การผลิตใบพัดกังหันลมขนาดเล็กโดยใช้เครื่องกัด CNC

MANUFACTURING OF SMALL WIND TURBINE BLADES BY USING A MILLING CNC MACHINE

จิณณวัตร สาวัสดิ์ดวง

ทัศนีย์ ยาโน

ปทุมวดี พรสันเทียะ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

การผลิตใบพัดกังหันลมขนาดเล็กโดยใช้เครื่องกัด CNC

MANUFACTURING OF SMALL WIND TURBINE BLADES BY USING A MILLING CNC MACHINE

จิณณวัตร สวัสดิ์ดวง
ทัศนีย์ ยาโน
ปทุมวดี พรสันเทียะ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY ON HOTSPOT STEERING ACTIVE SLOT ARRAY APPLICATOR BY INJECTION LOCKING TECHNIQUE

JINNAWAT SAWADDUANG
TASSANEE YANO
PATUMWADEE PORNSANTIA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2557
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การผลิตใบพัดกังหันลมขนาดเล็กโดยใช้เครื่องกัด CNC
MANUFACTURING OF SMALL WIND TURBINE BLADES
BY USING A MILLING CNC MACHINE

ผู้จัดทำ
1. นายจิณณวัตร สวัสดิ์ดวง รหัสประจำตัว 54010191
2. นางสาวทัศนีย์ ยาโน รหัสประจำตัว 54010517
3. นางสาวปทุมวดี พรสันเทียะ รหัสประจำตัว 54010773

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร.เสริมศักดิ์ อยู่เย็น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผลิตใบพัดกังหันลมขนาดเล็กโดยใช้เครื่องกัด CNC

นายจิณณวัตร	สวัสดิ์ดวง	54010191
นางสาวทัศนีย์	ยาโน	54010517
นางสาวปทุมวดี	พรสันเทียะ	54010773
ดร. เสริมศักดิ์	อยู่เย็น	อาจารย์ที่ปรึกษา

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาการผลิตใบพัดกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีการผลิตไฟฟ้าไม่เกิน 3 กิโลวัตต์ มักนิยมใช้ไม้สนต่างจากประเทศ เพราะมีน้ำหนักเบาทนทาน และราคาถูก แต่ในการผลิตนั้นยังต้องใช้ช่างฝีมือที่มีทักษะสูงและมีค่าแรงสูง อีกทั้งหากใบพัดใบใดใบหนึ่งชำรุดจำเป็นต้องเปลี่ยนใบพัดทั้งชุด และใช้เวลานานในการผลิตด้วยมือ จึงได้มีการศึกษาการผลิตใบพัดกังหันลมขนาดเล็กโดยใช้เครื่องกัด CNC โดยเริ่มจากการเขียนแบบไอโซเมตริกกำหนดขนาดของใบพัดทั้งหมด หลังจากนั้นจึงเริ่มกระบวนการกัดด้วยเครื่องกัดCNC โดยการออกแบบโค้ดคำสั่งควบคุมโปรแกรมตามหลักการทางวิศวกรรม เพื่อให้ได้ขนาดและรูปแบบของใบพัดที่ต้องการ

คำหลัก: ใบพัดกังหันลม, เครื่องกัดCNC, ไม้สน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MANUFACTURING OF SMALL WIND TURBINE BLADES
BY USING A MILLING CNC MACHINE

Jinnawat	Sawaddang	54010191
Tassanee	Yano	54010517
Patumwadee	Ponsantia	54010773
Dr.Soemsak	Yooyen	Advisor

ABSTRACT

This project is to study the production of wind turbine blades. The small 3 kilowatts wind turbine blades are made of exotic pine because it is lightweight, durable and cheap to produce. However it requires highly skilled craftsmanship and high wages. If one of the blade fail the owner have to replace all the blades and take too long to produce by hand, we have to study the production of small wind turbine blades by using CNC milling machine by drawing isometric determine the size of the rotor. After all, it started with a CNC milling machine by use the command code base on engineering principle to get thee blades to desired size.

Keywords: wind turbine blades, milling machines CNC, pine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ก็เพราะด้วยความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือในด้านต่างๆ เสมอมาจาก ดร.เสริมศักดิ์ อยู่เย็น อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่เอื้อเฟื้อให้ยืมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงงานนี้ และขอบคุณพี่พงษ์ พี่บี และคุณบรรจง ขยันกิจ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆ ในการจัดทำโครงงานนี้

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมาในทุกๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ ส่วนความบกพร่องทั้งหลายถ้ามีผู้วิจัยขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

นายจิณณวัตร สวัสดิ์ดวง
นางสาวทัศนีย์ ยาโน
นางสาวปทุมวดี พรสันเทียะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II
กิตติกรรมประกาศ.....III
สารบัญ.....IV
สารบัญตาราง.....VII
สารบัญรูป.....VIII

บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินการ.....1

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....3
2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับกังหันลม.....3
2.2 ชนิดของกังหันลมผลิตไฟฟ้า.....3
2.2.1 กังหันลมแกนเพลาอยู่ในแกนนอน.....4
2.2.2 กังหันลมแกนเพลาอยู่ในแกนตั้ง.....5
2.3 ลักษณะของกังหันลม.....5
2.4 หลักการทำงานของกังหันลม.....6
2.5 พลังงานจากลม.....7
2.5.1 ลมประจำปี.....7
2.5.2 ลมประจะฤดู.....7
2.5.3 ลมประจำเวลา.....7
2.6 ลักษณะของลม.....9
2.7 ทิศทางลม.....10
2.8 การเก็บข้อมูลลม.....11
2.9 ศักยภาพและการใช้พลังงานลม.....12
2.10 ประเทศไทยกับการใช้พลังงานลม.....13
2.11 ผลกระทบจากการใช้กังหันลม.....14
2.12 กำลังงานลม.....15
2.13 การวิเคราะห์ข้อมูลลม.....18
2.14 การออกแบบใบ.....20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.15 การคำนวณมุม....29
2.16 ปัจจัยที่ส่งผลต่อสัมประสิทธิ์กำลัง....32
2.16.1 การสูญเสียของลม....32
2.16.2 การสูญเสียเนื่องจากการหมุนวน....32
2.16.3 การสูญเสียที่ปลายใบ....32
2.16.4 การสูญเสียของแรงฉุด....33

บทที่ 3 การวางแผนปฏิบัติงาน CNC....35
3.1 ความนำ....35
3.2 ความหมายของ NC และ CNC....36
3.2.1 ความแตกต่างระหว่าง NC กับเครื่องจักรทั่วไป....36
3.2.2 ความแตกต่างระหว่าง NC กับ CNC....37
3.2.3 ข้อดีของเครื่องจักรกล NC กับ CNC....37
3.2.4 ข้อเสียของเครื่องจักรกล NC กับ CNC....38
3.3 ระบบของเครื่องจักรกล CNC....38
3.3.1 การควบคุมเชิงตัวเลข....38
3.3.2 การอธิบายกระบวนการควบคุมเชิงตัวเลขอย่างง่าย....39
3.4 ระบบแกนเครื่องจักร....40
3.5 ระบบบอกพิกัดบอกตำแหน่ง....42
3.5.1 ระบบพิกัดคาร์ทีเซียน....42
3.5.2 ระบบสองมิติ....42
3.5.3 ระบบสามมิติ....43
3.5.4 ระบบพิกัดเชิงขั้ว....44
3.6 ระบบการเคลื่อนที่มีดตัดของเครื่อง CNC....46
3.7 ระบบพิกัดอ้างอิง....46
3.8 ทฤษฎีการทำงานของเครื่องจักร CNC....47
3.9 การเขียนโปรแกรม CNC....52
3.10 คอมพิวเตอร์ช่วยงานออกแบบ....53
3.11 คอมพิวเตอร์ช่วยงานการผลิต....53
3.12 ชนิดของเครื่องมือตัดที่ใช้กับเครื่องจักร....55
3.13 ความเร็วตัดและอัตราป้อนของงานกัด....56
3.14 กระบวนการวางแผนสำหรับการดำเนินการ CNC....56
3.15 การวางแผนการขึ้นรูปชิ้นงาน....57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ขั้นตอนการดำเนินงาน....58
4.1 ขั้นตอนการเขียนรูปใบพัด....58
4.2 ขั้นตอนการกัดด้วย CNC....61
4.3 การกัดชิ้นงาน....63

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ....64
5.1 สรุปผล....64
5.2 ข้อเสนอแนะ....64
5.3 งบประมาณที่ใช้....65

เอกสารอ้างอิง....66

ภาคผนวก....67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า
2.1 แสดงการเปรียบเทียบข้อดีของกังหันลมแบบที่มีการหมุนในแนวนอนกับกังหันลมแบบที่มีแกนหมุนในแนวตั้ง.....5
2.2 เปรียบเทียบความเร็วที่ได้จากการสังเกตสิ่งแวดล้อมความเร็วลมบนพื้นฐานที่ระดับความสูง 10 เมตรจากพื้นดิน.....12
3.1 แสดงความสัมพันธ์ของเลขฐานต่างๆ.....48
3.2 การให้โค้ดตัวอักษรของชุดรหัส EIA.....50
4.1 แสดงความกว้างในแต่ละช่วงของใบของใบพัด.....59
4.2 แสดงระยะดรอป.....60
4.3 แสดงค่าความหนาของใบพัด.....60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน....2

2.1 กังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบแกนนอนและแบบแกนตั้ง....3

2.2 แสดงองค์ประกอบกังหันลมแบบความเร็วคงที่แบบความเร็วไม่คงที่และแบบความเร็วไม่คงที่ชนิดต่อตรง....4

2.3 ลักษณะของกังหันลมแกนนอนและแกนตั้ง....5

2.4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงบิดของกังหันลมชนิดต่างๆ ที่แปรตามค่า λ....6

2.5 แสดงลักษณะของความเร็วลมภายใต้ชั้นบรรยากาศ....7

2.6 แผนภูมิแสดงกำลังไฟฟ้าและช่วงการทำงานของกังหันลมแบบต่างๆ....7

2.7 ลมทะเล....8

2.8 ลมบก....8

2.9 แสดงลักษณะของลมเมื่อผ่านภูมิประเทศแบบต่างๆ....9

2.10 แสดงลักษณะเมื่อผ่านภูมิประเทศหรือภูเขาแบบต่างๆ....9

2.11 ลักษณะของลมเมื่อเทียบกับแอมพลิจูด....10

2.12 แสดงลักษณะการเกิดลมประเภทต่างๆ....10

2.13 แสดงลักษณะของถุงวัดทิศทางลม....10

2.14 แสดงแผนที่ศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทย....13

2.15 แสดงตัวอย่างของฟาร์มกังหันลมในประเทศสหรัฐอเมริกา....14

2.16 สถานีผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตที่แหลมพรหมเทพ จังหวัดภูเก็ต....15

2.17 แสดงพื้นที่และปริมาตรการไหลต่อวินาที....17

2.18 แสดงหน้าตัดของใบพัด....20

2.19 แสดงพื้นที่ส่วนย่อยของใบพัด....21

2.20 แสดงทิศทางของแรงและทิศทางของความเร็วลม....21

2.21 แสดงจำนวนใบกับอัตราส่วนความเร็วที่ปลายใบ....22

2.22 กราฟแสดงลักษณะของมุมปะทะ....22

2.23 ลักษณะการไหลของอากาศขณะเกิดการหน่วง....23

2.24 แสดงค่าของมุมปะทะกับมุมใบ....23

2.25 แสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงยกจากอุโมงค์ลม....24

2.26 แสดงความเร็วของใบพัดที่ r ใดๆ....24

2.27 แสดงรูปร่างเฉลี่ยการบิดของใบในอุดมคติ....25

2.28 แสดงแรงที่กระทำต่อใบพัด....26

2.29 แสดงการเกิดแรงยกของใบพัด....27

2.30 แสดงการเกิดแรงลากของใบพัด....27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

2.31 แสดงการเกิดแรงบิดของใบพัด....28
2.32 แสดงพื้นที่ส่วนย่อยของกังหันลม....30
2.33 แสดงความสัมพันธ์ของแรงยกกับแรงผลัก....30
2.34 ลมที่ลอดไปรอบๆ ด้านของใบพัด....32
2.35 การสูญเสียในการหมุนโดยทำให้เกิดแรงบิดสูงหมุนวน....32
2.36 การสูญเสียที่ปลายใบ....32
2.37 แสดงการการสูญเสียของแรงฉุด ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราส่วนแรงยก/แรงฉุด การออกแบบความกว้างที่ปลายใบ....33
2.38 แสดงอัตราส่วนของใบพัด....33
3.1 กระบวนการควบคุมเชิงตัวเลข....39
3.2 แสดงการกำหนดแกนเชิงเส้นปฐมภูมิ X,Y และ Z ตามลำดับกฎมือขวา....41
3.3 แสดงการกำหนดแกนหมุนปฐมภูมิ A,B และ C ตามกฎมือขวา....41
3.4 แสดงแกนหลักทั้งสามของระบบพิกัดคาร์ทีเซียน....42
3.5 แสดงระบบพิกัดคาร์ทีเซียนแบบสองมิติ....43
3.6 แสดงการหมุนรอบแนวแกนและระนาบต่างๆ ตามกฎมือขวา....44
3.7 แสดงระบบพิกัดเชิงขั้ว....44
3.8 ระบบพิกัดทรงกระบอก....45
3.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดคาร์ทีเซียนและระบบพิกัดเชิงขั้ว....45
3.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดคาร์ทีเซียนและระบบพิกัดเชิงขั้วกรณีที่จุดกำเนิดไม่อยู่ที่เดียวกัน....45
3.11 แสดงระบบพิกัดอ้างอิง....47
3.12 ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบ CNC....48
3.13 แสดงแถบเทปกระดาษตามมาตรฐาน EIA สำหรับโปรแกรม NC....49
3.14 แสดงการเปรียบเทียบแถบเทปกระดาษมาตาฐาน EIA กับมาตรฐาน ASCII....51
3.15 แสดงการใช้ฐานข้อมูลร่วมกันของระบบ CAD-CAM....54
3.16 หัวปาดใช้กับเครื่อง CNC....55
3.17 แสดงดอกกัดทั้งแบบแท่งตันและแบบเม็ดอินเสิร์ท....55
3.18 แสดงดอกกัด Ball mill แบบเม็ดอินเสิร์ท....56
3.19 ขั้นตอนการวางแผนขึ้นรูปชิ้นงาน....57
4.1 แสดงขั้นตอนการสร้างไฟล์ชิ้นงาน....58
4.2 แสดงการสร้างระนาบ....58
4.3 แสดงการเขียนแบบในแต่ละระนาบ....59
4.4 แสดงระยะดรอปแต่ละช่วง....59
4.5 แสดงความหนาของใบพัด....60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.6 แสดงใบพัดในระบบ 3D....61

4.7 แสดงการเลือกงาน 3D เข้ามา....61

4.8 แสดงการใส่ขนาดของชิ้นงาน....61

4.9 แสดงรายละเอียดของชิ้นงาน....62

4.10 แสดงออกแบบการกลัดชิ้นงานลักษณะหัวกัด....62

4.11 แสดงการจำลองการกัด....63

4.12 โปรแกรม Nc studio....63

5.1 แสดงใบพัดกังหันลมขนาด 1.2 เมตร....64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันมนุษย์ได้มีการประดิษฐ์คิดค้นสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆมากมาย โดยสิ่งประดิษฐ์ที่คิดค้นขึ้นนี้จำเป็นต้องใช้พลังงานในการขับเคลื่อนเพื่อให้สามารถทำงานได้ ดังนั้นพลังงานจึงมีความจำเป็นสำหรับการดำรงชีวิตของมนุษย์เป็นอย่างยิ่ง ซึ่งพลังงานที่ใช้อยู่นี้อยู่ในรูปของน้ำมันเชื่อเพลิงและก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น โดยพลังงานเหล่านี้เมื่อถูกมาใช้จำนวนมากก็สามารถหมดสิ้นไป นั้นคือการนำเอาพลังงานจากธรรมชาติที่ไม่มีวันหมดมาใช้ทดแทน เช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น แหล่งพลังงานลมก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ได้ถูกนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทน โดยที่ใช้กังหันลมในการเปลี่ยนรูปพลังงานของพลังงานลมเป็นพลังงานไฟฟ้าเพียงคำนึงถึงความเหมาะสมระหว่างความเร็วลมในบริเวณที่ติดตั้งกังหันลมและขนาดของกังหันลม เท่านี้เราก็สามารถนำเอาพลังงานลมไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้

สำหรับกระบวนการผลิตใบพัดกังหันลมในอดีตต้องใช้ช่างผีมือผู้มีความชำนาญในกระบวนการผลิตใบพัดกังหันลมโดยค่าความเที่ยงตรงของชิ้นงาน ขึ้นอยู่กับความชำนาญของช่างผู้ควบคุมซึ่งโครงการนี้ได้มีการพัฒนาเอาการควบคุมเครื่องจักรกลด้วยคอมพิวเตอร์ซึ่งย่อมาจากComputerized Numerical Control มาใช้ในการผลิตซึ่งจะส่งผลให้ประหยัดเวลาลดค่าใช้จ่ายในการผลิตและมีความเที่ยงตรงสูงในเรื่องของขนาดใบพัด

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 การผลิตใบพัดกังหันลมขนาดเล็กโดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์อัตโนมัติควบคุมการออกแบบและผลิตใบพัด

1.2.2 ศึกษาการทำงานของเครื่องจักร CNC

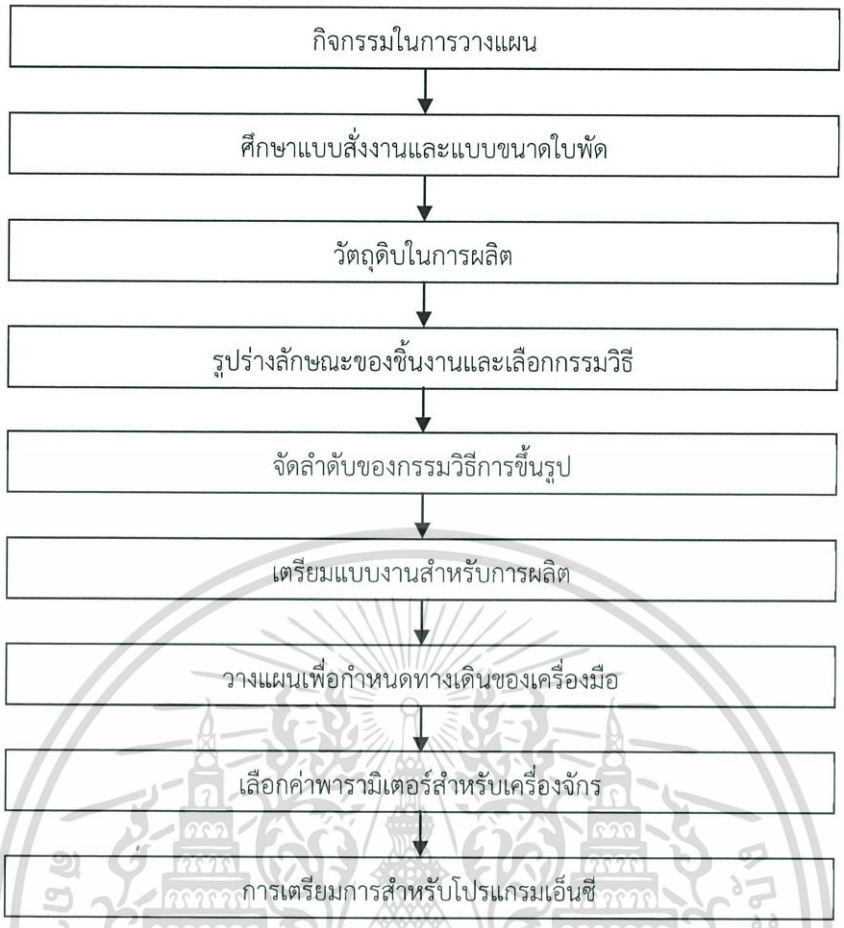
1.3 ขอบเขตของโครงงาน

ศึกษาโครงสร้างขนาดใบพัดกังหันลมแล้วนำข้อมูลใบพัดที่ได้ออกแบบไว้แล้วไปกัดด้วยเครื่องกัดซีเอ็นซี (CNC) โดยการใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในควบคุมกระบวนการผลิต

1.4 ขั้นตอนการดำเนินการ

การดำเนินโครงงานจะเริ่มจากการศึกษารูปร่างขนาดของใบพัดวัตถุดิบที่ใช้แล้วนำขนาดที่ได้มากัดเครื่องCNC ดำเนินโครงงานตามขั้นตอนที่แสดงในรูปที่ 1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

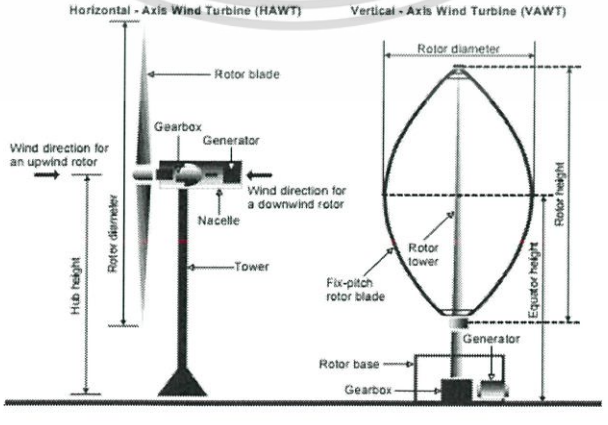
2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับกังหันลม

กังหันลม เป็นชุดเครื่องจักรกลแบบหนึ่ง ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานจนล์ จากการเคลื่อนที่ของลมให้อยู่ในรูปของพลังงานกล และนำพลังงานกลนี้มาใช้กับระบบผลิตไฟฟ้า โดยการอ ออกแบบกังหันลมจะต้อง อาศัยความรู้ทางพลศาสตร์ของลมและหลักทางวิศวกรรมในแขนงต่างๆ เพื่อให้ได้กำลังงาน พลังงาน และประสิทธิภาพสูงสุด

หลักการทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้านั้นเริ่มจากการที่มีลมพัดผ่านใบของกังหัน พลังงานจลน์ที่เกิดจากลมจะทำให้ใบพัดของกังหันเกิดการหมุน และได้เป็นพลังงานกลออกมา จากนั้นพลังงานกลจากแกนหมุนของกังหันลมจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่กับแกนหมุนของกังหันลม จ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านระบบควบคุมไฟฟ้า และจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบต่อไป โดยปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับความเร็วของลม ความยาวของใบพัด และสถานที่ติดตั้งกังหันลม

2.2 ชนิดของกังหันลมผลิตไฟฟ้า

กังหันลมที่ใช้งานในปัจจุบันมีอยู่หลายชนิดหลายรูปแบบ ซึ่งมีคุณสมบัติและลักษณะที่แตกต่างกัน ออกไปสามารถจำแนกชนิดของกังหันลมได้โดยการจำแนกตามลักษณะการวางแนวการหมุนของกังหันลม ซึ่งมีแนวการหมุนอยู่ 2 แบบ คือ กังหันลมที่มีแกนเพลาอยู่ในแกนนอน และกังหันลมที่มีแกนเพลาอยู่แนวตั้ง ซึ่งทั้ง 2 ชนิดจะประกอบด้วยอุปกรณ์ในการทำงานผลิตไฟฟ้าที่ค้ายกัน เช่น ชุดใบพัด ชุดห้องเกียร์ทดกำลัง ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และชุดเสา โดยจะมีความแตกต่างกันตรงการวางชุดแกนหมุนใบพัด ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบแกนนอนและแบบแกนตั้ง[1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

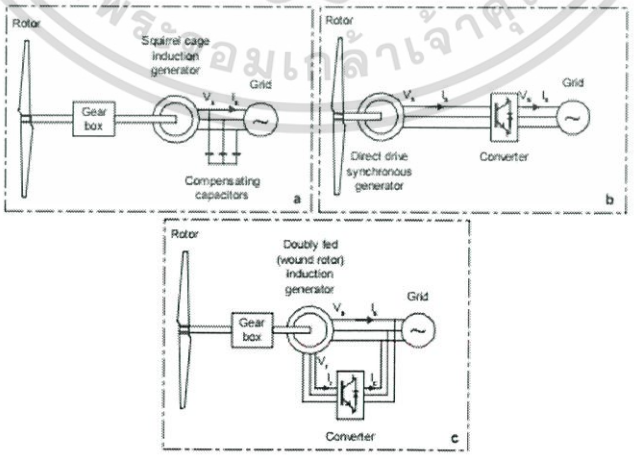
2.2.1 กังหันลมที่มีแกนเพลาอยู่ในแนวนอน (horizontal–axis type wind turbine)

เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนวางตัวอยู่ในทิศขนานกับทิศทางของลม โดยมีใบเป็นตัวตั้งฉากรับแรงลม กังหันลมในรูปแบบนี้ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและมีการนำมาใช้งานมากในปัจจุบัน เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานสูงแต่ต้องติดตั้งบนเสาที่มีความสูงมาก และมีชุดควบคุมให้กังหันลมหันหน้าเข้ารับแรงลมได้ทุกทิศทางในแนวนอนตลอดเวลา อย่างไรก็ตามในรายละเอียดของรูปแบบ องค์ประกอบ และลักษณะการทำงานของกังหันลมแบบนี้ที่นิยมใช้กันสามารถแบ่งออกเป็น 3 แบบ ได้แก่

กังหันลมแบบความเร็วคงที่ (fixed speed turbine) กังหันลมชนิดนี้ประกอบไปด้วย ใบพัด กล่องเกียร์ ซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ (squirrel cage induction generator) ชุดสเตเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อเชื่อมเข้ากับระบบสายส่งไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 2.2a ในความเป็นจริงแล้วกังหันลมแบบนี้มีค่าสลิปของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (generator slip) ไม่คงที่ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของกำลังเครื่องกำเนิดไฟฟ้า อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงนี้มีค่าน้อยมาก เพียง 1 – 2 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงเรียกกังหันลมแบบนี้ว่าเป็นแบบความเร็วคงที่

กังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ (variable speed turbine) กังหันลมชนิดนี้ประกอบไปด้วย ใบพัด กล่องเกียร์ เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำแบบดับเบิลเฟส (doubly fed induction generator) เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ชุดสเตเตอร์ต่อเชื่อมเข้ากับระบบสายส่งไฟฟ้า กังหันลมชนิดนี้ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ดังนั้นจึงสามารถปรับความเร็วรอบและความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ผลิตออกมาได้ องค์ประกอบของกังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ดังแสดงในรูปที่ 2.2

กังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ชนิดต่อตรง (variable speed with direct drive) กังหันลมชนิดนี้ประกอบไปด้วย ใบพัด เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสโดยตรงและมีเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า สำหรับการควบคุมความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า องค์ประกอบของกังหันลมแบบความเร็วไม่คงที่ชนิดต่อตรงดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบกังหันลมแบบความเร็วคงที่แบบความเร็วไม่คงที่ และแบบความเร็วไม่คงที่ชนิดต่อตรง [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 กังหันลมที่มีแกนเพลาอยู่ในแนวตั้ง

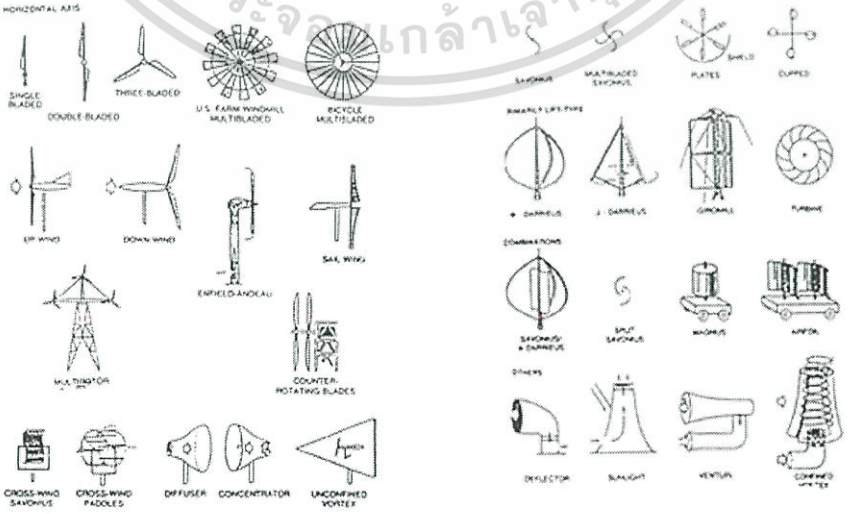
กังหันลมที่มีแกนเพลาอยู่ในแนวตั้ง (vertical-axis type wind turbine, VAWT) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนตั้งฉากกับทิศทางของลม ซึ่งสามารถรับลมได้ทุกทิศทางและติดตั้งอยู่ในระดับต่ำได้ กังหันลมแบบนี้ที่รู้จักกันดีคือกังหันลมแบบแดร์เรียส (darrieus) ซึ่งออกแบบโดยวิศวกรชาวฝรั่งเศสในปี ค.ศ. 1920 ข้อดีของกังหันลมแกนตั้งคือ สามารถรับลมได้ทุกทิศทาง มีชุดปรับความเร็ว (gear box) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สามารถติดตั้งอยู่ที่ระดับพื้นล่างได้ นอกจากนี้ตัวเสาของกังหันลมยังไม่สูงมากนัก แต่มีข้อเสียคือประสิทธิภาพต่ำเมื่อเทียบกับกังหันลมที่มีแกนเพลาแบบแกนนอน ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีการใช้งานอยู่น้อย

