



ระบบสำรวจโดยใช้เครื่องบินเล็ก  
(Surveying System Using RC Aircraft)

นายประจักษ์ วงษ์ประเสริฐ  
นายวุฒิพงษ์ นิ่มอ่อน  
นายเกรียงศักดิ์ อุณขุนทด

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์  
วันที่รับ...../...../.....  
เลขทะเบียน..... 5200059 .....

5093703.  
ง/ร.  
ป222ร.  
๒5๕๐

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร  
ปีการศึกษา 2550



## ใบรับรองโครงการวิศวกรรมเครื่องกล

หัวข้อโครงการ	ระบบสำรวจ โดยใช้เครื่องบินเล็ก (Surveying System Using RC Aircraft)		
ผู้ดำเนินงาน	นายวุฒิพงศ์ นิมอ่อน	รหัสนิติ	47360847
	นายประจักษ์ วงศ์ประเสริฐ	รหัสนิติ	47362942
	นายเกรียงศักดิ์ ฤกษ์ขุนทด	รหัสนิติ	47363171
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. ภาณุ พุทธวงศ์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์		

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อนุมัติให้โครงการวิศวกรรมเครื่องกลฉบับนี้  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะกรรมการสอบ โครงการวิศวกรรม

.....ประธานกรรมการ

(ดร.ภาณุ พุทธวงศ์)

.....กรรมการ

(ผศ.ดร.ปฐมศก วิไลพล)

.....กรรมการ

(อ.สิทธิโชค ผูกพันธ์)

หัวข้อโครงการ	ระบบสำรวจโดยใช้เครื่องบินเล็ก (Surveying System Using RC Aircraft)		
ผู้ดำเนินงาน	นายวุฒิพงศ์ นิ่มอ่อน	รหัสนิสิต	47360847
	นายประจักษ์ วงศ์ประเสริฐ	รหัสนิสิต	47362942
	นายเกรียงศักดิ์ ภูมขุนทด	รหัสนิสิต	47363171
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. ภาณุ พุทธวงษ์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยนเรศวร		
ปีการศึกษา	2550		

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการสำรวจโดยใช้เครื่องบินบังคับควบคุมด้วยระบบรีโมทคอนโทรลสัญญาณวิทยุบรรทุกกล้องวิดีโอไร้สาย โดยข้อมูลที่ได้จะเป็นภาพที่ดีที่สุดซึ่งตัดจากไฟล์วิดีโอที่ระดับความสูงที่กำหนด ขอบเขตการสังเกตสูงสุดอยู่ที่ระดับความสูง 300 เมตรและความละเอียดของตัวกล้องอยู่ที่ช่วง 400 - 550 เส้น ระบบสัญญาณ PAL เป้าหมายที่สังเกตแบ่งออกเป็น 3 ขนาด คือ  $0.5 \times 0.5 \times 0.5 \text{ m}^3$ ,  $0.8 \times 0.8 \times 0.8 \text{ m}^3$  และ  $1.5 \times 1.5 \times 1.5 \text{ m}^3$

จากผลการดำเนินโครงการพบว่า สามารถสร้างเครื่องบินที่มีประสิทธิภาพเพื่อบินในสถานที่จริง อีกทั้งยังทำการสำรวจวัตถุได้บรรลุตามเป้าหมายที่ได้วางเอาไว้ได้อย่างดี และสามารถให้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจ

อย่างไรก็ตาม คุณภาพของข้อมูลภาพที่ได้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ที่ความสูง 300 เมตร เป้าหมาย A (ขนาดเล็กที่สุด) จะมีขนาดเล็กมากจนหายไปจากภาพ หากที่จะอธิบายได้ ซึ่งผลเหล่านี้เป็นสิ่งที่ต้องทำการพัฒนาเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดียิ่งขึ้น

**Project Title**                    Surveying System Using RC Aircraft

**Name**                                Mr. Wuttiiphong Neimon                    Code 47360847

    Mr. Prajak                    Wongprasert                    Code 47362942

    Mr. Keangsuk                    Koonkontod                    Code 47363171

**Project Advisor**                    Dr. Phanu                    Putthawong

**Major**                                    Mechanical Engineering

**Department**                        Mechanical Engineering

**Academic Year**                    2007

---

### Abstract

This project was the study of the surveying using radio controlled (RC) aircraft carrying the wireless video camera. The results were present by capturing the best frames from the video at the specified altitudes. The project limits the surveying distance at 300 m. The video was streaming at 400 – 550 lines resolution (PAL system). The targets were the boxes of size 0.5 x 0.5 x 0.5 m<sup>3</sup>, 0.8 x 0.8 x 1.0 m<sup>3</sup> and 1.5 x 1.5 x 1.5 m<sup>3</sup>. The aircraft flies very well as design. The video streaming was satisfied.

However, the captured pictures were affected by the movement of the aircraft. At the 300 m altitude, target A (the smallest box) was hard to notice while the others can be seen in the capture picture.



## กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปฏิญญาพันธบัตรนี้ล่วงได้เป็นอย่างดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจากผู้มีพระคุณซึ่งให้การสนับสนุน ให้ข้อเสนอแนะ ให้การแนะนำ ให้คำปรึกษาต่างๆมากมาย ทางคณะผู้จัดทำจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ ดร. ภาณุ พุททวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการในการให้ความรู้ คำแนะนำและคำปรึกษาที่มีประโยชน์ยิ่งในการทำโครงการ

ขอขอบคุณ นาย นัฐพงศ์ เขียวน้อย นิสิตวิศวกรรมเครื่องกลปีที่ 4 ที่ช่วยเหลือในการออกแบบและดำเนินงานด้านการวิเคราะห์ชิ้นส่วน 3 มิติ และความอนุเคราะห์ในการให้คำปรึกษาเกี่ยวกับโปรแกรม

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และได้ให้สถานที่ในการจัดทำโครงการมาโดยตลอด ซึ่งมีส่วนสำคัญในการพัฒนาสังคมและประเทศชาติ

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ช่วยเป็นแรงผลักดันและส่งเสริมให้ผู้จัดทำผ่านพ้นปัญหาต่างๆ ได้อย่างราบรื่น

และผู้ที่มีได้กล่าวถึงทุกท่าน คุณค่า และประโยชน์อันพึงมีจากโครงการ ทางผู้จัดทำขอขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่านไว้ ณ โอกาสนี้

ประจักษ์ วงศ์ประเสริฐ

วุฒิพงศ์ นิ่มอ่อน

เกรียงศักดิ์ ภูณขุนทด

# สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงการวิศวกรรมเครื่องกล	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.6 งบประมาณที่ใช้	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	3
2.1 ทฤษฎีการบินของเครื่องบิน	3
2.1.1 หลักการบินทั่วไป	3
2.1.2 ส่วนประกอบที่ใช้ควบคุมเครื่องบิน	4
2.1.3 การควบคุมทิศทางการบิน	5
2.1.4 หลักการทาง Aerodynamics ของปีกเครื่องบินและ Airfoils	9
2.1.5 ลักษณะปีกเครื่องบินแบบต่าง ๆ เบื้องต้น	11
2.1.6 การตั้งจุดศูนย์ถ่วงของเครื่องบิน Center of Gravity (CG)	13
2.1.7 หลักการวิเคราะห์แรงที่ Airfoil	15
2.2 ทฤษฎีการส่งสัญญาณ	17
2.2.1 รูปแบบทิศทางของการส่งสัญญาณสื่อสาร	17
2.2.2 สัญญาณ (Signal)	17
2.2.3 หลักการส่งสัญญาณของกล้องไร้สาย (Wireless Camera)	20

## สารบัญ (ต่อ 1)

	หน้า
2.3 ระบบการบันทึกสัญญาณ	20
2.3.1 ระบบการบันทึกสัญญาณด้วยเทป	21
2.3.2 ระบบการบันทึกด้วยเครื่องบันทึกภาพดิจิทัล	22
2.3.3 ระบบการบันทึกสัญญาณด้วยคอมพิวเตอร์	22
2.4 หลักการของเครื่องบินบังคับวิทยุ	23
2.4.1 วิทยุบังคับ	23
2.4.2 ภาครีรับ (Receiver)	24
2.4.3 Servo	24
2.4.4 Speed Brushless	24
2.4.5 Motor Brushless	24
2.4.6 Battery Li-Po	24
2.4.7 แผนผังการทำงานของระบบเครื่องบินบังคับ	25
บทที่ 3 ขั้นตอนดำเนินการและการทดสอบ	25
3.1 แนวคิดในการออกแบบ	25
3.2 การออกแบบ	25
3.2.1 ข้อกำหนดในการออกแบบ	25
3.2.2 การออกแบบเครื่องบิน	25
3.2.3 การคำนวณเพื่อหาแรงยกของปีกเครื่องบิน	27
3.3 การสร้างและประกอบเครื่องบินบังคับ	29
3.3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ทำเครื่องบิน	29
3.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมเครื่องบิน	29
3.3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ส่งสัญญาณ	29
3.3.4 ประกอบชิ้นส่วน โครงสร้างต่างๆ ของเครื่องบิน	30
3.3.5 การติดตั้งระบบส่งสัญญาณภาพแบบไร้สาย	33
3.4 วิธีทดลองและบันทึกผล	33
3.4.1 สถานที่ทำการทดลอง	33
3.4.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	33
3.4.3 ขั้นตอนในการทดลอง	34

## สารบัญ (ต่อ 2)

	หน้า
3.4.4 การบันทึกผลการทดลอง	34
บทที่ 4 ผลการดำเนินโครงการ	35
4.1 ผลการทดสอบการบิน	35
4.2 ลักษณะการบันทึกผลที่ได้จากการสำรวจ	35
4.3 ภาพจากการสำรวจ	37
4.4 ตารางบันทึกผลการทดลอง	40
บทที่ 5 บทสรุป	41
5.1 สรุปผลโครงการ	41
5.2 ข้อเสนอแนะ	41
บรรณานุกรม	42
ภาคผนวก ก Drawing	
ภาคผนวก ข ตารางการเลือกระบบบันทึกสัญญาณ	
APPENDIX A	
APPENDIX C	
APPENDIX D	



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลที่บันทึกได้จากการสำรวจวัตถุ 3 ขนาดที่ระดับความสูงต่างๆ	40

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบของแรงที่กระทำต่อเครื่องบิน	3
รูปที่ 2.2 แสดงกระแสอากาศที่ไหลผ่าน Airfoil ทำให้เกิดแรงยก	4
รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบที่ใช้ควบคุมเครื่องบิน	4
รูปที่ 2.4 แสดงแกนหมุนของเครื่องบิน	6
รูปที่ 2.5 แสดงการหมุนในแกน longitudinal axis หรือเรียกว่า Roll axis	6
รูปที่ 2.6 แสดงการบังคับ Aileron ให้เครื่องบินหมุนรอบแกน longitudinal	7
รูปที่ 2.7 แสดงการหมุนในแกน lateral axis หรือเรียกว่า Pitch axis	7
รูปที่ 2.8 แสดงการหมุนในแกน vertical axis หรือเรียกว่า Yaw axis	8
รูปที่ 2.9 ลักษณะของ Airfoil แบบต่าง ๆ	11
รูปที่ 2.10 ปีกเครื่องบินแบบสมมาตรรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า	11
รูปที่ 2.11 ปีกเครื่องบินแบบลู่อื่น	12
รูปที่ 2.12 ปีกเครื่องบินแบบลู่อื่น	12
รูปที่ 2.13 ปีกเครื่องบินแบบ Delta	13
รูปที่ 2.14 แสดงจุด CG ของปีกแบบสมมาตรรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า	13
รูปที่ 2.15 แสดงจุด CG ของปีกแบบลู่อื่น	14
รูปที่ 2.16 แสดงจุด CG ของปีกแบบลู่อื่น	14
รูปที่ 2.17 แสดงจุด CG ของปีกแบบ Delta	14
รูปที่ 2.18 แรงกระทำที่ปีกเครื่อง ในขณะที่มี Angle of attack ( $\alpha$ )	15
รูปที่ 2.19 ไดอะแกรมของการส่งสัญญาณ	17
รูปที่ 2.20 ลักษณะการส่งสัญญาณแบบดิจิทัล (Digital)	18
รูปที่ 2.21 ลักษณะการส่งสัญญาณแบบอะนาล็อก (Analog)	19
รูปที่ 2.22 แผนผังแสดงกระบวนการ การส่งสัญญาณของกล้องไร้สาย (Wireless Camera)	20
รูปที่ 2.23 แผนผังของระบบบันทึกสัญญาณด้วยเทป	21
รูปที่ 2.24 แผนผังของระบบการบันทึกสัญญาณด้วยเครื่องบันทึกภาพดิจิทัล	22

## สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.25 แผนผังของระบบการบันทึกสัญญาณด้วยคอมพิวเตอร์	23
รูปที่ 2.26 แผนผังการทำงานของระบบเครื่องบินบังคับ	25
รูปที่ 3.1 Drawing ของปีกเครื่องบิน	27
รูปที่ 3.2 Drawing ลำตัวและหัวของเครื่องบินรวมทั้ง Elevator และ Rudder	27
รูปที่ 3.3 การประกอบโครงสร้างของเครื่องบิน	31
รูปที่ 3.4 การติดตั้ง Servo	32
รูปที่ 3.5 การติดตั้งล้อ และมอเตอร์ Brushless	33
รูปที่ 3.6 การติดตั้งระบบส่งสัญญาณภาพแบบไร้สาย	34
รูปที่ 3.7 เครื่องวัดระดับความสูง	35
รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายวัตถุจากระยะการบินที่ความสูง 100 เมตร	37
รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายวัตถุจากระยะการบินที่ความสูง 150 เมตร	37
รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายวัตถุจากระยะการบินที่ความสูง 200 เมตร	38
รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายวัตถุจากระยะการบินที่ความสูง 250 เมตร	38
รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายวัตถุจากระยะการบินที่ความสูง 300 เมตร	39
รูปที่ 4.7 ช่วงระยะพิกัดความถี่ที่ใช้ในการสังเกตวัตถุในผลการทดลอง	39

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

แม้ว่าในยุคของเทคโนโลยีที่มีความก้าวหน้าจะช่วยให้มนุษย์ทราบข้อมูลจากการสำรวจได้ในหลายพื้นที่ แต่ข้อจำกัดในเรื่องของขีดความสามารถที่เกี่ยวข้องกับยานพาหนะ กลับทำให้มนุษย์ไม่สามารถก้าวหน้าไปได้มากกว่านั้น ดังตัวอย่าง เช่น รถยนต์ ก็สำรวจได้เพียงแต่พื้นที่ด้านล่างเท่านั้น

โครงการเรื่องระบบเครื่องบินเล็กเพื่อการสำรวจนี้ เป็นการนำเอาทฤษฎีทางการบินมาประยุกต์กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ทั้งนี้ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดในการสำรวจพื้นที่ซึ่งเข้าถึงยาก และมีความเสี่ยงสูง

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อการสำรวจพื้นที่ ที่ยากแก่การเข้าถึง
- 1.2.2 เพื่อสำรวจพื้นที่ได้ในมุมกว้าง
- 1.2.3 สามารถบันทึกภาพของพื้นที่ ที่ทำการสำรวจได้
- 1.2.4 เพื่อการออกแบบ โดยอาศัยความรู้และหลักการตามทฤษฎี
- 1.2.5 เพื่อศึกษาเทคนิคในการติดตั้งอุปกรณ์พิเศษ

#### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 รัศมีที่ทำการสำรวจ มีระยะ 300 เมตร
- 1.3.2 ความละเอียด (Resolution) ของภาพถ่ายอยู่ที่ 400 – 550 เส้น
- 1.3.3 เป็นการถ่ายภาพจากมุมสูง (Bird Eye View)

#### 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้ประสบการณ์จากการนำทฤษฎีมาปฏิบัติโดยตรง
- 1.4.2 ฝึกทักษะในการร่วมกันแก้ไขปัญหาและวิเคราะห์สาเหตุ
- 1.4.3 ผลของโครงการทำให้ได้เครื่องบินขนาดเล็กที่มีประสิทธิภาพสูงในการสำรวจ
- 1.4.4 เป็นการปูทางไปสู่แนวคิดที่แตกแขนงออกไปได้อีกมากมาย

### 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ระยะเวลา แผนปฏิบัติงาน	ปีการศึกษา 2550									
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	
(P) - วางแผนงาน	*****									
(D) - เริ่มปฏิบัติโครงการ				*****						
(C) - ตรวจสอบปัญหา								*****		
(A) - แก้ไขและสรุปผล									****	

### 1.6 สถานที่ปฏิบัติงาน

อาคารวิศวกรรมเครื่องกล – อุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร

### 1.7 งบประมาณที่ใช้

1.7.1 อุปกรณ์สำหรับทำตัวเครื่องบิน	10,000 บาท
1.7.2 วิทยุควบคุมการทำงาน	7,200 บาท
1.7.3 กล้องจับภาพส่งสัญญาณไร้สาย	4,000 บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น	21,200 บาท



## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎี

#### 2.1 ทฤษฎีการบินของเครื่องบิน

##### 2.1.1 หลักการบินทั่วไป

เครื่องบินจะลอยตัวไปในอากาศได้นั้น ตัวเครื่องบินจะต้องมีความเร็วไปทางด้านหน้า เพื่อให้ปีกของเครื่องบินปะทะกับอากาศที่ไหลผ่านปีกไปเร็วขึ้น กระแสอากาศที่ไหลมาปะทะผ่านไปทางด้านล่างปีกจะทำให้เกิดแรงดันจากด้านล่างปีกขึ้นไปด้านบน อันเนื่องมาจากความดันของกระแสอากาศด้านบนของปีกจะยิ่งลดลง เมื่อความเร็วของเครื่องบินเพิ่มสูงขึ้น และแรงดันของกระแสอากาศภายใต้ปีกเพิ่มขึ้นจึงดันตัวขึ้นเป็นแรงยกทำให้เครื่องบินสามารถลอยตัวขึ้นไปได้ในอากาศราบเท่าที่เครื่องบินยังมีความเร็วเพียงพอ

ขณะที่เครื่องบินบินอยู่ในอากาศ มีแรงที่กระทำต่อเครื่องบิน 4 แรง ได้แก่ (1) แรงยก (Lift), (2) น้ำหนัก (Weight), (3) แรงขับ (Thrust), และ (4) แรงฉุด (Drag) แสดงได้ดังรูปที่ 2.1

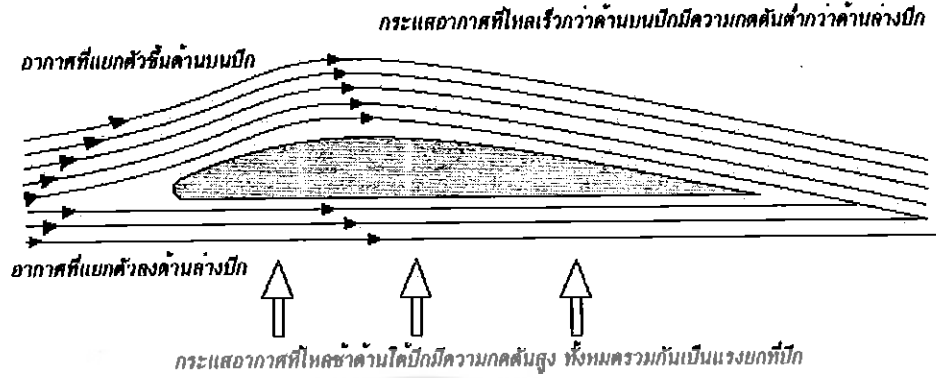


รูปที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบของแรงที่กระทำต่อเครื่องบิน

- น้ำหนัก (weight) คือน้ำหนักรวมทั้งหมดของเครื่องบินที่เกิดจากแรงดึงดูดของโลก
- แรงขับ (Thrust) คือแรงขับไปด้านหน้า เกิดจากเครื่องยนต์
- แรงฉุด (Drag) คือแรงต้านอากาศ เกิดจากแรงเสียดทานกระแสอากาศกับพื้นของเครื่องบิน

- แรงยก (Lift) คือความดันที่ผิวด้านบนของปีกมีค่าน้อยกว่าความดันที่ผิวด้านล่างของปีก ความดันดังกล่าวเกิดจากกระแสอากาศที่ไหลผ่านที่มีรูปร่างซึ่งได้รับการออกแบบมา เพื่อให้ระยะทางด้านบนยาวกว่าระยะทางด้านล่าง เมื่อกระแสอากาศด้านบนของปีกมีความเร็วมากกว่าปีกด้านล่าง และความดันแปรผกผันกับความเร็ว ทำให้ความดันของปีกด้านล่างมีค่ามากกว่าความดันของปีกด้านบน เครื่องบินก็ยกตัวขึ้นได้ ดังรูปที่ 2.2

กระแสอากาศที่ไหลผ่านปีก



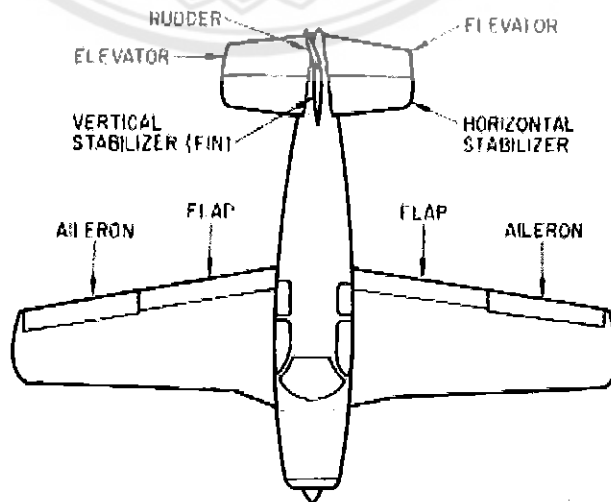
รูปที่ 2.2 แสดงกระแสอากาศที่ไหลผ่าน Airfoil ทำให้เกิดแรงยก

- |  |                 |
|--|-----------------|
| ขณะเครื่องบินบินระดับ เครื่องบินจะต้องมี             | แรงยก = น้ำหนัก |
| ขณะเครื่องบินบินไต่ระดับ เครื่องบินจะต้องมี          | แรงยก > น้ำหนัก |
| ขณะเครื่องบินลดระดับ เครื่องบินจะต้องมี              | แรงยก < น้ำหนัก |
| ขณะเครื่องบินมีความเร่งไปด้านหน้า เครื่องบินจะต้องมี | แรงขับ > แรงฉุด |

2.1.2 ส่วนประกอบที่ใช้ควบคุมเครื่องบิน

เป็นชิ้นส่วนหลักที่มีความสำคัญที่จะใช้บังคับเครื่องบินให้เคลื่อนไปยังทิศทางที่เรา

ต้องการแสดงได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบที่ใช้ควบคุมเครื่องบิน

- Aileron : เป็นพื้นผิว ที่เคลื่อนไหวได้ใช้ในการควบคุม ท่าทาง ของ เครื่องบิน ติดตั้งอยู่ที่ ขาปีกหลัง ส่วนของปลายปีก ทั้งสองข้าง จุดมุ่งหมายเพื่อ ควบคุมอาการเอียงของเครื่องบิน หรือ เคลื่อนที่รอบแกน Longitudinal Axis (ดูรูป 2.4 ประกอบ) โดยสร้างความแตกต่าง ของแรงยกบนปีก ทั้งสองข้างของเครื่องบิน เมื่อเราใช้พื้นที่บังคับการบินนี้ควบคุมการบิน เช่น โยกซ้ายหรือขวา ก็จะ ส่งผลให้ตัวเครื่องบินหมุนตัวรอบแกนลำตัว

- Elevator : เป็นพื้นผิว ที่ ขยับ เคลื่อนไหว ได้ ใช้ ในการ ควบคุม ลักษณะบิน ของ เครื่องบิน ออกแบบมา เพื่อให้เครื่องบิน ยกหัวขึ้นหรือลง หรือเคลื่อนที่รอบแกน Lateral Axis ติดตั้งอยู่ที่ขาหลังของแพนหาง

- Flap : ติดตั้งอยู่ที่ขาปีกหลัง ใกล้กับลำตัว จะเป็นใน ลักษณะ คล้าย บานพับ หรือ แบบ เลื่อนถอยออกไปก็ได้ เพื่อเพิ่ม หรือลด แรงยกของปีก โดยเพิ่มพื้นที่ และความโค้งของปีก โดยปกติ แล้ว จะใช้ตอนจะบินขึ้น และตอนลง

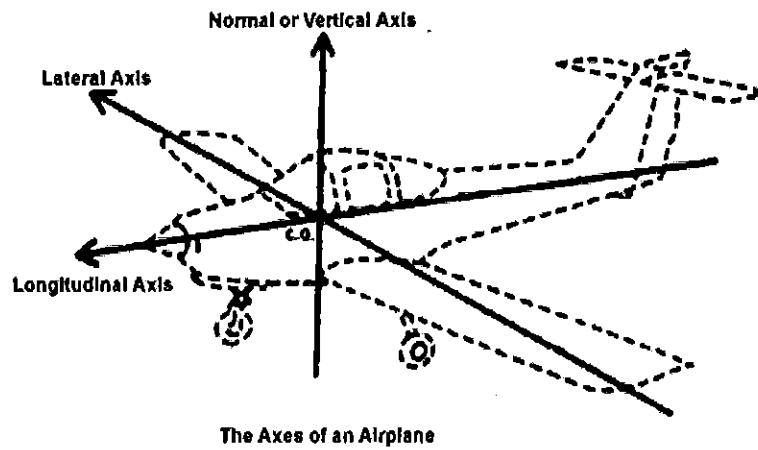
- Rudder : เป็นพื้นผิวที่เคลื่อนไหวได้ ติดตั้งอยู่ที่ขาหลัง ของกระโคงหาง ทำให้หัว เครื่องบิน หันไป ทางซ้าย หรือขวา หรือเคลื่อนที่รอบแกน Vertical Axis

- Rudder Pedal : เป็นส่วนที่นักบินใช้ควบคุมการทำงานของ Rudder ติดตั้งอยู่ที่พื้น นักบิน จะใช้เท้าเหยียบ สองเท้า ถ้าเหยียบเท้าซ้าย เครื่องบิน ก็จะหันไปทางซ้าย ถ้าเหยียบ เท้าขวา เครื่องบินก็จะหันไปทางขวา เพราะว่ามันไปควบคุม Rudder

- Stabilizer : เป็นพื้นผิวที่อยู่ ก้นที่ เพื่อช่วยให้เครื่องบิน รักษา ลักษณะ ท่าทางการบินได้ คงที่ ได้แก่กระ โคงหาง ( Vertical Stabilizer) และ แพนหาง ( Horizontal Stabilizer) สำหรับ แพน หางนั้น สามารถปรับแต่งระดับได้

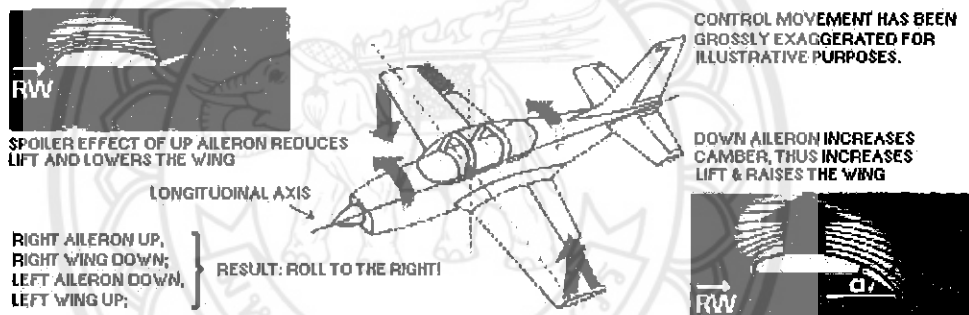
### 2.1.3 การควบคุมทิศทางการบิน

แกนของการหมุน เครื่องบิน มีแกนของการหมุน อยู่สามแกน เรียกชื่อว่า แกน longitudinal, แกน vertical, และ แกน lateral ดูรูปที่ 2.4 ประกอบ ก็คือ ให้สมมุติว่ามีไม้อันยาวมา เสียบผ่านเครื่องบิน จากหัวเครื่องบิน, จากปีกเครื่องบิน, และอีกอันผ่านจุดที่มีไม้ สองอันตัดผ่านกัน อยู่ และจุดที่ไม้สามอันตัดผ่านกันนั้น ดังรูป เราถือเอาว่าคือจุดศูนย์กลาง ที่น้ำหนักทั้งหมดของ เครื่องบิน จะกระทำที่จุดนี้ (center of gravity)



The Axes of an Airplane

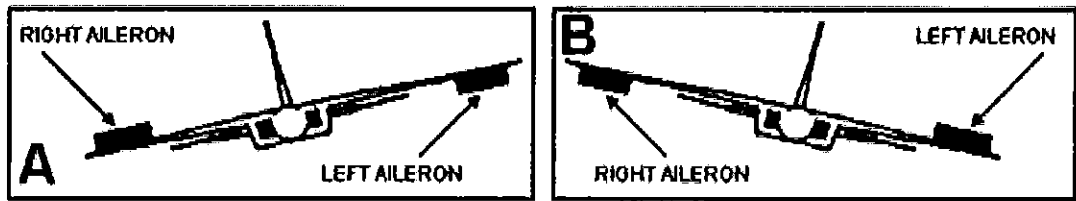
รูปที่ 2.4 แสดงแกนหมุนของเครื่องบิน



รูปที่ 2.5 แสดงการหมุนในแกน longitudinal axis หรือเรียกว่า Roll axis

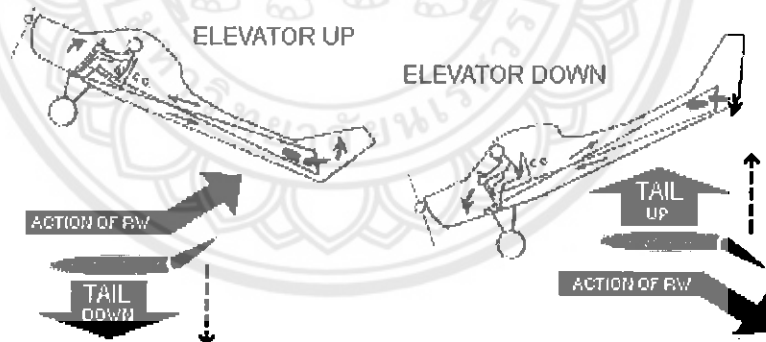
### 2.1.3.1 แกน Longitudinal Axis

แกนที่วิ่งจาก หัวเครื่องบิน จนถึงหางเครื่องบิน คือ แกน longitudinal axis ( ดูภาพข้างบนประกอบ ). การเคลื่อนที่รอบแกนนี้ เรียกว่า Roll axis ลักษณะ ที่เครื่องมีอาการ Roll เป็นผลที่เกิดจากการเคลื่อนไหวของ ailerons. Ailerons ติดตั้งอยู่ที่ปลายปีก และควบคุมโดย control column ในห้องนักบิน และสร้างมาในลักษณะ ที่ aileron ข้างหนึ่ง กระดก ลงล่าง แต่อีกข้างหนึ่ง จะกระดกขึ้นบน



รูปที่ 2.6 แสดงการบังคับ Aileron ให้เครื่องบินหมุนรอบแกน longitudinal

เมื่อ aileron มีการเคลื่อนไหว จากตำแหน่งศูนย์ หรือตำแหน่งแนวระดับ , จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ลักษณะ แรงยกของปีกเครื่องบินทั้งสองข้าง การทำให้ปีก เครื่องบินยกขึ้น, aileron ของปีกนั้น ต้องกระดกลง , ปีกที่มี aileron กระดกลงก็จะทำให้แรงยกบนปีกนั้นเพิ่มขึ้น และ ปีกที่มี aileron กระดกขึ้น ก็จะมีแรงยกลดลง สิ่งนี้จะทำให้เครื่องบินเอียงไป ทางด้านที่ aileron กระดกขึ้น ailerons ของปีกทั้งสองข้างต่อไปยัง control column ในห้องนักบิน โดยระบบ mechanical linkage, เมื่อคันบังคับหมุนไปทางขวา ( หรือโยก คันบังคับ ไปทางขวา ), aileron ทางปีกขวา จะกระดกขึ้น และ aileron ทางปีกซ้ายจะกระดกลง ผลที่เกิดขึ้น ก็คือ แรงยกทางปีกซ้ายจะเพิ่มขึ้น และ แรงยกทางปีกขวา จะลดลง เป็นเหตุให้เครื่องบิน เอียงไปทางขวา. แต่ถ้าหมุนคันบังคับไปทางขวา ( หรือโยก คันบังคับ ไปทางซ้าย ) แรงบนปีกก็จะเกิดตรงกันข้าม เป็นเหตุให้เครื่องบินเอียงไปทางซ้าย

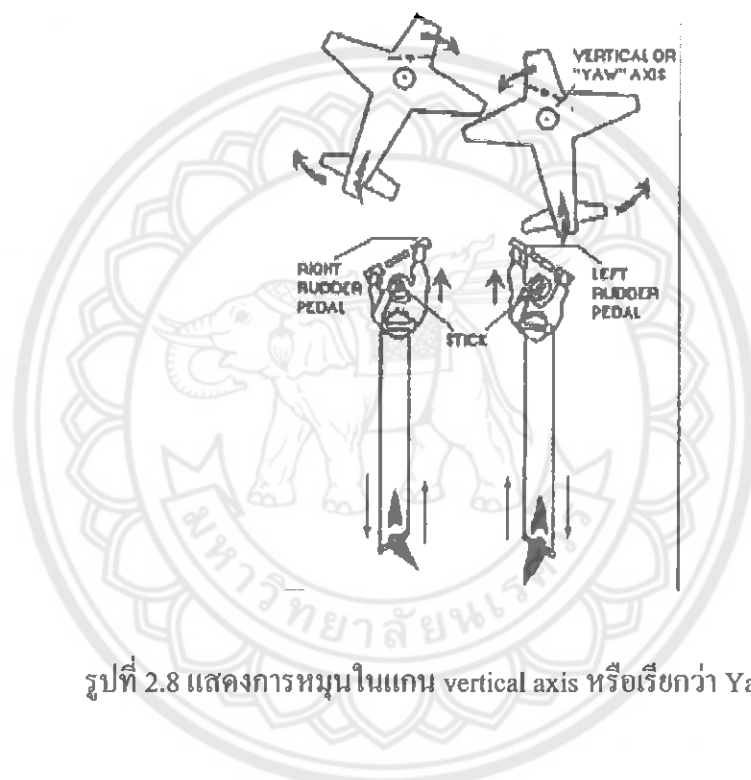


รูปที่ 2.7 แสดงการหมุนในแกน lateral axis หรือเรียกว่า Pitch axis

### 2.1.3.2 แกน Lateral Axis

แกน lateral axis เริ่มจากปลายปีกถึงปลายปีก ลักษณะการเคลื่อนไหวรอบแกน lateral axis เรียกลักษณะ นี้ว่า pitch axis อะไร เป็นเหตุให้เกิดการเคลื่อนไหวแบบ pitching มันคือ elevator ซึ่งติดตั้งอยู่ที่ แพนหาง ( horizontal stabilizer) elevator สามารถกระดกขึ้น หรือกระดกลง ได้ เมื่อนักบินบังคับคันบังคับ ( control column or stick) ถอยหลัง หรือไปข้างหน้า การดึง คัน

บังคับมาข้างหลัง จะบังคับให้ elevator กระดกขึ้น (ดูรูปภาพข้างบน ประกอบ) ลมที่ปะทะกับพื้นผิวด้านบนของ elevator ที่กระดกขึ้น ทำให้เกิดแรงกดมากขึ้น เป็นเหตุให้ส่วนหางของเครื่องบิน ถูกกดลง การเคลื่อนไหวยรอบแกน lateral axis, เมื่อหางเคลื่อนที่ลง (pitches) , ส่วนหัวของเครื่องบิน (pitches) เซ็ดขึ้น เครื่องบินไต่ระดับ การผลัก คันบังคับไปข้างหน้า เพื่อบังคับ elevator ให้กระดกลง ลมที่ปะทะ กับพื้นผิวด้านล่างของ elevator ที่กระดกลง ทำให้เกิดแรงด้านล่างมากขึ้น กว่าด้านบน เป็นเหตุให้ส่วนหาง ของเครื่องบินกระดกขึ้น ( pitch up ) และ หัวของเครื่องบิน กระดกลง เป็นเหตุให้หัวเครื่องบินตั้งลง



รูปที่ 2.8 แสดงการหมุนในแกน vertical axis หรือเรียกว่า Yaw axis

### 2.1.3.3 แกน Vertical Axis

แกนที่สาม ซึ่งผ่านจากหลังคาคานบน ทะลุท้องเครื่องบิน เรียกว่า แกน vertical หรือ yaw axis. หัวเครื่องบิน เคลื่อนที่ ไปรอบแกนนี้ จากด้านข้างหนึ่ง ไปอีกด้านข้างหนึ่ง Rudder ของเครื่องบิน ซึ่งเคลื่อนไหว โดยการที่นักบิน ใช้เท้าเหยียบไปบน แผ่น rudder ที่อยู่บนพื้น rudder ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว ของเครื่องบินรอบแกนนี้ Rudder เป็นแผ่นบังคับ ที่เคลื่อนไหว ติดอยู่กับ กระจงหาง การเหยียบลงบน ( rudder pedal ), แผ่นบังคับด้านขวา rudder ก็จะตัวไปทางขวา, เหยียบ แผ่นบังคับที่พื้น ไปทางซ้าย จะบังคับให้ rudder ตัว ไป ทางซ้าย, เมื่อนักบิน เหยียบแผ่น บังคับทางซ้าย, นั่นหมายความว่า ถ้านักบิน กำหนดทิศทางของ Rudder ให้ตัวไปทาง ทางซ้าย นี้ก็ ทำให้เกิดแรงกระทำต่อหาง แผ่นหางของเครื่องบิน หางของเครื่องบินก็จะเบนไปทางขวา และ หัว ของเครื่องบิน ก็จะเบนไปทางซ้าย(yaw to the left).

