

การพัฒนาระบบสร้างแบบจำลองสามมิติแบบโซลิดโดยใช้พาราโซลิดเคอร์เนล

นายกฤษณะ อุตมั่ง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-1168-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF A 3-D SOLID MODELING SYSTEM BASED ON THE PARASOLID KERNEL

Mr. Kritsana Uttamang

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-03-1168-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การพัฒนาระบบสร้างแบบจำลองสามมิติแบบโซลิดโดยใช้พาราโซลิด
เคอร์เนล

โดย

นายกฤษณะ อุตมั่ง


สาขาวิชา

วิศวกรรมเครื่องกล

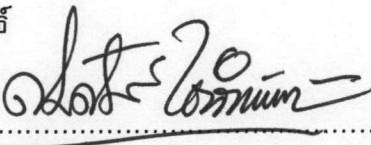
อาจารย์ที่ปรึกษา

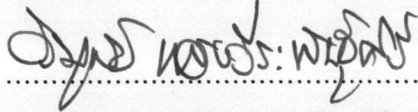
รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ

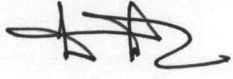
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

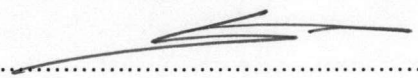

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ไชยะภินันท์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เสถียร วงศ์สารเจริญ)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชทิน จันทรเจริญ)

กฤษณะ อุตมั่ง : การพัฒนาระบบสร้างแบบจำลองสามมิติแบบโซลิดโดยใช้พาราโซลิดเคอร์เนล.
(DEVELOPMENT OF A 3-D SOLID MODELING SYSTEM BASED ON THE
PARASOLID KERNEL) อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ.ดร.วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ, 170 หน้า. ISBN
974-03-1168-7.

ในงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ ชื่อ ซียู-โซลิด ซอฟต์แวร์ที่
พัฒนานี้ครอบคลุมการสร้างแบบจำลองจำลองโซลิดสามมิติแบบต่าง ๆ โดยใช้พาราโซลิดเคอร์เนล
และทำงานบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 2000 ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาสามารถสร้างและแก้ไขแบบจำลองโซลิด
ด้วยวิธีพาราเมตริกแบบอ้างอิงกับลักษณะจำเพาะ ลักษณะจำเพาะที่ใช้สร้างและแก้ไขแบบจำลอง
โซลิดประกอบด้วย การพอกและการตัดด้วยการยืดในแนวเส้นตรง การพอกและการตัดด้วยการกวาด
เชิงมุม การพอกและการตัดด้วยการยืดตามเส้นนำ การพอกและการตัดด้วยลอฟท์ การทำฟิลเลต การ
ทำแชมเฟอร์ และการทำโซลิดคกวง ในส่วนการจัดเก็บข้อมูลแบบจำลองโซลิด จะใช้รูปแบบของพารา
โซลิดเอ็กซ์ที่เป็นรูปแบบหลัก

ในการทดสอบความเข้ากันได้ของรูปแบบการจัดเก็บข้อมูลแบบจำลองโซลิดชนิดพาราโซลิด
เอ็กซ์ที่ได้จากซียู-โซลิดเปรียบเทียบกับซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบที่มีขายในท้องตลาด
ได้แก่ ยูนิกราฟิก โซลิด-เอดจ์ และโซลิดเวิร์ก พบว่าซียู-โซลิดสามารถเปิดอ่าน และบันทึกข้อมูล
แบบจำลองโซลิดได้อย่างถูกต้อง

ภาควิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล.....
ปีการศึกษา.....2544.....

ลายมือชื่อนิสิต.....กฤษณะ อุตมั่ง.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4170212421 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEY WORD: CAD / SOLID MODELING / PARASOLID / CU-SOLID

KRITSANA UTTAMANG : DEVELOPMENT OF A 3-D SOLID MODELING SYSTEM
BASED ON THE PARASOLID KERNEL. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. VIBOON
SANGVERAPHUNSIRI, Ph.D., 170 pp. ISBN 974-03-1168-7.