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบข้อดีของกังหันลมแบบที่มีการหมุนในแนวนอนกับกังหันลมแบบที่แกนหมุนในแนวตั้ง

กังหันลมที่มีแกนหมุนในแนวนอน	กังหันลมที่มีแกนหมุนในแนวตั้ง
1. แรงบิดที่ได้ค่อนข้างสม่ำเสมอ	1. สามารถปรับลมได้ทุกทิศทาง
2. สามารถสร้างให้ได้เปรียบทางกลศาสตร์ได้ง่ายขึ้น	2. ออกแบบใบสร้างได้ง่ายและประหยัด
3. สามารถควบคุมกำลังของกังหันลมได้	3. สร้างเสาของกังหันลมได้ง่าย
	4. ต่อเข้ากับอุปกรณ์ต่างๆในระบบได้ง่าย

2.3 ลักษณะของกังหันลม

ลักษณะต่างๆ ของกังหันลมที่มีหลายชนิดและหลายแบบไม่ว่าจะเป็นแบบ 1ใบ 2 ใบ 3 ใบ หรือแบบหลายใบ ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบและการใช้งานในแต่ละพื้นที่ว่ามีลมมากน้อยเพียงใด เหมาะสมมากเพียงใด ซึ่งลักษณะใหญ่ๆจะมีด้วยกัน 2 แบบคือ แบบกังหันลมแกนนอน กับแบบกังหันลมแกนตั้ง ลักษณะของกังหันลมทั้งสองแบบนี้สามารถดูได้จากรูปที่ 2.3 และ 2.4



รูปที่ 2.3 ลักษณะของกังหันลมแกนนอนและแกนตั้ง[1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

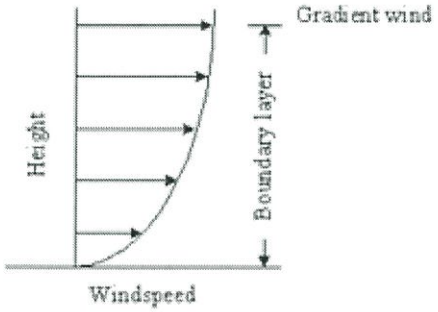
2.4 หลักการทำงานของกังหันลม

ลมที่เกิดขึ้นถูกใช้ประโยชน์จากส่วนที่อยู่ใกล้ผิวโลกหรือที่เรียกว่าลมผิวพื้น ซึ่งหมายถึงลมที่พัดในบริเวณผิวพื้นโลกภายใต้ความสูงประมาณ 1 กิโลเมตรเหนือพื้นดิน เป็นบริเวณที่มีการผสมผสานของอากาศกับอนุภาคอื่นๆ และมีแรงเสียดทานในระดับต่ำ โดยเริ่มต้นที่ระดับความสูงมากกว่า 10 เมตรขึ้นไปแรงเสียดทานจะลดลง ทำให้ความเร็วลมจะเพิ่มขึ้นดังแสดงในภาพที่ 2.4 จนกระทั่งที่ระดับความสูงใกล้ 1 กิโลเมตรเกือบไม่มีแรงเสียดทาน ความเร็วลมมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับระดับความสูง และ สภาพภูมิประเทศ เช่นเดียวกันกับทิศทางของลม จากประสบการณ์ที่ผ่านมาพบว่ากังหันลมจะทำงานได้ดีหรือไม่นั้นจะขึ้นอยู่กับตัวแปรทั้งสองนี้ ที่ความเร็วลมเท่าๆ กัน แต่มีทิศทางลมที่แตกต่างกัน เมื่อลมเคลื่อนที่พุ่งเข้าหาแกนหมุนของกังหันลมแล้วจะส่งผลต่อแรงบิดของกังหันลมเป็นอย่างมาก ผลคือแรงลัพธ์ที่ได้ออกมาจากกังหันลมแตกต่างกัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยเบื้องต้นที่เป็นตัวกำหนดในการใช้พลังงานลมคือความเร็วและทิศทางของลมนั่นเอง

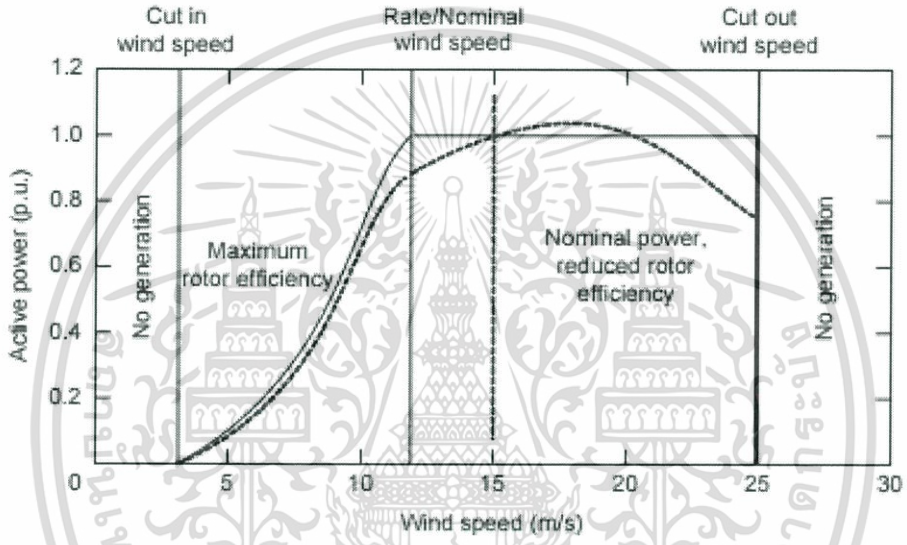
รูปที่ 2.4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงบิดของกังหันลมชนิดต่างๆ ที่แปรตามค่า λ [1]

พลังงานที่ได้รับจากกังหันลมจะมีเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับความเร็วลม แต่ความสัมพันธ์นี้ ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรง ที่ความเร็วลมต่ำในช่วง 1–3 เมตรต่อวินาที กังหันลมจะยังไม่ทำงานจึงยังไม่สามารถผลิตไฟฟ้าออกมาได้ ที่ความเร็วลมระหว่าง 2.5–5 เมตรต่อวินาที กังหันลมจะเริ่มทำงานเรียกช่วงนี้ว่าช่วงเริ่มความเร็วลม (cut in wind speed) และที่ความเร็วลมช่วงประมาณ 12–15 เมตรต่อวินาที เป็นช่วงที่เรียกว่าช่วงความเร็วลม (nominal หรือ rate wind speed) ซึ่งเป็นช่วงที่กังหันลมทำงานอยู่บนพิกัดกำลังสูงสุดของตัวมันเอง ในช่วงที่ความเร็วลมไต่ระดับไปสู่ช่วงความเร็วลมเป็นการทำงานของกังหันลมด้วยประสิทธิภาพสูงสุด (maximum rotor efficiency) ดังแสดงในภาพที่ 2.9 ซึ่งค่านี้ขึ้นอยู่กับอัตราการกระตุ้นความเร็ว (tip speed ratio) และในช่วงเลยความเร็วลม (cut out wind speed) เป็นช่วงที่ความเร็วลมสูงกว่า 20 เมตรต่อวินาที กังหันลมจะหยุดทำงานเนื่องจากความเร็วลมสูงเกินไปซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อกลไกของกังหันลมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะของความเร็วลมภายใต้ชั้นบรรยากาศ[1]



รูปที่ 2.6 แผนภูมิแสดงกำลังไฟฟ้าและช่วงการทำงานของกังหันลมแบบต่างๆ[1]

2.5 พลังงานจากลม

ลมคืออากาศที่เคลื่อนที่ อากาศจะประกอบไปด้วยมวลสารที่มีความหนาแน่นน้อย ดังนั้นเมื่อมวลสารเคลื่อนที่ด้วยความเร็วจะมีพลังงานอยู่ในตัว พลังงานนี้เรียกว่า พลังจลน์ (Kinetic Energy) ลมตามธรรมชาติเป็นพลังงานรูปหนึ่งซึ่งได้จากพลังงานแสงอาทิตย์โดยทางอ้อม เนื่องด้วยความร้อนจากดวงอาทิตย์ทำให้อุณหภูมิในส่วนต่างๆ ของผิวโลกแตกต่างกันเป็นเหตุให้อากาศที่เย็นกว่าไหลไปแทนที่อากาศซึ่งร้อนกว่าและลอยตัวขึ้น สาเหตุหลักของการเกิดลมคือดวงอาทิตย์ ซึ่งเมื่อมีการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์มายังโลก แต่ละตำแหน่งบนพื้นโลกได้รับปริมาณความร้อนไม่เท่ากัน ทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิและความกดอากาศในตำแหน่งต่างๆ บริเวณใดที่มีอุณหภูมิสูงหรือความกดอากาศต่ำอากาศในบริเวณนั้นก็จะลอยตัวขึ้นสูงอากาศจากบริเวณที่เย็นกว่าหรือมีความกดอากาศสูงกว่าจะเคลื่อนที่เข้ามาแทนที่ การเคลื่อนที่ของมวลอากาศนี้คือการทำให้เกิดลมนั่นเอง และจากการเคลื่อนที่ของมวลอากาศนี้ทำให้เกิดเป็นพลังงานจลน์ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตเส้นศูนย์สูตรลมที่เกี่ยวข้องกับภูมิอากาศของไทย คือ ลมประจำปี ลมประจำฤดู และลมประจำเวลา

2.5.1 ลมประจำปี

เป็นลมที่พัดอยู่เป็นประจำตลอดทั้งปีในภูมิภาคส่วนต่างๆของโลกมีความแต่งต่างกันไปในแต่ละเขตละติจูดของโลก เนื่องจากประเทศไทยอยู่ในเขตเส้นศูนย์สูตรอิทธิพลของลมประจำปีจึงไม่มีประโยชน์ในการนำมาใช้

2.5.2 ลมประจำฤดู

เป็นลมที่พัดเปลี่ยนทิศทางตามฤดูกาล เรียกว่า ลมมรสุม ได้แก่

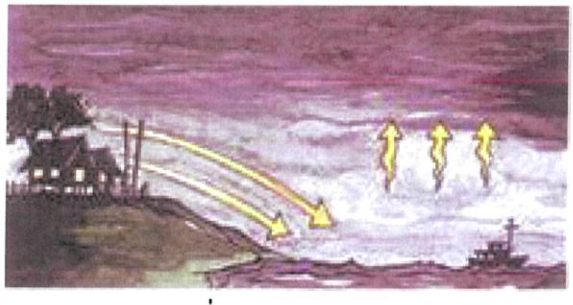
- ลมมรสุมฤดูร้อน พัดในแนวทิศใต้ และตะวันตกเฉียงใต้ ในช่วงเดือนมิถุนายน-สิงหาคม
- ลมมรสุมฤดูหนาว พัดในแนวทิศเหนือ และตะวันออกเฉียงเหนือ ในช่วงเดือนธันวาคม

2.5.3 ลมประจำเวลา

เป็นลมที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความกดอากาศระหว่าง 2 บริเวณในระยะเวลาสั้น ได้แก่ ลมบกลมทะเล ลมภูเขาหุบเขา บริเวณที่อยู่ตามชายฝั่งจะได้รับอิทธิพลของลมบกลมทะเลสูง

ลมบกลมทะเล (land and sea breeze) เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิของบริเวณทะเลกับฝั่ง โดยลมทะเลจะเกิดในตอนกลางวัน เพราะบนฝั่งมีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณในทะเลจึงทำให้เกิดลมจากทะเลพัดเข้าสู่ฝั่ง ดังรูปที่ 2.7 ส่วนลมบกเกิดในเวลากลางคืนเพราะบริเวณในทะเลจะมีอุณหภูมิสูงกว่าบนฝั่ง ทำให้เกิดลมจากฝั่งออกสู่ทะเล แสดงดังรูปที่ 2.8

รูปที่ 2.7 ลมทะเล [1]



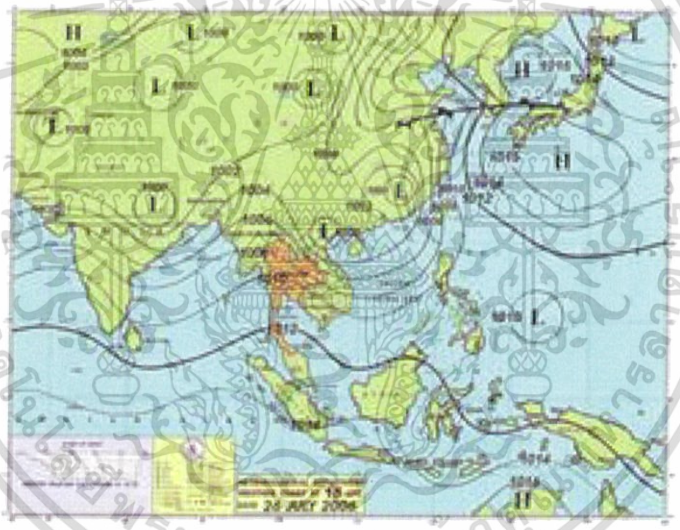
รูปที่ 2.8 ลมทะเล [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

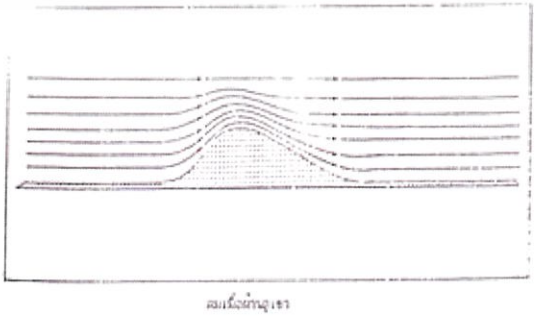
ลมภูเขาและลมหุบเขา (mountain and valley winds) เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างสันเขาและหุบเขา โดยลมภูเขาจะพัดจากสันเขาลงไปสู่หุบเขาในตอนกลางคืน เนื่องจากบริเวณสันเขาอยู่ในที่สูงกว่าจึงเย็นเร็วกว่าหุบเขาดังนั้นจึงมีลมพัดลงจากยอดเขาสู่หุบเขา ส่วนลมหุบเขาจะพัดจากหุบเขา ขึ้นไปสู่สันเขาโดยเกิดขึ้นในตอนกลางวัน เนื่องจากบริเวณหุบเขาเบื้องล่างจะมีอุณหภูมิต่ำกว่ายอดเขาจึงมีลมพัดขึ้นไปตามความสูงของสันเขา

2.6 ลักษณะของลม

ลักษณะของลมที่เกิดขึ้นในแต่ละท้องถิ่นนั้นแตกต่างกันออกไปตามลักษณะของภูมิประเทศและฤดูกาล แต่ลักษณะการเกิดลมทั่วไปไม่ได้มีลมพัดอยู่ตลอดเวลา โดยเฉพาะอย่างยิ่งลมท้องถิ่นส่วนใหญ่จะพัดมาเป็นครั้งคราว ในระยะเวลาสั้นๆ บางครั้งจะมีความเร็วสูงในลักษณะของลมกระโชก นอกจากนี้ลักษณะของภูมิประเทศในแต่ละท้องถิ่นยังมีอิทธิพลต่อทิศทางและความเร็วของลมในระดับผิวพื้น (10 เมตร) เช่น ลมที่พัดผ่านในบริเวณที่เต็มไปด้วยอาคารสิ่งก่อสร้าง ย่อมแตกต่างกับในบริเวณท้องทุ่งนา หรือบริเวณที่เป็นพื้นน้ำ ดูได้จากรูป 2.9

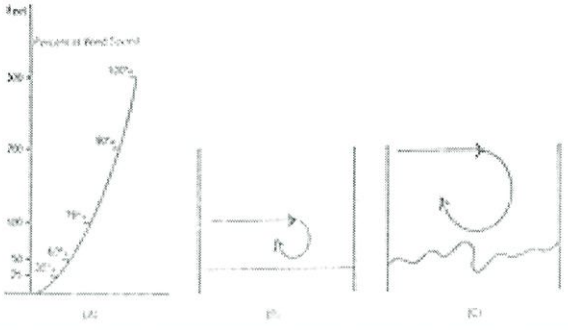


รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะของลมเมื่อผ่านภูมิประเทศแบบต่างๆ[1]



รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะเมื่อผ่านภูมิประเทศหรือภูเขาแบบต่างๆ[1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

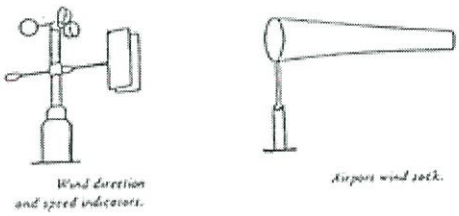


รูปที่ 2.11 ลักษณะของลมเมื่อเทียบกับแอมพลิจูด [1]

รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะการเกิดลมประเภท ต่างๆ[1]

2.7 ทิศทางลม

ลมจะพัดจากบริเวณที่มีความกดอากาศสูง มายังบริเวณที่มีความกดอากาศต่ำกว่าอยู่เสมอ การกำหนดทิศทางลมจะต้องกำหนดตามทิศทางที่พัดมา เช่น ลมที่พัดมาจากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตก จะเรียกว่า “ลมตะวันออก” เป็นต้น การกำหนดทิศทางของลมอาจสังเกตได้โดยการอาศัย ถุงวัดทิศทางลม (Airport wind sack) ศร (wind vane) หรือดูได้จากอาการพัดปลิวของวัตถุหรือฝุ่นละออง ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะของถุงวัดทิศทางลม[1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 การเก็บข้อมูลลม

จากลักษณะการเกิดลมในแต่ละท้องถิ่น ซึ่งบางท้องถิ่นมีลมพัดตามฤดูกาล เป็นลมที่พัดค่อนข้างสม่ำเสมอเกือบตลอดเวลา แต่บางท้องถิ่นลมที่เกิดจะเป็นแบบลมกรรโชคมาเป็นครั้งคราวในระยะเวลาอันสั้น เป็นผลทำให้ยุ่งยากต่อการเก็บข้อมูลลมในลักษณะนี้ นอกจากนี้ความเร็วลมที่วัดได้ในระดับความสูงต่างๆ จากพื้นดินย่อมได้ค่าแตกต่างกัน จากสาเหตุดังกล่าวจึงต้องมีการกำหนดมาตรฐานในการวัดความเร็วลมขึ้นโดยทั่วไป การตรวจวัดความเร็วลมผิวพื้น(wind surface) ได้กำหนดความสูงของเครื่องวัดความเร็วประมาณ 10 เมตร จากพื้นดิน และการติดตั้งเครื่องวัดลมนี้จะต้องอยู่ในที่โล่งห่างจากอาคารหรือสิ่งก่อสร้างโดยรอบอย่างน้อย 2 เท่าความสูงอาคารหรือสิ่งก่อสร้างนั้นๆ สำหรับการอ่านค่าเมื่อการจดบันทึก จะทำการอ่านค่าความเร็วลมที่เกิดขึ้นก่อนและหลังเวลาที่ทำการวัดประมาณ 3 นาที แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยโดยประมาณ ซึ่งเป็นลักษณะการเก็บข้อมูลของสถานีตรวจอากาศต่างๆ ทั่วประเทศกระทำกัน เครื่องวัดความเร็วลมในปัจจุบันมีบริษัทต่างๆ ผลิตออกมาจำหน่ายหลายชนิดด้วยกัน พอจำแนกเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 3 ประเภท คือแบบใช้ไฟฟ้า แบบใช้กลไก และแบบใช้ความดัน

2.8.1 แบบใช้ไฟฟ้า

ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กมากอยู่ภายในตัวเครื่องโดยแกนของเครื่องนี้จะต่อกับใบพัดหรือถ้วย เมื่อมีลมพัดผ่านใบพัดหรือถ้วยนี้จะหมุนทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหล จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเร็วลมที่พัดผ่าน ดังนั้นเมื่อติดสายไฟกับเครื่องวัดทำให้สามารถอ่านค่าความเร็วลมที่เกิดขึ้นในขณะนั้นได้

2.8.2 แบบใช้กลไก

แบบนี้โดยมากการบันทึกจะเป็นกราฟ ซึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ (ใช้ไขลาน) กับการหมุนของลูกเบี้ยว (cam) ซึ่งจะกดลงบนกราฟ การหมุนของลูกเบี้ยวนี้เกิดขึ้นจากลูกถ้วยซึ่งใช้วัดลม ความเร็วในการหมุนของลูกเบี้ยวนี้ขึ้นอยู่กับความเร็วของลม ดังนั้นตำแหน่งต่างๆ ที่ลูกเบี้ยวกดลงบนกราฟก็สามารถอ่านค่าเป็นความเร็วลมได้

2.8.3 แบบใช้ความดัน

แบบนี้มีลักษณะคล้ายกันการวัดอัตราการไหลของของไหล (Fluid) ประกอบด้วย คอคอดให้ลมพัดผ่านสายยางเล็กๆ ต่อมายังเครื่องวัดความดันเมื่ออากาศไหลผ่านคอคอตจะทำให้ความดันตรงคอคอดลดต่ำลงตามอัตราการไหลผ่านของลม ดังนั้นค่าความดันที่แตกต่างกับอากาศภายนอกนี้สามารถบอกเป็นความเร็วของลมที่พัดผ่านได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบความเร็วลมที่ได้จากการสังเกตสิ่งแวดล้อม ความเร็วลมบนพื้นฐานที่ระดับความสูง 10 M จากพื้นดิน

ชนิดของลม	KNOTS	ms^{-1}	Km/hr	Miles hour	ผลที่เกิดขึ้นเมื่อมีความเร็วลมพัดผ่าน
ลมสงบ	1	0.2	1	1	ลมสงบควันลอยขึ้นตรงๆ
ลมแผ่ว	1-3	0.3-1.5	1-5	1-3	ควันไฟเฉไปแต่ศรลมยังไม่ขยับ
ลมเฉื่อย	4-6	1.6-3.3	6-11	4-7	รู้สึกมีลมปะทะหน้า ใบไม้เริ่มไหว
ลมอ่อน	7-10	3.4-5.4	12-19	8-12	กิ่งไม้เล็กๆเคลื่อนไหวไม่หยุด
ลมค่อนข้างจัด	11-16	5.5-7.9	20-28	13-18	ฝุ่นและเศษกระดาษฟุ้งขึ้น กิ่งไม้เล็กๆโยก
ลมวัด	17-21	8.0-10.7	29-38	19-24	ต้นไม้เล็กๆเริ่มเอียงไปมา
ลมแรง	22-27	10.8-13.8	39-49	-	กิ่งไม้ใหญ่โยกไปมา กางร่มยาก
เกือบเป็นพายุ	28-33	13.9-17.1	30-61	32-28	ต้นไม้โยกเยก เดินด้านลมรู้สึกไม่สะดวก
พายุ	34-40	17.2-20.7	62-74	39-46	กิ่งไม้หักระเนระนาด
พายุกล้า	41-47	20.8-24.4	75-88	47-54	เกิดความเสียหายเล็กๆน้อยๆ หลังคาเปิด
พายุจัด	48-55	24.5-28.4	89-102	55-63	ต้นไม้ถอนราก สิ่งก่อสร้างเสียหาย
พายุรุนแรง	56-63	28.5-32.6	103-117	64-72	เกิดความเสียหายเป็นบริเวณกว้าง
ใต้ฝุ่น	64	32.7	118	73	ความเสียหายหนัก

2.9 ศักยภาพและการใช้พลังงานลม

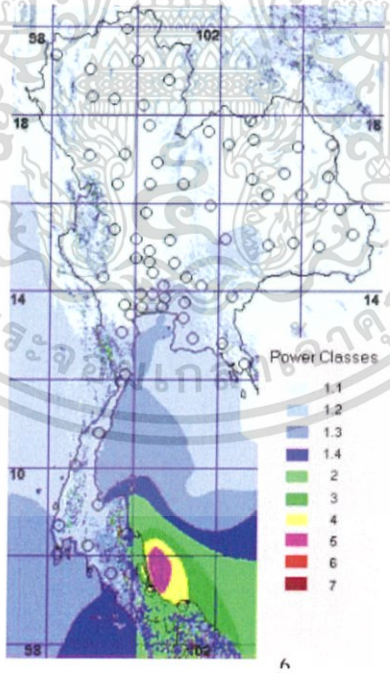
จากการศึกษาศักยภาพพลังงานลมทั่วโลก พบว่าเป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่อย่างมหาศาล ข้อมูลจากเอกสารอ้างอิงพบว่า เฉพาะในพื้นที่ชายฝั่งของทวีปยุโรปมีพลังงานจากลมถึง 2,500 เทอราวัตต์ชั่วโมง/ปี ซึ่งคิดเป็น 85 เปอร์เซ็นต์ของการใช้พลังงานไฟฟ้าในยุโรปในปี ค.ศ.1997 (Thomas & Lennart. 2002 : 54) ซึ่งตัวเลขพลังงานลมดังกล่าวนี้อาจแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของข้อมูลความเร็วลมที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับสมมุติฐานของเทคโนโลยีกังหันลมที่เลือกใช้ในการประเมิน

สำหรับประเทศไทยพบว่าศักยภาพพลังงานลมทั่วประเทศไทยมีค่า 44 เทอราวัตต์ชั่วโมงต่อปี และจากการศึกษาเพื่อหาความเร็วลมเฉลี่ยในพื้นที่ต่างๆ โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน พบว่าแหล่งศักยภาพพลังงานลมที่ดีของประเทศไทยมีกำลังลมเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ระดับ 3 (class 3) ดังแสดงในภาพที่ 2.15 หรือมีความเร็วลมเฉลี่ยประมาณ 6.4 เมตรต่อวินาทีขึ้นไปที่ระดับความสูง 50 เมตร ในแถบภาคใต้บริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออกเริ่มตั้งแต่จังหวัดนครศรีธรรมราช จังหวัดสงขลา จังหวัดปัตตานี และที่อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท จังหวัดเชียงใหม่ อันเกิดจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงปลายเดือนมีนาคม นอกจากนี้ยังพบว่ายังมีมีแหลง ศักยภาพพลังงานลมที่ดีอีกแหล่งหนึ่งอยู่บริเวณเทือกเขาด้านทิศตะวันตกตั้งแต่ภาคใต้ตอนบนจรดภาคเหนือตอนล่างในจังหวัดเพชรบุรี จังหวัดกาญจนบุรี และจังหวัดตาก อันเกิดจากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม นอกจากนี้ยังมีแหล่งศักยภาพพลังงานลมที่ดีซึ่งไดรับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ อยู่ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริเวณเทือกเขาในอุทยานแห่งชาติแก่งกรุง จังหวัดสุราษฎรธานี อุทยานแห่งชาติเขาหลวงและอุทยานแห่งชาติใต้ร่มเย็น จังหวัดนครศรีธรรมราช อุทยานแห่งชาติศรีพังงา จังหวัดพังงา อุทยานแห่งชาติเขาพนมเบญจา จังหวัดกระบี่ สวนแหล่งที่มีศักยภาพรองลงมาโดยมีกำลังลมเฉลี่ยทั้งปีตั้งแต่ระดับ 1.3 ถึง 2 (class 1.3 – class 2) หรือมีความเร็วลม 4.4 เมตรต่อวินาทีขึ้นไปที่ความสูง 50 เมตร พบว่าอยู่ที่ภาคใต้ตอนบนบริเวณอ่าวไทยชายตะวันตกตั้งแต่จงหวัดเพชรบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จังหวัดชุมพรถึงจังหวัดสุราษฎรธานี และบริเวณเทือกเขาในภาคเหนือคือจังหวัดเชียงใหม่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือคือ จังหวัดเพชรบูรณ์และจังหวัดเลย โดยได รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และพบที่ภาคใต้ฝั่งวันตกตั้งแต่ จังหวัดพังงา จังหวัดภูเก็ต จังหวัดกระบี่ จังหวัดตรังถึงจังหวัดสตูลและชายฝั่งตะวันออกบริเวณอ่าวไทยคือ จังหวัดระยองและจังหวัดชลบุรี โดยไดรับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

จากข้อมูลศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทยดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น หากเทียบกับประเทศในยุโรปแล้วถือว่ามีศักยภาพต่ำมาก ซึ่งในทางปฏิบัตินั้นความเร็วลมในระดับประมาณ 6 เมตร/วินาทีถือว่ายังไม่เหมาะกับการติดตั้งกังหันลมขนาดใหญ่ระดับเมกะวัตต์ เพราะกังหันลมขนาดดังกล่าวต้องการความเร็วลมเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 12 – 15 เมตร/วินาที ดังนั้นทางเลือกที่เหมาะสมของประเทศไทยหากจะส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานจากลมในการผลิตไฟฟ้า ควรจะเป็นระบบขนาดเล็กในช่วงพิกัดกำลังระดับกิโลวัตต์จะมีความเหมาะสมกว่า



รูปที่ 2.14 แสดงแผนที่ศักยภาพพลังงานลมของประเทศไทย[7]

ในส่วนของการใช้พลังงานจากกังหันลม พบว่าประเทศที่มีกังหันลมมากที่สุดในปัจจุบันคือประเทศเยอรมนี โดยข้อมูลเมื่อปี ค.ศ. 2001 เยอรมนีผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลมถึง 8,754