### 2.1.4 หลักการทาง Aerodynamics ของปีกเครื่องบินและ Airfoils

เป็นสิ่งที่สำคัญที่ต้องคำนึงถึง ได้แก่ พื้นที่หน้าตัดของเครื่องบิน, วัสดุชิ้นงานที่ใช้ทำพื้นผิวภายนอกของเครื่องบิน, และรูปทรงของลำตัวรวมทั้งปีกของเครื่องบิน

1. พื้นที่หน้าตัดของเครื่องบินมีส่วนทำให้ Aerodynamics มีค่าน้อย ขึ้นอยู่กับ ถ้าพื้นที่หน้าตัดมากก็จะมีแรงต้านอากาศมาก ถ้าพื้นที่หน้าตัดน้อยก็จะมีแรงต้านอากาศน้อย

2. วัสดุชิ้นงานที่ใช้ทำพื้นผิวภายนอกของเครื่องบิน มีผลทำให้อากาศไหลผ่านลำตัวของเครื่องบินและปีก ได้อย่างราบรื่น จะมีค่าแรงเสียดทานอากาศน้อย ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้วัสดุ

3. รูปทรงของลำตัวเครื่องบินและปีกเครื่องบิน เป็นปัจจัยที่สำคัญของเครื่องบิน ขึ้นอยู่กับการใช้งานของเครื่องบิน

- เครื่องบินต้องการเพดานบิน(ระดับการบินของเครื่องบิน)ที่สูงๆ จะต้องมีลักษณะปีกที่ยาว เพื่อให้ไม่ให้เกิดการทรงตัว แต่ความคล่องตัวของเครื่องบินจะน้อย

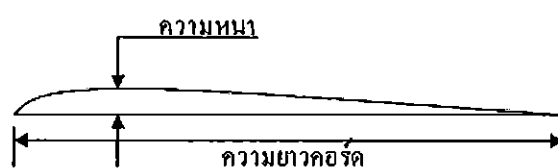
- เครื่องบินที่ต้องการความเร็วรูปทรงจะเพรียวลู่ลม เกิดการปั่นป่วนของอากาศที่ออกทางด้านท้ายของเครื่องบินมีค่าน้อย ปีกจะมีความขายน้อยกว่าเครื่องบินที่ต้องการบินเพดานบินสูงๆ อยู่พอสมควร ความหนาของปีกจะเล็ก

- เครื่องบินลำเลียง ความหนาของปีกจะมากกว่าชนิดอื่นๆ ลักษณะของปีกจะยาวพอสมควร พื้นที่ปีกจะมาก เครื่องบินแบบนี้จะไม่สามารถบินเร็วได้ เพราะมีแรงต้านอากาศมาก

#### 4. ลักษณะของ Airfoil

โดยทั่วไปวัตถุที่มีรูปลักษณะเป็นแผ่น มีความหนาน้อยเมื่อเทียบกับความกว้างและความยาว และสามารถร่อนหรือปลิวไปในอากาศได้ เราเรียกวัดดูนั้นว่า "แอร์ฟอยล์" (Airfoil) ซึ่งนิยมเรียกเป็นภาษาไทยว่า "แพนอากาศ" เช่นแผ่นกระดาษ หรือปีกของเครื่องบิน ปีกของเครื่องบินมีลักษณะเป็นแผ่นมีความยาวของปีกขวางกับแนวแกนของลำตัว เมื่อมองจากด้านบนจะเห็นเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าคล้ายไม้บรรทัดหรือเป็นแผ่นยาว ปลายโค้งมนเรียว บางแบบก็เป็นรูปสามเหลี่ยม แต่มีอยู่ลักษณะหนึ่งที่เหมือนกันคือ ถ้าวาดคี่ปีกออกตามขวางกับแนวแกนปีก คือให้รอยตัดขนาดกับแนวแกนลำตัว ก็จะมองเห็นรูปร่างของภาคตัดขวางที่คล้ายๆกัน ปีกของเครื่องบินแบบต่างๆจะมีลักษณะของรูปภาคตัดขวาง (Airfoil Section) คล้ายๆกับรูปคี่ขวางของคนที่งอซึ่งก็จะแตกต่างกันไปบ้างเช่นที่เรามองเห็นว่า โค้งมาก โค้งน้อย กว่ากันและขนาดแตกต่างกัน

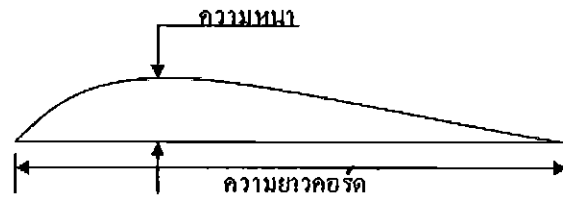
- Airfoil แบบมาตรฐาน



ถ้า Airfoil มีขนาดบางแต่ความยาวคอर्डเท่ากัน จะเหมาะกับเครื่องบินที่ต้องการความเร็ว เช่น เครื่องบินเจ็ท

ข้อดี Airfoil ที่บางจะทำให้แรงต้านอากาศน้อย เครื่องบินจึงสามารถทำความเร็วได้สูง

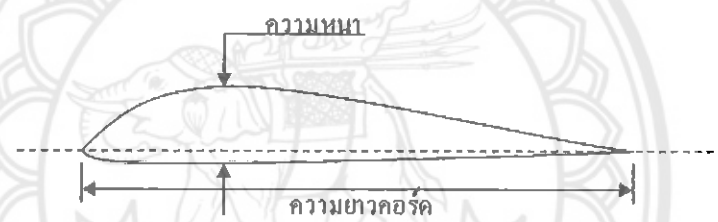
ข้อเสีย เครื่องบินที่ความเร็วต่ำได้ไม่เสถียร และบรรทุกน้ำหนักได้น้อย



ถ้า Airfoil มีขนาดหนาแต่ความยาวคอर्डเท่ากัน จะเหมาะสมกับเครื่องบินที่ต้องการบรรทุกแรงให้แรงยกที่สูง

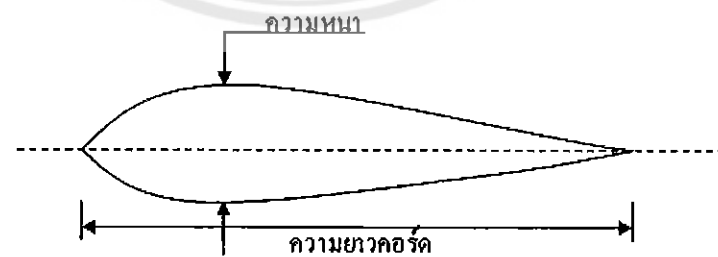
ข้อดี ให้แรงยกที่ดี และเครื่องบินสามารถบินที่ความเร็วต่ำได้อย่างเสถียร

- Airfoil แบบกึ่งสมมาตร



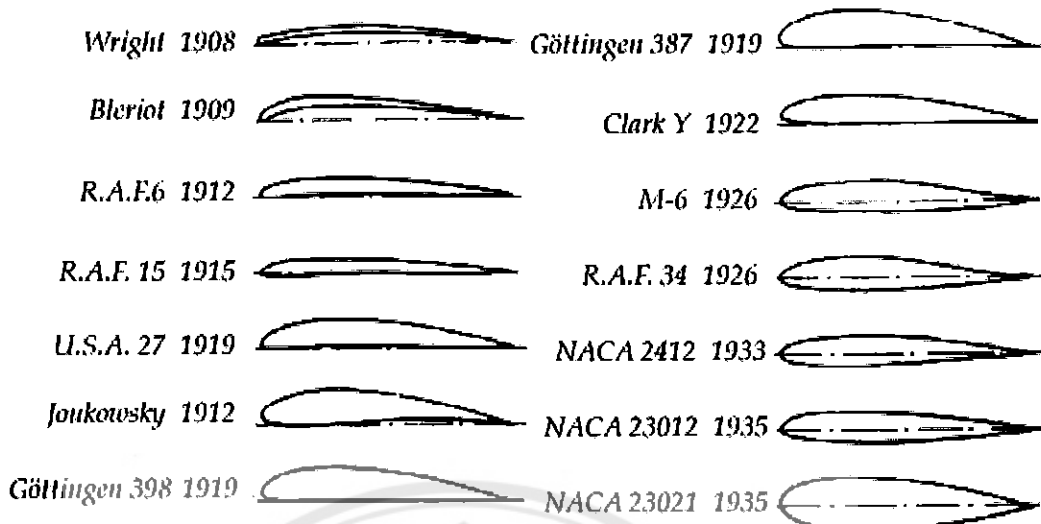
เหมาะสมกับเครื่องบินขับไล่ที่ต้องการความคล่องตัวแต่ความคล่องตัวน้อยกว่าแบบสมมาตร ซึ่งเงื่อนไขของแรงยกและความสามารถในการใช้ความเร็ว ก็เหมือนกับ Airfoil แบบมาตรฐาน คือ ถ้า Airfoil หนา ก็จะให้แรงยกที่ดีแต่เครื่องบินใช้ความเร็วได้ไม่สูงมาก แต่ถ้า Airfoil บาง ก็จะให้แรงยกน้อยแต่เครื่องบินสามารถให้ความเร็วได้สูง

- Airfoil แบบสมมาตร



เหมาะสมกับเครื่องบินผาดแผลง เพราะให้ความคล่องตัวสูง ซึ่งเงื่อนไขของแรงยกและความสามารถในการใช้ความเร็วก็จะเหมือนกับ Airfoil แบบข้างต้นที่กล่าวมา ซึ่งหากต้องการบินที่ความเร็วสูง ก็ต้องลดขนาดความหนาของ Airfoil

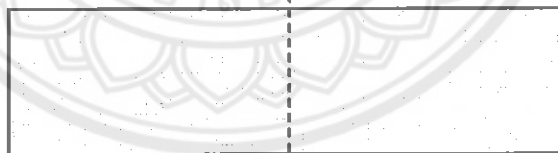




รูปที่ 2.9 ลักษณะของ Airfoil แบบต่าง ๆ

2.1.5 ลักษณะปีกเครื่องบินแบบต่าง ๆ เบื้องต้น

1. ปีกแบบสมมาตร มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าทั้งสองข้างของปีก ดังรูปที่ 2.10 เป็นปีกแบบแรกที่มีมนุษย์สร้างขึ้น ปีกแบบนี้มีความเสถียรภาพให้แรงยกและอัตราการขึ้นที่ดี แต่ความคล่องตัวต่ำ เหมาะสมกับเครื่องบินที่ใช้ความเร็วที่ไม่สูงมากนัก

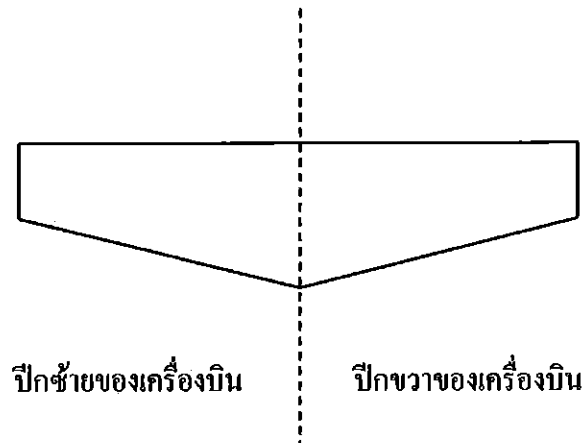


ปีกซ้ายของเครื่องบิน

ปีกขวาของเครื่องบิน

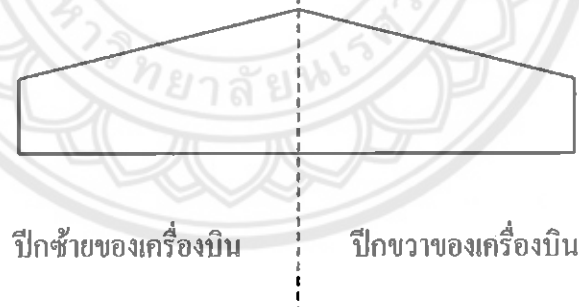
รูปที่ 2.10 ปีกเครื่องบินแบบสมมาตรรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

2. ปีกแบบลู่น้ำ มีลักษณะที่ขอบปีกซ้ายและขวาเอียงดูไปทางด้านหน้าของเครื่องบิน ดังรูปที่ 2.1 1 เป็นปีกที่ไต่ระดับได้ดี มีความคล่องตัวสูง เหมาะสำหรับเครื่องบินฝึกขั้นสูง ผาดแผลง และเครื่องบินรบขนาดเล็กที่ใช้ความเร็วไม่ถึง 1.0 มัค สามารถหมุนตัวในแกน Roll Point ได้เป็นอย่างดี และยังมีอัตราการขึ้นที่ดีอีกด้วย



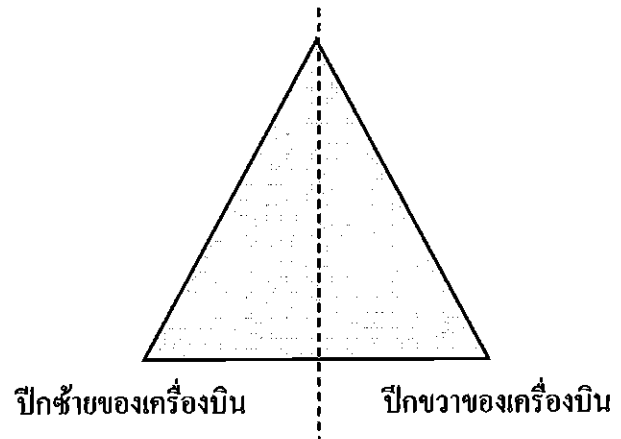
รูปที่ 2.11 ปีกเครื่องบินแบบลู่อื่น

3. ปีกแบบลู่อื่น มีลักษณะที่ขอบปีกซ้ายและขวาเอียงลู่อื่นไปทางด้านหลังของเครื่องบิน ดังรูป 2.12 ปีกแบบนี้จะให้ความเร็วได้ดีกว่าสองแบบข้างต้น สามารถหมุนตัวในแกน Roll Point ได้ดีเช่นเดียวกับปีกแบบลู่อื่น แต่อัตราเร่งต่ำกว่าปีกแบบลู่อื่นเล็กน้อย เหมาะสำหรับเครื่องบินฝึกขั้นสูง และเครื่องบินรบขนาดเล็กที่ใช้ความเร็วไม่ถึง 1.0 มัค



รูปที่ 2.12 ปีกเครื่องบินแบบลู่อื่น

4. ปีกแบบเดลต้า (Delta) มีลักษณะเป็นเหมือนรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่ว ดังรูปที่ 2.13 ปีกแบบนี้เป็นปีกที่ให้ความเร็วและความคล่องตัวสูง แต่อัตราเร่งต่ำมาก เกิดอาการ Stall ได้ง่ายมาก เหมาะกับเครื่องบินรบขั้นสูงที่มีเทคโนโลยี Autopilot ซึ่งเทคโนโลยีดังกล่าวนี้จะเข้ามาช่วยในการควบคุมเพื่อให้ได้เสถียรมากขึ้น ปีกแบบนี้สามารถทำความเร็วได้ถึงระดับ Hypersonic

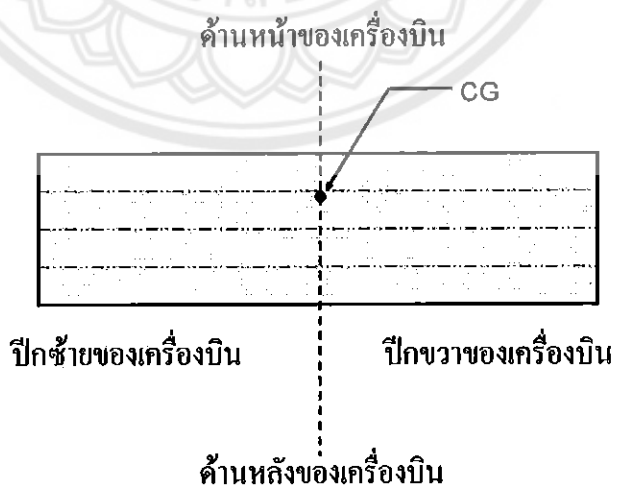


รูปที่ 2.13 ปีกเครื่องบินแบบ Delta

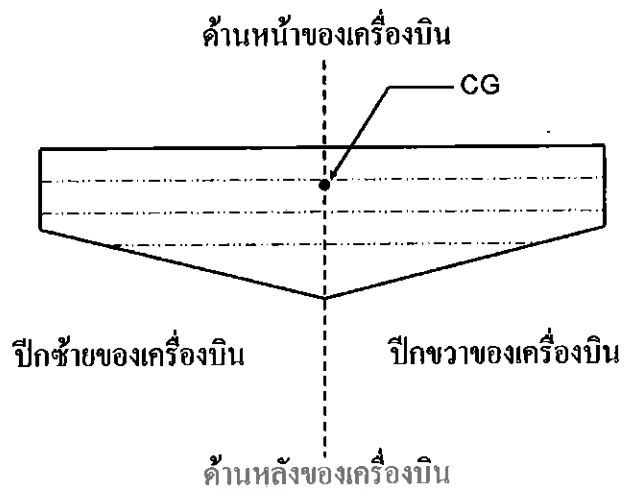
หมายเหตุ : อัตราเร่ง หมายถึง สามารถรักษาสมดุลของเครื่องบิน ในสภาวะที่ไม่มีแรงจลล  
 ยกตัวอย่างเช่น อัตราเร่ง หมายถึง เครื่องบินจะมีเวลาในการประกอบเครื่องให้ร้อนอยู่  
 ในอากาศได้นาน ในสภาวะที่ไม่มีแรงจลล

2.1.6 การตั้งจุดศูนย์กลางถ่วงของเครื่องบิน Center of Gravity (CG)

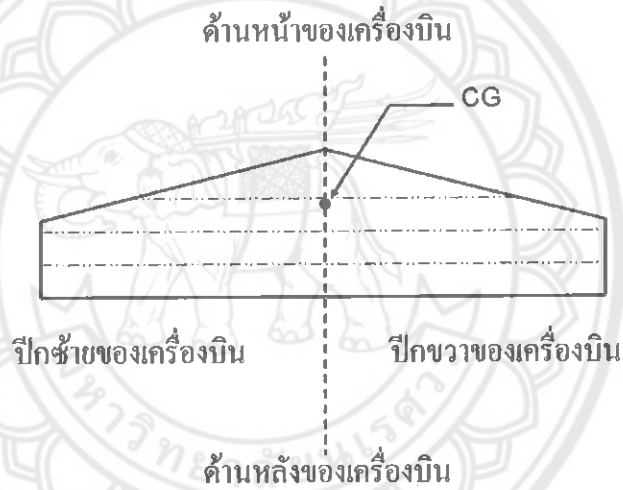
การตั้งจุดศูนย์กลางถ่วงของเครื่องบินนั้น จะต้องทำให้น้ำหนักรวมทั้งหมดของเครื่องบินอยู่ที่ปีก  
 จากด้านหน้าของเครื่องบินที่ 1 ใน 3 ถึง 1 ใน 4 ของพื้นที่ปีกในแนวยาวทั้งหมด มองจาก Top view  
 แสดงให้ดูดังรูปต่อไปนี้



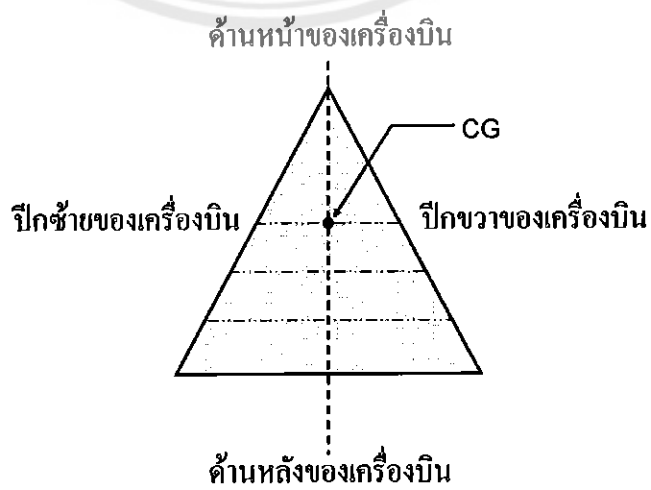
รูปที่ 2.14 แสดงจุด CG ของปีกแบบสมมาตรรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า



รูปที่ 2.15 แสดงจุด CG ของปีกแบบลู่น้ำ



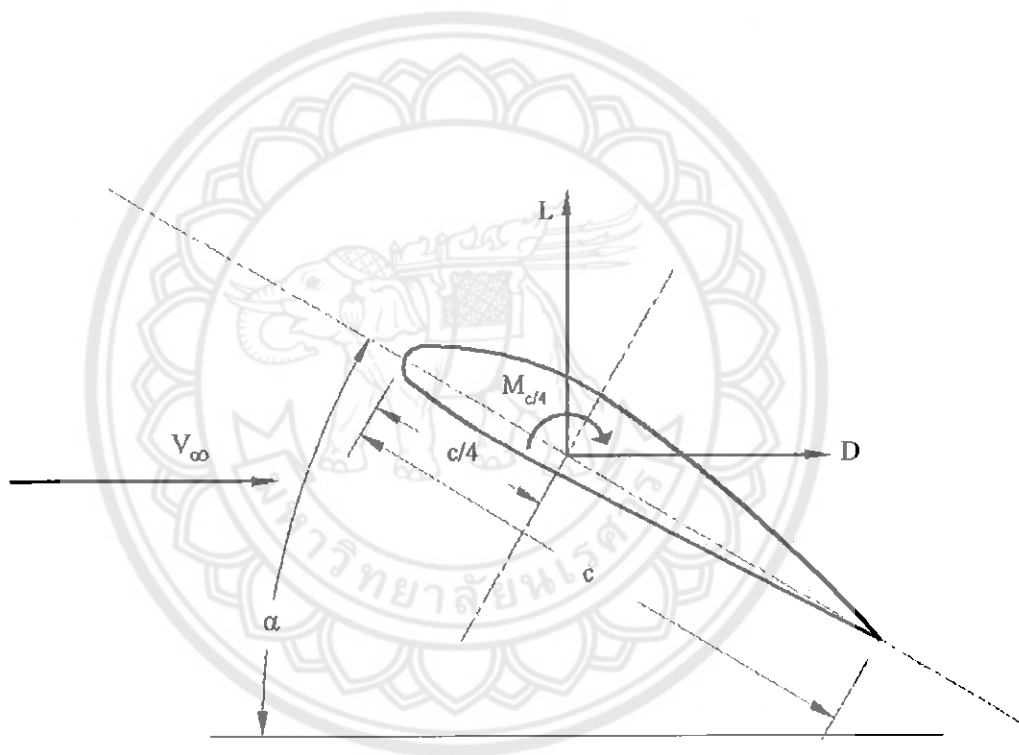
รูปที่ 2.16 แสดงจุด CG ของปีกแบบลู่น้ำหลัง



รูปที่ 2.17 แสดงจุด CG ของปีกแบบ Delta

### 2.1.7 หลักการวิเคราะห์แรงที่ Airfoil

การวิเคราะห์หลักการบินและสมรรถนะของเครื่องบิน จะพิจารณาที่ปีกเครื่องบิน(Wing) และ Airfoil ของปีกเป็นหลัก เพราะจะเป็นส่วนที่ใช้ผลิตแรงยกให้กับเครื่องบิน และเมื่อเครื่องบินจะทำการบินขึ้นผู้บังคับเครื่องจะต้องบังคับ Elevator Up (เพื่อให้ปีกเครื่องบินทำมุมกับแนวระดับ เรียกมุมนี้ว่า Angle of attack  $\alpha$ ) เครื่องบินจึงจะมีแรงยกที่มากขึ้นกว่าเดิม ทำให้เครื่องบินมีแรงยกตัวขึ้นสู่ท้องฟ้าได้อย่างรวดเร็ว การพิจารณาจึงต้องดูจาก แรงกระทำที่ปีกเครื่องในขณะที่มี Angle of attack ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 แรงกระทำที่ปีกเครื่อง ในขณะที่มี Angle of attack ( $\alpha$ )

ดังนั้น ค่าแรงยก (Lift) แรงจุด (Drag) และแรงหมุน (Moment) หาได้จากสูตร

$$L = q_{\infty} \times S \times c_l \quad \dots\dots (1.1)$$

$$D = q_{\infty} \times S \times c_d \quad \dots\dots (1.2)$$

$$M_{c/4} = q_{\infty} \times S \times c \times c_{m,c/4} \quad \dots\dots (1.3)$$

โดยที่	$L$	คือ แรงยก (Lift)
	$D$	คือ แรงฉุด (Drag)
	$M_{c/4}$	คือ แรงหมุน(ที่จุด CG ของปีก) (Moment)
	$q_{\infty}$	คือ ความดันจลน์ของอากาศ (Dynamic pressure)
	$S$	คือ พื้นที่ปีกในมุมมอง Top view (Wing area)
	$c$	คือ ความยาวคอร์ด (Chord length)
	$c_l$	คือ สัมประสิทธิ์แรงยก (Lift coefficient)
	$c_d$	คือ สัมประสิทธิ์แรงฉุด (Drag coefficient)
	$c_{m,c/4}$	คือ สัมประสิทธิ์แรงหมุน (Moment coefficient)

เนื่องจาก ค่า  $c_l$ ,  $c_d$  และ  $c_{m,c/4}$  เป็นฟังก์ชันกับ Angle of attack ( $\alpha$ ) และ Reynolds number (Re) ดังนั้นหากต้องการทราบ ค่า  $c_l$ ,  $c_d$  และ  $c_{m,c/4}$  ก็ต้องหาค่า Angle of attack ( $\alpha$ ) และ Reynolds number (Re) ก่อน แล้วนำค่าทั้งสองไปเทียบหา ค่า  $c_l$ ,  $c_d$  และ  $c_{m,c/4}$  ในแผนภาพข้อมูลของ Airfoil ที่ได้ทำการออกแบบมา ก็จะได้ ค่า  $c_l$ ,  $c_d$  และ  $c_{m,c/4}$  ตามต้องการ ค่าความดันจลน์ของอากาศ (Dynamic pressure) และ Reynolds number (Re) ก็สามารถหาได้จากสูตรต่อไปนี้

$$q_{\infty} \equiv \frac{1}{2} \rho_{\infty} V_{\infty}^2 \quad \dots\dots (1.4)$$

$$Re = \frac{\rho_{\infty} V_{\infty} c}{\mu_{\infty}} \quad \dots\dots (1.5)$$

โดยที่	$\rho_{\infty}$	คือ ความหนาแน่นของอากาศ (Free-stream density)
	$V_{\infty}$	คือ ความเร็วลมที่มาปะทะเครื่องบิน (Free-stream velocity)
	$\mu_{\infty}$	คือ ความหนืดของอากาศ (Free-stream viscosity)
	$c$	คือ ความยาวคอร์ด (Chord length)

## 2.2 ทฤษฎีการส่งสัญญาณ

การส่งสัญญาณ หมายถึง การส่งข้อมูลข่าวสารจากจุด ๆ หนึ่ง ซึ่งเรียกว่า จุดเริ่มต้นหรือจุดส่งสัญญาณไปยังจุดปลายทางหรือจุดรับข่าวสาร โดยอาศัยตัวกลางหรือพาหะนำสัญญาณ ซึ่งโดยพื้นฐานการสื่อสารข้อมูล หรือการส่งสัญญาณนั้นจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วนคือ

1. ตัวส่งสัญญาณหรือแหล่งกำเนิด (Source)
2. ตัวกลางหรือพาหะนำสัญญาณ (Medium)
3. ตัวรับหรือผู้รับสัญญาณ (Sink)



รูปที่ 2.19 โคอระแกรมของการส่งสัญญาณ

### 2.2.1 รูปแบบทิศทางของการส่งสัญญาณสื่อสาร

รูปแบบทิศทางของการส่งสัญญาณสื่อสารมี 3 รูปแบบ

1. การส่งสัญญาณแบบทางเดียว (Simplex) หมายถึงผู้ส่งสามารถส่งข้อมูลข่าวสารผ่านตัวกลางไปให้ผู้รับได้ฝ่ายเดียวซึ่งผู้รับข่าวสารไม่สามารถโต้ตอบกลับไปได้ เช่น วิทยุกระจายเสียง, TV, ข่าวสารทางนิตยสารต่าง ๆ
2. การส่งสัญญาณแบบกึ่งทางคู่ (Half – Duplex) หมายถึงผู้ส่งสามารถส่งข่าวสารผ่านตัวกลางไปให้ผู้รับได้และผู้รับก็สามารถโต้ตอบกลับไปให้ผู้ส่งได้แต่ต้องผลัดกัน รับ – ส่ง เช่น วิทยุมือถือ, FAX
3. การส่งสัญญาณแบบทางคู่ (Full – Duplex) หมายถึงการส่งสัญญาณที่ผู้รับและผู้ส่งสามารถโต้ตอบกันได้โดยทันทีทันใด เช่น การคุยโทรศัพท์, สนทนา

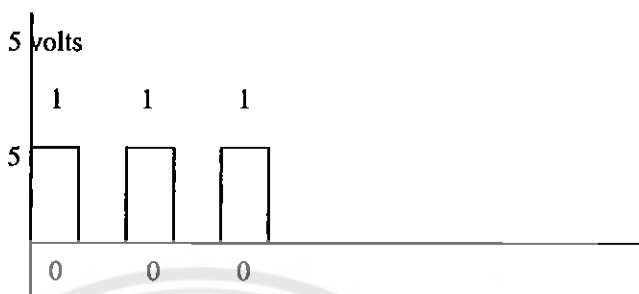
### 2.2.2 สัญญาณ (Signal)

สัญญาณ (Signal) ที่ใช้เป็นพาหะสำหรับส่งข้อมูลสัญญาณที่ใช้แทนข้อมูล และนำพาข้อมูลผ่านสายส่ง มี 2 รูปแบบ คือ

#### 1. สัญญาณดิจิทัล (Digital)

สัญญาณดิจิทัล หมายถึง สัญญาณที่ไม่ต่อเนื่องทางเวลา มีค่าความสูงต่ำเพียงสองระดับ จึงหะของความสูงต่ำของสัญญาณจะแทนความหมายของข้อมูลที่ส่ง บางครั้งอาจเรียกว่า “Binary” เนื่องจากมีระดับอ้างอิงเพียง 2 ระดับเท่านั้น สัญญาณดิจิทัล จะอยู่ในรูปของพัลส์ไฟฟ้าที่เหลี่ยมบนช่องสัญญาณ ข้อมูลที่ถูกแปลงเป็นช่องสัญญาณดิจิทัล จะถูกนำเข้าสู่ช่องสัญญาณในอนุกรม

ของบิต 0 หรือ 1 ซึ่งแสดงด้วยค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสูง หรือต่ำบนช่องสัญญาณ เช่น สัญญาณดิจิทัลบนช่องสัญญาณหนึ่งในช่วงเวลาหนึ่ง บิต 1 แสดงโดยค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 5 volts ขณะที่บิต 0 แทนด้วย 0 volts ดังแสดงในรูปด้านล่าง



รูปที่ 2.20 ลักษณะการส่งสัญญาณแบบดิจิทัล (Digital)

ในทางอุดมคติแล้ว การส่งสัญญาณดิจิทัลน่าจะเป็นวิธีการการส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ผ่านสายสัญญาณที่ดีที่สุด เนื่องจากข้อมูลที่เก็บในคอมพิวเตอร์จะอยู่ในรูปของไบนารีคืออนุกรมของเลข 0 หรือ 1 อยู่แล้ว

แต่ในทางปฏิบัติแล้วการส่งสัญญาณแบบดิจิทัล ยังเผชิญปัญหาความผิดเพี้ยนของสัญญาณที่หักผันไปตามระยะทางมากขึ้นเมื่อเดินทางบนสายสัญญาณที่ความเร็วสูงขึ้น กล่าวคือเมื่อสัญญาณถูกส่งด้วยความเร็วสูงขึ้น นั้นหมายความว่า ช่องว่างระหว่างพัลส์ไฟฟ้ายิ่งแคบน้อยลง ยิ่งระยะทางไกล โอกาสที่กำลังของสัญญาณไฟฟ้าอ่อนลงยิ่งมีมาก เป็นผลให้ตัวรับสัญญาณไฟฟ้าไม่สามารถแยกสัญญาณได้ถูกต้อง

เพื่อจัดการกับปัญหาคารคลงของระดับสัญญาณ ได้มีการติดตั้งอุปกรณ์ทวนสัญญาณ (Repeater) อยู่เป็นระยะ ๆ บนสายส่งระหว่างอุปกรณ์ปลายทางและต้นทาง เมื่ออุปกรณ์ทวนสัญญาณตรวจรู้ว่าระดับคุณภาพของสัญญาณลดลง (Degrade) เมื่อนั้นอุปกรณ์ทวนสัญญาณจะสร้างสัญญาณที่รับเข้ามาใหม่ก่อนส่งต่อไปบนช่องสัญญาณ

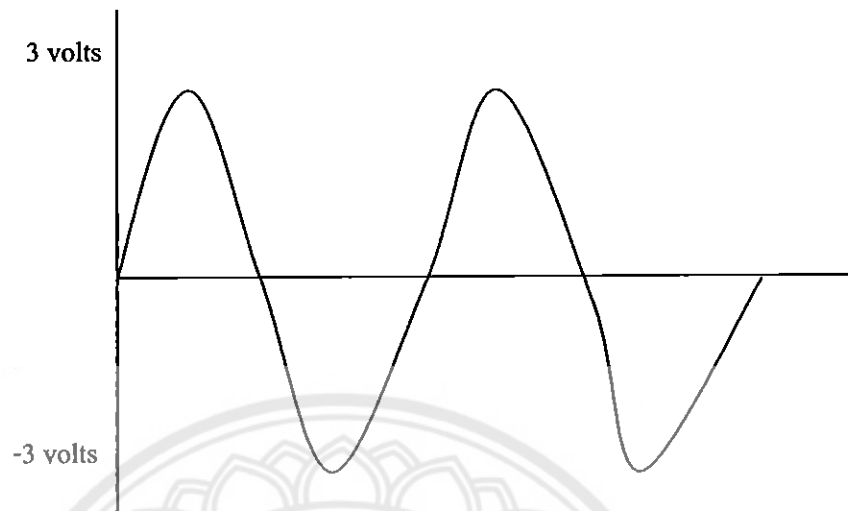
## 2. สัญญาณอนาล็อก (Analog)