This research is to develop a Computer Aided Design (CAD) software, the CU-Solid. The software covers various type of 3-D solid modeling techniques based on the Parasolid graphic kernel under Windows 2000 platform. This software can be used for creating and modifying solid models using Parametric Feature-Based technology. The supporting features included are extrusion, extrusion cutout, revolution, revolution cutout, swept, swept cutout, loft, loft cutout, fillet, chamfer and hollow. The Parasolid Transmission XT format is used as the main data format for storing the Solid data.

To verify the compatibility of the data format, with commercial packages, Unigraphics, SolidEdge, and SolidWorks, are used. These commercial packages based on the same Parasolid graphic kernel. The result shown that the CU-Solid can import and export the commercial packages data correctly.

Department.....Mechanical Engineering Student's signature.....*K. Uttamang*
Field of study.....Mechanical Engineering Advisor's signature.....*Viboon Sangveraphunsiri*
Academic year.....2001..... Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รศ.ดร. วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ท่านได้สละเวลาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัย พร้อมทั้งสนับสนุนทางด้านอุปกรณ์ และสถานที่ในการทำวิจัยมาด้วยดีโดยตลอด จึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ ขอขอบคุณ ผศ.ดร.รัชทิน จันทรเจริญ อาจารย์สุพัตรา ธงชัย นายสุกิจ วรรณโสภณกุล และเพื่อน ๆ ทุกคน ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาในด้านต่าง ๆ และเป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยเสมอมา

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้ให้กำลังใจและสนับสนุนในทุก ๆ ด้านจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

บทที่	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	4
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 วิวัฒนาการของซอฟต์แวร์ช่วยในการออกแบบ.....	5
2.2 ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบที่ใช้พาราโซลิดเคอร์เนล.....	7
3 ความรู้พื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	9
3.1 เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ.....	9
3.2 รูปแบบการนำเสนอแบบจำลองโซลิด.....	11
3.3 เทคโนโลยีพาราเมตริกในงานคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ.....	13
3.4 ลักษณะจำเพาะที่กำหนดขึ้นเพื่อใช้สร้างแบบจำลองโซลิดในซอฟต์แวร์ คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ ที่นิยมในปัจจุบัน.....	14
3.5 องค์ประกอบทางโทโปลยี.....	19
3.6 องค์ประกอบทางเรขาคณิต.....	21
3.7 การกระทำบูลีนสำหรับแบบจำลองโซลิด.....	27
3.8 พาราโซลิดเคอร์เนล (Parasolid Kernel).....	27
3.9 โอเพนจีแอล (OpenGL).....	29
4 โครงสร้าง และการออกแบบโปรแกรม.....	31

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	31
4.2 การออกแบบซอฟต์แวร์.....	31
4.3 การออกแบบส่วนจัดการข้อมูลแบบจำลองโซลิต.....	32
4.4 การออกแบบส่วนต่อประสานกับซอฟต์แวร์เสริม.....	36
4.5 การออกแบบส่วนสร้างและแก้ไขแบบจำลองโซลิต.....	41
4.6 การออกแบบส่วนสร้างและแก้ไขระนาบอ้างอิง.....	47
4.7 การออกแบบส่วนสร้างและแก้ไขแบบร่างบนระนาบ.....	49
4.8 การออกแบบส่วนฐานข้อมูล.....	57
4.9 การออกแบบส่วนแสดงผลสามมิติ.....	59
4.10 การออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้.....	60
5 การทดสอบโปรแกรมและผลการทดสอบ.....	63
5.1 การทดสอบการสร้างแบบจำลองโซลิตด้วยลักษณะจำเพาะต่าง ๆ ที่สร้างขึ้น.....	64
5.2. การทดสอบการเปิด และบันทึกแฟ้มข้อมูลแบบจำลองโซลิต.....	84
6 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	87
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	87
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	88
รายการอ้างอิง.....	91
บรรณานุกรม.....	92
ภาคผนวก ก.....	94
ภาคผนวก ข.....	126
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	170