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมกะวัตต์ รองลงมาคือ สหรัฐอเมริกาผลิตได้ 4,200 เมกะวัตต์ สเปนผลิตได้ 3,300 เมกะวัตต์ และเดนมาร์กผลิตได้ 2,400 เมกะวัตต์ จากข้อมูลจะเห็นได้ว่ายุโรปเป็นกลุ่มประเทศที่ก้าวหน้ามากที่สุดในการใช้พลังงานจากลมมาผลิตกระแสไฟฟ้า โดยมีการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลมได้รวมทั้งสิ้นประมาณ 14,000 เมกะวัตต์ และมีการตั้งเป้าว่าภายในปี พ.ศ. 2010 จะต้องผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลมให้ได้ 60,000 เมกะวัตต์ (Ledesma et al. 2003 : 1341-1355) และเมื่อมองย้อนหลังไปเมื่อปี ค.ศ. 1988 เยอรมนีผลิตกระแสไฟฟ้าจากกังหันลมได้เพียง 137 เมกะวัตต์ ซึ่งในสมัยนั้นยังมีจำนวนกังหันลมไม่เกินหนึ่งพันต้น แต่หลังจากนั้นมาอีกสิบห้าปีเยอรมนีได้ติดตั้งกังหันลมเพิ่มเป็นมากกว่าหมื่นชุดและผลิตกระแสไฟได้กว่า 8,000 เมกะวัตต์ ในกลุ่มประเทศที่มีการติดตั้งกังหันลมมากๆ เหล่านี้ จะมีการติดตั้งกังหันลมในบริเวณไม่ไกลกันมากนักจึงทำให้เกิดเป็นลักษณะของฟาร์มลม (wind farm) ดังแสดงในภาพที่ 2.15

รูปที่ 2.15 แสดงตัวอย่างของฟาร์มกังหันลมในประเทศสหรัฐอเมริกา[7]

ในขณะที่ประเทศในแถบเอเชียพบว่า อินเดียเป็นประเทศที่มีศักยภาพและวิวัฒนาการด้านพลังงานลมมากที่สุด โดยสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลมได้ถึง 1,500 เมกะวัตต์ ในขณะเดียวกันรัฐบาลของอินเดียมีการส่งเสริมการผลิตกังหันลมในเชิงอุตสาหกรรมอย่างมาก โดยได้รับการถ่ายทอดความรู้และเทคโนโลยีจากกลุ่มประเทศยุโรปและสหรัฐอเมริกา นอกจากอินเดียแล้วยังมีจีนเป็นอีกประเทศหนึ่งที่กำลังเริ่มต้นพัฒนากังหันลม ในปัจจุบันสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลมได้แล้ว

2.10 ประเทศไทยกับการใช้พลังงานลม

ถึงแม้ผลจากการศึกษาศักยภาพพลังงานลมในประเทศไทยค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับที่อื่น แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าพลังงานลมที่มีอยู่ไม่สามารถใช้ได้ จากผลการศึกษาเปรียบเทียบต้นทุนในการลงทุนระหว่างพลังงานจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลมพบว่า การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีต้นทุนถูกกว่าประมาณ 8-10 เท่า และยิ่งถ้าสามารถผลิตใบพัดของกังหันลมได้เองจะถูกกว่าถึง 10 เท่า

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมและจ่ายเข้าระบบสายส่งในปริมาณที่น้อยมากหากเทียบกับแหล่งพลังงานอื่นๆ โดยมีการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 150 กิโลวัตต์ ซึ่งผลิตโดยบริษัทนอร์ดแทงก์ ประเทศเดนมาร์ก ในพื้นที่สถานีผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ณ แหลมพรหมเทพ จังหวัดภูเก็ต ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2539 เพื่อสาธิตการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 กิโลวัตต์ ดังแสดงในภาพที่ 2.16 โดยจ่ายไฟเข้าระบบสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จนถึงปัจจุบันระบบยังสามารถทำงานได้ดีอยู่ กังหันลมสามารถผลิตไฟฟ้าป้อนเข้าสายส่งได้ประมาณ 200,000 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี (kWh/annual) และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตมีโครงการที่จะติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่เพิ่มขึ้นที่แหลมพรหมเทพโดยจะติดตั้งกังหันลมขนาด 600 กิโลวัตต์ ซึ่งคาดว่าจะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณปีละ 840,000 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี ปัจจุบันโครงการดังกล่าวกำลังอยู่ระหว่างการดำเนินงาน

รูปที่ 2.16 สถานีผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตที่แหลมพรหมเทพ จังหวัดภูเก็ต[7]

2.11 ผลกระทบจากการใช้กังหันลม

ปัจจุบันมีการใช้งานกังหันลมผลิตไฟฟ้ากันอยู่ในหลายประเทศ ซึ่งได้รับการยอมรับจากประชาชนในพื้นที่เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามกังหันลมยังมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือผลกระทบข้างเคียงอื่นๆ ดังต่อไปนี้

2.11.1 ด้านพื้นที่

กังหันลมจะต้องติดตั้งอยู่ห่างกันห้าถึงสิบเท่าของความสูงกังหัน เพื่อที่กระแสลม จะได้ลดความปั่นป่วนหลังจากที่ผ่านกังหันลมตัวอื่นมา อย่างไรก็ตามพื้นที่ที่ติดตั้งจริงของกังหันลมจะใช้เพียง 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งจะเป็นส่วนของเสาและฐานรากและ เส้นทางสำหรับ การเข้าไปติดตั้งและดูแลรักษา กังหันลมขนาดใหญ่ซึ่งมีความสูงของเสากังหันมาก จะต้องติดตั้ง อยู่ห่างกันเป็นระยะทางไกล ตัวอย่างเช่น กังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดระดับเมกะวัตต์ ต้องการระยะห่างระหว่างกันถึง 0.5 – 1 กิโลเมตร ดังนั้นเมื่อพิจารณาโดยละเอียดแล้วจะพบว่าการติดตั้งกังหันลมจะไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์จากพื้นที่ต่างๆ อาทิเช่นพื้นที่ทางการเกษตร พื้นที่อุตสาหกรรม หรือแม้แต่พื้นที่ป่าธรรมชาติ ประชาชนในพื้นที่ดังกล่าวยังคงสามารถใช้ประโยชน์จากที่ดินได้อย่างปกติ

2.11.2 ด้านทัศนะวิสัย

สำหรับผลกระทบทางด้านสายตา หรือการมองเห็นของระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้านั้น ยังไม่ได้มีการประเมินผลออกมาอย่างชัดเจน กังหันลมขนาดใหญ่จะมีความสูงมากกว่า 50 เมตรขึ้นไป ทำให้สามารถมองเห็นได้จากระยะไกล กังหันลมที่ติดตั้งอยู่ตามทุ่งหญ้า สร้างความสวยงาม สร้างจินตนาการ และความคิดต่างๆ ให้กับผู้พบเห็น กังหันลมสามารถใช้เป็นสื่อการเรียนรู้หลักการทางอากาศพลศาสตร์ ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญต่อเทคโนโลยีการบินหรืออากาศยานได้

2.11.3 ด้านเสียง

เสียงของกังหันลมเกิดจากการหมุนของปลายใบพัดตัดกับอากาศ จากการที่ใบพัดหมุนผ่านเสากังหัน จากความปั่นป่วนของลมบริเวณใบกังหันลม และจากตัวเครื่องจักรกลภายในตัวกังหันลม โดยเฉพาะส่วนของเกียร์ เสียงดังของกังหันลมผลิตไฟฟ้าเป็นตัวแปรที่สำคัญประการหนึ่งที่แสดงถึงประสิทธิภาพของกังหันลม ดังนั้นทางบริษัทผู้ผลิตกังหันลมจึงพยายามพัฒนาเทคโนโลยีต่างๆ เพื่อลดผลกระทบจากเสียงของกังหันลมในช่วงห้าปีที่ผ่านมา ระดับของเสียงในบริเวณอาคาร บ้านเรือนหรือที่พักอาศัยที่จะเป็นอันตรายต่อมนุษย์อยู่ที่ไม่เกิน 40 เดซิเบล ที่ระยะห่างไม่เกิน 250 เมตร ดังนั้นการติดตั้งกังหันลมหากต้องการหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว ก็สามารถทำได้โดยการเพิ่มระยะห่างจากเขตที่พักอาศัยของมนุษย์ให้มากขึ้น

2.11.4 นก

มีผลการศึกษาจากหลายแห่งที่ขัดแย้งกัน สำหรับสาเหตุการตายของนกจากการบินชนกังหันลมที่กำลังหมุนอยู่ แต่หากพิจารณาแล้วความถี่ของเหตุการณ์ดังกล่าวอาจจะเกิดขึ้นได้ใกล้เคียงหรือน้อยกว่า การที่นกบินชนรถ หน้าต่างของอาคาร หรือ สายไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งเหตุการณ์เหล่านี้เกิดขึ้นอยู่เสมอๆ ยกเว้นในบางกรณีจำนวนการตายของนกในพื้นที่ติดตั้งกังหันลมอาจสูง อันเนื่องมาจากมีฝูงนกที่อพยพย้ายถิ่นฐานในบางฤดูกาลผ่านพื้นที่ดังกล่าวในเวลากลางคืน หรือพื้นที่นั้นเป็นแหล่งหาอาหารของนกนักล่าบางชนิด นอกจากนี้แล้วจากการศึกษาของผู้เชี่ยวชาญ บางคนพบว่าในบริเวณพื้นที่ติดตั้งกังหันลม กลับมีอัตราการผสมพันธุ์ของเกสรดอกไม้ที่สูงมาก เนื่องจากการปั่นป่วนของกระแสลมในบริเวณนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

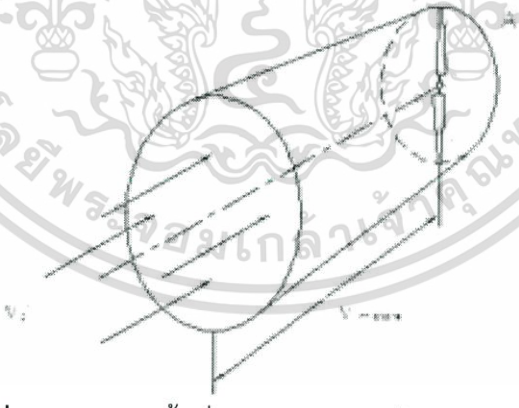
2.11.5 คลื่นสนามแม่เหล็ก

สัญญาณโทรทัศน์ คลื่นวิทยุ และเรดาร์ อาจถูกรบกวนได้จากการหมุนของกังหันลมซึ่งอาจสร้างคลื่นรบกวนสัญญาณเหล่านี้ โดยเฉพาะเรดาร์ซึ่งมีความสำคัญต่อทางการทหารในปัจจุบันยังไม่พบว่ามีรายงานการถูกรบกวนจากกังหันลม ในทางตรงข้ามกังหันลมยังได้รับการยอมรับจากทางการทหารและมีพื้นที่ทางการทหารหลายแห่งโดยเฉพาะสนามบินบางแห่ง มีกังหันลมติดตั้งอยู่ในบริเวณใกล้เคียง แต่ก็ไม่พบว่ามีความผิดปกติใดๆ กับระบบเรดาร์

2.12 กำลังงานลม

ข้อมูลที่ได้จากสถานีตรวจอากาศส่วนใหญ่จะมีช่วงของลมสงบมาก ซึ่งในการออกแบบกังหันลมเพื่อใช้งานนั้นจะทำงานในช่วงที่มีลมเท่านั้นและจุดสำคัญในการออกแบบกังหันคือ ให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด หมายถึง การนำค่าความเร็วลมเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจริงมาใช้ในการออกแบบ ด้วยเหตุนี้ในการวิเคราะห์ข้อมูลลมเพื่อใช้ในการออกแบบกังหันลมนั้น จะใช้เฉพาะช่วงเวลาที่เกิดลมเท่านั้นมาใช้ในการวิเคราะห์ในการวิเคราะห์ข้อมูลลม ก่อนอื่นต้องทราบวิธีการหรือทฤษฎีที่ใช้ในการหาค่าของพลังงานลม เนื่องจากลมคือ มวลของอากาศซึ่งเคลื่อนที่ พลังงานที่ใช้ในการเคลื่อนที่คือพลังงานจลน์ (Kinetic Energy) ซึ่งหาได้จากทฤษฎีโมเมนตัม (Momentum Theory) ลมได้

$$E = \frac{1}{2} mv^2 \qquad (2.1)$$



รูปที่ 2.17 แสดงพื้นที่และปริมาตรการไหลต่อวินาที[1]

จากรูป 2.17 ถ้าให้อากาศไหลผ่านพื้นที่ (A) ด้วยความเร็ว (V) จะได้ปริมาณการไหลของอากาศต่อเวลาเท่ากับ ($\emptyset_v$)

$$\emptyset_v = V A$$

จากสมการที่ (2.1) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของพลังงานต่อปริมาตรได้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_v = \frac{1}{2}\frac{m}{v}$$

$$= \frac{1}{2}\rho v^2 \quad (2.2)$$

ในสมการที่ (2.2) คือ ปริมาตรต่อวินาที ส่วนสมการที่ (2.3) คือ พลังงานต่อปริมาตร ดังนั้นกำลังงานที่เกิดขึ้นจะได้

$$P_{air} = \frac{1}{2}\rho v^2 (A \times V)$$

$$= \frac{1}{2}\rho A v^3 \quad (2.3)$$

จากสมการที่ (2.3) จะพบว่ากำลังของลมขึ้นอยู่กับ ความหนาแน่นของอากาศ (ρ) พื้นที่รับลมหรือพื้นที่ที่ใบกังหันกวาดไป (A) และความเร็วลมกำลัง 3 นอกจากนี้อุณหภูมิและความสูงซึ่งมีผลต่อค่าความหนาแน่นของอากาศ แต่มีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

2.13 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์หาข้อมูลของแรงต่างๆ และสัมประสิทธิ์ของกำลัง สามารถหาได้จากสมการของ Bernoulli และสมการการเคลื่อนที่ของลมที่ด้านหน้าและ ด้านหลังของกังหันที่มีการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน Δp สัมพันธ์กับแรงขับ T บนพื้นที่ A ของกังหันลม ซึ่งหาได้จากสมการดังนี้

สมการการเปลี่ยนแปลงแรงดันของ Bernoulli

$$\Delta p = \frac{1}{2}\rho (v_0^2 - u_1^2) \quad (2.4)$$

สมการการเคลื่อนที่

$$T = m^{\circ} (v_0 - u_1)$$

$$= \rho V A (v_0 - u_1) \quad (2.5)$$

ให้ V คือความเร็วลมเฉลี่ยระหว่างความเร็วด้านหน้าและความเร็วด้านหลัง

$$V = \frac{v_0 - u_1}{2} \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น

$$T = \Delta \rho A \tag{2.7}$$

และให้ a เป็นตัวประกอบการเคลื่อนที่ในแนวแกน

$$a = 1 - \frac{v}{v_0} \tag{2.8}$$

จะได้

$$V = (1-a)\, v_0 \tag{2.9}$$

ซึ่งสามารถรู้ความเร็ว u_1 ได้จากสมการนี้

$$u_1 = (1-2a)\, v_0 \tag{2.10}$$

ดังนั้นกำลัง P หาได้จากแรงผลัก T โดย $P = Tv$

$$\begin{aligned} T &= \rho v A (v_0 - u_1) \\ &= \rho (1-a) v_0 A(v_0 - (1-2a) v_0) \\ &= 2a\rho v_0^2 (1-a) A \end{aligned}$$

จาก $P = Tv$

$$\begin{aligned} &= 2a\rho v_0^2 (1-a) A(1-a) v_0 \\ &= 2a\rho v_0^3 (1-a)^2 \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} CP &= \frac{P}{\frac{1}{2}\rho A v_0^3} \\ &= 4a(1-a)^2 \end{aligned} \tag{2.11}$$

$$\begin{aligned} \frac{dcp}{da} &= 4(a - 2a^2 + a^3) \\ &= 4(1-a)(1-3a) \end{aligned}$$

$$a_{max} = \frac{1}{3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า

$$Cp_{max} = 4a(1-a)^2$$
$$= 4(\frac{1}{3})(1-(\frac{1}{3}))^2$$
$$= 0.593$$

สัมประสิทธิ์แรงยก

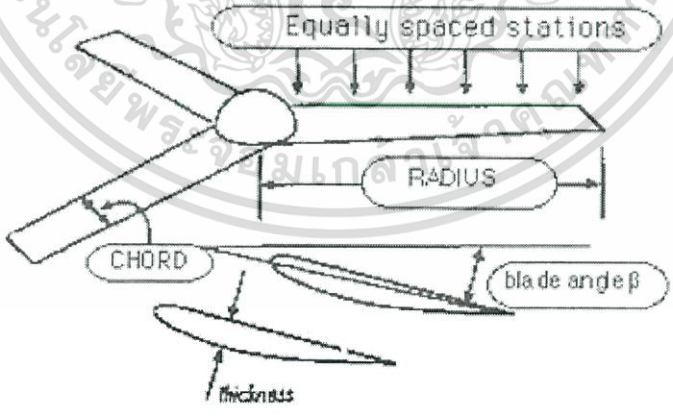
$$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2}\rho A v_0^2} \quad (2.12)$$

สัมประสิทธิ์แรงฉุด

$$C_d = \frac{D}{\frac{1}{2}\rho A v_0^2} \quad (2.13)$$

2.14 การออกแบบใบ

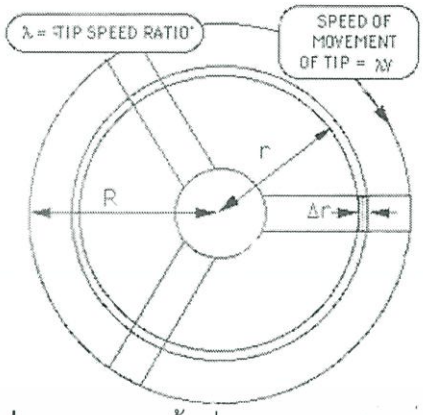
การออกแบบสร้างใบพัดจำเป็นต้องกำหนดความกว้างของใบพัดและกำหนดมุม ของแต่ละตำแหน่งตามระยะของใบพัด ที่แต่ละตำแหน่งจะสร้างรูปร่างของใบพัดให้เหมาะสมกับแรงยกที่ถูกต้องสำหรับส่วนย่อยของลม



รูปที่ 2.18 แสดงหน้าตัดของใบพัด[1]

ขั้นตอนการคำนวณแรงที่ดีที่สุดหลังจากรู้รูปร่างที่ดีของใบพัด โดยการวิเคราะห์ขอบเขตส่วนย่อย ของใบพัดที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 แสดงพื้นที่ส่วนย่อยของใบพัด[1]

ส่วนย่อยของใบพัดที่รัศมี r เคลื่อนผ่านส่วนย่อยของพื้นที่ทั้งหมดทำให้ลมช้าลง โดยสอดคล้องกับหลักเกณฑ์ของ Betz ซึ่งพื้นที่ของลมที่เคลื่อนผ่าน = 2

$$\text{ลมปะทะ} = \left(\frac{r}{R}\right)\lambda V \qquad (2.14)$$

โดย

λ คือ อัตราส่วนความเร็วที่ปลายใบ

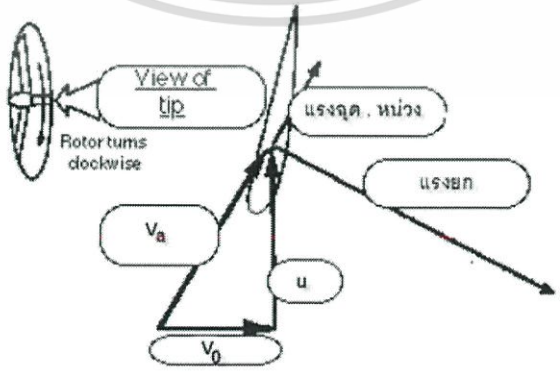
v_a คือ ความเร็วสัมพันธ์

v_0 คือ ความเร็วจริง

U คือ ความเร็วที่ปลายใบ

u_1 คือ ความเร็วที่ด้านหลัง

v คือ ความเร็วที่กังหัน



รูปที่ 2.20 แสดงทิศทางของแรงและทิศทางของความเร็วลม[2]

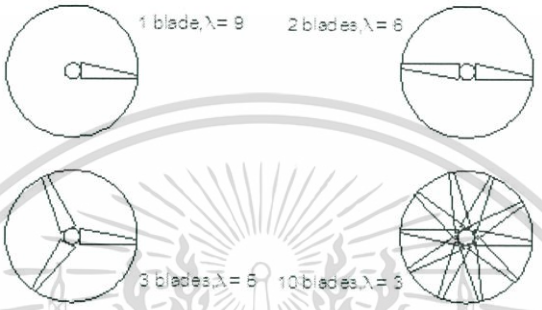
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนความเร็วที่ปลายใบ

$$\lambda = \frac{u}{v_0} \tag{2.15}$$

อัตราส่วนความเร็วที่ r ใด

$$\lambda = \frac{uR}{v_0 r} \tag{2.16}$$



รูปที่ 2.21 แสดงจำนวนใบกับอัตราส่วนความเร็วที่ปลายใบ[2]

$$\text{Lift} = C_L \frac{1}{2} \rho A v_a^2 \tag{2.16}$$

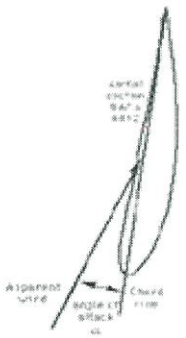
$$\text{Drag} = C_D \frac{1}{2} \rho A v_a^2 \tag{2.17}$$

โดย ρ = ความหนาแน่นของอากาศ

A = คือพื้นที่ของใบ

v_a = ความเร็วสัมพันธ์

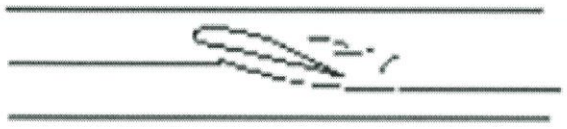
แรงยกและแรงฉุดขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์แรงยกและแรงฉุด ซึ่งการหมุนขึ้นอยู่กับหน้าตัดขวางของใบพัดที่ใช้และมุม α ที่ลมมาชนใบพัด



รูปที่ 2.22 กราฟแสดงลักษณะของมุมปะทะ[2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นคอร์ด คือ เส้นที่ยาวที่สุดในหน้าตัดเป็นเส้นเชื่อม ของเส้นนำและสันตามมุมปะทะ เป็นทิศทางของความเร็วสัมพันธ์ที่กระทำกับเส้นคอร์ดการคำนวณไม่สามารถหาสัมประสิทธิ์แรงยกและแรงฉุดได้ แต่จะใช้ค่าสัมประสิทธิ์จากการทดลองในอุโมงค์ลมของหน้าตัดแบบ NACA 4412 ขณะที่มุม เพิ่มขึ้นทำให้เกิดแรงยกจนกระทั่งถึงจุดๆหนึ่งที่จะทำให้ใบพัดเกิดการหน่วงส่วนของอากาศที่ไหลจากข้างหลังของใบพัดจะทำให้แรงยกตกและแรงฉุดจะเพิ่มขึ้นรวดเร็ว



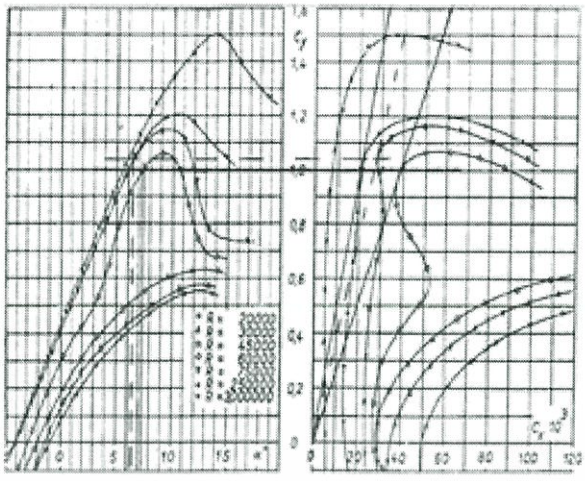
รูปที่ 2.23 ลักษณะการไหลของอากาศขณะเกิดการหน่วง[1]

เมื่อทำการออกแบบกังหันมุม จะขึ้นอยู่กับมุม ดังนั้นจะมีการควบคุมมุม ไม่ให้เกินและควบคุมแรงยกและแรงฉุดไม่ให้เกินโดยใบพัดแรงยกที่สอดคล้องกับหลักเกณฑ์ของ Betz แต่ใบจะไม่สามารถทำงานได้ดีเว้นแต่แรงฉุดจะน้อยมาก ดังนั้นควรจะเลือกมุมปะทะและหน้าตัดที่อัตราส่วนแรงยกกับแรงฉุดสูง สามารถดูได้จากรูปที่ 2.24

รูปที่ 2.24 แสดงค่าของมุมปะทะกับมุมใบ[2]

มุมที่ดีสามารถนำไปสู่ขั้นตอนกระบวนการที่แม่นยำเพราะสัมประสิทธิ์แรงยกและแรงฉุดขึ้นอยู่กับ Reynolds number และขนาดของหน้าตัดใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 แสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงยกจากอุโมงค์ลม[2]

ในทางปฏิบัติหน้าตัดส่วนใหญ่จะทำให้เกิดแรงยก / แรงฉุด ที่มุมปะทะ α อยู่ที่ประมาณ 5 องศาโดยทั่วไปรายละเอียดข้อมูล ไม่สามารถหาได้แต่สามารถหามุม β ได้จากมุมปะทะ

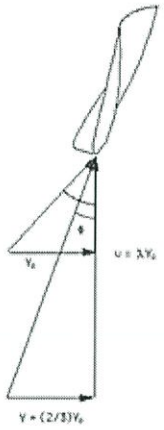
$$\beta = \phi - 5 \tag{2.18}$$

การกำหนดมุมใบ β เราจำเป็นต้องรู้มุม ϕ ที่สัมพันธ์ชนกับระนาบของกังหัน

รูปที่ 2.26 แสดงความเร็วของใบพัดที่ r ใดๆ[2]

ซึ่งลมปะทะที่ปลายใบจะมีมากกว่าที่โคนใบ โดย r = R ดังนั้นจึงมีการเปลี่ยนแปลงของมุมของรูปร่างเฉลี่ยสำหรับการบิดใบในอุดมคติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 แสดงรูปร่างเฉลี่ยการบิดของใบในอุดมคติ [2]

จากรูปที่ 2.27 แสดงทิศทางของความเร็วและแรงต่างที่สัมพันธ์กัน v คือความเร็วของ Betz จากสมการ 2.9

$$V = \left(1-\frac{1}{3}\right) v_0$$

$$= \frac{2}{3} v_0$$

โดย u คือ ความเร็วปลายใบจากสมการที่ 2.15

$$\lambda = \frac{uR}{v_0 r}$$

โดย R คือ รัศมี
r คือ รัศมีใดๆ
v_0 คือ ความเร็วด้านหน้า
λ คือ อัตราส่วนความเร็วที่ปลายใบ

$$U = \frac{r \lambda v_0}{R}$$

โดย v_a คือ ความเร็วสัมพันธ์ซึ่งทำมุม ϕ กับความเร็วที่ปลายใบ
ดังนั้น

$$v_a = \frac{r \lambda v_0}{R \cos\phi}$$

จากความเร็วสัมพันธ์ที่กระทำกับใบพัดให้เกิดแรงยกและแรงฉุดที่ทำให้กังหันมีการเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Net furce = ผลต่างของแรงยกและแรงฉุดกำลังสอง (แรงสุทธิ)

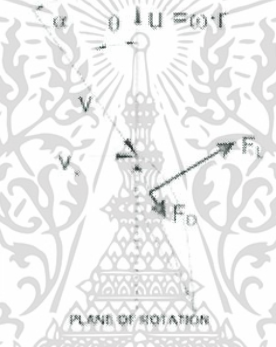
Thrust = $\text{Lift} \cos \phi + \text{Drag} \sin \phi$

Driving Force = $\text{Lift} \sin \phi - \text{Drag} \cos \phi$

$= \text{Lift} \sin \phi \left(1 - \frac{\cot \phi}{k}\right)$

โดยที่ k = อัตราส่วนแรงยก / แรงฉุด

รูปร่างแพนอากาศ(airfoil) รุ่น NACA 44 เคยเป็นที่นิยมในการทำกังหันลม จนได้มีการพัฒนารูปร่างใบพัดจนปัจจุบันกังหันลมรุ่นใหม่นิยมใช้ airfoil รุ่น NACA 63 ซึ่งมีประสิทธิภาพและให้กำลังที่สูงกว่าแรงที่กระทำต่อใบพัดของกังหันลมเมื่ออากาศไหลผ่านแพนอากาศจะทำให้เกิดแรงต่างๆ กระทำต่อแพนอากาศดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 แสดงแรงที่กระทำต่อใบพัด[2]

โดย V_∞ = ความเร็วลมเข้าใบพัด (m/s)

U = ความเร็วของใบพัด (m/s)

F_L = แรงยก (N)

F_D = แรงลาก (N)

α = มุมปะทะระหว่างลมกับแกนกลางของคอร์ด (องศา)

θ = มุมปะทะระหว่างแกนกลางของคอร์ดกับแนวการหมุนของใบพัด (องศา)

V = ความเร็วลมเฉลี่ยที่กระทำต่อใบพัด (m/s)

