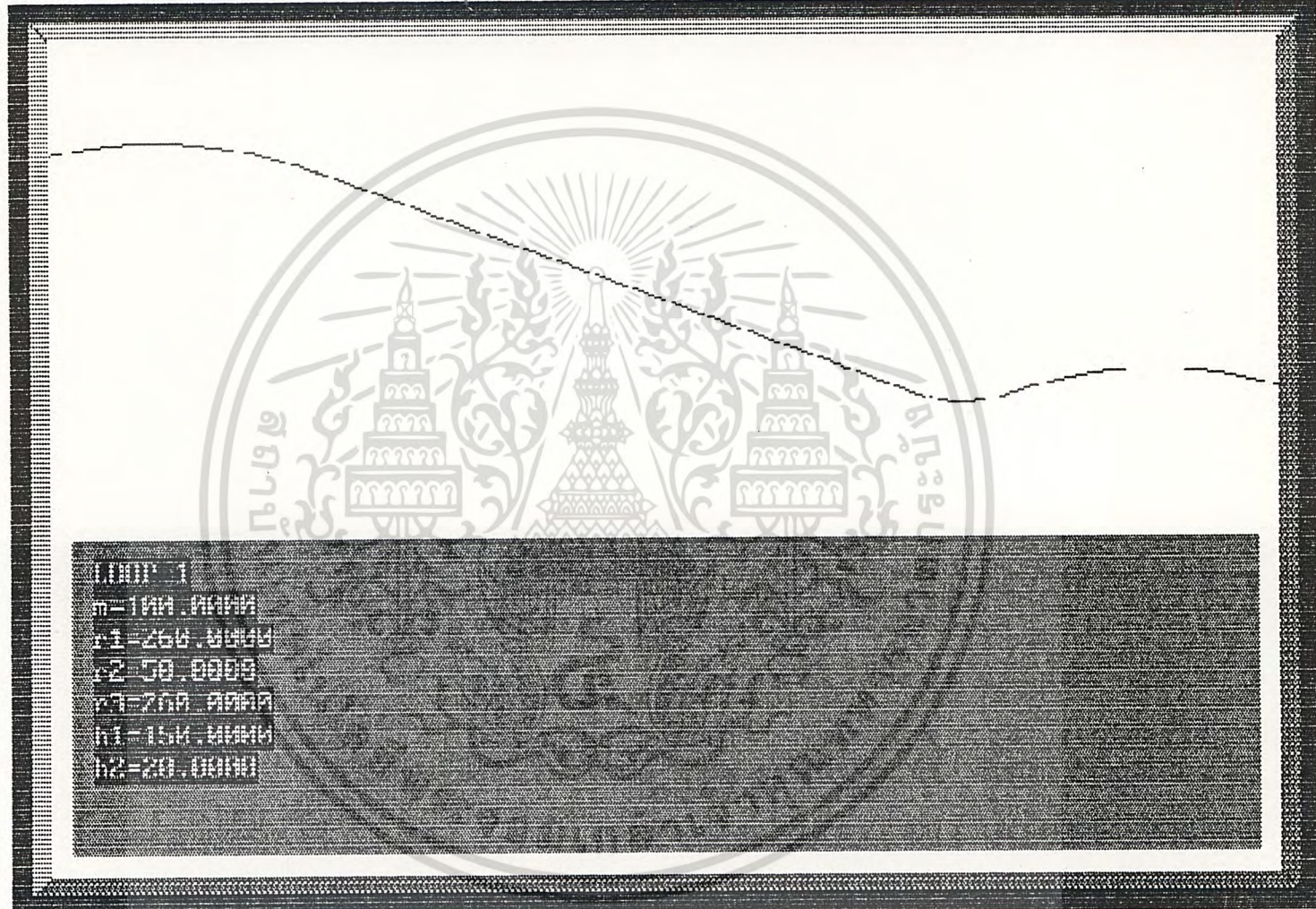
Version 1.0



Q-About I-Input N-New E-End