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตาราง 4.1 รายละเอียดข้อมูลของแอททริบิวต์ KRS/TYDA_FEATURELIST.....	58
ตาราง 4.2 รายละเอียดข้อมูลของแอททริบิวต์ KRS/TYDA_VISIBLE.....	58
ตาราง 4.3 รายละเอียดข้อมูลของแอททริบิวต์ KRS/TYDA_ITEMTYPE.....	59
ตาราง ข.1 ฟังก์ชันภายในคลาส CXXXApp.....	130
ตาราง ข.2 แสดงฟังก์ชันรองรับอีฟเว่นในคลาสที่สร้างขึ้นโดยซียู-โซลิดแอสอินแอฟวิซซาจ.....	131
ตาราง ข.3 แสดงค่าของตัวแปรชนิด KRSCONNECTMODE.....	134
ตาราง ข.4 ตารางค่าของตัวแปร KRSDISCONNECTMODE.....	135
ตาราง ข.5 ตารางค่าตัวแปรชนิด KRSCMDUI.....	138
ตาราง ข.6 ตารางค่าตัวแปรชนิด KRSUNITTYPE.....	161
ตาราง ข.7 ตารางค่าตัวแปรชนิด KRSEVERTYPE.....	163
ตาราง ข.8 ตารางค่าตัวแปรชนิด KRSENDEREVERTYPE.....	168

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 3.1 แสดงแบบจำลองโครงลวด.....	10
รูปที่ 3.2 แสดงแบบจำลองรูปผิว.....	10
รูปที่ 3.3 แสดงแบบจำลองโซลิด.....	11
รูปที่ 3.4 แสดงแบบจำลองซีเอสจี.....	12
รูปที่ 3.5 แสดงแผนผังองค์ประกอบทางโทโปโลยี และเรขาคณิตของแบบจำลอง ปี-เรพ.....	12
รูปที่ 3.6 แสดงการยึดตามแนวเส้นตรง.....	14
รูปที่ 3.7 แสดงการกวาดเชิงมุม.....	15
รูปที่ 3.8 แสดงการยึดตามเส้นนำ.....	15
รูปที่ 3.9 แสดงการลอฟท์.....	16
รูปที่ 3.10 แสดงการพอก และการตัดด้วยการยึดตามแนวเส้นตรง.....	16
รูปที่ 3.11 แสดงการพอกและการตัดด้วยการกวาดเชิงมุม.....	17
รูปที่ 3.12 แสดงการพอกและการตัดด้วยการยึดตามเส้นนำ.....	17
รูปที่ 3.13 แสดงการพอกและการตัดด้วยลอฟท์.....	18
รูปที่ 3.14 แสดงการทำฟิลเลต.....	18
รูปที่ 3.15 แสดงการทำแชมเฟอร์.....	18
รูปที่ 3.16 แสดงการทำโซลิดกลวง.....	19
รูปที่ 3.17 แสดงพื้นผิวระนาบ.....	21
รูปที่ 3.18 แสดงพื้นผิวทรงกระบอก.....	22
รูปที่ 3.19 แสดงพื้นผิวทรงกรวย.....	22
รูปที่ 3.20 แสดงพื้นผิวทรงกลม.....	23
รูปที่ 3.21 แสดงพื้นผิวทรงทอรัส.....	23
รูปที่ 3.22 แสดงเส้นตรง.....	25
รูปที่ 3.23 แสดงวงกลม.....	25
รูปที่ 3.24 แสดงวงรี.....	26
รูปที่ 3.25 แสดงการกระทำบูลีนระหว่างแบบจำลองโซลิด.....	27
รูปที่ 3.26 แสดงการเชื่อมต่อกับพาราโซลิด.....	28
รูปที่ 3.27 แสดงภาพ 3 มิติพื้นฐานแบบต่าง ๆ ของโอเพนจีเอล.....	30