สัญญาณอนาล็อก หมายถึง สัญญาณที่ใช้ค่าต่อเนื่องของความต่างศักย์ไฟฟ้าบนช่องสัญญาณแทนข้อมูล สัญญาณจะมีความต่อเนื่องทางเวลา ค่าความสูงต่ำของสัญญาณ เฟส และความถี่ แทนความหมายของข้อมูลที่ต้องการส่ง ซึ่งสามารถใช้สัญญาณอนาล็อกส่งข้อมูลด้วยบิต 0 หรือ 1 หรือส่งสัญญาณหลากหลาย เช่น สัญญาณเสียงและภาพ

แสง เสียง คลื่นวิทยุ และสัญญาณอนาล็อกอื่น ๆ สามารถเดินทางผ่านอากาศในรูปของคลื่นความถี่ได้เหมือนเดินทางผ่านสาย



ลักษณะของคลื่นจะกำหนดโดยขนาด หรือ แอมพลิจูด (amplitude) และความถี่ (frequency)



รูปที่ 2.21 ลักษณะการส่งสัญญาณแบบอะนาล็อก (Analog)

แอมพลิจูด คือ ความสูงของคลื่น แอมพลิจูดของคลื่น ขึ้นอยู่กับช่วงของความต่างศักย์ไฟฟ้าบนสายสัญญาณ เช่น ช่วงกว้างความต่างศักย์ไฟฟ้า ระหว่าง -5 ถึง +5 volts จะสร้างคลื่นที่มีขนาดใหญ่มากกว่า ช่วงกว้างความต่างศักย์ -3 กับ +3 volts

ความถี่ (frequency) หมายถึง จำนวนครั้งที่เกิดคลื่นซ้ำ ในรูปแบบเดิมในช่วงเวลาหนึ่ง คลื่นจะถูกแกว่งตามความถี่ที่กำหนด หน่วยของจำนวนครั้งที่คลื่นแกว่ง ในเวลาหนึ่งวินาทีเรียกว่า เฮิรท์ซ (Hertz: Hz) ตัวอย่างเช่น ถ้าคลื่นแกว่งซ้ำไปมาในรูปแบบเดิม 30 ครั้งในหนึ่งวินาที หมายความว่าคลื่นแกว่งที่ 30 รอบต่อ 1 วินาที หรือ 30 Hz ถ้าคลื่นแกว่งด้วยความถี่สูงในหลักพันรอบต่อวินาที จะมีหน่วยวัดเป็น กิโลเฮิรท์ซ (KHz) ถ้าเป็นหลักล้านรอบ หน่วยวัดเป็น เมกะเฮิรท์ซ (MHz) และหลักพันล้านรอบมีหน่วยวัดเป็น กิกะเฮิรท์ซ (GHz)

ในปัจจุบันสัญญาณดิจิทัลได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในโลกแห่งการสื่อสาร ทั้งนี้ เนื่องจากการส่งสัญญาณดิจิทัลมีโอกาสให้ความถูกต้องมากกว่าการส่งแบบอนาลอก เพราะมีระดับอ้างอิงเพียง 2 ระดับ ทั้งให้ความเร็วของการส่งข้อมูลสูงขึ้นด้วย

สัญญาณอนาลอกและสัญญาณดิจิทัลสามารถแปลงกลับไปกลับมาได้ ด้วยอุปกรณ์แปลงสัญญาณที่เรียกว่า Converter ในกรณีที่ต้องการแปลงจากอนาลอกเป็นดิจิทัล จะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Analog to Digital Converter (ADC) และถ้าต้องการแปลงจากดิจิทัลเป็นอนาลอก จะใช้ อุปกรณ์ที่เรียกว่า Digital to Analog Converter (DAC)

### 2.2.3 หลักการส่งสัญญาณของกล้องไร้สาย (Wireless Camera)

กล้องไร้สายจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลัก คือ ตัวกล้องจับภาพและเป็นภาคส่งสัญญาณ (Camera), ภาครับสัญญาณ (Receiver) เป็นตัวรับสัญญาณจากภาคส่งสัญญาณ, และจอแสดงผลภาพ (Monitor)

หลักการส่งสัญญาณของกล้องไร้สาย คือ กล้องจับสัญญาณภาพและส่งออกมาเป็นคลื่นความถี่ในระดับ GHz และกระจายออกในแนวรัศมีเป็นระยะทางตามสเปคของกล้อง มายังภาครับสัญญาณซึ่งอยู่ในรัศมีที่กล้องส่งสัญญาณถึง ภาครับก็จะทำการรับสัญญาณและแปลงสัญญาณความถี่มาเป็นสัญญาณภาพแบบ PAL (สัญญาณ Analog) ความละเอียดอยู่ที่ 400 - 550 เส้น แสดงออกมาที่ Monitor แสดงได้ดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 2.22 แผนผังแสดงกระบวนการ การส่งสัญญาณของกล้องไร้สาย (Wireless Camera)

### 2.3 ระบบการบันทึกสัญญาณ

ระบบการบันทึกสัญญาณ คือ การเก็บรักษาสัญญาณนั้นไว้เพื่อที่จะสามารถเรียกกลับมาดูอีกได้ ซึ่งอาจจะเก็บไว้ในรูปแบบของวิดีโอเทป เก็บไว้ในคอมพิวเตอร์ในรูปแบบดิจิทัล หรือแบบอื่นๆ

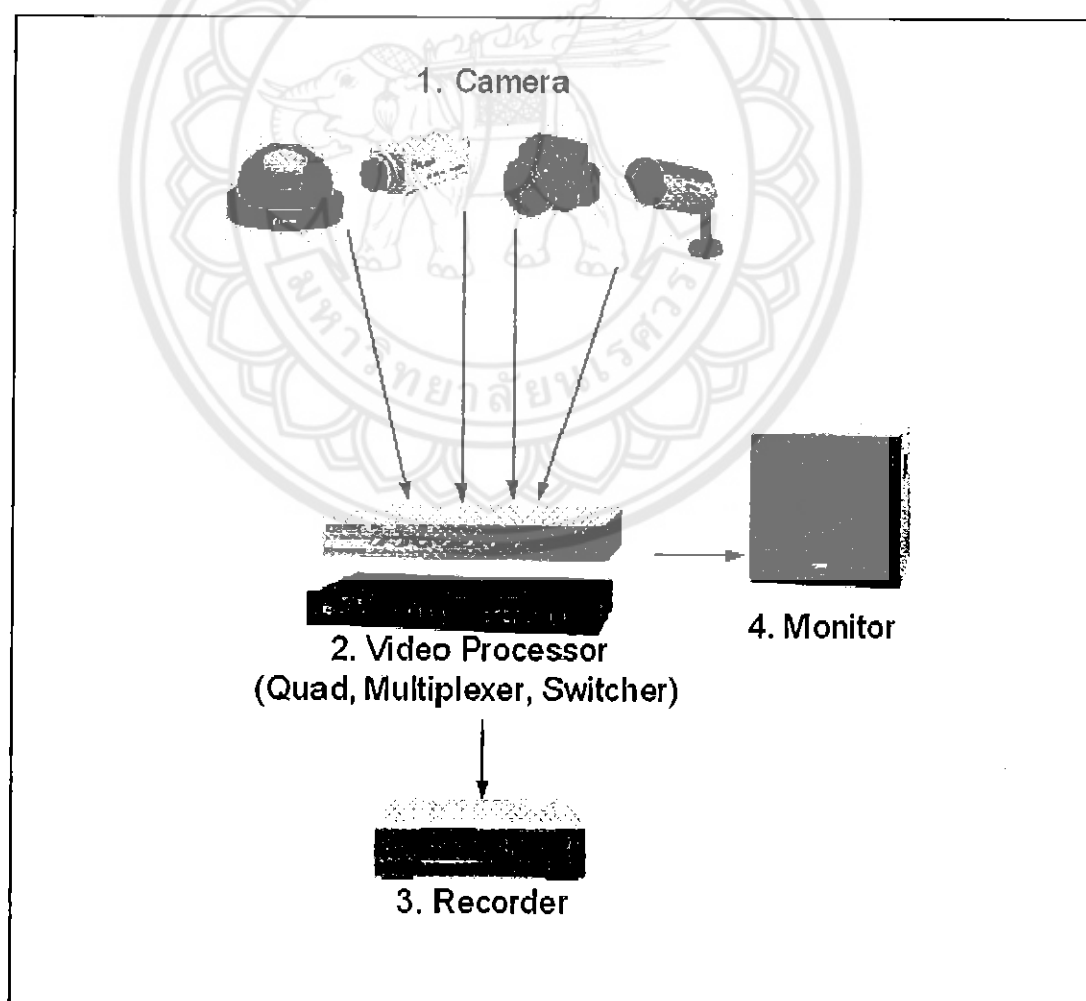
อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการบันทึกสัญญาณ ได้แก่

1. ชุดกล้อง (Camera) รับส่งสัญญาณ แบบวงจรปิด หรือ ไร้สาย
2. เครื่องรับช่องสัญญาณแบบหลายช่องสัญญาณ (Video Processor) ใช้เมื่อมีกล้องหลายตัว หรือต้องการแยกช่องสัญญาณออกไปต่อเข้ากับอุปกรณ์อื่น

3. เครื่องบันทึก (Recorder) ซึ่งอาจเป็นเครื่องบันทึกวิดีโอ (Video Recorder)
4. เครื่องแสดงสัญญาณ เช่น Monitor หรือ โทรทัศน์ (TV)
5. เครื่องคอมพิวเตอร์ (Computer) ซึ่งเป็นได้ทั้งเครื่องแสดงสัญญาณและเครื่องบันทึกสัญญาณแต่คอมพิวเตอร์ต้องติดต่อกับอุปกรณ์ Capture Card ก่อนจึงจะทำงานได้

### 2.3.1 ระบบการบันทึกสัญญาณด้วยเทป

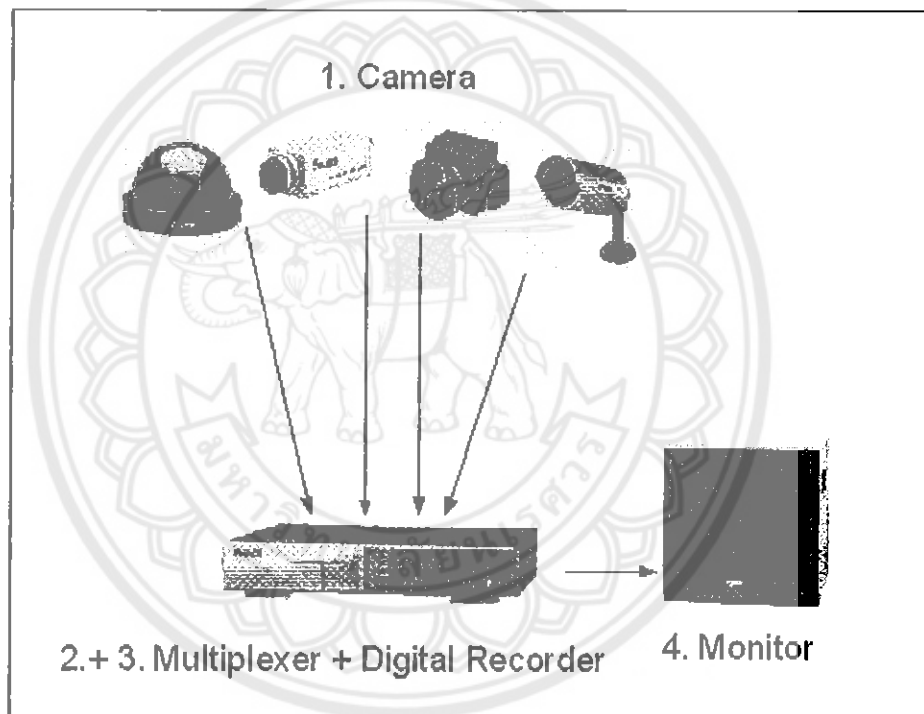
ในกรณีที่ต้องการใช้งานกล้องเพียงตัวเดียว อุปกรณ์ที่ใช้ไม่จำเป็นต้องมี Video Processor ก็ได้ คือต่อสัญญาณจากกล้องโดยตรงเข้าสู่เครื่องบันทึกเทป และจากเครื่องบันทึกเทปสู่มอนิเตอร์เลยก็ได้ แต่หากใช้งานหลายกล้อง ระบบแบบนี้จะมีอุปกรณ์ที่แยกขึ้นกันทั้ง 4 ส่วน ดังภาพ การบันทึกแบบนี้หากต้องการเก็บหลักฐานการบันทึกไว้นานๆ จำเป็นจะต้องมีม้วนเทปไว้จำนวนมากเพื่อเปลี่ยนตามระยะเวลาที่เนื้อเทปหมด



รูปที่ 2.23 แผนผังของระบบบันทึกสัญญาณด้วยเทป

### 2.3.2 ระบบการบันทึกด้วยเครื่องบันทึกภาพดิจิทัล (Stand-alone Digital Video Recorder – DVR)

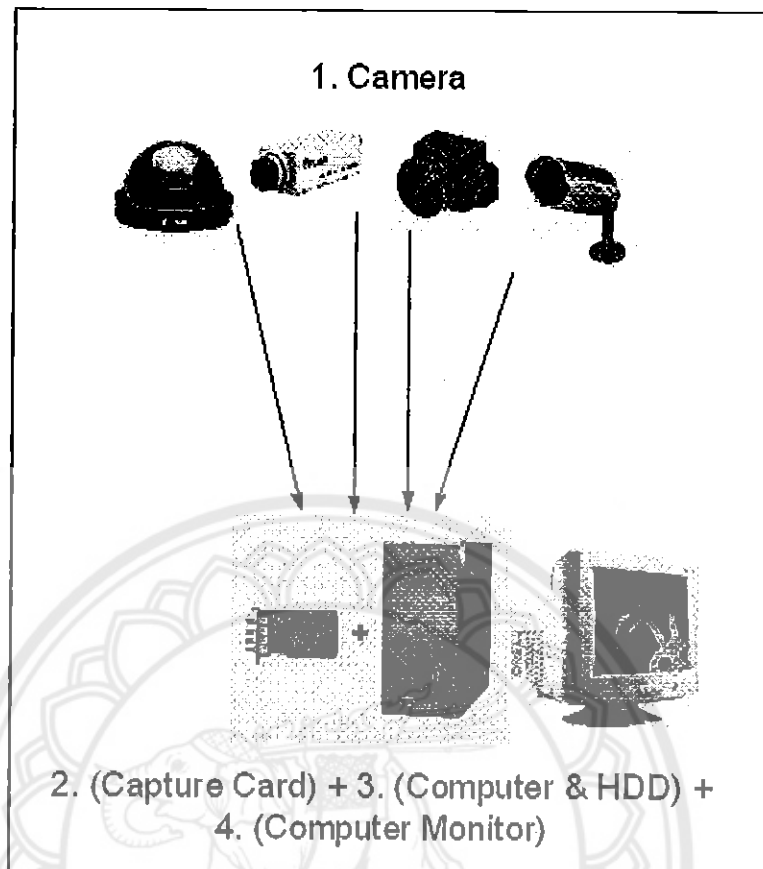
เครื่องบันทึกชนิดนี้จะรวมส่วนของ Video Processor (2) และ ส่วนบันทึก Recorder (3) ไว้ในเครื่องเดียวกัน โดยมากจะเป็นแบบมัลติเพลกเซอร์ มีจำนวนช่องสัญญาณ 4, 9 และ 16 ช่อง ตามความต้องการของผู้ใช้ และบันทึกภาพลงสู่ฮาร์ดดิสก์ ซึ่งชนิดและขนาดของฮาร์ดดิสก์เป็นแบบ IDE-ATA ที่มีขายอยู่ตามร้านอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ทั่วไป ยิ่งขนาดความจุของฮาร์ดดิสก์มีมาก ก็จะยิ่งสามารถบันทึกได้ยาวนานยิ่งขึ้น การดูภาพจากเครื่องก็เพียงแค่ต่อมอนิเตอร์หรือทีวีเข้ากับตัวเครื่องเท่านั้น



รูปที่ 2.24 แผนผังของระบบการบันทึกสัญญาณด้วยเครื่องเครื่องบันทึกภาพดิจิทัล

### 2.3.3 ระบบการบันทึกสัญญาณด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Based Advance DVR)

ด้วยความสามารถของระบบปฏิบัติการ Windows และการที่ใช้ซอฟต์แวร์เป็นพื้นฐาน ทำให้ระบบการบันทึกด้วยคอมพิวเตอร์มีความหลากหลายของลูกเล่นและเทคนิคการใช้งานต่างๆ อีกทั้งยังรองรับการพัฒนาขีดความสามารถในอนาคต ระบบนี้จึงเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจสำหรับท่านที่มีขีดความสามารถในการใช้งานระบบคอมพิวเตอร์สูงอยู่แล้ว รวมถึงผู้ที่ต้องการพึงพาประโยชน์จากขีดความสามารถของมัน ซึ่งมีให้มากกว่าระบบอื่นๆ



รูปที่ 2.25 แผนผังของระบบการบินที่กักสัญญาณด้วยคอมพิวเตอร์

## 2.4 หลักการของเครื่องบินบังคับวิทยุ

เครื่องบินบังคับวิทยุ จะต้องมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมเครื่องบิน มาติดตั้งบนเครื่องบิน หลังจากที่ได้ทำเครื่องบินเสร็จแล้ว อุปกรณ์หลักที่สำคัญคือ

### 2.4.1 วิทยุบังคับ

ทำหน้าที่ส่งคลื่นวิทยุระบบ Pulse Code Modulation (PCM) ไปยังภาครับ (Receiver) โดยวิทยุสามารถปรับความถี่คลื่นส่งสัญญาณให้ตรงกับ Receiver ได้ วิทยุที่ใช้ในการบังคับเครื่องจะต้องมีช่องสัญญาณการควบคุมอย่างน้อย 4 ช่องสัญญาณขึ้นไป เพราะจะต้องใช้ควบคุม 4 จุดเป็นสำคัญ คือ

- ช่องสัญญาณที่ 1 ใช้ควบคุมอัตราการเร่งหรือเบรคเครื่องยนต์
- ช่องสัญญาณที่ 2 ใช้ควบคุม Aileron ในการเคลื่อนที่ในแกน Roll axis
- ช่องสัญญาณที่ 3 ใช้ควบคุม Elevator ในการเคลื่อนที่ในแกน Pitch axis
- ช่องสัญญาณที่ 4 ใช้ควบคุม Rudder ในการเคลื่อนที่ในแกน Yaw axis

ถ้าหากวิทยุบังคับมีช่องสัญญาณมีกว่า 4 ช่องสัญญาณ ก็สามารถใส่ควบคุมชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์อื่นๆที่ต้องการบังคับได้ ยกตัวอย่างเช่น

ช่องสัญญาณที่ 5 ใช้ควบคุม Flap เพื่อช่วงเพิ่มแรงยกในตอนขึ้นและตอนลง

ช่องสัญญาณที่ 6 ใช้ในการควบคุมการพับเก็บของล้อ

ช่องสัญญาณที่ 7 ใช้ในการควบคุมเบรคอากาศ

ช่องสัญญาณที่ 8 ใช้ในการควบคุมเบรคล้อ

#### 2.4.2 ภาครับ (Receiver)

ทำหน้าที่รับคลื่นสัญญาณวิทยุ แล้วควมนำหนักของการจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์ต่างๆที่ต้องการ เช่น ให้กับ Servo และ Speed Brushless, Receiver จะต้องมีช่องการรับสัญญาณเหมือนกับวิทยุ และต้องเลือกขั้วต่อและช่องสัญญาณให้ใช้กับวิทยุได้

#### 2.4.3 Servo

ทำหน้าที่เป็นแขนกล ไปดันชิ้นส่วนของเครื่องบินที่ต้องการ ตามน้ำหนักของกระแสที่จ่ายมาจาก Receiver (Servo จะเปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล) เช่น การติดตั้ง Servo ไว้ที่ Elevator, Rudder, และ Aileron เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องบิน

#### 2.4.4 Brushless Speed

ทำหน้าที่รับน้ำหนักของกระแสไฟฟ้าจาก Receiver เพื่อจ่ายให้กับ Motor ถ้าน้ำหนักของกระแสไฟฟ้าไหลมากจะเป็นการเร่ง Motor ให้หมุนเร็วขึ้น แต่ถ้าน้ำหนักของกระแสไฟฟ้าที่ไหลมาน้อยก็จะเป็นการทำให้ Motor หมุนช้าลง

#### 2.4.5 Brushless Motor

ทำหน้าที่หมุนใบพัดของเครื่องบิน(เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานกล) เพื่อเพิ่มหรือลดกำลังที่ให้กับเครื่องบิน ให้เครื่องบินมีแรงจลหรือความเร็วตามที่ต้องการ

#### 2.4.6 Li-Po Battery

ทำหน้าที่จ่ายไฟให้กับระบบเช่น Receiver, Brushless motor s, and Servo เป็นต้น โดยจะต่อเข้ากับ Brushless speed ก่อนต่อเข้ากับ Receiver เพราะ Brushless motor มีความต้องการความฉับไวและปริมาณไฟที่มากกว่าและกว่าอุปกรณ์อื่นๆ

5200059

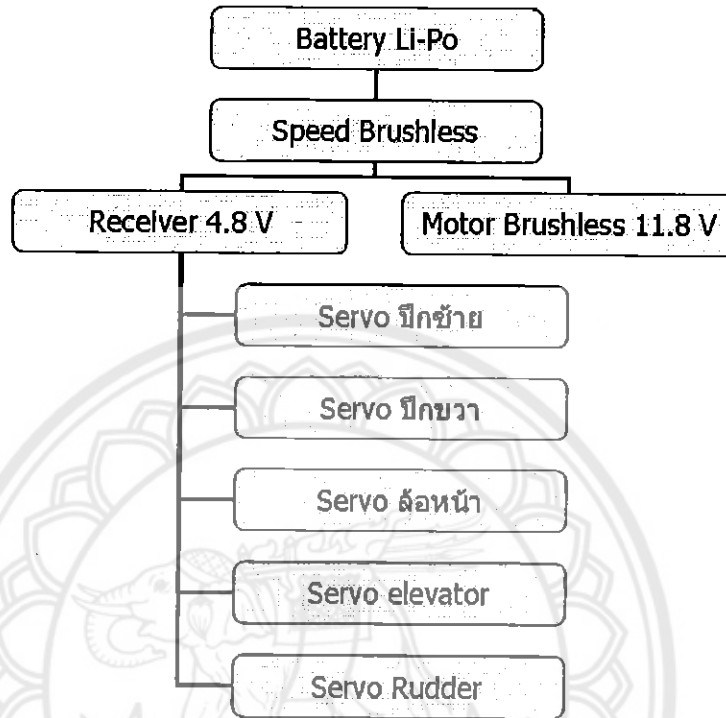
ปี ๒๕๖๓

2.4.7 แผนผังการทำงานของระบบเครื่องบินบังคับ

มศ.  
๒๕๕๕

แผนผังการทำงานของระบบเครื่องบินบังคับ

๒๕๕๕



รูปที่ 2.26 แผนผังการทำงานของระบบเครื่องบินบังคับ

### บทที่ 3

## ขั้นตอนดำเนินงานและการทดสอบ

### 3.1 แนวคิดในการออกแบบ

เนื่องจากข้อกำหนดและองค์ประกอบหลายๆ อย่าง ทำให้เครื่องบินที่ออกแบบมานั้นต้องมีความสามารถในการบินที่ดี และสามารถบรรทุกทุกสภาวะที่ต้องการได้ จึงมีแนวคิดในการออกแบบเครื่องบินให้เครื่องบินมีปีกอยู่ด้านบนของลำตัวและส่วนที่เป็นลำตัวก็ยังคงมีความสั้นลงเพื่อลดแรงต้านอากาศให้ได้มากที่สุด มอเตอร์ที่ให้เป็นแรงขับเคลื่อนไว้ที่กลางเครื่องบินเพื่อให้ไม่เป็นอุปสรรคในการจับภาพ ซึ่งรายละเอียดในการออกแบบ แสดงได้ดังต่อไปนี้

### 3.2 การออกแบบ

#### 3.2.1 ข้อกำหนดในการออกแบบ

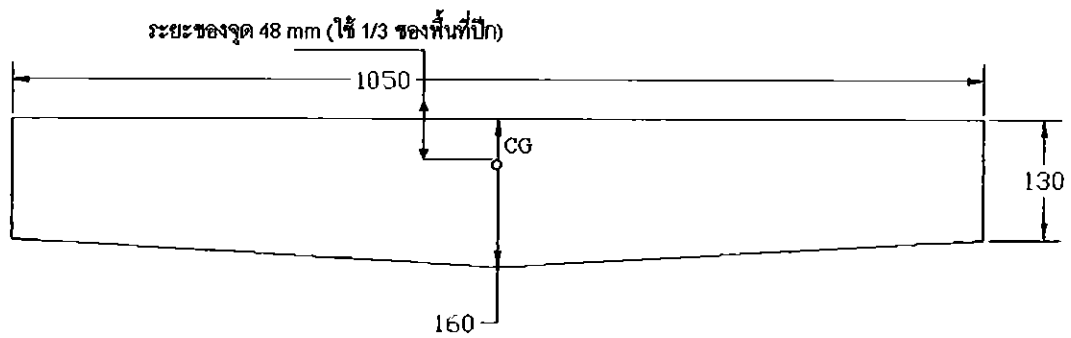
1. วัสดุที่ใช้จัดสร้างสามารถหาซื้อได้ง่ายและสะดวก
2. เครื่องบินสามารถบินได้สูงที่ระดับ 300 เมตร
3. เครื่องบินสามารถบรรทุกกล้องวิดีโอไร้สายไปด้วยได้
4. ออกแบบให้ถอดปีกออกจากลำตัวได้เพื่อให้สะดวกในการพกพา
5. ออกแบบให้ง่ายต่อการสร้าง และสามารถใช้งานได้จริง
6. ออกแบบให้เครื่องบินมีอัตราเร่งที่ดี

#### 3.2.2 การออกแบบเครื่องบิน

##### 3.2.2.1 การออกแบบ ปีกเครื่องบิน

การออกแบบปีกเครื่องบินซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญที่สุด และเพื่อให้เหมาะสมกับข้อกำหนดในการออกแบบ ในที่นี้ควรใช้ปีกเครื่องบินแบบลู่น้ำ โดยมีรัศมีการลู่น้ำ 3 องศา ขนาดความกว้าง(ความยาวคอर्ड) 160 มิลลิเมตร ความยาวจากปลายปีกซ้ายถึงปลายปีกขวา 1,050 มิลลิเมตร และความหนา(Airfoil) 17 มิลลิเมตร ซึ่งอ้างอิงจากรูป 2.15 ปีกแบบนี้จะให้อัตราเร่งที่ดี มีความเสถียรภาพ การควบคุมที่นุ่มนวล รับภาระ Lord ได้ดีพอสมควร และยังคงมีความคล่องตัวที่ดีอีกด้วย

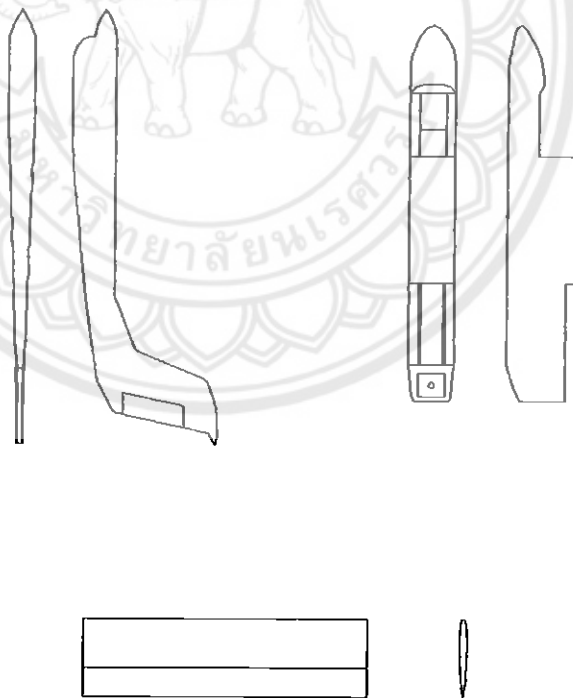




รูปที่ 3.1 Drawing ของปีกเครื่องบิน

### 3.2.2.2 การออกแบบลำตัวและหัวเครื่องบิน

ในส่วนของลำตัวและหัวเครื่องบินรวมถึง Elevator และ Rudder ควรออกแบบให้มีลักษณะที่กลมมากที่สุด และควรง่ายต่อการสร้าง ภายในหัวหรือลำตัวของเครื่องควรทำที่เก็บซ่อนสัมภาระต่างๆ ของเครื่องบิน และเป็นที่ใช้ดองน้ำหนักของเครื่องบินให้เครื่องมีสมดุลของน้ำหนักอยู่ที่จุด CG อีกด้วย แสดงได้ดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 3.2 Drawing ลำตัวและหัวของเครื่องบินรวมทั้ง Elevator และ Rudder

### 3.2.2.3 การออกแบบตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมเครื่องบิน

ในการออกแบบตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์ ต้องให้น้ำหนักของอุปกรณ์ทุกชิ้นที่ติดตั้ง อยู่ที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงของเครื่องบิน(CG)

### 3.2.3 การคำนวณเพื่อหาแรงยกของปีกเครื่องบิน

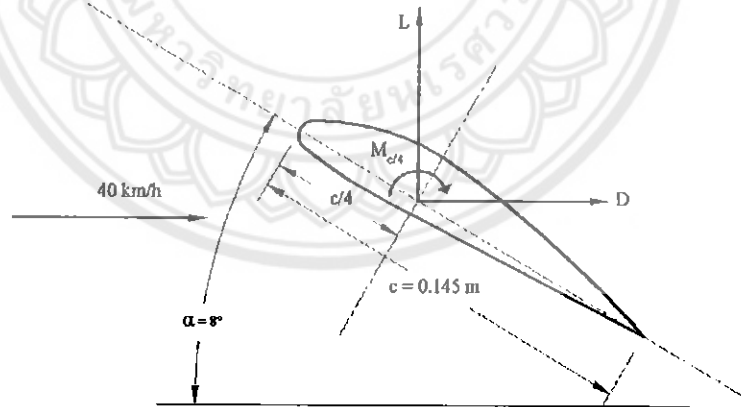
ข้อมูลในการออกแบบ ปีกมีความยาว 1050 mm ขาวคอร์ดเฉลี่ยอยู่ที่ 145 mm เพราะเป็นปีกแบบลู่น้ำ ที่มีความยาวคอร์ดไม่สม่ำเสมอ จึงต้องใช้ค่าเฉลี่ย

กำหนดสถานะ ขณะเครื่องบินบินขึ้นมีความเร็วลม 40 Km/hr ปีกเครื่องบินทำมุม 8 องศา กับแนวระดับ มอเตอร์ Brushless BM2410-12 กับ ใบพัด ขนาด 10 นิ้ว มุมบิดของใบพัด 5 องศา ซึ่งให้แรงดึง (thrust) 8 N น้ำหนักรวมทั้งหมดของเครื่องบิน (Total pay load) ไม่เกิน 800 กรัม

#### วิธีคำนวณ

ความเร็วลม 40 Km/hr ( $V_\infty$ ) = 11.11 m/s

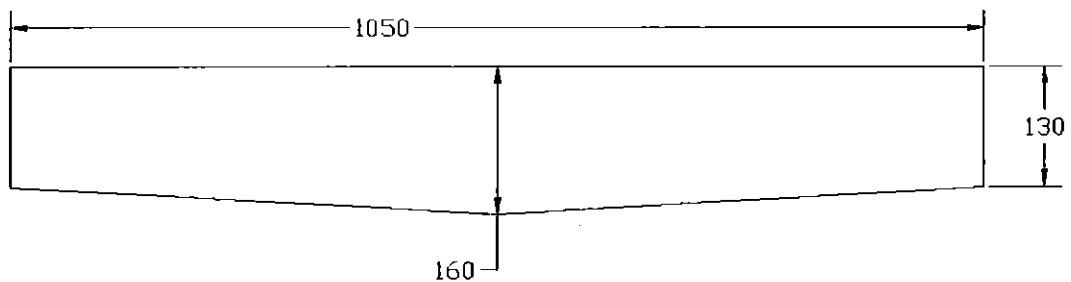
เขียนแผนภาพแรงกระทำที่ปีกเครื่องบินในขณะที่มี Angle of attack ( $\alpha$ ) ดังรูปด้านล่าง



คุณสมบัติของอากาศที่ระดับน้ำทะเล จาก APPENDIX A ที่ 0 m

$$\rho_\infty = 1.225 \text{ kg/m}^3 \quad \mu_\infty = 1.789 \times 10^{-5} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$$

เขียนภาพปีกเครื่องบิน ในมุม Top view ดังรูปต่อไปนี้



หาพื้นที่ปีกในมุม Top view จากข้อมูลการออกแบบ จะได้  $S = 0.15225m^2$

จากสมการ (1.5) หาค่า Reynolds number

จะได้ 
$$Re = \frac{\rho_\infty V_\infty c}{\mu_\infty} = 1.103 \times 10^5$$

จาก APPENDIX D ข้อมูล Airfoil แบบ NACA 4415 ( เพราะให้แรงยกตัวสูงซึ่งเหมาะสมกับเครื่องบินที่ต้องการบรรทุกวัตถุ ) ที่  $\alpha = 8^\circ$  และ  $Re = 0.110 \times 10^6$

จะได้ 
$$c_l = 1.0$$

$$c_{m,c/4} = -0.05$$

$$c_d = 0.009$$

จากสมการ (1.4) หาค่า Dynamic pressure

จะได้ 
$$q_\infty = \frac{1}{2} \rho_\infty V_\infty^2 = 75.60 \frac{N}{m^2}$$

จากสมการ (1.1), (1.2), (1.3) หาค่า แรงยก , แรงจุด และ แรงหมุนที่จุด CG

จะได้ แรงยก 
$$L = q_\infty \times S \times c_l = 11.51 \text{ N}$$

แรงจุด 
$$D = q_\infty \times S \times c_d = 0.1036 \text{ N}$$

แรงหมุนที่จุด CG 
$$M_{c/4} = q_\infty \times S \times c \times c_{m,c/4} = -0.0835 \text{ N}$$

สรุปได้ว่า แรงยกตัวที่คำนวณได้นั้นมีค่ามากกว่า น้ำหนักสุทธิของเครื่องบิน ( น้ำหนักของเครื่องบินรวมถ่วง หนักสุทธิ 670 กรัม ) แรงจุดก็น้อยกว่า แรงดึงมาก และแรงหมุนที่จุด CG มีค่าเป็นลบ ก็แสดงว่าเป็นแรงหมุนต้านในการบังคับปีกให้มีมุม 8 องศากับแนวระดับนั่นเอง ซึ่งก็มีค่าน้อยมาก เครื่องบินนี้จึงมีความสมบูรณ์ในการออกแบบ

### 3.3 การสร้างและประกอบเครื่องบินบังคับ

#### 3.3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ทำเครื่องบิน

1. โฟม 4A	1 แผ่น
2. ไม้บันช่า	1 แผ่น
3. ลวดตัด โฟม (Wire Cut)	1 เครื่อง
4. กาวแห้งร้อน	5 แท่ง
5. กาว Epoxy สำหรับติด โฟม กับ ไม้ ฯลฯ	3 หลอด
6. กระดาษทราย เบอร์ 600	1 แผ่น
เบอร์ 100	2 แผ่น
7. OPP เทป สีขาว	1 ม้วน
สีน้ำเงิน	1 ม้วน
สีแดง	1 ม้วน

