ปีการศึกษา ๒๕๓๔

โครงงาน

การประยุกต์ระบบ CAD/CAM/CAE ออกแบบและวิเคราะห์ROBOTIC SYSTEM

Applying CAD/CAM/CAE to design and analysis manipulators

โดย

นาย ชัยวัฒน์ เกียรติเพชรรัตน์ ๓๒.๑๐๗๕

นาย ไพศาล เต็งเจริญชัย ๓๒.๑๒๒๒

นาย วิศิษฏ์ วิริโยสุทธิกุล ๓๒.๑๓๑๐

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ มนต์ศักดิ์ พิมสาร

อาจารย์ อุนนัต พิณไสภณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

032604

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา ๒๕๓๕

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การประยุกต์ระบบ CAD/CAM/CAE ออกแบบและวิเคราะห์ ROBOTIC SYSTEM

คณะผู้จัดทำ :

1) นาย ชัยวัฒน์ เกียรติเพชรรัตน์ ๓๒.๑๐๗๕

2) นาย ไพศาล เต็งเจริญชัย ๓๒.๑๒๒๒

3) นาย วิศิษฏ์ วิริโยสุทธิกุล ๓๒.๑๐๑๓

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ มนต์ศักดิ์ พิมสาร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ อุนนัต พิณโสภณ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

032604

การประยุกต์ระบบ CAD/CAM/CAE ออกแบบและวิเคราะห์ ROBOTIC SYSTEM

นาย ชัยวัฒน์ เกียรติเพชรรัตน์
นาย ไพศาล เต็งเจริญชัย
นาย วิศิษฏ์ วิริโยสุทธิกุล

อาจารย์ มนต์ศักดิ์ พิมสาร
อาจารย์ อุนนัต พิณโสภณ
อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา ๒๕๓๕

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ศึกษาเกี่ยวกับการนำคอมพิวเตอร์มาใช้ในการวิเคราะห์ ROBOTIC SYSTEM ทั้งในด้านการออกแบบ ROBOTIC SYSTEM(CAD), การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการสร้างแขนกลโดยใช้ CAE และการจำลองการทำงานของ ROBOT(SIMULATION) รวมทั้งครอบคลุมถึงการใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุมการผลิตชิ้นส่วนต่างๆของ ROBOT(CAD)โดยโปรแกรมหลักที่ใช้คือ " UNIGRAPHIC " และ " PATRAN " โดยที่ "UNIGRAPHIC " เป็นโปรแกรมที่ใช้ออกแบบ และใช้ควบคุมการผลิต ส่วน " PATRAN " เป็นโปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์ผลทางด้าน STATIC และ DYNAMIC ด้วย FINITE ELEMANT METHOD เช่น FORCE/TORQUE, STRESS/STRAIN ROBOTIC SYSTEM ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มี 4 LINKS, 3 JOINTS โดยที่แต่ละJOINTS เป็น REVOLUTE JOINT ทั้งสิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Applying CAD/CAM/CAE to design and analysis manipulators

Mr.Chaiwat KIatpetchrat

Mr.Paisan Tengjaraenchai

Mr.Wisit Wiriyosutthikul

Mr.Monsak Pimsarn

Mr.Unnat Pinsopon

Advisors

1992

ABSTRACT

THIS THESIS IS ABOUT LEARNING HOW TO USE COMPUTER TO ANALYZE ROBOTIC SYSTEM, INCLUDING HELPING IN DESIGNING AND CREATION INSTRUCTIONS FOR MANUFACTURING PROCESS CONTROL. THE MAIN PROGRAMS USED IN THIS THESIS ARE "UNIGRAPHIC" AND "PATRAN". BOTH PROGRAM ARE USED IN DIFFERENT OBJECT. "UNIGRAPHIC" IS USED IN DESIGNING AND CREATION INSTRUCTIONS FOR MANUFACTURING PROCESS CONTROL. "PATRAN" IS USED IN ROBOTIC SYSTEM ANALYSIS BY FINITE ELEMENT METHOD. IN THIS THESIS, ROBOT HAS 4 LINKS AND 8 JOINTS. EACH JOINTS IS REVOLUTE.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทนำ..... 1

บทที่1 การใช้งาน computer ช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์..... 5

บทที่2 การวิเคราะห์โดยใช้ CAE..... 16

บทที่3 ทฤษฎีการออกแบบ ROBOTIC SYSTEM..... 43

บทที่4 ชิ้นงานศึกษา..... 62

บทสรุปและข้อแนะนำ..... 83

ภาคผนวกที่ 1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับระบบ Unix 84

บรรณานุกรม..... 87

กิตติกรรมประกาศ..... 88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

ปัจจุบันนี้ ระบบ COMPUTER ได้มีการพัฒนาไปในทุกๆด้านวิชาชีพ ในส่วน MECHANIC นั้น มีระบบ CAD/CAM/CAE ซึ่งกำลังเป็นที่สนใจเพราะสามารถจะช่วยลดต้นทุนในการผลิต และเพิ่มความถูกต้องในการออกแบบชิ้นงานโดยแบบชิ้นงานที่ออกแบบด้วย COMPUTER สามารถนำเข้าเครื่อง NC MACHINE ผลิตเป็นชิ้นงานได้โดยอัตโนมัติ โดยผ่านการควบคุมด้วย COMPUTER ระบบ CAD/CAM/CAE นอกจากจะออกแบบชิ้นงานแล้วยังสามารถวิเคราะห์โครงสร้างของชิ้นงานในด้านต่างๆได้ เช่น HEAT TRANSFER, MECHANICAL STRESS เป็นต้น การประยุกต์กับ ROBOTIC นั้น จะใช้ทฤษฎีเกี่ยวกับ ROBOTIC ต่างๆ ประกอบกับระบบ CAD/CAM/CAE ออกแบบชิ้นส่วน (LINK) แต่ละชิ้นส่วน และวิเคราะห์แนวโน้มความเป็นไปได้ในการสร้าง ROBOTIC นี้ เช่น ความแข็งแรงของชิ้นส่วน, กำลังที่ใช้ในการเคลื่อนที่ เป็นต้น ซึ่งทำให้มั่นใจได้ว่า ROBOT ที่สร้างขึ้นสามารถทำงานได้ตามที่คำนวณไว้ เช่น สามารถยกวัตถุชิ้นได้ ซึ่งในหลายๆปีที่ผ่านมา การทำงานมักจะประสบปัญหาเกี่ยวกับในเรื่อง ROBOT ที่ออกแบบไม่สามารถทำงานได้ตามที่ต้องการ ดังนั้นระบบ CAD/CAM/CAE จึงเข้ามามีบทบาทในการแก้ปัญหานี้ และมีแนวโน้มว่าจะมีความสำคัญต่อระบบอุตสาหกรรมมากยิ่งขึ้นต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์

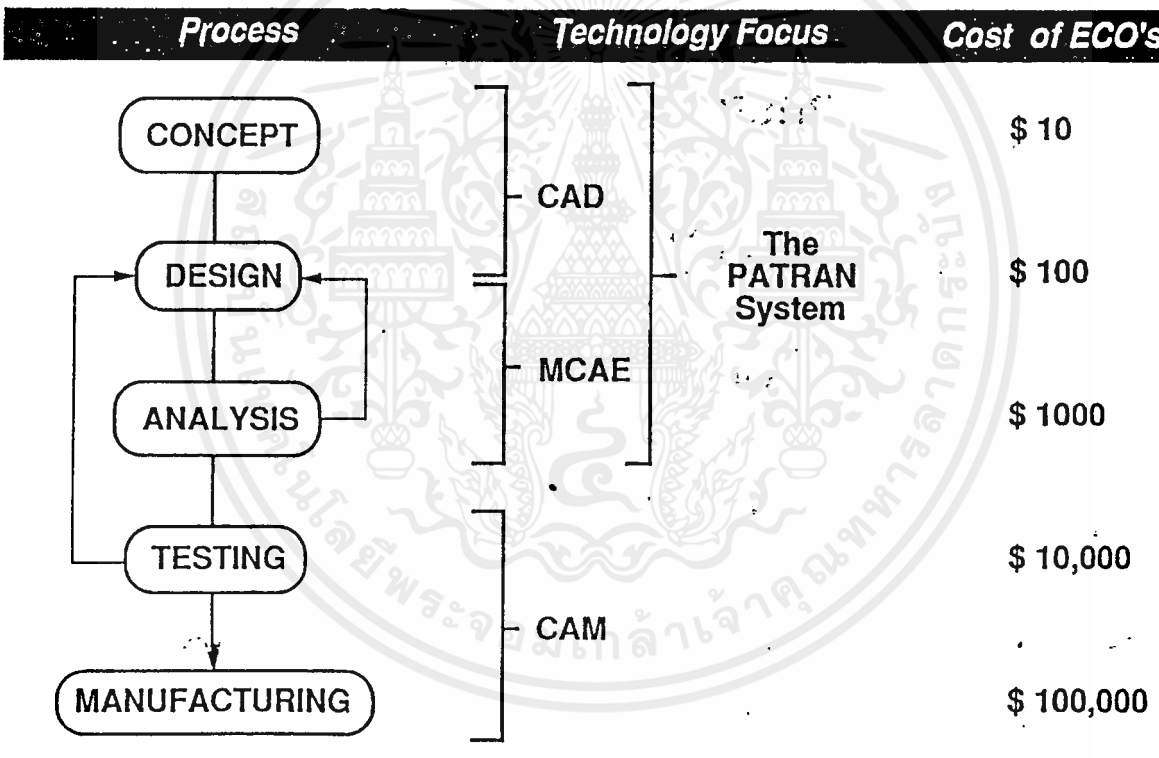
1.ศึกษาการใช้งานระบบ CAD/CAM/CAE

2.ศึกษาทฤษฎีต่างๆทาง ROBOTIC ที่ใช้ในการออกแบบแขนกล

3.ออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ(LINKS)ของแขนกลจากทฤษฎีที่ศึกษามาโดยใช้ CAD

4.ศึกษาและวิเคราะห์ความเป็นไปได้ ในการสร้างแขนกล โดยใช้ CAE

5.ออกแบบแนวเส้นทางการกัดชิ้นงานโดยใช้ CAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื้อหาโดยทั่วไป

ศึกษาถึงการเคลื่อนที่ตลอดจนถึงแรงที่กระทำกับชิ้นส่วนต่างๆของแขนกล จะทำให้รู้ขนาดของความเร็ว รวมทั้งความเร่งของชิ้นส่วนต่างๆ ซึ่งจะมีผลทำให้รู้ขนาดของแรงที่กระทำกับชิ้นส่วนเหล่านั้นด้วย จากข้อมูลที่ได้ทำให้สามารถกำหนดขนาดและชนิดของวัสดุที่จะนำมาใช้ทำเป็นชิ้นส่วนต่างๆของแขนกล ซึ่งเป็นกระบวนการออกแบบเครื่องจักรกล(MACHINE DESIGN) ดังนั้นกระบวนการวิเคราะห์จึงแบ่งเป็น สองส่วน คือ

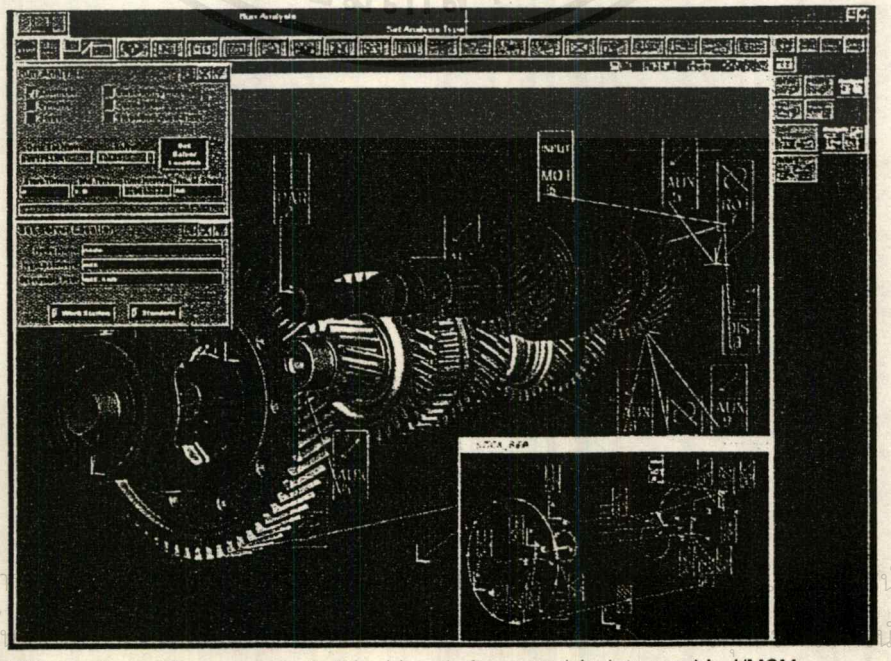
1.วิเคราะห์ dynamic ของแขนกล

1.1 ด้าน KINEMATICS เป็นการเคลื่อนที่เชิงเรขาคณิตของLINKSและJOINTS โดยไม่คำนึงถึงแรงที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่

ก) วิธี SYNTHESIS คือ การวิเคราะห์หาลักษณะรูปแบบของLINKต่างๆ การต่อโยงกัน เพื่อที่จะให้ได้มาซึ่งแขนกลที่มีลักษณะการเคลื่อนที่ได้ตามที่ต้องการ

ข) วิธี ANALYSIS คือ การศึกษาหาการขจัด(DISPLACEMENT), ความเร็ว(VELOCITY), ความเร่ง(ACCELERATION) ของแขนกลที่ออกแบบแล้วว่ามีรายละเอียดเป็นอย่างไร

1.2 ด้าน KINEICS เป็นการหาแรง(FORCE) และแรงบิด(TORQUE) ที่กระทำกับ JOINT ต่างๆ เพื่อให้ได้การเคลื่อนที่ที่ต้องการ



With loads and forces marked, this drive shaft, created in Intergraph's I/MSM mechanical system modeling module, is ready for the kinematic solver, a subset of MDI's ADAMS within I/MSM.

เอกสารนี้เป็นเอกสาร ...น์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ...นำไปใช้

2. วิเคราะห์ความแข็งแรงคงทนของ link ต่างๆ

ศึกษางานที่ออกแบบไปแล้วนั้นว่ามีความคงทนแข็งแรงพอเพียงหรือไม่ ซึ่งในบางครั้งการคำนวณหาสมการเป็นไปได้ยาก ถ้ารูปทรงสลับซับซ้อนอาจจะต้องสร้างแบบจำลองของจริง(PROTOTYPE)ขึ้นมาแล้ว จึงนำไปทดสอบในสภาพแวดล้อมต่างๆกันที่ใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมจริงๆ ซึ่งไม่สะดวกและเสียค่าใช้จ่ายที่สูง ดังนั้นจึงใช้ FINITE ELEMENT ANALYSIS (FEA) ในการแก้ปัญหาที่เกี่ยวกับความเค้น(STRESS) และความเครียด(STRAIN) ที่เป็นเชิงเส้น และไม่เป็นเชิงเส้น ในที่นี้เราใช้โปรแกรมชื่อ PATRAN มาวิเคราะห์ทางด้านความเค้นในระนาบต่างๆ, ความเค้นหลัก, ความเค้นประสิทธิผล รวมทั้งการขจัด(DISPLACEMENT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
การใช้งานคอมพิวเตอร์ ช่วยในการออกแบบและวิเคราะห์

1.1 หัวข้อทั่วไป

โดยส่วนใหญ่แล้วโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ช่วยสำหรับออกแบบ และ วิเคราะห์ แบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ CAD, CAM และ CAE ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้:

1) CAD (COMPUTER AIDED DESIGN)

-GEOMETRIC MODELING เป็นการออกแบบรูปทรงทางเรขาคณิต ซึ่งมีทั้ง 2-D และ 3-D แบ่งเป็น 3 วิธี คือ

ก) WIREFRAME -แบบโครงเส้นลวด

ข) SURFACE MODELING -แบบพื้นผิวมีหลายชนิด รวมทั้งรูปแบบ NURB (NON-UNIFORM RATIONAL B-SPINE) ซึ่งมีมากที่สุดถึง 24th ORDERและรูปแบบBEZIER SURFACE

ค) SOLID MODELING -แบบรูปทรงตัน มีความแม่นยำและรายละเอียดของรูปทรงเรขาคณิตที่มีมากกว่า สามารถหาคุณสมบัติเชิงมวล (MASS PROPERTIES)ของรูปทรงตันได้ เช่น มวล, ปริมาตร,พ.ท.ผิวทั้งหมด, C.G., MOMENT OF INERTIA เป็นต้น

-DESIGN / DRAFTING เป็นการนำฐานข้อมูล(DATABASE)จากการออกแบบข้างต้นมาสร้างด้านต่างๆ(VIEWS) รวมทั้งภาพตัดขวาง(CROSS SECTION) หากต้องการ

-IGES ACCOMMODATION เป็นการแปลงข้อมูลให้เป็นมาตราฐานเดียวกันของISO ซึ่งทำให้สามารถใช้ร่วมกับโปรแกรมอื่นได้ ซึ่งใน AUTOCADมีการแปลงเป็น IGES(INITIAL GRAPHICS EXCHANGE SPECIFICATION) ด้วยเช่นกัน

-FINITE ELEMENT MODELING(FEM) เป็นการแบ่งชิ้นส่วนต่างๆด้วย node ให้เป็น element ย่อยๆ ซึ่งใช้ทั้งก่อนและหลังในการวิเคราะห์ ทางด้าน FINITE ELEMENT ANALYSIS (FEA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป

2) CAE (COMPUTER AIDED ENGINEERING)

-MACHINE ELEMENTS ใช้กำหนดรูปทรงทางเรขาคณิตของเฟือง, เพลา และลูกเบี้ยวที่ใช้เป็นส่วนประกอบในการออกแบบ รวมทั้งใช้ตัวแปรต่างๆ ดังนี้ โดยในเฟืองใช้จำนวนฟันและขนาด PITCH เป็นต้น เป็นตัวแปรในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของฟัน, ความคงทนของผิว และความล้าส่วนของเพลา จะใช้ตัวแปรความยาว, รัศมีของหน้าตัด, ภาระ และตำแหน่งของภาระในการวิเคราะห์น้ำหนัก , ความเร็ววิกฤติ และความล้า ไม่ว่าจะเป็นเพลากลมหรือเพลาทรงเหลี่ยม จะมี FILLET , KEYWAY และ CIRCULAR GROOVE ก็ได้ ส่วนของลูกเบี้ยว จะใส่ตัวแปรการเคลื่อนที่ของรูปร่างของลูกเบี้ยว และการเคลื่อนที่ที่ต้องการออกมา ซึ่งจะวิเคราะห์ถึงขนาดที่เหมาะสม , PRESSURE, ANGLE, TORQUE ที่ใช้, กำลังขับที่ต้องการ และทำนายอายุการใช้งานของลูกเบี้ยวนั้น

-MECHANISMS ใช้สำหรับออกแบบ, วิเคราะห์ และจำลองแบบ (SIMULATION) โดยสามารถเปลี่ยนตำแหน่งของ JOINT และความยาว LINK ได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งสามารถหาแรงกระทบกับภาระ, แรงบิด, ตำแหน่ง, ความเร็ว, ความเร่ง และ SYNTHESIS ของ LINKAGE ที่ต้องการ อาจแสดงผลออกมาในรูปของตาราง หรือแผนภาพก็ได้

-UG / PATRAN ใช้ส่งผ่านฐานข้อมูล (DATABASE) ของรูปทรงวัตถุ ใช้วิเคราะห์ปัญหาที่เป็นเชิงเส้น และไม่เป็นเชิงเส้นของความเค้น, ความร้อน, PLASTIC FLOW, MECHANISMS และ พลศาสตร์ของไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) CAM (COMPUTER AIDED MANUFACTURING)

-BASIC MACHINING หลังจากที่ได้ออกแบบชิ้นส่วนต่างๆด้วยCAD โดยแปลงเก็บไว้ในรูป IGES FORMAT แล้วสามารถนำมาใช้วิเคราะห์จำลองคำนวณหาทางเดินของเครื่องมือ(TOOLPATHS) ที่เหมาะสม โดยกำหนดตัวแปรต่างๆเช่น ชนิดของเครื่องมือ, speed, feed, ชนิดของcoolant และระยะของclearance โดยไม่ต้องมาเขียนโปรแกรมกำหนดทางเดินของเครื่องมือเองเช่น โปรแกรม G-CODE โดยจะแสดงผลการทำงานตลอดการคำนวณซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรบางตัวเพื่อแสดงแนวทางเดินใหม่ได้อย่างรวดเร็ว

-PLANER MILL การกัดแนวระนาบสามารถกัดชิ้นงานในรูปแบบต่างๆได้ รวมทั้งการเจาะนำร่อง

-SURFACE MACHINING สามารถจะเลือกแกนของเครื่องมือได้ 3-5 แกนทางเดินเครื่องมือ

-CAVITY MILLING ใช้ในการทำ mold, die และ forging die

-LATHE ใช้สร้างโปรแกรมกลึงผิวลักษณะต่างๆ, คว้านรู, เซาะร่อง และกลึงเกลียว

1.2 คำสั่งทั่วไปเกี่ยวกับระบบ CAD/CAM

software นี้ ในประเทศไทย ยังไม่มีการพิมพ์ หรือ แปลวิธีการใช้ออกมา หรือ สรุปเป็นคู่มือภาษาไทย ดังนั้น ผู้ที่ใช้จะต้องอ่านจากคู่มือภาษาอังกฤษ (manual) สำหรับผู้เริ่มต้นใหม่ ความรู้ในบทนี้ จะช่วยให้ สามารถใช้ software ได้ในขั้นต้นเพียงบางส่วนเท่านั้น

1.2.1 หัวข้อทั่วไป

UNIGRAGHIC II เป็นชื่อ software ของบริษัท Mcdonnel Douglas ส่วน cad/cam นั้นเป็นระบบการทำงานบางส่วนใน software นี้ซึ่งระบบการทำงานทั้งหมดใน software ได้แก่

- design and drafting
- modeling

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- cae
- manufacturing operations
- sheet metal
- user function
- file utilities
- system management
- grip
- quality control
- ugconcept
- instal active part

ซึ่งรายละเอียดต่างๆ ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 1.1 แล้ว

1.3 คำสั่งพิเศษ (PFK-MENU)

1.3.1) การกำหนด file สำหรับกระทำการต่างๆ

หลังจากเข้า software แล้ว สิ่งสำคัญสิ่งแรก คือ เลือก file สำหรับเก็บข้อมูลที่ต้องการ มีวิธีการตามลำดับดังนี้

1.เลือก system parameter บน menu มุมล่างขวา

2.เลือก file access

3.เลือก current directory

และพิมพ์ directory ที่ใช้เก็บข้อมูล (enter)

1.3.2) การเริ่มต้นการทำงาน

หลังจาก กำหนด directory ที่ต้องการติดต่อกับ file แล้วสิ่งที่ต้องทำต่อไป คือ เลือก mode การทำงาน (1-4) หลังจากเลือก mode แล้ว โดยส่วนใหญ่ จะต้องเลือกวิธีการทำงานกับfile ใน 3 วิธี ดังนี้

1.รับ file มาแก้ไข เลือก retreive existing part

2.สร้าง file ใหม่ เลือก create new part

3.แสดง file ทั้งหมด (ในนามสกุล .prt) เลือก list parts

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.3) การสิ้นสุดการทำงาน

มี 3 กรณี คือ ออกจาก software หรือ บันทึกข้อมูล (file)หรือ ออกจาก file เดิมเข้า file ใหม่

-กรณี ออกจาก software 1.เลือก do not file part
2.เลือก log out or exit

-กรณี บันทึกข้อมูล 1.เลือก achieve format
2.เลือก continue current part

-กรณี ออกจาก file เข้า file ใหม่
1.เลือก do not file part
2.เลือก start new session
3.กระทำการตามหัวข้อ 1.3.2

1.3.4) การกำหนดจำนวนกรอบภาพในการทำงาน

เราสามารถเลือกว่า จะแสดงรูป drawingในลักษณะภาพต่างๆดังนี้ ภาพด้านบน(top), ภาพด้านหน้า(front), ภาพด้านขวา(right), ภาพด้านซ้าย(left), ภาพ isometric(tri-iso) เป็นต้น โดยมีวิธีการเลือก ดังนี้

1.เลือก display control ประกอบด้วยคำสั่งสำคัญดังนี้
layout control, surface/solid display, auto max/min

2.เลือก layout control มีคำสั่งสำคัญดังนี้
-create layout เป็นการกำหนดลักษณะภาพและจำนวนกรอบภาพตามต้องการ เลือกจำนวนกรอบภาพก่อน(1, 2, 4, 6 รูป) หมายถึง บนกระดาษ 1 แผ่น สามารถจะแสดงลักษณะของภาพต่างๆพร้อมกัน เช่น เลือกแสดง ภาพด้านหน้า, ภาพด้านขวา เป็นต้น ต่อไปเลือกลักษณะภาพแต่ละภาพบนกรอบภาพที่ต้องการ และใส่ชื่อรูปแบบไว้
-save layout

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

032604

-retreive layoutเป็นการรับรูปแบบการแสดงกรอบภาพต่างๆ มาใช้

-replace view in layout เป็นการเปลี่ยนแปลงลักษณะของภาพในกรอบ

ภาพที่ต้องการ โดยเลือกกรอบภาพก่อน และเลือกลักษณะของภาพที่จะวางแทน

หมายเหตุ *ในกรณีต้องการให้ภาพในทุกกรอบภาพ มีขนาดที่เหมาะสมกับกรอบภาพให้เลือก auto max/min จาก display control *

1.3.5) การเลือกแสดงเส้นของภาพ

ในกรณีต้องการให้แสดงเส้นประ หรือ ไม่แสดงเส้นที่มุมโค้ง(ลบมุมคมแล้ว)หรือ ซ่อนเส้นที่ถูกบัง สามารถทำได้ดังนี้

1.เลือก solid/surface display จาก layout control

2.เลือก กรอบภาพที่ต้องการ

3.เลือกลักษณะเส้นที่แสดง (visible)หรือไม่แสดง(invisible)

-แสดงเส้นประ เลือก hidden line

เลือก dashed line

-ซ่อนเส้นที่ถูกบัง เลือก hidden line

เลือก invisible

1.3.6) การวางแกน Coordinate

ก่อนวาดรูปทุกครั้ง ควรวาดแกนลงบนจอภาพก่อน เพื่อทำให้การวาดรูปรวดเร็วและถูกต้อง สามารถวางที่แกนก็ได้ มีวิธีการดังนี้

1.เลือก WCS control

2.กำหนด specific new coordinate

3.เลือกวิธีการกำหนดแกน มี 8 แบบเช่น origin,(X,Y axis), arc center เป็นต้น

ตัวอย่าง. X axis,Y axis เลือกแกนX และแกนY บนจอภาพ

4.ในกรณีต้องการหมุนแกน หลังจากเลือก WCS control จะต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือก rotate wcs ซึ่งมี 6 วิธี เช่น หมุนรอบแกน Xc ทิศจาก Yc ไป Zc ใช้ Xc axis Yc->Zc

5.terminate

1.3.7) การขยาย หรือ ลดขนาดของภาพ

ในกรณีที่ภาพที่ work view ใหญ่หรือเล็ก สามารถแก้ไขโดยการใส่สเกลบนภาพ ดังนี้ เลือก Edit work view ซึ่งมี option:

-new center and scale (การกำหนดจุดศูนย์กลางของภาพใหม่แล้วใส่สเกลที่ต้องการ)

-half or double scale

-auto max-min

หมายเหตุ *ฟังก์ชั่น Edit word view จะกระทำการเฉพาะบน work view เท่านั้น *

*ในกรณีต้องการเปลี่ยนกรอบภาพทำงาน (work view) เลือก change work view จาก Display control และเลือกกรอบภาพที่ต้องการ