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.1 แสดงตัวต่อประสานส่วนที่ซียู-โซลิดเรียกใช้.....	36
รูปที่ 4.2 แสดงแผนผังการเชื่อมโยงระหว่างตัวต่อประสานต่าง ๆ ภายในซียู-โซลิด.....	39
รูปที่ 4.3 แสดงการพอกด้วยการยึดตามแนวเส้นตรงกำหนดขอบเขตด้วยระยะการยึด.....	42
รูปที่ 4.4 แสดงการพอกด้วยการยึดตามแนวเส้นตรงกำหนดขอบเขตด้วยหน้าแรกที่ตัดผ่านแนวการยึด.....	42
รูปที่ 4.5 แสดงการพอกด้วยการยึดตามแนวเส้นตรงกำหนดขอบเขตด้วยหน้าสุดท้ายที่ตัดผ่านแนวการยึด.....	42
รูปที่ 4.6 แสดงการพอกด้วยการยึดตามแนวเส้นตรงกำหนดขอบเขตด้วยหน้าซึ่งผู้ใช้กำหนดและตัดผ่านแนวการยึด.....	43
รูปที่ 4.7 แสดงการสร้างระนาบอ้างอิงด้วยการกำหนดค่าออฟเซตจากระนาบที่กำหนด.....	47
รูปที่ 4.8 แสดงการสร้างระนาบอ้างอิงด้วยการกำหนดมุมที่ทำกับระนาบที่กำหนด.....	48
รูปที่ 4.9 แสดงการสร้างระนาบอ้างอิงที่ขนานกับระนาบต้นแบบที่จุดที่กำหนด.....	48
รูปที่ 4.10 แสดงการสร้างระนาบอ้างอิงที่ตั้งฉากกับเส้นโค้ง ณ จุดที่กำหนด.....	49
รูปที่ 4.11 แสดงการสร้างระนาบอ้างอิงที่สัมผัสกับพื้นผิว ณ จุดที่กำหนด.....	49
รูปที่ 4.12 แสดงการสร้างเส้นตรงด้วยจุดต้นและจุดปลาย.....	50
รูปที่ 4.13 แสดงการสร้างเส้นตรงด้วยจุดสมมาตรและจุดปลาย.....	50
รูปที่ 4.14 แสดงการสร้างวงกลมด้วยจุดศูนย์กลางและรัศมี.....	51
รูปที่ 4.15 แสดงการสร้างวงกลมด้วยจุดบนเส้นรอบวง 3 จุด.....	51
รูปที่ 4.16 แสดงการคำนวณหาจุดศูนย์กลาง และรัศมีของวงกลมด้วยจุดบนเส้นรอบวง 3 จุด.....	51
รูปที่ 4.17 แสดงการสร้างวงกลมด้วยเส้นตรงที่สัมผัสวงกลม 3 เส้น.....	53
รูปที่ 4.18 แสดงการคำนวณหาจุดศูนย์กลาง และรัศมีของวงกลมด้วยเส้นสัมผัสวงกลม 3 เส้น.....	53
รูปที่ 4.19 แสดงการสร้างวงรี.....	54
รูปที่ 4.20 แสดงการสร้างส่วนโค้งของวงกลมด้วยจุดบนเส้นรอบวง 3 จุด.....	55
รูปที่ 4.21 แสดงการสร้างส่วนโค้งของวงกลมด้วยจุดเริ่มต้น จุดศูนย์กลาง และจุดปลาย.....	55
รูปที่ 4.22 แสดงการสร้างสี่เหลี่ยมผืนผ้าด้วยจุด 2 จุด.....	56
รูปที่ 4.23 แสดงการสร้างสี่เหลี่ยมผืนผ้าด้วยจุด 3 จุด.....	56
รูปที่ 4.24 แสดงการสร้างสี่เหลี่ยมด้านขนานด้วยจุด 3 จุด.....	56
รูปที่ 4.25 แสดงการสร้างเส้นต่อเนื่องแบบต่าง ๆ.....	57
รูปที่ 4.26 แสดงวิธีการนำข้อมูลแบบจำลองโซลิดไปแสดงผลแบบ 3 มิติ.....	59

สารบัญภาพ (ต่อ)