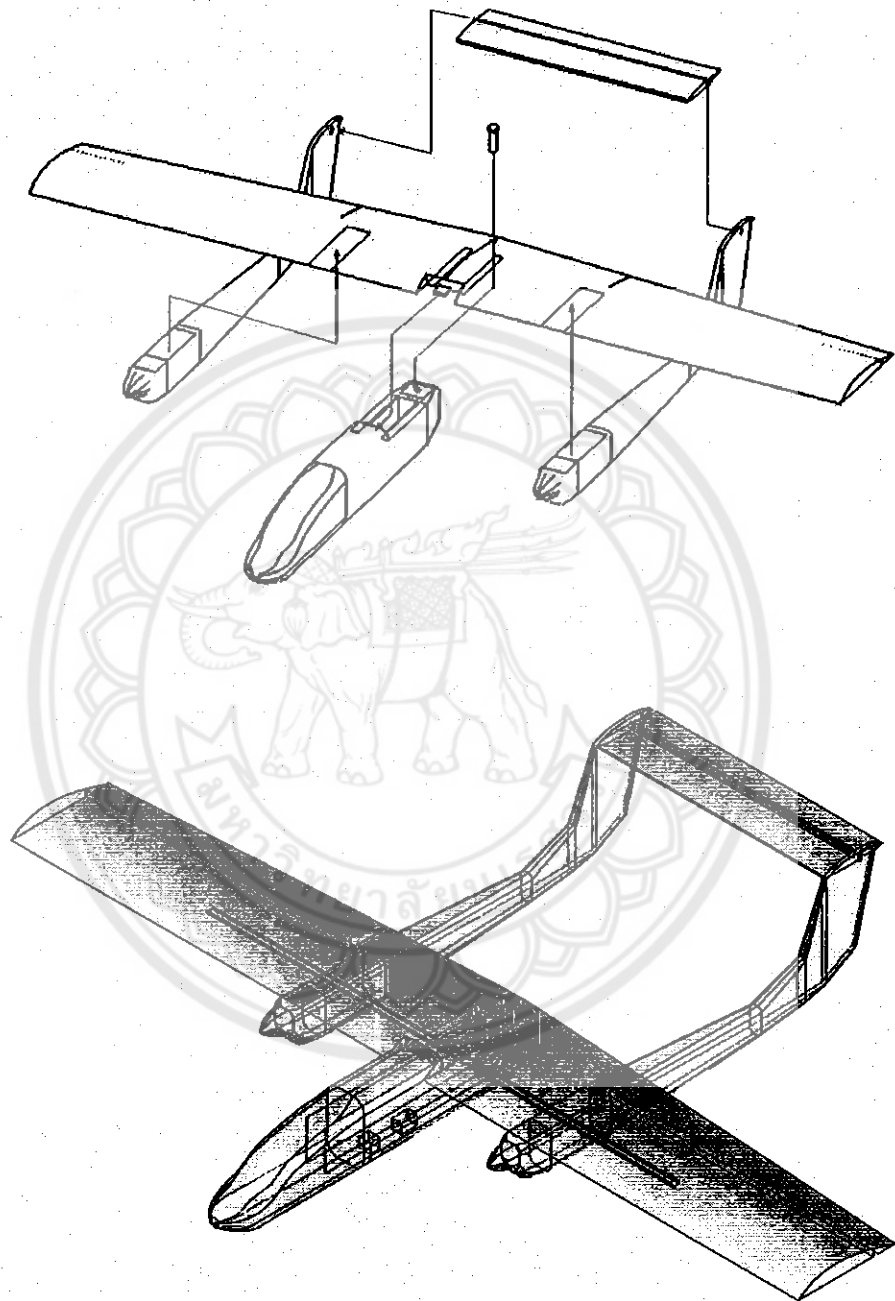
#### 3.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมเครื่องบิน

1. มอเตอร์ Brushless BM2410-12	1 อัน
2. servo	5 ตัว
3. ลวดกันชกยาว 50 cm	4 เส้น
4. ล้อเครื่องบิน	3 อัน
5. ตัวยึดบังคับทิศทาง	5 ตัว
6. วิทยุบังคับและภาครับสัญญาณ (Receiver)	1 ชุด
7. ไบพัดขนาด 10 นิ้ว	1 อัน
8. Brushless Speed	1 อัน

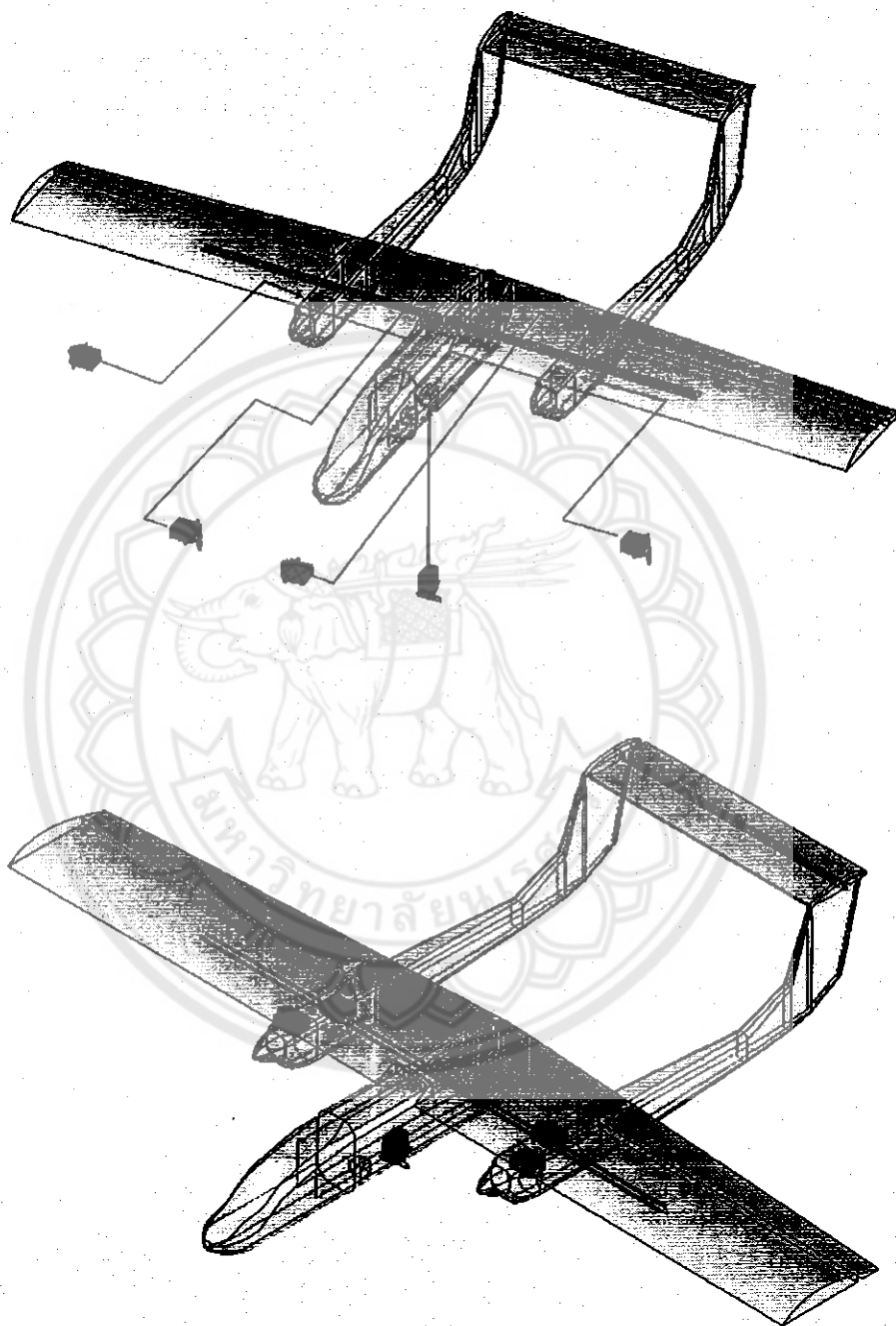
#### 3.3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ส่งสัญญาณ

1. กล้องวิดีโอไร้สายและภาครับสัญญาณ (Wireless Camera Set)	1 ชุด
2. Card TV. Capture	1 อัน
3. Computer (Pentium 4 2.0 GHz Ram 512 MB ขึ้นไป)	1 เครื่อง

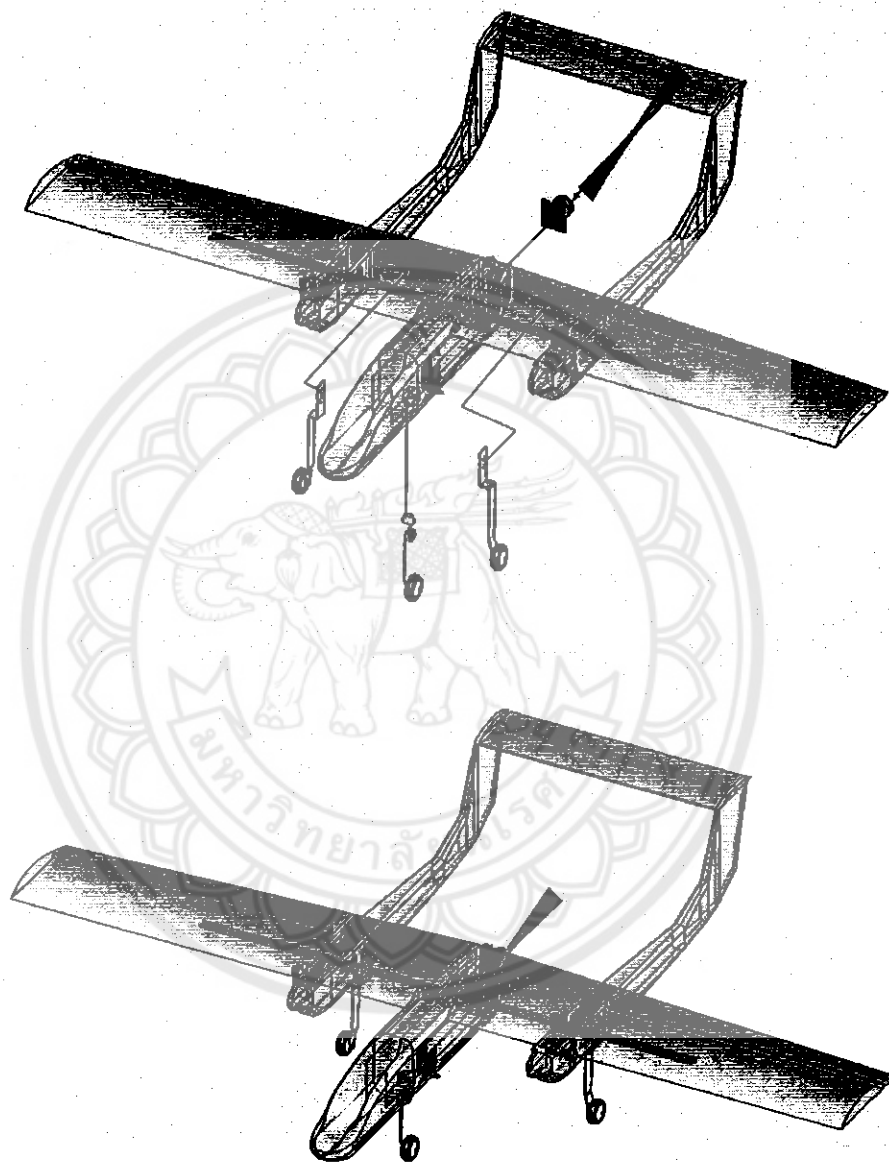
### 3.3.4 ประกอบชิ้นส่วนโครงสร้างต่างๆ ของเครื่องบิน



รูปที่ 3.3 การประกอบโครงสร้างของเครื่องบิน



รูปที่ 3.4 การติดตั้ง Servo



รูปที่ 3.5 การติดตั้งถ้อ และมอเตอร์ Brushless

### 3.3.5 การติดตั้งระบบส่งสัญญาณภาพแบบไร้สาย



รูปที่ 3.6 การติดตั้งระบบส่งสัญญาณภาพแบบไร้สาย

## 3.4 วิธีทดลองและบันทึกผล

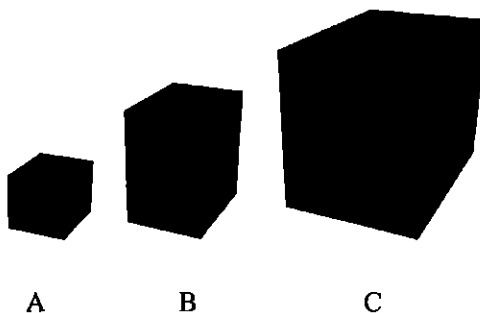
### 3.4.1 สถานที่ทำการทดลอง

อาคารวิศวกรรมเครื่องกล – อุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร

พื้นที่กว้าง บริเวณข้างทางถนนก่อนถึง เทคนิคสองแคว อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก

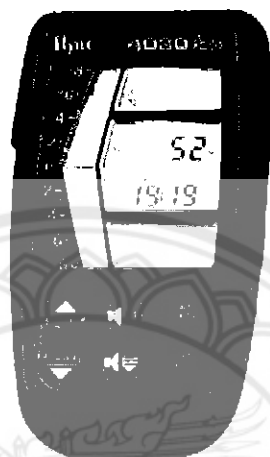
### 3.4.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. กล่องกระดาษขนาด  $0.5 \times 0.5 \times 0.5$ ,  $0.8 \times 0.8 \times 1.0$  และ  $1.5 \times 1.5 \times 1.5$  เมตร





2. เครื่องคอมพิวเตอร์ (CPU Pentium 4 2.00 GHz Ram 256 MB Hard disk drive ที่มีพื้นที่ว่าง 5 GB ขึ้นไป)
3. Card TV. Capture ที่มีช่องเสียบ AV in สามารถรับและบันทึกสัญญาณ PAL ได้
4. เครื่องวัดความสูง Vario Meter ดังรูปที่ 2.30



รูปที่ 3.7 เครื่องวัดระดับความสูง

#### 3.4.3 ขั้นตอนในการทดลอง

1. จัดเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้บันทึกผลการทดลอง (คอมพิวเตอร์+Card TV. Capture) ให้พร้อม และอยู่ไม่ไกลจากผู้ควบคุมเครื่องบินมากนัก
  2. นำเครื่องบิน บินขึ้น(Take off) สูงจากระดับน้ำทะเล 100 เมตร แล้วจับภาพวัตถุที่สังเกต
  3. ทำเช่นเดียวกับข้อ 2 แต่บันทึกความสูงที่มากขึ้นไป คือที่ 150, 200, 250, 300 เมตร
- ตามลำดับ

#### 3.4.4 การบันทึกผลการทดลอง

บันทึกผลการทดลองโดยการจับภาพที่นิ่ง (Capture) บันทึกไว้ใน Hard Disk Drive เป็นไฟล์รูปภาพ (.jpeg) เพื่อให้ง่ายต่อการนำเสนอ หรือส่งต่อ

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินโครงการ

ในบทนี้จะเป็นการแสดงผลการทดลอง โดยการนำเครื่องบินที่ติดตั้งอุปกรณ์สำรวจแล้วเข้าสู่กระบวนการทดสอบประสิทธิภาพของกล้องสำรวจและประสิทธิภาพการทรงตัวของการบิน โดยจะแบ่งขนาดของวัตถุออกเป็น 3 ขนาด ซึ่งในแต่ละขนาดจะมีระยะการสังเกตจากการบินอยู่ที่ 100 เมตร, 150 เมตร, 200 เมตร, 250 เมตร และ 300 เมตร ตามลำดับ

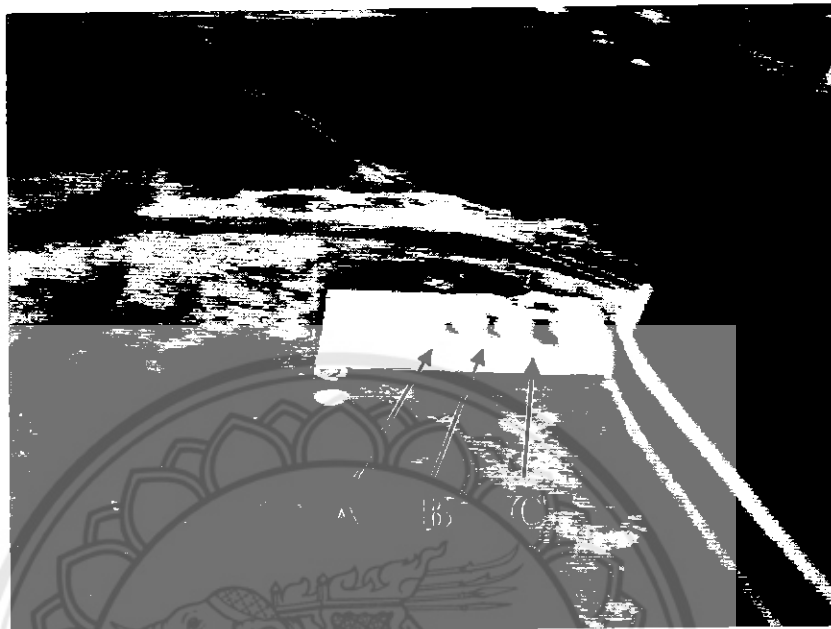
#### 4.1 ผลการทดสอบการบิน

ไม่พบว่ามีปัญหาใดๆจากการบิน เนื่องจากโครงสร้างดังกล่าวได้ทำการตรวจสอบจุดศูนย์ถ่วงเมื่อรวมน้ำหนักของกล้องก่อนทำการบิน และเนื่องจากกล้องมีน้ำหนักที่ไม่มากนัก จึงไม่มีปัญหาเรื่องการทรงตัวใดๆ ตลอดการสำรวจ

#### 4.2 ลักษณะการบินที่กผลที่ได้จากการสำรวจ

เนื่องจากภาพที่ส่งสัญญาณกลับมาที่จอมอนิเตอร์เป็นภาพแบบต่อเนื่อง ซึ่งต้องใช้โปรแกรมจับภาพแบบวิดีโอเพื่อทำการเลือกภาพที่ดีที่สุดในระยะต่างๆออกมา และระดับความสูงดังกล่าวสามารถทราบได้จากเครื่องวัดระดับความสูง (Vario Meter) โดยอาศัยหลักการความกดอากาศสำหรับเครื่องบินขนาดเล็ก

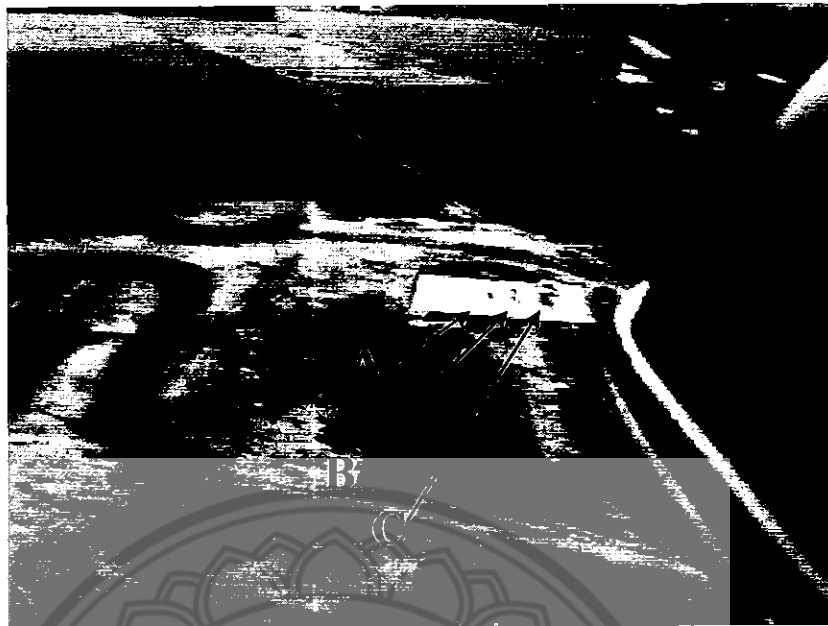
### 4.3 ภาพจากการสำรวจ



รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายวัดดูจากระยะการบินที่ความสูง 100 เมตร



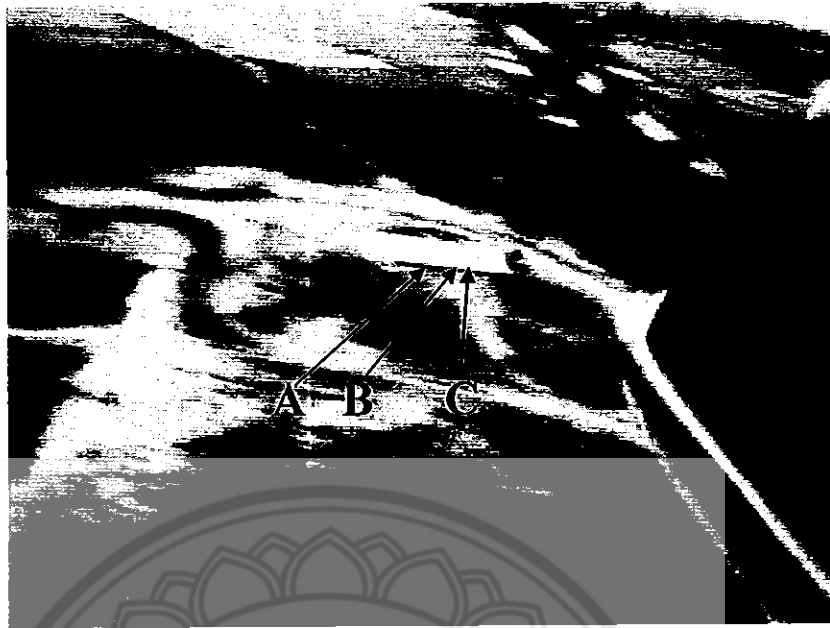
รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายวัดดูจากระยะการบินที่ความสูง 150 เมตร



รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายวัดจากระยะการบินที่ความสูง 200 เมตร

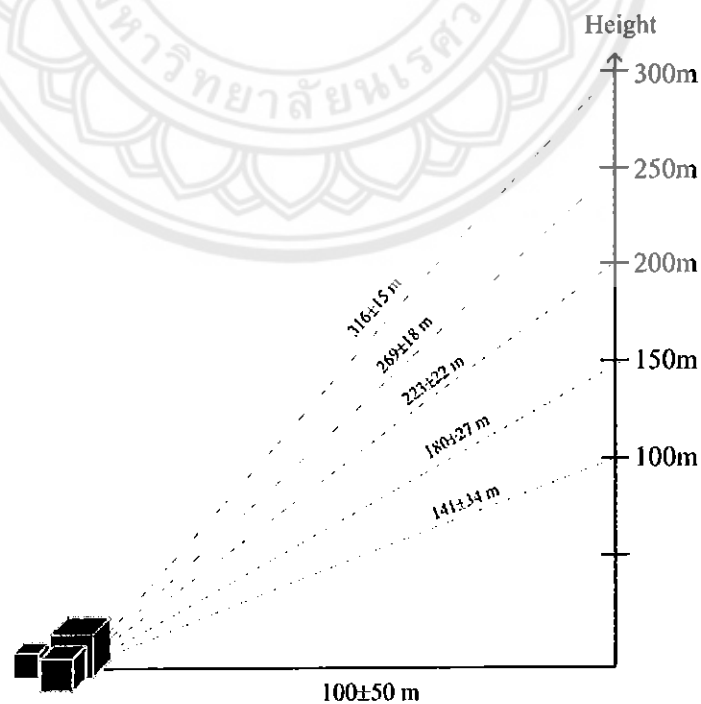


รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายวัดจากระยะการบินที่ความสูง 250 เมตร



รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายวัดจากระยะการบินที่ความสูง 300 เมตร

- ช่วงระยะพิกัดความเผื่อ ที่ใช้ในการสังเกตวัตถุในผลการทดลอง  
กำหนดระยะห่างในแนวราบจากวัตถุถึงกล้องที่  $100 \pm 50$  เมตร เพื่อใช้สังเกตวัตถุ ก็จะได้  
ระยะห่างจากกล้องถึงวัตถุในการสังเกต ที่ความสูงต่างๆ เป็นไปตามกฎพีทาโกรัส ดังรูป 4.7



รูปที่ 4.7 ช่วงระยะพิกัดความเผื่อที่ใช้ในการสังเกตวัตถุในผลการทดลอง  
โดยระยะ error คำนวณจากความคลาดเคลื่อนตามระยะตามแนวราบ

#### 4.4 ตารางบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลที่บันทึกได้จากการสำรวจวัตถุ 3 ขนาดที่ระดับความสูงต่างๆ

ระยะที่ใช้สำรวจวัตถุ	ขนาดวัตถุที่สังเกต กว้าง x ยาว x สูง (m)	ข้อมูลที่บันทึกได้
100 m	1.5 x 1.5 x 1.5	สามารถมองเห็นวัตถุได้ชัดเจน บอกรายละเอียดได้
	0.8 x 0.8 x 1.0	สามารถมองเห็นวัตถุได้ชัดเจน
	0.5 x 0.5 x 0.5	สามารถมองเห็นวัตถุ ทราบว่าเป็นสิ่งใด
200 m	1.5 x 1.5 x 1.5	วัตถุเล็กยังสามารถบอกรายละเอียดได้
	0.8 x 0.8 x 1.0	
	0.5 x 0.5 x 0.5	
300 m	1.5 x 1.5 x 1.5	ความสั่นของเครื่องบินทำให้ภาพเริ่มมีผลต่อวัตถุ แต่ยังสังเกตได้
	0.8 x 0.8 x 1.0	ภาพเริ่มเลือนลางเนื่องจากความสั่นไหวของเครื่องบินและระยะที่สูงขึ้น
	0.5 x 0.5 x 0.5	เริ่มไม่ทราบรายละเอียดของวัตถุ
400 m	1.5 x 1.5 x 1.5	ความสั่นเริ่มมีผลกับภาพมากขึ้น วัตถุเล็กมาก
	0.8 x 0.8 x 1.0	
	0.5 x 0.5 x 0.5	
500 m	1.5 x 1.5 x 1.5	วัตถุมีขนาดเล็กเริ่มสังเกตได้ยากขึ้น
	0.8 x 0.8 x 1.0	มองเห็นเป็นจุด
	0.5 x 0.5 x 0.5	วัตถุมีขนาดเล็กมาก มองเห็นเป็นจุดเล็กๆ ภาพเริ่มสั่นไหว

## บทที่ 5

### สรุปผลการดำเนินโครงการ

#### 5.1 สรุปผลโครงการ

จากการนำเครื่องบินสำรวจขึ้นทดสอบพร้อมอุปกรณ์ โดยเครื่องบินสำรวจสามารถบินขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเมื่อตรวจสอบระบบการส่งสัญญาณจากตัวเครื่องสู่ภาครับสัญญาณ เป็นไปได้ด้วยดี ก็ยังสามารถส่งสัญญาณกลับมาที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ได้ แต่ยังมีระดับของคลื่นสัญญาณที่ไม่เสถียรมากนัก ซึ่งส่วนของหน้าจอจะแสดงออกมาเป็นคลื่นรบกวนสัญญาณให้เห็นอยู่เป็นระยะ

ในการทดสอบที่ระดับความสูงต่าง ๆ นั้นจะติดตั้งกล้องแบบเอียง 45 องศา เพื่อต้องการเห็นสภาพภูมิประเทศด้านหน้า แต่จะกำหนดความสูงโดยใช้เพดานบิน(ระยะตามแนวตั้ง) ผลลัพธ์ที่ได้ อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ โดยที่ความสูง 100,150 และ 200 ยังสามารถมองเห็นวัตถุทั้งสามได้ดี ต่อมาที่ความสูง 250 เมตร วัตถุเป้าหมาย B และ C ก็ยังสามารถมองเห็นได้ แต่วัตถุเป้าหมาย A (วัตถุที่เล็กที่สุด) เริ่มที่จะสังเกตเห็นได้ยาก จนถึงระยะ 300 เมตร วัตถุเป้าหมาย A หายไปจากจอภาพ และแรงสั่นสะเทือนที่มาจากตัวเครื่องเริ่มส่งผลมาก ตั้งแต่ระยะ 200 เมตร ขึ้นไป ซึ่งทำให้การจับภาพนั้นมีความชัดเจนน้อยลงไปด้วย

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ประสิทธิภาพของระบบการส่งสัญญาณขึ้นอยู่กับปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อมต่างๆ เช่น ความชื้นของเครื่องบิน สภาพลมฟ้าอากาศ ระยะความสูง เมื่อมีการรบกวนจากสิ่งรบกวนนอก ก็สามารถทำให้คุณภาพสัญญาณที่ส่งมาลดลง

5.2.2 รูปทรงของเครื่องบิน หากเป็นเครื่องบินที่ต้องทำการสำรวจจริงแล้ว ไม่ว่าจะป็นรูปร่าง หรือสีสันของเครื่องบินไม่ควรจะเป็นที่น่าสนใจ ควรจะเป็นสิ่งที่ลอกเลียนจากธรรมชาติโดยการเพิ่มกลไกที่ลดความน่าสังเกต เช่น เครื่องบินในรูปแบบของนกที่สามารถกระพือปีกได้

5.2.3 โปรแกรมในการตัดเฟรมของภาพเคลื่อนไหวยังไม่สามารถตัดได้ในความละเอียดแบบมิลลิวินาที ซึ่งในภาพที่ดีที่สุดของภาพในกลุ่มนั้นอาจสั้นมากที่สังเกตสิ่งต่างๆ ได้ชัดเจน ดังนั้นหากมีโปรแกรมที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า ก็สามารถประมวลผลได้ดีกว่า แต่ก็ต้องใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงด้วยเช่นกัน

## บรรณานุกรม

- [1] John D. Anderson. **Introduction to Flight**. Fifth Edition. The McGraw-Hill Companies, Singapore. 2005. pp. 760 – 807.
- [2] เกียรติศักดิ์ ฤกษ์พันธุ์. **SolidWorks Engineering Drawing Workshop**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ท็อป. 2548.
- [3] “การสื่อสารข้อมูล (Data Communication).” [Online]. Available : [Http://www.bpic.ac.th/bpic.ac.th/com.htm](http://www.bpic.ac.th/bpic.ac.th/com.htm). 2007.
- [4] “เครื่องบันทึกภาพแบบต่างๆในระบบ กล้องวงจรปิด.” [Online]. Available : [www.gunkamoy.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=200298&Ntype=1](http://www.gunkamoy.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=200298&Ntype=1). 2007.
- [5] นายจุฑารัตน์ นาคเสวี. “หลักการบินทั่วไป.” [Online]. Available : [www.aviation.go.th/rbm/General\\_flight.pdf](http://www.aviation.go.th/rbm/General_flight.pdf). 2007.



## ประวัติผู้เขียนโครงการ

ชื่อ นายประจักษ์ วงศ์ประเสริฐ

เกิดวันที่ 25 พฤศจิกายน 2528

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนวัดคอนคูม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ชื่อ นายวุฒิพงศ์ นิม่อ่อน

เกิดวันที่

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเนินมะปรางศึกษาวิทยา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

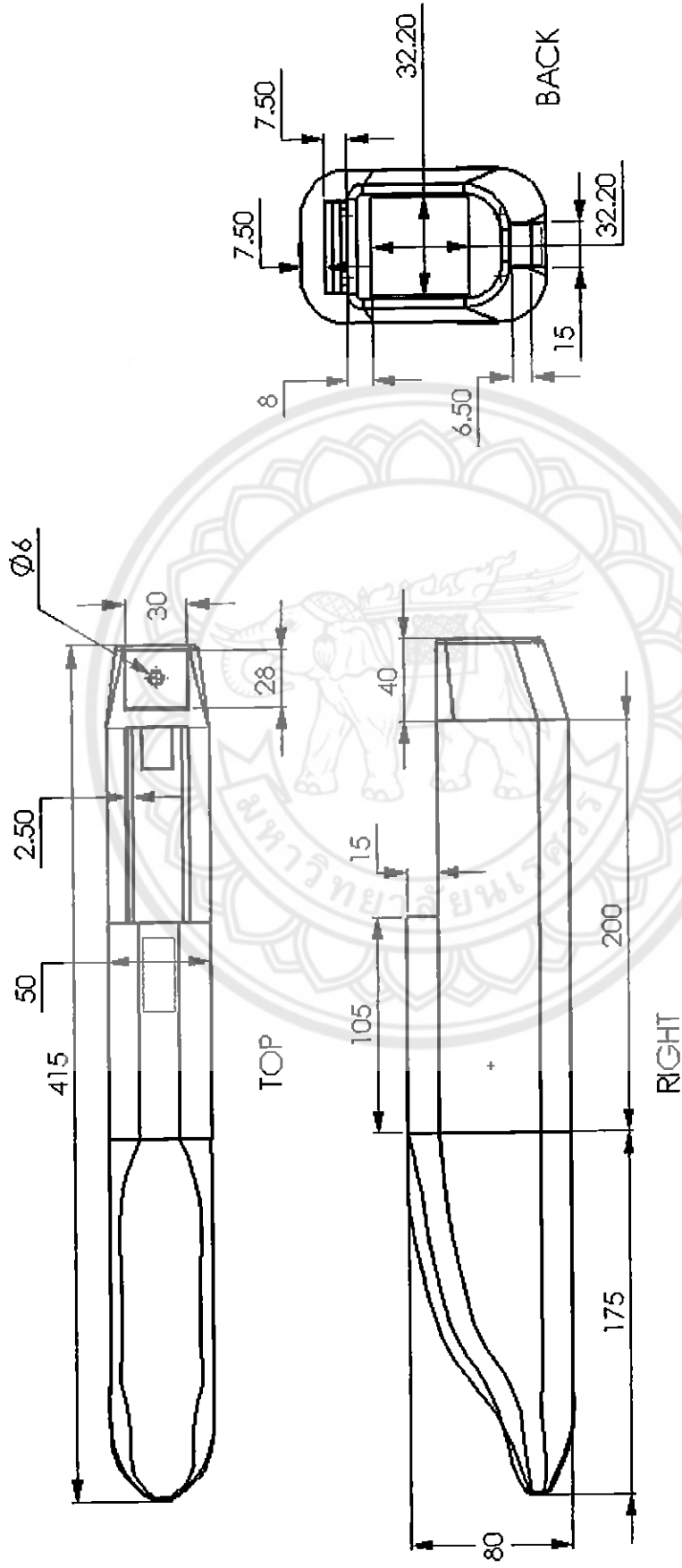
ชื่อ นายเกรียงศักดิ์ ภูณขุนทด

เกิดวันที่ 2 ตุลาคม 2528

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียน
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร





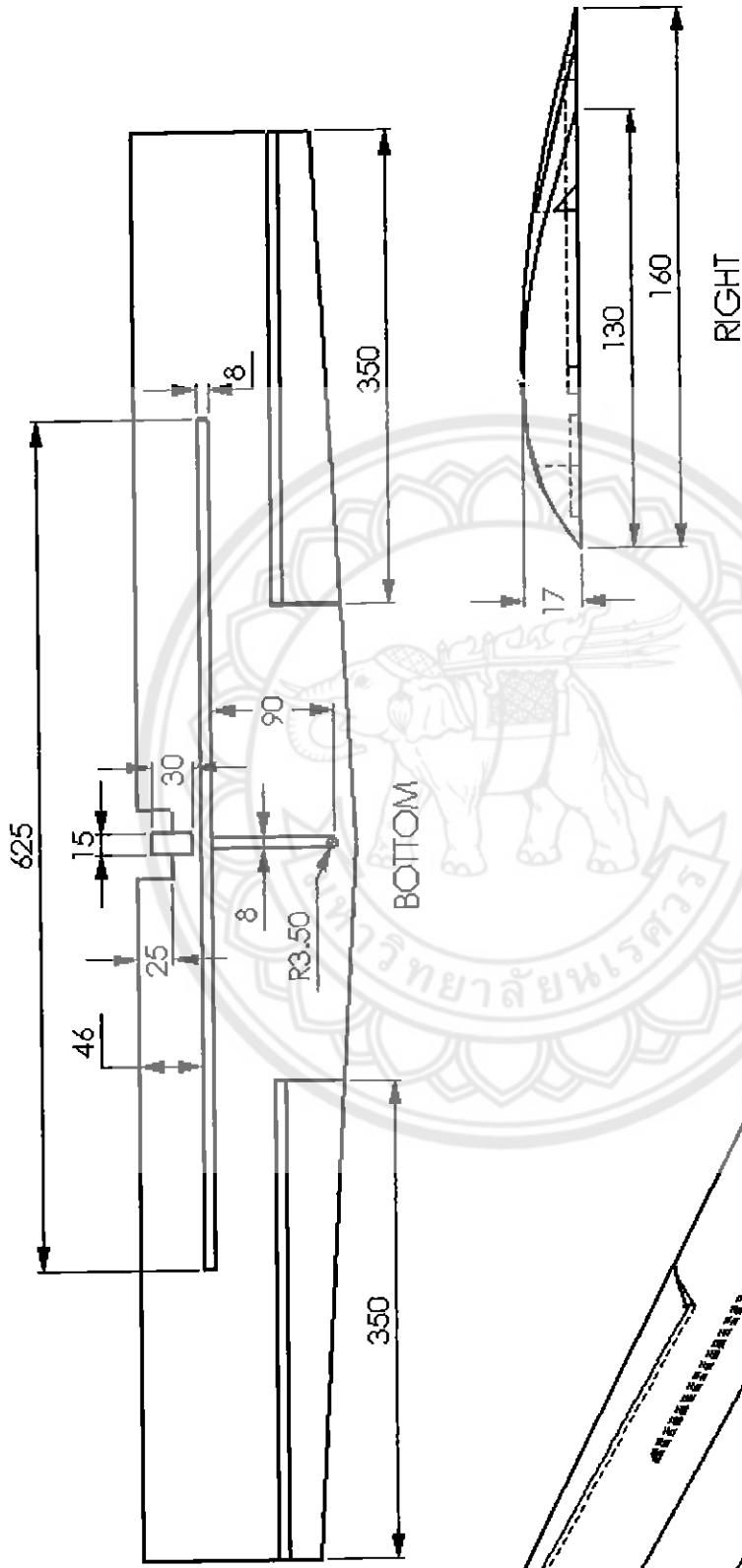
NOTE: ALL DIMENSION ARE IN MM.

FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY

HEAD OF PLANE

SCALE 1:1 | P.WONGPRASERT | DRAWING 01

DATE 25/11/07 | CODE 47362942 | PLATE - 01



NOTE: ALL DIMENSION ARE IN MM.

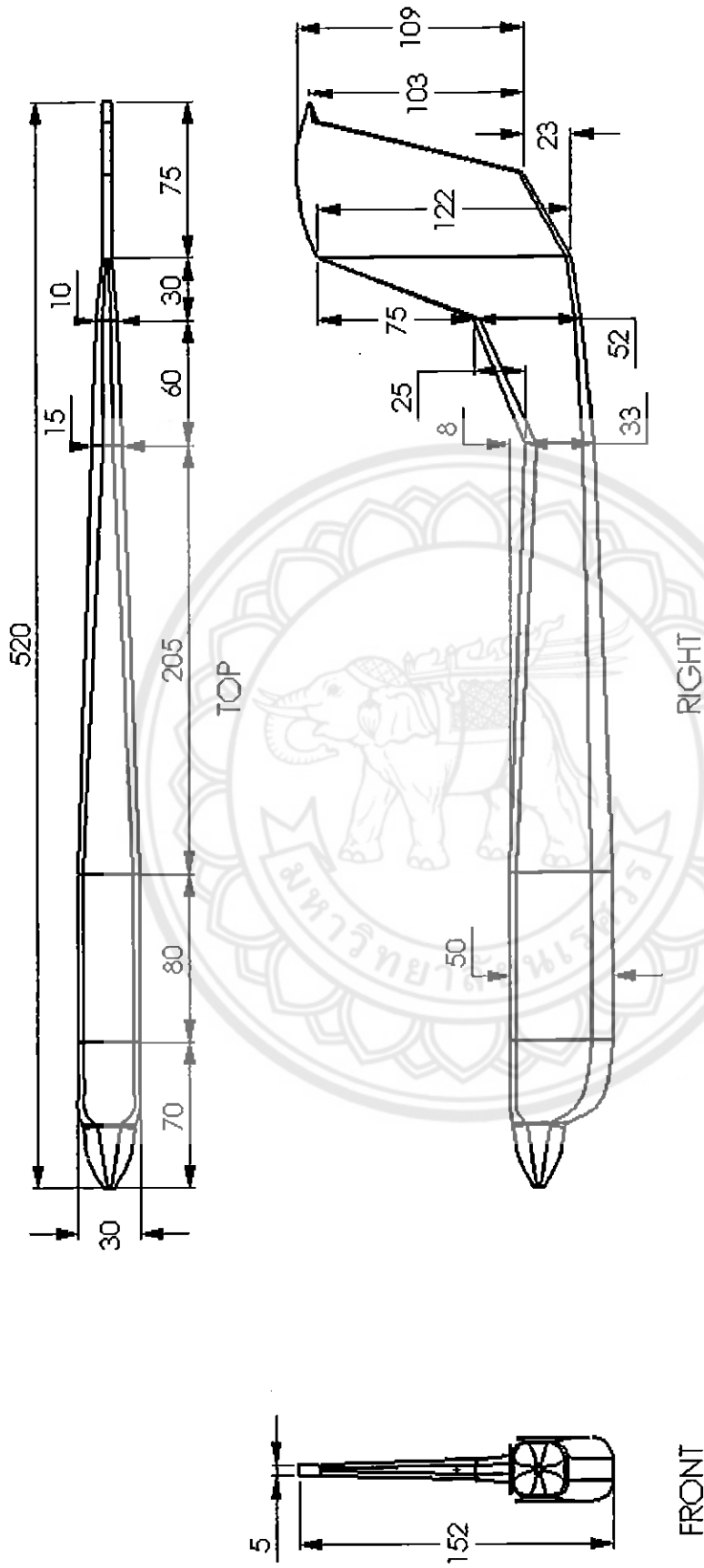
FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY

WING OF PLANE

SCALE 1:1 P. WONGPRASERT DRAWING 02

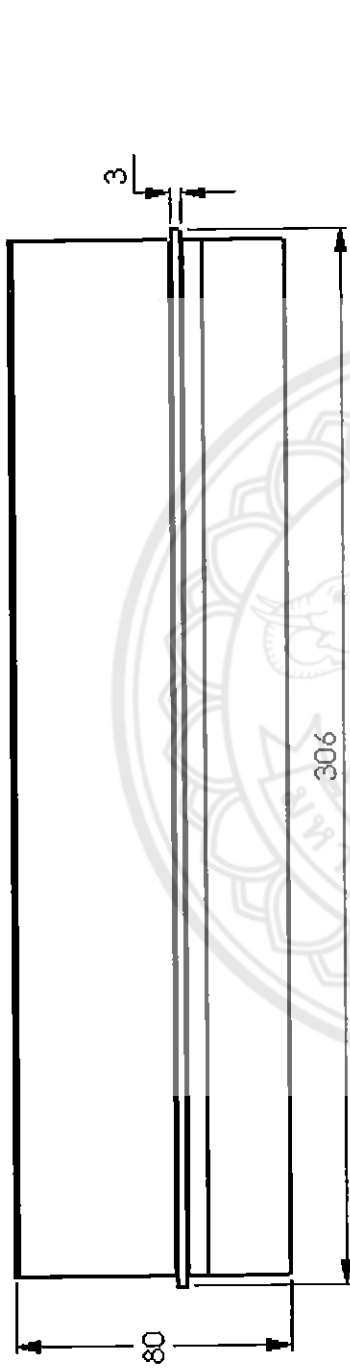
DATE 25/11/07 CODE 47362942 PLATE - 01

ISOMETRIC



NOTE: ALL DIMENSION ARE IN MM.

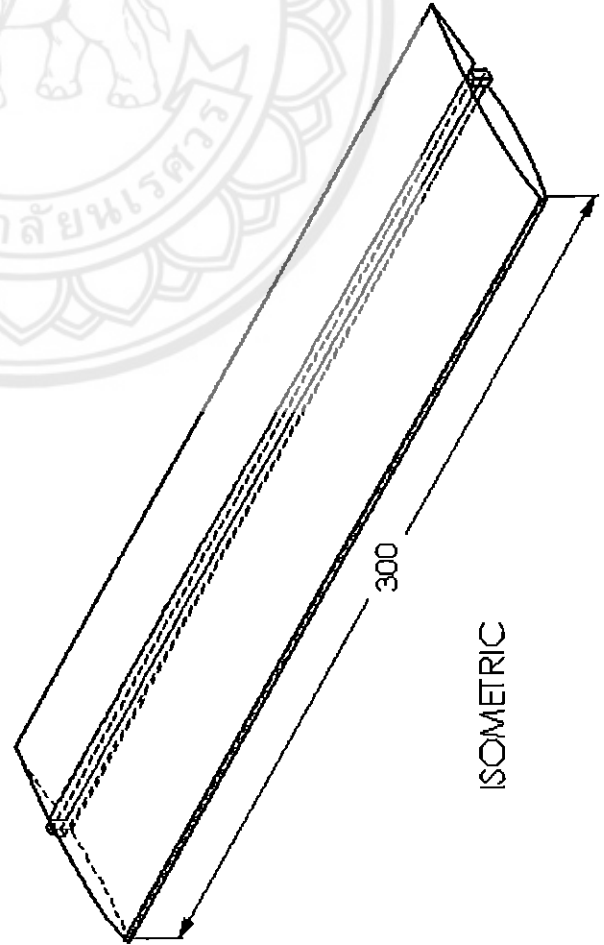
FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY		
BODY OF PLANE		
SCALE 1:1	P.WONGPRASERT	DRAWING 03
DATE 25/11/07	CODE 47362942	PLATE - 01



BOTTOM



RIGHT



ISOMETRIC

NOTE: ALL DIMENSION ARE IN MM.

FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY

EVELATOR OF PLANE

SCALE 1:1 P.WONGPRASERT DRAWING 04

DATE 25/11/07 CODE 47362942 PLATE - 01



ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบการใช้ระบบบันทึกสัญญาณของทั้ง 3 แบบ

	บันทึกเทป	DVR (Stand Alone)	Advance DVR / Capture Card + Computer
1. สื่อที่ใช้เก็บ บันทึก	ม้วนเทป E-180, E-240 (ต้องเก็บม้วนเทปเป็น จำนวนมาก)	Hard Disk 80 – 500 GB ขึ้นอยู่ กับรุ่น	Hard Disk 80 – 1000 GB ขึ้นอยู่กับ Main board
2. ระยะเวลาสูงสุด ที่สามารถบันทึก ได้	12 / 24 / 168 ชั่วโมง แล้วแต่รุ่นของเครื่อง บันทึก	เทียบกับ PC Based DVR จะ บันทึกได้สั้นกว่า (สำหรับเครื่อง บันทึกแบบ M-JPEG) และใกล้เคียงกัน (สำหรับเครื่อง บันทึกแบบ MPEG4 เมื่อเทียบ Frame rate เท่าๆ กัน	ยาวนานที่สุดเมื่อเลือกใช้ ความต่อเนื่อง (frame rate) เท่าๆกันกับแบบบันทึกเทปและ DVR (Stand Alone)
3. ความละเอียด ของภาพที่บันทึก	ความละเอียดใกล้เคียง กับภาพจริง ขึ้นกับ อุปกรณ์รวมจัดการ สัญญาณภาพ	โดยทั่วไป 720 x 576 pixels	320 x 240, 384 x 288, 640 x 480, 768 x 576 ขึ้นอยู่กับรุ่น
4. ความต่อเนื่อง ของภาพ	12 ชั่วโมง = 8 fps 24 ชั่วโมง = 3 fps 168 ชั่วโมง = 0.5 fps	Max: 25 fps (KP-204) 50 fps (FK-5xx) 100-400 fps (FK-8xx)	Max 15 – 400 FPS ขึ้นอยู่กับรุ่น
5. ความสามารถ ในการต่อ Network	ทำไม่ได้	ทำได้ในรุ่น EDSR, FK- 504CFN, FK-8xx โดยผ่าน LAN แต่อัตราการส่งผ่านข้อมูล ต่ำกว่าคอมพิวเตอร์	ทำได้หลากหลายทั้ง LAN, Internet, ISDN, PSTN โดย อาศัยคุณสมบัติการเป็น คอมพิวเตอร์
6. การบันทึกเมื่อมี ความเคลื่อนไหว ของภาพ	ทำไม่ได้	ทำได้	ทำได้โดยมีประสิทธิภาพดีกว่า DVR คือสามารถกำหนดความ ไวในการตรวจจับได้และ กำหนดพื้นที่ที่ต้องการตรวจจับ บนภาพได้สะดวก



	บันทึกเทป	DVR (Stand Alone)	Advance DVR / Capture Card + Computer
7. การค้นดูภาพที่เก็บบันทึก	ต้องค้นหาจากม้วนเทปของวันที่บันทึกไว้โดยวิธีกรอภาพและดูเวลาที่อยู่บนหน้าจอ โดยต้องหยุดการบันทึกเอาไว้ชั่วคราว	เรียกดูโดยระบุวันที่และเวลาที่ต้องการค้นหาภาพได้ โดยต้องหยุดการบันทึกเอาไว้ชั่วคราว	เรียกดูโดยระบุวันที่และค้นหาจากเวลาของแต่ละไฟล์ที่ระบุเรียงเอาไว้ได้ โดยไม่จำเป็นต้องหยุดการบันทึก
8. ความชัดเจนเมื่อเล่นภาพเร็วเพื่อค้นหาภาพที่บันทึกไว้	มีเส้นรบกวนขณะค้นหาภาพแบบรวดเร็ว	ไม่มีเส้นรบกวนแม้ขณะเล่นค้นหาภาพแบบรวดเร็ว สามารถเพิ่มหรือลดความเร็วได้ 32 เท่า (FK-77x) และ 600 เท่า (EDSR-Series)	ไม่มีเส้นรบกวนแม้ขณะเล่นค้นหาภาพแบบรวดเร็ว สามารถเพิ่มหรือลดความเร็วได้ (มากน้อยขึ้นอยู่กับรุ่น)
9. ความคุ้นเคยของผู้ใช้งาน	ใช้งานมานาน เป็นที่คุ้นเคยของผู้ใช้งานโดยทั่วไป	ลักษณะการใช้งานคล้ายกันกับระบบเทปเดิม เป็นที่คุ้นเคยของผู้ใช้งานทั่วไป	ผู้ใช้งานควรมีความรู้พื้นฐานในการใช้งานคอมพิวเตอร์อยู่บ้าง
10. การถ่ายโอนข้อมูลไว้เป็นหลักฐาน	ต้องเก็บด้วยม้วนเทปและเล่นกับเครื่องเล่นที่มีอัตราการบันทึกเดียวกันเท่านั้น	สามารถสำรองภาพเหตุการณ์บางช่วงที่สำคัญเข้ากับเครื่อง PC ได้โดยผ่านทางสาย USB หรือใช้ CF Card	สามารถส่งออกข้อมูลลงสื่อความจุเช่น CD, Flash Drive ได้โดยเป็นไฟล์ .avi และสามารถหยุดเฟรมภาพบันทึกที่กำลังเล่นอยู่เพื่อเก็บเป็นภาพ .jpg หรือ พิมพ์ภาพได้
11. การเริ่มบันทึกเองโดยอัตโนมัติหลังสิ้นสุดไฟดับ	ทำได้ (เฉพาะรุ่น 12 ชั่วโมงไม่มีฟังก์ชันตั้งเวลา ทำไม่ได้)	ทำได้	ทำได้
12. ระดับราคา	แพงที่สุดภายใต้ลักษณะการใช้งานเดียวกันกับ DVR และ Computer (12,400 – 33,000 สำหรับ 4 channels)	10,000 – 29,000 สำหรับ 4 Channels	18,000 – 47,000 สำหรับ 4 Channels

# A P P E N D I X

## Standard Atmosphere, SI Units

Altitude		Temperature $T$ , K	Pressure $p$ , N/m <sup>2</sup>	Density $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>
$h_G$ , m	$h$ , m			
-5,000	-5,004	320.69	1.7761 + 5	1.9296 + 0
-4,900	-4,904	320.03	1.7587	1.9145
-4,800	-4,804	319.38	1.7400	1.8980
-4,700	-4,703	318.73	1.7215	1.8816
-4,600	-4,603	318.08	1.7031	1.8653
-4,500	-4,503	317.43	1.6848	1.8491
-4,400	-4,403	316.78	1.6667	1.8330
-4,300	-4,303	316.13	1.6488	1.8171
-4,200	-4,203	315.48	1.6311	1.8012
-4,100	-4,103	314.83	1.6134	1.7854
-4,000	-4,003	314.18	1.5960 + 5	1.7698 + 0
-3,900	-3,902	313.53	1.5787	1.7542
-3,800	-3,802	312.87	1.5615	1.7388
-3,700	-3,702	312.22	1.5445	1.7234
-3,600	-3,602	311.57	1.5277	1.7082
-3,500	-3,502	310.92	1.5110	1.6931
-3,400	-3,402	310.27	1.4945	1.6780
-3,300	-3,302	309.62	1.4781	1.6631
-3,200	-3,202	308.97	1.4618	1.6483
-3,100	-3,102	308.32	1.4457	1.6336
-3,000	-3,001	307.67	1.4297 + 5	1.6189 + 0
-2,900	-2,901	307.02	1.4139	1.6044
-2,800	-2,801	306.37	1.3982	1.5900
-2,700	-2,701	305.72	1.3827	1.5757
-2,600	-2,601	305.07	1.3673	1.5615
-2,500	-2,501	304.42	1.3521	1.5473
-2,400	-2,401	303.77	1.3369	1.5333
-2,300	-2,301	303.12	1.3220	1.5194
-2,200	-2,201	302.46	1.3071	1.5056
-2,100	-2,101	301.81	1.2924	1.4918

APPENDIX A Standard Atmosphere, SI Units

Altitude		Temperature $T$ , K	Pressure $p$ , N/m <sup>2</sup>	Density $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>
$h_G$ , m	$h$ , m			
-2,000	-2,001	301.16	1.2778 + 5	1.4782 + 0
-1,900	-1,901	300.51	1.2634	1.4646
-1,800	-1,801	299.86	1.2491	1.4512
-1,700	-1,701	299.21	1.2349	1.4379
-1,600	-1,600	298.56	1.2209	1.4246
-1,500	-1,500	297.91	1.2070	1.4114
-1,400	-1,400	297.26	1.1932	1.3984
-1,300	-1,300	296.61	1.1795	1.3854
-1,200	-1,200	295.96	1.1660	1.3725
-1,100	-1,100	295.31	1.1526	1.3597
-1,000	-1,000	294.66	1.1393 + 5	1.3470 + 0
-900	-900	294.01	1.1262	1.3344
-800	-800	293.36	1.1131	1.3219
-700	-700	292.71	1.1002	1.3095
-600	-600	292.06	1.0874	1.2972
-500	-500	291.41	1.0748	1.2849
-400	-400	290.76	1.0622	1.2728
-300	-300	290.11	1.0498	1.2607
-200	-200	289.46	1.0375	1.2487
-100	-100	288.81	1.0253	1.2368
0	0	288.16	1.01325 + 5	1.2250 + 0
100	100	287.51	1.0013	1.2133
200	200	286.86	9.8945 + 4	1.2071
300	300	286.21	9.7773	1.1901
400	400	285.56	9.6611	1.1787
500	500	284.91	9.5461	1.1673
600	600	284.26	9.4322	1.1560
700	700	283.61	9.3194	1.1448
800	800	282.96	9.2077	1.1337
900	900	282.31	9.0971	1.1226
1,000	1,000	281.66	8.9876 + 4	1.1117 + 0
1,100	1,100	281.01	8.8792	1.1008
1,200	1,200	280.36	8.7718	1.0900
1,300	1,300	279.71	8.6655	1.0793
1,400	1,400	279.06	8.5602	1.0687
1,500	1,500	278.41	8.4560	1.0581
1,600	1,600	277.76	8.3527	1.0476
1,700	1,700	277.11	8.2506	1.0373
1,800	1,799	276.46	8.1494	1.0269
1,900	1,899	275.81	8.0493	1.0167
2,000	1,999	275.16	7.9501 + 4	1.0066 + 0
2,100	2,099	274.51	7.8520	9.9649 - 1
2,200	2,199	273.86	7.7548	9.8649
2,300	2,299	273.22	7.6586	9.7657
2,400	2,399	272.57	7.5634	9.6673

APPENDIX A Standard Atmosphere, SI Units

Altitude		Temperature $T$ , K	Pressure $p$ , N/m <sup>2</sup>	Density $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>
$h_G$ , m	$h$ , m			
2,500	2,499	271.92	7.4692	9.5696
2,600	2,599	271.27	7.3759	9.4727
2,700	2,699	270.62	7.2835	9.3765
2,800	2,799	269.97	7.1921	9.2811
2,900	2,899	269.32	7.1016	9.1865
3,000	2,999	268.67	7.0121 + 4	9.0926 - 1
3,100	3,098	268.02	6.9235	8.9994
3,200	3,198	267.37	6.8357	8.9070
3,300	3,298	266.72	6.7489	8.8153
3,400	3,398	266.07	6.6630	8.7243
3,500	3,498	265.42	6.5780	8.6341
3,600	3,598	264.77	6.4939	8.5445
3,700	3,698	264.12	6.4106	8.4557
3,800	3,798	263.47	6.3282	8.3676
3,900	3,898	262.83	6.2467	8.2802
4,000	3,997	262.18	6.1660 + 4	8.1935 - 1
4,100	4,097	261.53	6.0862	8.1075
4,200	4,197	260.88	6.0072	8.0222
4,300	4,297	260.23	5.9290	7.9376
4,400	4,397	259.58	5.8517	7.8536
4,500	4,497	258.93	5.7752	7.7704
4,600	4,597	258.28	5.6995	7.6878
4,700	4,697	257.63	5.6247	7.6059
4,800	4,796	256.98	5.5506	7.5247
4,900	4,896	256.33	5.4773	7.4442
5,000	4,996	255.69	5.4048 + 4	7.3643 - 1
5,100	5,096	255.04	5.3331	7.2851
5,200	5,196	254.39	5.2621	7.2065
5,400	5,395	253.09	5.1226	7.0513
5,500	5,495	252.44	5.0539	6.9747
5,600	5,595	251.79	4.9860	6.8987
5,700	5,695	251.14	4.9188	6.8234
5,800	5,795	250.49	4.8524	6.7486
5,900	5,895	249.85	4.7867	6.6746
6,000	5,994	249.20	4.7217 + 4	6.6011 - 1
6,100	6,094	248.55	4.6575	6.5283
6,200	6,194	247.90	4.5939	6.4561
6,300	6,294	247.25	4.5311	6.3845
6,400	6,394	246.60	4.4690	6.3135
6,500	6,493	245.95	4.4075	6.2431
6,600	6,593	245.30	4.3468	6.1733
6,700	6,693	244.66	4.2867	6.1041
6,800	6,793	244.01	4.2273	6.0356
6,900	6,893	243.36	4.1686	5.9676
7,000	6,992	242.71	4.1105 + 4	5.9002 - 1
7,100	7,092	242.06	4.0531	5.8334

APPENDIX A Standard Atmosphere, SI Units

Altitude		Temperature $T$ , K	Pressure $p$ , N/m <sup>2</sup>	Density $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>
$h_G$ , m	$h$ , m			
7,200	7,192	241.41	3.9963	5.7671
7,300	7,292	240.76	3.9402	5.7015
7,400	7,391	240.12	3.8848	5.6364
7,500	7,491	239.47	3.8299	5.5719
7,600	7,591	238.82	3.7757	5.5080
7,700	7,691	238.17	3.7222	5.4446
7,800	7,790	237.52	3.6692	5.3818
7,900	7,890	236.87	3.6169	5.3195
8,000	7,990	236.23	3.5651 + 4	5.2578 - 1
8,100	8,090	235.58	3.5140	5.1967
8,200	8,189	234.93	3.4635	5.1361
8,300	8,289	234.28	3.4135	5.0760
8,400	8,389	233.63	3.3642	5.0165
8,500	8,489	232.98	3.3154	4.9575
8,600	8,588	232.34	3.2672	4.8991
8,700	8,688	231.69	3.2196	4.8412
8,800	8,788	231.04	3.1725	4.7838
8,900	8,888	230.39	3.1260	4.7269
9,000	8,987	229.74	3.0800 + 4	4.6706 - 1
9,100	9,087	229.09	3.0346	4.6148
9,200	9,187	228.45	2.9898	4.5595
9,300	9,286	227.80	2.9455	4.5047
9,400	9,386	227.15	2.9017	4.4504
9,500	9,486	226.50	2.8584	4.3966
9,600	9,586	225.85	2.8157	4.3433
9,700	9,685	225.21	2.7735	4.2905
9,800	9,785	224.56	2.7318	4.2382
9,900	9,885	223.91	2.6906	4.1864
10,000	9,984	223.26	2.6500 + 4	4.1351 - 1
10,100	10,084	222.61	2.6098	4.0842
10,200	10,184	221.97	2.5701	4.0339
10,300	10,283	221.32	2.5309	3.9840
10,400	10,383	220.67	2.4922	3.9346
10,500	10,483	220.02	2.4540	3.8857
10,600	10,582	219.37	2.4163	3.8372
10,700	10,682	218.73	2.3790	3.7892
10,800	10,782	218.08	2.3422	3.7417
10,900	10,881	217.43	2.3059	3.6946
11,000	10,981	216.78	2.2700 + 4	3.6480 - 1
11,100	11,081	216.66	2.2346	3.5932
11,200	11,180	216.66	2.1997	3.5371
11,300	11,280	216.66	2.1654	3.4820
11,400	11,380	216.66	2.1317	3.4277
11,500	11,479	216.66	2.0985	3.3743
11,600	11,579	216.66	2.0657	3.3217
11,700	11,679	216.66	2.0335	3.2699

APPENDIX A Standard Atmosphere, SI Units

Altitude		Temperature $T$ , K	Pressure $p$ , N/m <sup>2</sup>	Density $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>
$h_G$ , m	$h$ , m			
11,800	11,778	216.66	2.0018	3.2189
11,900	11,878	216.66	1.9706	3.1687
12,000	11,977	216.66	1.9399 + 4	3.1194 - 1
12,100	12,077	216.66	1.9097	3.0707
12,200	12,177	216.66	1.8799	3.0229
12,300	12,276	216.66	1.8506	2.9758
12,400	12,376	216.66	1.8218	2.9294
12,500	12,475	216.66	1.7934	2.8837
12,600	12,575	216.66	1.7654	2.8388
12,700	12,675	216.66	1.7379	2.7945
12,800	12,774	216.66	1.7108	2.7510
12,900	12,874	216.66	1.6842	2.7081
13,000	12,973	216.66	1.6579 + 4	2.6659 - 1
13,100	13,073	216.66	1.6321	2.6244
13,200	13,173	216.66	1.6067	2.5835
13,300	13,272	216.66	1.5816	2.5433
13,400	13,372	216.66	1.5570	2.5036
13,500	13,471	216.66	1.5327	2.4646
13,600	13,571	216.66	1.5089	2.4262
13,700	13,671	216.66	1.4854	2.3884
13,800	13,770	216.66	1.4622	2.3512
13,900	13,870	216.66	1.4394	2.3146
14,000	13,969	216.66	1.4170 + 4	2.2785 - 1
14,100	14,069	216.66	1.3950	2.2430
14,200	14,168	216.66	1.3732	2.2081
14,300	14,268	216.66	1.3518	2.1737
14,400	14,367	216.66	1.3308	2.1399
14,500	14,467	216.66	1.3101	2.1065
14,600	14,567	216.66	1.2896	2.0737
14,700	14,666	216.66	1.2696	2.0414
14,800	14,766	216.66	1.2498	2.0096
14,900	14,865	216.66	1.2303	1.9783
15,000	14,965	216.66	1.2112 + 4	1.9475 - 1
15,100	15,064	216.66	1.1923	1.9172
15,200	15,164	216.66	1.1737	1.8874
15,300	15,263	216.66	1.1555	1.8580
15,400	15,363	216.66	1.1375	1.8290
15,500	15,462	216.66	1.1198	1.8006
15,600	15,562	216.66	1.1023	1.7725
15,700	15,661	216.66	1.0852	1.7449
15,800	15,761	216.66	1.0683	1.7178
15,900	15,860	216.66	1.0516	1.6910
16,000	15,960	216.66	1.0353 + 4	1.6647 - 1
16,100	16,059	216.66	1.0192	1.6388
16,200	16,159	216.66	1.0033	1.6133
16,300	16,258	216.66	9.8767 + 3	1.5882

APPENDIX A Standard Atmosphere, SI Units

Altitude		Temperature $T$ , K	Pressure $p$ , N/m <sup>2</sup>	Density $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>
$h_G$ , m	$h$ , m			
16,400	16,358	216.66	9.7230	1.5634
16,500	16,457	216.66	9.5717	1.5391
16,600	16,557	216.66	9.4227	1.5151
16,700	16,656	216.66	9.2760	1.4916
16,800	16,756	216.66	9.1317	1.4683
16,900	16,855	216.66	8.9895	1.4455
17,000	16,955	216.66	8.8496 + 3	1.4230 - 1
17,100	17,054	216.66	8.7119	1.4009
17,200	17,154	216.66	8.5763	1.3791
17,300	17,253	216.66	8.4429	1.3576
17,400	17,353	216.66	8.3115	1.3365
17,500	17,452	216.66	8.1822	1.3157
17,600	17,551	216.66	8.0549	1.2952
17,700	17,651	216.66	7.9295	1.2751
17,800	17,750	216.66	7.8062	1.2552
17,900	17,850	216.66	7.6847	1.2357
18,000	17,949	216.66	7.5652 + 3	1.2165 - 1
18,100	18,049	216.66	7.4475	1.1975
18,200	18,148	216.66	7.3316	1.1789
18,300	18,247	216.66	7.2175	1.1606
18,400	18,347	216.66	7.1053	1.1425
18,500	18,446	216.66	6.9947	1.1247
18,600	18,546	216.66	6.8859	1.1072
18,700	18,645	216.66	6.7788	1.0900
18,800	18,745	216.66	6.6734	1.0731
18,900	18,844	216.66	6.5696	1.0564
19,000	18,943	216.66	6.4674 + 3	1.0399 - 1
19,100	19,043	216.66	6.3668	1.0238
19,200	19,142	216.66	6.2678	1.0079
19,300	19,242	216.66	6.1703	9.9218 - 2
19,400	19,341	216.66	6.0744	9.7675
19,500	19,440	216.66	5.9799	9.6156
19,600	19,540	216.66	5.8869	9.4661
19,700	19,639	216.66	5.7954	9.3189
19,800	19,739	216.66	5.7053	9.1740
19,900	19,838	216.66	5.6166	9.0313
20,000	19,937	216.66	5.5293 + 3	8.8909 - 2
20,200	20,136	216.66	5.3587	8.6166
20,400	20,335	216.66	5.1933	8.3508
20,600	20,533	216.66	5.0331	8.0931
20,800	20,732	216.66	4.8779	7.8435
21,000	20,931	216.66	4.7274	7.6015
21,200	21,130	216.66	4.5816	7.3671
21,400	21,328	216.66	4.4403	7.1399
21,600	21,527	216.66	4.3034	6.9197
21,800	21,725	216.66	4.1706	6.7063

APPENDIX A Standard Atmosphere, SI Units

Altitude		Temperature $T$ , K	Pressure $p$ , N/m <sup>2</sup>	Density $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>
$h_G$ , m	$h$ , m			
22,000	21,924	216.66	4.0420 + 3	6.4995 - 2
22,200	22,123	216.66	3.9174	6.2991
22,400	22,321	216.66	3.7966	6.1049
22,600	22,520	216.66	3.6796	5.9167
22,800	22,719	216.66	3.5661	5.7343
23,000	22,917	216.66	3.4562	5.5575
23,200	23,116	216.66	3.3497	5.3862
23,400	23,314	216.66	3.2464	5.2202
23,600	23,513	216.66	3.1464	5.0593
23,800	23,711	216.66	3.0494	4.9034
24,000	23,910	216.66	2.9554 + 3	4.7522 - 2
24,200	24,108	216.66	2.8644	4.6058
24,400	24,307	216.66	2.7761	4.4639
24,600	24,505	216.66	2.6906	4.3263
24,800	24,704	216.66	2.6077	4.1931
25,000	24,902	216.66	2.5273	4.0639
25,200	25,100	216.96	2.4495	3.9333
25,400	25,299	217.56	2.3742	3.8020
25,600	25,497	218.15	2.3015	3.6755
25,800	25,696	218.75	2.2312	3.5535
26,000	25,894	219.34	2.1632 + 3	3.4359 - 2
26,200	26,092	219.94	2.0975	3.3225
26,400	26,291	220.53	2.0339	3.2131
26,600	26,489	221.13	1.9725	3.1076
26,800	26,687	221.72	1.9130	3.0059
27,000	26,886	222.32	1.8555	2.9077
27,200	27,084	222.91	1.7999	2.8130
27,400	27,282	223.51	1.7461	2.7217
27,600	27,481	224.10	1.6940	2.6335
27,800	27,679	224.70	1.6437	2.5484
28,000	27,877	225.29	1.5949 + 3	2.4663 - 2
28,200	28,075	225.89	1.5477	2.3871
28,400	28,274	226.48	1.5021	2.3106
28,600	28,472	227.08	1.4579	2.2367
28,800	28,670	227.67	1.4151	2.1654
29,000	28,868	228.26	1.3737	2.0966
29,200	29,066	228.86	1.3336	2.0301
29,400	29,265	229.45	1.2948	1.9659
29,600	29,463	230.05	1.2572	1.9039
29,800	29,661	230.64	1.2208	1.8440
30,000	29,859	231.24	1.1855 + 3	1.7861 - 2
30,200	30,057	231.83	1.1514	1.7302
30,400	30,255	232.43	1.1183	1.6762
30,600	30,453	233.02	1.0862	1.6240
30,800	30,651	233.61	1.0552	1.5735
31,000	30,850	234.21	1.0251	1.5278
31,200	31,048	234.80	9.9592 + 2	1.4777



APPENDIX A Standard Atmosphere, SI Units

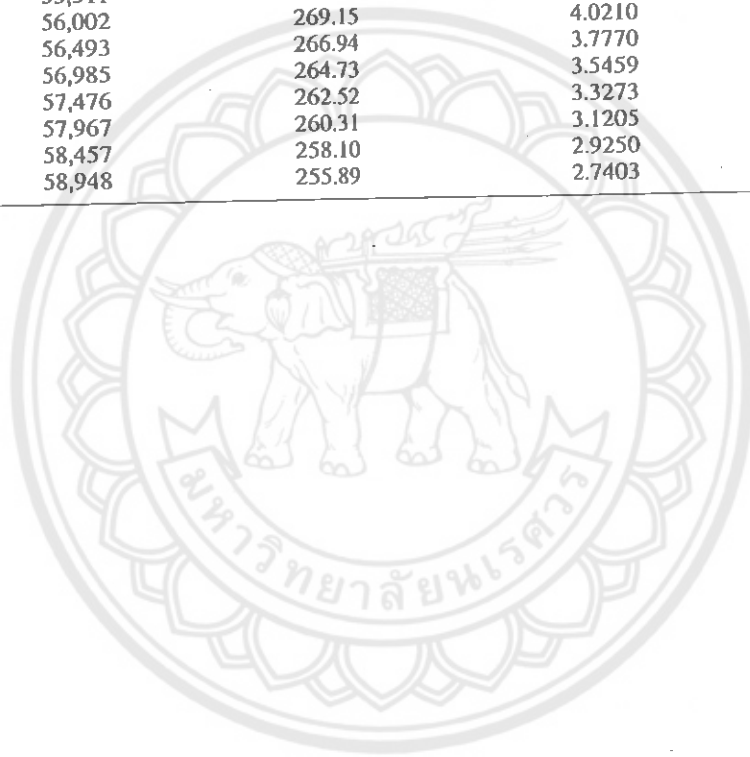
Altitude		Temperature $T$ , K	Pressure $p$ , N/m <sup>2</sup>	Density $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>
$h_0$ , m	$h$ , m			
31,400	31,246	235.40	9.6766	1.4321
31,600	31,444	235.99	9.4028	1.3881
31,800	31,642	236.59	9.1374	1.3455
32,000	31,840	237.18	8.8802 + 2	1.3044 - 2
32,200	32,038	237.77	8.6308	1.2646
32,400	32,236	238.78	8.3890	1.2261
32,600	32,434	238.96	8.1546	1.1889
32,800	32,632	239.55	7.9273	1.1529
33,000	32,830	240.15	7.7069	1.1180
33,200	33,028	240.74	7.4932	1.0844
33,400	33,225	214.34	7.2859	1.0518
33,600	33,423	241.93	7.0849	1.0202
33,800	33,621	242.52	6.8898	9.8972 - 3
34,000	33,819	243.12	6.7007 + 2	9.6020 - 3
34,200	34,017	243.71	6.5171	9.3162
34,400	34,215	244.30	6.3391	9.0396
34,600	34,413	244.90	6.1663	8.7720
34,800	34,611	245.49	5.9986	8.5128
35,000	34,808	246.09	5.8359	8.2620
35,200	35,006	246.68	5.6780	8.0191
35,400	35,204	247.27	5.5248	7.7839
35,600	35,402	247.87	5.3760	7.5562
35,800	35,600	248.46	5.2316	7.3357
36,000	35,797	249.05	5.0914 + 2	7.1221 - 3
36,200	35,995	249.65	4.9553	6.9152
36,400	36,193	250.24	4.8232	6.7149
36,600	36,390	250.83	4.6949	6.5208
36,800	36,588	251.42	4.5703	6.3328
37,000	36,786	252.02	4.4493	6.1506
37,200	36,984	252.61	4.3318	5.9741
37,400	37,181	253.20	4.2176	5.8030
37,600	37,379	253.80	4.1067	5.6373
37,800	37,577	254.39	3.9990	5.4767
38,000	37,774	254.98	3.8944 + 2	5.3210 - 3
38,200	37,972	255.58	3.7928	5.1701
38,400	38,169	256.17	3.6940	5.0238
38,600	38,367	256.76	3.5980	4.8820
38,800	38,565	257.35	3.5048	4.7445
39,000	38,762	257.95	3.4141	4.6112
39,200	38,960	258.54	3.3261	4.4819
39,400	39,157	259.13	3.2405	4.3566
39,600	39,355	259.72	3.1572	4.2350
39,800	39,552	260.32	3.0764	4.1171
40,000	39,750	260.91	2.9977 + 2	4.0028 - 3
40,200	39,947	261.50	2.9213	3.8919
40,400	40,145	262.09	2.8470	3.7843

