บทที่ 4

โครงสร้าง และการออกแบบโปรแกรม

4.1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

4.1.1. พาราโซลิด เวอร์ชัน 13.2 สำหรับวินโดว์เอ็นที (Parasolid 13.2)

4.1.2. ไมโครซอฟวิสชวลซีพลัสพลัส เวอร์ชัน 6 (Microsoft Visual C++ 6)

4.1.3. โอเพนจีเอล ไลบารีเวอร์ชัน 1.2 (OpenGL 1.2)

4.1.4. ชุดอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล พร้อมวีดีโอการ์ดแสดงผล 3 มิติด้วยโอเพนจีเอล ซึ่งวีดีโอการ์ดที่ใช้ในการวิจัยนี้คือเอ็นวิเดียร์ควอโด 2 (nVidia Quardo 2) เอ็นวิเดียร์จีฟอร์ซ 2 จีทีเอส (nVidia GeForce 2 GTS) และ ออกซีเจนจีวีเอ็กซ์ -1 (Oxygen GVX-1)

4.1.5. ระบบปฏิบัติการวินโดว์ 2000 โปรเฟสชันเนล อิดิชัน พร้อมกับเซอร์วิสแพค 2 (Windows2000 Professional Edition with Service Pack 2)

4.2. การออกแบบซอฟแวร์

ซอฟแวร์ที่ผู้วิจัยได้พัฒนาเป็นซอฟแวร์คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ ชื่อ ซียู-โซลิด (CU-Solid) ใช้สำหรับสร้างแบบจำลองโซลิดด้วยวิธีพาราเมตริกแบบอ้างอิงกับลักษณะจำเพาะ โดยใช้พาราโซลิดเป็นตัวสร้างแบบจำลอง ในการออกแบบผู้วิจัยได้แบ่งส่วนประกอบของซอฟแวร์ออกเป็นส่วนต่าง ๆ ดังนี้

4.2.1. <u>ส่วนจัดการข้อมูลแบบจำลองโซลิด</u> ในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ใช้จัดการข้อมูลต่าง ๆ เพื่อสร้าง และแก้ไขแบบจำลองโซลิด ในการสร้าง และแก้ไขแบบจำลองโซลิดนี้ซียู-โซลิดจะทำงานตามลักษณะจำเพาะที่นิยามขึ้น

4.2.2. <u>ส่วนต่อประสานกับซอฟแวร์เสริม</u> (Add-In Interface) ส่วนนี้จะเป็นตัวต่อประสานที่สร้างขึ้นเพื่อให้ผู้ใช้สามารถสร้างซอฟแวร์เสริมอื่นๆ เพื่อใช้งานร่วมกับซอฟแวร์ซียู-โซลิด ตัวต่อประสานนี้เป็นตัวต่อประสานแบบคอมโพเนนออบเจกโมเดล (COM Interface) ซึ่งจะเชื่อมต่อกับซอฟแวร์เสริมด้วยภาษาซี

4.2.3. <u>ส่วนสร้างและแก้ไขแบบจำลองโซลิด</u> (Solid Modeler) เป็นส่วนที่ใช้สร้างแบบจำลองโซลิด โดยกำหนดลักษณะจำเพาะที่จะใช้สร้างแบบจำลองโซลิด และสร้าง และแก้ไข

แบบจำลองโซลิดตามลักษณะจำเพาะที่ได้กำหนดขึ้น ในส่วนนี้จะทำเป็นซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริมสำหรับซียู-โซลิด

4.2.4. ส่วนสร้างและแก้ไขระนาบอ้างอิง ในการสร้างแบบจำลองโซลิดบางครั้งมีความจำเป็นต้องในระนาบอ้างอิงเป็นพารามิเตอร์ในการสร้างแบบจำลอง โดยเฉพาะการสร้างแบบร่างบนระนาบ ดังนั้นส่วนนี้จะเป็นส่วนที่มีหน้าที่ในการสร้าง และแก้ไขระนาบอ้างอิง โดยผู้ใช้จะกำหนดพารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับการสร้างระนาบอ้างอิง ซึ่งพารามิเตอร์อาจมีได้หลายแบบขึ้นอยู่กับวิธีการสร้าง จากนั้นจะนำพารามิเตอร์ที่ผู้ใช้กำหนดนี้มาหาค่าพารามิเตอร์ของสมการพาราเมตริกสำหรับระนาบเพื่อใช้สร้างระนาบอ้างอิงด้วยพาราโซลิดต่อไป