1.4 Design and Drafting module

ในส่วนการทำงานนี้(Module) จะเน้นไปที่การสร้างรูปภาพแบบ wire frame และ surface แบบต่างๆ(2-D) ต้องเปลี่ยนเป็น solid ก่อนการหาคุณสมบัติต่างๆเชิงมวลและเชิงปริมาตร ในModuleนี้ประกอบด้วยคำสั่งสำคัญ เช่น point,line,arc,conic เป็นต้น

1.4.1) Entity

หมายถึง ส่วนของชิ้นวัตถุบนจอภาพซึ่งจะเป็นอะไรก็ได้เช่น point, line, spine เป็นต้น หรือตำแหน่งบนจอภาพ ในการกำหนด entity นั้นมีวิธีสำคัญ ได้แก่

1.screen position (เลือกบนจอภาพ)

2.absolute coordinate

3.work coordinate

4.exiting point

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.end point

6.arc center เป็นต้น

1.4.2) คำสั่งง่ายๆ

1.point -จุด

2.line -โดยส่วนใหญ่จะต้องกำหนดจุด 2 จุด

3.arc -กำหนดรัศมี หรือ เส้นผ่านศูนย์กลาง และกำหนดจุดศูนย์กลาง

4.spline -เป็นการสร้าง curve ที่มี slope ต่อเนื่องจากจุดหลายๆจุด

ตัวอย่าง. 1.เลือก spline

2.เลือก knox (general)

3.เลือก automatic

4.เลือก subfunction

5.กำหนดจุดบน curve ที่ต้องการ

6.Enter

1.5 Solid Modeling Module

ใน Module นี้เป็นการสร้าง Solid หรือ Surfaceประกอบด้วยคำสั่งสำคัญดังนี้

1. point/curve creation
2. solid creation
3. solid operation
4. delete
5. assembly เป็นต้น

1.5.1) solid creation เป็นการสร้างของแข็งแบบง่ายๆ มีคำสั่งสำคัญ ดังนี้

1. block เป็นคำสั่งใช้สร้างกล่องสี่เหลี่ยมที่มีขนาดตามต้องการมีวิธีการคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-กำหนดจุดปลายของเส้นทแยงมุม 2จุด

2. cylinder เป็นคำสั่งสร้างของแข็งทรงกระบอก มีวิธีการดังนี้

-กำหนดเส้นผ่านศูนย์กลาง และความสูง

-กำหนดจุดฐาน และแนว vector ของทรงกระบอก

3. sphere มีวิธีการคือ

-กำหนดจุดศูนย์กลางและเส้นผ่านศูนย์กลาง

1.5.2) solid operation เป็นคำสั่งแก้ไขของแข็งโดยใช้ของแข็งต่างๆที่มีอยู่

1. unite เป็นการรวมของแข็งหลายๆอัน เป็นของแข็งอันเดียว

-เลือกของแข็งต่างๆที่ต้องการ

2. subtract เป็นการลบของแข็งโดยของที่ต้องการ

-เลือกของแข็งเป้าหมายและของแข็งที่จะใช้ลบ

3. add features เป็นการเพิ่มเติมลักษณะให้กับของแข็ง เช่น

-hole เป็นการเจาะรูของแข็งโดยวิธีการสร้างทรงกระบอก แต่ไม่ต้องลบรูปออกอีกที

-blend/chamfer การลบมุม มี 2วิธี

- การทำให้มุมโค้ง(blend) เลือกรัศมีและมุมที่ต้องการ
- การตัดมุมเฉียง(chamfer) เลือกมุมที่ต้องการ

1.6 Cae

ใน Unighaphic ii มี module หนึ่ง คือ cae เพื่อทำการส่งข้อมูลระหว่าง softwareนี้กับ software อื่นที่ใช้วิเคราะห์ชิ้นงาน เช่น nastran, patran

1.7 Manufacturing Process

modelนี้ เป็นการออกแบบแนวทางการกัดชิ้นงานด้วย cnc โดยออกแบบเส้นทางที่เครื่องมือเดิน, เครื่องมือ, น้ำหล่อเย็น และดูแนวทางเดินเครื่องมืออย่างคร่าวๆ มีคำสั่งที่สำคัญดังนี้ เช่น boundaries, equipment, planning, library, edit, file control เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7.1) boundaries

เป็นการกำหนดขอบเขตชิ้นงานอย่างถาวร ที่จะกำหนดแนวทางเดินของเครื่องมือ ซึ่งในส่วนของplanning สามารถกำหนดได้ แต่จะแค่ชั่วคราว ประกอบด้วย

1.creation สร้าง boundary ที่ต้องการโดยเลือกบนชิ้นงานตามต้องการ

2.delete ลบ boundary ที่สร้างขึ้น โดยสามารถเลือกลบ bounary ตามต้องการ

3.list เลือก ซ่อนหรือโชว์ bounary ที่ต้องการ

4.blank/unblank

1.7.2) equipment

เป็นการสร้าง tool ที่ต้องการแบบถาวรโดยเก็บไว้กับชิ้นงานเลย (สามารถเก็บใน library ได้ และเรียกใช้ tool จาก library ไปดัดแปลงสู่ชิ้นงานได้) ประกอบด้วยคำสั่งสำคัญดังนี้

1. create เป็นการสร้างเครื่องมือ โดยเลือกชนิดได้ดังนี้

-milling

-drilling

-turning

-grooving

-threading

การสร้างจะต้องกำหนด เส้นผ่านศูนย์กลาง,รัศมีปลายtool, มุม tip และมุม taper เป็นต้น

2.delete เป็นการลบเครื่องมือตามต้องการ

3.list เป็นการแสดงเครื่องมือทั้งหมดที่มีอยู่กับชิ้นงาน

1.7.3) planning

เป็นการวางแผนทางเดินเครื่องมือเพื่อกัดชิ้นงาน โดยเลือกขอบเขตและเครื่องมือที่ต้องการ ประกอบด้วยวิธีการต่างๆ ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- basic machining
- planning milling
- surface milling เป็นต้น

ตัวอย่าง : การ planning แบบ surface milling โดยกำหนดให้แกนเครื่องมือ(tool axis) อยู่บนแกน z ตลอด (fixed axis surface contouring) ประกอบด้วยคำสั่งสำคัญ ดังนี้

1.part geometry กำหนดชิ้นงาน

2.aviod geometry กำหนดตำแหน่งที่เครื่องผ่าน ดังรูป

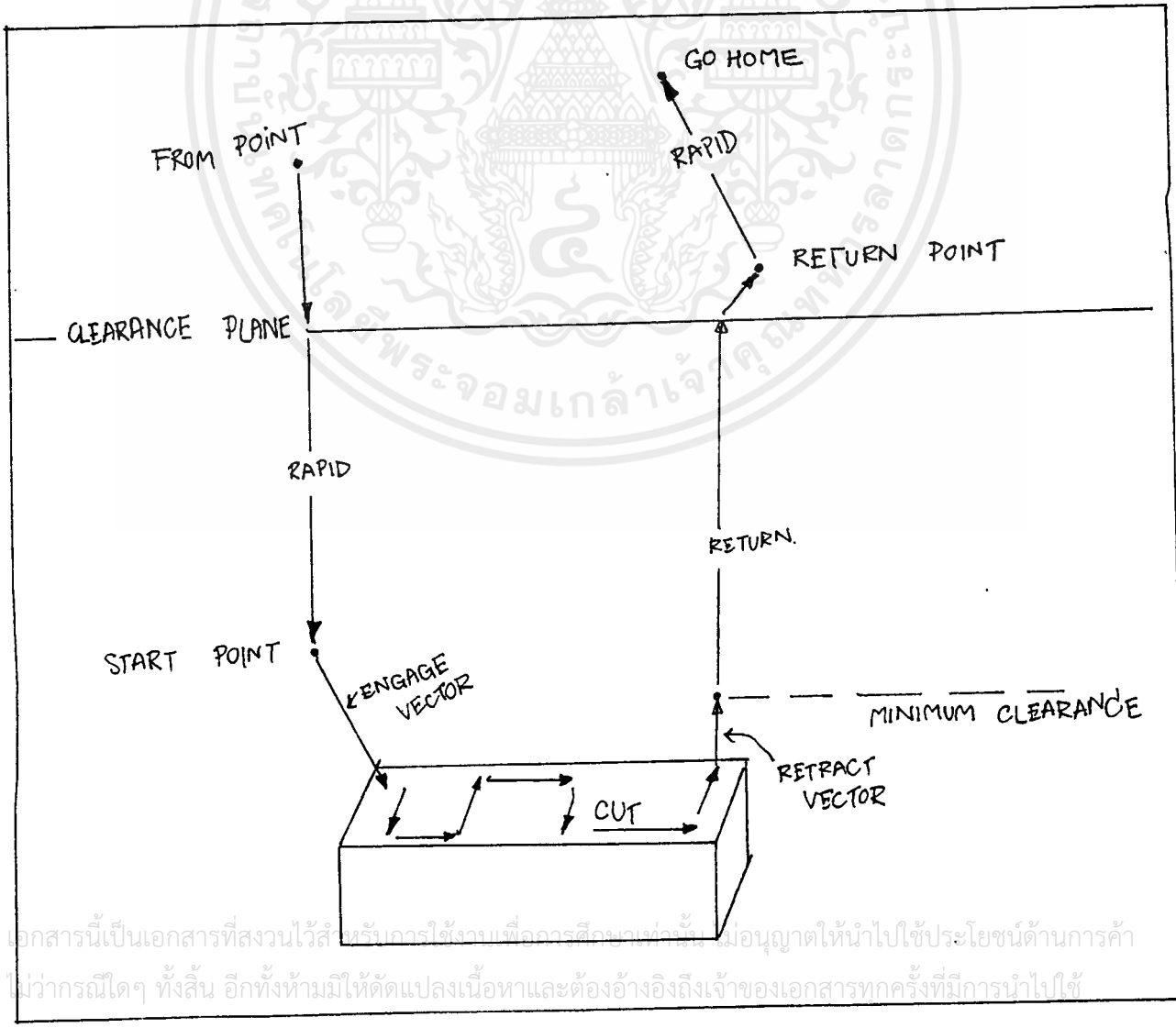
3.display option กำหนดสีทางเดินเครื่องมือ

4.machine control เป็นการเลือกเครื่องมือ

5.feed เป็นการกำหนดความเร็วของเครื่องมือในช่วงต่างๆ

6.engage /retract เป็นการกำหนดแกนเครื่องมือที่เข้า และ ออก

7.drive parameter เป็นการเลือกพื้นผิวทำงาน(boundary)โดยสามารถกำหนดพื้นผิวยกเว้น (island)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2
การวิเคราะห์โดยใช้ CAE

ระบบ CAE(Computer Aid Engineer) สามารถใช้วิเคราะห์ทั้ง 2 ด้าน คือ การวิเคราะห์ Dynamic Design และStructural Design ในการศึกษาครั้งนี้จะเน้นกรณีของ Structural Design มากกว่าและบางส่วนของ Dynamic Designโดยย่อ ทั้งนี้จะใช้โปรแกรมที่ชื่อ PATRAN และโปรแกรม UG ในส่วน Mechanisms Module ตามลำดับ

Structural Design Method using CAE

การวิเคราะห์โดยใช้วิธีทาง Finite Element Analysis นั้นมีวิธีการและขั้นตอนดังนี้ คือ

1.สร้างรูปทรงทางเรขาคณิต (Geometry Model) ซึ่งสามารถสร้างเอง หรือรับข้อมูลรูปภาพ Interface จาก CAD แล้วแต่โปรแกรม

2.สร้าง Finite Element Model(FEA) และกำหนดเงื่อนไขload และboundary เพื่อเป็น(Analysis Model)

3.กำหนดรูปแบบการวิเคราะห์ Finite Element Analysis(FEA)

4.แสดงผลการวิเคราะห์(Evaluate results)

5.ทำซ้ำจนได้ผลที่ต้องการ(Iterate as required)

MCAE STEPS

1. BUILD A GEOMETRY MODEL

2. CREATE AN ANALYSIS MODEL

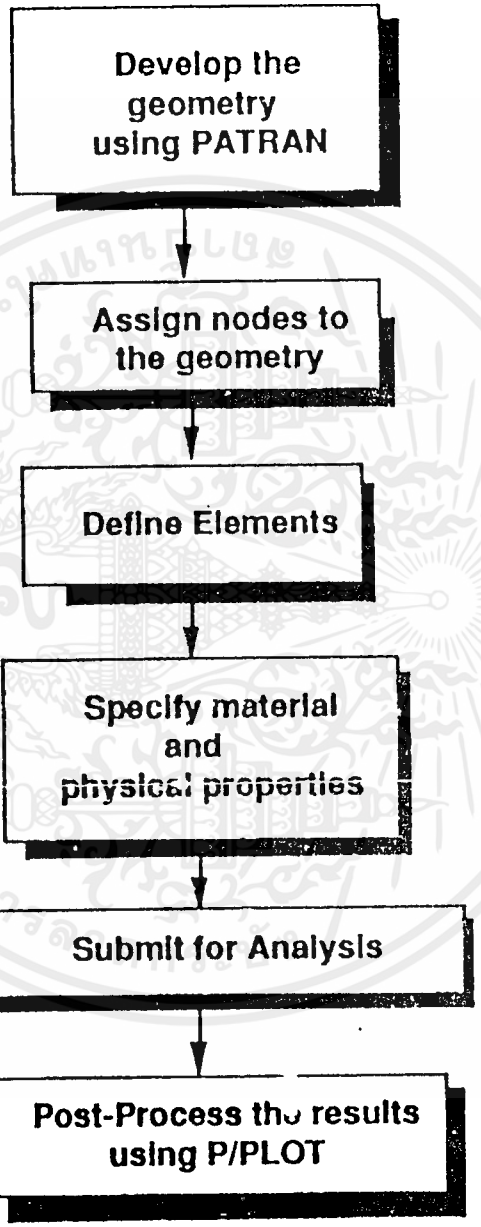
3. PERFORM THE ANALYSIS

4. EVALUATE ANALYSIS RESULTS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

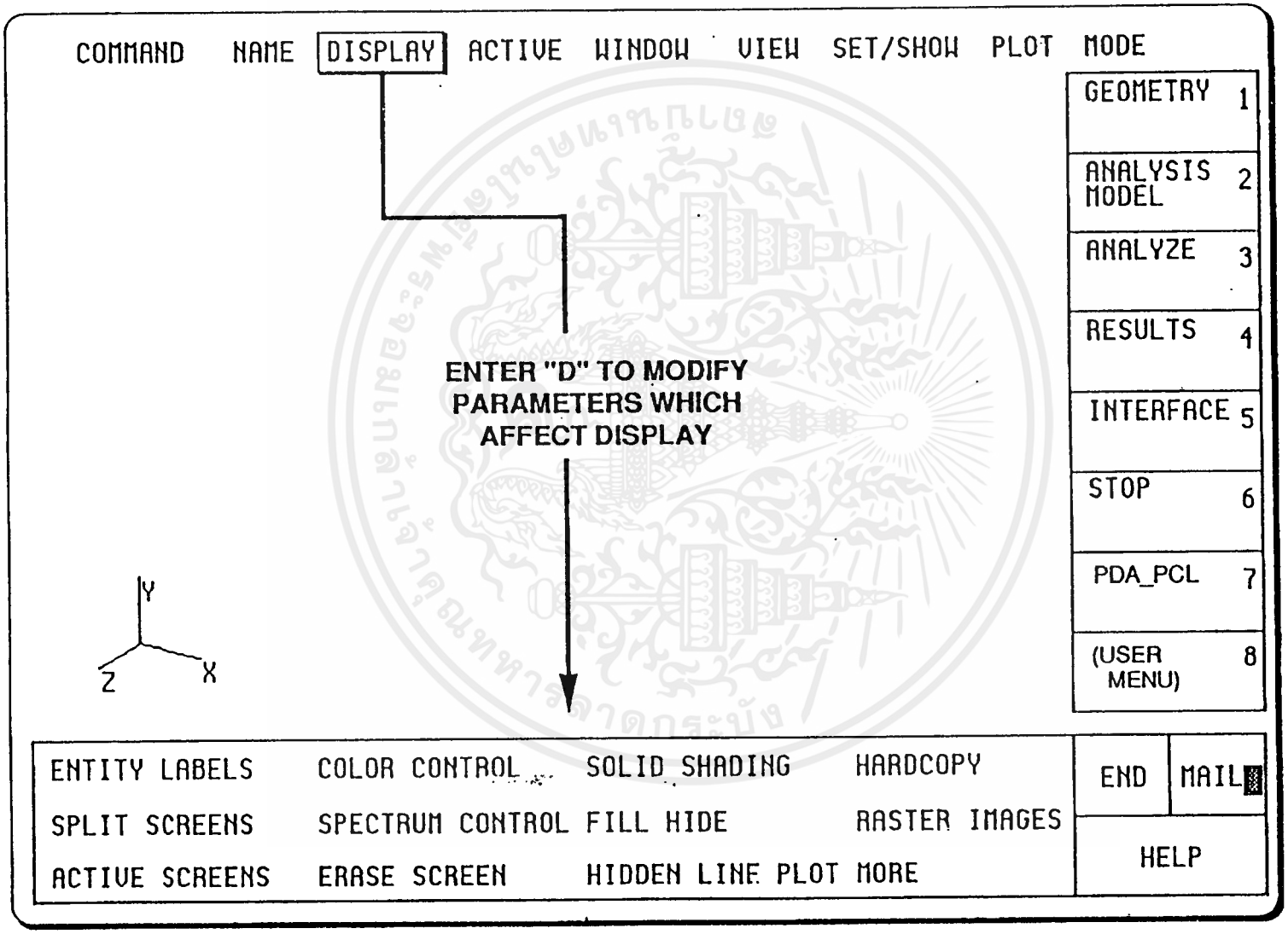
5. ITERATE AS REQUIRED

STEPS IN USING PFEA

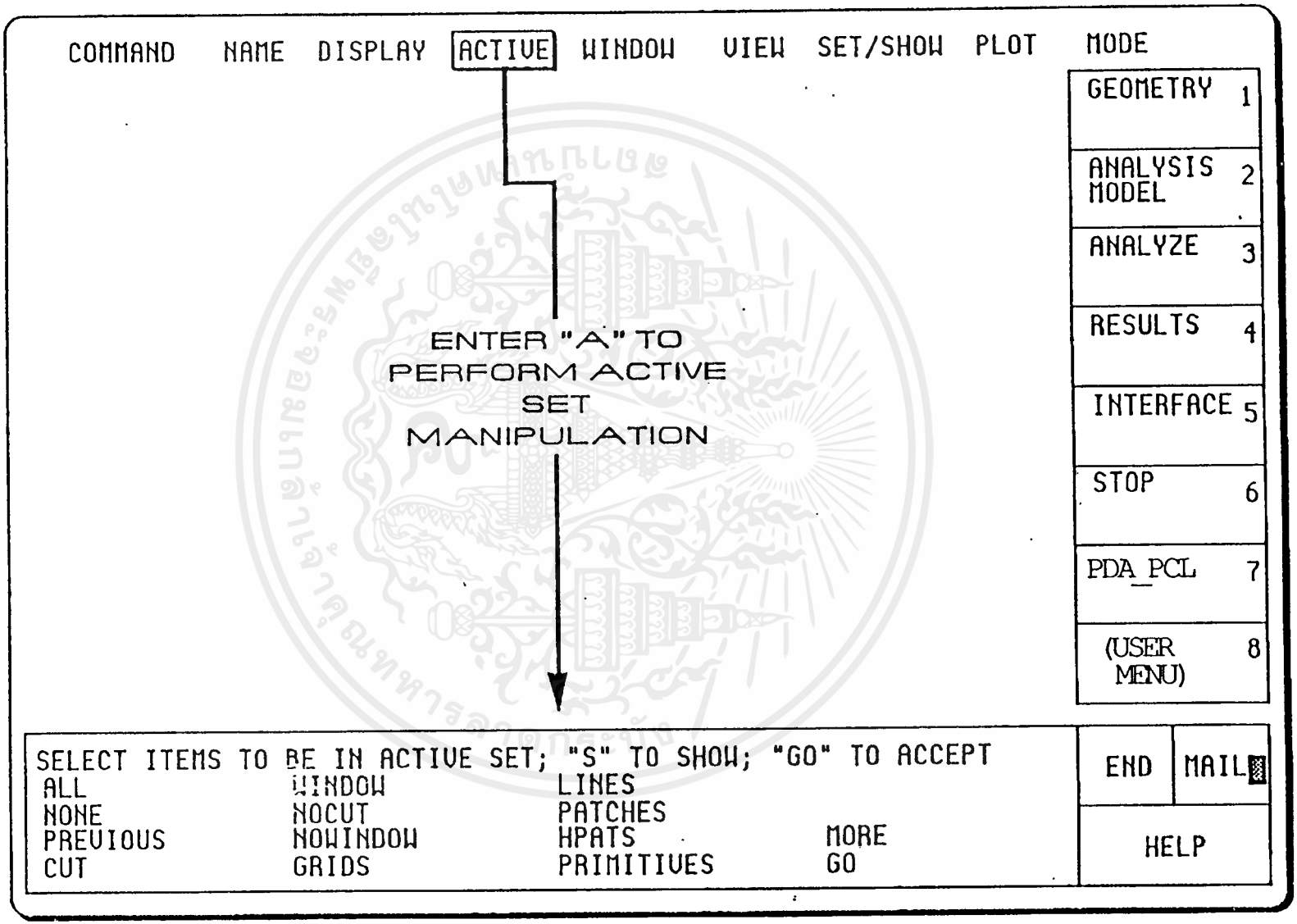


Copyright © 1989, PDA Engineering

"MENU SYSTEM" MODE

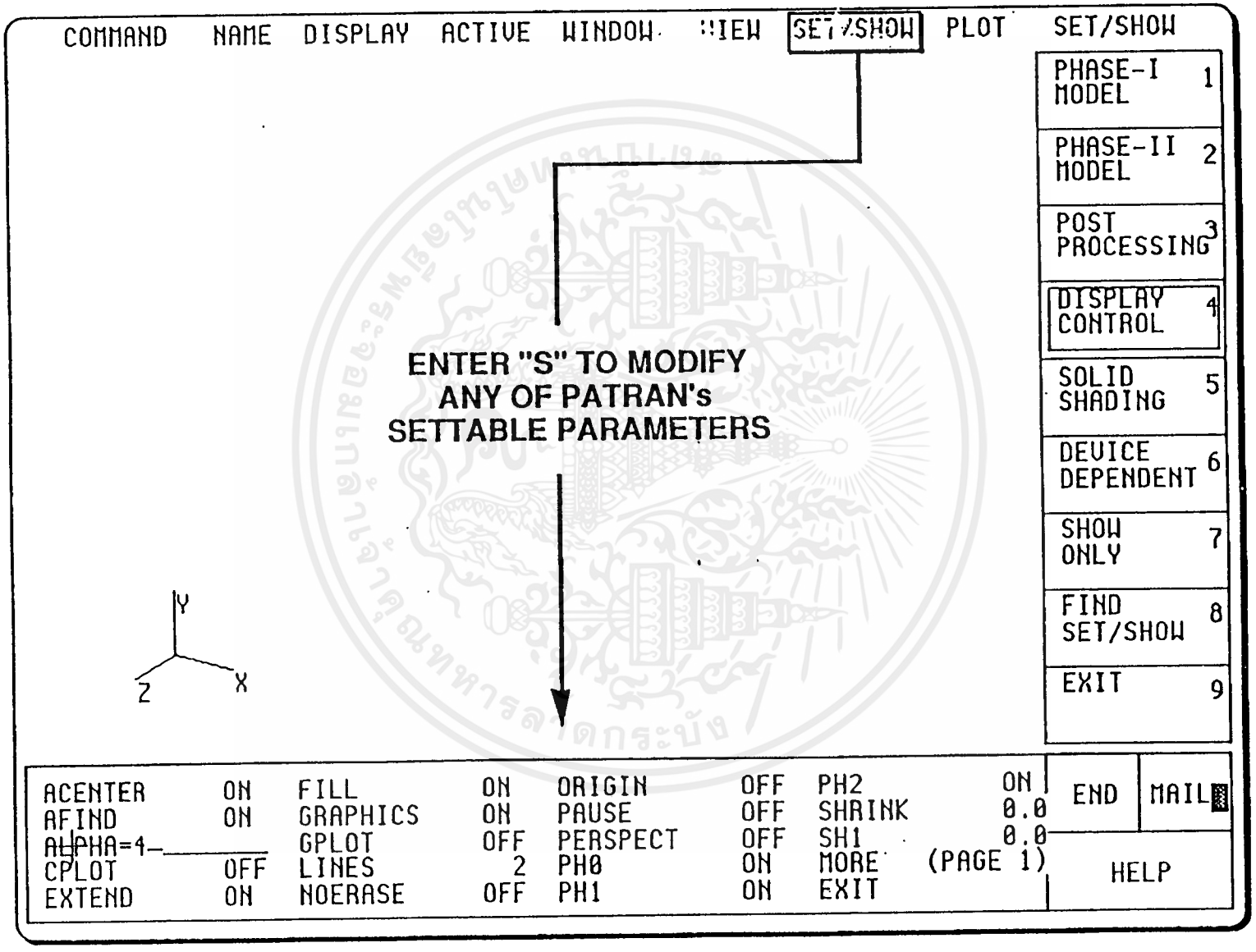


ACTIVE SET CONTROL IN MENU SYSTEM



Introduction to PATRAN Plus; copyright © 1990, PDA Engineering

"MENU SYSTEM" MODE



STEP 1 - BUILD A GEOMETRY MODEL

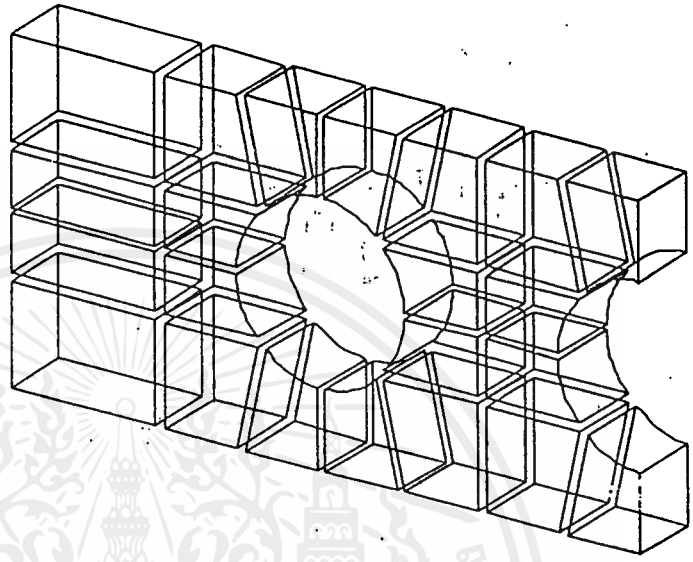
PHASE 1: GEOMETRY MODELING

GRID

LINE

PATCH

HYPERPATCH



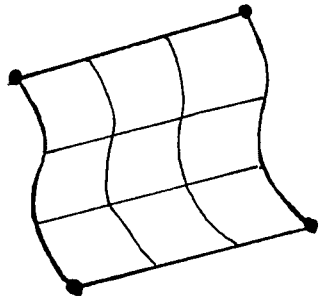
PH1 GEOMETRY MODEL COMPOSED OF HYPERPATCHES

1. <u>สร้างรูปทรงทางเรขาคณิต</u>(Geometry Model)