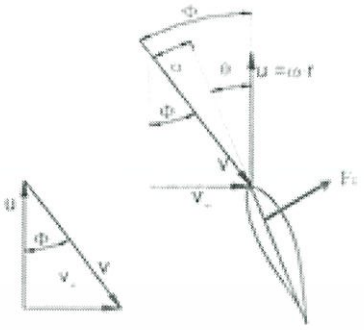
L = ความยาวคอร์ด (m)

ซึ่งการคำนวณหาค่าแรงต่างๆที่กระทำต่อใบพัดสามารถหาได้ดังนี้

แรงยก (Lift Force) เกิดแรงดันอากาศบนผิวของ airfoil กระทำกับความเร็วของใบพัดจะเกิดแรงกระทำในทิศทางตั้งฉากกับคอร์ด เรียกว่า แรงยก (Lift Force) ซึ่งมีค่าสำคัญค่าหนึ่งคือค่าสัมประสิทธิ์ แรงยก (Lift Coefficient) หรือ C_L เราสามารถคำนวณหาค่าแรงยกที่กระทำต่อใบพัดได้จากสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F_L = C_L \frac{1}{2} \rho A v^2 \qquad (2.19)$$



รูปที่ 2.29 แสดงการเกิดแรงยกของใบพัด[2]

โดย F_L = แรงยก (N)

C_L = สัมประสิทธิ์แรงยก

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

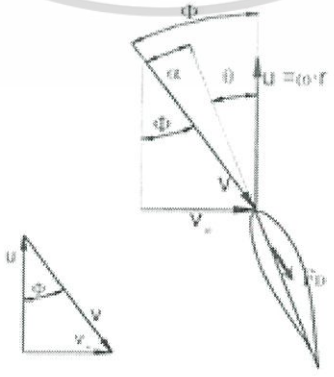
V = ความเร็วลมเฉลี่ยที่กระทำต่อใบพัด(m/s)

A = พื้นที่กวาดของใบพัด (ตารางเมตร)

แรงลาก (Drag Force)

เกิดจากแรงดันของอากาศบนผิวของ airfoil กระทำกับแรงเสียดทานบนผิวของใบพัดจะเกิดแรงกระทำกับใบพัดในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของอากาศ เรียกว่า แรงลาก (Drag Force) ซึ่งมีค่าสำคัญค่าหนึ่งคือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงลาก (Drag Coefficient) หรือ C เราสามารถคำนวณหาค่าแรงลากที่กระทำต่อใบพัดได้จากสูตร

$$F_D = C_D \frac{1}{2} \rho A v^2 \qquad (2.20)$$



รูปที่ 2.30 แสดงการเกิดแรงลากของใบพัด[2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย F_D = แรงลาก (N)

C_D = สัมประสิทธิ์แรงลาก

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

V = ความเร็วลมเฉลี่ยที่กระทำต่อใบพัด (m/s)

A = พื้นที่กวาดของใบพัด (ตารางเมตร)

แรงบิด (Torque Force) คือแรงที่กระทำบนใบพัด เกิดจากผลรวมของแรงยกและแรงลาก สามารถคำนวณได้จากสูตร

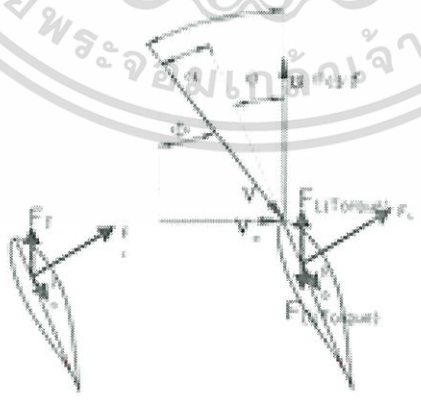
$$F_T = F_L \times \sin\phi - F_D \times \cos\phi$$

$$F_T = \frac{\rho}{2} \times L_{Chord} \times \partial r \times v^2 \times (C_L \times \sin\phi - C_D \times \cos\phi)$$

โดยค่าของมุม ϕ สามารถหาได้จาก

$$\text{Tan}(\phi) = \frac{V_\infty}{u} = \frac{V_\infty}{\omega\left(r + \frac{\delta r}{2}\right)} \qquad (2.21)$$

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{V_\infty}{\omega\left(r + \frac{\delta r}{2}\right)}\right)$$



รูปที่ 2.31 แสดงการเกิดแรงบิดของใบพัด[2]

โดย F_L = แรงยก (N)

F_D = แรงลาก (N)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C_D = สัมประสิทธิ์แรงลาก

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ (kg / m^3)

V = ความเร็วลมเฉลี่ยที่กระทำต่อใบพัด (m / s)

A = พื้นที่กวาดของใบพัด (ตารางเมตร)

L = ความยาวคอร์ด (m)

R = รัศมี (m)

ค่าอัตราส่วนความเร็วปลายใบ (Tip Speed Ratio , TSR) คืออัตราส่วนความเร็วลม และความเร็วรอบของกังหันลม ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบความเร็วที่เกิดจากการหมุนที่ปลายใบกับความเร็วลมที่ไหลผ่านกังหันลม ค่านี้จะเป็นพารามิเตอร์ที่อ้างอิงประสิทธิภาพของกังหันลมตัวหนึ่ง โดยสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$TSR = \frac{U}{V_\infty} = \frac{\omega R}{V_\infty} \qquad (2.22)$$

กำลังของกังหันลมสำหรับค่ากำลังของกังหันลมสามารถหาได้จากสูตร

$$P = \frac{1}{2}\rho A v_\infty^3 \eta$$

$$= \frac{\rho}{2}\pi R^2 v_\infty^3 \eta \qquad (2.23)$$

โดย P = กำลัง (W)

η = ค่าประสิทธิภาพของกังหันลม

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ (kg / m^3)

A = พื้นที่กวาดของใบพัด (m^2)

V_∞ = ความเร็วลมเข้าใบพัด (m / s)

2.15 การคำนวณมุม

การคำนวณมุม β ของใบที่เหมาะสม

$$\beta = \phi - \alpha$$

โดย

$$\tan\phi = \frac{\left(\frac{2v}{3}\right)}{\left(\frac{r}{R}\right)\lambda v}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{2R}{3r\lambda}$$

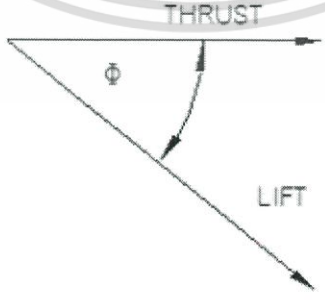
ดังนั้น

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{2R}{3r\lambda}\right) - \alpha$$

โดย α ประมาณ 5 องศา คำนวณมุม β แล้วยังจำเป็นต้องคำนวณความกว้างของใบที่ส่วนย่อยแต่ละส่วนของใบที่ลมกระทำที่รัศมี r เริ่มจากส่วนเล็กๆ ที่ใกล้กับโคนใบ จำนวนของลมที่ส่วนย่อยของใบได้รับน้อยมาก

รูปที่ 2.32 แสดงพื้นที่ส่วนย่อยของกังหันลม[2]

ดังนั้นการรับลมส่วนใหญ่จะอยู่ที่ด้านนอกของใบพัด ส่วนด้านในจะมีความสำคัญน้อยแต่จำเป็นต้องมีรูปร่างที่แตกต่างด้วย สอดคล้องกับ Betz ในส่วนของการเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ของกังหันจะช้าลงของความเร็วลมด้านหน้าและการช้าลงเป็นผลมาจากแรงผลัก ซึ่งมีความสัมพันธ์กับแรงยก



รูปที่ 2.33 แสดงความสัมพันธ์ของแรงยกกับแรงผลัก[2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อไม่สนใจแรงฉุดเพราะมีค่าน้อยมาก จะได้แรง

$$\text{Thrust} = \text{Lift}\cos\phi$$

สำหรับทฤษฎีของ Betz

$$\text{Thrust} = \frac{4}{9}\rho A v_0^2$$

$$= \frac{4}{9}\rho(2\pi r\Delta r)A v_0^2 \qquad (2.24)$$

และเรารู้ว่าแรงยก

$$\text{Lift} = CL\frac{\rho}{2}BC\Delta r\, v_a^2$$

$$= CL\frac{\rho}{2}BC\Delta r\left[\frac{\lambda v\left(\frac{r}{R}\right)}{\cos\phi}\right]^2$$

ดังนั้นจะหาค่าความกว้างใบได้จากการเท่ากันของแรงผลัก

$$\text{Thrust} = CL\frac{\rho}{2}\times\frac{BC\Delta r(\lambda v_0 r)^2}{R^2\cos^2\phi}\cos\phi$$

$$= \frac{4}{9}\rho 2\pi r\Delta r\, v_0^2$$

$$C = \frac{16\pi R\left(\frac{R}{r}\right)}{9\lambda^2 BCL}\cos\phi \qquad (2.25)$$

โดยตั้งสมมุติฐานให้ CL และ $\cos\phi$ ทั้งคู่ = 1 ดังนั้นสมการนี้จะดีที่สุดที่ส่วนด้านนอกของใบ

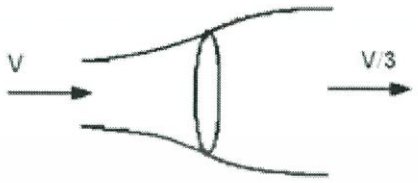
$$C = \frac{16\pi R\left(\frac{R}{r}\right)}{9\lambda^2 B} \qquad (2.26)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.16 ปัจจัยที่ส่งผลต่อสัมประสิทธิ์กำลังโดยพลังงานจะไปที่ไหนบ้าง

2.16.1 การสูญเสียของลม

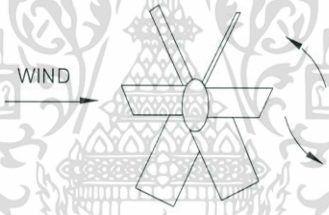
ที่ลอดไปรอบๆ ด้านข้างของกังหัน จากการคำนวณของ Betz นั้นสามารถกักเก็บได้ 0.593 ของกำลังและจะได้รับลมช้าลง ของลมด้านหน้าเสมอ



รูปที่ 2.34 ลมที่ลอดไปรอบๆ ด้านของใบพัด[2]

2.16.2 การสูญเสียเนื่องจากการหมุนวน

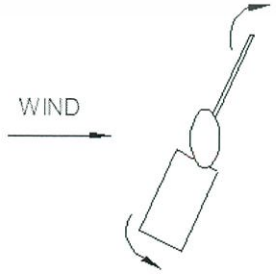
โดยทำให้เกิดแรงบิดสูง จากการคำนวณของ Glauert นี้จะไม่ดีที่อัตราส่วน ความเร็วต่ำ



รูปที่ 2.35 การสูญเสียในการหมุนโดยทำให้เกิดแรงบิดสูงหมุนวน[2]

2.16.3 การสูญเสียที่ปลายใบ

โดยจำนวนของใบมีน้อยแรงผลักจะสูงและลมบางส่วนชอบเคลื่อนไปรอบๆใบ

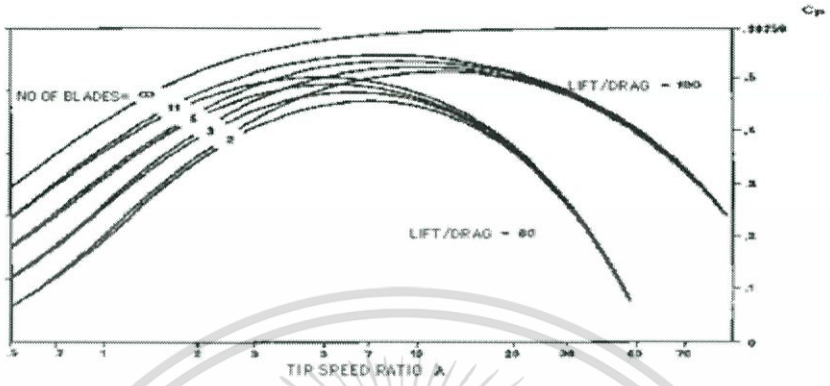


รูปที่ 2.36 การสูญเสียที่ปลายใบ[2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.16.4 การสูญเสียของแรงฉุด

ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราส่วนแรงยก / แรงฉุด สำหรับอัตราส่วนความเร็วที่ปลายใบสูง ใบพัดจะได้รับการสึกกร่อนโดยแรงยกที่ทำให้ใบหมุนมากขึ้นจากทิศทางเดิมของการเคลื่อนที่ของใบ



รูปที่ 2.37 แสดงการการสูญเสียของแรงฉุด ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราส่วนแรงยก / แรงฉุด การออกแบบความกว้างที่ปลายใบ[1]

สัมพันธ์กับความยาวของใบเพื่อหาจำนวนใบ B

โดยให้ $$C = \left(\frac{7}{100}\right)R$$

รูปที่ 2.38 แสดงอัตราส่วนของใบพัด[1]

จาก $$C = \left(\frac{16\pi R\left(\frac{R}{r}\right)}{9\lambda^2 B}\right)$$

จะได้จำนวนใบ

$$B = \left(\frac{16\pi R\left(\frac{R}{r}\right)}{9\lambda^2\left(\frac{7}{100}\right)R}\right)$$

$$= \frac{80}{\lambda^2} \qquad (2.27)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนความเร็วที่ปลายใบ λ ขึ้นอยู่กับตัวประกอบหลายตัว ผลของอัตราส่วนความเร็วที่ปลายใบสูงความเร็วของเพลาก็จะสูงประสิทธิภาพของการเกิดกระแสไฟฟ้าก็มากขึ้น ซึ่งมักจะมีข้อเสียมาก

1. เสียงจากใบที่อยู่สูง
2. การสั่นสะเทือนในกรณีของ 2 ใบ และ 1 ใบ
3. ขอบของใบพัดที่ถูกสัมผัสที่ความเร็วอากาศสูงจะทำให้เกิดการกัดกร่อน
4. ประสิทธิภาพที่ลดลงเกิดจากแรงฉุดและการสูญเสียที่ปลายใบ
5. ปัญหาของการเริ่มหมุนยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การวางแผนปฏิบัติงานซีเอ็นซี

3.1 ความนำ

ในปัจจุบันวงการอุตสาหกรรมต่างๆ ได้มีการพัฒนาและขยายตัวอย่างรวดเร็วผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นมามีทั้งจำหน่ายภายในประเทศและส่งออกไปต่างประเทศทำให้ผลิตภัณฑ์ต้องได้ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้เช่น มาตรฐานสากล ISO (International Standardization Organization) หรือ ตามมาตรฐานของเยอรมัน เนื่องจากภาวะในปัจจุบันมีอัตราการแข่งขันในตลาดเป็นอย่างมาก การนำเข้าเครื่องจักรกลที่ทันสมัยและมีประสิทธิภาพสูงทำให้มีความนิยมใช้งานเครื่องจักรที่ใช้ระบบควบคุมแบบเชิงตัวเลขหรือเครื่องจักร CNC ซึ่งเป็นเครื่องจักรที่ทำงานอัตโนมัติ สามารถผลิตชิ้นงานที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาด หรือรูปทรงบ่อยๆได้ดี เพราะสามารถแก้ไขข้อมูลต่างๆโดยตรงที่โปรแกรม ขณะเดียวกันการพัฒนาระบบโปรแกรมช่วยในการผลิตชิ้นงานโดยระบบควบคุมแบบเชิงตัวเลขต้องมีการพัฒนาควบคู่ไปตามกัน

เครื่องจักร CNC ในการเคลื่อนที่ต่างๆในการผลิตชิ้นงานจะทำงานโดยอัตโนมัติด้วยตัวเลขของเครื่องจักรเองโดยอาศัยข้อมูลจากชุดควบคุมคำสั่งให้เครื่องจักรทำงานตามข้อมูลที่ป้อนให้กับชุดควบคุมของเครื่องจักร CNC ในรูปแบบของรหัส (Code) ที่ชุดควบคุมสามารถเข้าใจได้

การฝึกอบรมผู้ปฏิบัติงาน ให้มีทักษะความชำนาญในด้านการเขียนโปรแกรมชิ้นงาน CNC เป็นการลงทุนที่ค่อนข้างสูงเพราะจะต้องใช้เงินและเวลาในการฝึกอบรม การใช้โปรแกรมชิ้นงาน CNC เชิงโต้ตอบนี้จะช่วยให้สามารถทำโปรแกรมชิ้นงาน CNC แบบดั้งเดิมอีกทั้งระบบยังมีความยืดหยุ่นอย่างมากทำให้สามารถประยุกต์ไปใช้งานด้านต่างๆได้ในจำนวนมาก การใช้งานเครื่องจักรกลควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ CNC ได้ขยายตัวเข้าไปในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆอย่างรวดเร็วได้มีการคิดค้นเทคนิคใหม่ๆ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีการผลิตและมีการปรับตัวให้สามารถใช้งานกับเครื่อง CNC ได้ การบูรณาการ สิ่งต่างๆเหล่านี้เข้าด้วยกันได้ก่อให้ปัญหาแก่ส่วนต่างๆ ที่เกี่ยวข้องอย่างมากปัญหาหลักที่สำคัญยิ่งอันหนึ่งก็ยังคงใช้กรรมวิธีโปรแกรมอย่างหนึ่งโปรแกรมต่อหนึ่งชิ้นงานอยู่

การนำคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) มาใช้ในงานเครื่องจักร CNC ได้ช่วยในการจัดเตรียมข้อมูลเชิงตัวเลขของเครื่องจักรดีขึ้นมาก และทำให้สามารถตระเตรียมข้อมูลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลอื่นๆ ที่ไม่ต้องเชื่อมต่ออยู่กับเครื่องจักร CNC ก็ได้แต่กระนั้นก็ตามการทำงานก็ยังคงเป็นแบบกรรมวิธีการ โปรแกรมหนึ่งชิ้นงานใช้หนึ่งโปรแกรมอยู่ในการศึกษานี้จึงได้ศึกษาการทำโปรแกรมชิ้นงาน CNC เชิงโต้ตอบขึ้นมาโดยตั้งอยู่บนพื้นฐานของโปรแกรมชิ้นงานแบบใช้พารามิเตอร์ ซึ่งช่วยให้สามารถทำโปรแกรมได้ง่ายและจัดเตรียมสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ ให้มีศักยภาพในการ รองรับการประยุกต์ใช้งานอุตสาหกรรมด้านต่างๆได้ ซึ่งวิธีการนี้สามารถใช้ทำงานทั้งบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลและบนตัวควบคุมของเครื่องจักร โดยเฉพาะการโปรแกรมชิ้นงานแบบใช้พารามิเตอร์นี้จะช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถพัฒนารูปแบบการทำงานของตัวเองขึ้นมาได้และสามารถปรับแต่งให้เข้ากับปัญหาในด้านการผลิตที่เขประสบอยู่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ความหมายของ NC และ CNC

เอ็นซี (NC) ย่อมาจากคำว่า Numerical Control หมายถึง การควบคุมเครื่องจักรกลด้วยระบบตัวเลขและตัวอักษร เนื่องจากมีการนำข้อมูลทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการควบคุม จึงเรียกว่า การควบคุมเชิงตัวเลข กล่าวคือ การเคลื่อนที่ต่างๆตลอดจนการทำงานอื่นๆของเครื่องจักรกล จะถูกควบคุมโดยรหัสคำสั่งที่ประกอบด้วยตัวเลข ตัวอักษร และสัญลักษณ์อื่นๆ ที่จะไปกระตุ้นมอเตอร์หรืออุปกรณ์อื่นๆเพื่อทำให้เครื่องจักรกลทำงานตามขั้นตอนที่ต้องการ NC เป็นการทำงานของอุปกรณ์จักรกลโดยชุดของรหัสคำสั่ง ซึ่งชุดของรหัสคำสั่งที่สำคัญที่สุดอาจเป็นความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของเครื่องมือและชิ้นงาน การจัดเรียงคำสั่งเป็นชุดอย่างถูกแบบแผน จะเรียกว่าชุดคำสั่งของการควบคุมเชิงตัวเลข มันอาจนำไปใช้ในการผลิตชิ้นงานที่เหมือนกันได้ โดยการใช้ชุดคำสั่งซ้ำๆกัน

ซีเอ็นซี(CNC) ย่อมาจากคำว่า Computerized Numerical Control ระบบควบคุม NC แบบนี้เป็นผลจากการพัฒนามาจากเครื่องจักรกล NC โดนมีการนำเอาคอมพิวเตอร์ที่มีความสารถสูงเพิ่มเข้าไปภายในระบบ ทำให้สามรถจัดการกับข้อมูลที่ป้อนเข้าไปในระบบ NC และประมาณผลข้อมูลผลเพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้ไปควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกล เช่น ทำให้สามรถกลึงหรือกัดชิ้นงานที่มีรูปทรงยากๆได้ง่ายขึ้น สามารถใช้โปรแกรมสำเร็จจำลองเส้นทางการเดินของมีดตัด และการคำนวณค่าต่างๆ เช่น ความเร็วรอบ อัตราป้อน เป็นต้น

ในปัจจุบันเครื่องจักรกล NC ส่วนมากจะหมายถึง เครื่องจักรกล CNC ทั้งนี้เพราะว่าระบบ NC ที่ไม่มีคอมพิวเตอร์เป็นส่วนประกอบ มักไม่นิยมสร้างใช้แล้ว เนื่องจากชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันมีราคาค่อนข้างถูก ดังนั้น ราคาของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้ที่เพิ่มขึ้นมาเกือบจะไม่ต้องนำมาพิจารณาเมื่อเทียบกับราคาของเครื่องจักรทั้งเครื่อง

3.2.1 ความแตกต่างระหว่างเครื่องจักรกล NC กับเครื่องจักรกลทั่วไป

เครื่องจักรกลทั่วไปแท่นเลื่อน (Slides) ทำหน้าที่นำชิ้นงานหรือเครื่องมือตัดให้เคลื่อนที่ไปตามรางเลื่อน (Sideways) โดยการหมุนมือหมุน หรือโดยการต่อกลไกลป้อนอัตโนมัติ เช่น ลูกเบี้ยวในเครื่องกลึงอัตโนมัติ ซึ่งในขณะเดียวกันช่างควบคุมเครื่องจะต้องปฏิบัติงานในหน้าที่อื่นๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการตัดเฉือนชิ้นงานนั้นๆด้วย เช่น เปิดและปิดสวิตช์ สารหล่อลื่น เป็นต้น ในการปฏิบัติหน้าที่ต่างๆเหล่านี้ ช่างควบคุมเครื่องจะต้องใช้ทั้งวิจารณญาณและการตัดสินใจร่วมกัน การตัดสินใจเหล่านี้จะต้องทำซ้ำๆ กันตลอดเวลาที่ทำการผลิตชิ้นงาน ถึงแม้ว่าจะเป็นการผลิตชิ้นงานที่มีรูปทรงเดียวกันก็ตาม

ส่วนเครื่องจักรกล NC การเคลื่อนที่ต่างๆ ที่จะเป็นในการผลิตชิ้นงานจะทำงานโดยอัตโนมัติด้วยตัวเครื่องจักรเอง ตามข้อมูลตัวเลข (Numerical Information) ที่ป้อนให้กับระบบควบคุมของเครื่องจักรกล NC ในรูปแบบของรหัส (Code) ที่ระบบควบคุมเครื่องสามารถเข้าใจได้ ความแตกต่างในการใช้เครื่องจักรกล NC เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องจักรกลทั่วไปก็คือ การตัดสินใจในการกำหนดขั้นตอนการทำงานต่างๆ จะกระทำเพียงครั้งเดียว กล่าวคือ จะกระทำในขั้นตอนการวางแผนและสร้างโปรแกรม สำหรับควบคุมเครื่องจักรกลเท่านั้น ต่อจากนั้นโปรแกรมก็จะถูกนำไปใช้ในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกล สำหรับการผลิตชิ้นงานที่ต้องการโดยสามารถทำการผลิตซ้ำๆกันกี่ครั้งก็ได้ตามความต้องการ

นอกจากโปรแกรมการทำงาน ซึ่งเปรียบเสมือนการวางแผนการทำงานที่ได้จัดเตรียมขั้นตอนการทำงานทุกขั้นตอน จะป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้น ตลอดจนการป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้นั้น และการผลิตชิ้นงานด้วยเครื่องจักรกล NC ยังช่วยลดเวลาการทำงานอื่นๆที่จำเป็นอีกด้วย เช่น ลดเวลาการตรวจสอบขนาดของชิ้นงาน ลดเวลาการปรับตำแหน่งของชิ้นงาน ลดเวลาในการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบในการทำงาน เป็นต้น

3.2.2 ความแตกต่างระหว่างระบบ NC กับระบบ CNCระบบ CNC

เป็นระบบที่พัฒนาต่อเนื่องมาจากระบบ NC ดังนั้นความแตกต่างระหว่างระบบ NC กับระบบ CNC ก็จะอยู่ที่ความสามารถของระบบควบคุม นั่นคือ คอมพิวเตอร์ เมื่อนำระบบ CNC ไปควบคุมเครื่องจักรกล ความสามารถในการทำงานต่างๆ จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องจักรกล NC ดังนี้

3.2.2.1 การแสดงภาพจำลอง (Simulation)

3.2.2.2 ความจุของหน่วยความจำเพิ่มมากขึ้น สามารถเก็บข้อมูลโปรแกรมได้มาก

3.2.2.3 การแก้ไขและลบโปรแกรมสามารถกระทำได้ที่เครื่องจักรกลโดยตรง

3.2.2.4 สามารถส่งข้อมูลไปเก็บไว้ในหน่วยความจำภายนอกได้

3.2.2.5 ระบบความปลอดภัยเพิ่มมากขึ้น

3.2.2.6 มีการชดเชยความผิดพลาดที่เกิดจากการวัดและการส่งกำลัง

3.2.2.7 มีโปรแกรมสำเร็จสำหรับการคำนวณค่าต่างๆ เช่น ความเร็วรอบ อัตราป้อน

3.2.3 ข้อดีของเครื่องจักรกล NC และ CNC

เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องจักรกลอัตโนมัติประเภทอื่นๆพอจะสรุปได้ดังนี้

3.2.3.1 มีความยืดหยุ่นในการทำงานสูง คือ การเปลี่ยนงานใหม่จะแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงเฉพาะโปรแกรมเท่านั้น

3.2.3.2 ความเที่ยงตรง (Accuracy) จะอยู่ในระดับเดียวกันตลอดช่วงความเร็วรอบและอัตราป้อนที่ใช้ทำการผลิต

3.2.3.3 การใช้เวลาในการผลิต (Production Time) สั้นกว่า

3.2.3.4 สามารถใช้ผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ง่าย หรือมีขนาดเหมือนกันจำนวนมาก

3.2.3.5 การปรับตั้งเครื่องจักรกลกระทำได้ง่าย ใช้เวลาน้อยกว่าการผลิตด้วยวิธีอื่นๆ

3.2.3.6 หลีกเลี่ยงความจำเป็นที่ต้องใช้ช่างควบคุมที่มีทักษะและประสบการณ์สูง

3.2.3.7 ช่างควบคุมเครื่องมีเวลาว่างสามารถจัดเตรียมงานไว้ล่วงหน้าได้

3.2.3.8 การตรวจสอบคุณภาพไม่จำเป็นต้องกระทำทุกขั้นตอนและทุกชิ้น

3.2.3.9 ลดขั้นตอนการจัดเก็บเอกสารเพียงแต่เก็บโปรแกรมไว้เท่านั้น

3.2.3.10 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นงานไม่มีผลต่อการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 ข้อเสียของเครื่องจักรกล NC และ CNC

3.2.4.1 ราคาของเครื่องจักรค่อนข้างสูง

3.2.4.2 การบำรุงรักษามีความซับซ้อนมาก

3.2.4.3 จำเป็นต้องใช้ช่างเขียนโปรแกรม (Part Programmer) ที่มีทักษาสูงและฝึกอบรมมาโดยเฉพาะ

3.2.4.4 ชิ้นส่วนหรืออะไหล่ที่ใช้ในการซ่อมบำรุง ไม่สามารถผลิตได้ภายในประเทศจำเป็นต้องสั่งซื้อหรือนำเข้าจากต่างประเทศ

3.2.4.5 การซ่อมบำรุงจะต้องใช้ช่างที่มีประสบการณ์สูงและผ่านการฝึกอบรมมาโดยเฉพาะ

3.2.4.6. ราคาของเครื่องมือต่างๆที่ใช้ในกระบวนการตัดเฉือน เช่น แกนเพลายึดใบมีด มีดกลึง แบบใช้อินเสิร์ต (Insert) เป็นต้น จะมีราคาที่สูง

3.3 ระบบของเครื่องจักร CNC

3.3.1. การควบคุมเชิงตัวเลข (Numerical control)