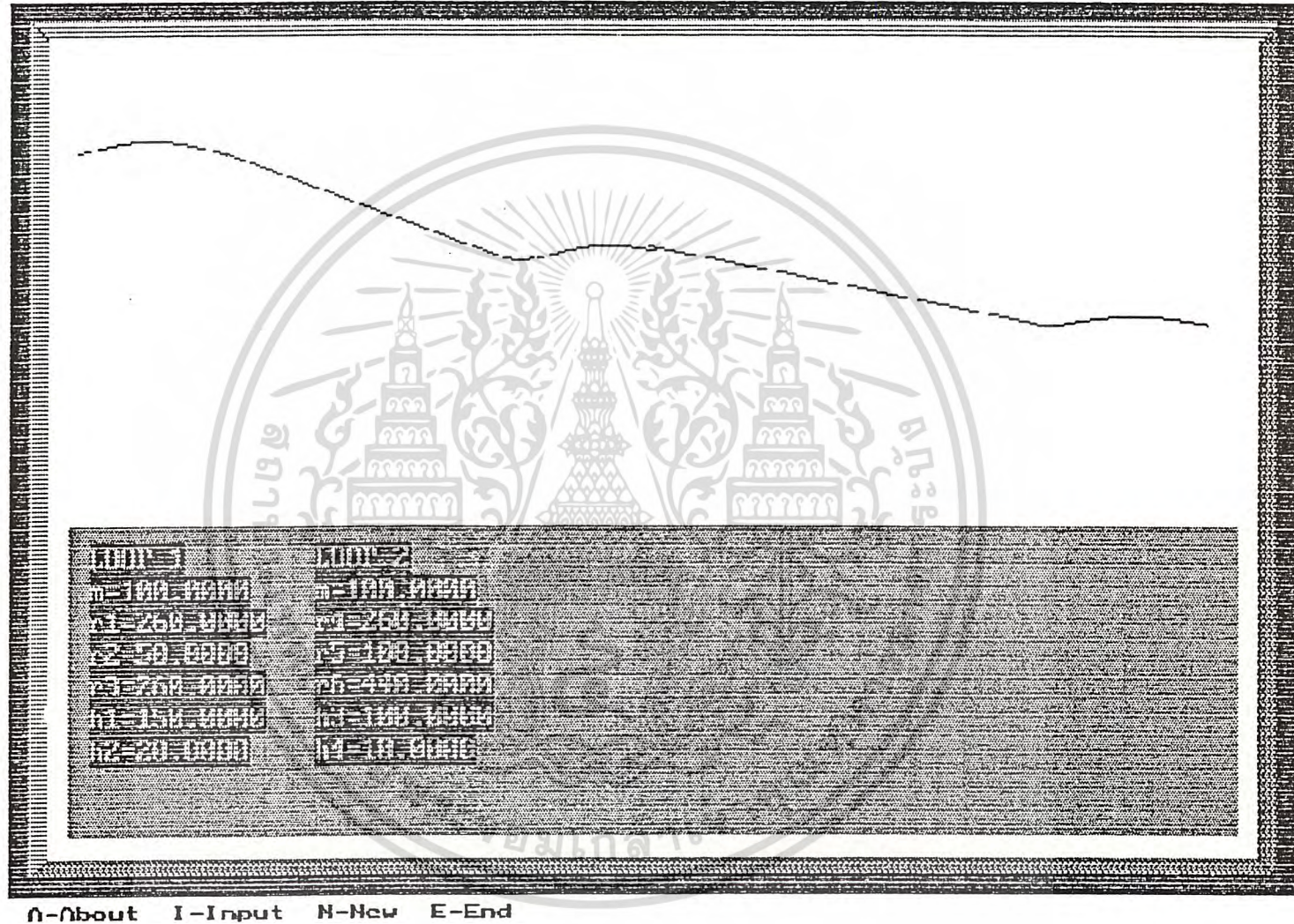
รูปที่ 3.3 แสดงภาพหน้าจอหลังจากที่มีการ run โปรแกรม