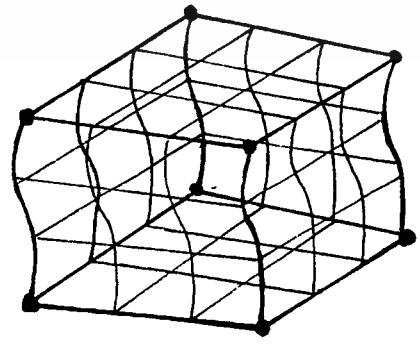
แบ่งออกเป็น 4 รูปแบบเบื้องต้น ดังรูป

GRIDS(GR)

LINES (LI)



PATCHES (PA)



HYPERPATCHES (HP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SUMMARY OF PDA/PATRAN GEOMETRY CONSTRUCTION OPTION

TYPE OF ITEM(s) TO BE BUILT	METHOD OF CREATION					
	DIRECT INPUT	CONSTRUCT FROM—				
		GRID(S)	LINE(S)	PAT(S)	HPAT(S)	OTHER
GRID	BLANK FRAME DZ SP	TRANSLATE ROTATE MIRROR SCALE MSCALE GRID VSUM	LINE CL INTERSECT	PATCH CP	HPAT	PIERCE
LINE	ALG GEOM POINT GAUSS BLANK DZ	STRAIGHT 3 GRID 4 GRID PWL FIT SPLINE ARC ARC3 CONIC INVC CURSOR BEZIER BSPLINE	EXTEND MSCALE BREAK BLEND LABEL TRANSLATE ROTATE MIRROR SCALE MERGE NUP VSUM REVERSE FILLET TANL	INTERSECT PATCH 4L	HPAT	PROJECT 2 NODE 3 NODE 4 NODE F NODE TANG
PATCH	ALG GEOM POINT GAUSS BLANK	QUAD 16 GRID CURSOR BEZIER BSPLINE	2 LINE 3 LINE 4 LINE EDGE ARC GLIDE NORM	MSCALE BREAK BLEND LABEL TRANSLATE ROTATE MIRROR SCALE NUP VSUM REVERSE FILLET MATCH	HPAT 4P	
HPAT	ALG GEOM POINT GAUSS BLANK	HEX 64 GRID CURSOR BSPLINE BEZIER	EDGE 16L	2 PATCH 3 PATCH 4 PATCH ARC GLIDE NORM FACE EXTRUDE	MSCALE BLEND LABEL TRANSLATE ROTATE MIRROR SCALE NUP VSUM REVERSE	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1) สร้างจากคำสั่งในตัวโปรแกรมเอง

มี PATRAN command syntax คือ

NAME,OUTPUT-LIST,OPTION,DATA,LIST1,LIST2

N ,O ,O ,D ,L ,L

มีรูปแบบคำสั่งต่างๆ เช่น

GRID,id-list,,$X_1/Y_1/Z_1/X_2/Y_2/Z_2/...$

[LINE / PATCH / HPAT],id-list,,x-len/y-len/z-len(/$x_o/y_o/z_o$)

[LINE / PATCH / HPATCH],id-li,[2G / 2L / 2P],,[grid-li-1 / line-li-1 / patch-li-1],[grid-li-1 / line-li-1 / patch-li-1]

ตัวอย่าง HP,#,2P,,1,2 (THE "2" FAMILY)

PA,11T14,ARC,5(0)/1/180,3/6 (THE ARC FAMILY)

PA.28#,ROT,5(0)/1/11.25,1T4 (THE ROTATE FAMILY)

GR,4T10B3,TR,2/1,1 (THE TRANSLATE FAMILY)

PA,8,SC,2,1 (THE SCALE FAMILY)

PA,10#,MIR,X/5/3,1T10 (THE MIRROR FAMILY)

HP,#,NO,1.5,1 (THE NORMAL FAMILY)

GR,,INT,,1T3,4T7 (THE INTERSECT FAMILY)

HP,1/#,BR,P3,1 (THE BREAK FAMILY)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2)รับข้อมูลรูปภาพ Interface จาก CAD

ในที่นี้ใช้รับการแปลงข้อมูลจาก UG/PATRANในCAE MODULE ของ UGII(Unigraphics II) ไปเป็น Geometry Model ที่ PATRAN เข้าใจได้โดยสามารถเลือกรูปแบบการแปลงได้ 3 แบบดังนี้

1.trimmed surface only

2.patch & trimming lines only

3.complete trimmed surface topology

ซึ่งมีผลต่อการเลือกรูปแบบการสร้าง element(การสร้างmeshแบบต่างๆ) ของ PATRANด้วย ในแบบแรกนั้นจะแปลงส่งเฉพาะพื้นผิว(patch) ส่วนแบบที่สองจะส่งเส้น(line)ด้วย ซึ่งเป็นแบบ Geometry จะต่างจากแบบที่ 3 เป็นแบบซึ่งส่งการกำหนดรูปแบบ(format) ว่านั่นเป็นจุด, เส้น, วงกลม หรือพื้นผิวไปด้วย และจะเลือกรูปแบบการเก็บไฟล์ได้ 2 รูปแบบ คือ

1.binaly

2.text

โดยที่มีนามสกุลเป็น .bnf และ .out ตามลำดับ

การเริ่มโปรแกรม PATRAN หลังจากเรียกใช้แล้ว เริ่มจาก

ENTER DEVICE MNEMONIC,"?" OR "STOP":

เลือกใส่ xwn

เลือก GO (SES เป็นการใช้ PCL ของ PATRAN)

PATRAN DATA FILE? แล้วเลือก 1.NEW

MODE? " 5.INTERFACE

INTERFACE? " 7.IGES

NEUTRAL FILE? " 2.INPUT MODEL

ACTION? " 1.CREATE NEUTRAL

แล้วใส่ชื่อ neutral file data โดยใส่ไฟล์นามสกุล(.bnf หรือ .out)ด้วย

MODE? แล้วเลือก 2.ANALYSIS MODEL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STEP 2 - CREATE AN ANALYSIS MODEL

PHASE 2: ANALYSIS MODELING

MESH (NODES & ELEMENTS)

DFEG (LOADS/BC's)

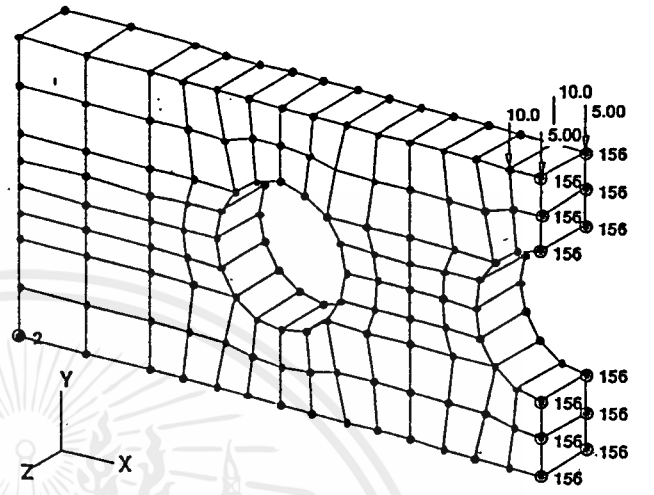
PMAT (MATERIALS)

PFEG (PROPERTIES)

VERIFY

EQUIVALENCE

OPTIMIZE



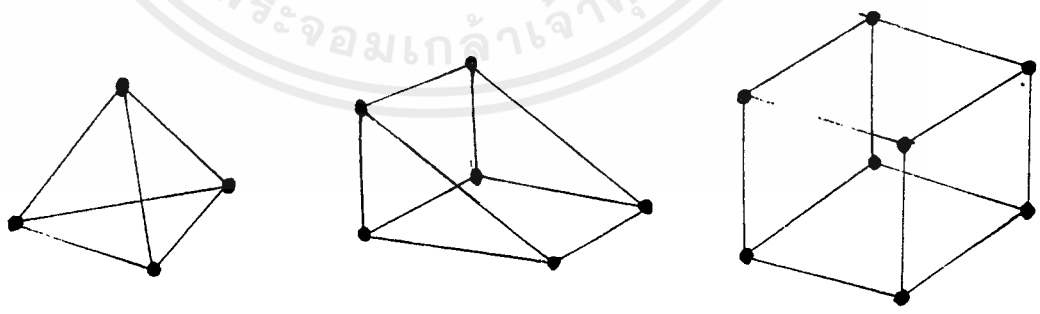
PH2 ANALYSIS MODEL

2.การสร้างFinite Analysis Model(FEM) และกำหนดเงื่อนไข

โดย FEM แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1)Continuum elements (3-D)

มี 3 D.O.F. per node (ΔX,Δy,ΔZ)สร้างelementได้ 3ชนิด



TETRAHEDRAL (4 FACES)

WEDGE (5 FACES)

HEXAHEDRAL (6 FACES)

*3-D SOLID

*2-D SOLID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในทางปฏิบัติมักใช้ Structural elements ซึ่งจะประหยัดทั้งเวลาและเงิน

2)Structural elements

โดยใช้สมมติฐานทาง Kinematic ในแง่ของทิศทางตำแหน่งที่ ความเค้นกระทำ และความหนาแน่นของ element ฯลฯ เพื่อพิจารณาเลือกชนิดของ element (มีทั้ง 2-D และ 3-D) ถ้าเป็น

trusses -จะยาวมาก และรับความเค้นในแนวตามความยาว มี 3 d.o.f. per node

bar/beam-จะยาวมากและรับ bending moment และshear มี 6 d.o.f. per node

membrane/plate/shell -มี 5 d.o.f. per node ไม่มีการหมุนในแนวตั้งฉากกับระนาบ

plane -ความเค้นกระทำในแนวเดียวกับระนาบ ไม่มีbending มี 2 d.o.f per node ตามแนวระนาบ

axisymmetric -ความเค้นกระทำในแนวตั้งฉากกับพื้นผิว

1.<u>วิธีการสร้าง</u> มีได้ 3 แบบ คือ

1)MESH

2)SURFACE

3)GFEG,CFEG

1)รูปแบบ <u>MES</u>H,lph-ids,element-type,option,data(,prop-id/ element-data,cid/node-type,node-ids,element-ids)

โดย lph-ids -เช่น P1T# ,3L ฯลฯ

element-type - BAR/BEAM

QUAD or TRI

HEX or WEDGE

* กำหนดตามคุณสมบัติที่ต้องการวิเคราะห์ดังแสดงไว้ในตารางหน้าที่ *

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Element Type	Description	Analysis Types* S	M	B	HT	NL	TD
BAR, BAR/2, BAR/2/0 or BAR/2/1	2 noded 3-D tapered unsymmetrical beam element	X	X	X	X	X†	X
BAR/2/3	2 noded spar element	X	X	X	X	X†	X
BAR2/4	2 noded rigid element	X	X	X		X	X
BAR/2/6	2 noded spring element	X	X	X		X	X
BAR/2/7	3-D mass element with rotational inertia	X	X	X		X	X
BAR/2/8	2-D mass element	X	X	X		X	X
BAR/2/9	3-D gap element	X					
TRI, TRI/3 or TRI/3/0	3 noded triangular shell element	X	X	X	X	X	X
TRI/3/1	3 noded triangular plane stress element	X	X	X	X	X	X
TRI/3/2	3 noded trianguiar axisymmetric element	X	X	X	X	X	X
TRI/3/3	3 noded trinaguiar plane strain element	X	X	X	X	X	X
TRI/6 or TRI/6/0	6 noded triangular shell element	X	X	X	X		
TRI/6/1	6 noded triangular plane stress element	X	X	X	X	X	X
TRI/6/2	6 noded triangular axisymmetric element	X	X	X	X	X	
TRI/6/3	6 noded triangular plane strain element	X	X	X	X	X	X
QUAD, QUAD/4 or QUAD/4/0	4 noded quadrilateral shell element	X	X	X	X	X	X
QUAD/4/1	4 noded quadrilateral plane stress element	X	X	X	X	X	X
QUAD/4/2	4 noded quadrilaterial axisymmetric element	X	X	X	X	X	X
QUAD/4/3	4 noded quadrilateral plane strain element	X	X	X	X	X	X
QUAD/8 or QUAD/8/0	8 noded quadrilateral shell element	X	X	X	X		X
QUAD/8/1	8 noded quadrilateral plane stress element	X	X	X	X	X	X
QUAD/8/2	8 noded quadrilateral axisymmetric element	X	X	X	X	X	X
QUAL8/3	8 noded quadrilaterial plane strain element	X	X	X	X	X	X
TET or TET/4 or TET/4/0	4 noded tetrahedron element	X	X	X	X		X
TET/10 or TET/10/0	10 noded tetrahedron element	X	X	X	X		X
WEDGE or WEDGE/6 or WEDGE/6/0	6 noded wedge element	X	X	X	X	X	X
WEDGE/15 or WEDGE/15/0	15 noded wedge element	X	X	X	X		X
HEX or HEX/8 or HEX/8/0	8 noded hexahedron element	X	X	X	X	X	X
HEX/20 or HEX/20/0	20 noded hexahedron element	X	X	X	X		X

*S = STATIC, M = MODAL, B = BUCKLING, T = HEAT TRANSFER, NL = NONLINEAR, TD = TRANSIENT DYNAMICS

†If used in a nonlinear analysis, the formulation of these elements remains linear.

Copyright © 1989, PDA Engineering

option -ISO แล้ว DATA ใส่ค่าความยาวขอบelement

-NUMBER " จำนวนelement และ mesh ratio

-LENGTH " ความยาวขอบ ,จำนวน element และmesh ratio

* สำหรับ HP คิดในทิศทางความลึก *

2)รูปแบบ SURFMESH

เรียกจาก MODE MENU เข้า 7.PDA_PCL

เลือก 8.GENERATE MESH

ใช้กับ model ที่ส่งจาก CAD ทั่วไป

PHASE 0(Primetive model) ของPATRAN

* ไม่สร้าง ตารางCFEG *

3)รูปแบบ GFEG,lph-id,(node-type),mesh(/ratios,cid)

เป็นการสร้าง node เช่น GF,H4,,3/4/3

GF,P5,,3/4

* ซึ่งสามารถเปลี่ยนขนาด node ได้โดยคำสั่ง SET,SHR,ขนาด *

CFEG,id-lph,element-type(/nodes/configuration)(,pattern)

เป็นการสร้าง element ของ node ที่สร้างจาก GF เช่น

CF,H4,HEX

CF,P5,QUAD

NODAL EQUIVALENCING

มี 2 แบบ คือ 1.Geometric ใช้เลื่อน node ที่ชิดกันในแนวเส้นเดียวกันให้ทับเป็น node เดียวกัน โดยมีระยะtolerance แล้วแต่กำหนด

2.Topologic ช้ากว่าแบบแรก เปรียบเทียบคู่ node โดยเทียบจุดมุมของขอบและพื้นผิว แต่ต้อง RUN,SAVE(COPY) ก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การกำหนดเงื่อนไข LOADS และ BOUNDARY

รูปแบบ DFEG,id-lph, [PRES / FORC / DISP / TEMP / NSRC / HEAT / CONV / RADI / VFAC] ,data(,sid, [NODE / ELEMENT / EDGE / FACE] ,cid-list)

เช่น DFEG,id-lph,DISP,ΔX/ΔY/ΔZ/θX/θY/θZ(,sid, [NODE / EDGE / FACE] ,cid)

โดย null = FREE D.O.F.

0 = FIXED D.O.F.

any other no. = FORCED Δ_o หรือ θ_o

ตัวอย่าง DF,P5,DISP,6(0),300,ED2

DF,P5,DISP,//0,300,ED4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบ

DFEG,id-lph,PRES [/E/N],P_1/P_2/P_3/M_1/M_2/M_3(,sid, [ELEMENT / EDGE / FACE])

default=/E

ตัวอย่าง DF,P3,P,//-18,100

รูปแบบ DFEG,id-lph,TEMP [/E/N],temperature(,sid, [NODE / ELEMENT / FACE / EDGE])

ตัวอย่าง DF,P8,TEMP,788

DFEG EDITING

เป็นวิธีใส่เงื่อนไขเพิ่มเติม

รูปแบบ

[PRES / FORC / DISP / TEMP / NSRC / HEAT / CONV / RADI / VFAC] , [blank / lph-id-list / elem-id-list / node-id-list / coord-valve/cid / sid] , [PLOT / ERASE / DELETE / SHOW / REVERSE / MODIFY / ADD] ,set-id

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น FORC,N3@,ADD,100

FORC,R=5/3,ADD,200

FORC,X=2,ADD

DISP,T=30/5,ADD

PRES,Q1T#,REV

TEMP,4N@,SHOW

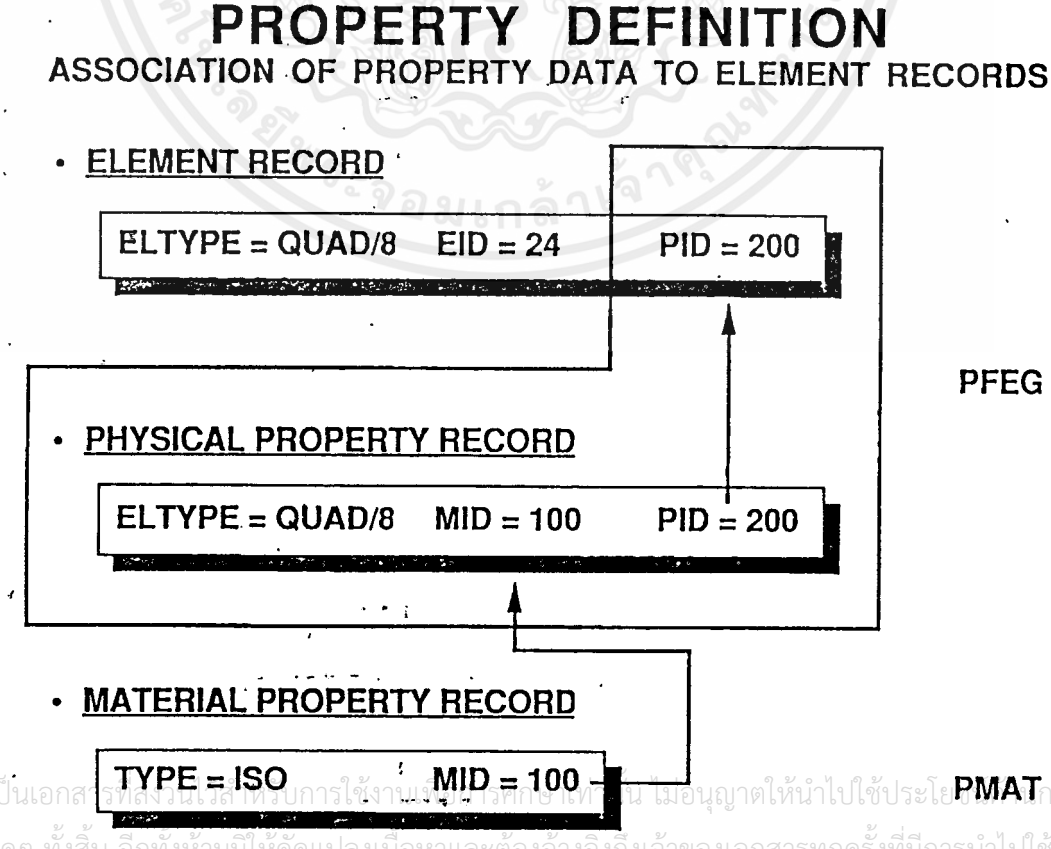
*โดยมีคำสั่งสำคัญอีก คือ SHOW,DF แสดงidของload

RUN,DF แสดงสร้างใหม่และแสดงผลเป็นตาราง*

นอกจากนี้สามารถใช้ฟังก์ชั่นใน PCL LIBRARY สร้างสมการของแรง,ความดัน ,อุณหภูมิ ฯลฯ มาใช้ได้

การกำหนดคุณสมบัติของ element

มีการส่งผ่านค่า PID และ MIDระหว่างกันและกันดังแสดงไว้ในรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยคุณสมบัติของelementจะกำหนดอยู่ 2 ชนิด คือ

1)คุณสมบัติทางกายภาพ

PFEG,id-lph,etype/nodes/configuration,data(,pid)

โดย data-เป็นรหัสที่จะinterface(analysis code)->MIDดังแสดงไว้ในตารางข้างใต้นี้

Table 2-2. P/FEA Element Physical Properties

Finite Element	Properties
BAR/2	MID/AREA1/IZ1/IY1/TKZB1/TKYB1/IX1/ AREA2/IZ2/IY2/TKZB2/TKYB2/IX2/ SHEARZ/SHEARY/TKZT1/TKYT1/TKZT2/TKYT2/ ARESZ1/ARESY1/ARESZ2/ARESY2/TSF1/TSF2
BAR/2/3	MID/AREA
BAR/2/4	none
BAR/2/6	blank/KELAS/KTORS/IDIR
BAR/2/7	blank/MX/MY/MZ/IX/IY/IZ
BAR/2/8	blank/MX/MY
BAR/2/9	blank/GW/GSTIFF/GSTATUS
TRI/3	MID/T1/T2/T3
TRI/3/1	MID/T1/T2/T3
TRI/3/2	MID
TRI/3/3	MID
TRI/6	MID/T1/T2/T3
TRI/6/1	MID/T1/T2/T3
TRI/6/2	MID
TRI/6/3	MID
QUAD/4	MID/T1/T2/T3/T4
QUAD/4/1	MID/T1/T2/T3/T4
QUAD/4/2	MID
QUAD/4/3	MID
QUAD/8	MID/T1/T2/T3/T4
QUAD/8/1	MID/T1/T2/T3/T4
QUAD/8/2	MID
QUAD/8/3	MID
TET/4	MID/CID
TET/10	MID/CID
WEDGE/6	MID/CID
WEDGE/15	MID/CID
HEX/8	MID/CID
HEX/20	MID/CID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{PROP,pid-list,}\begin{bmatrix}\text{ADD}\\ \text{DELETE}\\ \text{LIKE}\\ \text{MOD}\\ \text{SHOW}\end{bmatrix}\text{,eltype,data}$$

2) คุณสมบัติทางวัสดุ

PMAT,MID,OPTION,DATA1,DATA2,DATA3,...

โดยมี option ดังแสดงในตาราง

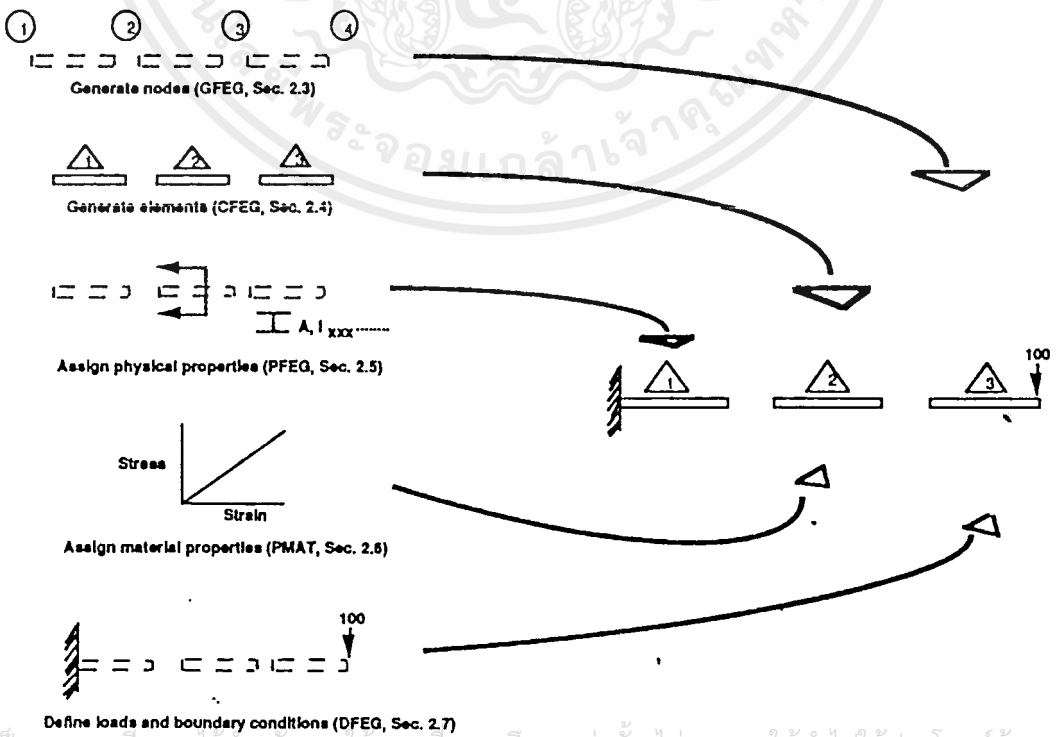
ISO : PM,id,ISO,E,G,ν,ρ,α,,,,,,K

ORT : PM,id,ORT,E_{xx},E_{yy},E_{zz},ν_{xy},ν_{yz},ν_{zx},ρ,G_{xy},G_{yz},G_{zx},α_x,α_y,α_z

TISO : PM,id,TISO,K

LAM : PM,id,LAM(S),ply-thicknesses,ply-orientations,ply-materials list

USEFUL PATRAN COMMANDS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MATERIAL PROPERTIES
FOR BASIC MATERALS

PMAT , MID , OPTION , DATA1 , DATA2 , DATA3 , . . .

"BASIC" MATERIALS:	
OPTION	DESCRIPTION
ISO	ISOTROPIC STRUCTURAL MATERIAL (2 ELASTIC CONSTANTS)
ORT	ORTHOTROPIC STRUCTURAL MATERIAL (9 ELASTIC CONSTANTS)
A3S	3D ANISOTROPIC MATERIAL (21 ELASTIC STIFFNESS CONSTANTS)
A3F	3D ANISOTROPIC MATERIAL (21 ELASTIC FLEXIBILITY CONSTANTS)
ANI	2D ANISOTROPIC MATERIAL (6 ELASTIC CONSTANTS)
TIS	ISOTROPIC THERMAL MATERIAL
TAN	3D ANISOTROPIC THERMAL MATERIAL

MATERIAL PROPERTIES
FOR CONSTRUCTED MATERIALS

- "CONSTRUCTED" MATERIALS INCLUDE 2-PHASE LAMINATES AND COMPOSITES MADE UP OF COMBINATIONS OF "BASIC" MATERIALS

FORMAT:

PMAT , MID , OPTION , DATA1 , DATA2 , DATA3 , . . .