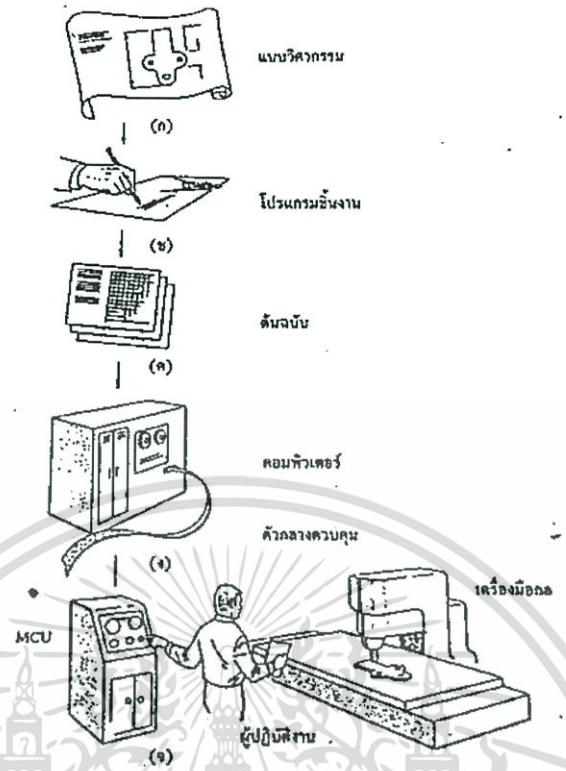
ในระบบการผลิตสมัยใหม่ เป็นระบบอัตโนมัติที่ก้าวหน้ามาก เพราะใช้คอมพิวเตอร์เป็นส่วนหนึ่งของการควบคุม เครื่องมือกล เครื่องเชื่อม และเครื่องตัดโดนลำแสงเลเซอร์ เป็นต้น ต่างก็ประยุกต์ใช้กับคอมพิวเตอร์ปัจจุบันมีราคาถูกลงมาใช้เพื่อเพิ่มความสะดวก ความรวดเร็ว และความถูกต้องในการผลิตที่เป็นจำนวนมาก กาควบคุมเครื่องมือกลโดยใช้ตัวกลางซึ่งเป็นโปรแกรมที่ได้เตรียมล่วงหน้าไว้แล้ว เรียกว่า การควบคุมเชิงตัวเลข สมาคมอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Industrial Association : EIA) ได้นิยามอุปกรณ์ NC ไว้ดังนี้ ระบบหนึ่งซึ่งกิริยาของระบบถูกควบคุมโดยข้อมูลเชิงตัวเลขที่ป้อนเข้าไป โดยตรง ณ จุดใดจุดหนึ่ง ระบบนี้จะต้องทำงานแบบอัตโนมัติอย่างน้อยช่วงใดช่วงหนึ่งของข้อมูลนี้

การนำ NC มาประยุกต์ใช้โดยส่วนมากจะเป็นการนำเข้ามาช่วยในการผลิตสินค้า อย่างไรก็ตามยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในด้านการผลิตทั้งหมด (Total production) และด้านการจัดการ NC ซึ่งช่วยในการผลิตสินค้านี้ เป็นวิวัฒนาการมาจากกระบวนการผลิตสินค้าด้วยมือ ตั้งแต่การออกแบบวิศวกรรม (Design engineering) การวางแผน การทำเครื่องมือ ตลอดจนการควบคุมคุณภาพ สิ่งที่เด่นที่สุดของ NC คือ การจุดเตรียมกระบวนการผลิตสินค้าทั้งหมดด้วยการควบคุมอย่างใกล้ชิด

3.3.2 การอธิบายกระบวนการควบคุมเชิงตัวเลขอย่างง่าย

ผลิตภัณฑ์ที่จะผลิตนั้น จะต้องวาดและกำหนดสัดส่วนลงในแบบวิศวกรรม นั้นคือ จะต้องมาการกำหนดชนิดวัสดุและเงื่อนไข กำหนดการทำขั้นสุดท้ายของผิวชิ้นงานและค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ และกำหนดสัดส่วนของชิ้นงาน เช่น ความยาว ความกว้าง ความสูง รัศมี และเส้นโค้ง จากนั้นผู้เขียนโปรแกรมชิ้นงาน (Part programmer) จะทำหน้าที่ขั้นต่อไปคือ พยายามดึงข้อมูลทั้งหมดและสัดส่วนที่ต้องการผลิตจากแบบวิศวกรรม ดังรูป3.1 ดังนั้น ผู้เขียนโปรแกรมจึงเป็นบุคคลเดียวกันที่ทำหน้าที่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 กระบวนการควบคุมเชิงตัวเลข[3]

3.3.2.1 ผู้วางแผนงาน (Planner) ซึ่งจะกำหนดขั้นตอนในการปฏิบัติงาน

3.3.2.2 ผู้จัดเครื่องมือ (Tooling man) ซึ่งจะกำหนดฟิกเจอร์เครื่องมือกล (Machine Tool fixtures) และเครื่องมือตัด (Cutting Tools) ที่จะใช้

3.3.2.3 ผู้ชำนาญทางเครื่องกล ซึ่งทำหน้าที่พิจารณาการป้อนส่ง (Feed) เละความเร็ว (Speed) เมื่อผู้เขียนโปรแกรมชิ้นงานได้วิเคราะห์แล้ว จึงบันทึกผลการตัดสินใจทั้งหมดลงในต้นฉบับในรูปแบบของรหัสหรือสัญลักษณ์ ซึ่งจะได้ออกมาเป็นโปรแกรมที่จะป้อนเข้าสู่เครื่องมือกล

ในขั้นต่อไป คอมพิวเตอร์จะถูกนำมาใช้ช่วยผู้เขียนโปรแกรมในการคำนวณชิ้นงานคอมพิวเตอร์จะคำนวณการตัดกัน (Intersection) การสัมผัส (Tangencies) เป็นต้น จากจุด เส้นตรง และเส้นโค้งที่ได้ถูกกำหนดไว้ในแบบวิศวกรรมอัตโนมัติ แล้วยังคงข้อมูลเหล่านี้เพื่อใช้กับคำสั่งในการตัด คำสั่งในการตัดนี้ คือ การเคลื่อนที่เป็นลำดับที่กำหนดไว้แล้วโดยผู้เขียนโปรแกรมชิ้นงาน แล้วคำสั่งนี้บังจำเป็นต้องใช้เพื่อสั่งเลื่อยโลหะ ซึ่งจะได้รูปลักษณ์ของชิ้นงานตามที่ต้องการ คอมพิวเตอร์ยังคำนวณทางเดินออฟเซ็ท (Offset part) ซึ่งเป็นทางเดินไปตามออฟเซ็ทพื้นผิวของชิ้นงานอันเกิดจากการเลือกใช้มีดตัด (Cutter) และคอมพิวเตอร์ยังผลิตตัวกลางควบคุม

อัตราการป้อนส่ง (feed rater) ระบบควบคุมและลักษณะพลวัตรของเครื่องมือกลตัวกลางควบคุมนี้คือเทปที่ใช้สำหรับปฏิบัติงานของเครื่องมือกล และสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าที่ของผู้ปฏิบัติงานคือ ประกอบฟิกเจอร์บนเครื่องมือกล วางชิ้นงานลงในฟิกเจอร์ ใส่ใบมีดในสปิลเดิ้น (Spindle) และตัวกลางควบคุมที่ระบบควบคุมเครื่องมือกลพร้อมกับเริ่มสตาร์ทการปฏิบัติงาน ระบบควบคุมจะให้คำสั่งของเครื่องมือกล และนำมีดตัดไปตามทางที่ได้กำหนดไว้ก่อนแล้ว ระบบจะทำงานจนถึงขั้นตอนสุดท้ายโดยอ่านตัวกลางควบคุมนี้ แล้วกระตุ้นให้ระบบเซอร์โว สกรูนำ (lead screw) และระบบป้อนกลับให้ทำงาน

การลองการผลิตและตัวกลางควบคุมในครั้งแรกนี้ โดยปกติจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นในการผลิตและในการเขียนโปรแกรม เมื่อได้แก้ไขความผิดพลาดเหล่านี้ และทางควบคุมคุณภาพได้ยอมรับชิ้นงานแล้ว จะสามารถผลิตได้โดยไม่ต้องวิเคราะห์หรือตัดสินใจใหม่ ตัวเลขโปรแกรมที่ได้พิจารณาล่วงหน้าเรียบร้อยแล้วนี้จะควบคุมกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงเรียกว่า การควบคุมเชิงตัวเลข

3.4 ระบบแกนเครื่องจักร (Machine axis) [2]

Lin 1994 ได้กล่าวว่าเครื่องมือกลแต่ละเครื่องจะมีการเคลื่อนที่ของแกนอยู่ 2 แบบด้วยกัน คือ แบบเชิงเส้น (Linear motion) และแบบหมุน (Rotary motion) การเคลื่อนที่เชิงเส้นเครื่องจักรจะเคลื่อนที่ไปเป็นเส้นตรงขนานกับแกนอ้างอิง สมาคมอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (EIA) ได้สร้างมาตรฐานสำหรับกำหนดแกนของเครื่องจักร CNC ไว้ใน EIA-267-B มาตรฐานนี้ได้มีการกำหนดแกนต่างๆไว้ 14 แกนด้วยกัน ประกอบด้วยแกนเชิงเส้น 9 แกน และแกนหมุน 5 แกน แกนเชิงเส้นของเครื่องจักรอาจจะประกอบไปด้วยแกนเชิงเส้น ปฐมภูมิ (Primary linear axis) 3 แกน แกนเชิงเส้นทุติยภูมิ (Secondary linear axis) 3 แกน และแกนตติยภูมิ (Tertiary linear axis) 3 แกน แกนหมุนทุติยภูมิ (Secondary rotary axis) 2 แกน แต่โดยทั่วไปเครื่องจักร CNC ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยแกนเชิงเส้นเพียง 3 แกน และแกนหมุน 1 แกน สำหรับการจัดวางตำแหน่งชิ้นงาน

3.4.1 แกนเชิงเส้นปฐมภูมิ : X,Y และ Z

แกนเชิงเส้นปฐมภูมิมักจะถูกกำหนดเป็นแกน X,Y และ Z การกำหนดแกนเหล่านี้บนเครื่องจักร CNC จะใช้กฎพิกัดมือขวา ดังรูปที่ 4.2

3.4.2 แกนหมุนปฐมภูมิ : A,B และ C

แกนหมุนปฐมภูมิ จะถูกกำหนดชื่อเป็น A,B และ C โดยใช้เป็นการชี้ทิศทางการหมุนรอบแกน X,Y และ Z ตามลำดับ ดังรูป 2 ซึ่งทิศทางการหมุนใช้กฎของมือขวา

3.4.3 แกนเชิงเส้นทุติยภูมิ U,V และ W

เครื่องจักร CNC บางเครื่องอาจจะมีการเคลื่อนที่ของแกนเชิงเส้นเพิ่มเติม แกนเชิงเส้นทุติยภูมิ U จะขนานกับแกน X, แกน v จะขนานกับแกน Y, และแกน W จะขนานกับแกน Z

3.4.4 แกนหมุนทุติยภูมิ : D และ E

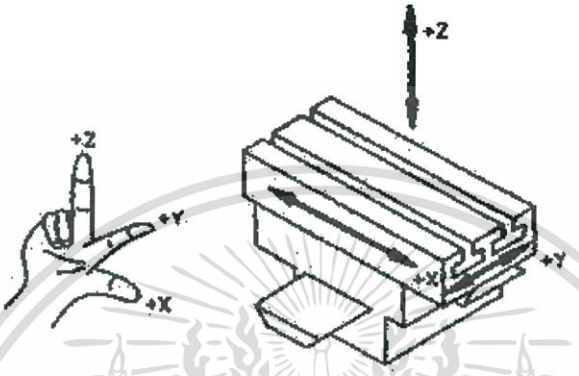
ตัวอักษร D และ E จะถูกนำมาใช้แทนแกนหมุนทุติยภูมิ ซึ่งแกนหมุนนี้อาจจะขนานกับแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

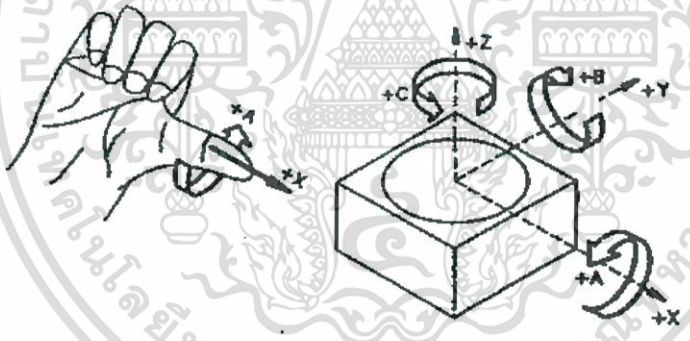
หมุน A,B หรือ C หรือเป็นแกนพิเศษก็ได้

3.4.5 แกนเชิงเส้นตติยภูมิ : P,Q และ R

เครื่องจักร CNC ที่ซับซ้อนมากๆ อาจจะมีชุดของแกนเคลื่อนที่เชิงเส้น ชุดที่ 3 ขนานกับ 1 แกนเชิงเส้นหรือปฐมภูมิก็ได้ ตัวอักษร P,Q และ R จะแทนแกนเชิงเส้นตติยภูมิที่ขนานกับแกน X,Y และ Z ตามลำดับ



รูปที่ 3.2 แสดงการกำหนดแกนเชิงเส้นปฐมภูมิ X,Y และ Z ตามลำดับกฎมือขวา[3]



รูปที่ 3.3 แสดงการกำหนดแกนหมุนปฐมภูมิ A,B และ C ตามกฎมือขวา[3]

การที่ชิ้นงานจะถูกตกแต่งให้มีรูปแบบตามที่ต้องการได้นั้นจำเป็นที่จะต้องให้เครื่องมือกลมีการเคลื่อนที่ที่สัมพัทธ์กับชิ้นงานไม่ว่าจะเป็นในรูปแบบที่ชิ้นงานอยู่กับที่แล้วให้เครื่องมือกลเคลื่อนที่ หรือเครื่องมือกลอยู่กับที่ แล้วให้ชิ้นงานเคลื่อนที่ไปโดยอาศัยการเคลื่อนที่ของแท่นยึดจับชิ้นงาน หรืออาจเป็นไปในรูปแบบทีทั้งสองต่างเคลื่อนที่ไปพร้อมๆกัน ลักษณะของการเคลื่อนที่สัมพัทธ์สามารถกำหนดได้โดยอาศัยระบบแกนอ้างอิง (Coordinate systems) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วนิยมที่จะให้แท่นยึดจับเคลื่อนที่โดยการเลื่อนไปตามแนวแกน X,Y และ Z ซึ่งเป็นทิศทางหลักของการเคลื่อนที่ โดยทิศทางที่เป็นบวกหรือลบจะถูกกำหนดโดยบริษัทผู้ผลิตและการเคลื่อนที่ไปในแต่ละทิศอาจมีการหมุนรอบแกนนั้นด้วยก็ได้ นอกจากนี้ยังอาจมีทิศทางรองของการเคลื่อนที่ ซึ่งอาจจะกำหนดในแนวแกน U,V และ W โดยจำนวนแกนอ้างอิงต่างๆเหล่านี้จะบอกถึงการสัมพัทธ์ของการเคลื่อนที่และตำแหน่งรวมถึงมุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

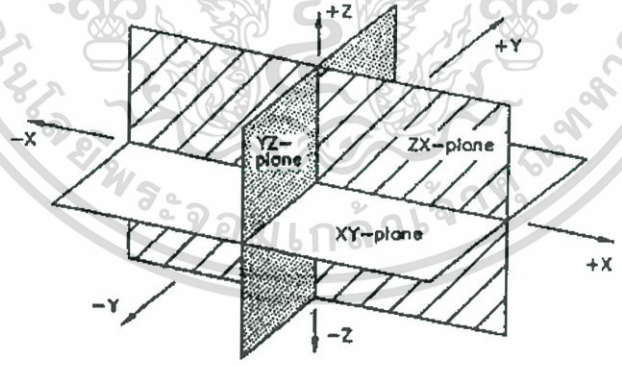
ระหว่างชิ้นงานและเครื่องมือกล ดังนั้นความสามารถในจำนวนแกน เช่น 2 แกน, 3 แกน หรือ 5 แกน จึงเป็นสิ่งที่บอกถึงจำนวนแกนที่สามารรถควบคุมได้ในขณะเดียวกัน

3.5 ระบบพิกัดบอกตำแหน่ง (Coordinate systems)

หลักการของการทำโปรแกรมชิ้นงาน NC คือการนำเครื่องมือตัดเคลื่อนไปรอบๆชิ้นงานเพื่อสร้างรูปทรงเลขาคณิตของชิ้นงานมา ในการนี้ผู้ใช้โปรแกรมต้องวางแผนว่าจะทำชิ้นงานอย่างไร ปฏิบัติการตัดเฉือนอะไรที่ควรจะเลือกมาใช้ และมีลำดับของการปฏิบัติการอย่างไร จะเลือกใช้เครื่องมืออะไร และจะใช้เครื่องจักรอะไร การแปลงข้อมูลเหล่านี้ไปเป็นชิ้นงานจะต้องอาศัยระบบพิกัดตำแหน่งในเครื่องจักร CNC จะมีระบบพิกัดตำแหน่งที่แสดงถึงลักษณะของชิ้นงานอยู่ 2 แบบด้วยกัน คือ ระบบพิกัดคาร์ทีเซียน (Cartisian coordinate system) และระบบพิกัดเชิงขั้ว (Polar coordinate system)

3.5.1 ระบบพิกัดคาร์ทีเซียน (Cartisian coordinate system)

พิกัดคาร์ทีเซียน หรือระบบพิกัดฉาก (Rectangular coordinate system) เป็นระบบที่กำหนดตำแหน่งของจุดใดๆตามแกนสามอันซึ่งตั้งฉากซึ่งกันและกัน โดยมีระนาบ XY, ZX, และ YZ ดังแสดงในรูปที่ 3.4 โดยส่วนใหญ่ระนาบ XY มักจะเป็นระนาบของโต๊ะที่วางชิ้นงาน ชิ้นงานเหล่านี้จะถูกนิยามในรูปอนุกรมของจุด เส้นตรง และเส้นโค้ง นั่นคือ นิยามให้อยู่ในรูปเรขาคณิตของผิวหน้าชิ้นงาน (part surfaces) กระบวนการ NC นี้ได้ใช้ระบบของลำดับ (Coordinates) เพื่อสร้างรูปเลขาคณิต ระบบนี้จะแสดงได้เป็นสองแบบคือ



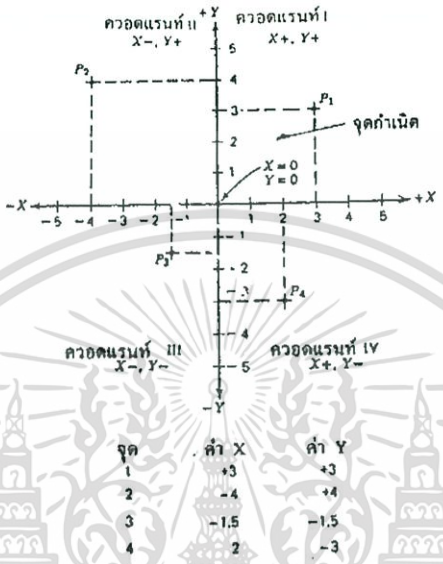
รูปที่ 3.4 แสดงแกนหลักทั้งสามของระบบพิกัดคาร์ทีเซียน[3]

3.5.2 ระบบสองมิติ (2D)

ระบบคู่ลำดับที่ง่ายที่สุดคือ ระบบสองมิติ (two-dimension system) หรือระบบสองแกน ดังรูปที่ 3.5 เป็นระบบสองแกนที่ถูกสร้างขึ้นด้วนเส้นตรงสองเส้นที่มีสเกลบอกอยู่ และเส้นตรงสองเส้นนี้ตั้งฉากซึ่งกันและกัน จุดที่ตัดกันของเส้นตรงสองเส้นนี้ จะเป็นจุดศูนย์กลางของทั้งสอง ดังนั้น เส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งสองจึงแกนคู่ลำดับ (coordinate axis) และจุดตัดกันจะเรียกว่า จุดกำเนิน (Origin) ซึ่งจะกำหนดว่า X=0, Y=0 เครื่องหมายของแกนนั้น พิจารณาจากทิศทางที่ออกจากจุดกำเนิด ดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.5 แกน x อยู่ทางซ้ายของจุดกำเนิดจะเป็นลบ และเป็นบวกเมื่ออยู่ทางขวาของจุดกำเนิด ในทำนองเดียวกัน แกน y ที่อยู่ใต้จุดกำเนิดจะเป็นลบ และเป็นบวกเมื่ออยู่เหนือจุดกำเนิด ตำแหน่งจุดใดๆบนระนาบนี้จะถูกพิจารณา และถูกบรรยายโดยอ้างอิงจากจุดกำเนิด



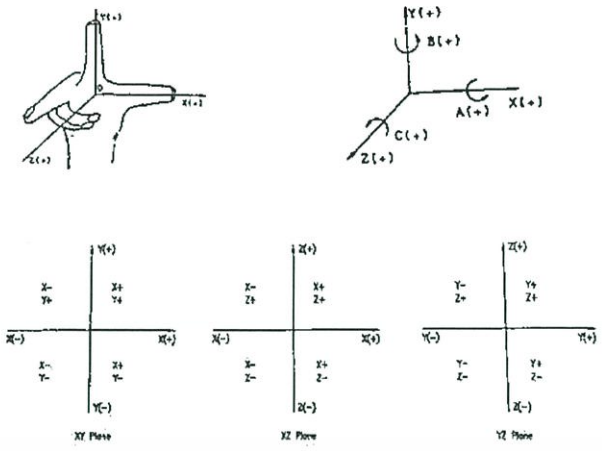
จุด	ค่า X	ค่า Y
1	+3	+3
2	−4	+4
3	−1.5	−1.5
4	2	−3

รูปที่ 3.5 แสดงระบบพิกัดคาร์ทีเซียนแบบสองมิติ[3]

3.5.3 ระบบสามมิติ (3D)

เมื่อเพิ่มแกนคู่ลำดับ Z อีกแกนหนึ่งเข้ากับแกน x และy ของระบบคู่ลำดับสองมิติแล้ว จะสามารถสร้างระบบสามมิติ (three dimensional system) หรือสามแกนขึ้นได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.6 อาจกล่าวได้อีกว่า ระบบคู่ลำดับสามมิตินั้น สร้างขึ้นจากเส้นตรงที่ตั้งฉากซึ่งกันและกันในสเปซ (space) เส้นตรงเหล่านี้จะถูกนิยามให้มีหน่วยเหมือนกัน และให้ชื่อเกนคู่ลำดับเป็น x, y และ z ส่วนจุดตัดก็จะเหมือนกรณีของระบบสองมิติ กล่าวคือ จุดนี้จะเป็นจุดกำเนิด และมีค่าคู่ลำดับของ x=0, y=o และ z=0 ดังแสดงในรูปที่ 3.6 แกนที่จับเป็นคู่ๆ จะทำให้เกิดระนาบคู่ลำดับ xy, xz และ yz ถ้า p เป็นจุดใดๆในสเปซ ค่าคู่ลำดับ x, y และ z จะสามารถสร้างได้จากระนาบที่ตั้งฉากกับแกนคู่ลำดับในแต่ละแกนกับจุดตัดที่ p ระยะทางที่วัดจากจุดกำเนิดไปตามแกน x, y, และ z คือคู่ลำดับ x, y, และ z ของจุด p

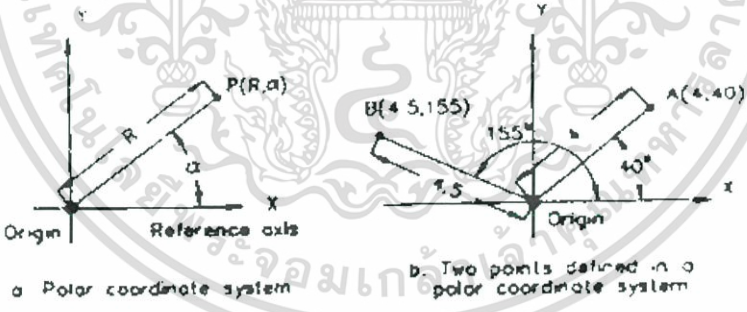
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงการหมุนรอบแนวแกนและระนาบต่างๆ ตามกฎมือขวา[3]

3.5.4 ระบบพิกัดเชิงขั้ว (Polar coordinate system)

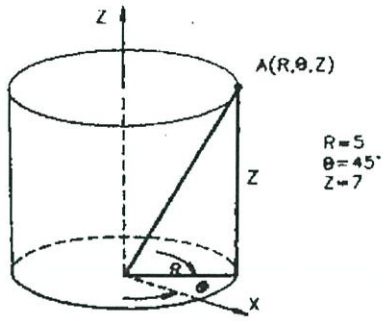
ในระบบพิกัดเชิงขั้วจะบอกตำแหน่งเป็นค่ารัศมีอันหนึ่งวัดจากจุดอ้างอิง และค่ามุมอันหนึ่งที่รัศมีอันนี้ทำกับแกนอ้างอิงดังรูปที่ 3.7 จุดอ้างอิงนี้มักจะเป็นจุดกำเนิดของระบบพิกัดฉากและแกนอ้างอิงมักจะเป็นแกน x บวกของระนาบพิกัดฉาก ค่ามุมจะเป็นบวกเมื่อวัดทวนเข็มนาฬิกาและมีค่ามุมเป็นลบเมื่อวัดตามเข็มนาฬิกา การบอกค่าในพิกัดเชิงขั้วมักจะแบ่งเป็น (R,θ) โดย R แทนรัศมี, θ แทนค่ามุมดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงระบบพิกัดเชิงขั้ว[3]

สำหรับระบบพิกัดเชิงขั้วที่มีขนาดมิติทางแกน z ด้วยนั้น เราเรียกเป็นระบบพิกัดทรงกระบอก (Cylindrical coordinate system) โดยจะมีการกำหนดจุดเป็น (R,θ,Z) ตัวอย่างเช่น จุด A ดังแสดงในรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



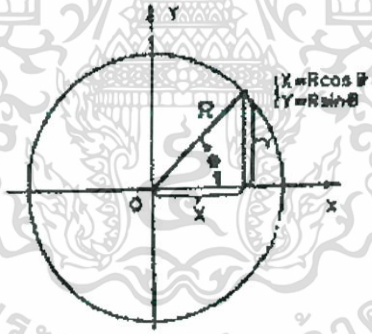
รูปที่ 3.8 ระบบพิกัดทรงกระบอก[3]

ระบบพิกัดทรงกระบอกจะมีประโยชน์มากในการประมาณระบบเฮลิคอลอินเทอร์โปเลชัน (Helical Interpolation) ซึ่งการหมุนมักจะอยู่ในระนาบ XY และการเคลื่อนที่เชิงเส้นมักจะอยู่ในแนวแกน Z ในทางคณิตศาสตร์ ระบบพิกัดเชิงขั้วและระบบพิกัดคาร์ทีเซียนจะมีความสัมพันธ์กันดังรูปที่ 3.9 นั่นคือ

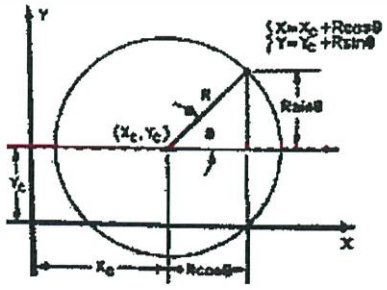
$$X = R\cos\theta \tag{4.1}$$

$$Y = R\sin\theta \tag{4.2}$$

$$Z = Z \tag{4.3}$$



รูปที่ 3.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดคาร์ทีเซียนและระบบพิกัดเชิงขั้ว[3]



รูปที่ 3.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดคาร์ทีเซียนและระบบพิกัดเชิงขั้ว กรณีที่จุดกำเนิดไม่อยู่ที่เดียวกัน[3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่จุดกำเนิดของระบบพิกัดอ้างอิงไม่ได้อยู่ที่เดียวกับจุดกำเนิดของระบบพิกัดคาร์ทีเซียน ความสัมพันธ์ของระบบทั้งสองอาจเขียนออกมาอยู่ในรูปที่ 3.10 คือ

$$X = X_c + R\cos\theta \tag{2.4}$$

$$Y = Y_c + R\sin\theta \tag{2.5}$$

3.6 ระบบการเคลื่อนที่มีดตัดของเครื่อง CNC

ในการทำโปรแกรมชิ้นงาน CNC จะมีการบ่งบอกตำแหน่งสองวิธีด้วยกัน คือ

3.6.1 ระบบการบอกตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ (Absolute Positioning system) ในระบบนี้ตำแหน่งต่างๆจะแบ่งออกมาเป็นค่าเทียบกับจุดอ้างอิงเดิมเสมอ

3.6.2 ระบบการบอกตำแหน่งแบบส่วนเพิ่ม (Incremental Positioning system) ระบบนี้ค่าตำแหน่งที่บ่งบอกจะเป็นค่าที่อ้างอิงจากจุดก่อนหน้านี้หนึ่งจุดเสมอ

ระบบการบอกตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ จะดีกว่าระบบการบอกตำแหน่งแบบส่วนเพิ่มในเรื่องความผิดพลาดของตำแหน่ง (positioning errors) เนื่องจากระบบการบอกตำแหน่งแบบสัมบูรณ์จะมีจุดอ้างอิงเพียงจุดเดียว หากมีการผิดพลาดก็จะผิดพลาดเพียงจุดเดียว ไม่มีผลกระทบกับจุดอื่น ต่างจากระบบการบอกตำแหน่งแบบส่วนเพิ่ม ซึ่งจะมีการเปลี่ยนจุดอ้างอิงไปเรื่อยๆหากมีการผิดพลาดเพียงจุดเดียวจะทำให้จุดต่อไปผิดพลาดด้วย

3.7 ระบบพิกัดอ้างอิง

ในการเขียนโปรแกรม NC จะต้องมีจุดอ้างอิงอย่างน้อยหนึ่งจุด เพื่อใช้คำนวณค่าพิกัดตำแหน่งต่างๆ จุดอ้างอิงเหล่านี้จะถือเป็นจุดศูนย์อ้างอิง (Zero point) ซึ่งอาจแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วนด้วยกัน