Version 1.0



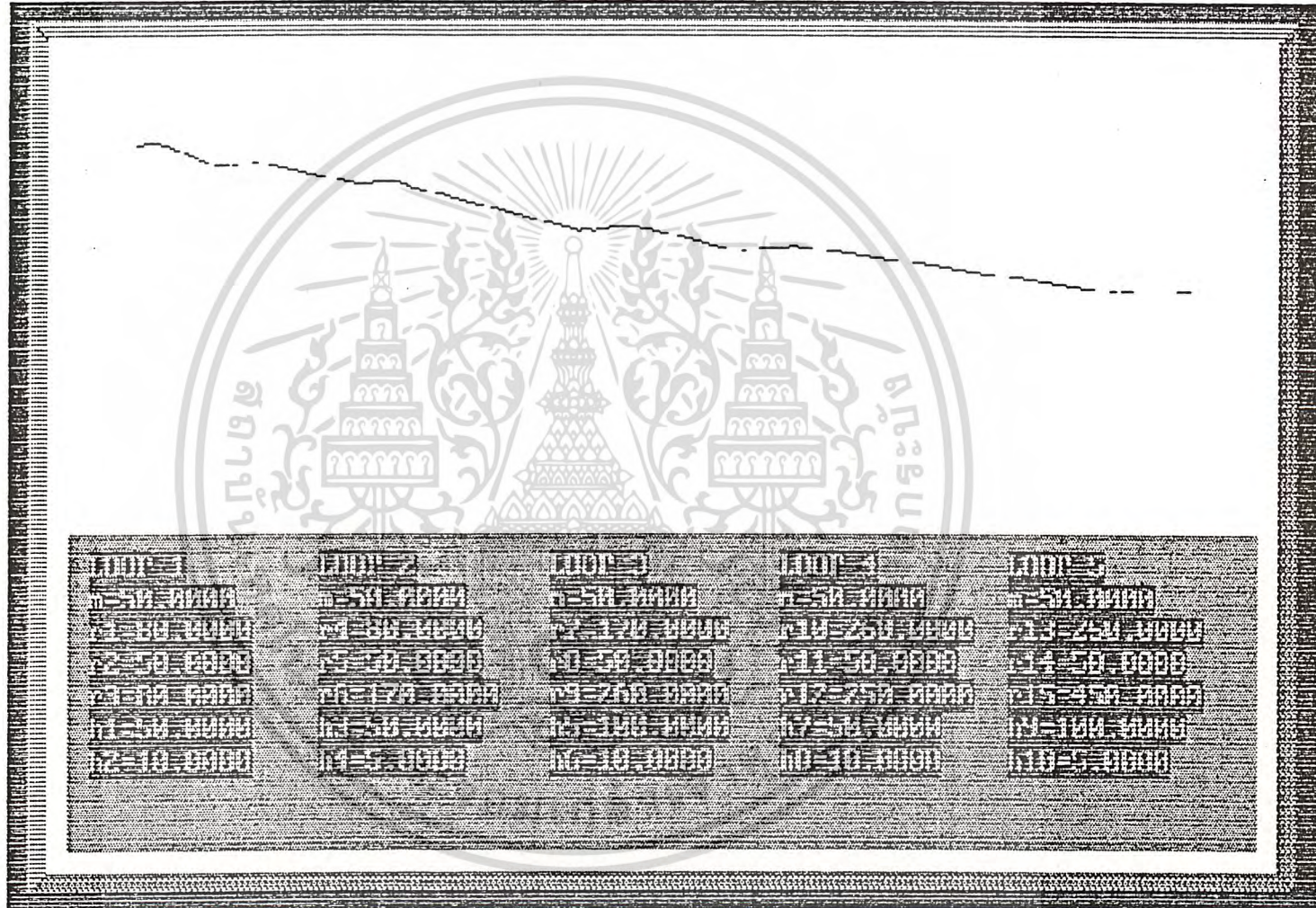
A-About I-Input N-New E-End

รูปที่ 3.4 แสดงหน้าจอหลังจากป้อนข้อมูล Loop ที่ 1 ไปแล้ว



รูปที่ 3.5 แสดงภาพหน้าจอหลังจากป้อนข้อมูล Loop ที่ 2 ไปแล้ว

Version 1.0



Q-About I-Input N-New E-End

รูปที่ 3.6 แสดงภาพหน้าจอหลังจากป้อนข้อมูล Loop ที่ 5 ไปแล้ว

บทที่ 4

สรุปและข้อเสนอนแนะ

จากการทดลองป้อนข้อมูลเข้าไปในโปรแกรมดังรูปที่ปรากฏในบทที่ 3 พบว่า

1. การป้อนข้อมูลผู้ออกแบบต้องแม่นยำในการกด key ตัวเลข เพราะถ้าป้อนค่าตัวเลขผิดแล้ว จะไม่สามารถแก้ไขได้ มีทางเดียวคือ เริ่มต้นป้อนข้อมูลใหม่ทั้งหมด (N)

2. ค่าของมวล m ที่ให้ป้อนในแต่ละ Loop ไม่จำเป็นต้องมีค่าเท่ากันก็ได้ เพราะค่านี้ไม่มีผลต่อการออกแบบ