OPTION	DESCRIPTION
HAL	HALPIN-TSAI UNIDIRECTIONAL FIBER / MATRIX COMPOSITE
LAM	LAMINATED COMPOSITE MATERIAL
LAMS	LAMINATED COMPOSITE MATERIAL SYMMETRIC ABOUT MIDPLANE
MIX	GENERAL 3D COMPOSITE MATERIAL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MODEL VERIFICATION

> VERIFY

```
VERIFY? 1. ELEMS 2. BOUNDARIES 3. LOADS/BCS 4. PROPS 5. MATLS 6 MPCS 7. END
```

UNPROMPTED COMMAND

1. ELEMENT VERIFICATION CALCULATES SELECTED ELEMENT ATTRIBUTES & FLAGS UNACCEPTABLE ONES (VEL)

```
VERIFY ELEMENTS? 1. BY SHAPE 2. SPECIAL CHECKS 3. END
```

```
> 1 ELEMENT SHAPE? 1. TRIA 2. QUAD 3. TET 4. WEDGE 5. HEX 6. END
```

```
VERIFY QUADS? 1. ALL 2. ASPECT RATIO 3. WARP 4. SKEW 5 TAPER 6. END
```

SET THE VERIFICATION CRITERION FOR EACH OF THE CHECKS BY USING THE PROPER SET AND SHOW COMMANDS (ie. SET,ASPECT,30).

```
> 2 SPECIAL CHECKS? 1. HOE 2. JACOBIAN 3. NORMALS 4. DUPLICATE 5. CONNECTIVITY 6. END
```

MODEL VERIFICATION

UNPROMPTED COMMAND

2. BOUNDARIES; DOES A RUN,BOUND (VB)

3. LOADS/BC's; PLOTS OR SHOWS SELECTED LOADS & BOUNDARY CONDITIONS FROM THE MENU: (VL)

```
VERIFY LOADS? 1.ALL 2.DISP 3.FORCE 4.PRES 5.TEMP 6.NSRC
              7.HEAT 8.CONV 9.RADI 10.VFAC 11.END
```

4. PROPERTIES; DOES A RUN,ASSIGN,PID & PROMPTS FOR PLOT TYPE (VP)

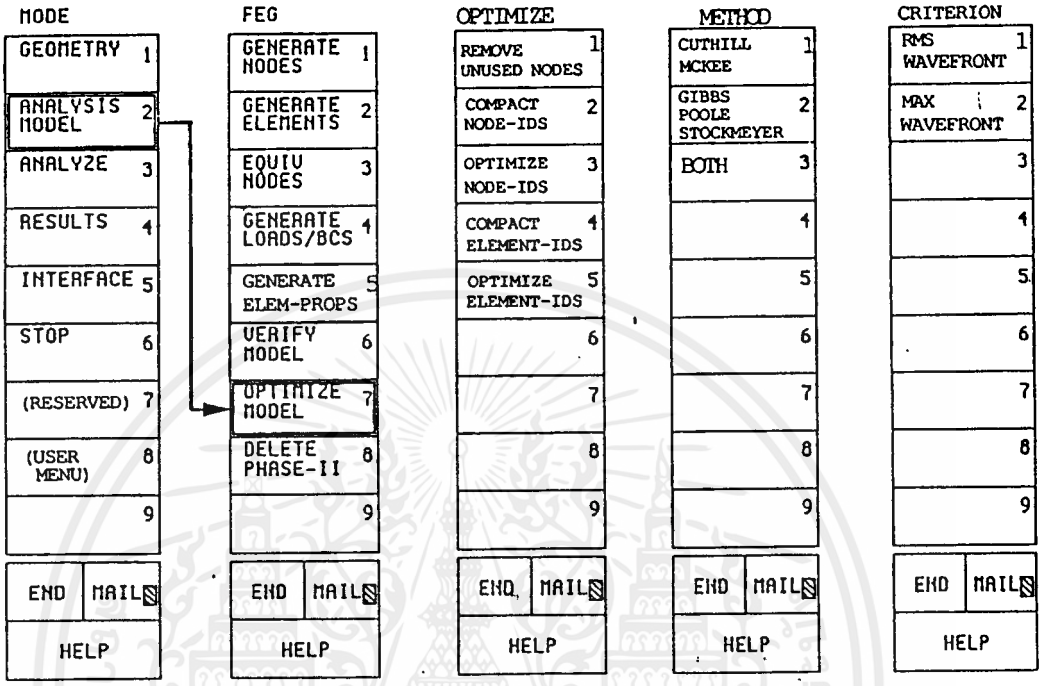
```
DATA VALUES RANGE FROM 0.200E+03 TO 0.500E+03
ASSIGNMENT? 1.AUTO 2.MANUAL 3.SEMI-AUTO 4.THRESHOLD 5.USE CURRENT LEVELS 6.END
```

```
DISPLAY CONTROL? 1.PLOT 2.FILL HIDE 3.LABEL CONTROL 4.END
```

5. MATERIALS; DOES A RUN,ASSIGN,MID & PROMPTS FOR PLOT TYPE (VM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MODEL OPTIMIZATION
PATRAN OPTIMIZATION PROCEDURE



MODEL OPTIMIZATION
OPTIMIZATION RECOMMENDATIONS

CHOICE OF OPTIMIZATION METHODS DEPENDS ON:

- STRUCTURE OF YOUR MODEL
- TYPE OF ANALYSIS (STATIC VS. DYNAMIC, ETC.)

ANALYSIS CODE	NODE OR ELEMENT RESEQUENCING	METHOD	CRITERION
ANSYS*	WAVEFRONT	BOTH	RMS WAVEFRONT
ABAQUS*	WAVEFRONT	BOTH	RMS WAVEFRONT
COSMIC/NASTRAN*	BANDWIDTH	BOTH	RMS WAVEFRONT
MSC/NASTRAN*	BANDWIDTH	BOTH	RMS WAVEFRONT
P/COMPOSITE	BANDWIDTH	BOTH	BANDWIDTH
P/FEA*	BANDWIDTH	BOTH	PROFILE
P/THERMAL	(P/THERMAL will not be affected by optimization. However, element compaction must be performed on a model prior to running P/THERMAL. While it is not required, node compaction should be performed prior to running P/THERMAL.)		

* These codes have their own optimization capabilities

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.การกำหนดรูปแบบการวิเคราะห์ Finite Element Analysis

STEP 3 - PERFORM THE ANALYSIS

P/FEA SETUP MODE

JOB NAME: BEAM
ANALYSIS TYPE: STATIC
ANALYSIS TITLE: BEAM EXAMPLE STATIC ANALYSIS FOR PAT101N
TEMP. DEPENDENT MATL. FILE:

NEUTRAL FILE FORMAT: BINARY
SAVE PRINT FILE: YES

CHECKPOINT: NO
RESTART JOB NAME:

BANDWIDTH MINIMIZATION: YES

LOAD CASE: 1 OF 1

L.C. TITLE:
DISPLACEMENT SET-ID: 1
MPC SET-ID: 0
FORCE SET-ID: 1
PRESSURE SET-ID: 0
TEMPERATURE SET-ID: 0

X-ACCELERATION: 0.
Y-ACCELERATION: 0.
Z-ACCELERATION: 0.
OMEGA: 0.
AXIS OF ROTATION: X

NEXT L.C.
GO TO L.C.
ADD L.C.
REMOVE L.C.

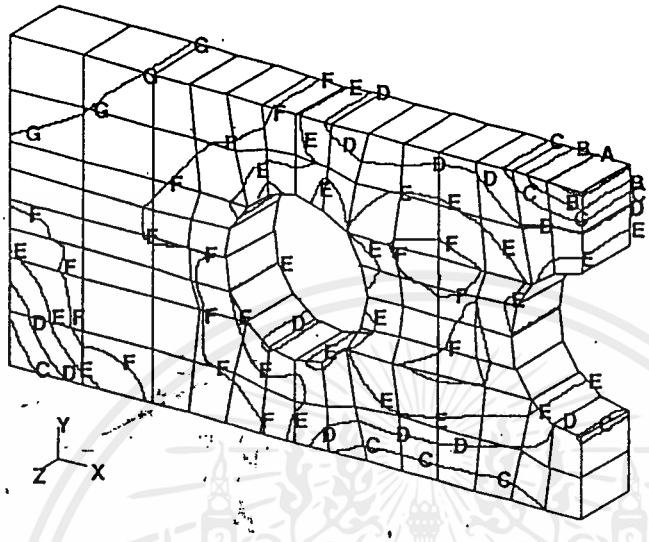
MESSAGES (USE CURSOR OR 'F','B' KEYS TO MOVE - SPACE BAR TO SELECT)

SUBMIT(1) STATUS(2) SHOW(3) ABORT(4) HELP(H) EXIT(E)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.การแสดงผลการวิเคราะห์ (Evaluate Results)

STEP 4 - EVALUATE RESULTS



111. = A
94.4 = B
77.7 = C
61.0 = D
44.3 = E
27.6 = F
10.9 = G

CONTOUR LINE PLOT BASED ON VON MISES STRESS

STEP 5 - ITERATE AS REQUIRED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dynamic Design Method using CAE

-design เลือก machanism ที่มีชื่อหรือสร้างใหม่ ประกอบด้วย

- synthesis
- create
- edit/verify
- analysis
- review result
- delete

1.synthesis ผู้ใช้สามารถกระทำการกับ planar machanism โดยการแสดง

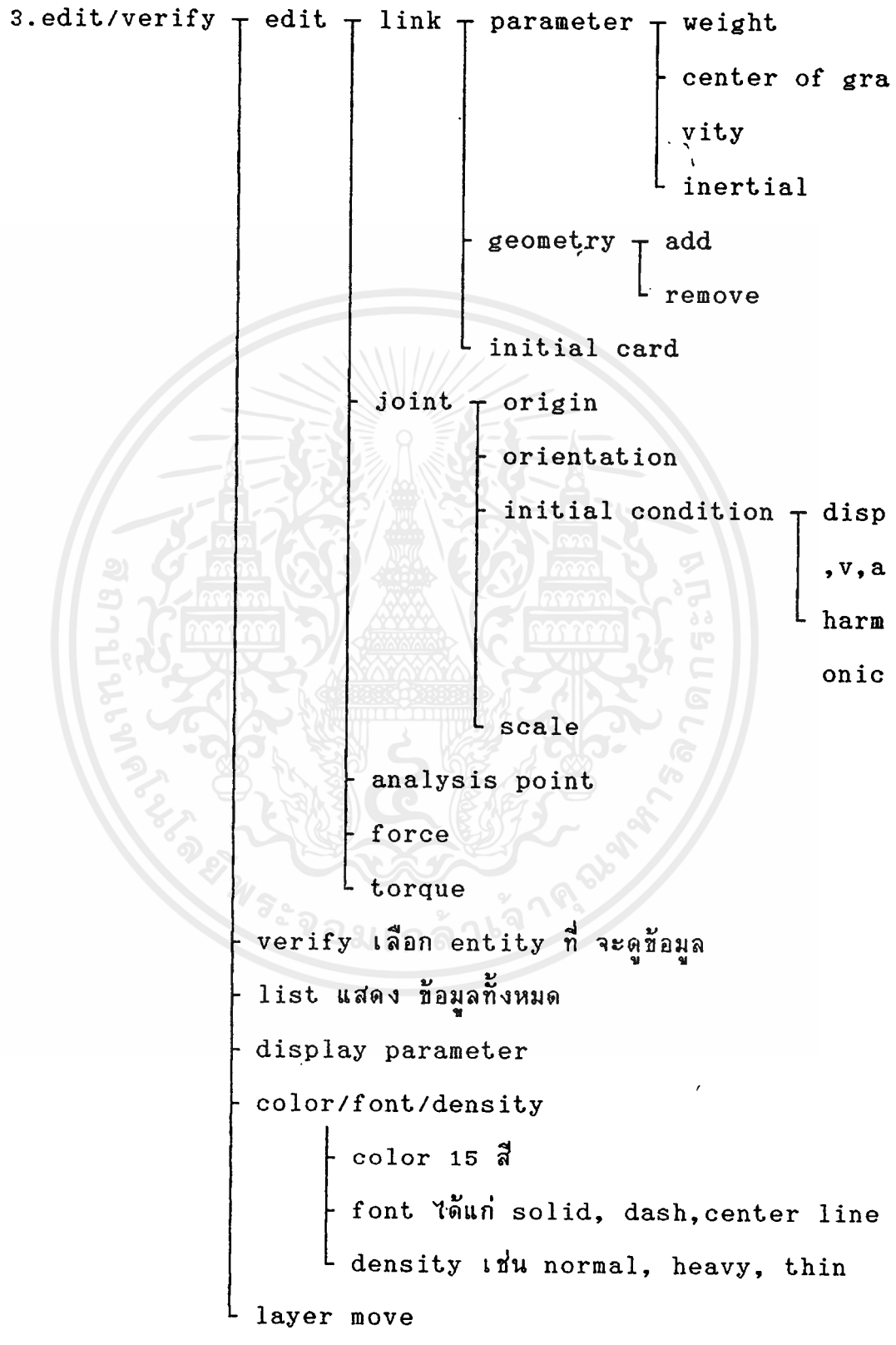
- motion vecter ในระนาบ xy ของ wcs หลังจาก motion vector ถูกเลือก จะต้องวาง link 1 และ link 2 แล้วสามารถ animate
- create motion vector (กำหนดตำแหน่งและrotation)
  - drag
  - generic point (เฉพาะจุด)
  - enter angle มุมหมุนวัดรอบแกน x วัดจากแกน z
- delete motion vector
- create links
  - drag (ทางเดิน)
  - generic point
- delete link
- animate จะปรากฏใน work view (4 bar)
  - animate again
  - chang parameter
  - input link
  - 4 bar property เปลี่ยนคุณสมบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. create -link สามารถสร้างจาก ug หรือsklete,joint สามารถ
กำหนดระหว่าง 2 link และ ระหว่าง link หนึ่งๆ กับ
frame และสามารถกำหนด force/torque ที่ joint ได้

- link
  - ที่มีอยู่ ระบุ mass property
  - sklete
  - link parameter
    - weigth
    - center gravity
    - inertial
- joint
  - revolute จะต้องกำหนดการหมุนและแกน
  - prismatic
- create analysis point
- create force
- create torque
- create condition
  - link ประกอบด้วย displacemant,
    rotate
  - jointประกอบด้วย displacemant,
    rotate
- create motion inputs (revolute joint)
  - เลือก joint
  - เลือก ชนิด motion
    - const (disp, v, a)
    - harmonic (ampitude, freq
      , angle, disp)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.analysis - ug - ผลลัพธ์เป็น graph ในนามสกุล .req
ผลลัพธ์เป็น result ในนามสกุล .out
interactive (auto to review result)
เลือก drive joint - เลือก จำนวนที่เพิ่มต่อ 1 ครั้ง
จำนวนครั้ง
result - x-axis ว่าเป็นอะไร เช่น force,v
y - axis
select entity
graph
animate
ตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่3

ทฤษฎีการออกแบบ ROBOTIC SYSTEM

ความหมายโดยทั่วไป ROBOT หมายถึง เครื่องจักรที่ทำงานคล้ายมนุษย์ซึ่งสามารถจดจำคำสั่งต่างๆได้และทำงานได้หลายหน้าที่ โดยมีหน่วยประมวลผลคอยควบคุมการทำงาน ROBOTประกอบด้วยส่วนประมวลผล(สมอง), แขนกล, ลำตัว เป็นต้น MANIPULATOR หรือ แขนกล เป็น หน่วยพื้นฐานของ ROBOT ประกอบด้วยชิ้นส่วนต่างๆ (LINKS) มาต่ออนุกรมกัน เพื่อจะทำงานให้คล้ายแขนมนุษย์ การออกแบบแขนกลด้วย CAD/CAM/CAE นั้น นอกจากจะต้องทราบวิธีการออกแบบด้วย CAD แล้ว ยังต้องทราบถึงทฤษฎีการออกแบบ ROBOTIC SYSTEM ซึ่งประกอบด้วยชนิดของแขนกล, ต้นกำลังและอุปกรณ์ช่วย,ระบบแกนการเคลื่อนที่ , เส้นทางการเคลื่อนที่ของส่วนมือ(END EFFECTER) รวมทั้งการสร้างสมการความสัมพันธ์ต่างๆของการควบคุมการเคลื่อนที่ของ END EFFECTER เป็นต้น

1. ชนิดของแขนกล (KINDS OF MANIPULATOR)

1.1 RECTANGULAR MANIPULATOR

คือแขนกลที่ประกอบด้วย LINK ที่เคลื่อนที่เป็นเส้นตรง พื้นที่ทำงาน (WORKSPACE)เป็น รูปกล่อง

1.2 CYLINDRICAL MANIPULATOR

คือแขนกลที่เคลื่อนที่ในระบบแกนr, θ, z พื้นที่ทำงานเป็นทรงกระบอก

1.3 SPHERICAL MANIPULATOR

คือแขนกลที่เคลื่อนที่ในระบบแกน r , θ , ϕ พื้นที่ทำงานเกือบจะเป็นทรงกลม

1.4 REVOLUTE MANIPULATOR

คือแขนกลที่ประกอบด้วย ข้อต่อแบบหมุน (REVOLUTE JOINT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ชนิดของต้นกำลัง (ACTUATOR)

2.1 DC MOTOR

2.2 STEPPING MOTOR

2.3 HYDRAULIC MOTOR

3. อุปกรณ์ช่วย

3.1 ENCODERS เป็นอุปกรณ์วัดตำแหน่งของ ข้อต่อต่างๆ ซึ่งวัดค่าเป็น ความยาว หรือ มุม แล้วแปลงไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าแบบ DIGITAL

3.2 TACHOMETER เป็นอุปกรณ์วัดความเร็วของข้อต่อต่างๆ

3.3 FORCE / TORGUE MEASURE DEVICE เช่น STRAIN GAUGE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แขนกล(ROBOTIC MANIPUTER) ประกอบด้วย link หลายๆอันซึ่งเชื่อมต่อกันด้วยjoint แต่ละlinkจะถูกขับเคลื่อนโดย actuater โดยที่ลักษณะของjointมีหลายแบบดังรูป

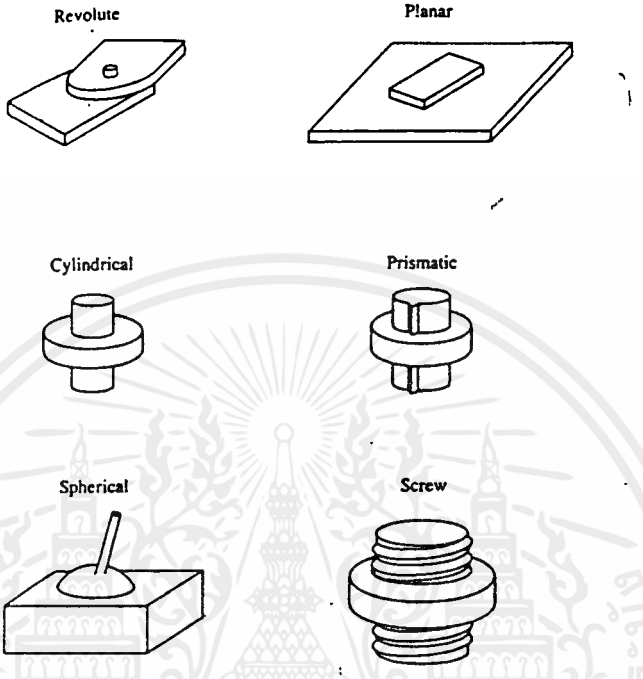


Figure 2.9 The lower pair.

เราสามารถจะหาความสัมพันธ์ระหว่าง ตำแหน่งของข้อต่อต่างๆ, linkและตำแหน่งรวมทั้งลักษณะทิศทางของ end-effecter ได้ โดยแสดงอยู่ในรูปของ transformation matrix,[T] โดยที่ [T]มีขนาดเท่ากับ4*4 มีรูปแบบดังนี้

$$[T] = \begin{bmatrix} \text{rotation matrix} & \text{translation vector} \\ \hline \text{perspective vector} & \text{scaling vector} \end{bmatrix}$$

จะเห็นว่า rotation matrix ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 3*3 และเป็นส่วนหนึ่งของ transformtion matrix โดยที่ rotation matrix เช่น $R^{i}_{(i-1)}$ คือ matrix ที่ใช้ในการเปลี่ยนจากการเทียบกับ ith coordinate system เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเทียบกับ (i-1)th coordinate system เมื่อ ith และ(i-1)th coordinate system มีจุด oringin อยู่ที่ตำแหน่งเดียวกันส่วน transfor mation matix เช่น $T^{1}_{(i-1)}$ คือ matrix ที่ใช้ในการเปลี่ยนจากการเทียบกับ ith coordinate system เป็นการเทียบกับ (i-1)th coordinate system โดยที่ จุด oringin ไม่อยู่ที่ตำแหน่งเดียวกัน เช่น

$$P_{i-1} = T'_{i-1}P_i \quad ; \quad P_{i-1} = R'_{i-1}P_i$$

P_i หมายถึง ตำแหน่งเมื่อเทียบกับ ith coordinate

P_{i-1} หมายถึง ตำแหน่งเมื่เทียบกับ (i-1)th coordinate

เราสามารถจะคูณ transformation matrix เข้าด้วยกันได้ เพื่อจะได้ transformation matrix ใหม่ เช่น $T^{1}_{0}T^{2}_{1}T^{3}_{2} = T^{3}_{0}$ ซึ่งใช้เทียบจาก 3th ไป 0th coordinate system ,rotation matrix ก็มีคุณสมบัตินี้เช่นเดียวกัน

การหาtransformation matrix เริ่มแรกเราต้องกำหนด coordinate system ก่อน โดยแบ่งเป็น 2 แบบ คือ

1. local coordinate system คือ ระบบแกนย่อยที่ติดอยู่กับlink แต่ละอัน ซึ่งจะเคลื่อนที่ไปพร้อมกับlink นั้นๆ
2. base coordinate system คือ ระบบแกนที่ติดอยู่ที่ฐานซึ่งไม่เคลื่อนที่

D-H (DENAVIT - HARTENBERG) COORDINATE SYSTEM

การกำหนด coordinate system ให้กับแต่ละlinkนั้น ถ้าแขนกลมี n joints จะมี n+1 links ฐานของแขนกลจะถูกพิจารณาให้เป็น link ที่ 0 ดังนั้น link ถัดมาจะเป็น link ที่ 1,2....ไปเรื่อยๆ โดยที่เราจะกำหนด coordinate system(x_0,y_0,z_0) ให้กับฐาน แล้วก็ไล่ไปตาม joint

DETERMINATION OF THE COORDINATE SYSTEM

1. แกน z_i จะถูกกำหนดตามแกนการเคลื่อนที่ของlink i+1 ดังนั้น z_i จะเป็นแกนที่ revolute link หมุน หรือเป็นแกนที่ prismatic link เคลื่อนที่ไป
2. ถ้าแกนz_iและแกนz_{i-1}ตัดกัน แกน x_i จะมีทิศทางตาม crossproduct $+-[k_{z(i-1)}*k_{zi}]$ ซึ่งk_{zi},$k_{z(i-1)}$ คือ unit vector ในทิศทางบวกของแกนz_i,z_{i-1} ตามลำดับ ถ้า k_{zi} และ $k_{z(i-1)}$ขนานกัน แกน x_i จะมีทิศทางตามเส้นตั้งฉากกับ $k_{z(i-1)}$และ k_{zi} vector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. แกน y_i จะถูกกำหนดโดยกฎมือขวาเพื่อที่ทำให้ cartesian coordinate system x_i, y_i, z_i สมบูรณ์

4. origin ของ x_i, y_i, z_i coordinate system ของlink i จะอยู่ที่ตำแหน่งที่ตัดกันของแกน z_i และแกน z_{i-1} หรือแกน z_i กับเส้นตั้งฉากระหว่างแกน z_i กับ z_{i-1}

5. ขั้นตอนที่ 1 ถึง 4 จะถูกทำซ้ำสำหรับแต่ละ i

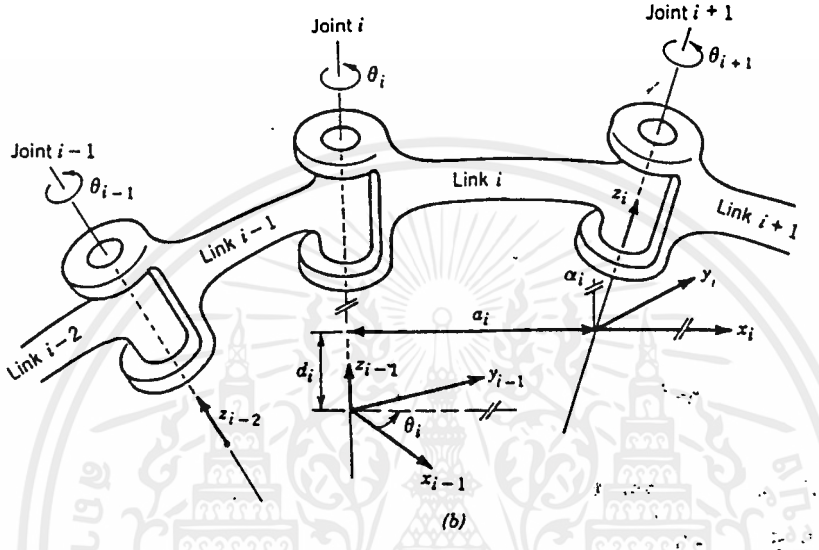


FIGURE 2.2*b*
Structural kinematic parameters for a general link *i*.

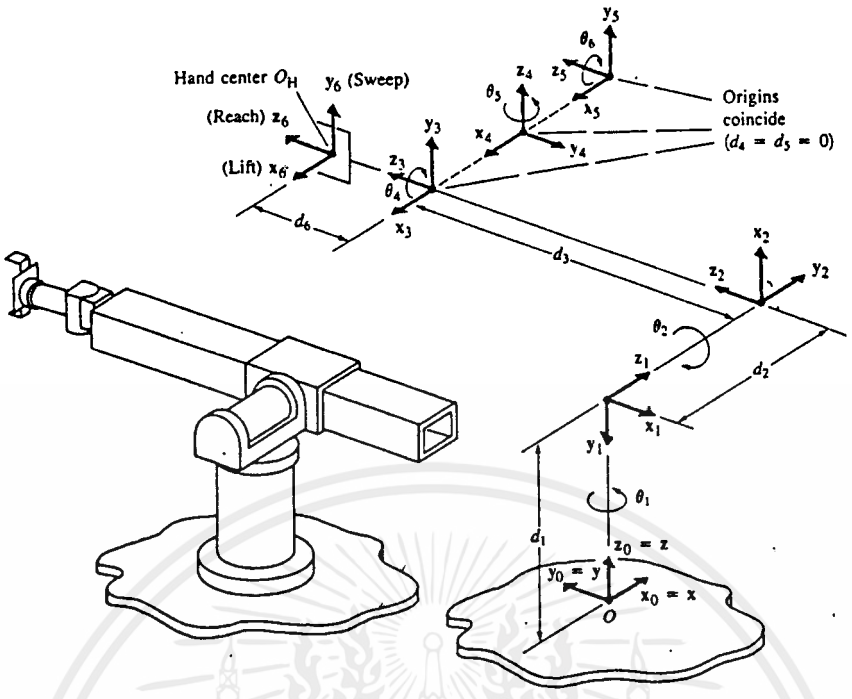
DETERMINATION OF STRUCTURAL KINAMETIC PARAMETERS

1. a_i คือ ระยะทางจาก origin ของ ith coordinate system ถึงจุดตัดของแกน z_i และ x_i โดยวัดในแนวแกน x_i

2. α_i คือ มุมในการหมุนรอบแกนบวก x_i โดยวัดจากแกนบวก z_i ไปยังแกนบวก z_{i-1} โดยที่ถ้าเป็นการหมุนทวนเข็มนาฬิกา เราจะถือว่าเป็นบวก

3. θ_i คือ มุมในการหมุนรอบแกน z_{i-1} โดยวัดจากแกนบวก x_i

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Stanford robot arm link coordinate parameters				
Joint i	θ_i	α_i	a_i	d_i
1	$\theta_1 = -90$	−90	0	d_1
2	$\theta_2 = -90$	90	0	d_2
3	−90	0	0	d_3
4	$\theta_4 = 0$	−90	0	0
5	$\theta_5 = 0$	90	0	0
6	$\theta_6 = 0$	0	0	d_6

Figure 2.12 Establishing link coordinate systems for a Stanford robot.