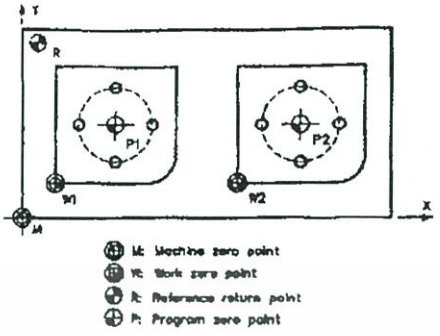
3.7.1 จุดศูนย์อ้างอิงของเครื่องจักร (Machine reference zero point) จุดกำเนิดนี้เป็นจุดกำเนิดของระบบพิกัดของเครื่องจักร จุดนี้จะเปลี่ยนแปลงไม่ได้

3.7.2 จุดอ้างอิงสำหรับการกลับที่เดิม (Reference return point) จุดเหล่านี้เป็นจุดที่กำหนดไว้ล่วงหน้าอย่างถูกต้อง เพื่อให้แต่ละแกนเคลื่อนที่กลับมาซึ่งอาจใช้ลิมิตสวิทช์ตั้งระยะไว้ได้ เพื่อให้สปินเดิล (Spindle) หรือโต๊ะจับชิ้นงานกลับมาประจำที่ตำแหน่งนี้

3.7.3 จุดศูนย์อ้างอิงของงาน (Work reference zero point) จะเป็นจุดกำเนิดของระบบพิกัดของชิ้นงาน อาจมีการกำหนดจุดศูนย์ของชิ้นงานมากกว่าหนึ่งจุดก็ได้บนโต๊ะจับชิ้นงานของเครื่องจักร จุดสำหรับการติดตั้งอาจอยู่ที่จุดศูนย์ของชิ้นงานก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.4 จุดศูนย์อ้างอิงของโปรแกรม (Program reference zero point) ตำแหน่งจุดศูนย์อ้างอิงเหล่านี้อาจกำหนดหรือเลือกใช้โดยผู้เขียนโปรแกรมเอง ซึ่งอาจจะมีมากกว่าหนึ่งจุดอยู่ในโปรแกรมเดียวกัน ตัวอย่างการกำหนดจุดอ้างอิงเหล่านี้แสดงไว้ในรูปที่ 3.11 ดังนี้



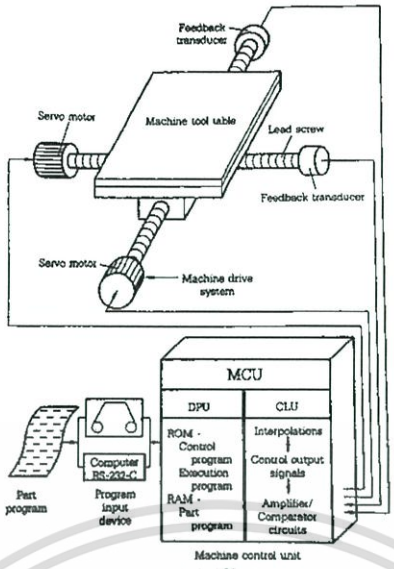
รูปที่ 3.11 แสดงระบบพิกัดอ้างอิง[3]

3.8 ทฤษฎีการทำงานของเครื่องจักร CNC

การควบคุมเครื่องจักรด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Numerical Control) นั้น เป็นระบบการควบคุมเชิงตัวเลขด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรกล เพื่อทำให้สามารถผลิตชิ้นงานทางเรขาคณิตที่ซับซ้อน ให้เกิดความรวกเร็วในการผลิตชิ้นงาน อีกทั้งยังให้ความเที่ยงตรงสูง จึงได้มีการนำการควบคุมเชิงตัวเลขมาประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรหลายๆประเภท เช่น เครื่องกล เครื่องตัดโลหะ เครื่องกัดเซาะโลหะด้วยไฟฟ้า และอื่นๆ โดยจะมีการทำงานดังรูปที่ 3.12 ซึ่งหน่วยอินพุท (Input) จะทำการรับข้อมูลคำสั่ง และประมวลผลของคำสั่งแล้วจึงไปควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกล ให้ผลิตตามข้อมูลที่ได้รับ จากรูปที่ 3.12 สามารถแสดงถึงส่วนประกอบพื้นฐานของระบบ CNC เป็น 5 ส่วนสำคัญ ดังนี้

3.8.1 ส่วนโปรแกรมสั่งงาน (Part Program) ในโปรแกรมสั่งงานของระบบ CNC จะมีลักษณะเรียงกันเป็นแถวลำดับ ซึ่งแต่ละแถวจะถูกเขียนเป็นคำสั่งในรูปแบบของตัวเลข ตัวอักษร และสัญลักษณ์ การเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในการควบคุมเครื่องจักรกลนั้น มีหลายแบบ เช่น ภาษาโปรแกรมรหัส NC ภาษาเอสพีพีแอล ภาษาเอพีที ซึ่งภาษาเหล่านี้จะถูกแทนตำแหน่งการเคลื่อนที่ของเครื่องมีดตัดบนเครื่องจักร CNC เพื่อใช้สำหรับการขึ้นรูปชิ้นส่วนในการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบ CNC [3]

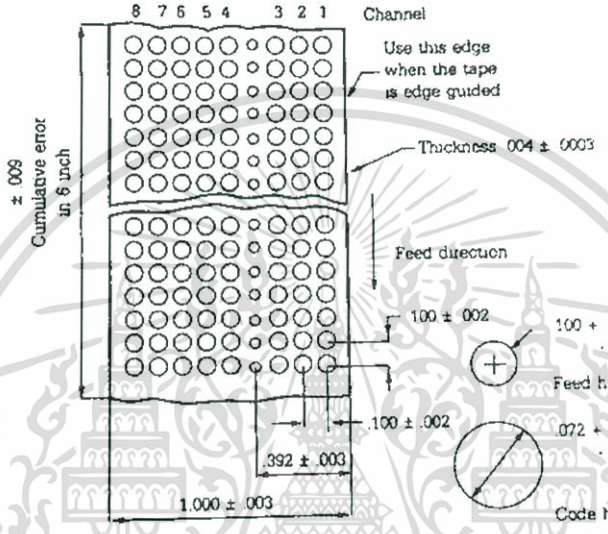
3.8.2 เลขฐานต่างๆ (Number system) ระบบเลขฐานสิบเป็นระบบที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ในทางทฤษฎีเราอาจใช้เลขฐานจำนวนใดๆก็ได้ แต่ที่นิยมใช้จะได้แก่ เลขฐานสิบ (Decimal: BCD) ใช้เลข 0-9 เลขฐานสอง (Binary: BIN) ใช้เลข 0-1 เลขฐานแปด (Octal) ใช้เลข 0-7 และเลขฐานสิบหก (Hexadecimal: HEX) ใช้เลข 0-9 และถึง F

ตารางที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ของเลขฐานต่างๆ

HEX	BCD	FOUR DIGIT BINARY			
		$2^3=8$	$2^2=4$	$2^1=2$	$2^0=1$
0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	1
2	2	0	0	1	0
3	3	0	0	1	1
4	4	0	1	0	0
5	5	0	1	0	1
6	6	0	1	1	0
7	7	1	1	1	1
8	8	1	0	0	0
9	9	1	0	0	1
A	-	1	0	1	0
B	-	1	0	1	1
C	-	1	1	0	0
D	-	1	1	0	1
E	-	1	1	1	0
F	-	1	1	1	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.3 ระบบรหัสของเทป NC (NC TAPE CODING SYSTEM) สำหรับเครื่องจักร NC มีระบบของเทป หรือ ระบบรหัส NC ที่ใช้กันอยู่อย่างแพร่หลายสองระบบด้วยกันคือ ระบบ EIA (Electronic Industries Association) และระบบ ASCII (American Standard Code for Information) ระบบทั้งสองนี้จะใช้เทปขนาด 1 นิ้ว มี 8 ช่องและใช้ระบบ BCD สำหรับข้อมูลเชิงตัวเลขระบบการให้รหัสแบบ EIA จัดทำขึ้นโดย EIA ตามมารฐาน RS-244-B ระบบรหัสนี้ใช้กันอย่างแพร่หลายในอเมริกาเหนือก่อนที่จะมีการจัดทำรหัส ASCII ขึ้นเป็นระบบรหัสขนาด 7 บิท ที่อยู่ในรูปแบบของเทปแบบ 8 ช่อง รหัส EIA ที่สมบูรณ์ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.13 พอจะสรุปได้ดังนี้



รูปที่ 3.13 แสดงแถบเทปกระดาษตามมาตรฐาน EIA สำหรับโปรแกรม NC [3]

- ตัวเลข 1-9 จะใช้ 4 ช่องแรก (ช่อง 1 ถึง 4) มาแทนตัวเลขด้วยรหัสเลขฐานสอง
- การตรวจสอบภาวะคู่หรือคี่ (Parity Check) ช่องที่ 5 จะเป็นบิทที่ใช้ตรวจสอบภาวะคี่ (Odd-parity bit) ช่องนี้จะถูกนำมาใช้เพื่อให้จำนวนรูเจาะในแต่ละแถวมีจำนวนเป็นเลขคี่ และจะไม่ถูกนำมาใช้คิดคำนวณในระบบเลขฐานสอง
- เลขศูนย์ (Digit zero) ช่องที่ 6 จะถูกใช้แทนเลขศูนย์และสมมูลย์กับเลขฐานสิบหก
- ตัวอักษรช่องที่ 6 และ 7 จะถูกนำมาใช้ร่วมกับช่องที่ 1 ถึง 4 เพื่อแทนด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษทั้ง 26 ตัว ตลอดจนอักขระพิเศษและสัญลักษณ์ต่างๆ เพื่อให้เจาะจงขึ้น ตัวอักษรจะถูกแทนโดยใช้รหัสตัวเลข 1-9 ร่วมกับช่องที่ 6 และ 7 ดังรายละเอียดในตารางที่ 3.3
- จุดสิ้นสุดบล็อก (End of block) ช่อง 8 จะถูกนำมาใช้แทนการสิ้นสุดของบล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 การให้โค้ดตัวอักษรของชุดรหัส EIA

รูเจาะในช่องที่ 6 และ 7 ร่วมกับค่าตัวเลข :	รูเจาะในช่องที่7 ร่วมกับค่าตัวเลข :	รูเจาะในช่องที่ 6ร่วมกับค่าตัวเลข :
1=a	1=j	
2=b	2=k	2=s
3=c	3=l	3=t
4=d	4=m	4=u
5=e	5=n	5=v
6=f	6=o	6=w
7=g	7=p	7=x
8=h	8=q	8=y
9=i	9=r	9=z

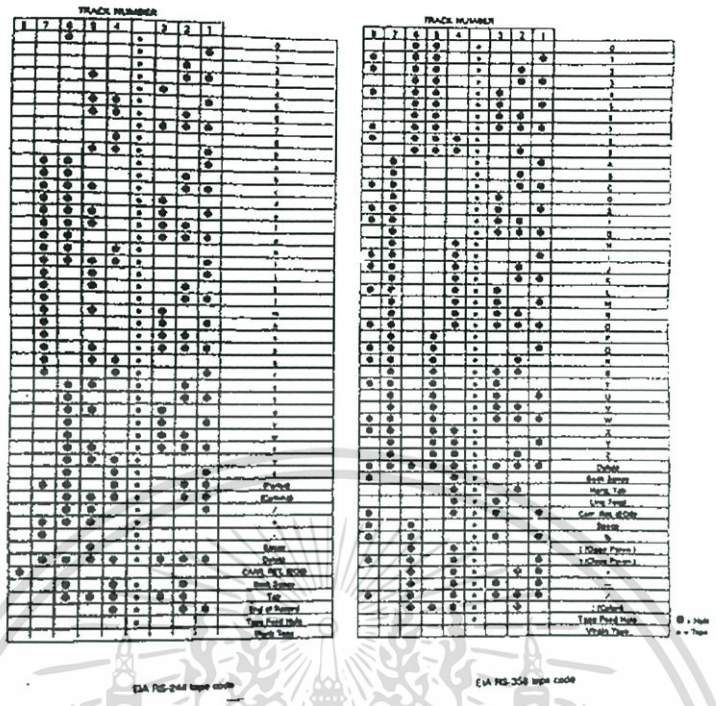
3.8.4 ระบบรหัสเทปแบบ ASCII รหัส ASCII ถูกพัฒนาขึ้นมาโดย American National Standards Institute (ANSI) จากความพยายามที่จะสร้างระบบรหัสอันหนึ่งที่เป็นมาตรฐานนานาชาติสำหรับกระบวนการสารสนเทศและระบบการสื่อสารทั้งหลาย รหัส ASCII (EIA RS-358) ถูกสร้างขึ้นเป็นระบบรหัสเทปเจาะแบบ 8 ช่อง ขนาด 1 นิ้ว เพื่อใช้สำหรับภาคราชการม การโทรศัพท์ การโทรเลข คอมพิวเตอร์ และอุสาหกรรมอื่นๆ เพื่ออำนวยความสะดวกในการนำคอมพิวเตอร์มาใช้ในการควบคุมเชิงตัวเลข ASCII จึงได้ดัดแปลงรหัส ASCII เพื่อมาสร้างเป็นเซ็ทย่อยสำหรับรหัส ASCII (RS-383-B) ชุดอักขระ ASCII ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.14 พอจะสรุปได้ดังนี้

- บิทภาวะคู่หรือคี่ (Parity bit) ช่องที่ 8 (บิทที่สำคัญที่สุด) จะถูกนำมาใช้สำหรับการตรวจสอบภาวะคู่ (even-parity check)

- ตัวเลข (1-9) จะคล้ายกับรหัส EIA ในช่องที่ 1 ถึง 4 มาแทนตัวเลขโดยช่องที่ 1 เป็นบิทที่มีนัยสำคัญน้อยที่สุด แต่ตัวเลขในรหัส ASCII จะมีการเจาะรูที่ช่อง 5 และ 6

- ตัวอักษร (A-Z) ตัวอักษรทั้งหลายจะใช้การเจาะรูในช่องที่ 7 โดยช่องที่ 8 ใช้สำหรับการตรวจภาวะคู่ ช่องที่ 1 ถึง 5 จะถูกนำมาใช้แทนตัวอักษรทั้ง 26 ตัวในภาษาอังกฤษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 แสดงการเปรียบเทียบแถบเทปกระดาษมาตาฐาน EIA กับมาตรฐาน ASCII[3]

รหัส ASCII จะใช้กันได้กับ รหัส ISO (International Standards Organization) ตัวอักษรและตัวเลขจะแทนด้วยรหัสที่เหมือนกันในระบบทั้งสอง ดังนั้นในหลายๆกรณี รหัส ASCII และรหัส ISO จะถูกนำมาใช้แทนกันได้โดยไม่มีความแตกต่างส่วนที่ใช้ป้อนข้อมูลของโปรแกรม (Program Input Device) ในการป้อนข้อมูลโปรแกรมในเครื่องจักรเป็นแบบซอฟไวร์ (Soft Wired) หมายความว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้าจะถูกส่งไปตามสายไฟที่ต่อไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้าทางกล เช่น โซลีนอยด์ ซึ่งสามารถนำไปควบคุมเครื่องมือกล เครื่องเดียวหรือหลายๆเครื่องพร้อมกันได้ การส่งสัญญาณจะถูกส่งด้วยสายส่งสัญญาณ (Interface bus) เช่น RS-232-C ไปยังชุดเครื่องมือกล

3.8.5 หน่วยควบคุมการทำงานของเครื่อง (Machine Control Unit) หน่วยควบคุมการทำงาน (MCU) ที่ประกอบไปด้วยชุดวงจรอิเล็กทรอนิกส์จะทำหน้าที่อ่านโปรแกรมที่ป้อนเข้าไปจากเทปกระดาษ เพื่อเปลี่ยนรหัสโปรแกรมนั้นให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยส่งสัญญาณนี้เข้าไปเพื่อขยายสัญญาณของระบบขับ (Drive amplified) เนื่องจากสัญญาณที่ได้จากหน่วยควบคุมนี้มีกำลังน้อย ไม่สามารถหมุนมอเตอร์ของแกนที่ต้องการเคลื่อนที่ได้โดยตรง

ส่วนที่สำคัญของหน่วยควบคุมการทำงาน (MCU) แบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ ที่สำคัญ ได้แก่ ส่วนที่ทำหน้าที่ในการอ่านโปรแกรมที่ป้อนเข้าไป (Input Data Processing Unit: DPU) เช่น เครื่องอ่านเทปกระดาษ เครื่องอ่านเทปแม่เหล็ก และส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของเครื่องกล (Control Loop Unit: CLU) เช่น ความเร็วและระยะทางการเคลื่อนที่ของแท่นเลื่อน การเปิดหรือปิดน้ำหล่อเย็น การเปลี่ยนเครื่องมือตัด เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.6 ระบบควบคุมการเคลื่อนที่ (Drive system) การเคลื่อนที่ของเครื่องจักร CNC จะเลือกใช้อุปกรณ์ต่างๆในการขับเคลื่อน แบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด คือ มอเตอร์กระแสตรง (AC Motor) มอเตอร์แบบเป็นขั้น (Stepping Motor) และระบบไฮดรอลิค (Hydraulic system)

3.8.7 เครื่องกล ลักษณะการควบคุมเครื่องจักรกลระบบ CNC นั้น จะสามารถแบ่งระบบการควบคุมได้เป็น 2 ลักษณะ คือ แบบวงรอบเปิด แบบวงรอบปิด และในบางกรณี จะเป็นแบบผสมผสานกันระหว่างแบบวงรอบปิดและแบบวงรอบเปิด ภาวะวงจรแบบวงรอบเปิด จะสามารถอธิบายได้ง่ายๆดังนี้ เมื่อระบบควบคุมส่งสัญญาณไปยังมอเตอร์ เพื่อให้มอเตอร์ขับเคลื่อนโต๊ะจับชิ้นงานเคลื่อนที่ไปยังจุดที่ต้องการตามที่ได้เขียนโปรแกรมไว้ล่วงหน้า ซึ่งในระบบรอบเปิดนี้จะไม่มีการตรวจสอบสัญญาณย้อนกลับ (Feedback) ทำให้ไม่สามารถตรวจสอบได้ว่าสัญญาณที่ส่งมานั้นได้ทำแล้วหรือยัง ข้อผิดพลาดจากการส่งสัญญาณนั้นหรือไม่

ซึ่งต่างจากระบบปิดคือ เมื่อโต๊ะเลื่อนชิ้นงานถึงตำแหน่งที่ถูกโปรแกรมเขียนไว้ก็จะมีสัญญาณจากอุปกรณ์ เช่น เซ็นเซอร์ (Sensor) จับเพื่อควบคุมให้โต๊ะเลื่อนชิ้นงานหยุดการเคลื่อนที่

3.9 การเขียนโปรแกรม CNC

การกำหนดขั้นตอนการทำงานได้แก่ CNC หรือการเขียนโปรแกรม CNC สามารถกระทำได้โดยอาศัยการป้อน code ต่างๆ ตามหน้าที่การทำงานในรูปแบบของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งภาษาที่ใช้มีมากมายหลายรูปแบบ แต่ภาษาหรือ code ที่เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปนั้นเป็น code ที่กำหนดโดย EIA และ ASCII ซึ่งผู้ผลิตส่วนใหญ่นำมาใช้ในการกำหนดการทำงานให้แก่เครื่อง code ที่ใช้ในการปฏิบัติงานของ CNC นั้นอาจแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท

3.9.1 G-Code เป็น code ที่บอกถึงการเตรียมการปฏิบัติงานในขั้นตอนต่างๆ หรือ Preparatory Functions ตัวอย่างเช่น G00 ระบุให้เคลื่อนที่จากจุดๆหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งด้วยความเร็วสูง, G91 ระบุว่าตำแหน่งที่ระบุในบรรทัดต่างๆต่อไปนี้ กำหนดโดยอ้างอิงจากตำแหน่งปัจจุบันหรือเป็นระยะสัมพัทธ์นั้นเอง

3.9.2 M-Code เป็น code ที่กำหนดหน้าที่เบ็ดเตล็ดต่างๆ หรือ Miscellaneous Function ตัวอย่างเช่น M00 แสดงถึงการหยุดโปรแกรมโดย Spindle (หัวยึดจับเครื่องมือ) และ Coolant (น้ำหล่อเย็น) หยุดด้วย, M02 บอกถึงจุดสุดท้ายของโปรแกรม, M03 หมุน spindle ตามเข็มนาฬิกา เป็นต้น

3.9.3 Code อื่นๆ ที่มีความหมายเฉพาะตัว ซึ่งทำหน้าที่ด้วยตัวอักษรอื่นๆ และรวมไปจนถึง Code ที่บอกถึงการเคลื่อนที่ในแนวแกนต่างๆ เช่น X, Y, และ Z เป็นต้นตัวอย่างเช่น F25.0 ระบุ Feed rate หรือความเร็วของการเคลื่อนที่เท่ากับ 25 นิ้ว/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก Code ต่างๆที่กล่าวมานั้น เนื่องจาก G-Code เป็น code ที่ใช้มากที่สุดในโปรแกรมดังนั้น เมื่อกล่าวถึง G-Code จึงหมายถึงภาษาที่ใช้มนการเขียนโปรแกรม CNC และเป็นภาษาที่นิยมมากรูปแบบหนึ่ง ส่วนขั้นตอนการทำงานแต่ละขั้นตอน หรือแต่ละบรรทัดของโปรแกรมก็จำเป็นที่จะต้องมีหมายเลขระบุขั้นตอน หรือ Sequence Number ขึ้นต้น ซึ่งหมายเลขเหล่านี้ จะถูกนำด้วยตัวอักษร N เช่น N001, N002,... เป็นต้น การให้หมายเลขระบุขั้นตอนเหล่านี้จะมีประโยชน์อย่างมากในเวลาตรวจสอบแก้ไขโปรแกรมซึ่งไม่จำเป็นต้องให้หมายเลขเรียงกัน สามารถให้หมายเลขกระโดดข้ามกันได้ เช่น การสร้างรูปโค้งอินเวอลูทของฟันเฟือง การสะท้อนภาพของฟันเฟือง การหมุนภาพ เป็นต้น

3.10 คอมพิวเตอร์ช่วยงานออกแบบ (Computer Aided Design: CAD)

เป็นการใช้คอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งในการสร้างหรือเขียนแบบภาพลงบนจอของคอมพิวเตอร์ หรือการนำคอมพิวเตอร์กราฟฟิกส์มาช่วยในการสร้างแบบงานทางวิศวกรรมซึ่งเป็นการพัฒนาจากการเขียนแบบบนโต๊ะด้วยมือ ซึ่งต้องอาศัย ปากกา วงเวียน หรืออุปกรณ์ช่วยในการเขียนแบบต่างๆด้วยมือ มาเป็นการเขียนแบบด้วยคอมพิวเตอร์ที่สามารถเขียนเส้นตรง ส่วนโค้ง วงกลม วงรี รวมทั้งการเขียนเป็นภาพสามมิติ โดยกำหนดเป็นรูปทรงเรขาคณิตของชิ้นงาน หรือถ้าเราต้องการเราก็สามารถเขียนแยกส่วนจากภาพประกอบสามมิติได้ด้วย รายละเอียดของชิ้นส่วน ก็จะใช้เพื่อต้องการเลือกออกแบบเครื่องจับยึดชิ้นงานฟิกเจอร์ (Fixture) แสดงตำแหน่งที่แคลมป์จับชิ้นงาน ตำแหน่งของบล็อก ตลอดจนรายละเอียดเกี่ยวกับชื่อชิ้นส่วนของวัสดุ และเป็นไปได้ที่จะใช้ให้โปรแกรมวิเคราะห์การออกแบบอย่างเช่น ความแข็งแรงของวัสดุ ระยะพิกัดเผื่อ ความคลอนในการประกอบ ประเมินค่าพิกัดความเผื่อ และค่าผิดพลาดที่ยอมได้ก่อนการผลิต โดยระบบ CAD จะต้องมีทั้งส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ โดยส่วยฮาร์ดแวร์ทั่วไปจะประกอบด้วย คอมพิวเตอร์ประสิทธิภาพสูง จอกราฟฟิกส์ เมาส์ แป้นพิมพ์ ขณะที่ซอฟแวร์ประกอบไปด้วยโปรแกรมสร้างแบบชิ้นส่วนและกำหนดขนาด

วิธีการทำงานในระบบ CAD นั้น จะทำการสร้างรูปภาพ ออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ โดยการสร้างรูปภาพให้แสดงที่จอภาพของเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วยคำสั่งต่างๆ ที่มีอยู่ภายในโปรแกรม ข้อมูลของรูปภาพสามารถทำการบันทึกลงในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ในรูปแบบของแฟ้มข้อมูล เพื่อที่สามารถนำไปใช้งานตามความต้องการ สำหรับระบบการสร้างภาพโดยโปรแกรม CAD นั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระบบ คือ

1 ระบบเส้นรอบรูป (Wire frame modeler)

2 ระบบผิวสัมผัส (Surface modeler)

3 ระบบรูปทรงวัตถุตัน (Solid modeler)

3.11 คอมพิวเตอร์ช่วยงานการผลิต (Computer Aided Manufacturing: CAM)

ในการผลิตชิ้นงานจริงจากข้อมูลรูปทรงเรขาคณิตจาก CAD นั้นจะถูกนำมาคำนวณหาค่าพิกัดต่างๆ และสร้างเส้นทางเดินของมีดตัดสำหรับสั่งให้เครื่องจักร CNC ซึ่งประยุกต์ใช้กับกรรมวิธีการผลิตทั้งแบบงานมีเศษและงานไร้เศษ เช่น งานกัด งานกลึง งานปั๊มขึ้นรูป การตัดปาดด้วยการจ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

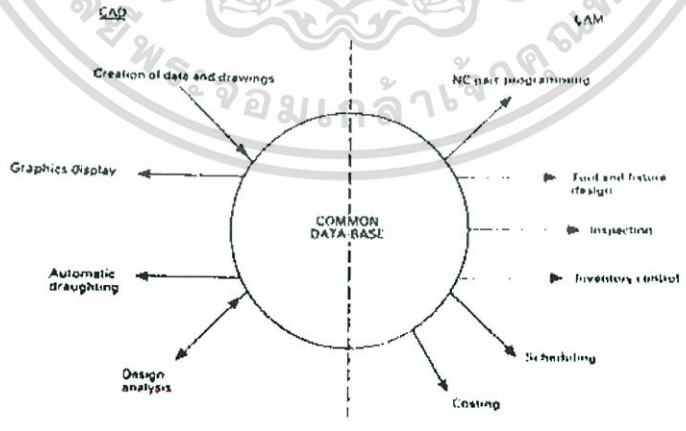
ประจุไฟฟ้า (Electrical discharge machining) งานกัดเซาะร่องด้วยไฟฟ้า (Wire-cut machine) งานตัดปาดลำน้ำฉีดความเร็วสูง (Water-jet machining) การนำระบบ CAM เข้ามาช่วยในการผลิต ทำให้สามารถเชื่อมระบบการผลิตเป็นสายการผลิตที่ต่อเนื่องได้คือ เมื่อมีความต้องการผลิตชิ้นงานใดๆก็จะทำการออกแบบและเขียนโปรแกรม CAM จากนั้นก็เก็บข้อมูลส่งผ่านเป็นรหัสโปรแกรมผ่านไปยังส่วนควบคุมระบบ CAM ซึ่งทั้งสองระบบที่เชื่อมโยงกันนี้เรียนกว่า ขบวนการผลิตแบบ CAD-CAM

ระบบ CAM โดยทั่วไปสามารถแบ่งแยกตามลักษณะของงานได้เป็น 2 ประเภทคือ ระบบ CAM สำหรับการทำงานในระบบสองมิติครึ่ง (2 ½ axis) และระบบ CAM สำหรับการทำงานในระบบสามมิติ (3 axis) ระบบ CAM สามารถรวมเป็นโมดูล (Module) เดียวกับระบบ CAD หรือแยกทำงานอย่างอิสระจากระบบ CAD การส่งข้อมูลจากระบบ CAM สู่เครื่องจักร CNC สามารถกระทำได้โดยตรงระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับชุดควบคุมของเครื่องจักร CNC โดยผ่านสายส่งข้อมูลมารฐานหรือโดยใช้แผ่นบันทึกข้อมูล ซึ่งสถานการณ์เชื่อมต่อระบบระหว่าง CAM กับเครื่องจักร CNC สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ระบบ

1 ระบบ On-line คือการนำเอาคอมพิวเตอร์ต่อเข้าโดยตรงกับส่วนควบคุมของเครื่องจักร CNC แล้วส่งข้อมูลที่ประมูลผลแล้ว อาจจะเป็นข้อมูลเป็นบล็อก หรือข้อมูลรหัสส่งเข้าโดยตรงที่ตัว Interpovator ของเครื่องจักร จุดเด่นของลักษณะนี้คือสามารถส่งข้อมูลได้ไม่จำกัดขนาดของข้อมูล

2 ระบบ Off-line คือการนำเอาผลจากการประมวลข้อมูลทางเรขาคณิตที่ได้รับจากโปรแกรมแปลค่าพิกัดจะได้เป็นรูปแบบบล็อก แล้วบันทึกผลลงบนแผ่นบันทึกข้อมูลแล้วจึงนำไปเข้าเครื่องอ่านแผ่นข้อมูลที่เครื่องจักร