๗

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.27 แสดงการแสดงผล 3 มิติแบบต่าง ๆ.....	60
รูปที่ 4.28 แสดงทรีของลักษณะจำเพาะ.....	61
รูปที่ 4.29 แสดงตัวอย่างกรอบโต้ตอบเพื่อรับพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองโซลิด.....	61
รูปที่ 5.1 แสดงแบบร่างบนระนาบที่ใช้พอกด้วยการยึดในแนวเส้นตรง กำหนดขอบเขตด้วยระยะการยึด.....	64
รูปที่ 5.2 แสดงแบบจำลองโซลิดที่ได้จากการพอกด้วยการยึดในแนวเส้นตรงกำหนดขอบเขตด้วยระยะยึด.....	64
รูปที่ 5.3 แสดงแบบร่างบนระนาบก่อนทำการพอกด้วยการยึดตามแนวเส้นตรง กำหนดขอบเขตด้วยหน้าแรกที่ตัดผ่านแนวการยึด.....	65
รูปที่ 5.4 แสดงแบบจำลองโซลิดที่ได้จากการพอกด้วยการยึดตามแนวเส้นตรง กำหนดขอบเขตด้วยหน้าแรกที่ตัดผ่านแนวการยึด.....	65
รูปที่ 5.5 แสดงแบบร่างบนระนาบก่อนทำการพอกด้วยการยึดตามแนวเส้นตรง กำหนดขอบเขตด้วยหน้าสุดท้ายที่ตัดผ่านแนวการยึด.....	66
รูปที่ 5.6 แสดงแบบจำลองโซลิดที่ได้จากการพอกด้วยการยึดตามแนวเส้นตรง กำหนดขอบเขตด้วยหน้าสุดท้ายที่ตัดผ่านแนวการยึด.....	66
รูปที่ 5.7 แสดงแบบร่างบนระนาบก่อนทำการพอกด้วยการยึดตามแนวเส้นตรง กำหนดขอบเขตด้วยหน้าใด ๆ ที่กำหนดและตัดผ่านแนวการยึด.....	67
รูปที่ 5.8 แสดงแบบจำลองโซลิดที่ได้จากการพอกด้วยการยึดตามแนวเส้นตรง กำหนดขอบเขตด้วยหน้าใด ๆ ที่กำหนดและตัดผ่านแนวการยึด.....	67
รูปที่ 5.9 แสดงแบบร่างบนระนาบที่ใช้ตัดด้วยการยึดในแนวเส้นตรง ที่กำหนดขอบเขตด้วยระยะการยึด.....	68
รูปที่ 5.10 แสดงแบบจำลองโซลิดที่ได้จากการตัดด้วยการยึดในแนวเส้นตรง กำหนดขอบเขตด้วยระยะการยึด.....	68
รูปที่ 5.11 แสดงแบบร่างบนระนาบก่อนทำการตัดด้วยการยึดตามแนวเส้นตรง กำหนดขอบเขตด้วยหน้าแรกที่ตัดผ่านแนวการยึด.....	69
รูปที่ 5.12 แสดงแบบจำลองโซลิดที่ได้จากการตัดด้วยการยึดตามแนวเส้นตรง กำหนดขอบเขตด้วยหน้าแรกที่ตัดผ่านแนวการยึด.....	69
รูปที่ 5.13 แสดงแบบร่างบนระนาบก่อนทำการตัดด้วยการยึดตามแนวเส้นตรง กำหนดขอบเขตด้วยหน้าสุดท้ายที่ตัดผ่านแนวการยึด.....	70