เมื่อเรากำหนด coordinate system และหาค่าต่างๆแล้ว ให้นำค่าเหล่านั้นมาแทนลง transformation matrix โดยที่

$$T^{\,i}_{i-1} = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\cos\alpha_i\sin\theta_i & \sin\alpha_i\sin\theta_i & a_i\cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\alpha_i\sin\theta_i & -\sin\alpha_i\cos\theta_i & a_i\sin\theta_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad -(1)$$

สมการ(1)ข้างต้นเป็นของ REVOLUTE JOINT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T^{i}_{i-1} = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\cos\alpha_i\sin\theta_i & \sin\alpha_i\sin\theta_i & 0 \\ \sin\theta_i & \cos\alpha_i\cos\theta_i & -\sin\alpha_i\cos\theta_i & 0 \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad -(2)$$

สมการ(2)ข้างต้นเป็นของ PRISMATIC JOINT

เราจะหา $T^{'}_{i-1}$ ไปเรื่อยๆ จนถึง coordinate system ที่ end-effecterเป็น matrix สุดท้าย โดยที่การกำหนด coordinate system ที่ end-effecter จะมีลักษณะพิเศษดังรูป

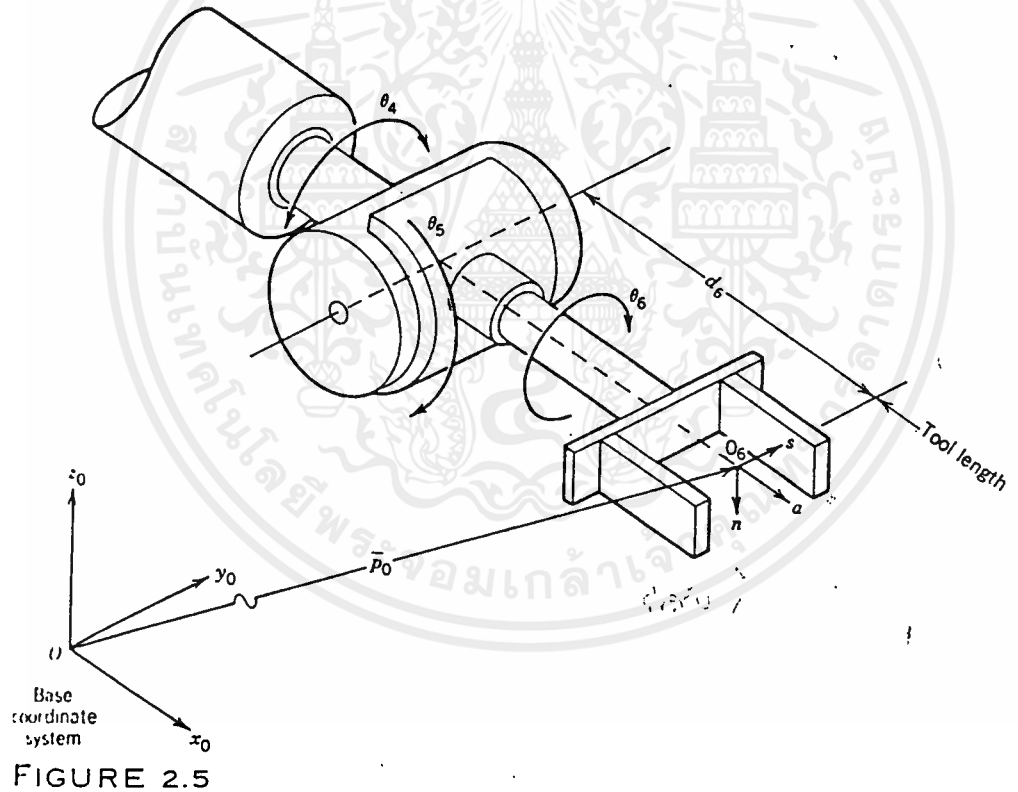


FIGURE 2.5
Tool end-effector coordinate frame. Position vector $p_0 = [p_{x_0}, p_{y_0}, p_{z_0}, 1]$

โดยที่ s หมายถึง slide vector ซึ่งถูกกำหนดให้อยู่ในแนวเดียวกับแกนซึ่ง grasping surface เคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

a หมายถึง approach vector ซึ่งเป็นแนวแกนเดียวกับที่ end-effecter หมุน

n จะถูกกำหนดโดยกฎมือขวา เพื่อทำให้coordinate systemสมบูรณ์ โดยที่จะได้ว่า $n*s = a$

จุด origin จะอยู่ที่ จุดศูนย์กลางของ end-effecter

เมื่อเราสามารถหา T^{i}_{i-1} ทั้งหมดแล้วนำมาคูณกัน ก็จะได้ T สำหรับแปลงจากend-effecter มาเป็น base coordinate system

INVERSE KINEMATIC

การทำงานของแขนกลนั้น ในลักษณะที่แขนกลถูกควบคุมให้เคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่ต้องการ โดยที่เส้นทางการเคลื่อนที่มักจะถูกกำหนดอยู่ใน cartessian coordinate system แต่การควบคุมแขนกลให้เคลื่อนที่ไปตามต้องการมักจะทำใน joint coordinate system เพราะฉะนั้นเราจึงต้องแปลงค่าใน cartesian coordinate system ให้เป็นค่าใน joint coordinate system เพื่อนำมาใช้ควบคุมแขนกลให้ทำงานตามต้องการ

เมื่อเรากำหนด ตำแหน่งและลักษณะทิศทางของ end-effecterที่ต้องการได้แล้ว จะได้ว่า

$$T^{n}_{o} = \begin{bmatrix} n_x & s_x & a_z & p_x \\ n_x & s_y & a_z & p_y \\ n_x & s_y & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad -(1)$$

โดยที่ ค่า $n_x, n_y, n_z, s_x, s_y, s_z, a_x, a_y, a_z, p_x, p_y, p_z$ จะเป็นค่าตัวเลขที่เรากำหนดขึ้น

จากนั้นเราก็ทำการจับคู่ที่ตำแหน่งเดียวกันของ T^{n}_{o} ในสมการ(1) กับ T^{n}_{o} ที่หาได้จาก forward kinematic จะทำให้ได้สมการออกมา จากนั้นเมื่อเราคูณ T^{o}_{1} ซึ่งเป็น inverse matrixของ T^{1}_{o} ที่ได้จาก forward kinematicเข้าไปข้างหน้าสมการ(1) เราก็จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T^{n}_{1} = \begin{bmatrix} n'_x & s'_x & a'_x & p'_x \\ n'_y & s'_y & a'_y & p'_y \\ n'_z & s'_z & a'_z & p'_z \end{bmatrix} \quad -(2)$$

จากนั้นเราก็ทำการจับคู่ที่ตำแหน่งเดียวกันของ T^{n}_{1} ในสมการ(2) กับ T^{n}_{1} ที่หาได้จาก forward kinematic จะทำให้ได้สมการออกมาอีก

ทำซ้ำแบบเดิมอีกโดยคูณ T^{1}_{2} เข้าไป จะได้สมการออกมาอีก จากนั้นเราจึงนำสมการทั้งหมด มาหาคำตอบ ก็จะได้คำตอบ คือ ค่าjoint variable ที่joint ต่างๆ ที่ตำแหน่งและทิศทางที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ROBOT ARM DYNAMIC

dynamical model คือ การแสดงออกในรูปสูตรของสมการการเคลื่อนที่ของแขนกล ซึ่งสมการการเคลื่อนที่ทางพลศาสตร์ จะเป็นชุดของสมการทางคณิตศาสตร์ซึ่งอธิบายพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของแขนกล เพื่อที่จะนำสมการที่ได้ไปใช้ในการควบคุมการทำงานของแขนกล เพื่อให้ทำงานได้ตามต้องการ โดยการหา torque หรือ force ที่ต้องการในการเคลื่อนที่ ในที่นี้จะพูดถึงวิธีของ NEWTON-EULER

DIFFERENTIAL EQUATION MODEL IN NEWTON-EULER FORMULATION

คือวิธีที่แยกแต่ละ link ออกจากกัน คือคิดเป็น free body แล้วจึงสร้าง dynamic model สำหรับ link หนึ่งๆ ที่เวลาหนึ่งๆ ซึ่งจะมีตัวแปรของ linkที่อยู่ติดกันรวมอยู่ด้วย สมการที่ได้จะง่าย แต่ว่ายุ่งยากและมี vector cross-product รวมอยู่ด้วย และวิธีนี้ยังไม่คำนึงถึง พลศาสตร์ของอุปกรณ์ควบคุม, backlash, gear friction ด้วย แต่วิธีนี้มีข้อดีคือ เวลาที่ใช้ในการคำนวณ input force/torque ซึ่งเป็นกำลังที่ได้จาก actuater จะเป็นอัตราส่วนโดยตรงกับจำนวนข้อต่อของแขนกลและไม่ขึ้นกับmanipulater configuration แบบจำลองทางพลศาสตร์นี้ได้จากสมการเริ่มต้นคือ

$$F_i = \frac{d(m_i v_i)}{dt} = m_i a_i$$

$$N_i = \frac{d(I_i \omega_i)}{dt} = I_i \omega_i + \omega_i * (I_i \omega_i)$$

ดัดแปลงสมการไปเรื่อยจนได้ recursive equation of motion of a link about its own coordinate frame ดังแสดงในตารางต่อมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 3.3 Efficient recursive Newton-Euler equations of motion

Forward equations: $i = 1, 2, \ldots, n$

$$
{}^{i}\mathbf{R}_0\omega_i = \begin{cases} {}^{i}\mathbf{R}_{i-1}({}^{i-1}\mathbf{R}_0\omega_{i-1} + \mathbf{z}_0\dot{q}_i) & \text{if link } i \text{ is rotational} \\ {}^{i}\mathbf{R}_{i-1}({}^{i-1}\mathbf{R}_0\omega_{i-1}) & \text{if link } i \text{ is translational} \end{cases}
$$

$$
{}^{i}\mathbf{R}_0\dot{\omega}_i = \begin{cases} {}^{i}\mathbf{R}_{i-1}[{}^{i-1}\mathbf{R}_0\dot{\omega}_{i-1} + \mathbf{z}_0\ddot{q}_i + ({}^{i-1}\mathbf{R}_0\omega_{i-1}) \times \mathbf{z}_0\dot{q}_i] & \text{if link } i \text{ is rotational} \\ {}^{i}\mathbf{R}_{i-1}({}^{i-1}\mathbf{R}_0\dot{\omega}_{i-1}) & \text{if link } i \text{ is translational} \end{cases}
$$

$$
{}^{i}\mathbf{R}_0\dot{\mathbf{v}}_i = \begin{cases} ({}^{i}\mathbf{R}_0\dot{\omega}_i) \times ({}^{i}\mathbf{R}_0\mathbf{p}_i^*) + ({}^{i}\mathbf{R}_0\omega_i) \times [({}^{i}\mathbf{R}_0\omega_i) \times ({}^{i}\mathbf{R}_0\mathbf{p}_i^*)] \\ \quad + {}^{i}\mathbf{R}_{i-1}({}^{i-1}\mathbf{R}_0\dot{\mathbf{v}}_{i-1}) \quad \text{if link } i \text{ is rotational} \\ {}^{i}\mathbf{R}_{i-1}(\mathbf{z}_0\ddot{q}_i + {}^{i-1}\mathbf{R}_0\dot{\mathbf{v}}_{i-1}) + ({}^{i}\mathbf{R}_0\dot{\omega}_i) \times ({}^{i}\mathbf{R}_0\mathbf{p}_i^*) \\ \quad + 2({}^{i}\mathbf{R}_0\omega_i) \times ({}^{i}\mathbf{R}_{i-1}\mathbf{z}_0\dot{q}_i) \\ \quad + ({}^{i}\mathbf{R}_0\omega_i) \times [({}^{i}\mathbf{R}_0\omega_i) \times ({}^{i}\mathbf{R}_0\mathbf{p}_i^*)] \quad \text{if link } i \text{ is translational} \end{cases}
$$

$$
{}^{i}\mathbf{R}_0\bar{\mathbf{a}}_i = ({}^{i}\mathbf{R}_0\dot{\omega}_i) \times ({}^{i}\mathbf{R}_0\bar{\mathbf{s}}_i) + ({}^{i}\mathbf{R}_0\omega_i) \times [({}^{i}\mathbf{R}_0\omega_i) \times ({}^{i}\mathbf{R}_0\bar{\mathbf{s}}_i)] + {}^{i}\mathbf{R}_0\dot{\mathbf{v}}_i
$$

Backward equations: $i = n, n-1, \ldots, 1$

$$
{}^{i}\mathbf{R}_0\mathbf{f}_i = {}^{i}\mathbf{R}_{i+1}({}^{i+1}\mathbf{R}_0\mathbf{f}_{i+1}) + m_i{}^{i}\mathbf{R}_0\bar{\mathbf{a}}_i
$$

$$
{}^{i}\mathbf{R}_0\mathbf{n}_i = {}^{i}\mathbf{R}_{i+1}[{}^{i+1}\mathbf{R}_0\mathbf{n}_{i+1} + ({}^{i+1}\mathbf{R}_0\mathbf{p}_i^*) \times ({}^{i+1}\mathbf{R}_0\mathbf{f}_{i+1})] + ({}^{i}\mathbf{R}_0\mathbf{p}_i^* + {}^{i}\mathbf{R}_0\bar{\mathbf{s}}_i) \times ({}^{i}\mathbf{R}_0\mathbf{F}_i) + ({}^{i}\mathbf{R}_0\mathbf{I}_i{}^{0}\mathbf{R}_i)({}^{i}\mathbf{R}_0\dot{\omega}_i) + ({}^{i}\mathbf{R}_0\omega_i) \times [({}^{i}\mathbf{R}_0\mathbf{I}_i{}^{0}\mathbf{R}_i)({}^{i}\mathbf{R}_0\omega_i)]
$$

$$
\tau_i = \begin{cases} ({}^{i}\mathbf{R}_0\mathbf{n}_i)^T({}^{i}\mathbf{R}_{i-1}\mathbf{z}_0) + b_i\dot{q}_i & \text{if link } i \text{ is rotational} \\ ({}^{i}\mathbf{R}_0\mathbf{f}_i)^T({}^{i}\mathbf{R}_{i-1}\mathbf{z}_0) + b_i\dot{q}_i & \text{if link } i \text{ is translational} \end{cases}
$$

where $\mathbf{z}_0 = (0, 0, 1)^T$ and b_i is the viscous damping coefficient for joint i. The usual initial conditions are $\omega_0 = \dot{\omega}_0 = \mathbf{v}_0 = 0$ and $\dot{\mathbf{v}}_0 = (g_x, g_y, g_z)^T$ (to include gravity), where $|\mathbf{g}| = 9.8062\ \mathrm{m/s^2}$.

$$
{}^{1}\mathbf{R}_0\mathbf{F}_1 = \mathrm{m}_1\,{}^{1}\mathbf{R}_0\mathbf{a}_1
$$

$$
{}^{1}\mathbf{R}_0\mathbf{N}_1 = ({}^{1}\mathbf{R}_0\mathbf{I}_1{}^{0}\mathbf{R}_1)({}^{1}\mathbf{R}_0\dot{\omega}_1) + ({}^{1}\mathbf{R}_0\omega_1) * [({}^{1}\mathbf{R}_0\mathbf{I}_1{}^{0}\mathbf{R}_1)({}^{1}\mathbf{R}_0\omega_1)]
$$

$$
{}^{1}\mathbf{R}_0 = \mathbf{R}^{0}_{1}
$$

โดยที่ตัวแปรในตารางมีความหมายคือ; คิดเทียบกับbase coordinate system

m_1 คือ มวลของ link i

q_1 คือ joint variable โดยที่ถ้าเป็น revolute joint ,q_1 คือ θ_1 แต่ถ้าเป็น prismatic joint, q_1 คือ d_1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

r_i คือ ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลของ link i จากจุด origin ของbase coordinate system

s_i คือ ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลของ link i จากจุด origin ของ $(x_i y_i z_i)$ coordinate system

p_i คือ ตำแหน่งของจุด origin ของ ith coordinate system จาก (i-1)th coordinate system

$v_i = \frac{dr_i}{dt}$ คือ ความเร็วของจุดศูนย์กลางมวลของ link i

$a_i = \frac{dv_i}{dt}$ คือ ความเร่งของจุดศูนย์กลางมวลของ link i

F_i คือ แรงภายนอกที่มากระทำบน link i ที่จุดศูนย์กลางมวล

N_i คือ โมเมนต์ภายนอกที่กระทำบน link i ที่จุดศูนย์กลางมวล

I_i คือ inertial matrix ของlink i รอบจุดศูนย์กลางมวล ซึ่งอ้างอิงกับ base coordinate system

f_i คือ แรงที่กระทำบนlink i โดยlink i-1 ที่ $(x_i y_i z_i)$ coordinate system

n_i คือ โมเมนต์ที่กระทำบนlink iโดยlink i-1 ที่$(x_i y_i z_i)$ coordinate system

τ_i คือ input force/torque

ALGORITHM สำหรับการคิดด้วยวิธีของ NEWTON-EULER

<u>iniatial condition</u>

n = จำนวนของ joint

$\omega_o = \dot{\omega}_o = v_o = \dot{v}_o$; $v_o = g = (g_x, g_y, g_z)^t$ ซึ่ง $g = 9.8062\ m/s^2$

joint variable คือ $q_i, \dot{q}_i, \ddot{q}_i$ สำหรับ i= 1,2,3...n

link variable คือ $i, F_i f_i, n_i, \omega_i$

<u>forward iteration</u>

1. ให้ i =1
2. คิด ${}^{i}R_o\omega_i$, ${}^{i}R_o\dot{\omega}_i$, ${}^{i}R_o v_i$, ${}^{i}R_o a_i$ โดยใช้สมการในตาราง
3. ถ้า i=n ให้ข้ามไปขั้นตอนที่4 มิฉะนั้นให้ i=i+1 และกลับไปที่ขั้นตอนที่2

<u>backward iteration</u>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ให้ค่า f_{n+1} และ n_{n+1} เท่ากับแรงและโมเมนต์ที่ต้องการเพื่อรองรับ load ถ้าไม่มี load ก็ให้ $f_{n+1} = n_{n+1} = 0$
5. คิด ${}^{i}R_{o}F_{i}$, ${}^{i}R_{o}N_{i}$, ${}^{i}R_{o}f_{i}$, ${}^{i}R_{o}n_{i}$ และ $_{i}$ โดยใช้ f_{n+1} และ n_{n+1} ที่ได้
6. ถ้า i = 1 ให้หยุด มิฉะนั้นให้ i=i-1 และกลับไปที่ขั้นตอนที่ 5

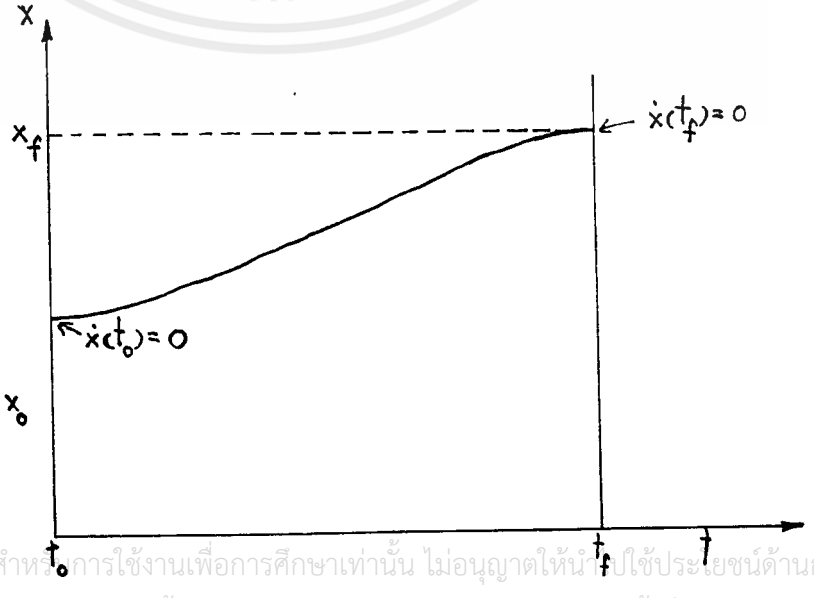
เมื่อทำทุกขั้นตอนแล้ว ก็จะได้ τ_i ที่ต้องการ

TRAJECTORY PLANNING

TRAJECTORY PLANNING คือ การกำหนดแนวทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการ ซึ่งเป็นสมการที่เกี่ยวกับเวลา อาจจะกำหนดในแบบของ CARTESIAN SPACE หรือ LINK SPACE แต่อย่างไรก็ตาม มันมักจะถูกกำหนดอยู่ใน CARTESIAN COORDINATE SYSTEM เพราะว่ามันเห็นการทำงานได้ง่ายกว่าแต่ในที่นี้จะกล่าวถึงการกำหนดในแบบ CARTESIAN SPACE เท่านั้น

รูปแบบการเคลื่อนที่

1. CUBIC SEGMENT คือ การเคลื่อนที่ในรูปแบบของสมการ POLY NOMIAL ของเวลา โดยที่มีความแตกต่างจากแบบอื่น คือ ความเร่งที่ตำแหน่งต่างๆไม่เท่ากัน



A DESIRED CS TRAJECTORY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปข้างต้น เมื่อจะเคลื่อนที่จากจุดๆหนึ่งที่เวลา t_o ณ ตำแหน่ง x_o จะมี ความเร็ว $x(t_o) = 0$ จนไปสิ้นสุด ที่เวลา t_f ณ ตำแหน่ง x_f โดยที่ $x(t_f) = 0$ ดังนั้นเราจะได้เงื่อนไขดังนี้

$$x(t_o) = x_o \quad , \quad x(t_f) = x_f$$

$$\dot{x}(t_o) = 0 \quad , \quad \dot{x}(t_f) = 0$$

จะได้ POLYNOMIAL FUNCTION ที่เหมาะสม คือ

$$x(t) = a + bt + ct^2 + dt^3 \qquad ----(1)$$

นำเงื่อนไขที่กำหนดแทนลงในสมการ (1)

จะได้

$$x(t_o)=x_o= a + bt_o + ct_o^2 + dt_o^3 \qquad ----(2)$$

$$\dot{x}(t_o)=\dot{x}_o= b + 2ct_o + 3dt_o^2 \qquad ----(3)$$

$$x(t_f)=x_f = a + bt_f + ct_f^2 + dt_f^3 \qquad ----(4)$$

$$\dot{x}(t_f)=\dot{x}_f= b + 2ct_f + 3dt_f^2 \qquad ----(5)$$

ให้ $t_o = 0$ ทำการแก้สมการออกมาจะได้

$$a = x_o$$

$$b = x_o$$

$$c = [3(x_f - x_o) - (2\dot{x}_o + \dot{x}_f)t_f] / t_f^2$$

$$d = [2(x_o - x_f) + (\dot{x}_o + \dot{x}_f)t_f] / t_f^3$$

ดังนั้น จาก $x(t) = a+bt+ct^2+dt^3$

จะได้

$$x(t) = x_o + x_o t + [\,3(x_f - x_o)-(2\dot{x}_o+\dot{x}_f)t_f\,][t^2/t_f^2] + [2(x_o-x_f)+(\dot{x}_o+\dot{x}_f)t_f][t^3/t_f^3] \qquad ----(6)$$

โดยที่ $\dot{x}_o = \dot{x}_f = 0$ เราจะได้

$$x(t) = x_o + 3(x_f-x_o)(t^2/t_f^2)-2(x_f-x_o)(t/t_f)^3 \qquad ---(7)$$

มีข้อสังเกต คือ สมการ x(t)ข้างบน อยู่ในเงื่อนไข คือ $t_o=0$ แต่ถ้า $t_o \neq 0$ เราก็สามารถหาสมการ x(t) ได้โดยแทน t_f ด้วย $t_f - t_o$, แทน t ด้วย $t-t_o$ ก็จะได้สมการ x(t) ที่ $t_o \neq 0$

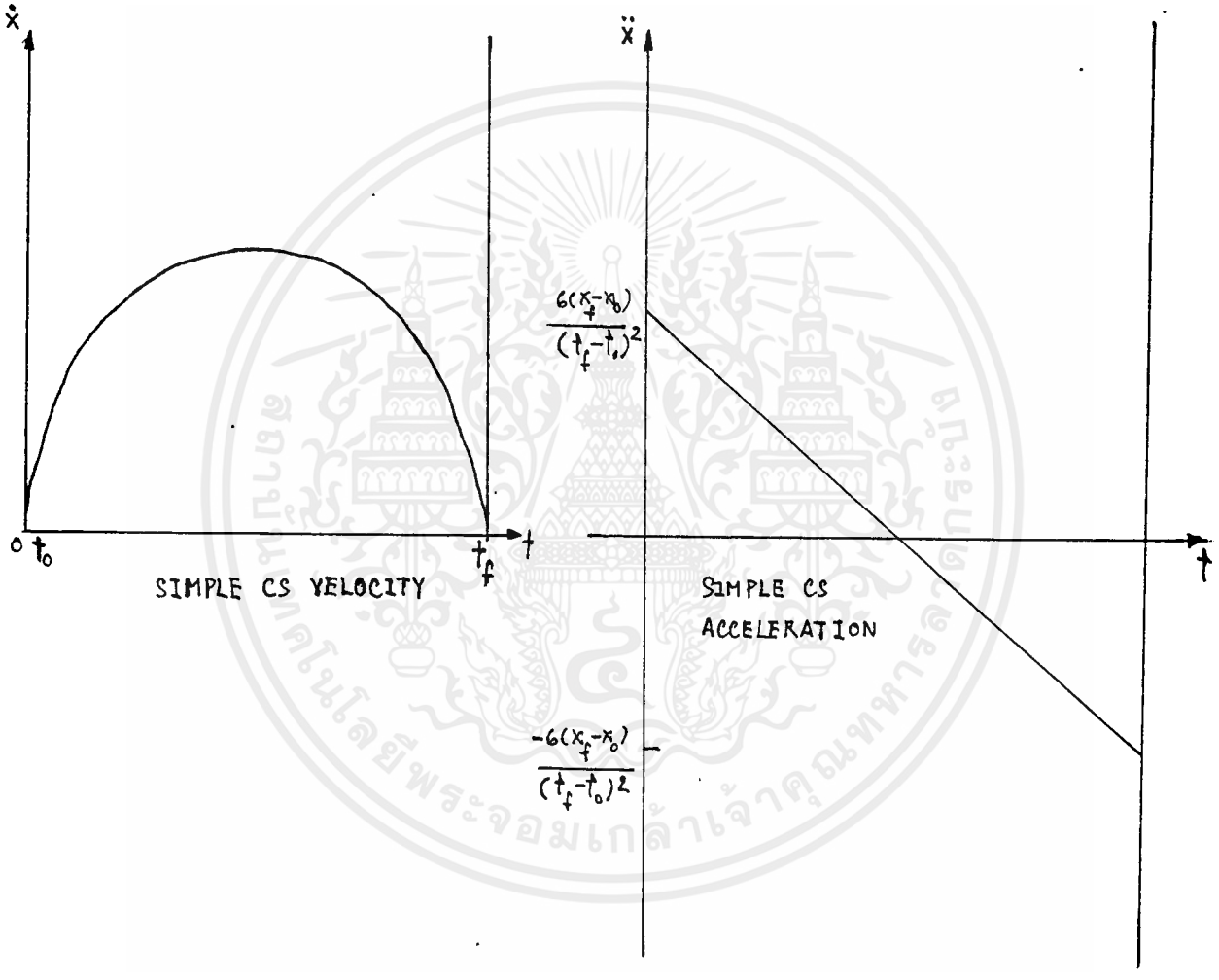
ดังนั้น ที่ $t_o \neq 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$x(t) = x_o + 3(x_f - x_o)[(t-t_o)^2/(t_f-t_o)^2] + 2(x_o-x_f)[(t-t_o)^3/(t_f-t_o)^3] \quad \text{____(8)}$$

$$\dot{x}(t) = 6(x_f-x_o)(t-t_o)/(t_f-t_o)^2 - 6(x_f-x_o)(t-t_o)^2/(t_f-t_o)^3 \quad \text{_____(9)}$$

$$\ddot{x}(t) = 6(x_f-x_o)/(t_f-t_o)^3 - 12(x_f-x_o)(t-t_o)/(t_f-t_o)^3 \quad \text{_____(10)}$$



$\ddot{x}(t)$ มากที่สุด เท่ากับ $6(x_f-x_o)/(t_f-t_o)^2 = a$ _____(11)

ดังนั้น $t_f = t_o+[6(x_f-x_o)/a]^{(1/2)}$ _____(12)

แทน t_f ลงในสมการ(8)