3. จุดที่ปรากฏรูปร่างของสไลเดอร์หลังการป้อนข้อมูลในแต่ละ Loop นั้น จะเป็นจอที่ zoom ไว้สำหรับสไลเดอร์ 5 ชิ้นเท่านั้น จะพบว่า ใน Loop แรกๆ รูปร่างของสไลเดอร์จะมีขนาดเล็ก คือไม่เต็มจอนั่นเอง

จากกล่าวมาจะพบว่า โปรแกรมในบทที่ 3 เป็นโปรแกรมที่ยังไม่สมบูรณ์พอ ควรมีการ
ปรับปรุงดังนี้

ข้อเสนอนแนะ

1. ในการป้อนข้อมูล ควรให้สามารถแก้ไขตัวเลขที่ป้อนเข้าไปได้ด้วย เพื่อจะได้ไม่ต้องเสียเวลาป้อนข้อมูลใหม่ทั้งหมดทั้งโปรแกรม

2. ในการป้อนข้อมูล Loop อื่นที่ไม่ใช่ Loop ที่ 1 นั้น โปรแกรมจะถามค่า m , h_1 , h_2 , R_2 เหมือนกันทั้งหมด (Loop 1-5) แต่พอแสดงผลออกมาเป็นรูปสไลเดอร์แล้วก็จะแสดงค่าที่ถูกต้องของ Loop นั้นๆ ซึ่งควรมีการแก้ไขดังนี้ คือ ถ้าจะป้อนข้อมูลของ Loop ที่ 2 ก็ให้โปรแกรมถามค่าของ m , h_3 , h_4 และ R_5 เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