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 5.14 แสดงแบบจำลองโซลิตที่ได้จากการตัดด้วยการยึดตามแนวเส้นตรง กำหนดขอบเขตด้วยหน้าสุดท้ายที่ตัดผ่านแนวการยึด.....	70
รูปที่ 5.15 แสดงแบบร่างบนระนาบก่อนทำการตัดด้วยการยึดตามแนวเส้นตรง กำหนดขอบเขตด้วยหน้าใด ๆ ที่กำหนดและตัดผ่านแนวการยึด.....	71
รูปที่ 5.16 แสดงแบบจำลองโซลิตที่ได้จากการตัดด้วยการยึดตามแนวเส้นตรง กำหนดขอบเขตด้วยหน้าใด ๆ ที่กำหนดและตัดผ่านแนวการยึด.....	71
รูปที่ 5.17 แสดงแบบร่างบนระนาบ และแกนหมุนที่ใช้ในการพอกด้วยการกวาดเชิงมุม.....	72
รูปที่ 5.18 แสดงแบบจำลองโซลิตที่ได้จากการกวาดเชิงมุม.....	72
รูปที่ 5.19 แสดงแบบร่างบนระนาบ และแกนหมุนที่ใช้ในการตัดด้วยการกวาดเชิงมุม.....	73
รูปที่ 5.20 แสดงแบบจำลองโซลิตที่ได้จากการตัดด้วยการกวาดเชิงมุม.....	73
รูปที่ 5.21 แสดงแบบร่างบนระนาบ และเส้นนำที่ใช้ในการพอกด้วยการยึดตามเส้นนำ.....	74
รูปที่ 5.22 แสดงแบบจำลองโซลิตที่ได้จากการพอกด้วยการยึดตามเส้นนำ.....	74
รูปที่ 5.23 แสดงแบบร่างบนระนาบ และเส้นนำที่ใช้ในการตัดด้วยการยึดตามเส้นนำ.....	75
รูปที่ 5.24 แสดงแบบจำลองโซลิตที่ได้จากการตัดด้วยการยึดตามเส้นนำ.....	75
รูปที่ 5.25 แสดงแบบร่างบนระนาบรูปวงกลม และสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ใช้ในพอกด้วยลอฟท์.....	76
รูปที่ 5.26 แสดงแบบจำลองโซลิตที่ได้จากการพอกด้วยลอฟท์.....	76
รูปที่ 5.27 แสดงแบบร่างบนระนาบรูปวงกลมและสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ใช้ในการตัดด้วยลอฟท์.....	77
รูปที่ 5.28 แสดงแบบจำลองโซลิตที่ได้จากการตัดด้วยลอฟท์.....	77
รูปที่ 5.29 แสดงแบบจำลองโซลิตก่อนการทำฟิลเลต.....	78
รูปที่ 5.30 แสดงแบบจำลองโซลิตที่ทำการฟิลเลตขอบ 3 ขอบด้วยรัศมีการฟิลเลตเท่ากัน.....	78
รูปที่ 5.31 แสดงแบบจำลองโซลิตก่อนการทำแชมเฟอร์.....	79
รูปที่ 5.32 แสดงแบบจำลองโซลิตที่ได้หลังการทำแชมเฟอร์.....	79
รูปที่ 5.33 แสดงแบบจำลองโซลิตก่อนการทำโซลิตกลวง.....	80
รูปที่ 5.34 แสดงแบบจำลองโซลิตหลังการทำโซลิตกลวงที่มีการเจาะหน้าหนึ่งหน้า และหน้าที่มีค่าออฟเซตต่างจากหน้าอื่น 2 หน้า.....	80
รูปที่ 5.35 แสดงรายละเอียดของชิ้นงานที่ทำการสร้างแบบจำลองโซลิตที่ใช้ทดสอบ แบบที่ 1.....	81
รูปที่ 5.36 แสดงแบบจำลองโซลิตที่ใช้ทดสอบแบบที่ 1 ที่สร้างจากซียู-โซลิต.....	81
รูปที่ 5.37 แสดงรายละเอียดของชิ้นงานที่ทำการสร้างแบบจำลองโซลิตที่ใช้ทดสอบ แบบที่ 2.....	82
รูปที่ 5.38 แสดงแบบจำลองโซลิตที่ใช้ทดสอบแบบที่ 2 ที่สร้างจากซียู-โซลิต.....	82