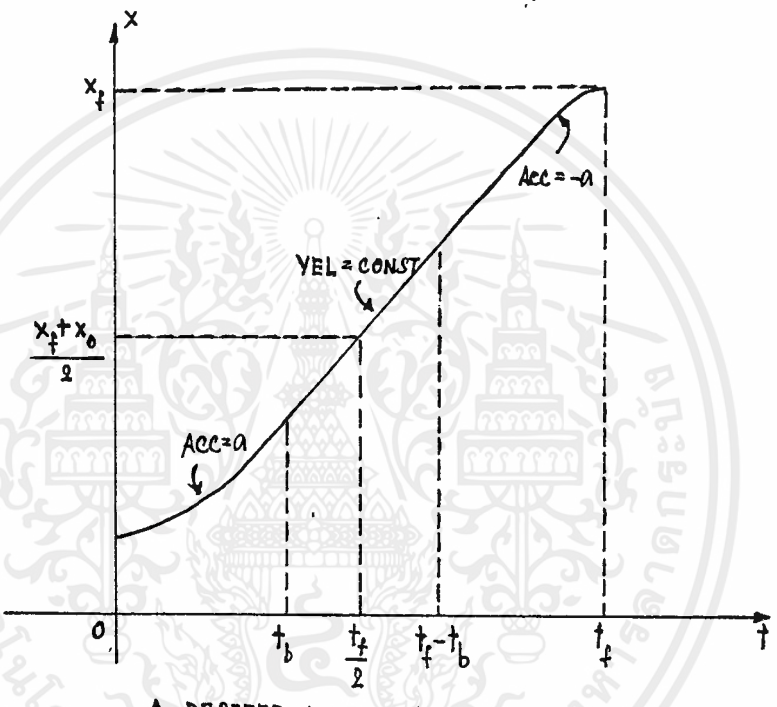
ดังนั้นจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$x(t) = x_o + a(t-t_o)^2/2$$
$$-(a/3)[a/6(x_f-x_o)]^{(1/2)}[t-t_o)]^3 \quad \text{-----(13)}$$

2.LINEAR SEGMENT WITH PARABOLIC BLEND (LSPB)

คือ การเคลื่อนที่ที่มีรูปแบบของpolynomialรวมกับเส้นตรงโดยที่ลักษณะการเคลื่อนที่จะสมมาตรกับจุดกึ่งกลาง$[t_f,(x_f-x_o)/2]$ ดังแสดงในรูปข้างล่าง



A DESIRED LSPB TRAJECTORY

เพราะฉะนั้น เราจะได้สมการparabolicสำหรับช่วงเวลา t_o ถึง t_b และช่วงเวลา t_f-t_b ถึง t_fและมีสมการเส้นตรงสำหรับช่วงเวลา t_b ถึง t_f-t_b

<u>for $0<=t<=t_b$</u>

โดยมี เงื่อนไข คือ $x(0)=x_o$,$\dot{x}(0)=0$ และ $x(t_b)=v$

จะได้รูปแบบของสมการ polynomial คือ

$$x(t) = a+bt+ct^2$$
$$\dot{x}(t) = b+2ct$$

จะได้

$$x(0) = x_o = a$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\dot{x}(0) = 0 = b$

$\dot{x}(t_b) = v = 2ct_b \ , \ c = v/2t_b$

ดังนั้น จะได้ $x(t) = x_o+vt^2/2t_b$ ------(14)

$\dot{x}(t) = vt/t_b = at$ ------(15)

$\ddot{x}(t) = v/t_b = a$ ------(16)

<u>for $t_b<=t<=t_f-t_b$</u>

เพราะว่า $x(t_f/2) = [x_f+x_o]/2$

จะได้ $x(t) = [x_f-x_o-vt_f]/2+vt$ ------(17)

พิจารณาที่เวลาt=t_b, x(t)ในช่วงเวลา $0<=t<=t_b$ และ$t_b<=t<=t_f-t_b$ ต้องเท่ากัน

ดังนั้นจะได้ $x_o+vt_b/2 = [x_f+x_o-vt_f]/2+vt$ ------(18)

$t_b = [x_o-x_f+vt_f]/v$ ------(19)

โดยที่ $0<=t<=t_f/2$ ------(20)

แทนค่า t_b ใน สมการ(19) ลงใน สมการ(20) จะได้

$[x_f-x_o]/v <= t_f <=2[x_f-x_o]/v$ ------(21)

ถ้า $t_b=t_f/2$ แสดงว่าไม่มีช่วงที่มีความเร็วคงที่

จะได้ $x[t_b=t_f/2] = x_o+vt_f/4 = [x_o+x_f]/2$

เพราะฉะนั้นจะได้

$v = 2(x_f+x_o)/t_f$

ซึ่งเป็นความเร็วที่มากที่สุดที่ทำให้การเคลื่อนที่เป็นแบบ LSPB TRAJECTORY อยู่

<u>for $t_f-t_b<=t<=t_f$</u>

โดยที่ $x(t) = x_f$,$\dot{x}(t_f) = 0$ และ $\ddot{x}(t) = -v/t_b = a$

ดังนั้น จากสมการ parabolic $x(t) = a+bt+ct^2$

จะได้

$x(t)=x_f-at_f^2/2+at_ft-at^2/2$ ------(22)

และจาก $t_b=v/a$

จากสมการ(19) แปลงใหม่จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$t_f = (x_f-x_o)/v+v/a \quad \text{------(23)}$$

แทนลงในสมการ(21)

จะได้

$$(x_f-x_o)/v<(x_f-x_o)/v+v/a<=2(x_f-x_o)/v \quad \text{------(24)}$$

คูณสมการ(23)ด้วย v/a จะได้

$$[v/a]^2-vt_f/a+[x_f-x_o]/a = 0$$

จะได้

$$t_b=v/a=t_f/2+-[a^2t_f^2-4a(x_f-x_o)]^{(1/2)}/2a \quad \text{---(25)}$$

จากสมการ(25) จะได้ว่า

$$a^2t_f^2 >= 4a(x_f-x_o)$$

เพราะฉะนั้นจะได้ว่า $t_f >= 2[(x_f-x_o)/a]^{(1/2)}$

3. BANG-BANG PARABOLIC BLEND (BBPB)

คือ การเคลื่อนที่จาก x_o ไป x_f โดยเร็วที่สุด โดยเริ่มแรกจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งสูงสุด จาก $t_o(=0)$ ถึง $t_f/2$ และจากนั้นเคลื่อนที่ด้วยความหน่วงสูงสุด จาก $t_f/2$ ถึง t_f เพื่อที่จะใช้เวลาในการเคลื่อนที่น้อยที่สุดคือไม่มีช่วงเวลาที่มีความเร็วคงที่เลย

ดังนั้น เราจะได้

$$t_b = t_f/2$$

จากสมการ(25)

$$a^2t_f^2 - 4a(x_f-x_o) = 0$$

จะได้

$$t_f = 2[(x_f-x_o)/a]^{(1/2)}$$

$$t_b = t_f/2 = [(x_f-x_o)/a]^{(1/2)}$$

ส่วนวิธีการคิดสมการ x(t) ก็เหมือนกับ LSPB TRAJECTORY

แต่จะมีเพียง 2 ช่วงเวลา คือ

<u>for $0<=t<=t_b=t_f/2$</u>

$$x(t) = x_o+at^2/2 = x_o+vt^2/2t_b$$

$$\dot{x}(t) = vt/t_b = at$$

$$\ddot{x}(t) = v/t_b = a$$

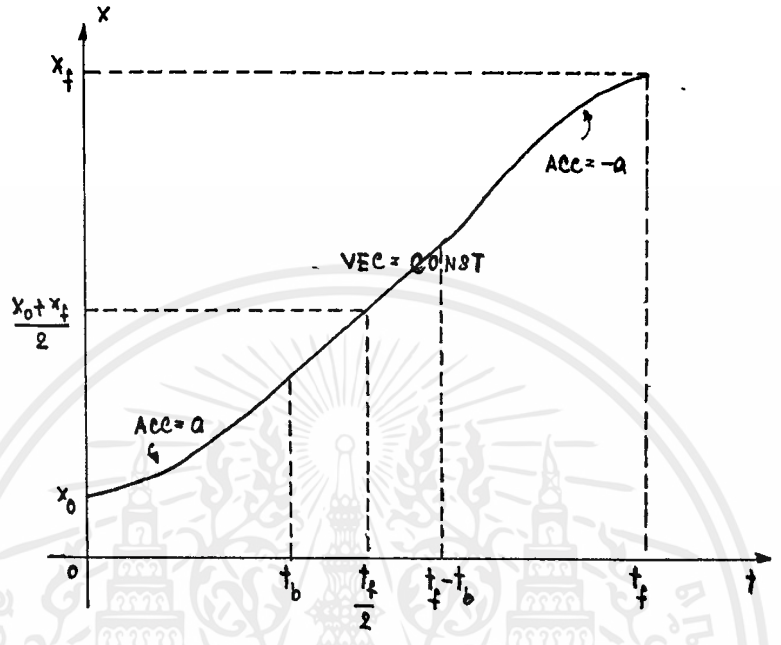
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

for $t_b = t_f/2 <= t <= t_f$

$$x(t) = x_f - at_f^2/2 + at_f t - at^2/2$$

$$\dot{x}(t) = at_f - at$$

$$\ddot{x}(t) = -a$$



A DESIRED BBPB TRAJECTORY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ชิ้นงานศึกษา

4.1 ลำดับขั้นตอนการออกแบบ

4.2 การออกแบบชิ้นงานตัวอย่าง(Model)

4.2.1 กำหนดชิ้นงานคร่าวๆ

หลังจากที่พิจารณาความเหมาะสมแล้ว สามารถสรุปลักษณะแขนกลคร่าวๆ ได้ว่าจะต้องประกอบด้วย 5 แขน(links)แบบ revolute jointประกอบด้วย link 0, link 1, link 2, link 3 และlink 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

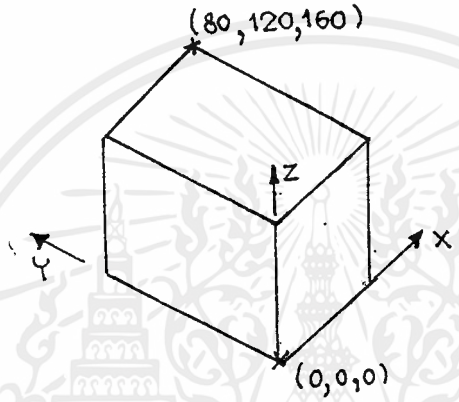
4.2.2 การออกแบบด้วย CAD

พิจารณาความเหมาะสมแล้ว link 0 ไม่วาดเพราะจะต้องใช้วัสดุที่มีความหนาแน่นมากกว่า link ที่เหลือ ดังนั้นลงมือวาดด้วย cadเพียง 4 รูป คือ link 1, link 2, link 3 และ link 4

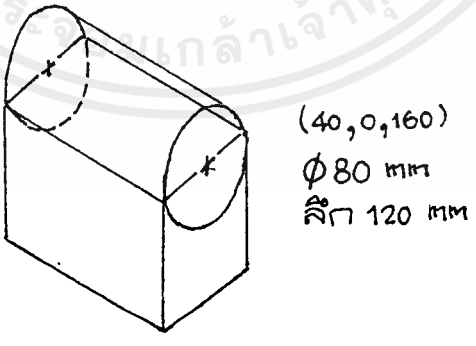
1) link 1

ประกอบด้วยขั้นตอนการวาดรูปดังนี้

1. สร้างกล่อง(block)ที่มีจุดทแยงมุม คือ (0, 0, 0) กับ (80, 120, 160)

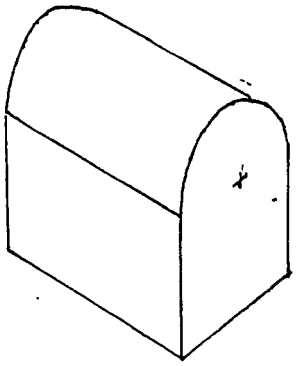


2. สร้างทรงกระบอก(cylinder)ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มม., สูง 120 มม., จุดฐาน คือ (40, 0, 160)

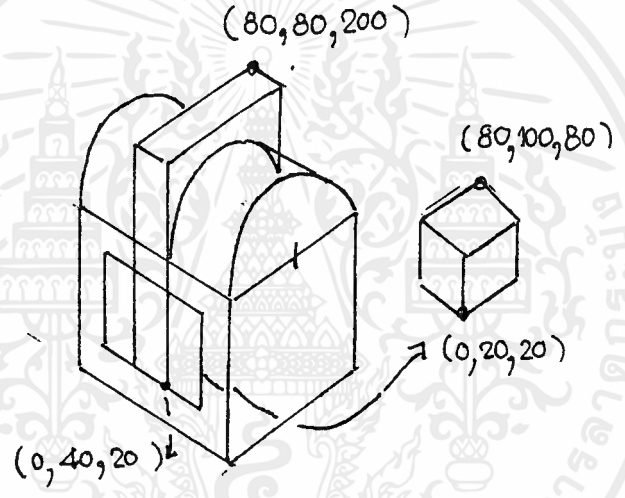


3. รวม(unite) กล่อง(block) กับ ทรงกระบอก(cylinder) เป็นชิ้นเดียวกัน

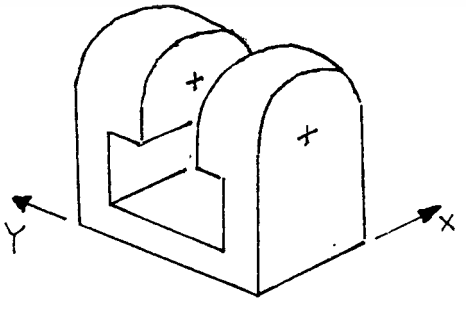
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4. สร้าง กล่อง(block) 2 กล่อง ที่มีจุดทแยงมุม คือ (0, 40, 20) กับ (80, 80, 200) และ (0, 20, 20) กับ (80, 100, 80)

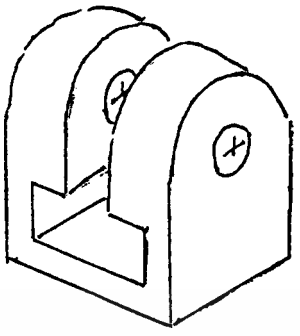


5. ลบ(subtract) ชิ้นงานด้วย block ทั้งสอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

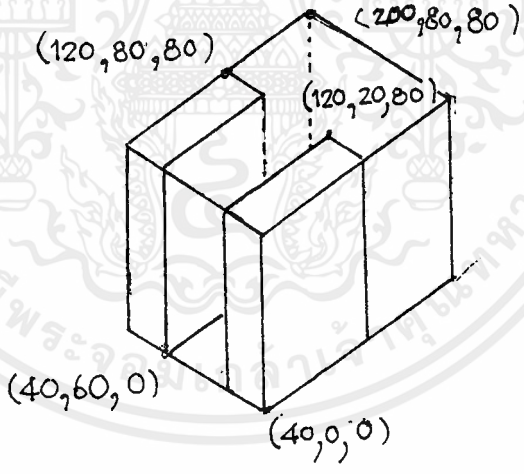
6. เจาะรู(hole) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มม., สูง 120 มม. จุดฐานคือ (40, 0, 160)



2) link 2

1.สร้าง กล่อง(block) ที่มีจุดทแยงมุม คือ (40, 0, 0)กับ(200, 80, 80)

2.วาง กล่อง(block) 2 กล่อง ที่มีจุดทแยงมุม คือ (40, 0, 0) กับ (120, 20, 80) และ (40, 60, 0) กับ (120, 80, 80)



3.ลบ(subtract) กล่องใหญ่ ด้วยกล่องเล็ก และสร้างทรงกระบอก (cylinder) 3อัน

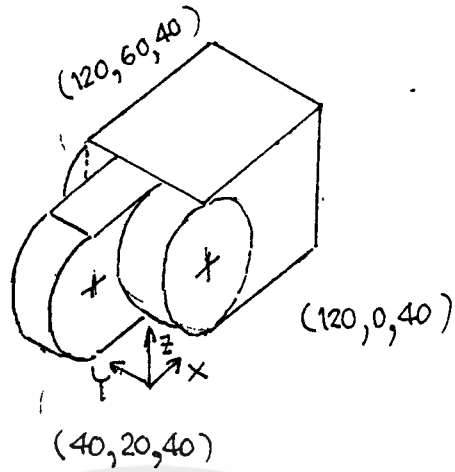
-ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มม., สูง 20 มม.จุดฐาน คือ (120, 60, 40)

-ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มม., สูง 20 มม.จุดฐาน คือ (120, 0, 40)

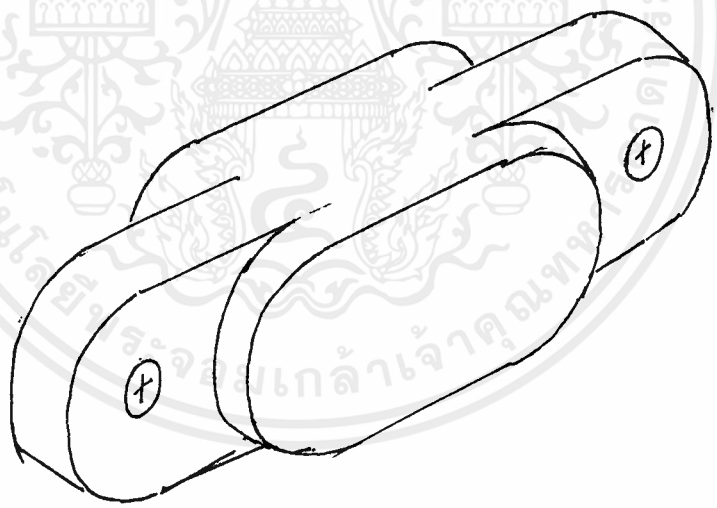
-ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มม., สูง 40 มม.จุดฐาน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(40, 20, 40)



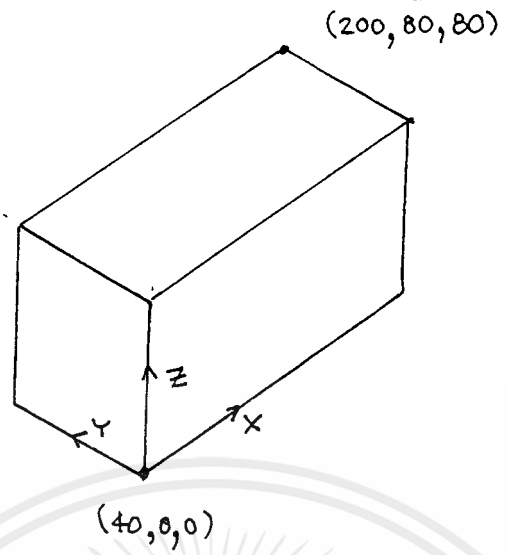
4. รวม(unite)ทั้งหมดเป็นชิ้นเดียวกัน และเจาะรู(hole) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มม., สูง 40 มม. จุดฐาน คือ (40, 20, 40)และ mirrow รูปผ่านระนาบ x = 200



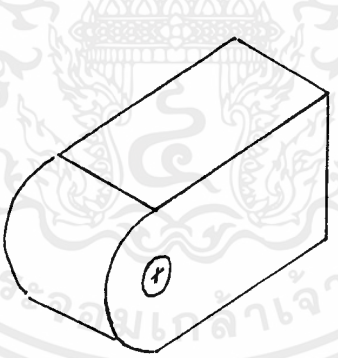
3) link 3

1. สร้าง กล่อง(block) ที่มีจุดทแยงมุม คือ (40, 0, 0) กับ (200, 80, 80)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



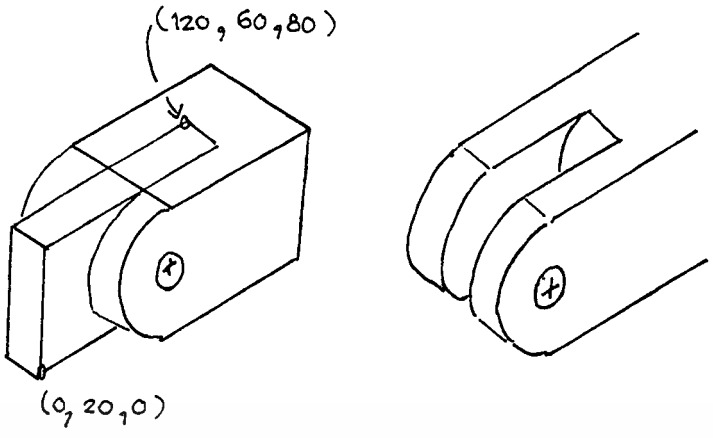
2. สร้าง ทรงกระบอก(cylinder)ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มม., สูง 80 มม., จุดฐาน คือ (40, 0, 40) และ รวม(unite) เป็นชิ้นเดียวกับกล่องและเจาะรู(hole)ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มม., สูง 80 มม. ที่ตำแหน่งนั้น



3. สร้าง กล่อง(block) ที่มีจุดทแยงมุม คือ(0, 20, 0) กับ (120, 20, 80)

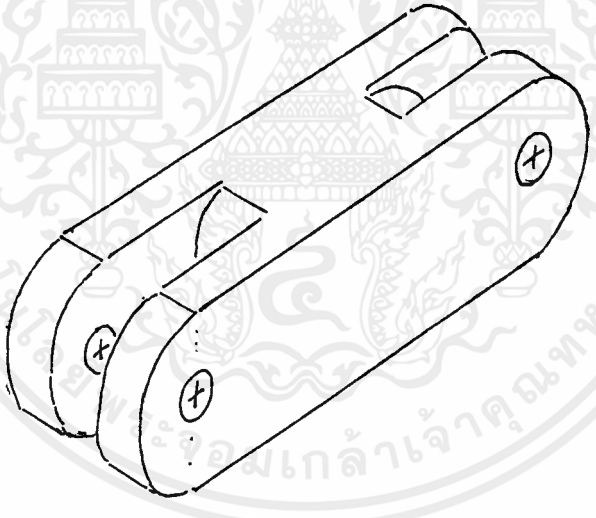
4. ลบ(subtract)ชิ้นงานด้วยกล่องและสร้างทรงกระบอก(cylinder) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มม., สูง40 มม.จุดฐาน คือ (120, 20, 40)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



5.รวม(unite)เป็นหนึ่งเดียว

6.mirror ผ่านระนาบ x = 200



4) link 4

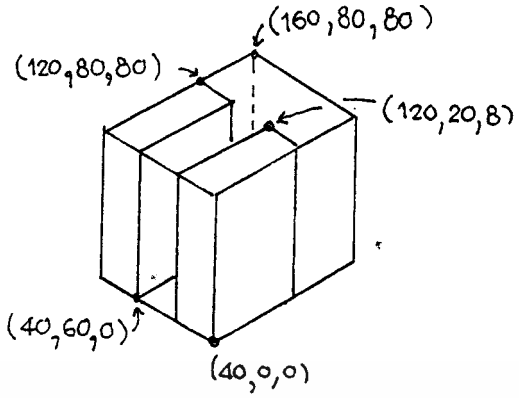
1.สร้าง 3 กล่อง(block)

-ที่มีจุดทแยงมุม (40, 0, 0) กับ (160, 80, 80)

-ที่มีจุดทแยงมุม (40, 0, 0) กับ (120, 20, 80)

-ที่มีจุดทแยงมุม (40, 60, 0) กับ (120, 80, 80)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



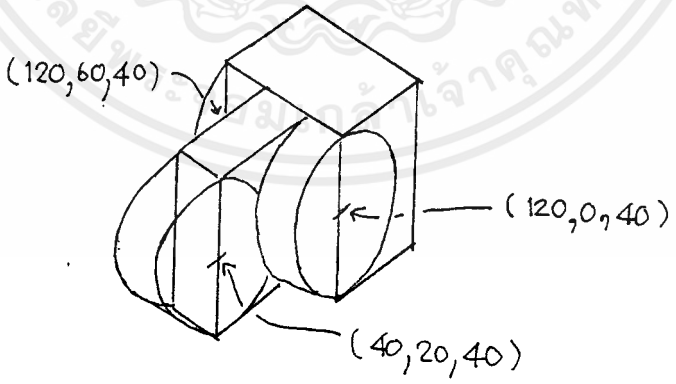
2. ลบ(subtract)กล่องใหญ่ด้วยกล่องเล็ก 2 กล่อง

3. สร้าง ทรงกระบอก(cylinder) 3 ชิ้น

-ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มม., สูง 20 มม. จุดฐาน คือ (120, 60, 40)

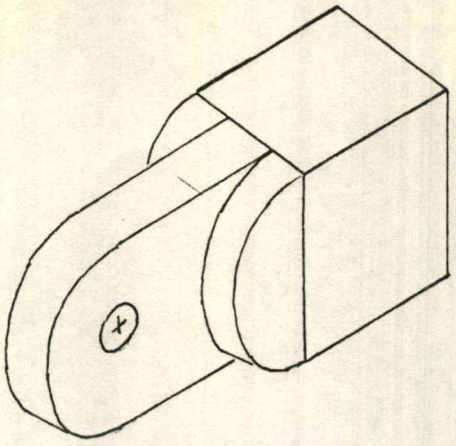
-ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มม., สูง 20 มม. จุดฐาน คือ(120, 0, 40)

-ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มม., สูง 20 มม. จุดฐาน คือ(40, 20, 40)

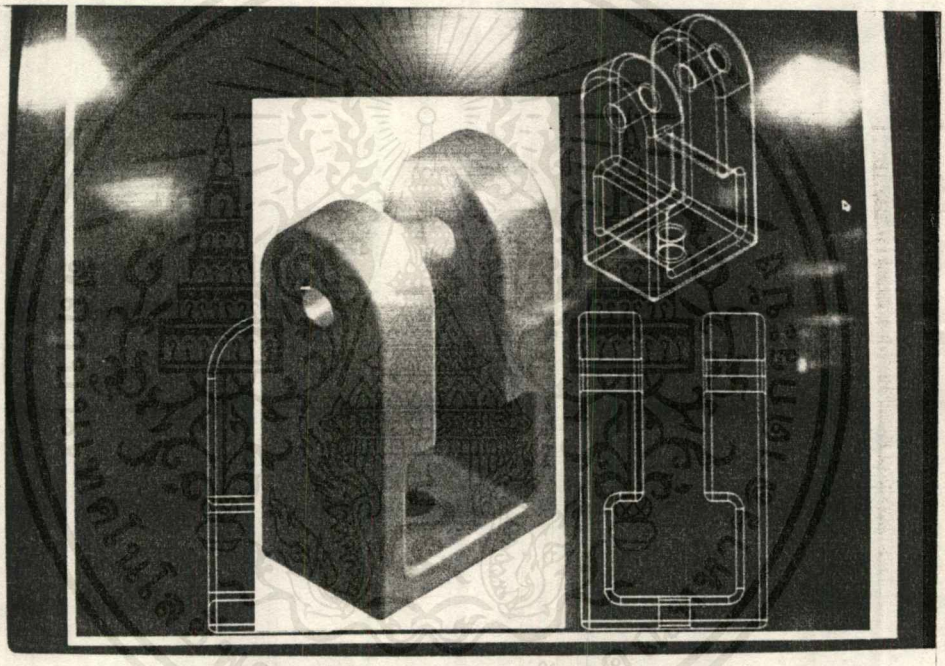


4. รวม(unite) ทั้งหมดเข้าด้วยกัน และ เจาะรู(hole)ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มม., สูง 40 มม. จุดฐานคือ (40, 20, 40)