4.2.5. ส่วนสร้างและแก้ไขแบบร่างบนระนาบ เนื่องจากลักษณะจำเพาะส่วนใหญ่ที่ใช้สร้างแบบจำลองโซลิดต้องใช้แบบร่างบนระนาบเป็นพารามิเตอร์ในการสร้างแบบจำลอง ในส่วนนี้จึงเป็นส่วนที่ใช้สร้าง และแก้ไขแบบร่างบนระนาบ โดยจะสร้างเป็นลำตัวเส้นย่อย ๆ ที่อยู่บนระนาบของแบบร่าง และนำมารวมกันเป็นลำตัวเส้นของแบบร่างบนระนาบ ลำตัวเส้นย่อย ๆ ที่นำมารวมกันนี้เรียกว่าเซกเมนต์ของแบบร่างบนระนาบ (Sketch Segment) ซึ่งมีหลายชนิด เช่น เส้นตรง ส่วนโค้งของวงกลม วงกลม เป็นต้น

4.2.6. ส่วนฐานข้อมูล (Data storage) เป็นส่วนที่จัดเก็บและอ่านข้อมูลของแบบจำลอง 3 มิติจากแฟ้มข้อมูลทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยซียู-โซลิดจะสร้างเป็นแฟ้มข้อมูลที่มีนามสกุล “part” ซึ่งใช้รูปแบบการจัดเก็บชนิดพาราโซลิดเอ็กซ์ที (Parasolid XT Format) ที่มีการระบุแอทริบิวต์ (Attribute) เพิ่มเติมให้กับลำตัวของแบบจำลองด้วย

4.2.7. ส่วนแสดงผล 3 มิติ (3D Visualization) ส่วนนี้จะมีหน้าที่หลักในการนำข้อมูลของแบบจำลอง 3 มิติมาแสดงผลให้เป็นภาพ 3 มิติบนจอภาพ รวมถึงการควบคุมมุมมองและสภาพแวดล้อมของการแสดงผล 3 มิติด้วย ข้อมูลของแบบจำลองที่สามารถนำมาแสดงผลได้นั้นจะเป็นข้อมูลองค์ประกอบทางโทโปโลยีที่มีองค์ประกอบทางเรขาคณิตรวมอยู่ด้วย ยกเว้นองค์ประกอบทางเรขาคณิตที่เป็นระนาบ สามารถเป็นองค์ประกอบทางเรขาคณิตแต่เพียงอย่างเดียว (Orphan Geometry) ได้ เพราะจะนำมาสร้างเป็นภาพของระนาบอ้างอิง

4.2.8. ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface) เป็นส่วนที่ผู้ใช้ติดต่อกับซอฟแวร์คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นผ่านทางอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ทั่วไป

4.3. การออกแบบส่วนจัดการข้อมูลแบบจำลองโซลิด

ในการออกแบบส่วนการจัดการข้อมูลแบบจำลองโซลิดจะพิจารณาถึงส่วนต่าง ๆ ดังนี้

4.3.1. <u>การอ้างถึงข้อมูลองค์ประกอบทางโทโปโลยี และเรขาคณิต</u> ในการอ้างอิงถึงข้อมูลของแบบจำลองที่เป็นองค์ประกอบทางโทโปโลยี และเรขาคณิตนั้นสามารถอ้างถึงได้ 2 วิธี คือ การอ้างอิงด้วยชื่อ และการอ้างอิงด้วยรหัสกับชนิดขององค์ประกอบ

4.3.1.1. การอ้างอิงด้วยชื่อ เป็นการอ้างถึงข้อมูลองค์ประกอบทางโทโปโลยี และเรขาคณิต ด้วยข้อความตัวอักษรที่เป็นชื่อขององค์ประกอบ ซึ่งจะมีลักษณะเป็น ชื่อของลำตัวที่เป็นเจ้าขององค์ประกอบนั้น แล้วตามด้วย ชื่อชนิดขององค์ประกอบย่อย และเลขบ่งชี้องค์ประกอบของพาราโซลิด (Identifier) ตัวอย่างเช่น “Body 1\Face 22” เป็นการอ้างถึงองค์ประกอบทางโทโปโลยีที่เป็นหน้า ของลำตัวที่ชื่อ “Body 1” โดยองค์ประกอบทางโทโปโลยีนี้มีเลขบ่งชี้ของพาราโซลิดเป็น 22 เป็นต้น ในกรณีที่องค์ประกอบโทโปโลยีนั้นเป็นลำตัว ชื่อที่ใช้อ้างถึงก็จะเป็นชื่อของลำตัว หรือแบบร่างบนระนาบ แล้วแต่ว่าลำตัวนั้นเป็นลำตัวชนิดใด ในการใช้งานการอ้างถึงองค์ประกอบของแบบจำลองด้วยชื่อจะใช้เฉพาะในขณะดำเนินการสร้าง หรือแก้ไขแบบจำลองเท่านั้น จะไม่นำไปเก็บเป็นพารามิเตอร์สำหรับลักษณะจำเพาะ เนื่องจากเมื่อมีการเปลี่ยนชื่อลำตัวที่เป็นเจ้าขององค์ประกอบดังกล่าว จะทำให้การอ้างถึงผิดพลาดได้