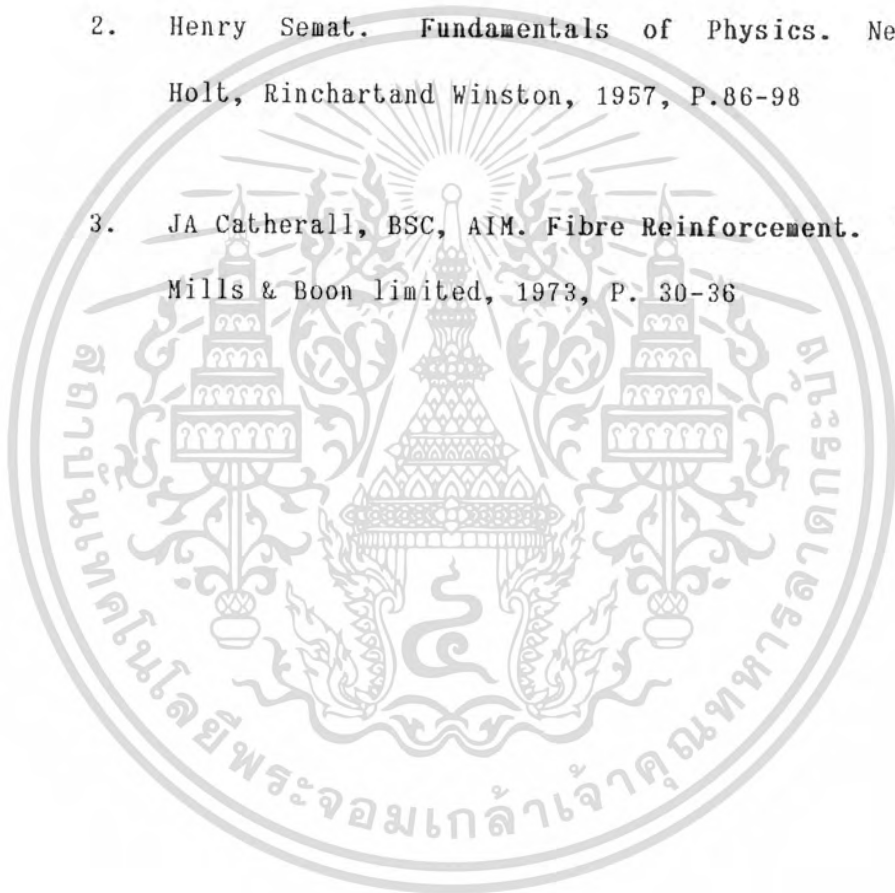
3. ในการ zoom ภาพของจอควรให้รูปที่ออกมาเต็มจอพอดี
4. โปรแกรมควรให้สามารถออกแบบได้หลายชั้นตามต้องการ คือไม่ควรจำกัดแค่เพียง 5 Loop เท่านั้น
5. บนจอที่แสดงผล ควรมี scale บอกขนาดทั้งแกน x และ y ด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. Ferdinand P.Beer, E.Russell Johnston Jr. **Vector Mechanics for Engineering. Dynamics, 2nd S.I. METRIC EDITION**, McGraw-Hill Book Co.-Singapore, 1990, P. 460-462, 488-489, 504-505, 526-527, 576, 578, 585
2. Henry Semat. **Fundamentals of Physics**. New York: Holt, Rinchartand Winston, 1957, P.86-98
3. JA Catherall, BSC, AIM. **Fibre Reinforcement**. London: Mills & Boon limited, 1973, P. 30-36



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <math.h>
#include <string.h>
#include <graphics.h>
#define pi 3.141592654
#define maxloop 5

void start();
void doabout();
void background();
void errormsg(int *msg);
void input(int loop);
float getinput(int x,int y);
void draw(int loop);

float m,h1[maxloop],h2[maxloop],r1[maxloop+1],r2[maxloop],r3[maxloop];
float angle[maxloop];
int startx[maxloop+1],starty[maxloop+1];
int maxx,maxy;

main()
{
    int driver=DETECT,mode;

    initgraph(&driver,&mode,"");
    maxx=getmaxx(); maxy=getmaxy();
    background();
    start();
    closegraph();
}

void start()
{
    int key;
    static int loop=0;

    key=getch();
    while(key!=27)
    {
        switch(key) {
            case 'a' :
            case 'A' : doabout();
                       break;

            case 'i' :
            case 'I' : if(loop<maxloop) {
                           input(loop);
                           draw(loop);
                           loop++;
                       } else errormsg("Cannot input data !");
                       break;

            case 'n' :
            case 'N' : loop=0;
                       background();
        }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        break;
    case 'e' :
    case 'E' : key=27;
                break;
    }
    if(key!=27) key=getch();
}
}

void doabout()
{
    setfillstyle(SOLID_FILL,RED);
    bar(0,maxy-15,maxx,maxy);
    putch('\07');
    outtextxy(10,maxy-10,"Program by Wittoon      KMIT'L");
    outtextxy(maxx-170,maxy-10,"<ENTER> to continue");
    getch();
    setfillstyle(SOLID_FILL,WHITE);
    bar(0,maxy-15,maxx,maxy);
    outtextxy(10,maxy-10,"A-About  I-Input  N-New  E-End");
}

void background()
{
    cleardevice();
    setbkcolor(BLACK);
    setcolor(BLACK);
    setfillstyle(SOLID_FILL,WHITE);
    bar(0,0,maxx,15);
    bar(0,maxy-15,maxx,maxy);
    outtextxy(maxx/2-44,5,"Version 1.0");
    outtextxy(10,maxy-10,"A-About  I-Input  N-New  E-End");
}