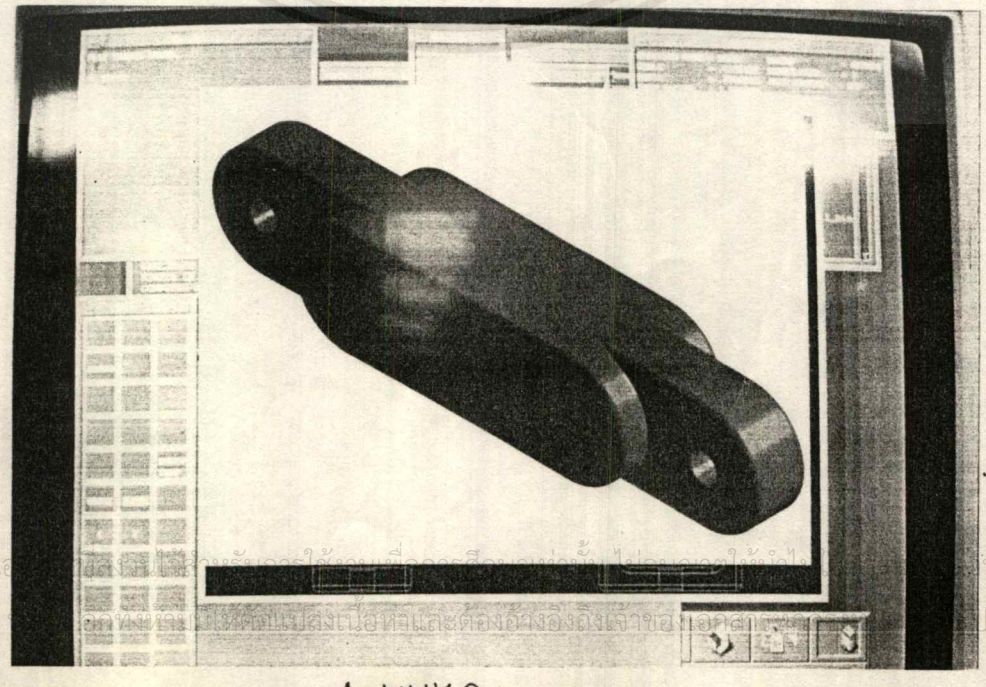
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4.2.3 รูปภาพผลลัพธ์

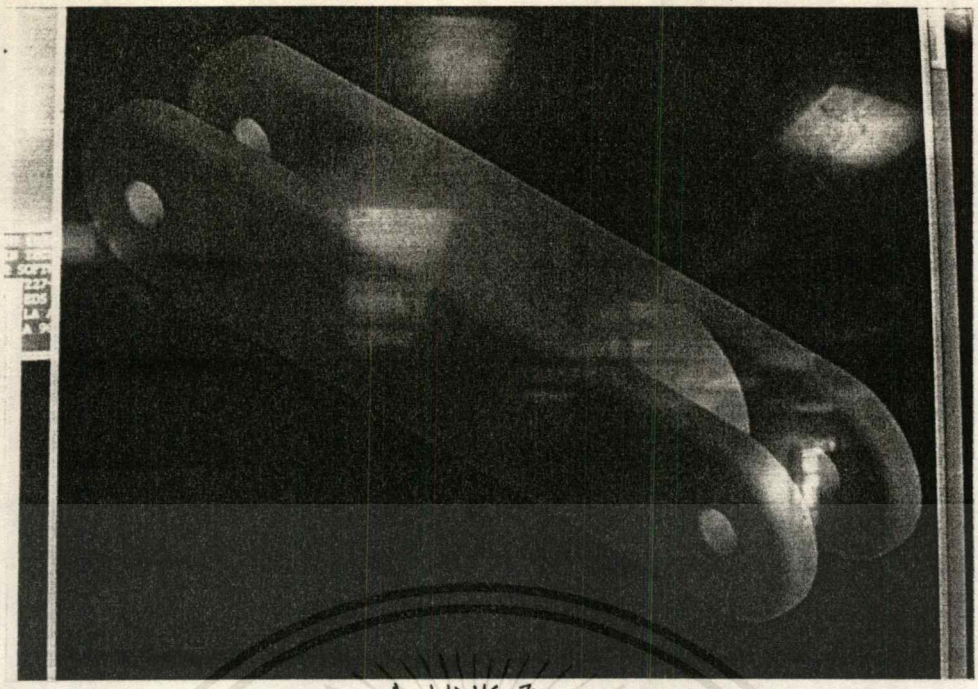


Δ LINK 1

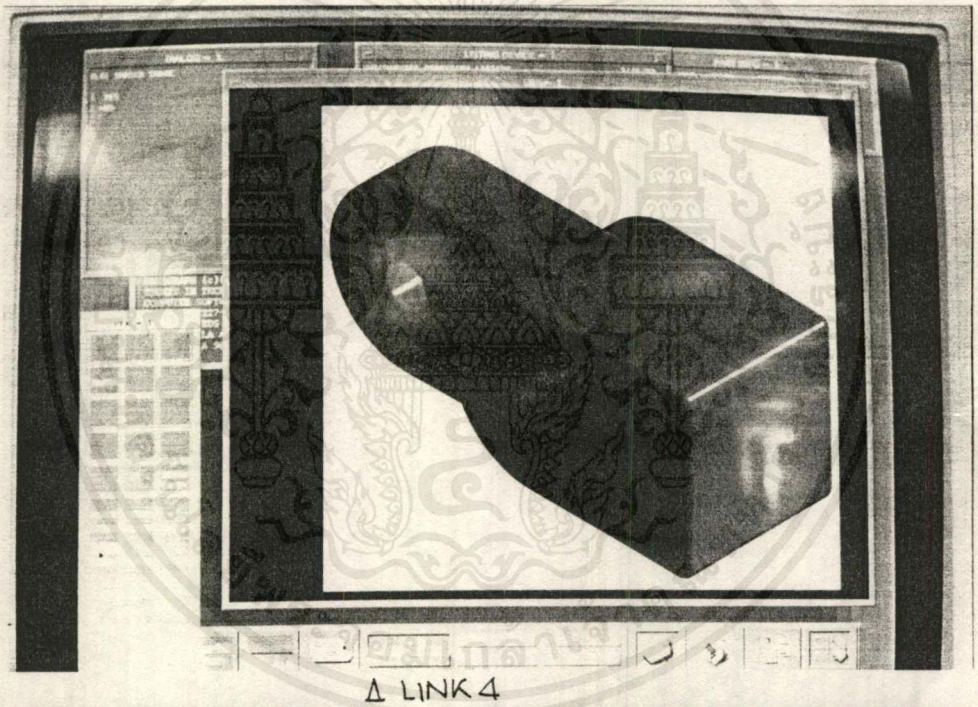


Δ LINK 2

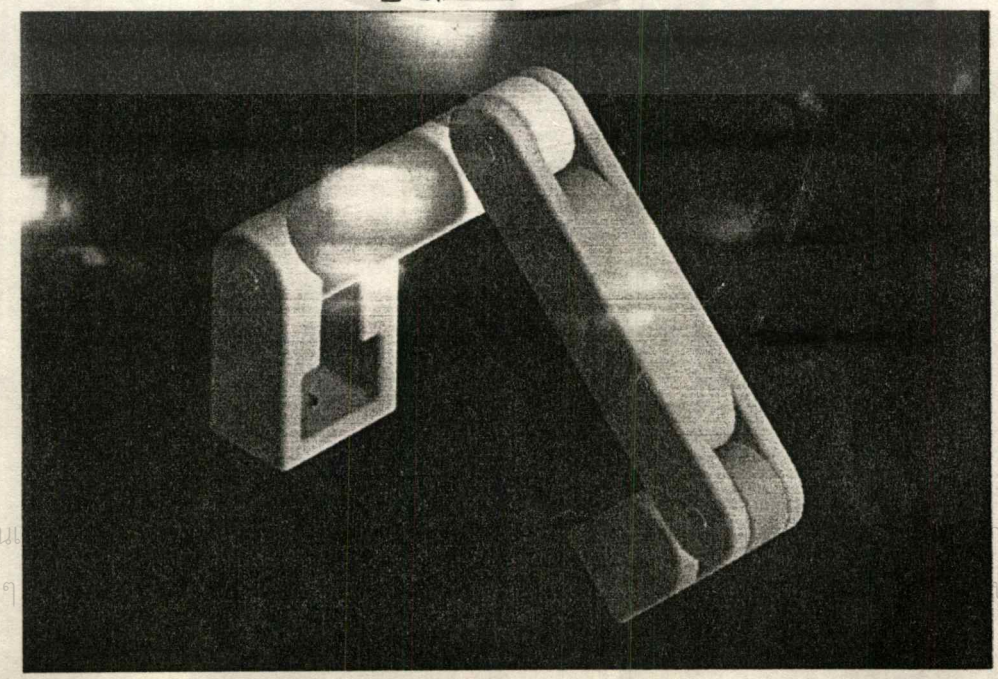
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Δ LINK 3



Δ LINK 4



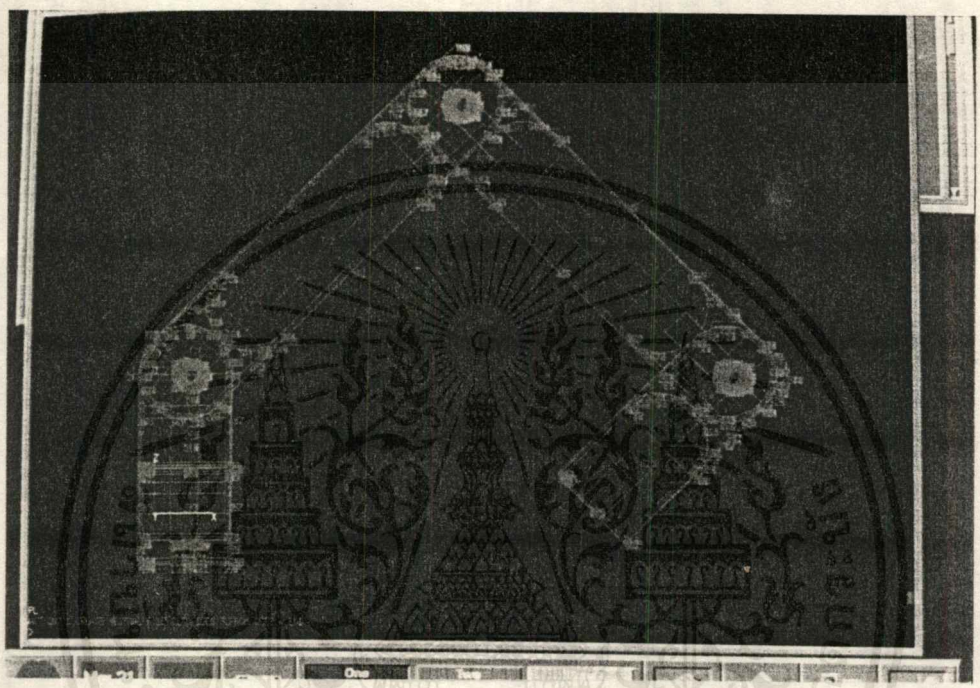
เอกสารนี้เป็นน
ไม่ว่ากรณีใดๆ
นการค้า
ปใช้

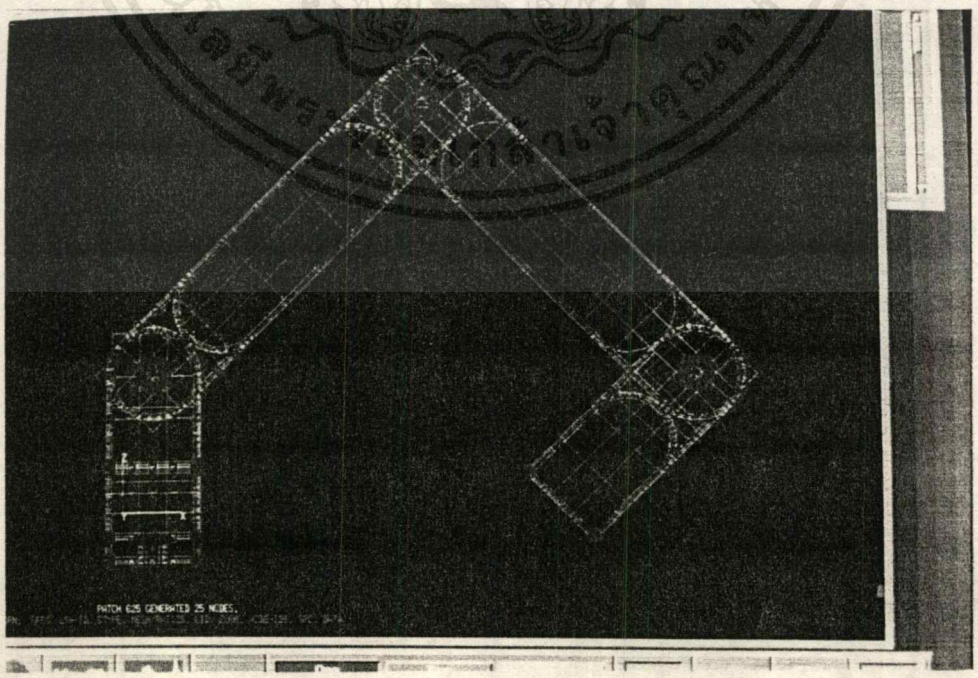
4.3 การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการสร้างชิ้นงานด้วย cae

4.3.1) การส่งข้อมูลระหว่าง ug/patran

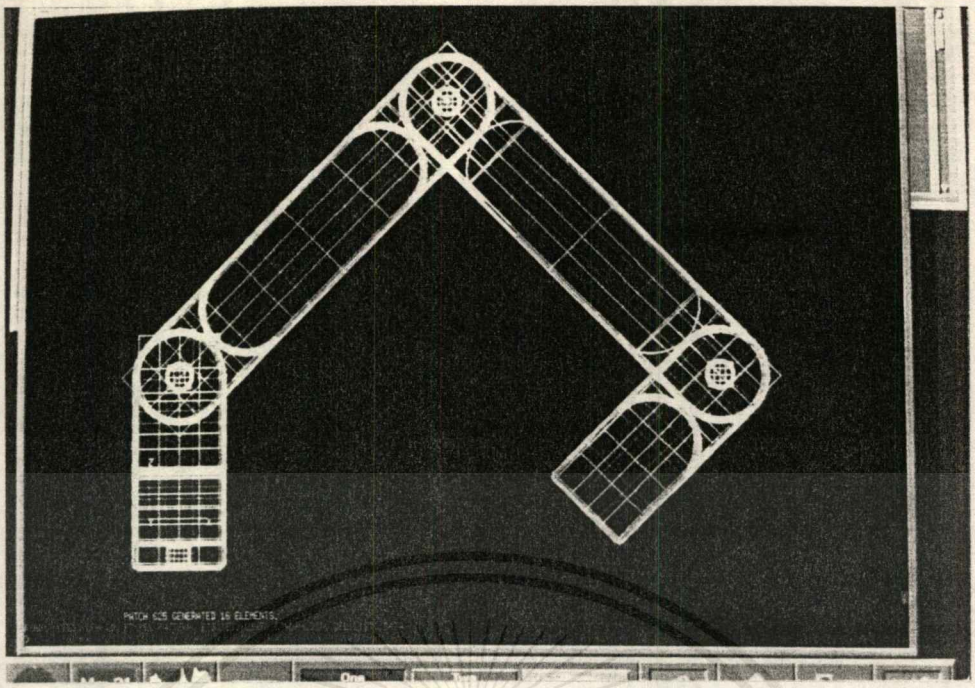
ข้อมูลที่วาดด้วย cad จะเก็บในรูปของ (.prt) แล้วจึงใช้ module ug/patran ส่งข้อมูล ไปยัง cae(patran) ในรูปของ (.bnf)

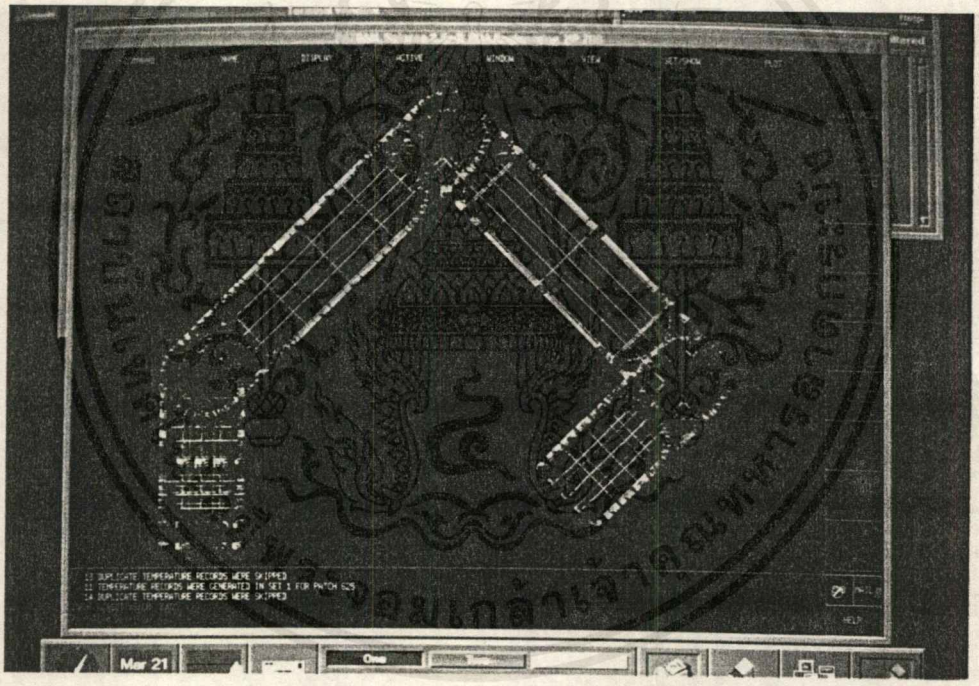
4.3.2 การวิเคราะห์ด้วย cae

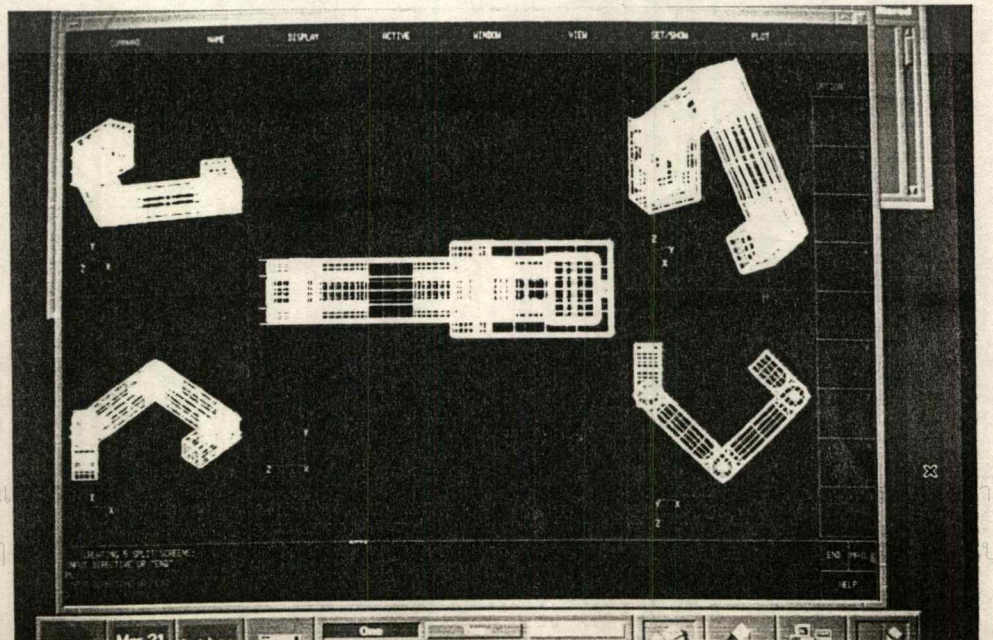




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



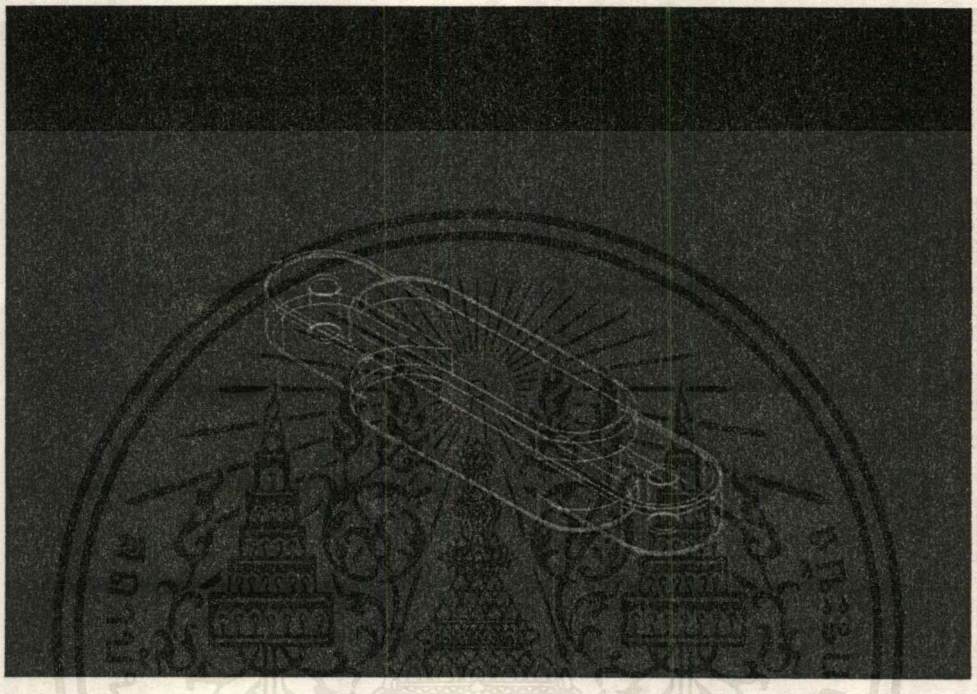


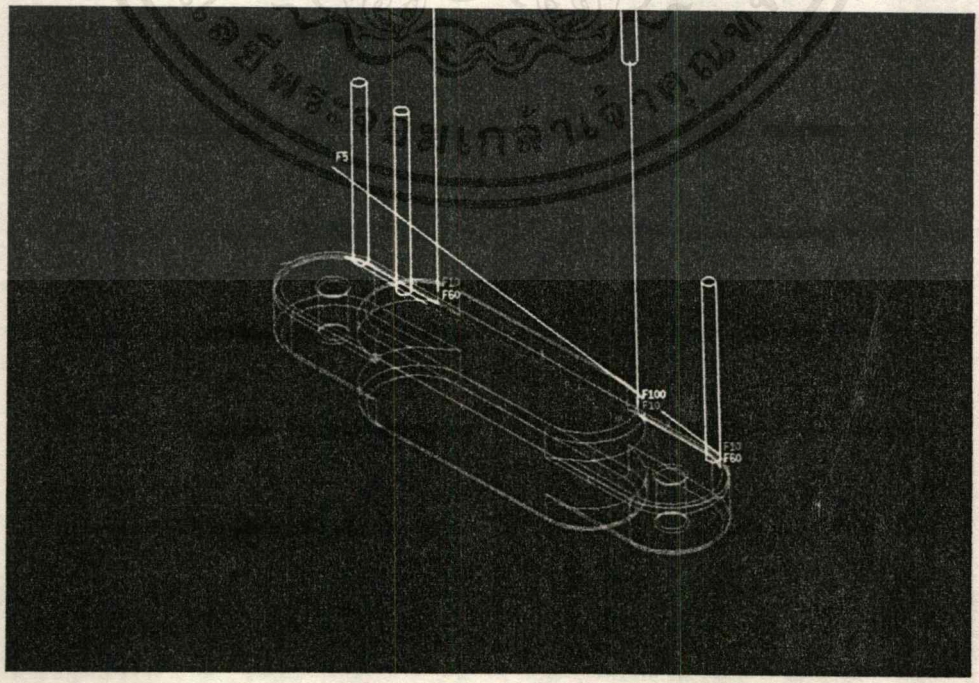


เอกสารนี้เป็น
านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ
ปใช้

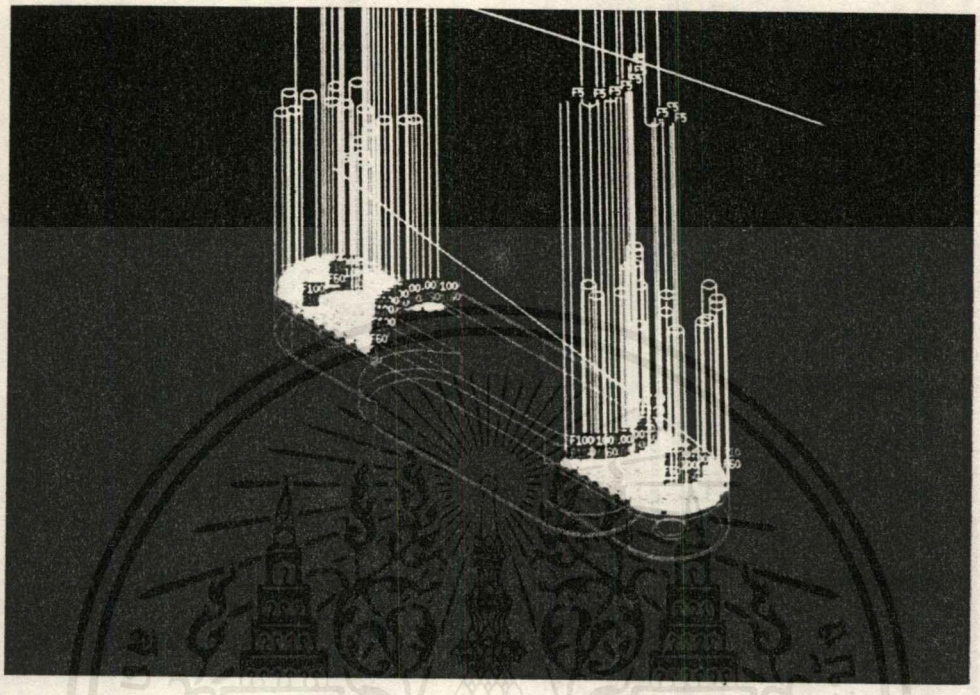
4.4 การออกแบบทางเดินที่เหมาะสมด้วย cam

เนื่องจากชิ้นงานมีหลายชิ้นเพื่อความเหมาะสมเลือกชิ้นงานที่ 2(link 2) มาออกแบบทางเดินโดยวิธี surface milling โดยเลือก fixed axis surfafe contouring ที่กล่าวในบทที่ 1 โดยแสดงผลได้ดังรูป