APPENDIX A Standard Atmosphere, SI Units

Altitude		Temperature $T$ , K	Pressure $p$ , N/m <sup>2</sup>	Density $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>
$h_G$ , m	$h$ , m			
40,600	40,342	262.69	2.7747	
40,800	40,540	263.28	2.7044	3.6799
41,000	40,737	263.87	2.6361	3.5786
41,200	40,935	264.46	2.5696	3.4804
41,400	41,132	265.06	2.5050	3.3850
41,600	41,300	265.65	2.4421	3.2925
41,800	41,527	266.24	2.3810	3.2027
				3.1156
42,000	41,724	266.83		
42,400	41,922	267.43	2.3215 + 2	3.0310 - 3
42,400	42,119	268.02	2.2636	2.9489
42,600	42,316	268.61	2.2073	2.8692
42,800	42,514	269.20	2.1525	2.7918
43,000	42,711	269.79	2.0992	2.7167
43,200	42,908	270.39	2.0474	2.6438
43,400	43,106	270.98	1.9969	2.5730
43,600	43,303	271.57	1.9478	2.5042
43,800	43,500	272.16	1.9000	2.4374
			1.8535	2.3726
44,000	43,698	272.75		
44,200	43,895	273.34	1.8082 + 2	2.3096 - 3
44,400	44,092	273.94	1.7641	2.2484
44,600	44,289	274.53	1.7212	2.1889
44,800	44,486	275.12	1.6794	2.1312
45,000	44,684	275.71	1.6387	2.0751
45,200	44,881	276.30	1.5991	2.0206
45,400	45,078	276.89	1.5606	1.9677
45,600	45,275	277.49	1.5230	1.9162
45,800	45,472	278.08	1.4865	1.8662
			1.4508	1.8177
46,000	45,670	278.67		
46,200	45,867	279.26	1.4162 + 2	1.7704 - 3
46,400	46,064	279.85	1.3824	1.7246
46,600	46,261	280.44	1.3495	1.6799
46,800	46,458	281.03	1.3174	1.6366
47,000	46,655	281.63	1.2862	1.5944
47,200	46,852	282.22	1.2558	1.5535
47,400	47,049	282.82	1.2261	1.5136
47,600	47,246	282.66	1.1973	1.4757
47,800	47,443	282.66	1.1691	1.4409
			1.1416	1.4070
48,000	47,640	282.66		
48,200	47,837	282.66	1.1147 + 2	1.3739 - 3
48,400	48,034	282.66	1.0885	1.3416
48,600	48,231	282.66	1.0629	1.3100
48,800	48,428	282.66	1.0379	1.2792
49,000	48,625	282.66	1.0135	1.2491
49,200	48,822	282.66	9.8961 + 1	1.2197
49,400	49,019	282.66	9.6633	1.1910
49,600	49,216	282.66	9.4360	1.1630
49,800	49,413	282.66	9.2141	1.1357
			8.9974	1.1089

APPENDIX A Standard Atmosphere, SI Units

Altitude		Temperature $T$ , K	Pressure $p$ , N/m <sup>2</sup>	Density $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>
$h_G$ , m	$h$ , m			
50,000	49,610	282.66	8.7858 + 1	1.0829 - 3
50,500	50,102	282.66	8.2783	1.0203
51,000	50,594	282.66	7.8003	9.6140 - 4
51,500	51,086	282.66	7.3499	9.0589
52,000	51,578	282.66	6.9256	8.5360
52,500	52,070	282.66	6.5259	8.0433
53,000	52,562	282.66	6.1493	7.5791
53,500	53,053	282.42	5.7944	7.1478
54,000	53,545	280.21	5.4586	6.7867
54,500	54,037	277.99	5.1398	6.4412
55,000	54,528	275.78	4.8373 + 1	6.1108 - 4
55,500	55,020	273.57	4.5505	5.7949
56,000	55,511	271.36	4.2786	5.4931
56,500	56,002	269.15	4.0210	5.2047
57,000	56,493	266.94	3.7770	4.9293
57,500	56,985	264.73	3.5459	4.6664
58,000	57,476	262.52	3.3273	4.4156
58,500	57,967	260.31	3.1205	4.1763
59,000	58,457	258.10	2.9250	3.9482
59,500	58,948	255.89	2.7403	3.7307



# C

## APPENDIX

---

### Symbols and Conversion Factors

#### SYMBOLS

meter, m  
kilogram, kg  
second, s  
kelvin, K  
foot, ft  
pound force, lb or lb<sub>f</sub>  
pound mass, lb<sub>m</sub>  
degree rankine, °R  
newton, N  
atmosphere, atm

#### CONVERSION FACTORS

1 ft = 0.3048 m  
1 slug = 14.594 kg  
1 slug = 32.2 lb<sub>m</sub>  
1 lb<sub>m</sub> = 0.4536 kg  
1 lb = 4.448 N  
1 atm = 2116 lb/ft<sup>2</sup> = 1.01 × 10<sup>5</sup> N/m<sup>2</sup>  
1 K = 1.8°R

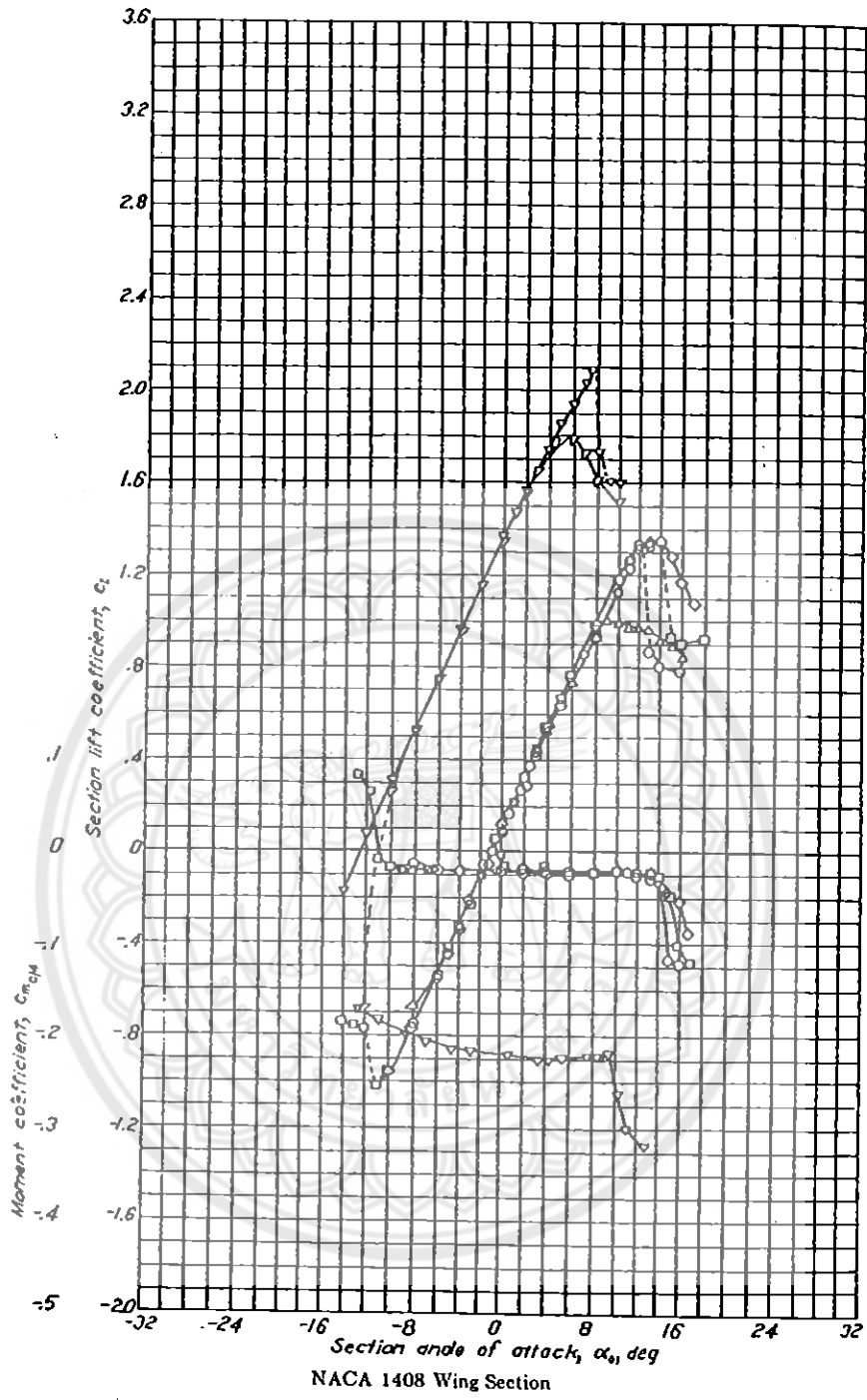
# APPENDIX **D**

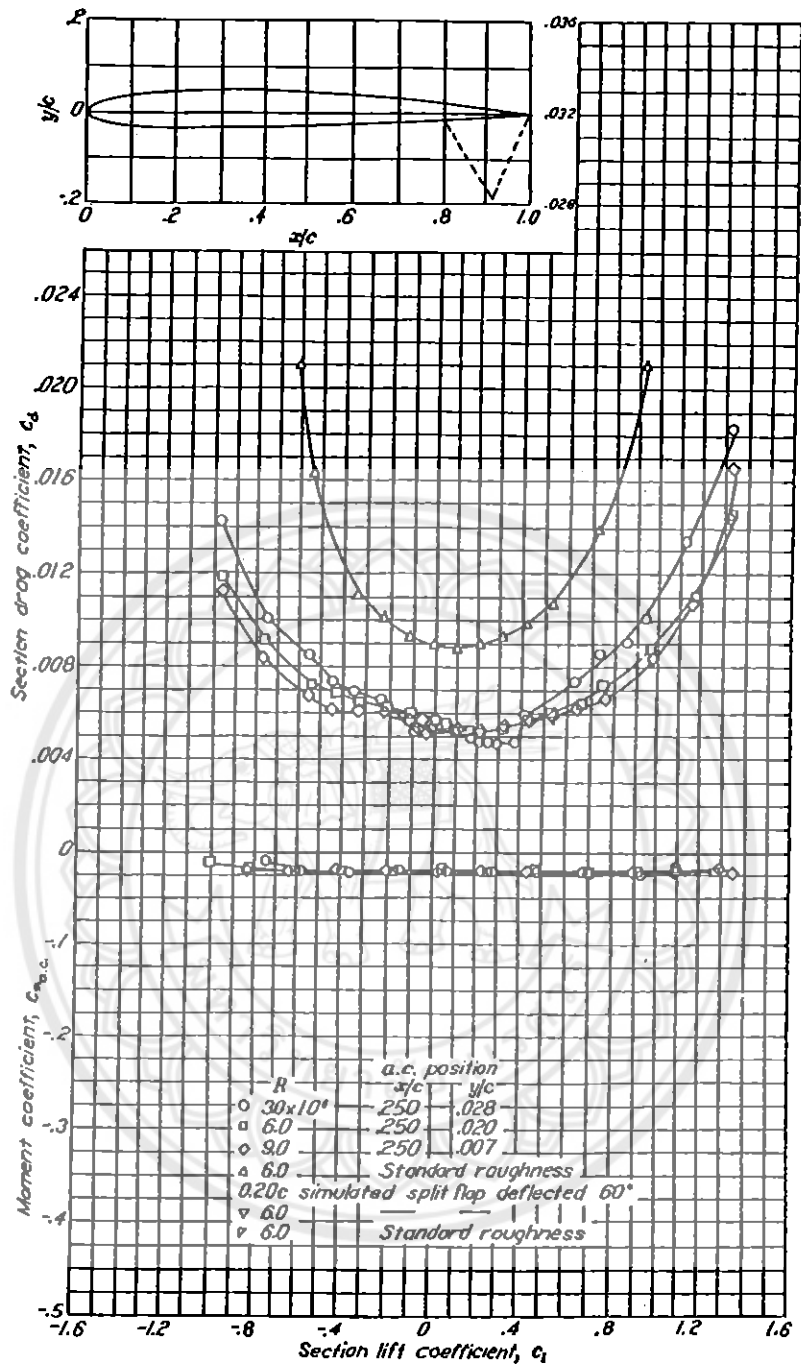
---

## **Airfoil Data**



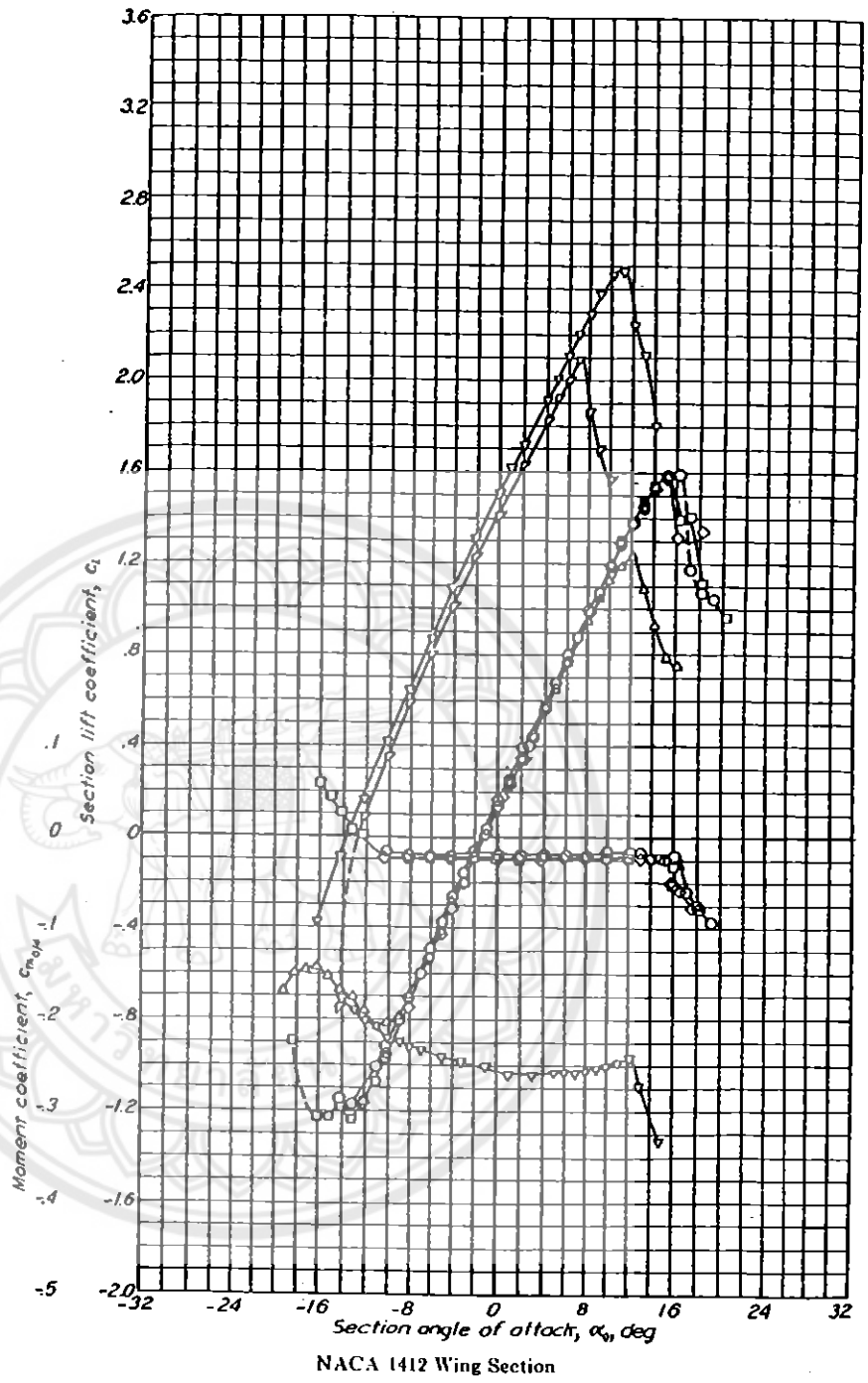
APPENDIX D Airfoil Data



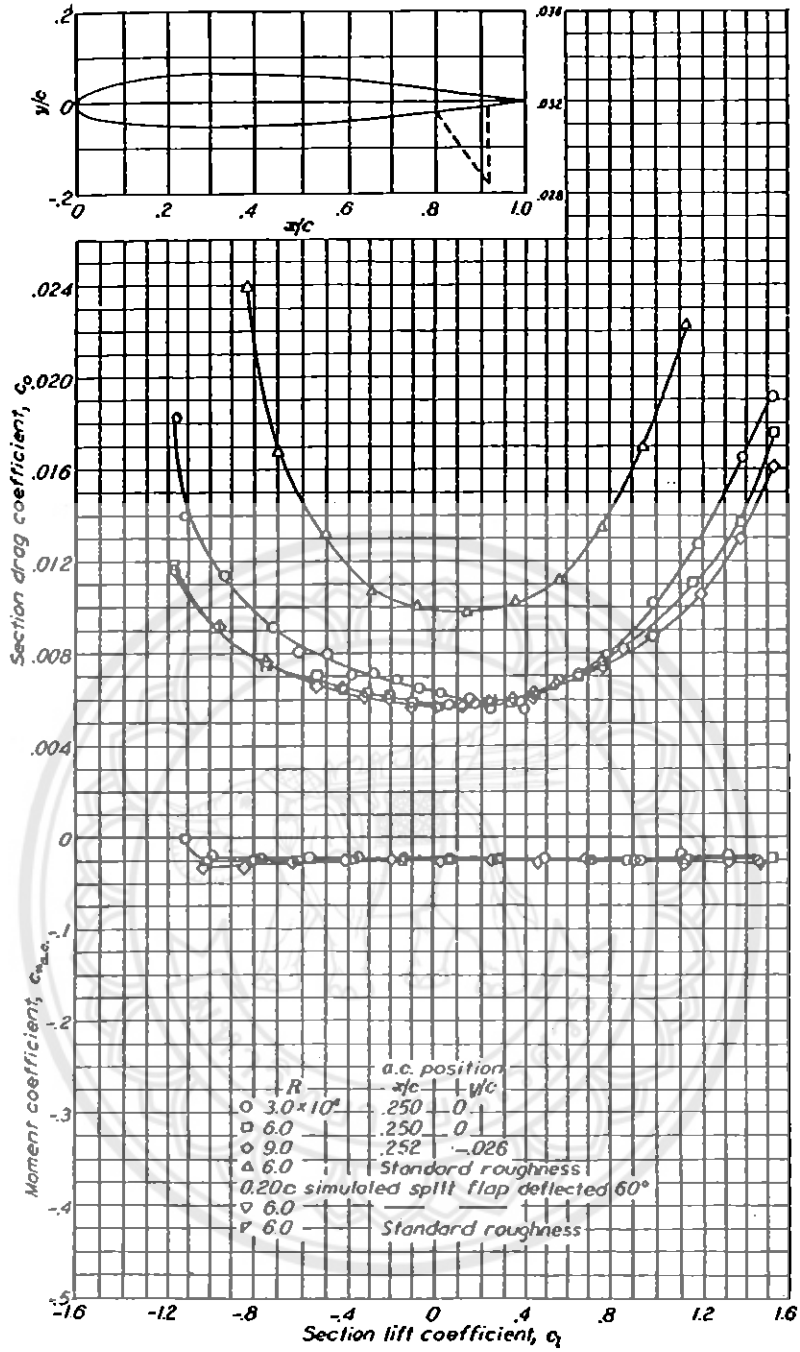


NACA 1408 Wing Section (Continued)

APPENDIX D Airfoil Data

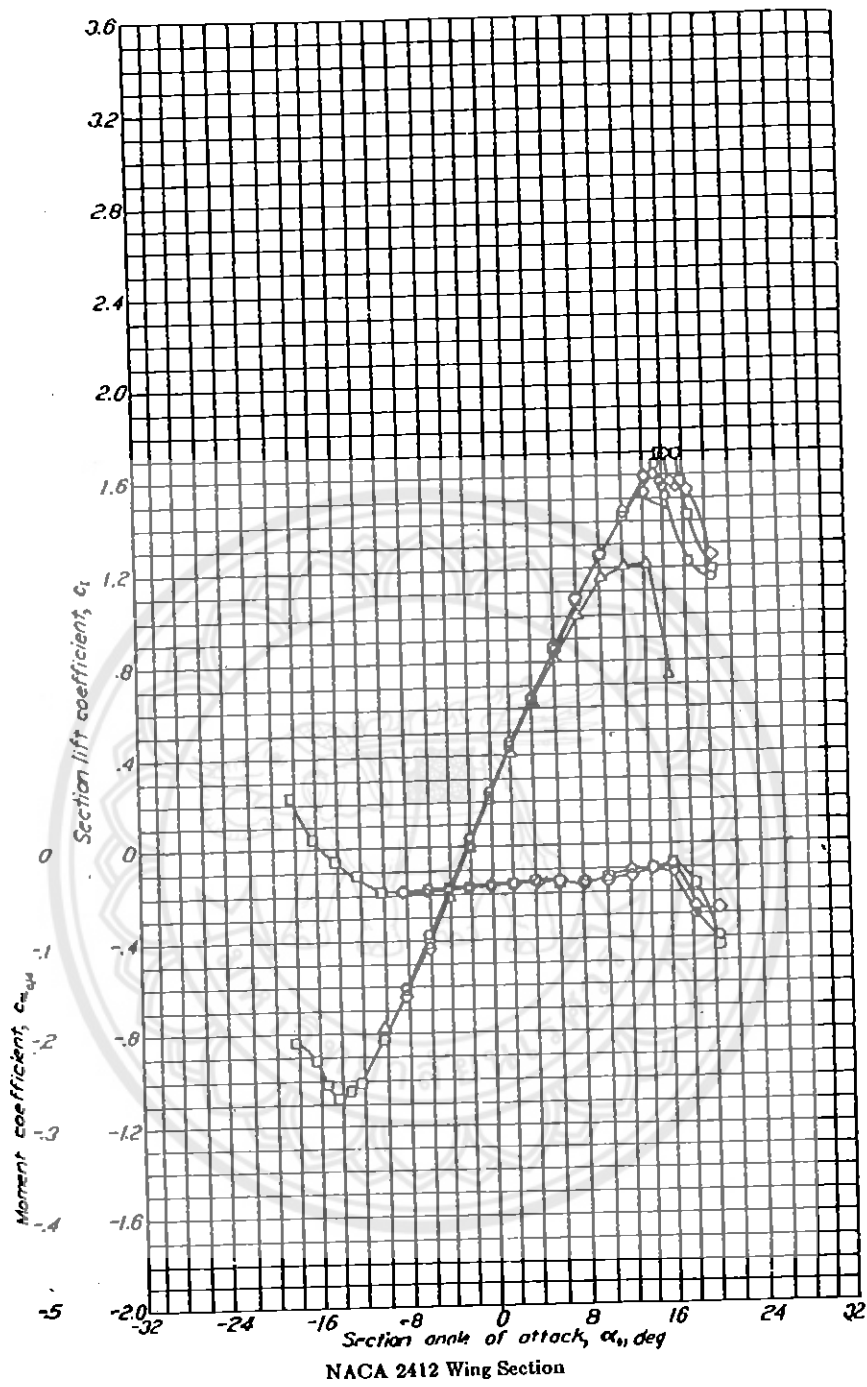


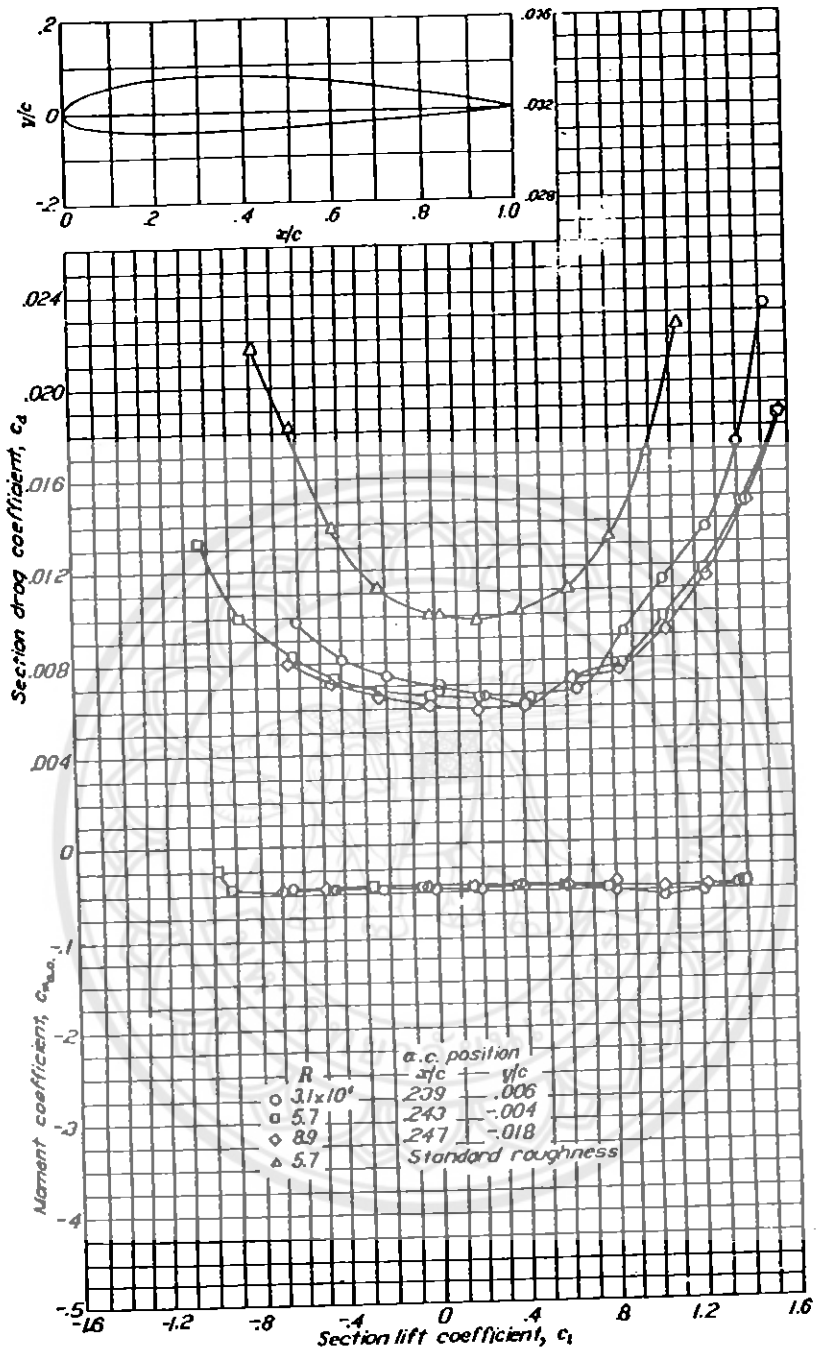




NACA 1412 Wing Section (Continued)

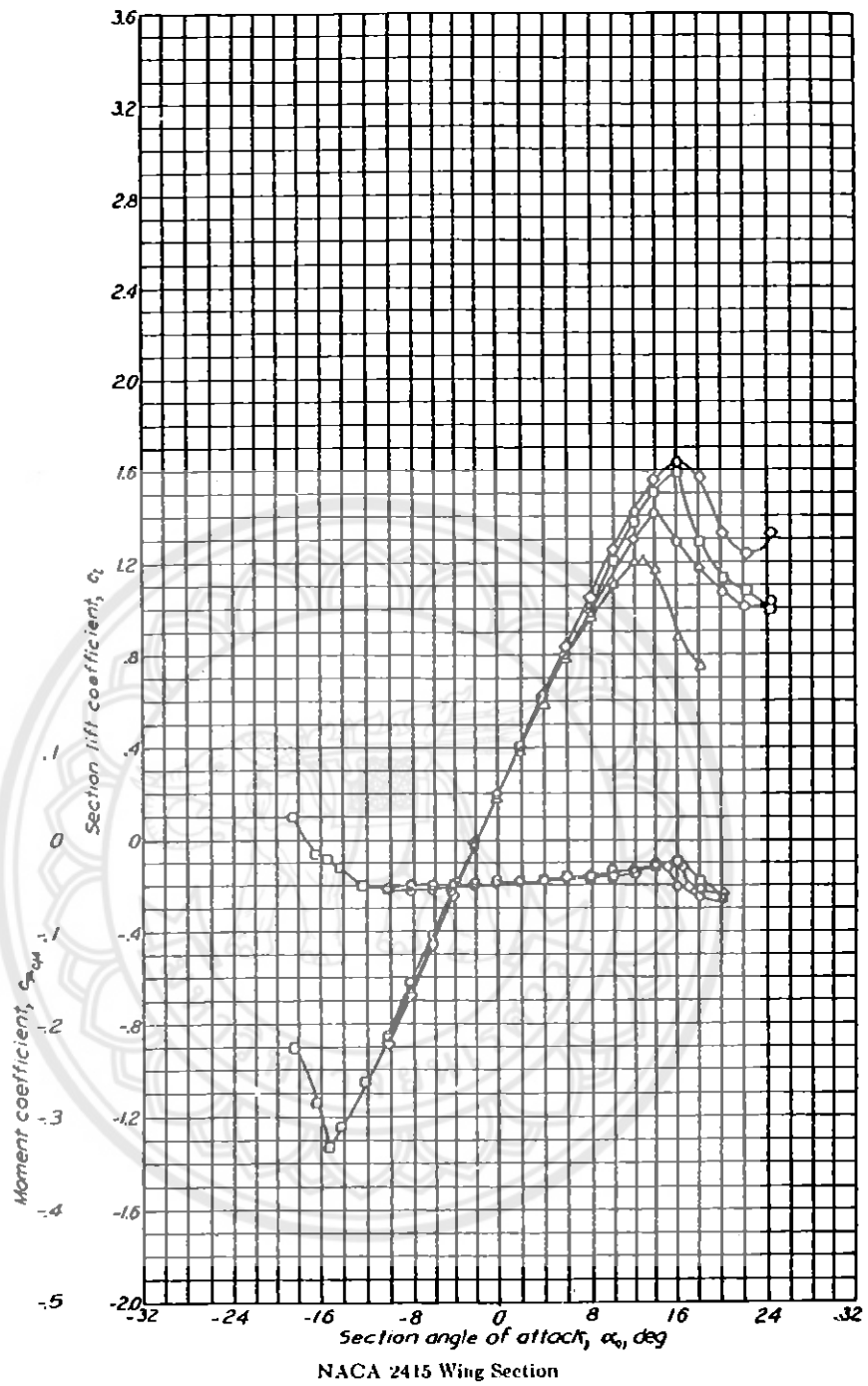
APPENDIX D Airfoil Data



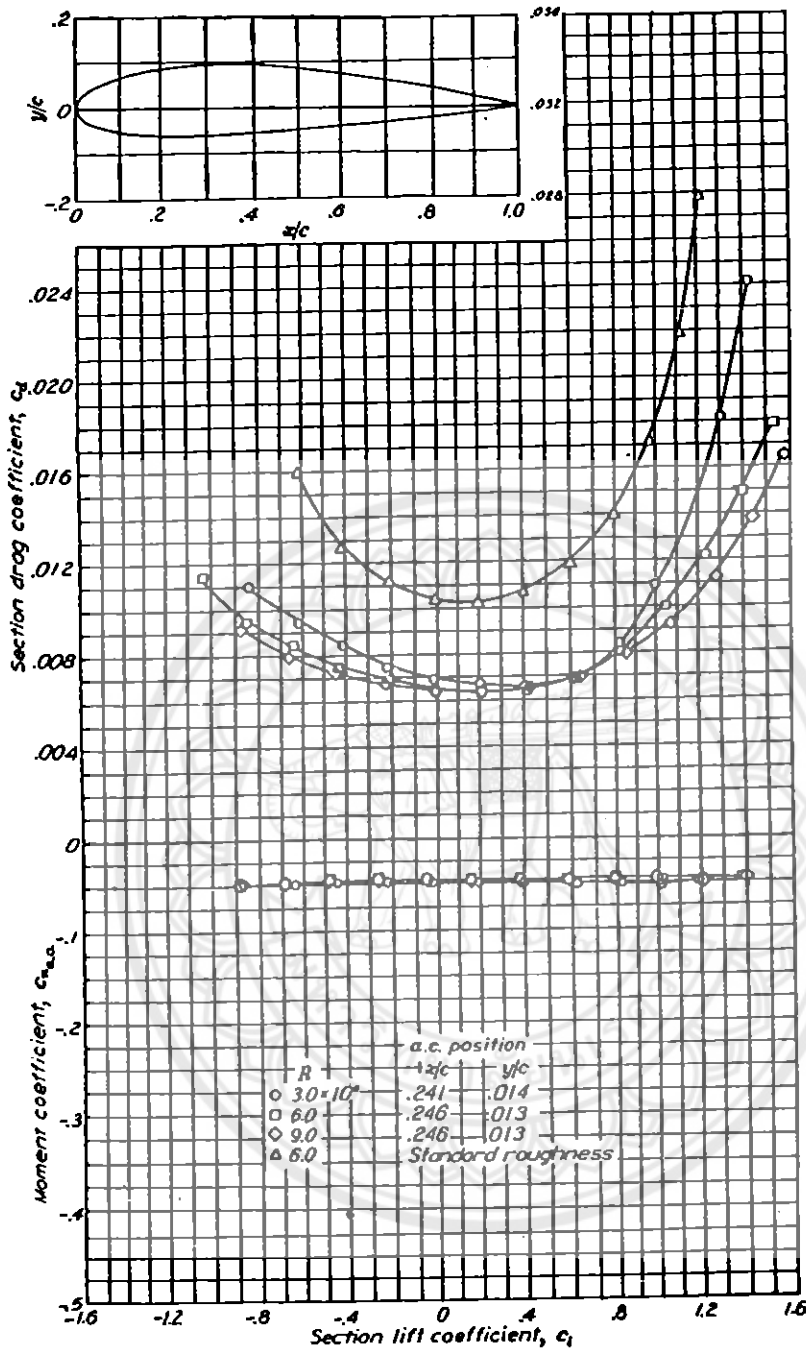


NACA 2412 Wing Section (Continued)