void errormsg(int *msg)
{
    setfillstyle(SOLID_FILL,RED);
    bar(0,maxy-15,maxx,maxy);
    putch('\07');
    outtextxy(10,maxy-10,"ERROR >>>");
    outtextxy(maxx-170,maxy-10,"<ENTER> to continue");
    outtextxy(100,maxy-10,(char *)msg);
    getch();
    setfillstyle(SOLID_FILL,WHITE);
    bar(0,maxy-15,maxx,maxy);
    outtextxy(10,maxy-10,"A-About  I-Input  N-New  E-End");
}

void input(int loop)
{
    setfillstyle(SOLID_FILL,LIGHTGRAY);
    bar(100,100,300,300);
    setfillstyle(SOLID_FILL,WHITE);
    rectangle(105,105,295,295);
    outtextxy(180,120,"INPUT");
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(!loop) {
    outtextxy(120,150,"m (kg) : "); m=(float)getinput(190,150);
}
outtextxy(120,170,"h1 (m) : "); h1[loop]=(float)getinput(190,170);
outtextxy(120,190,"h2 (m) : "); h2[loop]=(float)getinput(190,190);
outtextxy(120,210,"r2 (m) : "); r2[loop]=(float)getinput(190,210);
if(loop==0) r3[loop]=2*(h1[loop]-h2[loop]);
else r3[loop]=r1[loop-1]+2*(h1[loop]-h2[loop]);
angle[loop]=(acos((r2[loop]+r3[loop]-h2[loop])/(r2[loop]+r3[loop])));
if(loop==0) r1[loop]=r3[loop];
r1[loop+1]=r3[loop];
}

float getinput(int x,int y)
{
    int key,ok=1,position=0,spot=0,position1=0;
    char number_s[2];
    float temp=0.0;

    while(ok) {
        key=getch();
        switch(key) {
            case '0' :
            case '1' :
            case '2' :
            case '3' :
            case '4' :
            case '5' :
            case '6' :
            case '7' :
            case '8' :
            case '9' : if((position-position1-spot*2<4)&&(position1<6)) {
                    if(spot) {
                        position1++;
                        temp=temp+(key-'0')/pow(10,position1);
                    }
                    else temp=temp*10+key-'0';
                    number_s[0]=(char)key;
                    number_s[1]='\0';
                    outtextxy(x+position*8,y,number_s);
                    position++;
                }
                else if(position1<4)
                    errmsg("Cannot Input over 9,999._____")
                else errmsg("Cannot Input over _____.999999");
                break;
            case '.' : if(spot==0) {
                    spot=1;
                    outtextxy(x+position*8,y,".");
                    position++;
                }
                else errmsg("Cannot put '.'");
                break;
            case 13 : if(temp!=0) ok=0;
                    else errmsg("Not Value");
        }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        break;
    default : errmsg("Used only 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,.");
            break;
    }
}
return(temp);
}

void draw(int loop)
{
    float temp[12][maxloop],angle1[maxloop],mulx,muly;
    static float mul=1;
    int i,j;
    struct {
        int x,y;
    } point[2][7];

    startx[0]=0; starty[0]=0;
    for(i=0;i<=loop;i++) {
        temp[1][i]=r1[i]*cos(pi/2-angle[i]);
        temp[2][i]=(h1[i]-r1[i]+r1[i]*sin(pi/2-angle[i])
            -r2[i]+r2[i]*cos(angle[i]))/tan(angle[i]);
        temp[3][i]=r2[i]*sin(angle[i]);
        temp[4][i]=r3[i]*sin(angle[i]);
        temp[5][i]=r1[i];
        temp[6][i]=h1[i]-r2[i];
        temp[7][i]=r2[i];
        temp[8][i]=h1[i]-h2[i]+r3[i];
        temp[9][i]=r3[i];
        temp[10][i]=r1[i]-r1[i]*cos(angle[i]);
        temp[11][i]=h1[i]-r2[i]+r2[i]*cos(angle[i]);
        temp[0][i]=h1[i]-h2[i];
        angle1[i]=angle[i]/pi*180;
        startx[i+1]=startx[i]+temp[1][i]+temp[2][i]+temp[3][i]
            +temp[3][i]+temp[4][i];
        starty[i+1]=starty[i]+temp[0][i];
    }
    mulx=(maxx-150.0)/startx[loop+1];
    muly=(maxy-100.0)/starty[loop+1];
    if(mulx<muly) mul=mulx;
    else mul=muly;
    if(mul>1) mul=1;
    for(i=0;i<=loop;i++) {
        for(j=0;j<12;j++) temp[j][i]=temp[j][i]*mul;
        startx[i]=startx[i]*mul+50;
        starty[i]=starty[i]*mul+50;
    }