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



โดย ข้อมูลที่ป้อนเข้า software (Unigraphic ii) อยู่ในรูป (.prt) ส่งผลในรูป (.cls) ซึ่งเป็นภาษาพื้นฐานของ software นี้ และ แปลงเป็น G-code ซึ่งสามารถนำไปใช้กับ cnc machine ได้ โดยผ่าน personnal computer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง N-Code ของ link2

```
%<CR><LF>
N0010G71<CR><LF>
N0020G90<CR><LF>
N0030G00Z360.<CR><LF>
N0040Z160.<CR><LF>
N0050G01X378.028Y70.Z70.F5.<CR><LF>
N0060Z60.F10.<CR><LF>
N0070X375.692Y71.285F60.<CR><LF>
N0080X373.633Y72.236<CR><LF>
N0090X371.518Y73.051<CR><LF>
N0100X369.354Y73.727<CR><LF>
N0110X367.151Y74.262<CR><LF>
N0120X364.918Y74.653<CR><LF>
N0130X362.664Y74.898<CR><LF>
N0140X360.Y75.<CR><LF>
N0150X340.<CR><LF>
N0160X320.<CR><LF>
N0170X300.<CR><LF>
N0180X295.<CR><LF>
N0190Z70.F10.<CR><LF>
N0200Z360.F100.<CR><LF>
N0210G00X105.<CR><LF>
N0220G01Z70.F5.<CR><LF>
N0230Z60.F10.<CR><LF>
N0240X100.F60.<CR><LF>
N0250X80.<CR><LF>
N0260X60.<CR><LF>
N0270X40.<CR><LF>
N0280X37.336Y74.898<CR><LF>
N0290X35.082Y74.653<CR><LF>
N0300X32.849Y74.262<CR><LF>
N0310X30.646Y73.727<CR><LF>
N0320X28.482Y73.051<CR><LF>
N0330X26.367Y72.236<CR><LF>
N0340X24.308Y71.285<CR><LF>
N0350X21.972Y70.<CR><LF>
N0360X33.099<CR><LF>
N0370X44.226<CR><LF>
N0380X55.352<CR><LF>
N0390X66.479<CR><LF>
N0400X77.606<CR><LF>
N0410X88.733<CR><LF>
N0420X99.859<CR><LF>
N0430X101.25<CR><LF>
N0440X101.946<CR><LF>
N0450Z70.F10.<CR><LF>
N0460Z360.F100.<CR><LF>
N0470G00X298.054<CR><LF>
N0480G01Z70.F5.<CR><LF>
N0490Z60.F10.<CR><LF>
N0500X298.75F60.<CR><LF>
N0510X300.141<CR><LF>
N0520X311.267<CR><LF>
N0530X322.394<CR><LF>
N0540X333.521<CR><LF>
N0550X344.648<CR><LF>
N0560X355.774<CR><LF>
N0570X366.901<CR><LF>
N0580X378.028<CR><LF>
N0590X380.259Y68.541<CR><LF>
N0600X381.408Y67.69<CR><LF>
N0610X382.521Y66.792<CR><LF>
N0620X384.495Y65.<CR><LF>
N0630X372.964<CR><LF>
N0640X361.433<CR><LF>
N0650X349.902<CR><LF>
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N0660X338.371<CR><LF>
N0670X326.84<CR><LF>
N0680X315.309<CR><LF>
N0690X309.544<CR><LF>
N0700X306.661<CR><LF>
N0710X305.22<CR><LF>
N0720X304.499<CR><LF>
N0730Z70.F10.<CR><LF>
N0740Z360.F100.<CR><LF>
N0750G00X95.501<CR><LF>
N0760G01Z70.F5.<CR><LF>
N0770Z60.F10.<CR><LF>
N0780X94.78F60.<CR><LF>
N0790X93.339<CR><LF>
N0800X90.456<CR><LF>
N0810X84.691<CR><LF>
N0820X73.16<CR><LF>
N0830X61.629<CR><LF>
N0840X50.098<CR><LF>
N0850X38.567<CR><LF>
N0860X27.036<CR><LF>
N0870X15.505<CR><LF>
N0880X13.993Y63.423<CR><LF>
N0890X12.581Y61.754<CR><LF>
N0900X11.277Y60.<CR><LF>
N0910X23.072<CR><LF>
N0920X34.868<CR><LF>
N0930X46.663<CR><LF>
N0940X58.458<CR><LF>
N0950X70.253<CR><LF>
N0960X82.048<CR><LF>
N0970X87.946<CR><LF>
N0980X90.895<CR><LF>
N0990Z70.F10.<CR><LF>
N1000Z360.F100.<CR><LF>
N1010G00X309.105<CR><LF>
N1020G01Z70.F5.<CR><LF>
N1030Z60.F10.<CR><LF>
N1040X312.054F60.<CR><LF>
N1050X317.952<CR><LF>
N1060X329.747<CR><LF>
N1070X341.542<CR><LF>
N1080X353.337<CR><LF>
N1090X365.133<CR><LF>
N1100X376.928<CR><LF>
N1110X388.723<CR><LF>
N1120X389.781Y58.388<CR><LF>
N1130X390.749Y56.719<CR><LF>
N1140X391.623Y55.<CR><LF>
N1150X379.646<CR><LF>
N1160X367.67<CR><LF>
N1170X355.694<CR><LF>
N1180X343.717<CR><LF>
N1190X331.741<CR><LF>
N1200X319.764<CR><LF>
N1210X313.776<CR><LF>
N1220X312.279<CR><LF>
N1230Z70.F10.<CR><LF>
N1240Z360.F100.<CR><LF>
N1250G00X87.721<CR><LF>
N1260G01Z70.F5.<CR><LF>
N1270Z60.F10.<CR><LF>
N1280X86.224F60.<CR><LF>
N1290X80.236<CR><LF>
N1300X68.259<CR><LF>
N1310X56.283<CR><LF>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N1320X44.307<CR><LF>
N1330X32.33<CR><LF>
N1340X20.354<CR><LF>
N1350X8.377<CR><LF>
N1360X7.653Y53.367<CR><LF>
N1370X7.013Y51.699<CR><LF>
N1380X6.459Y50.<CR><LF>
N1390X18.555<CR><LF>
N1400X30.652<CR><LF>
N1410X42.748<CR><LF>
N1420X54.844<CR><LF>
N1430X66.941<CR><LF>
N1440X79.037<CR><LF>
N1450X85.085<CR><LF>
N1460X85.841<CR><LF>
N1470Z70.F10.<CR><LF>
N1480Z360.F100.<CR><LF>
N1490G00X314.159<CR><LF>
N1500G01Z70.F5.<CR><LF>
N1510Z60.F10.<CR><LF>
N1520X314.915F60.<CR><LF>
N1530X320.963<CR><LF>
N1540X333.06<CR><LF>
N1550X345.156<CR><LF>
N1560X357.252<CR><LF>
N1570X369.348<CR><LF>
N1580X381.445<CR><LF>
N1590X393.541<CR><LF>
N1600X394.183Y47.52<CR><LF>
N1610X394.641Y45.<CR><LF>
N1620X382.476<CR><LF>
N1630X370.311<CR><LF>
N1640X367.27<CR><LF>
N1650X365.749<CR><LF>
N1660X364.989<CR><LF>
N1670Z70.F10.<CR><LF>
N1680Z360.F100.<CR><LF>
N1690G00X355.105<CR><LF>
N1700G01Z70.F5.<CR><LF>
N1710Z60.F10.<CR><LF>
N1720X352.063F60.<CR><LF>
N1730X345.981<CR><LF>
N1740X333.816<CR><LF>
N1750X321.651<CR><LF>
N1760X315.568<CR><LF>
N1770X314.808<CR><LF>
N1780Z70.F10.<CR><LF>
N1790Z360.F100.<CR><LF>
N1800G00X85.192<CR><LF>
N1810G01Z70.F5.<CR><LF>
N1820Z60.F10.<CR><LF>
N1830X84.432F60.<CR><LF>
N1840X78.349<CR><LF>
N1850X66.184<CR><LF>
N1860X54.019<CR><LF>
N1870X47.937<CR><LF>
N1880X44.895Z60.067<CR><LF>
N1890Z70.067F10.<CR><LF>
N1900Z360.F100.<CR><LF>
N1910G00X35.011<CR><LF>
N1920G01Z70.F5.<CR><LF>
N1930Z60.F10.<CR><LF>
N1940X34.251F60.<CR><LF>
N1950X32.73<CR><LF>
N1960X29.689<CR><LF>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N1980X5.359<CR><LF>
N1990X5.09Y42.506<CR><LF>
N2000X5.Y40.<CR><LF>
N2010X17.188<CR><LF>
N2020X29.375<CR><LF>
N2030X32.422<CR><LF>
N2040Z70.F10.<CR><LF>
N2050Z360.F100.<CR><LF>
N2060G00X47.656<CR><LF>
N2070G01Z70.F5.<CR><LF>
N2080Z60.F10.<CR><LF>
N2090X53.75F60.<CR><LF>
N2100X65.938<CR><LF>
N2110X78.125<CR><LF>
N2120X84.219<CR><LF>
N2130X84.981<CR><LF>
N2140Z70.F10.<CR><LF>
N2150Z360.F100.<CR><LF>
N2160G00X315.02<CR><LF>
N2170G01Z70.F5.<CR><LF>
N2180Z60.F10.<CR><LF>
N2190X315.781F60.<CR><LF>
N2200X321.875<CR><LF>
N2210X334.063<CR><LF>
N2220X346.25<CR><LF>
N2230X352.344<CR><LF>
N2240Z70.F10.<CR><LF>
N2250Z360.F100.<CR><LF>
N2260G00X367.578<CR><LF>
N2270G01Z70.F5.<CR><LF>
N2280Z60.F10.<CR><LF>
N2290X370.625F60.<CR><LF>
N2300X382.813<CR><LF>
N2310X395.<CR><LF>
N2320X394.91Y37.494<CR><LF>
N2330X394.641Y35.<CR><LF>
N2340X382.476<CR><LF>
N2350X370.311<CR><LF>
N2360X367.27<CR><LF>
N2370X365.749<CR><LF>
N2380X364.989<CR><LF>
N2390Z70.F10.<CR><LF>
N2400Z360.F100.<CR><LF>
N2410G00X355.105<CR><LF>
N2420G01Z70.067F5.<CR><LF>
N2430Z60.067F10.<CR><LF>
N2440X352.063Z60.F60.<CR><LF>
N2450X345.981<CR><LF>
N2460X333.816<CR><LF>
N2470X321.651<CR><LF>
N2480X315.568<CR><LF>
N2490X314.808<CR><LF>
N2500Z70.F10.<CR><LF>
N2510Z360.F100.<CR><LF>
N2520G00X85.192<CR><LF>
N2530G01Z70.F5.<CR><LF>
N2540Z60.F10.<CR><LF>
N2550X84.432F60.<CR><LF>
N2560X78.349<CR><LF>
N2570X66.184<CR><LF>
N2580X54.019<CR><LF>
N2590X47.937<CR><LF>
N2600X44.895Z60.067<CR><LF>
N2610Z70.067F10.<CR><LF>
N2620Z360.F100.<CR><LF>
N2630G00X35.011<CR><LF>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N2640G01Z70.F5.<CR><LF>
N2650Z60.F10.<CR><LF>
N2660X34.251F60.<CR><LF>
N2670X32.73<CR><LF>
N2680X29.689<CR><LF>
N2690X17.524<CR><LF>
N2700X5.359<CR><LF>
N2710X5.817Y32.48<CR><LF>
N2720X6.459Y30.<CR><LF>
N2730X18.555<CR><LF>
N2740X30.652<CR><LF>
N2750X42.748<CR><LF>
N2760X54.844<CR><LF>
N2770X66.941<CR><LF>
N2780X79.037<CR><LF>
N2790X85.085<CR><LF>
N2800X85.841<CR><LF>
N2810Z70.F10.<CR><LF>
N2820Z360.F100.<CR><LF>
N2830G00X314.159<CR><LF>
N2840G01Z70.F5.<CR><LF>
N2850Z60.F10.<CR><LF>
N2860X314.915F60.<CR><LF>
N2870X320.963<CR><LF>
N2880X333.06<CR><LF>
N2890X345.156<CR><LF>
N2900X357.252<CR><LF>
N2910X369.348<CR><LF>
N2920X381.445<CR><LF>
N2930X393.541<CR><LF>
N2940X392.987Y28.301<CR><LF>
N2950X392.347Y26.633<CR><LF>
N2960X391.623Y25.<CR><LF>
N2970X379.646<CR><LF>
N2980X367.67<CR><LF>
N2990X355.694<CR><LF>
N3000X343.717<CR><LF>
N3010X331.741<CR><LF>
N3020X319.764<CR><LF>
N3030X313.776<CR><LF>
N3040X312.279<CR><LF>
N3050Z70.F10.<CR><LF>
N3060Z360.F100.<CR><LF>
N3070G00X87.721<CR><LF>
N3080G01Z70.F5.<CR><LF>
N3090Z60.F10.<CR><LF>
N3100X86.224F60.<CR><LF>
N3110X80.236<CR><LF>
N3120X68.259<CR><LF>
N3130X56.283<CR><LF>
N3140X44.307<CR><LF>
N3150X32.33<CR><LF>
N3160X20.354<CR><LF>
N3170X8.377<CR><LF>
N3180X9.252Y23.281<CR><LF>
N3190X10.219Y21.613<CR><LF>
N3200X11.277Y20.<CR><LF>
N3210X23.072<CR><LF>
N3220X34.868<CR><LF>
N3230X46.663<CR><LF>
N3240X58.458<CR><LF>
N3250X70.253<CR><LF>
N3260X82.048<CR><LF>
N3270X87.946<CR><LF>
N3280X90.895<CR><LF>
N3290Z70.F10.<CR><LF>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
N3300Z360.F100.<CR><LF>
N3310G00X309.105<CR><LF>
N3320G01Z70.F5.<CR><LF>
N3330Z60.F10.<CR><LF>
N3340X312.054F60.<CR><LF>
N3350X317.952<CR><LF>
N3360X329.747<CR><LF>
N3370X341.542<CR><LF>
N3380X353.337<CR><LF>
N3390X365.133<CR><LF>
N3400X376.928<CR><LF>
N3410X388.723<CR><LF>
N3420X387.419Y18.246<CR><LF>
N3430X386.007Y16.578<CR><LF>
N3440X384.495Y15.<CR><LF>
N3450X372.964<CR><LF>
N3460X361.433<CR><LF>
N3470X349.902<CR><LF>
N3480X338.371<CR><LF>
N3490X326.84<CR><LF>
N3500X315.309<CR><LF>
N3510X309.544<CR><LF>
N3520X306.661<CR><LF>
N3530X305.22<CR><LF>
N3540X304.499<CR><LF>
N3550Z70.F10.<CR><LF>
N3560Z360.F100.<CR><LF>
N3570G00X95.501<CR><LF>
N3580G01Z70.F5.<CR><LF>
N3590Z60.F10.<CR><LF>
N3600X94.78F60.<CR><LF>
N3610X93.339<CR><LF>
N3620X90.456<CR><LF>
N3630X84.691<CR><LF>
N3640X73.16<CR><LF>
N3650X61.629<CR><LF>
N3660X50.098<CR><LF>
N3670X38.567<CR><LF>
N3680X27.036<CR><LF>
N3690X15.505<CR><LF>
N3700X17.479Y13.208<CR><LF>
N3710X18.592Y12.311<CR><LF>
N3720X19.741Y11.459<CR><LF>
N3730X21.972Y10.<CR><LF>
N3740X33.099<CR><LF>
N3750X44.226<CR><LF>
N3760X55.352<CR><LF>
N3770X66.479<CR><LF>
N3780X77.606<CR><LF>
N3790X88.733<CR><LF>
N3800X99.859<CR><LF>
N3810X101.25<CR><LF>
N3820X101.946<CR><LF>
N3830Z70.F10.<CR><LF>
N3840Z360.F100.<CR><LF>
N3850G00X298.054<CR><LF>
N3860G01Z70.F5.<CR><LF>
N3870Z60.F10.<CR><LF>
N3880X298.75F60.<CR><LF>
N3890X300.141<CR><LF>
N3900X311.267<CR><LF>
N3910X322.394<CR><LF>
N3920X333.521<CR><LF>
N3930X344.648<CR><LF>
N3940X355.774<CR><LF>
N3950X366.901<CR><LF>
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
N3960X378.028<CR><LF>
N3970X375.692Y8.715<CR><LF>
N3980X373.633Y7.765<CR><LF>
N3990X371.518Y6.95<CR><LF>
N4000X369.354Y6.273<CR><LF>
N4010X367.151Y5.738<CR><LF>
N4020X364.918Y5.347<CR><LF>
N4030X362.664Y5.102<CR><LF>
N4040X360.Y5.<CR><LF>
N4050X340.<CR><LF>
N4060X320.<CR><LF>
N4070X300.<CR><LF>
N4080X295.<CR><LF>
N4090Z70.F10.<CR><LF>
N4100Z360.F100.<CR><LF>
N4110G00X105.<CR><LF>
N4120G01Z70.F5.<CR><LF>
N4130Z60.F10.<CR><LF>
N4140X100.F60.<CR><LF>
N4150X80.<CR><LF>
N4160X60.<CR><LF>
N4170X40.<CR><LF>
N4180Z70.F10.<CR><LF>
N4190Z360.F100.<CR><LF>
N4200X440.Y120.<CR><LF>
N4210G00Z460.<CR><LF>
N4220X40.Y40.<CR><LF>
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การใช้โปรแกรมในการศึกษาครั้งนี้ เป็นการใช้โปรแกรมช่วยออกแบบ(CAD) ในขั้นตอนแรก ซึ่งประหยัดเวลาหากสามารถใช้โปรแกรมนั้นๆจนชำนาญ โดยเวลาแก้ไขแบบเพิ่มเติมจะสะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น หลังจากนั้นส่งข้อมูลที่ได้ไปยังโปรแกรมอื่นๆ เพื่อใช้งานด้านต่างๆตามที่ต้องการ ในที่นี้โปรแกรมช่วยการผลิต(CAM) และ โปรแกรมช่วยวิเคราะห์(CAE)รับข้อมูลดังกล่าวมาใช้ต่อไป โดยทั่วๆไปโปรแกรม CAD และCAMจะสามารถส่งข้อมูลกันโดยตรงเพราะผลิตมาจากบริษัทเดียวกัน ดังนั้นปัญหาที่อาจเกิดขึ้นตามมาคือการส่งข้อมูลระหว่างCADกับCAE ที่โดยทั่วไปจะผลิตโดยอีกบริษัทหนึ่ง ซึ่งเชี่ยวชาญด้านการวิเคราะห์โดยตรง ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่ง ที่ต้องทราบถึงลักษณะโครงสร้างข้อมูลที่แต่ละโปรแกรมสร้างขึ้นมา เพื่อจะได้สะดวกต่อการพิจารณาเลือกรูปแบบที่เหมาะสมในการส่งข้อมูลระหว่างกัน การศึกษาครั้งนี้ได้เขียนไว้บ้างแล้วในเรื่องUG/PATRAN Interface ซึ่งในส่วนของPATRAN(CAE)ยังมีปัญหาเรื่องการ set up เข้าสู่โปรแกรม P/FEA ยังเกิดerror opening ..iostat-1 อยู่ โดยอาจติดต่อทางบริษัทแม่เพื่อขอข้อมูล

ในส่วนของ CAM นั้น สามารถที่จะสร้าง N-code ที่ต้องการได้ และการInterface กับ NC Machine นั้น จำเป็นจะต้องทราบข้อมูลจำเพาะ(Specification)ของเครื่องที่ใช้ก่อนกำหนดข้อมูลใน CAM รวมถึงขีดความสามารถในขณะนั้นด้วย หลังจากที่ได้ชิ้นส่วนต่างๆตามต้องการแล้ว สามารถนำมาคำนวณหา torgeของมอเตอร์ได้ตามทฤษฎี roboticที่ได้เขียนไว้แล้ว หรืออาจใช้ Mechanism module ในUG แสดงผลออกมาได้ซึ่งเขียนไว้บ้างแล้วบางส่วน ซึ่งในที่นี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นอาจนำมาใช้พัฒนาต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวกที่ 1

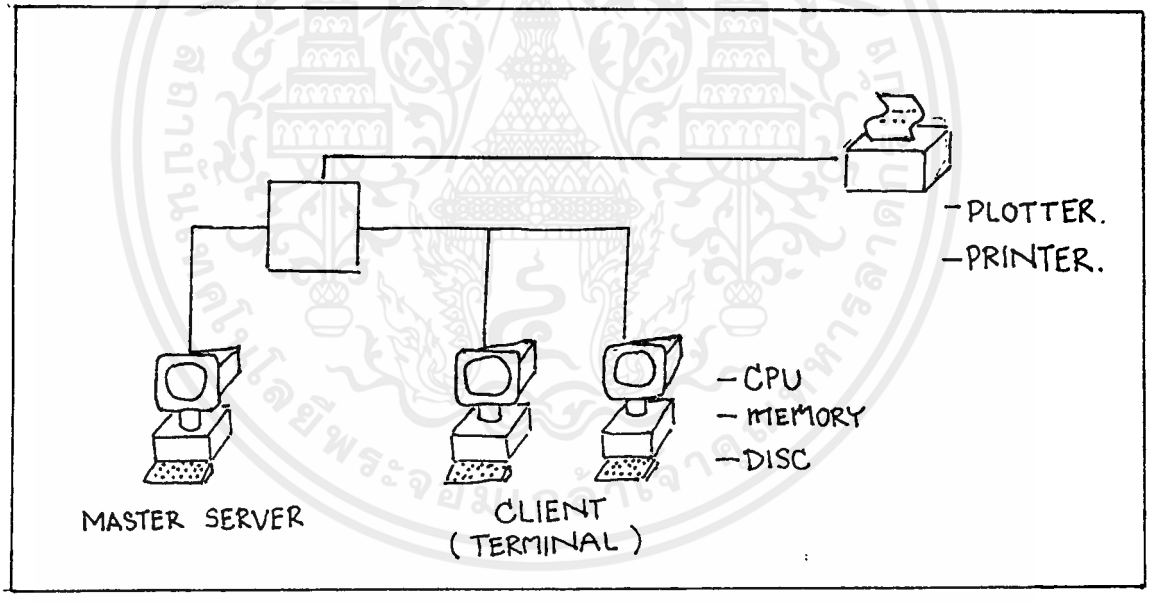
ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับระบบ UNIX OPERATING SYSTEM

A1.1 ระบบ Unix

unix เป็นระบบ o.s.ชนิดหนึ่งซึ่งออกแบบให้ระบบ computer สามารถจัดสรรทรัพยากร(resource) เช่น softwares, ผู้ใช้(user), อย่างเหมาะสม มีหน้าที่หลัก 2 ประการ คือ

1. จัดสรร software เดียวกันจากเครื่องหนึ่ง (terminal) ไปยังเครื่องต่างๆ สำหรับผู้ใช้หลายคนในเวลาเดียวกัน เรียกว่า Network File system

2. ช่วยให้การติดต่อระหว่างผู้ใช้กับ computer สะดวก โดยผู้ใช้คนเดียวกันสามารถใช้หลายๆเครื่องในเวลาเดียวกันเรียกว่า Network Information



ผู้ใช้ระบบ unix ทุกคนจะมีชื่อบัญชี (login) ของตนเอง และ รหัสลับ (password) ซึ่งจะไม่ปรากฏบนจอภาพ เพื่อกระทำการติดต่อกับข้อมูลในบัญชี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A1.2 O.S.Command

เครื่องหมายซ้ายมือสุด คือ $ เป็นเครื่องหมายที่แสดงว่า ระบบกำลังคอยรับคำสั่ง (command) สั่งการทำงาน ซึ่งคำสั่งที่ควรทราบได้แก่

-$ pwd คือ ถามว่า directory คืออะไร

ตัวอย่าง $ pwd (enter)

/user/eng/bin

-$ who am i คือ ถามว่า เจ้าของบัญชีใด เป็นผู้ใช้เครื่องอยู่

ตัวอย่าง $ who am i (enter)

/user/eng/guy

-$ cd คือ กลับบ้าน หรือ กลับไปยัง directory ของเรา

ตัวอย่าง $ cd (enter)

/user/eng/guy

-$ cd /... คือ คำสั่งสำหรับ directory ต่างกับ ระบบ dos ตรงที่สามารถเปลี่ยน directory ทุกครั้ง โดยอ้างอิงกับ root (/)โดยตรง

ตัวอย่าง $ cd /user/account (enter)

/user/account

-$ date คือ การถามเวลาปัจจุบัน

-$ ls -d คือ คำสั่งให้แสดง files ทั้งหมดใน directory ปัจจุบัน

-$ ls คือ คำสั่งให้แสดง files ทั้งหมดใน directoryปัจจุบัน โดยแสดง คุณสมบัติทั้งหมด

ตัวอย่าง /user/eng/guy

$ ls

project.bnf project.pix project.prt

A1.3 Mode

ในแต่ละ file ประกอบด้วย เลขฐาน 8 จำนวน 10 ตัว หรือ mode ใช้แสดงคุณสมบัติ (property) ของ file

d r w x r w x r w x

อักษรตัวแรก บอกว่าเป็น directory (d) หรือ file (_) ส่วนอักษร 9 ตัวที่เหลือ แบ่งเป็น 3 กลุ่ม แต่ละกลุ่ม ประกอบด้วย r w x ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มซ้ายมือ คือ ผู้ใช้เจ้าของ (owner)

กลุ่มกลาง คือ ผู้ใช้ในกลุ่มเดียวกัน (group)

กลุ่มขวามือ คือ ผู้ใช้คนอื่นที่เหลือ (other)

โดย r หมายถึง read อ่าน

w หมายถึง write เขียน และ ลบ file

x หมายถึง execute file

ตัวอย่าง $1111010000_8 = 750_{10}$ หมายถึง

ตัวแรก เป็น directory

ตัวที่ 2-4 (ผู้ใช้เจ้าของ) สามารถ กระทำการต่างๆกับ file ได้

ตัวที่ 5-7 (ผู้ใช้ในกลุ่ม) สามารถ write file ได้ เท่านั้น

ตัวที่ 8-10 (ผู้ใช้คนอื่น) สามารถ ไม่สามารถกระทำการใดๆ

A1.4 Pathname

การระบุตำแหน่งที่อยู่ ของไฟล์ มีการระบุได้ 2 แบบ

ก. แบบสัมบูรณ์ ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ A1.2

ตัวอย่าง $ cd /user/eng/animal

ข. แบบสัมพัทธ เป็นการระบุโดยใช้ตัวย่อพิเศษ เพื่อความสะดวก และรวดเร็ว ตัวย่อพิเศษมี 2 ชนิด ได้แก่

. หมายถึง directory ของเรา

.. หมายถึง directory ที่สูงกว่า หรือ เรียกง่ายๆว่า directory พ่อ

ตัวอย่าง $ cd ../guy หรือ $ /users/eng/guy

$ cd ./ant หรือ $ /user/eng/animal/ant

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1." THE ART OF FINITE ELEMENT ANALYSIS USING P/FEA ",COSTA MESA, CALIFORNIA, PDA ENGINEERING, 1990

2." INTRODUCTION TO PATRAN PLUS ", COSTA MESA, CALIFORNIA, PDA ENGINEERING, 1991

3.LARRAY J.SEGERLIND, " APPIED FINITE ELEMENT ANALYSIS " 2ND ETD., JOHN WILEY&SON, 1984

4." P/FEA USER MANUAL (RELEASE 2.5) ", COSTA MESA, CALIFORNIA, PDA ENGINEERING, 1990

5." PATRAN PLUS USER MANUAL VOLUME 1&2 ", PDA ENGINEERING, COSTA MESA, CALIFORNIA, 1990

6.ANTTI J. KOIVO, " FUNDAMENTAL FOR CONTROL OF ROBOTIC MANIPULATERS ", SINGAPORE, WILEY&SON, 1989

7." UG SOLIDS OPERATIONS DESCRIPTION ", MCDONNELL DOUGLAS CORPORATION, CYPRESS, CALIFORNIA, 1991

8." UG : MANUFACTURING OPERATIONS DESCRIPTION VOLUME 1&2 " MCDONNELL DOUGLAS CORPORATION, CYPRESS, CALIFORNIA, 1991

9. ดร. ดวงแก้ว สวามิภักดิ์, " ระบบต่าเนินงานยูนิกส์ ", กรุงเทพฯ, บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2532

10.ดร. พูลศักดิ์ บุญพราหมณ์, " คอมพิวเตอร์ช่วยงานอุตสาหกรรม ", บริษัท ดวงกมลสมัย จำกัด, 2534

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อาจารย์ มนต์ศักดิ์ พิมสาร, อาจารย์ อุนนัต พิณโสภณ และอาจารย์ สรรพสิทธิ์ ลิ่มนรรัตน์ ที่ให้คำปรึกษาต่าง ๆ และกำลังใจในการทำงาน

ขอขอบคุณ คุณ ณรงค์ศักดิ์ ดิษฐสกุล ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับระบบ unix และอำนวยความสะดวก ในการใช้ workstation ที่ สำนักวิจัยและบริการ computer

ขอขอบคุณ อาจารย์ กวิน สนธิเพิ่มพูน และอาจารย์ สุรสิทธิ์ วรรณไกรโรจน์

ขอขอบคุณ เพื่อนๆภาควิชาเครื่องกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้