การใช้ CAD-CAM ให้เกิดผลอย่างสมบูรณ์นั้นจะต้องสามารถส่งข้อมูลถึงกันและกันโดยข้อมูลที่ออกแบบเป็นข้อมูลของรูปภาพกราฟฟิกส์ สามารถนำไปใช้ในการผลิตชิ้นงานที่มีขนาดและรูปร่างเหมือนกับที่ออกแบบไว้ทุกประการสำหรับการใช้ข้อมูลร่วมกันของระบบดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แสดงการใช้ฐานข้อมูลร่วมกันของระบบ CAD-CAM [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.12 ชนิดของเครื่องมือตัดที่ใช้กับเครื่องจักร CNC

3.12.1 หัวปาด (Facing) เป็นเครื่องมือตัดสำหรับผิวหน้าชิ้นงานให้เรียบ และได้ขนาด ส่วนมากจะเป็นพวกเม็ดอินเสิร์ทชนิดคาร์ไบด์นำมายึดติดกับหัวปาดยึดด้วยสกรูอีกที ดังรูปที่ 3.16

รูปที่ 3.16 หัวปาดใช้กับเครื่อง CNC [9]

3.12.2 ดอกกัด (End mill) ที่ใช้กับเครื่องกัด CNC สามารถใช้ได้ทั้งชนิด HSS และ คาร์ไบด์ มีทั้งแบบแท่งตันและแบบเม็ดอินเสิร์ท ใช้กัดขึ้นรูปชิ้นงานหยาบและละเอียดได้ดีและรวดเร็ว ดังแสดงในรูปที่ 3.17

รูปที่ 3.17 แสดงดอกกัดทั้งแบบแท่งตันและแบบเม็ดอินเสิร์ท[9]

3.12.3 ดอกกัดหัวโค้ง (Ball mill) ลักษณะส่วนคมตัดด้านปลายจะโค้งเป็นครึ่งวงกลม จะมีทั้งที่ทำจากวัสดุคาร์ไบด์ทั้งแท่งและแบบเม็ดอินเสิร์ท ดังแสดงในรูปที่ 3.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.18 แสดงดอกกัด Ball mill แบบเม็ดอินเสิร์ท [9]

3.13 ความเร็วตัดและอัตราป้อนของงานกัด

ความเร็วรอบของมีดกัด (Cutter) จะขึ้นอยู่กับความเร็วตัดขนาดเส้นผ่านศูนย์ของมีดกัดแต่ละชนิด เช่น มีดกัดราบ (Plain cutter) มีดกัดข้าง (Side cutter)มีดกัด End mill เป็นต้น สำหรับอัตราป้อนกินงานจะวัดเป็นระยะทางต่อนาที และวัดเป็นระยะทางต่อฟัน แต่ในเครื่องกัดมักจะตั้งอัตราป้อนเป็น มม/นาที สามารถหาได้จากสูตร

$$\text{ความเร็วรอบ} = \frac{V \, x \, 1000}{\pi d}$$

โดย d = เส้นผ่านศูนย์กลางมีดกัด

3.14 กระบวนการวางแผนสำหรับการดำเนินการเกี่ยวกับเอ็นซี [6]

ก่อนที่จะดำเนินการเขียนโปรแกรมเอ็นซีนั้น ผู้เขียนโปรแกรมต้องมีการวางแผนการดำเนินงานเสียก่อนทั้งนี้เพื่อใช้กำหนดเป็นแนวทางสำหรับการผลิตชิ้นงานนั้นๆ ซึ่งการวางแผนการทำงานที่ดีนี้จะช่วยเราสามารถลดเวลาในการผลิต ลดของเสีย และได้ชิ้นงานมีคุณภาพตามที่เราต้องการอีกด้วย สำหรับกระบวนการวางแผนสำหรับการดำเนินการเกี่ยวกับเอ็นซีนี้จะประกอบไปด้วยหน้าที่ที่สำคัญ 8 ส่วนด้วยกันคือ

1. การเตรียมวัตถุดิบ
2. การเลือกกระบวนการผลิต
3. การจัดลำดับกระบวนการผลิต
4. การเลือกพารามิเตอร์ของเครื่องจักร
5. การวางแผนเพื่อกำหนดทางเดินของเครื่อง
6. การเลือกเครื่องจักร
7. การเลือกเครื่องมือตัด
8. การเลือกอุปกรณ์จับยึด

กระบวนการวางแผนในการดำเนินการเกี่ยวกับเอ็นซีนี้จะแบ่งได้ออกเป็น 2 วิธีคือ กระบวนการวางแผนด้วยมือ (Manual Process Planning) และกระบวนการวางแผนโดยการใช้คอมพิวเตอร์ช่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Computer-Aided Process Planning) ซึ่งมีกระบวนการวางแผนการดำเนินงานสำหรับเอ็นซี มีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้คือ

1.ศึกษาแบบสั่งงานการผลิต เช่น ส่วนประกอบของแบบงาน วัตถุที่ใช้ในการผลิต เป็นต้น

2.กระบวนการวางแผน เช่น การวางแผนด้วยมือ การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยการวางแผนในขั้นตอนของกระบวนการวางแผนนี้จะประกอบไปด้วยการวางแผนเกี่ยวกับเครื่องมือตัด การวางแผนเกี่ยวกับกับการขึ้นรูปชิ้นงานและการวางแผนเกี่ยวกับอุปกรณ์จับยึด

3.15 การวางแผนการขึ้นรูปชิ้นงาน (Machining Planning)

การวางแผนสำหรับการขึ้นรูปชิ้นงานนี้ถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญของกระบวนการวางแผนในระบบเอ็นซีซึ่งถ้าจะกล่าวโดยสรุปแล้วการวางแผนการขึ้นรูปชิ้นงานนี้จะต้องมีการกำหนดขั้นตอนและข้อมูลสำหรับการขึ้นรูปที่ชัดเจนในรูปที่ 3.19 นี้ได้แสดงลำดับขั้นตอนของการวางแผนการขึ้นรูปชิ้นงานที่สำคัญๆ

รูปที่ 3.19 ขั้นตอนการวางแผนขึ้นรูปชิ้นงาน[3]

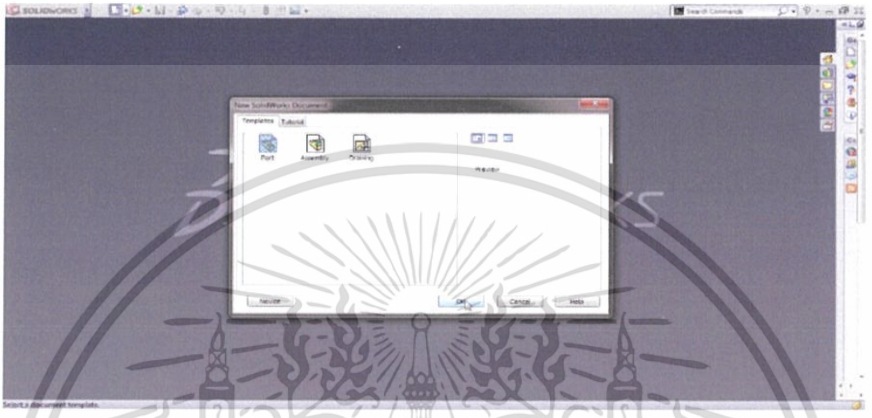
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ขั้นตอนการดำเนินงาน

4.1 ขั้นตอนการเขียนแบบใบพัด

1. สร้างไฟล์ชิ้นงานขึ้นมา ในการเขียนแบบดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงขั้นตอนการสร้างไฟล์ชิ้นงาน

2. ในการสร้างชิ้นงานใบพัดนั้น สามารถแบ่งใบพัดได้เป็น 6 ส่วนเท่าๆกัน ซึ่งสามารถใช้คำสั่ง Plane เพื่อใช้ในการสร้างระนาบเพิ่ม ดังรูปที่ 4.2 และมีค่าความกว้างในแต่ละช่วงที่แต่งต่างกันตามตารางที่ 4.1

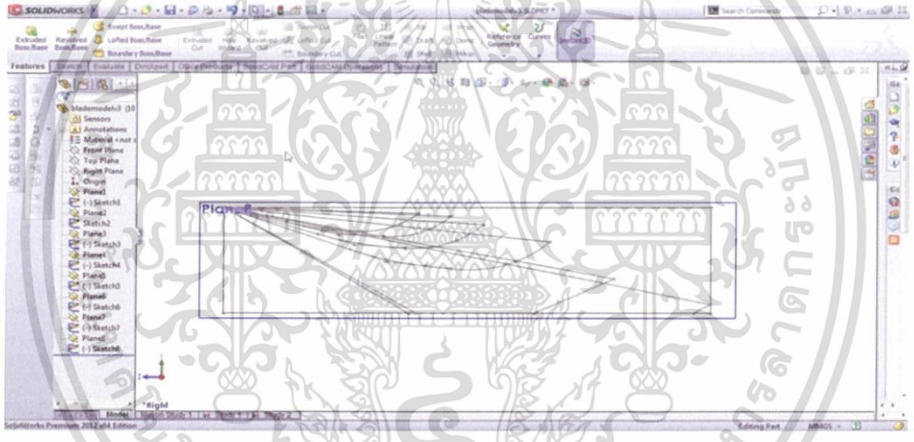
รูปที่ 4.2 แสดงการสร้างระนาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงความกว้างในแต่ละช่วงของใบของใบพัด

Section	Width	
1	6”	150 mm
2	4 3/4”	120 mm
3	3 15/16”	100 mm
4	3 1/8”	80 mm
5	2 3/4”	70 mm
6(tip)	2 3/8”	60 mm

3. ในแต่ละช่วงจะมีระยะดรอป ที่ต่างกันดังแสดงในตาราง 4.2 การเขียนแบบสามารถเขียนได้ด้านข่างของใบ โดยเลือกใช้คำสั่ง sketch เขียนทีละระนาบดังรูป 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงการเขียนแบบในแต่ละระนาบ

รูปที่ 4.4 แสดงระยะดรอปแต่ละช่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงระยะดรอป

section	Drop	
1	1 1/2”	37 mm
2	1”	25 mm
3	7/16”	12 mm
4	1/4”	6 mm
5	1/8”	3 mm
6(tip)	1/16”	2 mm

4. ความหนาของใบพัดในแต่ละส่วนมีขนาดความหนาตามตาราง 4.4 มีลักษณะดังรูปที่ 4.5

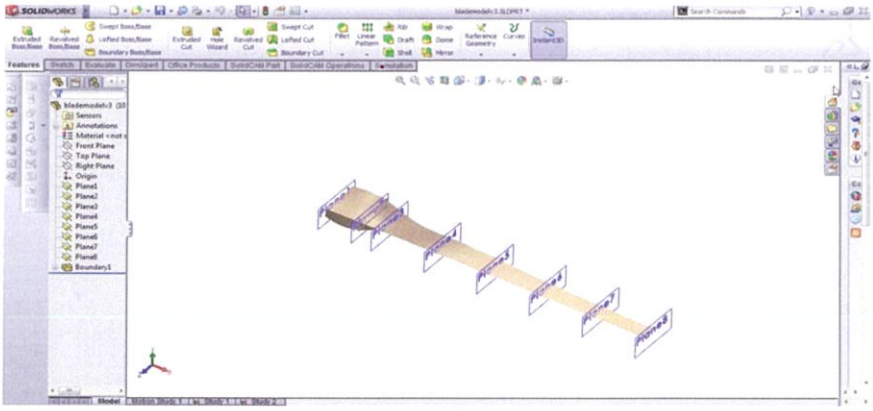
รูปที่ 4.5 แสดงความหนาของใบพัด

ตารางที 4.3 แสดงค่าความหนาของใบพัด

section	Thickness	
2	15/16”	25 mm
3	½”	13 mm
4	3/8”	10 mm
5	5/16”	8 mm
6(tip)	¼”	7 mm

5. เมื่อเขียนแบบถูกต้องแล้วเลือกใช้คำสั่ง boundary Boss/Base ดังรูปที่ 4.6 แล้วเซฟเป็นไฟล์เป็นนามสกุล .stl

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

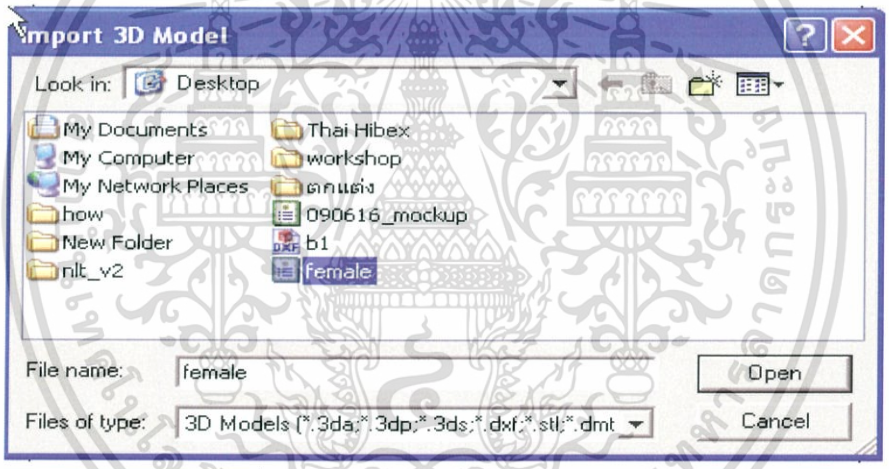


รูปที่ 4.6 แสดงใบพัดในระบบ 3D

4.2 ขั้นตอนการกัดด้วย CNC

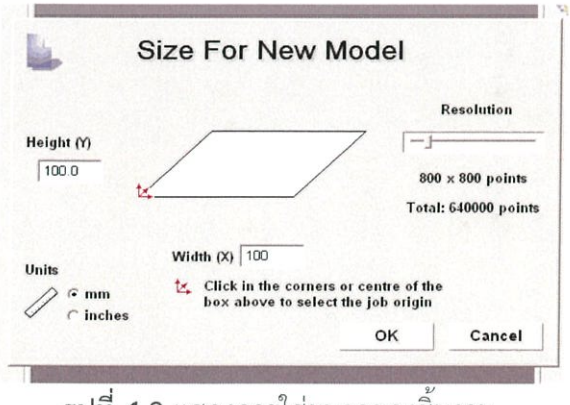
1. เริ่มจากการ save หรือ export ไฟล์ 3d ที่เขียนขึ้นมาเป็น นามสกุล .stl

2.เลือก File > Import > 3D Model และเปิดเลือกงานเข้ามา



รูปที่ 4.7 แสดงการเลือกงาน 3D เข้ามา

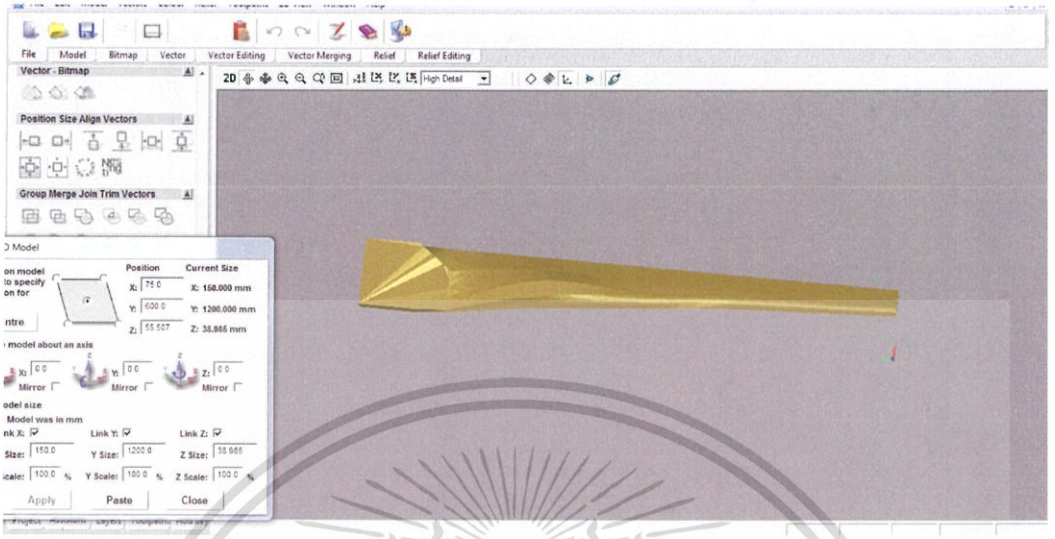
3. ใส่ขนาดของ size for New Model ตามขนาดของชิ้นงานจริงโดย Height (Y)=1200 mm และ Width (X)=150mm ดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.8 แสดงการใส่ขนาดของชิ้นงาน

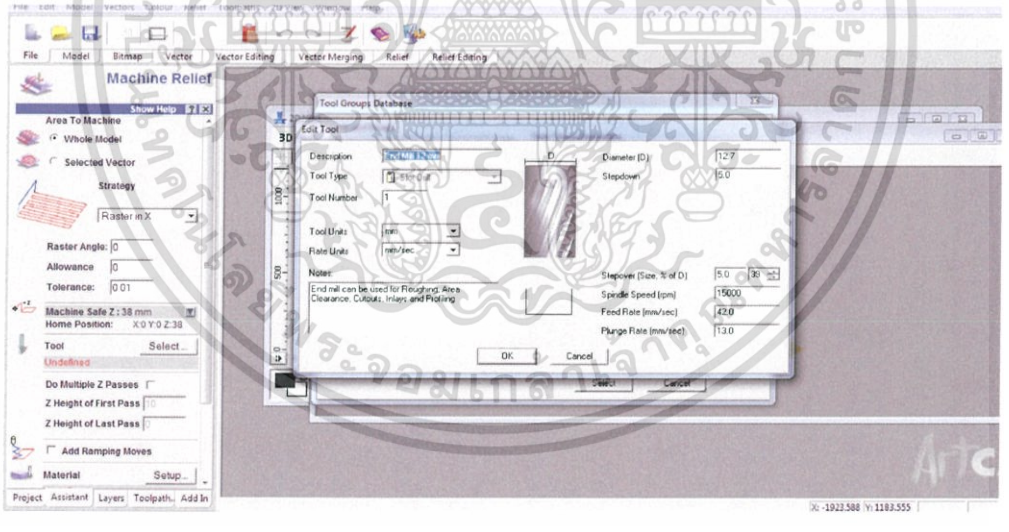
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ที่หน้าต่างแสดงรายละเอียดของชิ้นงาน เช่น แสดงหน่วย mm แสดงจุด 0,0ชิ้นงานอยู่ที่จุดกึ่งกลาง ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.9 แสดงรายละเอียดของชิ้นงาน

5. ออกแบบการกลัดชิ้นงานลักษณะหัวกัดที่ใช้

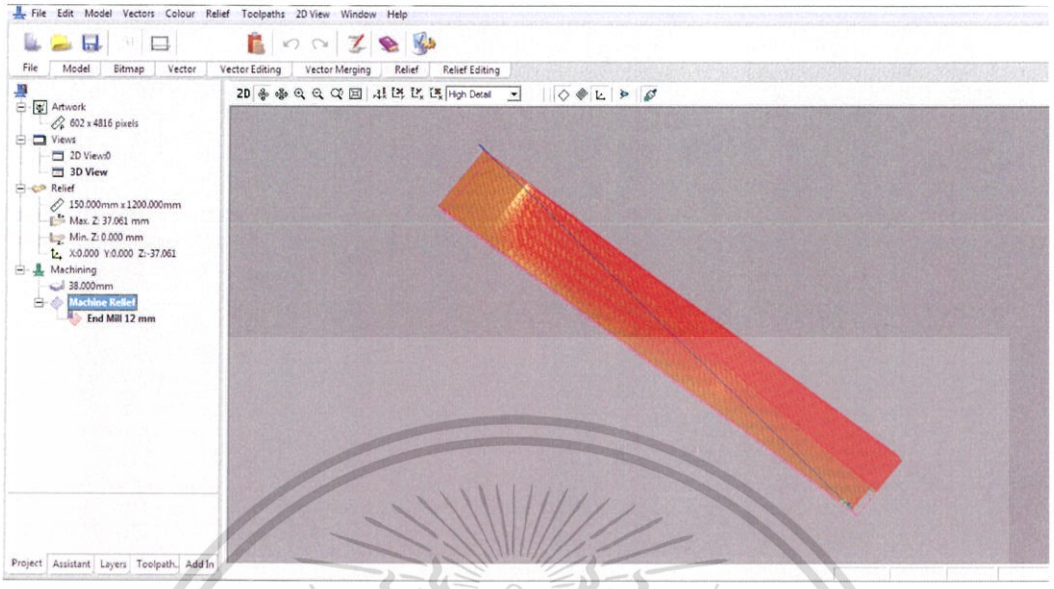


รูปที่ 4.10 แสดงออกแบบการกลัดชิ้นงานลักษณะหัวกัด

Tool Type:	Router Blade
Diameter:	12.70 mm
Step down:	5.00 mm
Spindle Speed:	15000 rpm
Feed Rate:	42.00 mm/sec
Plunge Rate:	13.00 mm/sec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

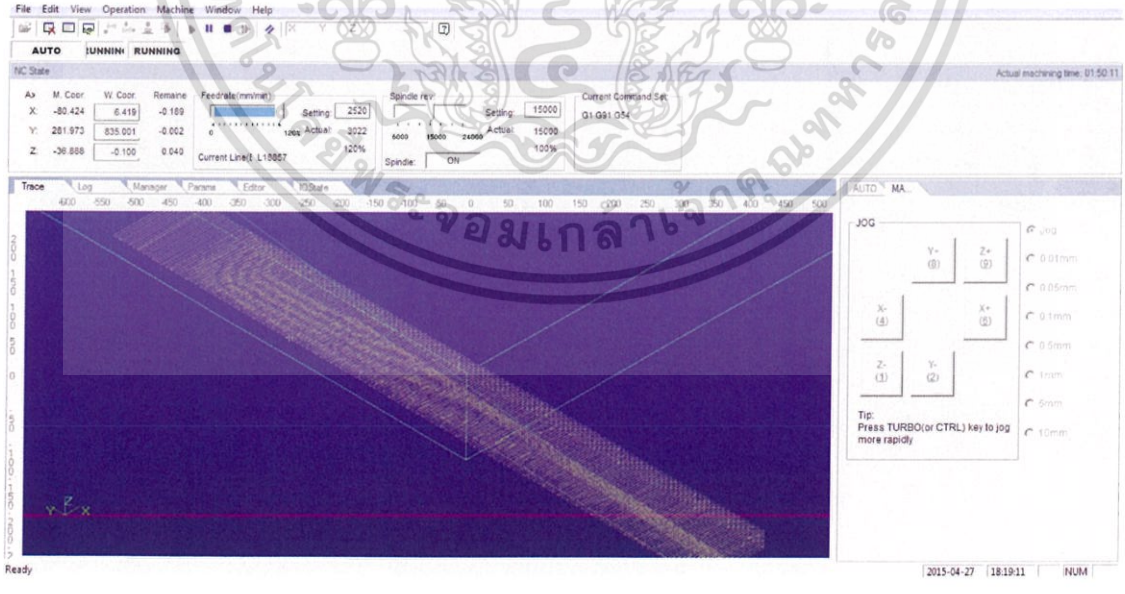
6. จำลองการกลัดชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.11 แสดงการจำลองการกัด

4.3 การกลัดชิ้นงาน

เมื่อทำการแก้แบบเสร็จจะทำการจำลองการกัด (Simulator) ซึ่งเป็นการจำลองการกัดชิ้นงานด้วยจักรกลอัตโนมัติ (CNC Machine) และได้ G-code ออกมา จากนั้นนำ G-code ที่ได้ไปใช้ในกับโปรแกรม Nc studio ในการควบคุมเครื่อง CNC ดังรูปที่ 4.12



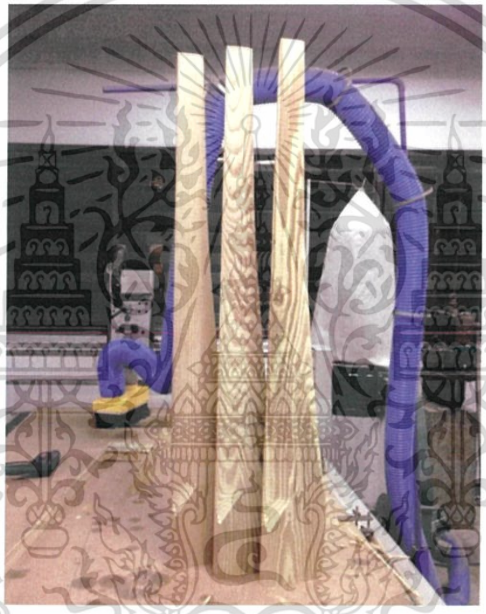
รูปที่ 4.12 โปรแกรม Nc studio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

การศึกษาการกัดใบพัดกังหันลมขนาดเล็กโดยใช้เครื่องกัดCNC เริ่มจากการเขียนแบบไอโซเมตริกในระบบ 3D ตามขนาดของใบพัดที่ยาว 1.2 เมตร หลังจากนั้นเริ่มทำการกัดใบพัดด้วยเครื่องกัดCNC โดยทำการออกแบบ กำหนดหัวกัด ตามหลักการทางวิศวกรรม และได้ชุดคำสั่งควบคุมโปรแกรมออกมาในลักษณะของ G-code เมื่อจำลองการกัดแล้วทำให้ได้ใบพัดที่ต้องการตามรูปแบบที่ได้กำหนดไว้ เป็นจำนวน 3 ใบ ใช้เวลาในการผลิตประมาณ 5 ชั่วโมงต่อใบ ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แสดงใบพัดกังหันลมขนาด 1.2 เมตร

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทำการกัดชิ้นงานใบพัดกังหันลม ขนาดความยาม 1.2 เมตรแล้ว พบว่าการกัดใบพัดในครั้งนี้ใช้เวลาในการกัดมากเกินไป และขนาดที่ได้เมื่ออิงกับแบบแล้วยังไม่เที่ยงตรงนัก อาจเกิดจากการออกแบบ และการเลือกใช้หัวกัด รวมไปถึงความชำนาญในการใช้เครื่องกัด CNC ด้วย เพื่อเป็นการพัฒนาการทดลองการกัดใบพัดด้วยเครื่องกัด CNC ในครั้งนี้อาจจะต้องมีการปรับปรุงและแก้ไขในส่วนต่างๆดังนี้

1. ระยะเวลาที่ใช้ในการกัด
2. การเลือกใช้หัวกัดที่ถูกต้อง
3. การออกแบบในส่วนของที่ยึดชิ้นงาน
4. การวางแผนการกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 งบประมาณที่ใช้

1.ค่าวัสดุ		
- ไม่สนต่างประเทศ 3 ชิ้น	7000	บาท
2.ชุดอุปกรณ์CNC		
- หัวกลัดโรเตอร์ 12X32 mm	200	บาท
- สกรู	100	บาท
รวม	7300	บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] นิพนธ์ เกตุจ้อย และ อชิตพล ศศิธรานุวัฒน์. “เทคโนโลยี พลังงานลม” วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร12(2) . หน้า 57-73 2547, กรกฎาคม-ธันวาคม

[2] รัฐพล นวมพิพัฒน์ (2548). *การทำโปรแกรมชิ้นงาน CNC แบบเชิงโต้ตอบ,* วิทยาพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล บัญฑิตวิทยาลัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, หน้า 6-29.

[3] บุญชู ลีลาขจรจิต “การประยุกต์ใช้โปรแกรมภาษาเบสิคกับชิ้นงาน CNC รูปแพนอากาศ” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[4] P.Hugh 2003. **how to build a wind turbine the axial flux windmill plans,** Practical Action

[5] Warlock Engineering 2008. 500 Watt Wind Turbine 3-blades 1.4 Meter diameter, URL: http://www.warlock.com.au/wind.htm, access on 30/04/2015.

[6] อำนาจ ทองแสน (2544).ทฤษฎีและการเขียนโปรแกรม CNC สำหรับการควบคุมเครื่องจักรกลด้วยคอมพิวเตอร์, กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น

[7] กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานน (2546ก) พลังงานลม (ออนไลน์),www.dede.go.th/dede/renew/wind_p.htm, access on 17/11/2014.