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 5.39 แสดงรายละเอียดของชิ้นงานที่ทำการสร้างแบบจำลองโพลีเอทิลีนที่ใช้ทดสอบ แบบที่ 3	83
รูปที่ 5.40 แสดงแบบจำลองโพลีเอทิลีนที่ใช้ทดสอบแบบที่ 3 ที่สร้างจากซียู-โพลีเอทิลีน	83
รูปที่ 5.41 แสดงการเปิดเพิ่มข้อมูลแบบจำลองโพลีเอทิลีนชนิดพาราโพลีเอทิลีน XT (มาตรฐาน) ของแบบจำลองโพลีเอทิลีนที่ใช้ทดสอบในข้อ 5.1.12.1 ด้วยโปรแกรมพาราโพลีเอทิลีนเวิร์กชอป	85
รูปที่ 5.42 แสดงการเปิดเพิ่มข้อมูลแบบจำลองโพลีเอทิลีนชนิดพาราโพลีเอทิลีน XT (มาตรฐาน) ของแบบจำลองโพลีเอทิลีนที่ใช้ทดสอบในข้อ 5.1.12.2 ด้วยโปรแกรมพาราโพลีเอทิลีนเวิร์กชอป	85
รูปที่ 5.43 แสดงการเปิดเพิ่มข้อมูลแบบจำลองโพลีเอทิลีนชนิดพาราโพลีเอทิลีน XT (มาตรฐาน) ของแบบจำลองโพลีเอทิลีนที่ใช้ทดสอบในข้อ 5.1.12.3 ด้วยโปรแกรมพาราโพลีเอทิลีนเวิร์กชอป	86
รูปที่ ก.1 แสดงกรอบโต้ตอบสำหรับเปิดเพิ่มข้อมูลแบบจำลองโพลีเอทิลีน	96
รูปที่ ก.2 แสดงกรอบโต้ตอบที่ใช้เปลี่ยนหน่วยที่ใช้สร้างแบบจำลองโพลีเอทิลีน	97
รูปที่ ก.3 แสดงกรอบโต้ตอบในการเปลี่ยนสีของการแสดงผล	97
รูปที่ ก.4 แสดงกรอบสีที่ใช้เปลี่ยนสีการแสดงผล	98
รูปที่ ก.5 แสดงการปรับแต่งประสิทธิภาพการแสดงผล	99
รูปที่ ก.6 การแสดงผลแบบต่าง ๆ ด้วยซียู-โพลีเอทิลีน	100
รูปที่ ก.7 แสดงการซ่อนภาพแบบจำลองโพลีเอทิลีน	101
รูปที่ ก.8 แสดงการสร้างระนาบอ้างอิงด้วยการออฟเซตจากระนาบ	102
รูปที่ ก.9 แสดงการสร้างระนาบอ้างอิงที่ขนานกับระนาบใด ๆ ณ จุดที่กำหนด	102
รูปที่ ก.10 แสดงการสร้างระนาบอ้างอิงที่ทำมุมหรือตั้งฉากกับระนาบ	103
รูปที่ ก.11 แสดงการสร้างระนาบอ้างอิงที่ตั้งฉากกับเส้นโค้ง ณ จุดบนเส้นโค้ง	104
รูปที่ ก.12 แสดงการสร้างระนาบอ้างอิงที่สัมผัสกับพื้นผิว	104
รูปที่ ก.13 แสดงการสร้างเส้นตรงด้วยจุดต้น และจุดปลาย	105
รูปที่ ก.14 แสดงการสร้างเส้นตรงด้วยจุดสมมาตรและจุดปลาย	106
รูปที่ ก.15 แสดงการสร้างวงกลมด้วยจุดศูนย์กลางและรัศมี	106
รูปที่ ก.16 แสดงการสร้างวงกลมด้วยจุดบนเส้นรอบวง 3 เส้น	106
รูปที่ ก.17 แสดงการสร้างวงกลมด้วยเส้นสัมผัส 3 เส้น	107
รูปที่ ก.18 แสดงการสร้างวงรี	107
รูปที่ ก.19 แสดงการสร้างส่วนโค้งของวงกลมด้วยจุดบนส่วนโค้ง 3 จุด	108
รูปที่ ก.20 แสดงการสร้างส่วนโค้งของวงกลมด้วยจุดเริ่มต้น จุดศูนย์กลาง และจุดปลาย	108
รูปที่ ก.21 แสดงการสร้างสี่เหลี่ยมผืนผ้าด้วยจุด 2 จุด	109