APPENDIX D Airfoil Data

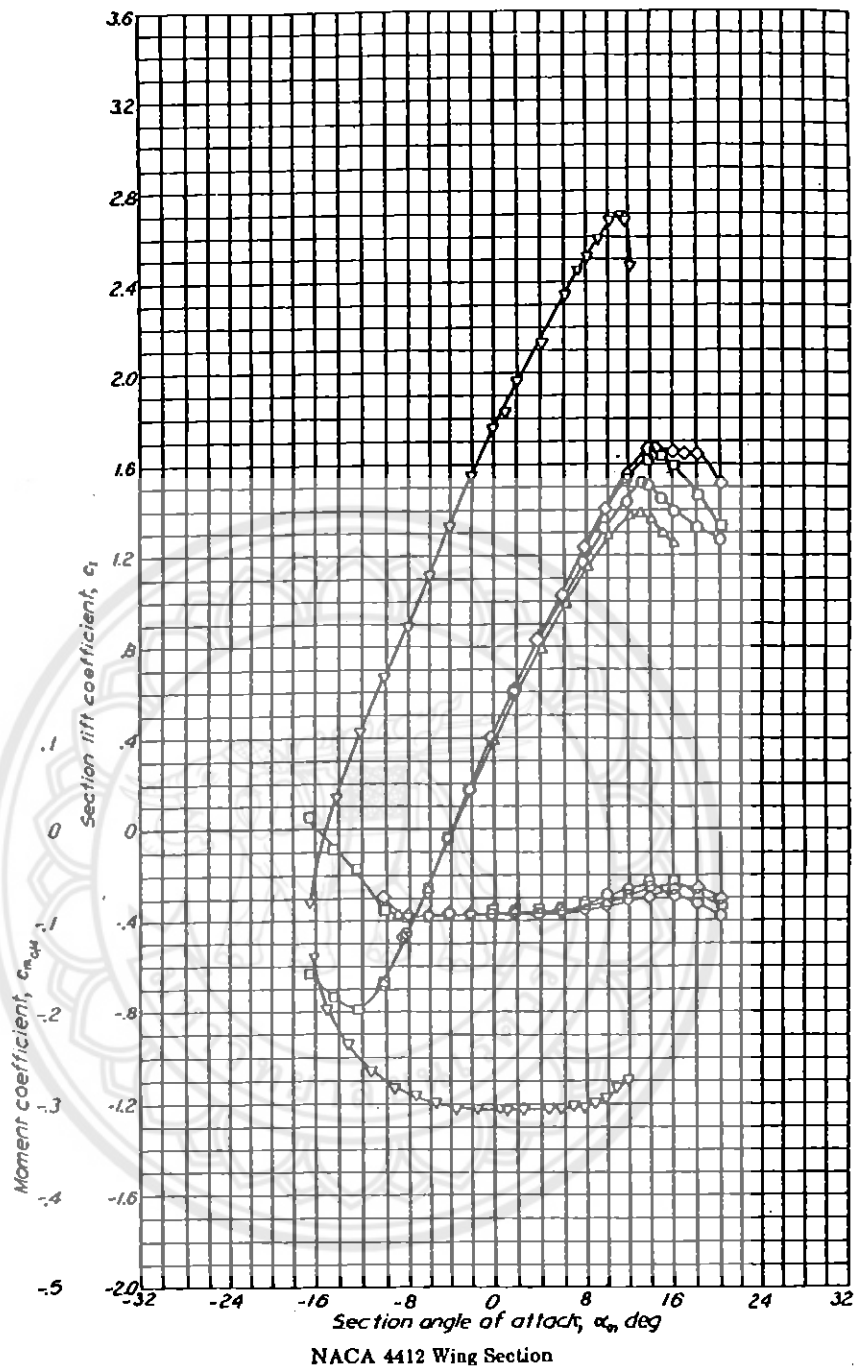


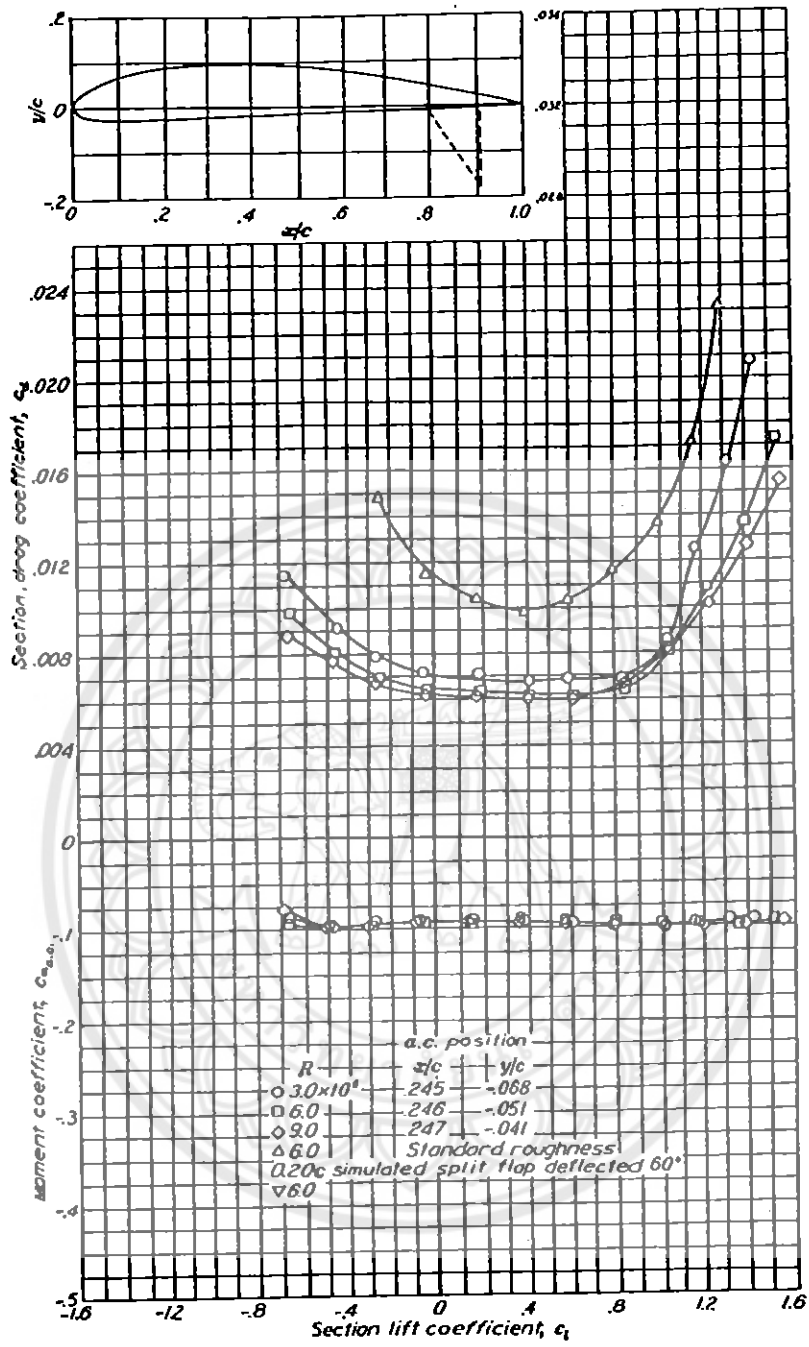
APPENDIX D Airfoil Data



NACA 2415 Wing Section (Continued)

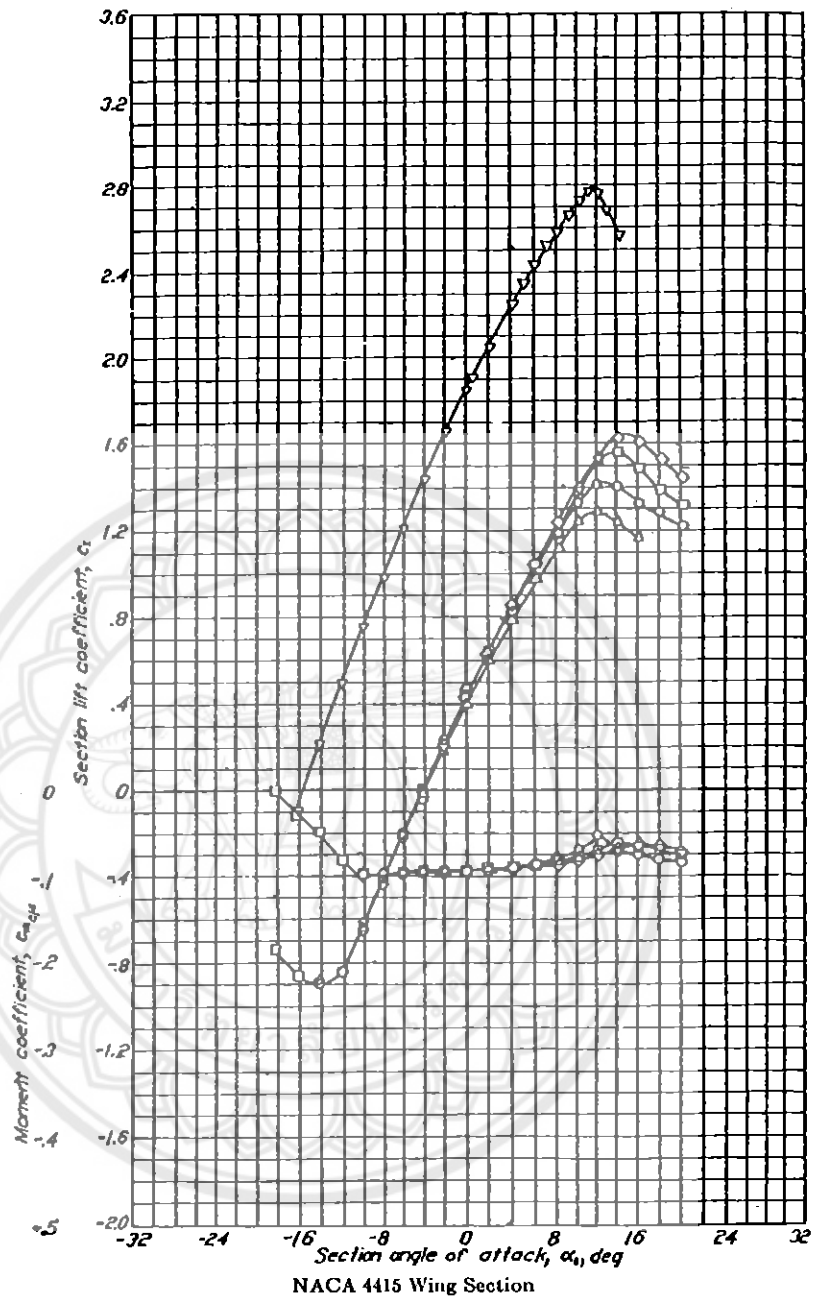
APPENDIX D Airfoil Data



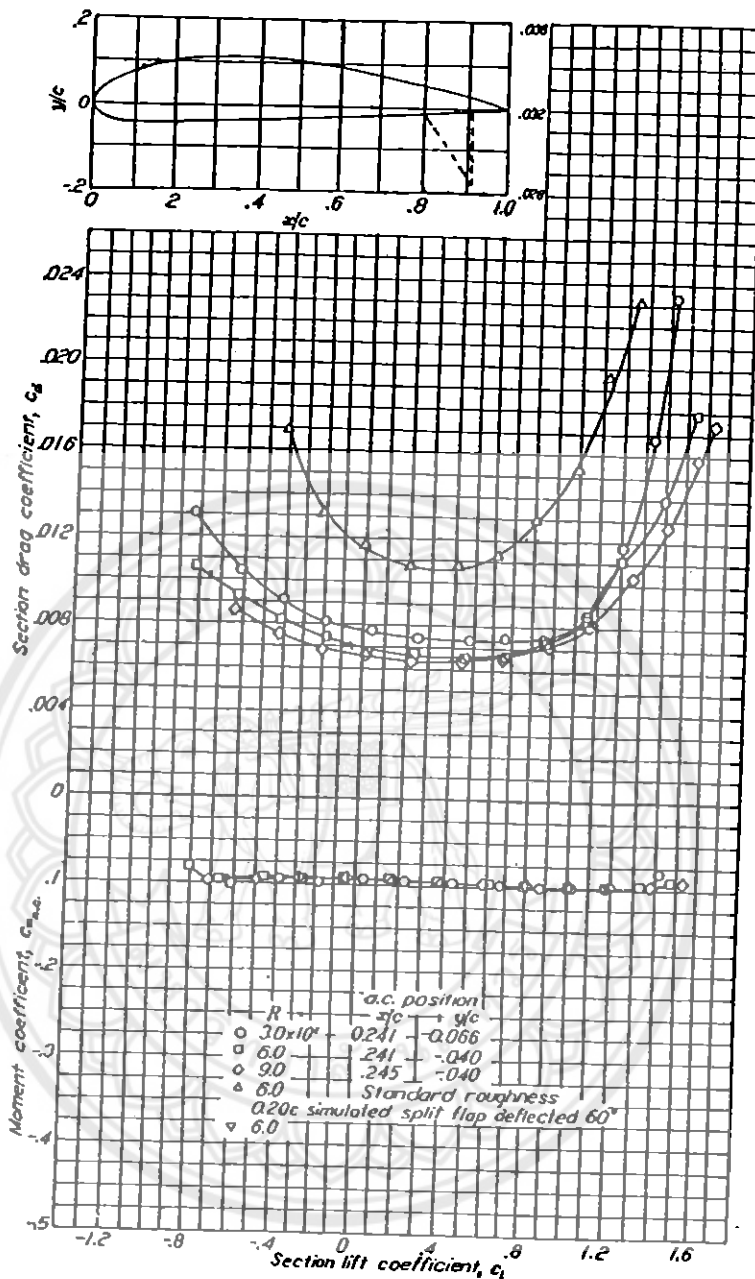


NACA 4412 Wing Section (Continued)

APPENDIX D Airfoil Data

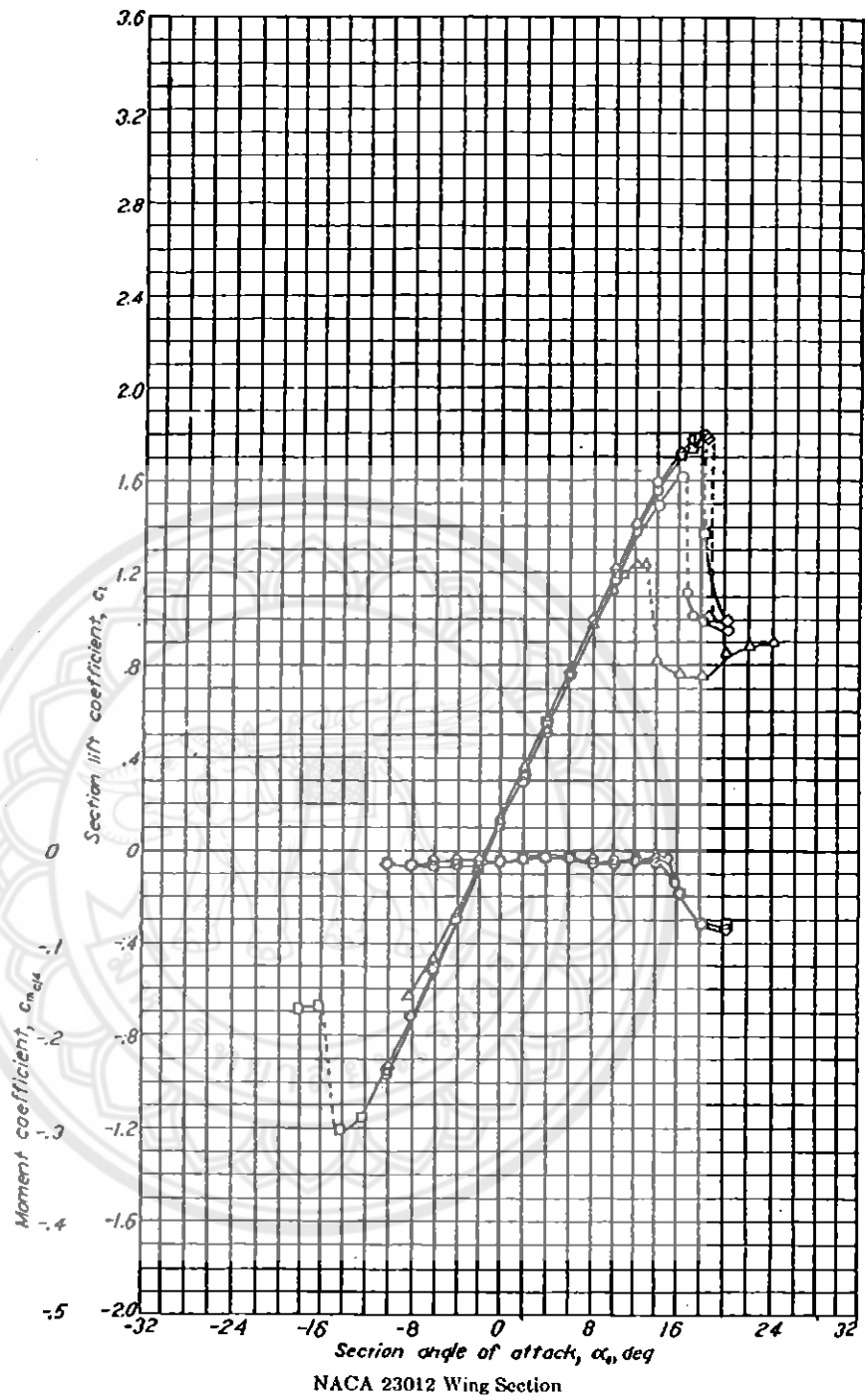




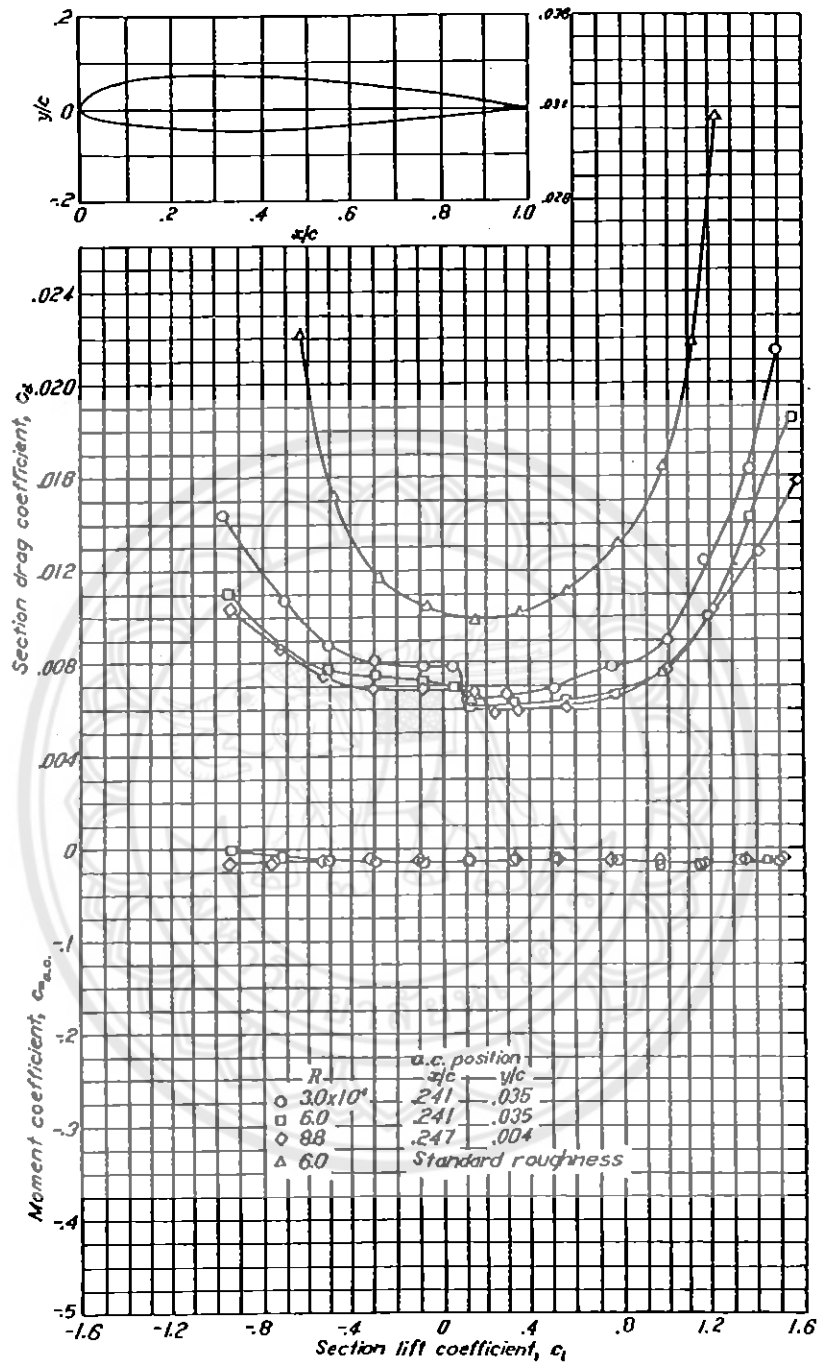


NACA 4415 Wing Section (Continued)

APPENDIX D Airfoil Data

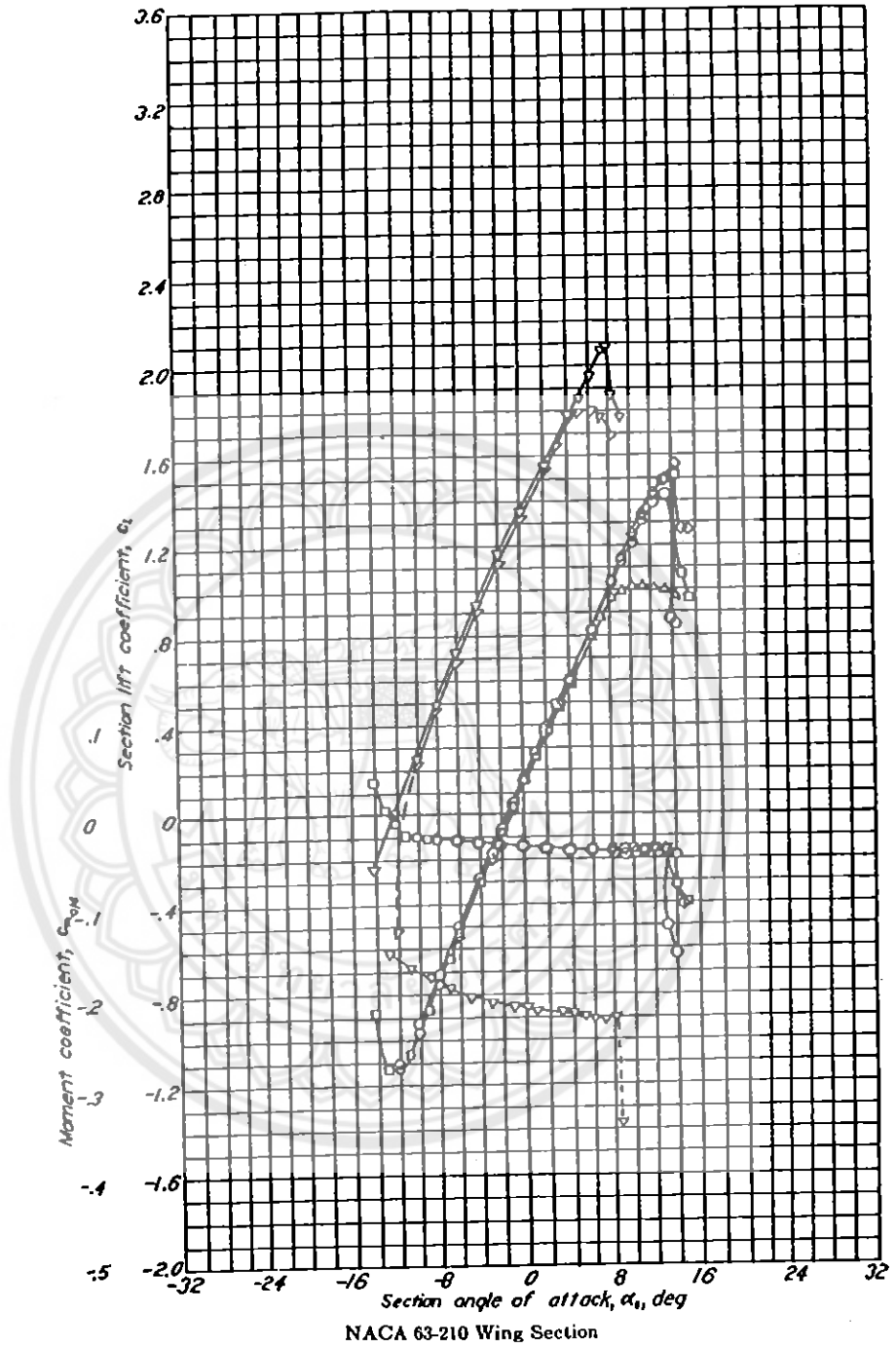


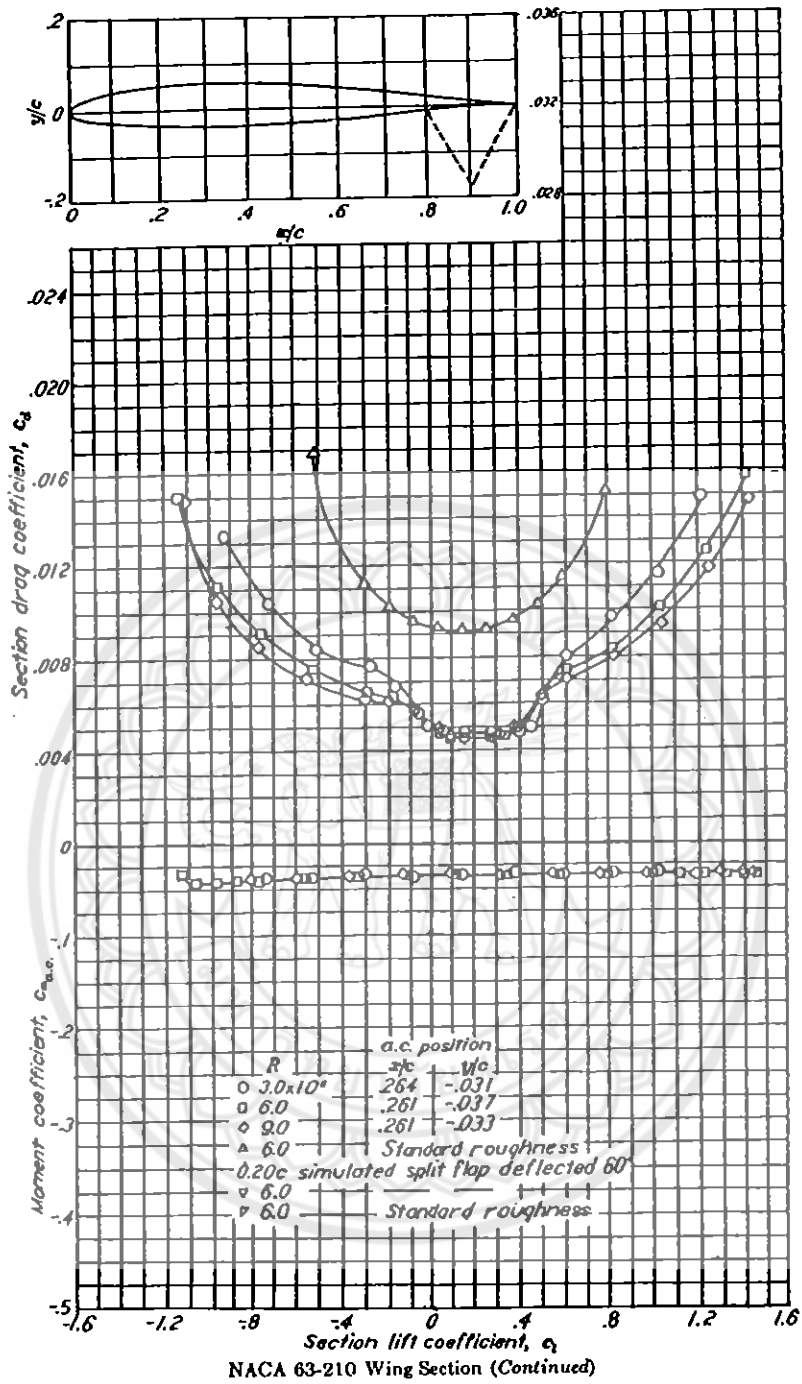
APPENDIX D Airfoil Data



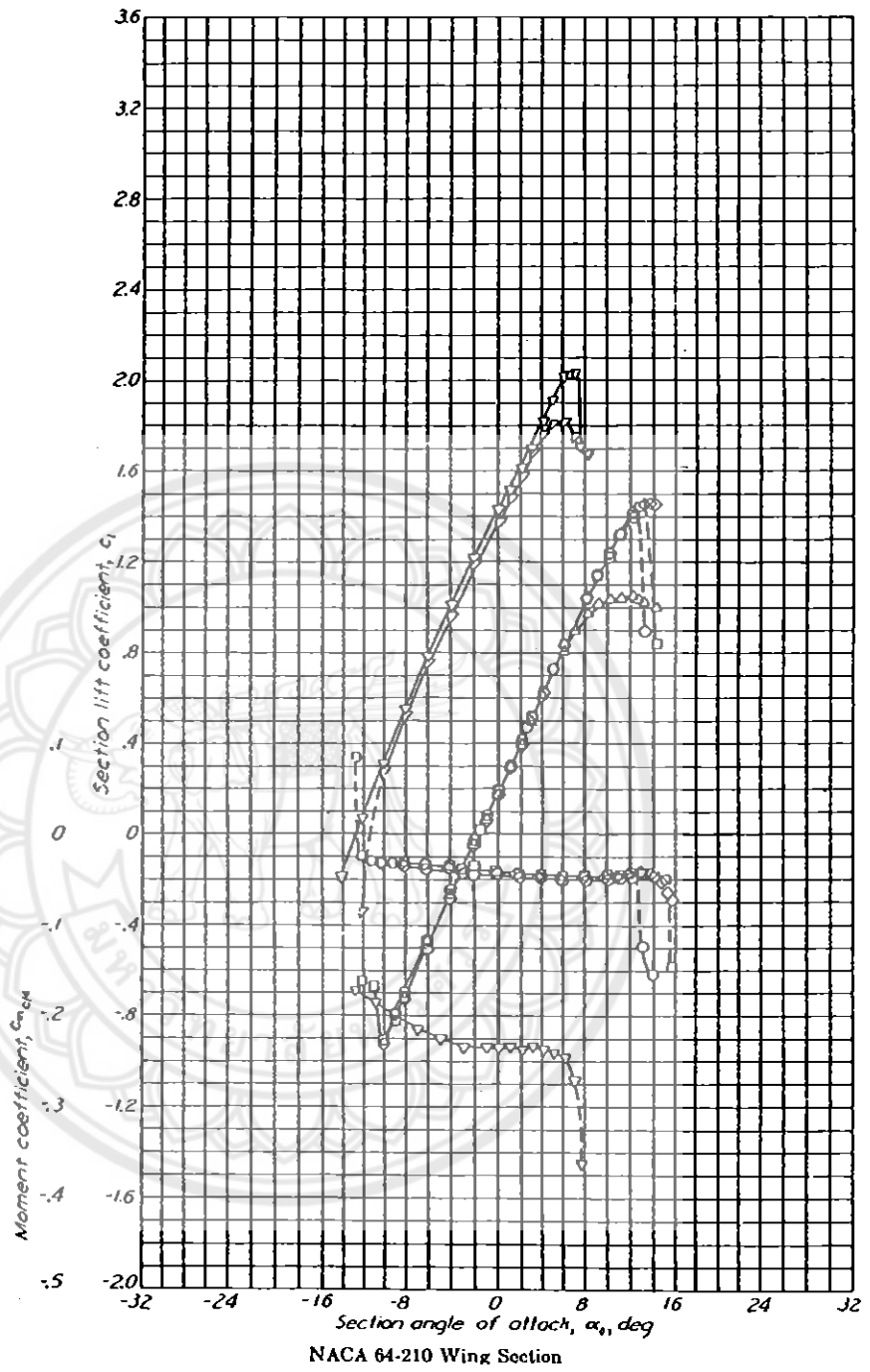
NACA 23012 Wing Section (Continued)