    point[0][0].x=maxx-10; point[0][0].y=25;
    point[0][1].x=maxx-20; point[0][1].y=35;
    point[0][2].x=maxx-20; point[0][2].y=maxy-35;
    point[0][3].x=20; point[0][3].y=maxy-35;
    point[0][4].x=10; point[0][4].y=maxy-25;
    point[0][5].x=maxx-10; point[0][5].y=maxy-25;
    point[0][6].x=maxx-10; point[0][6].y=25;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

point[1][0].x=10;          point[1][0].y=maxy-25;
point[1][1].x=10;          point[1][1].y=25;
point[1][2].x=maxx-10;     point[1][2].y=25;
point[1][3].x=maxx-20;     point[1][3].y=35;
point[1][4].x=20;          point[1][4].y=35;
point[1][5].x=20;          point[1][5].y=maxy-35;
point[1][6].x=10;          point[1][6].y=maxy-25;
setfillstyle(SOLID_FILL,DARKGRAY);
fillpoly(7,(int far*)point[0]);
setfillstyle(SOLID_FILL,LIGHTGRAY);
fillpoly(7,(int far*)point[1]);
setfillstyle(SOLID_FILL,WHITE);
line(10,25,20,35);
line(maxx-10,maxy-25,maxx-20,maxy-35);
bar(20,35,maxx-20,maxy-35);
setfillstyle(SOLID_FILL,LIGHTBLUE);
bar(30,maxy-200,maxx-30,maxy-45);
for(i=0;i<=loop;i++) {
    gotoxy(6+i*14,19); printf("LOOP %d",i+1);
    gotoxy(6+i*14,20); printf("m=%4.4f",m);
    gotoxy(6+i*14,21); printf("r%d=%4.4f",1+i*3,r1[i]);
    gotoxy(6+i*14,22); printf("r%d=%4.4f",2+i*3,r2[i]);
    gotoxy(6+i*14,23); printf("r%d=%4.4f",3+i*3,r3[i]);
    gotoxy(6+i*14,24); printf("h%d=%4.4f",1+i*2,h1[i]);
    gotoxy(6+i*14,25); printf("h%d=%4.4f",2+i*2,h2[i]);
}
setviewport(20,35,maxx-20,maxy-35,1);

for(i=0;i<=loop;i++){
    if(i==0) arc(startx[i],starty[i]+temp[5][i],90-angle1[i],
        90+angle1[i],temp[5][i]);
    arc(startx[i]+temp[1][i]+temp[2][i]+temp[3][i],starty[i]
        +temp[6][i],270-angle1[i],270+angle1[i],temp[7][i]);
    if(i==loop) arc(startx[i]+temp[1][i]+temp[2][i]+temp[3][i]
        +temp[3][i]+temp[4][i],starty[i]+temp[8][i],90-angle1[i],
        90+angle1[i],temp[9][i]);
    else if(angle1[i+1]>angle1[i]) arc(startx[i]+temp[1][i]
        +temp[2][i]+temp[3][i]+temp[3][i]+temp[4][i],starty[i]
        +temp[8][i],90-angle1[i+1],90+angle1[i],temp[9][i]);
    else arc(startx[i]+temp[1][i]+temp[2][i]+temp[3][i]
        +temp[3][i]+temp[4][i],starty[i]+temp[8][i],90-angle1[i],
        90+angle1[i],temp[9][i]);
    line(startx[i]+temp[1][i],starty[i]+temp[10][i],startx[i]+temp[1][i]
        +temp[2][i],starty[i]+temp[11][i]);
}
setviewport(0,0,maxx,maxy,1);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้