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ ก.22 แสดงการสร้างสี่เหลี่ยมผืนผ้าใด ๆ ด้วยจุด 3 จุด.....	109
รูปที่ ก.23 แสดงการสร้างสี่เหลี่ยมด้านขนานด้วยจุด 3 จุด.....	110
รูปที่ ก.24 แสดงการสร้างเส้นต่อเนื่องแบบต่าง ๆ.....	110
รูปที่ ก.25 แสดงการทริมเส้นส่วนเกิน.....	111
รูปที่ ก.26 แสดงการลบส่วนของเส้นที่ไม่ต้องการ.....	111
รูปที่ ก.27 แสดงการแบ่งเส้นออกเป็นสั้นย่อย ๆ ด้วยเส้นที่มาตัดกัน.....	111
รูปที่ ก.28 แสดงการยืดตามแนวเส้นตรงโดยการกำหนดขอบเขตด้วยระยะยืด.....	112
รูปที่ ก.29 แสดงการยืดตามแนวเส้นตรงที่กำหนดของเขตด้วยหน้าของแบบจำลองที่อยู่ถัดไป.....	113
รูปที่ ก.30 แสดงการยืดในแนวเส้นตรงที่กำหนดขอบเขตด้วยหน้าสุดท้ายของแบบจำลองโซลิด.....	113
รูปที่ ก.31 แสดงการยืดในแนวเส้นตรงที่กำหนดของเขตด้วยหน้าใด ๆ ของแบบจำลองโซลิด.....	114
รูปที่ ก.32 แสดงการกวาดเชิงมุม.....	115
รูปที่ ก.33 แสดงการกวาดตามเส้นนำ.....	116
รูปที่ ก.34 แสดงการลอฟท์.....	117
รูปที่ ก.35 แสดงการตัดด้วยการยืดในแนวเส้นตรง.....	117
รูปที่ ก.36 แสดงการตัดด้วยการกวาดเชิงมุม.....	118
รูปที่ ก.37 แสดงการตัดด้วยการยืดตามเส้นนำ.....	118
รูปที่ ก.38 แสดงการตัดด้วยลอฟท์.....	119
รูปที่ ก.39 แสดงการทำฟิลเลต.....	119
รูปที่ ก.40 แสดงการทำแชมเฟอร์.....	120
รูปที่ ก.41 แสดงการทำโซลิดกลวง.....	121
รูปที่ ก.42 แสดงการทำมิเรอร์.....	121
รูปที่ ก.43 แสดงการเลื่อนตำแหน่งเชิงเส้น.....	122
รูปที่ ก.44 แสดงกรอบโต้ตอบของการเลื่อนตำแหน่งในแนวเส้นตรงด้วยการกระจัด.....	122
รูปที่ ก.45 แสดงกรอบโต้ตอบสำหรับการเลื่อนตำแหน่งด้วยจุดอ้างอิง 2 จุด.....	123
รูปที่ ก.46 แสดงกรอบโต้ตอบสำหรับการเลื่อนตำแหน่งด้วยระยะการกระจัดในแนว XYZ.....	123
รูปที่ ก.47 แสดงการเลื่อนตำแหน่งเชิงมุม.....	124
รูปที่ ก.48 แสดงเมนูป๊อปอัพสำหรับการแก้ไขแบบจำลองโซลิด.....	125
รูปที่ ข.1 แสดงการเพิ่มไดเรกทอรีอื่นครูดให้กับวิชวลชีฟลัสพลัส.....	128

สารบัญภาพ (ต่อ)

ณ

ภาพประกอบ

หน้า

รูปที่ ข.2	แสดงกรอบโต้ตอบที่ใช้สร้างโปรเจกใหม่.....	128
รูปที่ ข.3	แสดงโครงสร้างของซอฟต์แวร์ส่วนประกอบเสริม.....	129
รูปที่ ข.4	แสดงการส่งผ่านอีฟเว่นแมสเซอร์ทั่วไป.....	131
รูปที่ ข.5	แสดงการส่งผ่านอีฟเว่นแมสเซอร์คำสั่งจากแถบเครื่องมือ.....	132
รูปที่ ข.6	แสดงตัวต่อประสานต่าง ๆ ของซียู-โซลิด.....	133