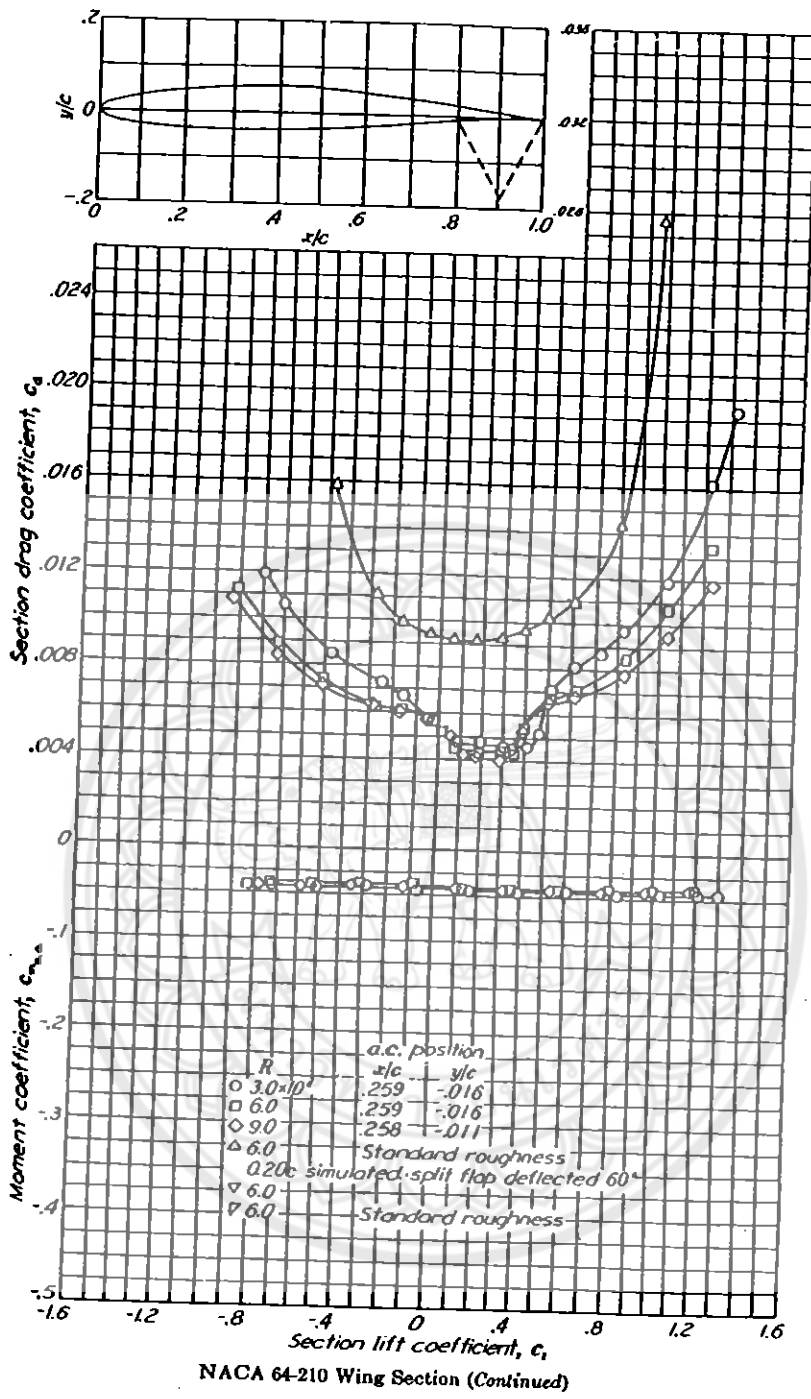
APPENDIX D Airfoil Data



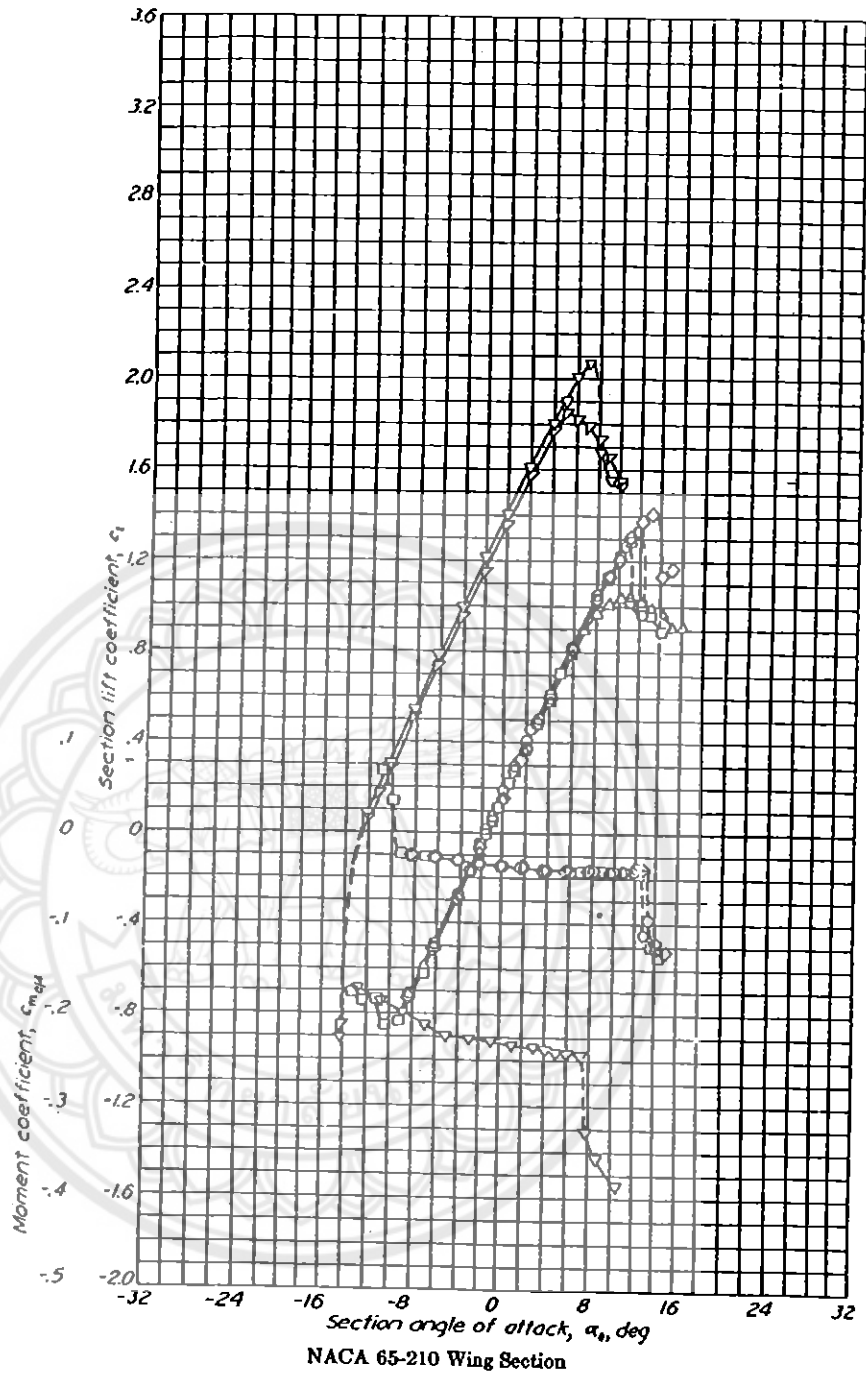


APPENDIX D Airfoil Data

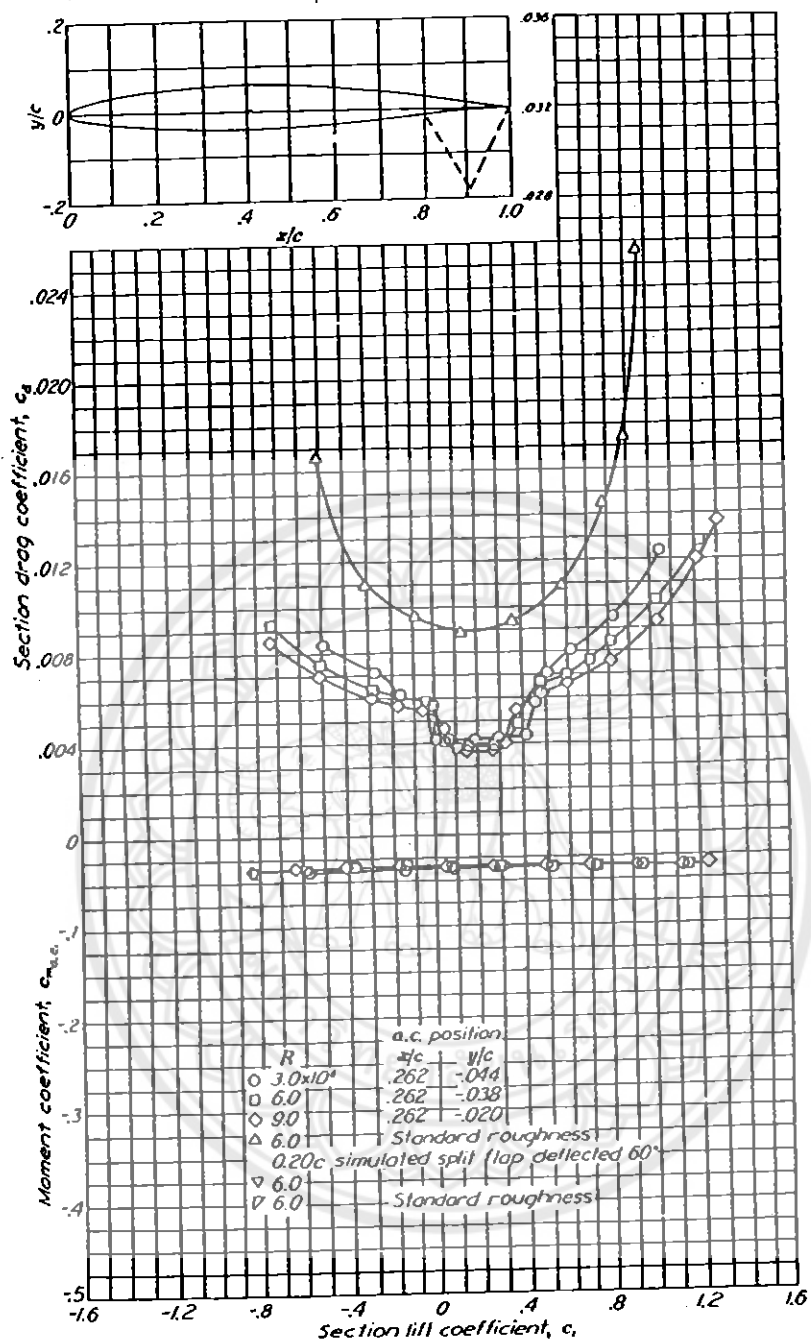




APPENDIX D Airfoil Data

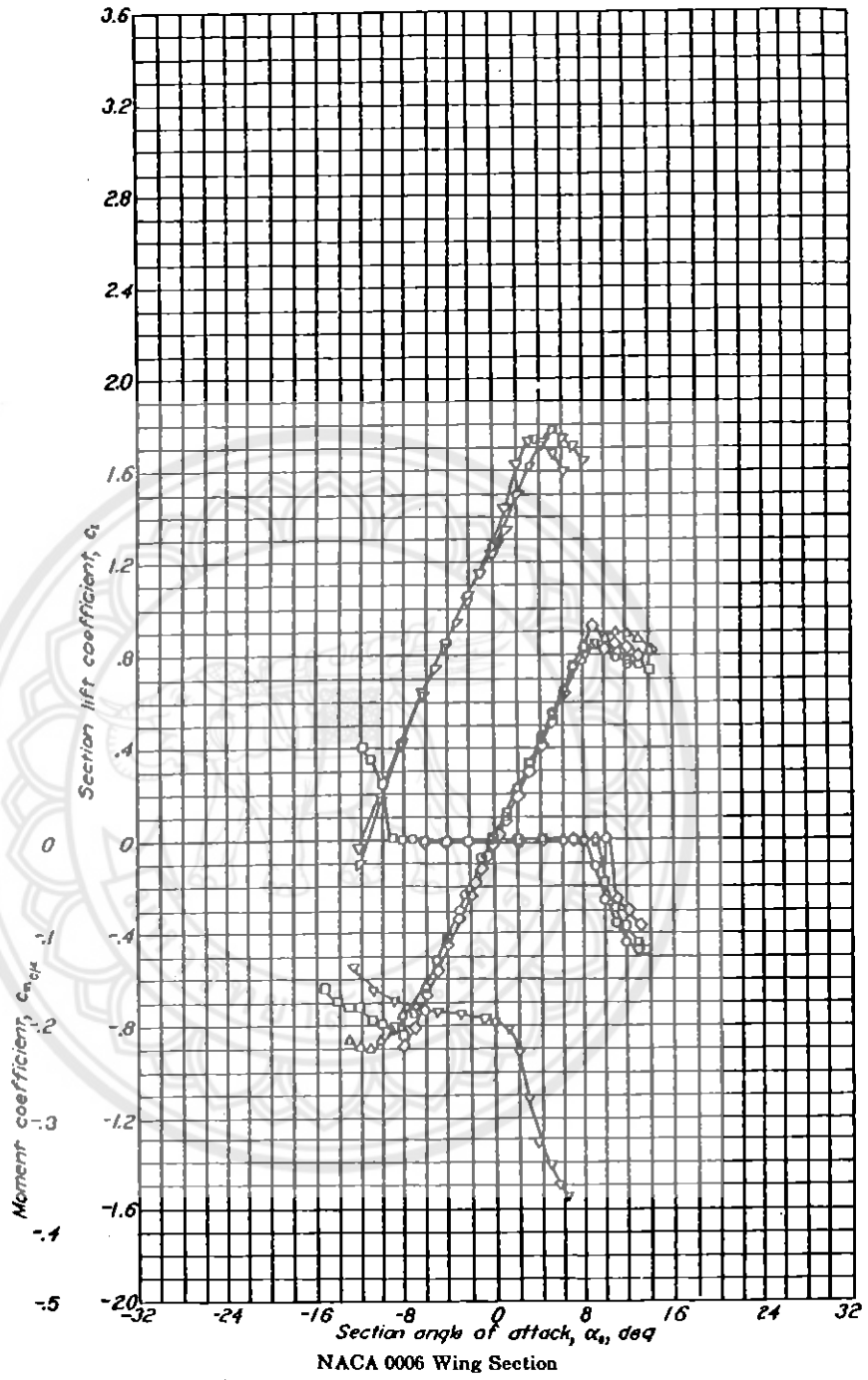


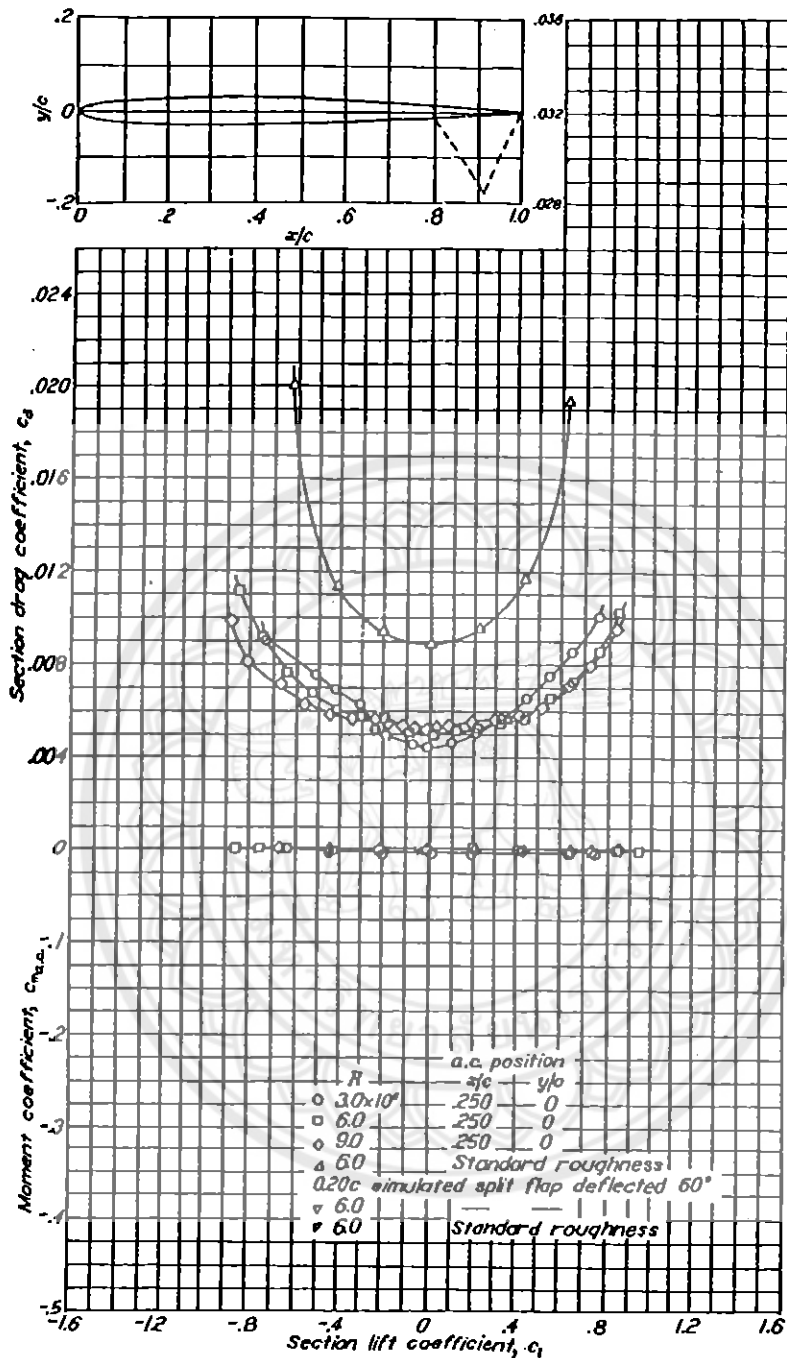




NACA 65-210 Wing Section (Continued)

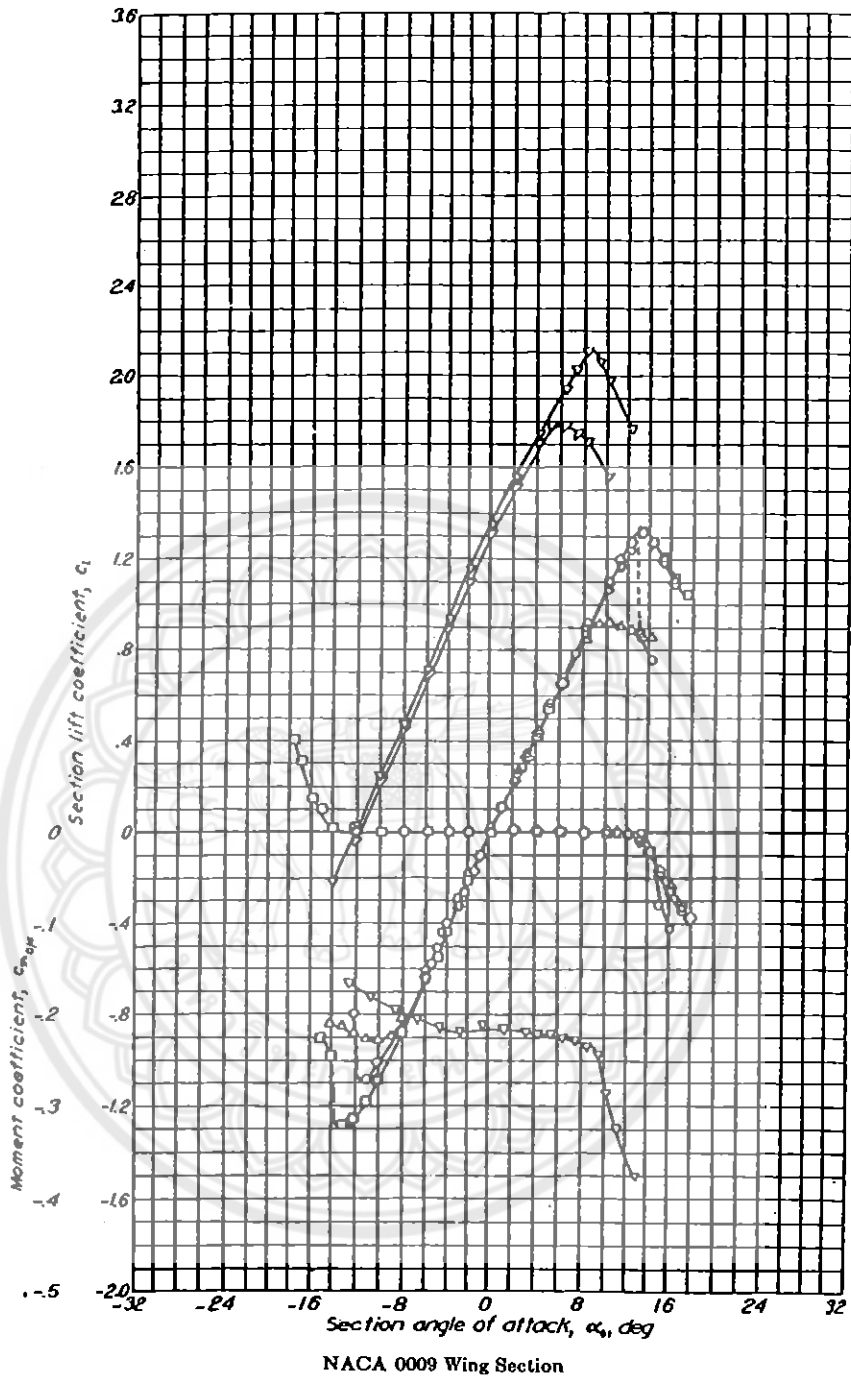
APPENDIX D Airfoil Data

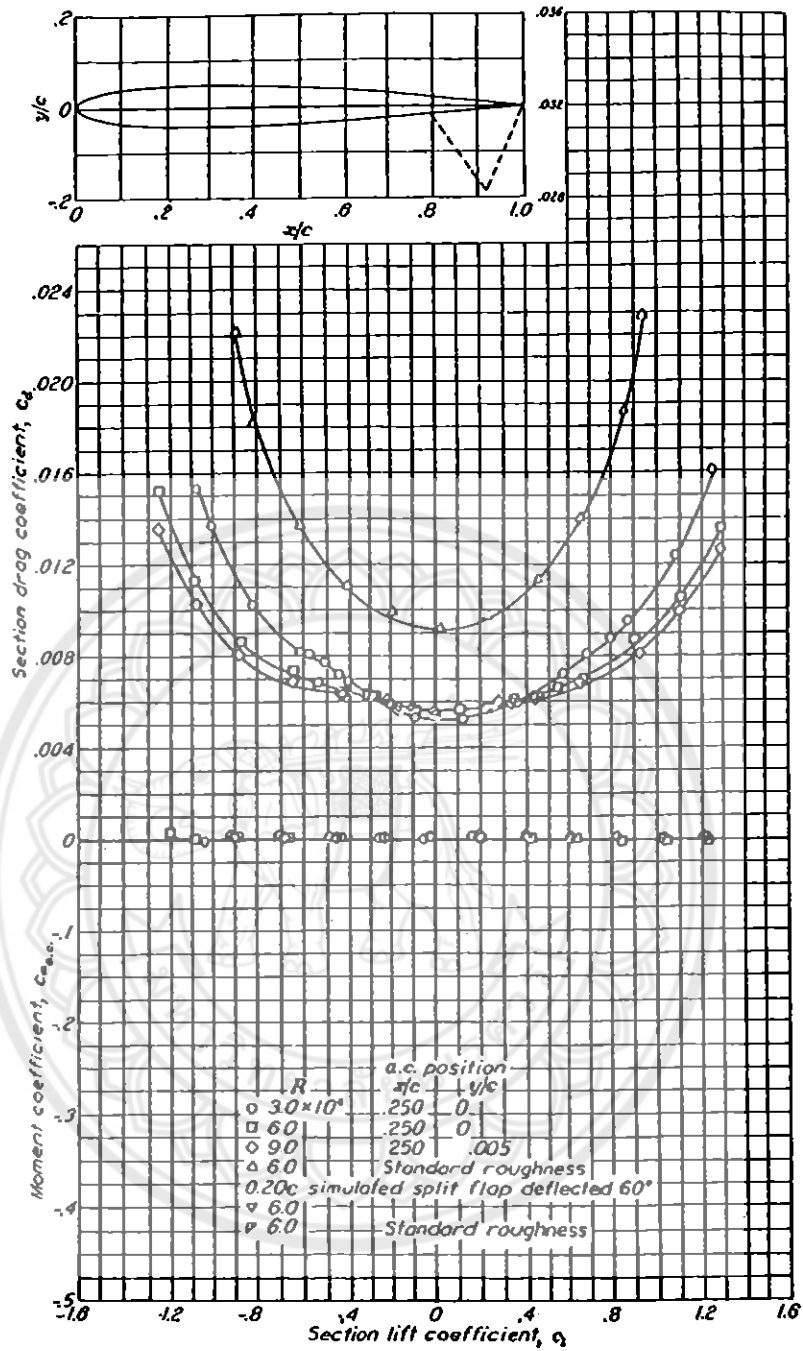




NACA 0006 Wing Section (Continued)

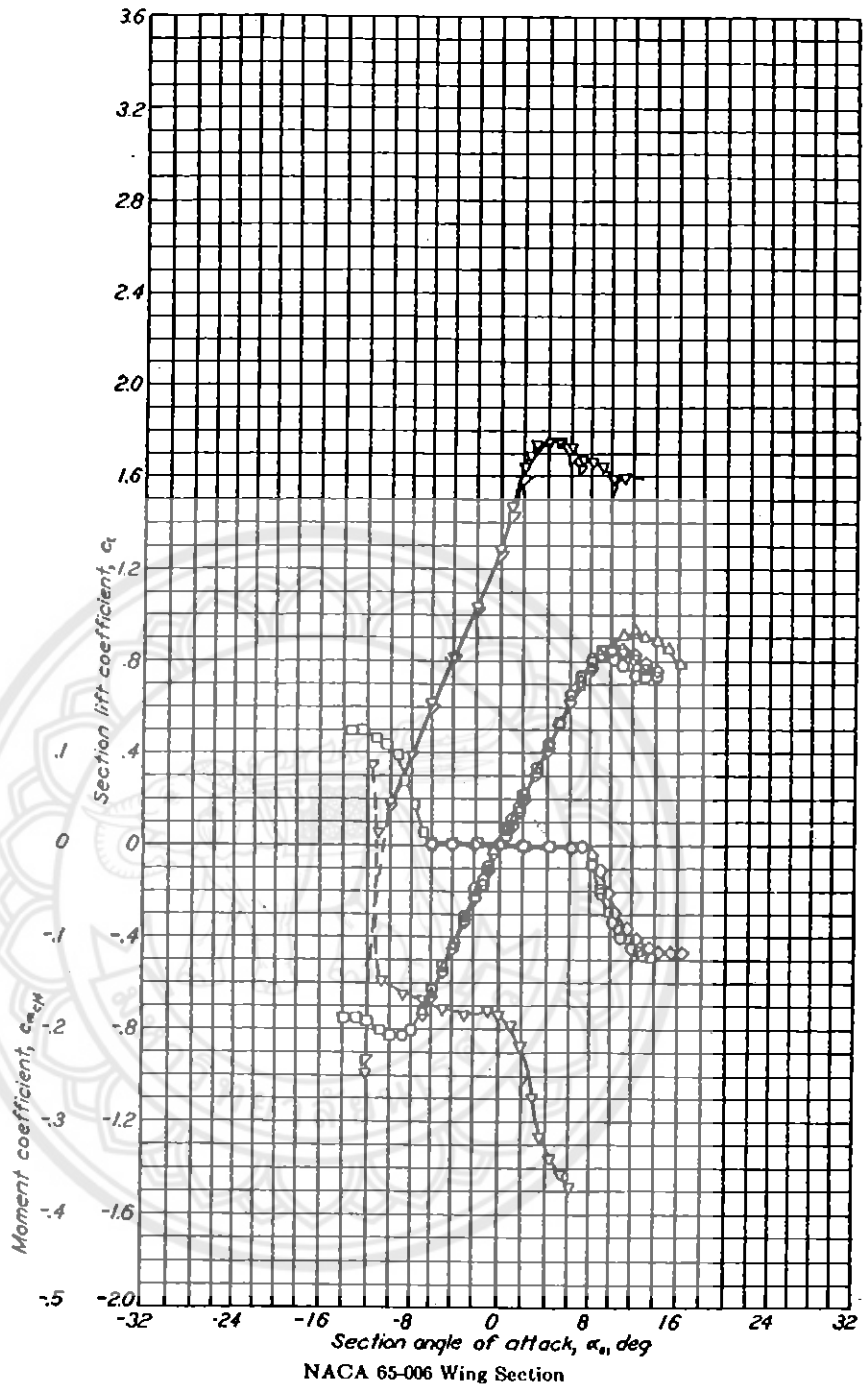
APPENDIX D Airfoil Data

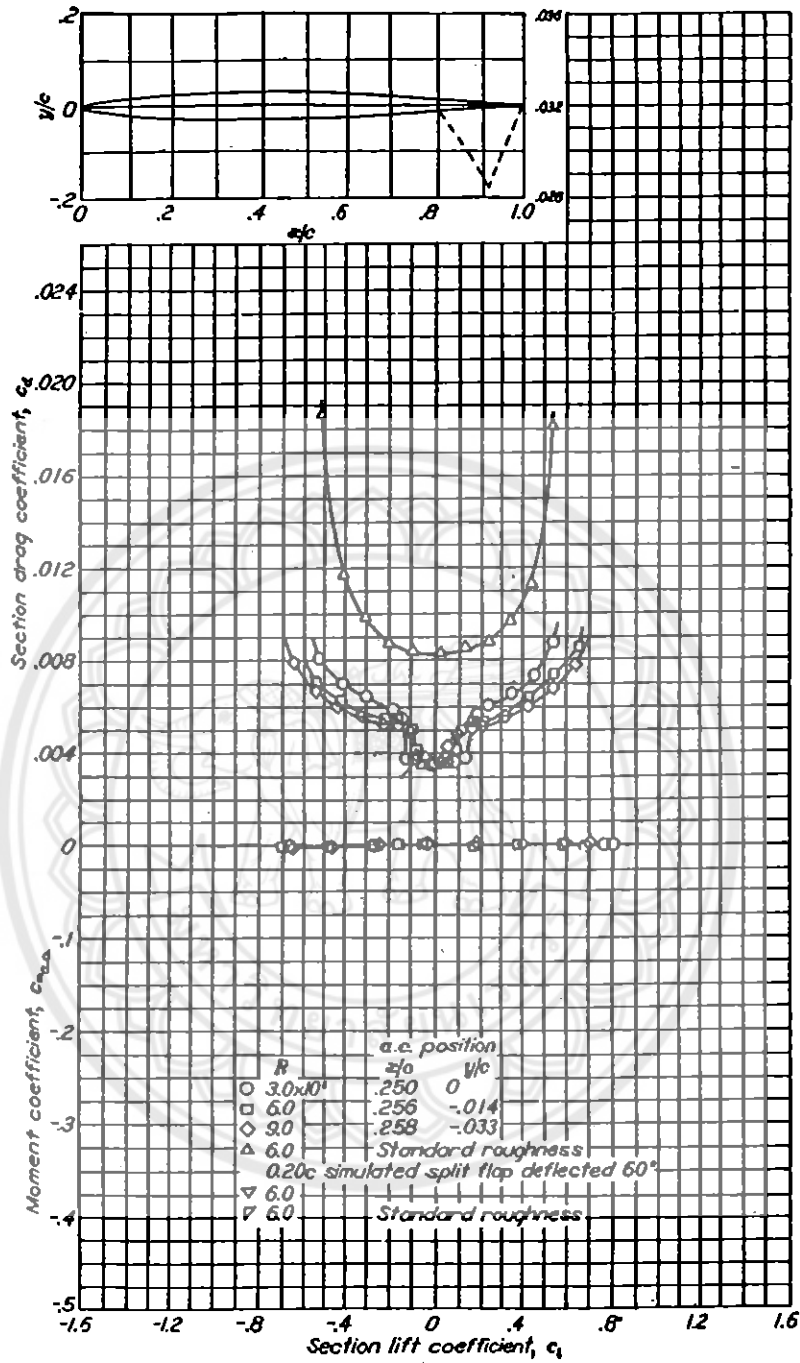




NACA 0009 Wing Section (Continued)

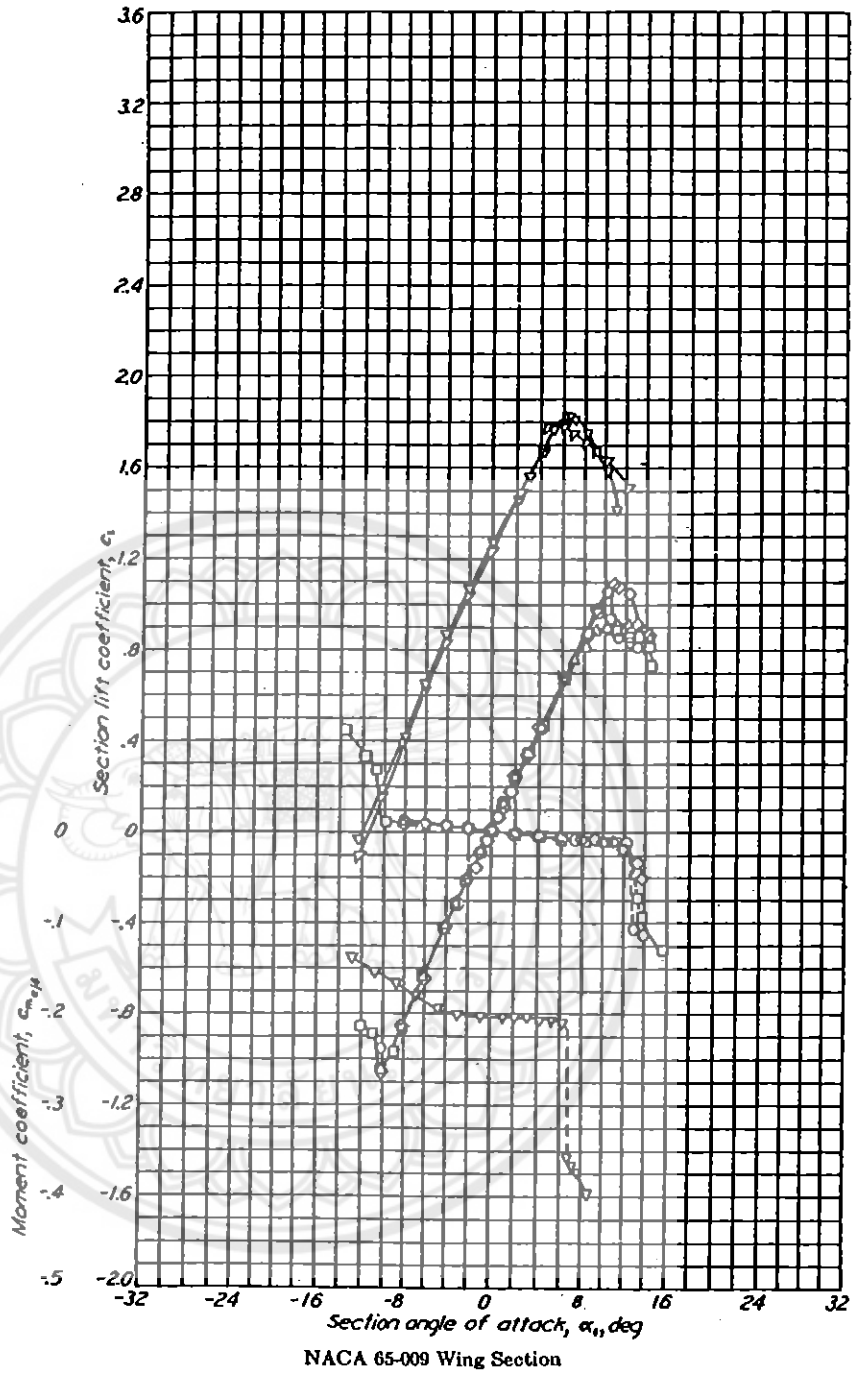
APPENDIX D Airfoil Data



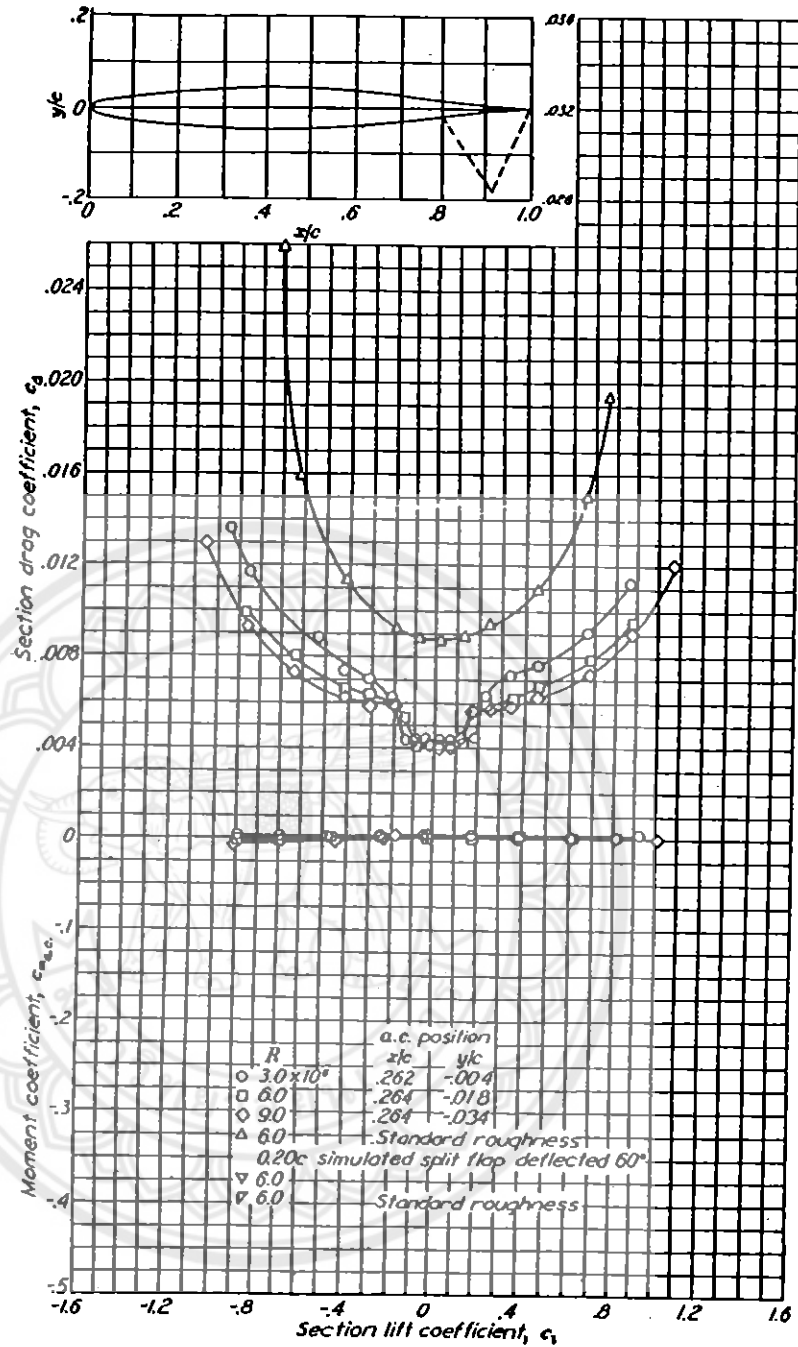


NACA 65-006 Wing Section (Continued)

APPENDIX D Airfoil Data







NACA 65-009 Wing Section (Continued)