[8] Ledesma et al. 2003 : 1341-1355

[9] คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม (2013). การเลือกใช้เครื่องมือตัด, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา www.teched.rmutt.ac.th, เข้าดูเมื่อวันที่ 29/04/57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ความหมายของ M-Code และ G-Code

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบของโปรแกรม NC

โครงสร้างของโปรแกรมโดยทั่วไป คือ รหัสที่กำหนดเส้นทางเครื่องมือตัด เช่น พิกัดร่วมแกน X Y และ Z และรหัสที่ใช้กับเครื่องมือกลจจำเพาะ เช่น การเปิดปิดเพลาหมุน แต่ละรหัสถูกตั้งในรูปแบบที่คอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจ

โปรแกรม NC ประกอบด้วยบรรทัด (เส้น) ของรหัส จำนวนสูงสุดของบรรทัดต่อโปรแกรมถูกจำกัดด้วยพื้นที่ความจำ (RAM) บนคอมพิวเตอร์ ถ้าจำเป็นคุณสามารถเชื่อมโปรแกรมเข้าด้วยกันเพื่อสร้างโปรแกรมขนาดใหญ่มาก

แต่ละบรรทัดมีคำมากมาย โดยคำ NC คำหนึ่ง คือ รหัสที่หมายถึงตัวอักษรและตัวเลข มีตัวอักษรหลายหมวดหมู่ถูกใช้ในโปรแกรม NC สำหรับเครื่องแมชชีนนิ่งเซนเตอร์ proLIGHT

แต่ละบรรทัดของ NC ระบุการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัด และเงื่อนไขต่างๆ ที่สนับสนุนการเคลื่อนที่ดังกล่าว ตัวอย่างเช่น รหัส NC

N0 G90 G01 X.5 Y1.5 Z0 F1 หน่วยนิ้ว

N0	ตัวเลขลำดับบรรทัดสำหรับโปรแกรม บรรทัด0เป็นบรรทัดแรกในโปรแกรม
G90	ระบุว่าพิกัดร่วมเป็นแบบสมบูรณ์ถูกใช้เพื่อกำหนดตำแหน่งเครื่องมือตัด
G01	ระบุการเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรง
X.5	ระบุตำแหน่งปลายทางของแกน X เป็น 0.5 นิ้ว
Y1.5	ระบุตำแหน่งปลายทางของแกน Y เป็น 1.5 นิ้ว
Z0	ระบุตำแหน่งปลายทางของแกน Z เป็น 0 นิ้ว เครื่องมือตัดจะเคลื่อนที่ตำแหน่งพิกัดร่วมสมบูรณ์(0.5,1.5,0)
F1	ระบุอัตราการป้อน 1 นิ้วต่อนาที ซึ่งเป็นความเร็วที่เครื่องมือตัดจะเดินหน้าไปที่จุดพิกัดร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมวดหมู่ของรหัส NC

มีหมวดหมู่ของรหัส NC มากมายที่ถูกใช้สำหรับการเขียนโปรแกรมที่ใช้กับเครื่องแมทชีทนิ่งเซ็นเตอร์ proLIGHT แต่ละหมวดหมู่ถูกระบุเป็นตัวอักษรที่มีความหมายพิเศษด้านล่างคือรายการตัวอักษรที่ใช้กับเครื่องแมทชีทนิ่งเซ็นเตอร์ proLIGHT

/	ข้ามแบบเลือกใช้
\	ข้าม
%	ศูนย์กลางโค้งเพิ่มขึ้น (Fanuc)
N	เลขบรรทัด
O	โปรแกรมย่อย เริ่มที่ตัวเลขบรรทัด
G	รหัส ทำงาน
X	พิกัดการเคลื่อนที่แกน X
U	แกนเส้นตรงที่เพิ่มขึ้น และขนานกับแกนX (ใช้ขนาดแบบสมบูรณ์)
Y	พิกัดการเคลื่อนที่แกน Y
V	แกนเส้นตรงที่เพิ่มขึ้น และขนานกับแกนY(ใช้ขนาดแบบสมบูรณ์)
Z	พิกัดการเคลื่อนที่แกน Z
W	แกนเส้นตรงที่เพิ่มขึ้นและขนานกับแกน Z (ใช้ขนาดแบบสมบูรณ์)
A	พิกัดร่วมแกน
I	ระยะจากจุดศูนย์กลางถึงเส้นโค้ง ในแนวแกน X (การเคลื่อนที่ในแนวเส้นโค้ง)
J	ระยะจากจุดศูนย์กลางถึงเส้นโค้ง ในแนวแกน Y (การเคลื่อนที่ในแนวเส้นโค้ง)
K	ระยะจากจุดศูนย์กลางถึงเส้นโค้ง ในแนวแกน Z (การเคลื่อนที่ในแนวเส้นโค้ง)
R	รัศมีของเส้นโค้ง สำหรับการเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นโค้ง และตำแหน่งที่เริ่มเจาะ
Q	ความลึกของการเจาะ สำหรับรหัสวัฏจักรการเจาะ
H	เลือกบรรทัดการเริ่มโปรแกรม/การหักล้างความยาวของเครื่องมือตัด
D	ค่าหักล้างการชดเชย
L	ทำซ้ำกี่ครั้งในการใช้โปรแกรมย่อย
F	อัตราการป้อนนิ้วต่อนาที หรือเวลาแช่(Dwell Time)
S	ความเร็วของเพลาหมุน
T	เครื่องมือตัด
M	รหัสช่วยทำงาน
P	หมายเลขโปรแกรมย่อย
;	เป็นการเน้น(วงเล็บเปิดใช้ได้กับทุกย่าง)
$	โปรแกรมรัน ด้วยจุดศูนย์กลางเส้นโค้งแบบสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Optional Skip(/) หรือ (ข้ามแบบเลือกใช้)

รหัสข้ามแบบเลือกใช้ สามารถเลือกที่จะข้ามบรรทัดของรหัสได้ในขณะที่โปรแกรม NC กำลังทำงานตรวจให้แน่ใจว่าได้ทำให้ตัวแปร Optional Skip ในกล่องตอบโต้ Run Settings ทำงานแล้วจึงใส่เครื่องหมาย / หน้าบรรทัดที่ต้องการข้าม เมื่อรหัส Optional Skip ถูกปิดด้วยเครื่องหมาย / จะถูกละเลยและบรรทัดของรหัสจะถูกทำให้ทำงาน เมื่อ Optional Skip ถูกเปิดเครื่องหมาย / จะถูกยอมรับและบรรทัดของรหัสจะถูกข้ามไป ถ้าใส่ตัวเลขรหัส Optional Skip โปรแกรมจะทำให้บรรทัดทำงาน ตัวอย่าง เช่น /5G28; ระบุให้ไปที่ Home เมื่อทำงานผ่านไป 5 บรรทัด

Skip(\)(ข้าม)

รหัส Skip ทำงานเหมือน Optional Skip แม้ตัวแปร Optional Skip จากกล่องตตอบโต้ Run Settings จะไม่ทำงาน

เลขบรรทัด(รหัส N)

รหัส N ระบุตัวเลขตามลำดับของบรรทัดในโปรแกรม NC การใช้รหัส N ไม่ใช่รหัสบังคับแต่เมื่อคุณใช้รหัส N รหัส N ต้องเป็นตัวอักษรแรกของแต่ละบรรทัดในโปรแกรมเลือก Renumber จากเมนูแก้ไขเพื่อกำหนดตัวเลขใหม่หรือเอารหัส N ออก

หมายเลขโปรแกรมย่อย(รหัสO)

รหัส O แทนที่รหัส N ในบรรทัดเมื่อโปรแกรมย่อยเริ่มต้นขึ้นและแสดงการเริ่มของโปรแกรมย่อยบรรทัดแรกในโปรแกรมย่อยเท่านั้นที่ควรมีรหัสO

G รหัสทำงาน (รหัส G)

รหัส G มีผลก่อนการเคลื่อนที่ รหัส G มีข้อมูล เช่น ประเภทของการตัด การวัด แบบสมบูรณ์ มีการหยุดชั่วคราวเพื่อให้ผู้ปฏิบัติการเข้าแทรกแซง และอื่นๆ รหัส G ที่โปรแกรมควบคุม proLIGHT สนับสนุนอยู่ในหลายกลุ่ม เช่น การเคลื่อนที่ หน่วย การเลือกพื้นที่ราบ รอ แบบวัฏจักร โหมดการเขียนโปรแกรม ตำแหน่งที่ถูกตั้งก่อน ชดเชย ระบบพิกัดร่วม การป้อน และการเขียนโปรแกรม Polar กลุ่มสมเหตุสมผล

รหัส G เป็นที่ยอมรับในโปรแกรมเช่นเดียวกับ รหัสอื่นๆ รหัส G ที่สมเหตุสมผลใน การเคลื่อนที่มี 4 รหัสคือ

G00	การเคลื่อนที่เร็ว
G01	การเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรง
G02	การเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นโค้ง(ตามเข็มนาฬิกา)
G03	การเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นโค้ง(ทวนเข็มนาฬิกา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มหน่วย

มีรหัส G อยู่ 2 รหัส ที่แสดงหน่วยการวัด คือ G70 (นิ้ว)และG71(มิลลิเมตร)รหัสเหล่านี้บอกว่าคุณกำลังใช้หน่วยการวัดไหน กับเครื่องแมทชีนนิ่งเซ็นเตอร์ รหัสเหล่านี้ถูกใส่ที่ตอนเริ่มโปรแกรมก่อนที่จะมีการเคลื่อนที่ จาก 2 รหัส 1 รหัสเท่านั้น ที่สามารถถูกใช้ได้ต่อ 1 บรรทัด ถ้าใช้กับ Control Fanuc รหัส G20(นิ้ว) และ G21(มิลลิเมตร)

การเลือกกลุ่มระนาบ

รหัสกลุ่มนี้ ทำให้เลือกระนาบต่างๆ สำหรับการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง เส้นโค้ง การหมุนและการชดเชยการตัดได้ G17 เป็นค่าที่ตั้งไว้แล้วในเครื่องแมทชีนนิ่งเซ็นเตอร์ proLIGHT รหัสกลุ่มการเลือกระนาบ คือ

G17 เลือกระนาบ X,Y สำหรับการเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรง ถ้าคุณใช้รหัสนี้ กับระนาบ X,Y จะเป็นการเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งบนระนาบ X,Z หรือ Y,Z พิกัดร่วมศูนย์กลางเส้นโค้งถูกให้โดย I สำหรับแกน X และ J สำหรับแกนY

G18 เลือกระนาบ X,Z สำหรับการเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นโค้ง ใช้รหัสนี้เพื่อการเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นโค้งบนที่ระนาบ X,Z พิกัดร่วมศูนย์กลางเส้นโค้งถูกให้โค้งโดย I สำหรับแกน Y และ K สำหรับแกนZ

G19 เลือกระนาบ Y,Z สำหรับการเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นโค้ง ใช้รหัสนี้เพื่อการเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นโค้งบนที่ระนาบ Y,Z พิกัดร่วมศูนย์กลางเส้นโค้งถูกให้โค้งโดย J สำหรับแกน X และ K สำหรับแกนZ

กลุ่มรอ คือรหัสกลุ่มรอใช้ได้กับเส้นต่างๆ หลากหลาย คือ

G04 รอเท่ากับค่าของเวลา(รหัส F)เป็นวินาที(โดยปกติใช้กับการทำงานกับหุ่นยนต์)G04เป็นคำสั่งที่มีหน่วยเฉพาะ

G05 หยุด ถูกใช้ โดยปฏิบัติงาน

G25 รอจนกระทั่งอินพุดหุ่นยนต์มีสูง ถูกใช้ร่วมกับรหัส H ซึ่งระบุเฉพาะตัวเลขอินพุด ถูกใช้สำหรับการทำงานกับหุ่นยนต์

G26 รอจนกระทั่งอินพุดหุ่นยนต์มีต่ำ ถูกใช้ร่วมกับรหัส H ซึ่งระบุเฉพาะตัวเลขอินพุด ถูกใช้สำหรับการทำงานกับหุ่นยนต์

G31 การเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรงเข้าหาพิกัดร่วมที่ถูกระบุจำเพาะ หยุดถ้าอินพุดที่ถูกระบุขึ้นสูง(H เป็นบวก)หรือต่ำ(H เป็นลบ)เคลื่อนที่จนอินพุดถูกกระตุ้นหรือมีการไปปถึงจนพิกัดร่วม

G131 หยุดการเคลื่อนที่ของแกน Z เมื่อได้รับสัญญาณตัวเลข (INROB 1 ON)ควรใช้รหัสนี้กับเครื่องมือกล Light Machine ที่ต้องใช้เครื่องมือ Digitizing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มการทำงานแบบวัฏจักร

รหัสการทำงาน แบบวัฏจักรใช้กับการเคลื่อนที่ ของเครื่องมือตัดให้ทำงาน โดยการระบุจำเพาะแต่ 1 รหัสเท่านั้น สำหรับข้อมูลละเอียดของการใช้รหัสนี้ ดูที่ Canned Cycle Programming (การเขียนโปรแกรมแบบวัฏจักร) ในบทนี้แบบวัฏจักรถูกใช้ในโปรแกรมกับรหัสแบบวัฏจักรอื่น ด้านล่างเป็นรหัสแบบวัฏจักรที่ใช้กับเตรื่องแมทชีนนิ่งเซ็นเตอร์ proLIGHT

G08 ยกเลิกการทำงานแบบวัฏจักร
G81 รหัสการเจาะแบบวัฏจักร
G82 รหัสการเจาะตรงมีการหยุดแบบวัฏจักร
G83 รหัสการเจาะรูลึกแบบวัฏจักร
G84 รหัสการ Tap เกลียวแบบวัฏจักร
G85 รหัสการคว้านแบบวัฏจักร
G86 รหัสการคว้านแบบวัฏจักร ด้วยเพลาหมุนไม่มีแช่
G89 รหัสการคว้านแบบวัฏจักร มีแช่

กลุ่มโหมดการเขียนโปรแกรม

การเขียนโปรแกรม ในโหมดรหัส G เป็นการบอกเครื่องแมทชีนนิ่งเซ็นเตอร์ว่า ต้องใช้โหมดการเขียนโปรแกรมไหน เช่น G90 เป็นการเคลื่อนที่แบบสมบูรณ์ G91เป็นการเคลื่อนที่แบบต่อเหนื่องรหัสเหล่านี้ยังคงมีประสิทธิภาพจนกว่า จะถูกแทนที่โดยรหัสอื่น รหัสที่ถูกกำหนดไว้แล้วของการเริ่มโปรแกรมคือ G90

ถ้าเป็นการเขียนโปรแกรมแบบสมบูรณ์พิกัดร่วม X,YและZ สัมพันธ์กับจุด 0,0 ของเครื่องแมทชีนนิ่งเซ็นเตอร์ ถ้าเป็นการเขียน โปรแกรมแบบต่อเนื่อง แต่ละการเคลื่อนที่ไปที่พิกัดร่วมใหม่ จะสัมพันธ์กับพิกัดร่วมก่อนหน้านี้

กลุ่มกำหนดตำแหน่งหน้าที่

รหัส G กำหนดตำแหน่งเคลื่อนที่เครื่องมือตัดไปในตำแหน่งที่กำหนดไว้ รหัสเหล่านี้เป็นรหัสกำหนดตำแหน่งหน้าที่ ที่เครื่องแมทชีนนิ่งเซ็นเตอร์ทำงาน คือ

G27 ตรวจสอบจุดอ้างอิงโดย เปรียบเทียบตำแหน่งที่ถูกรายงานกับศูนย์เครื่อง เพื่อดูว่ามีตำแหน่งใดหายไปหรือยังไม่ได้ตำแหน่ง
G28 ตั้งจุดอ้างอิง รหัสนี้ทำให้เครื่องมือกลเคลื่อนที่ไปกลับสู่ตำแหน่ง Home และจัดตำแหน่งของเครื่องนี้ให้เป็น 0,0,0 รหัส G28 เป็นการปรับตั้งค่าแกนโดยอัตโนมัติ
G92 กำหนดตำแหน่งหนน้า ที่รหัสนี้ทำงานเหมือนการกำหนดตำแหน่งภายใต้ รายการ Setup พิกัดร่วม X,YและZ ที่ตามรหัส G92 มากำหนดตำแหน่งล่าสุดใหม่ของเครื่องมือตัด
G98 การเคลื่อน ย้ายเครื่องมือ ตัดอย่างรวดเร็วไปที่ตำแหน่ง ที่กำหนด หลังจากทำตามคำสั่งแบบวัฏจักรสำเร็จดูที่ Canned Cycle Progromming (การเขียนโปรแกรมแบบวัฏจักร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

G99 การเคลื่อน ย้ายเครื่องมือ ตัดอย่างรวดเร็วไปที่จุด R (พื้นที่ผิวของวัสดุหรือจุดอ้างอิงอื่น) จากทำตามคำสั่งแบบวัฏจักรสำเร็จ

กลุ่มหน้าที่ชดเชย

G39 ปรับตำแหน่งมุมแนวเส้นโค้ง
G40 ยกเลิกการชดเชยรัศมีเครื่องมือตัด
G41 การชดเชยรัศมีเครื่องมือตัด เมื่อเครื่องมือตัดอยู่ทางด้านซ้ายของชิ้นงานขณะทำงาน
G42 การชดเชยรัศมีเครื่องมือตัด เมื่อเครื่องมือตัดอยู่ทางด้านขวาของชิ้นงานขณะทำงาน
G43 การชดเชยความยาวเครื่องมือตัด แนวแกน Z ที่มีค่าเป็นบวก ระบุตามรหัส H
G44 การชดเชยความยาวเครื่องมือตัด แนวแกน Z ที่มีค่าเป็นลบ ระบุตามรหัส H
G45 จำนวนการเคลื่อนที่เพิ่ม โดยค่าที่เก็บในหน่วยความจำที่ได้รับการปรับค่าแล้ว
G46 ลดจำนวนการเคลื่อนที่ โดยค่าที่เก็บในหน่วยความจำที่ได้รับการปรับค่าแล้ว
G47 เพิ่มจำนวนการเคลื่อนที่เป็น 2 เท่าโดยค่าที่เก็บในหน่วยความจำที่ได้รับการปรับค่าแล้ว
G48 ลดจำนวนการเคลื่อนที่เป็น 2 เท่าโดยค่าที่เก็บในหน่วยความจำที่ได้รับการปรับค่าแล้ว
G49 ยกเลิกการชดเชยความยาวเครื่องมือตัด
G50 ยกเลิกการใช้สัดส่วน
G51 คำสั่งใช้สัดส่วน
G68 คำสั่งใช้ในการหมุน
G69 ยกเลิกคำสั่งใช้การหมุน

กลุ่มระบบพิกัดร่วม

รหัสระบบพิกัดร่วม ทำให้คุณสามารถสร้างส่วนต่างๆบนชิ้นงานได้ โดยการสร้างพิกัดร่วมหลากหลายบนชิ้นงาน มี 7 รหัส รหัส G53 ถูกใช้สำหรับพิกัดร่วมเฉพาะที่เคลื่อนที่เร็ว อีก 6 รหัส G54 G55 G56 G57 G58 และG59สร้างส่วนย่อย 6 ส่วนบนชิ้นงานเดียวกัน โดยระบุพิกัดร่วมที่ต่างกันสำหรับแต่ละส่วน

กลุ่มการเขียนโปรแกรมที่มีรัศมีและมุมร่วมกัน (Polar)

มี 2 รหัสคือ G15 และ G16 ปฏิบัติการโดยอิงพิกัดร่วม Polar ถูกกำหนดเป็น X (รัศมี)Y(มุมองศา)เมื่อเขียโปรแกรมสำหรับพื้นที่เรียบ X,Y

พิกัดร่วมแกน X (รหัส XหรือU)

รหัสXเป็นพิกัดจุดหมายปลายทางตามแกน X ค่านี้ถูกกำหนดไว้แล้ว โดยตั้งทที่ Set Preferences ที่อยู่ใต้เมนู Setup และยังสามารถใช้รหัส U เป็นพิกัดจุดหมายปลายทางตามแกน U ร่วมกับพิกัด X ให้เป็นพิกัดแบบสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิกัดร่วมแกน Y (รหัส YหรือV)

รหัสYเป็นพิกัดจุดหมายปลายทางตามแกน Y ค่านี้ถูกกำหนดไว้แล้ว โดยตั้งทที่ Set Preferences ที่อยู่ใต้เมนู Setup และยังสามารถใช้รหัส V เป็นพิกัดจุดหมายปลายทางตามแกน V ร่วมกับพิกัด Y ให้เป็นพิกัดแบบสมบูรณ์

พิกัดร่วมแกน Z (รหัส ZหรือW)

รหัสZเป็นพิกัดจุดหมายปลายทางตามแกน Z ค่านี้ถูกกำหนดไว้แล้ว โดยตั้งทที่ Set Preferences ที่อยู่ใต้เมนู Setup และยังสามารถใช้รหัส W เป็นพิกัดจุดหมายปลายทางตามแกน W ร่วมกับพิกัด Z ให้เป็นพิกัดแบบสมบูรณ์

ขนาดมุมที่หมุนไปรอบแกน A (รหัสA)

รหัส A เป็นพิกัดของจุดหมายปลายทาง(เป็นองศา)ตามแกนAรหัสนี้ถูกใช้เมื่อเครื่องมือมีแกนที่ 4 เท่านั้น

พิกัดร่วมของจุดศูนย์กลางตามแนวแกนX(รหัสI)

รหัส I บอกเป็นระยะทางในแนวแกน X จากจุดเริ่มต้นของการเคลื่อนที่ที่เป็นเส้นโค้งของวงกลมไปที่จุดศูนย์กลางของเส้นโค้ง โดยค่าจะเป็นบวก หรือลบ ต้องกำหนดตามกฎมือขวา

พิกัดร่วมของจุดศูนย์กลางตามแนวแกนY(รหัสJ)

รหัส J บอกเป็นระยะทางในแนวแกน Y จากจุดเริ่มต้นของการเคลื่อนที่ที่เป็นเส้นโค้งของวงกลมไปที่จุดศูนย์กลางของเส้นโค้ง โดยค่าจะเป็นบวก หรือลบ ต้องกำหนดตามกฎมือขวา

รัศมีของเส้นโค้ง ตำแหน่งเริ่มต้นของการเจาะ(รหัสR)

สามารถใช้ค่าจากจุดเริ่มต้นของการเคลื่อนที่ ที่เป็นแบบเส้นโค้งของวงกลมไปที่จุศูนย์กลางของเส้นโค้ง(I,J,K)แทนค่ารัศมี(R) และพิกัดการเคลื่อนที่ ร่วมกับการใช้คำสั่ง G02 หรือ G03 แบบสมบูรณ์ ค่ารัศมี(R)เป็นบวกเมื่อเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งวงกลม ไปจนถึง 180 องศา และเป็นค่าลบเมื่อเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งวงกลมที่มากกว่า 180 องศา รหัส R ยังถูกใช้ในการทำงานแบบวัฏจักรของการเจาะเพื่อระบุเริ่มต้นของการเจาะแบบรูลึก จุดนั้นสามารถอยู่ที่พื้นผิววัสดุหรือจุดอ้างอิงอื่นได้

ความลึกของรูเจาะ(รหัสQ)

รหัส Q ถูกใช้ในแบบวัฏจักรเพื่อระบุความลึกของรูเจาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกใส่ตัวเลข(รหัส H)

ใช้รหัส H ร่วมกับคำสั่ง G25,G26 และ G31 ถ้าเป็นการใส่ค่าเปรียบเทียบความยาวเครื่องมือตัด ใช้กับคำสั่ง G43,G44 และถ้าเป็นการส่งสัญญาณใช้กับคำสั่ง M25 และ M26 ที่เชื่อมต่อ กับหุ่นยนต์หรืออุปกรณ์ภายนอก ค่าที่ถูกตั้งไว้แล้วคือ H1

การชดเชยเปรียบเทียบค่า(รหัสD)

รหัสD เป็นรหัสเฉพาะตัวเลขในตารางเปรียบเทียบของโปรแกรมควบคุม ใช้รหัส D กับการชดเชยรัศมีเครื่องมือตัด และรหัสเปรียบเทียบเครื่องมือตัด

รอบหรือจำนวนครั้งในการใช้โปรแกรมวัฏจักร(รหัสL)

รหัส L คือจำนวนครั้งที่ใช้ โปรแกรมย่อย และเป็นคำสั่งที่บอกค่าพิกัดเผื่อและความละเอียดของเส้นโค้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

M00	หยุดชั่วคราว รหัสนี้ทำหน้าที่เหมือนการหยุดชั่วคราวด้วยคำสั่ง G05
M01	การหยุดที่เลือกได้ ถ้าต้องการหยุดแบบเลือกได้ในโปรแกรมให้ใส่ M01 และที่ตัว Controller จะมีปุ่ม Optional Stop กดปุ่ม on ถ้าไม่ต้องการให้หยุดกดปุ่ม off เพื่อต้องการให้หยุด
M02	จบโปรแกรม มีผลหลังการเคลื่อน ตามคำสั่งทั้งหมดโดยมอเตอร์ขับเคลื่อน,เพลาหมุน และอุปกรณ์เสริมก็หยุดทำงาน
M03	มอเตอร์เพลาหมุน เปิด จากนั้นจะเกิดการเคลื่อนที่ตามคำสั่งในในโปรแกรมและจะหยุดหมุดเมื่อใช้คำสั่ง M05
M05	มอเตอร์เพลาหมุน ปิด จะพบคำสั่งนี้เมื่อทำคำสั่งการเคลื่อนที่ในโปรอกรมหมด และจะทำงานต่อเมื่อใช้คำสั่ง M03
M06	เป็นคำสั่งให้เปลี่ยนเครื่องมือตัด เมื่อในโปรแกรมต้องใช้เครื่องมือตัดหลายอัน
M08	เป็นคำสั่งให้เปิด ใช้อุปกรณ์พิเศษ
M09	เป็นคำสั่งให้ปิด ใช้อุปกรณ์พิเศษ
M10	เป็นคำสั่งให้ ปิดลมไม่ให้ปากกาจับชิ้นงานทำงาน
M11	เป็นคำสั่งให้ เปิดลมเข้าปากกาจับชิ้นงานทำงาน
M20	เป็นคำสั่งให้ เปลี่ยนไปทำงานโปรแกรมถัดไป รหัสนี้จะอยู่ที่ส่วนท้ายของโปรแกรมและทำต่อในบรรทัดของดปรแกรมที่ถูกระบุให้ทำงานจนเสร็จ
M22	เป็นคำสั่งบันทึกเป็นไฟล์ นำพิกัดร่วมของเครื่องมือกลออกจากไฟล์ แบบฟอร์มที่เหมาะสมสำหรับการใช้รหัสนี้คือM22(ชื่อไฟล์) ครั้งแรกที่โปรแกรมควบคุม พบรหัสคุม พบรหัส M22 มันจะเปิดไฟล์ที่ระบุไว้ ตั้งชื่อไฟล์ในขณะที่คุณสร้างมัน ต้องใส่ชื่อไฟล์ในวงเล็บเพื่อให้โปรแกรมควบคุมยอมรับ
M25	ตั้งเอาท์พุด ของหุ่นยนต์ให้เปิด(สูง)ใช้สำหรับการปรับหุ่นยนต์ให้ทำงาน ไปพร้อมกันต้องใช้ร่วมกับรหัส H เพื่อระบุตัวเลขเอ้าท์พุด
M26	ตั้งเอาท์พุด ของหุ่นยนต์ให้ปิด(ต่ำ)ใช้สำหรับการปรับหุ่นยนต์ให้ทำงาน ไปพร้อมกันต้องใช้ร่วมกับรหัส H เพื่อระบุตัวเลขเอ้าท์พุด
M30	หยุดโปรแกรมเหมือน M02 แต่ตัวอ่านข้อมูล(curser)จะขึ้นไปอยู่ที่หัวโปรแกรม
M47	ย้อนกลับไปเริ่มต้นโปรแกรมที่ทำงานอยู่นั้นใหม่ มีผลดมือการเคลื่อนที่ทั้งหมดเสร็จแล้ว
M98	เรียกโปรแกรมย่อย
M99	จบโปรแกรมย่อย แล้วกลับไปสู่บรรทัดหลักที่สั่งให้ใช้คำสั่ง M98 ที่ใช้รหัส P ในรหัส M98 รหัส P จะเปลี่ยนชื่อที่นำหน้าด้วย O มันจึงเป็นโปรแกมหลัก
M111	เส้นโค้งที่เป็นเซ็กเม็นต์เชิงเส้นตรง
M112	เส้นโค้งที่แท้จริง
M122	นำตำแหน่งปัจจุบันออกจากไฟล์เขียนตำแหน่ง X,Yและ Z เป็นข้อมูลลงในไฟล์เราใช้คำสั่งG131 สำหรับหาตำแหน่งต่างๆด้วยดิจิตอลไลซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการป้อน(รหัสF)

รหัส F คืออัตราความเร็วในการเคลื่อนที่(อัตราการป้อน)เป็นนิ้วต่อนาที(ipm)ตั้งอัตราป้อนเป็นค่าต่ำสำหรับการตัดเฉือนโดยสามารถใช้อัตราป้อนได้มากถึง 150 นิ้วต่อนาที ค่าอัตราป้อนคิดเป็นหน่วยมิลลิเมตรต่อนาที(mpm)เมื่ออยู่ในโหมดเมตริก

ความเร็วเพลาหมุน(รหัสS)

รหัส S ถูกใช้เพื่อตั้งค่าความเร็วเพลาหมุนด้วยโปรแกรม NC ความเร็วเพลาหมุนถูกระบุในบรรทัดของรหัสอักษร S ตามความเร็วเป็นรอบต่อนาที

การเลือกเครื่องมือตัด(รหัสT)

รหัส T คือเครื่องมือตัดเมื่อต้องทำงานด้วยเครื่องมือตัดหลายอัน เครื่องมือตัดถูกระบุในบรรทัด ของรหัสอักษร T ตามด้วยตัวเลขของเครื่องมือตัด

รหัสช่วยการทำงาน(รหัส M)

รหัส M ควบคุมการทำหน้าที่ของเครื่องแมทชีนนิ่งเซ็นเตอ์ อยู่ในโปรแกรมที่สั่งให้ทำงาน โดยควบคุม สวิทช์เปิด/ปิดเพลาหมุน และสั่งให้จับยึด/ปล่อยชิ้นงานเมื่อใช้ปากกาจับงานลม รหัส M ยังสามารถใช้เพื่อเชื่อม โปรแกรมย่อยรหัส M ที่ใช้กับเครื่องแมทชีนนิ่งเซ็นเตอร์ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้