4.3.1.2. การอ้างอิงด้วยรหัสกับชนิดขององค์ประกอบ สำหรับองค์ประกอบชนิดหนึ่ง ๆ จะมีรหัสประจำตัวที่ไม่ซ้ำกัน แต่รหัสนี้อาจซ้ำกับรหัสขององค์ประกอบชนิดอื่นได้ ดังนั้นในการอ้างถึงจึงต้องกำหนดทั้งรหัส และชนิดขององค์ประกอบด้วย รหัสนี้จะสร้างขึ้นโดยซียู-โซลิดซึ่งจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง สามารถนำไปใช้เก็บเป็นพารามิเตอร์สำหรับลักษณะจำเพาะได้ แต่ต้องเก็บชนิดขององค์ประกอบด้วย

4.3.2. <u>การนิยามชนิดของลักษณะจำเพาะ</u> (Feature Definition) เนื่องจากการสร้างแบบจำลองโซลิดจะสร้างตามลักษณะจำเพาะที่นิยามไว้ ดังนั้นก่อนการสร้างแบบจำลองโซลิดจึงต้องมีการนิยามชนิดของลักษณะจำเพาะเสียก่อน และเพื่อให้ซียู-โซลิดสามารถทำงานได้กว้างขึ้น จึงออกแบบให้ซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริม (Add-in) สามารถนิยามลักษณะจำเพาะได้ด้วย ในการนิยามชนิดของลักษณะจำเพาะจะประกอบด้วยพารามิเตอร์ดังนี้

4.3.2.1. ชื่อชนิดของลักษณะจำเพาะ ต้องไม่ซ้ำกับชื่อชนิดของลักษณะจำเพาะที่มีอยู่เดิม

4.3.2.2. ภาพที่แสดงชนิดลักษณะจำเพาะบนทรีของลักษณะจำเพาะ (Feature Tree)

4.3.2.3. พารามิเตอร์ จะเก็บข้อมูลสำหรับลักษณะจำเพาะชนิดที่นิยามขึ้นเพื่อใช้สร้างแบบจำลอง พารามิเตอร์ที่ซียู-โซลิดได้จัดเตรียมไว้มี 7 ชนิด คือ เลขจำนวนเต็ม (Integer) เลขจำนวนจริง (Double) เวกเตอร์ (Vector) ข้อความที่เป็นตัวอักษร (String) อาร์เรย์ของเลขจำนวนเต็ม (Array of Integer) อาร์เรย์ของเลขจำนวนจริง (Array of Double) และอาร์เรย์ของเวกเตอร์ (Array of Vector) ชนิดของลักษณะจำเพาะที่นิยามนี้สามารถมีพารามิเตอร์ได้มากกว่า 1 ตัว และไม่จำเป็นต้องเป็นชนิดเดียวกัน

4.3.2.4. ซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริม กรณีที่การนิยามชนิดของลักษณะจำเพาะทำโดยซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริม ต้องกำหนดซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริมที่ทำหน้าที่รับอีฟเว่นปรับปรุงลักษณะจำเพาะ (Update Feature) และอีฟเว่นแก้ไขลักษณะจำเพาะ (Edit Feature) ด้วย

4.3.3. <u>การจัดการข้อมูลลักษณะจำเพาะ</u> ส่วนนี้จะมีหน้าที่จัดการแมสเซจ (Message) ที่ส่งเข้ามาในส่วนจัดการข้อมูลแบบจำลองเพื่อสร้าง และลบลักษณะจำเพาะ การส่งแมสเซจต่อไปยังส่วนแก้ไข และปรับปรุงข้อมูลของลักษณะจำเพาะ เพื่อปรับปรุง และแก้ไขแบบจำลองตามลำดับ นอกจากนี้ยังจัดการการสลับลำดับการทำงานของลักษณะจำเพาะที่กระทำต่อลำตัวอีกด้วย

4.3.3.1. การสร้างลักษณะจำเพาะใหม่ จะทำโดยการส่งแมสเซจมายังส่วนจัดการข้อมูลลักษณะจำเพาะนี้ ซึ่งแมสเซจนี้จะระบุชื่อชนิดของลักษณะจำเพาะที่ต้องการสร้าง ส่วนจัดการข้อมูลลักษณะจำเพาะจะหาลักษณะจำเพาะที่ได้นิยามไว้ว่ามีชื่อชนิดที่ต้องการสร้างหรือไม่ ถ้ามีจะสร้างลักษณะจำเพาะชนิดที่ต้องการ แล้วส่งลักษณะจำเพาะที่สร้างใหม่นี้กลับไปยังส่วนที่ส่งแมสเซจมา

4.3.3.2. การลบลักษณะจำเพาะ จะทำโดยการส่งวัตถุของลักษณะจำเพาะ (Feature Object) ที่ต้องการลบมายังส่วนจัดการข้อมูลลักษณะจำเพาะนี้ จากนั้นวัตถุของลักษณะจำเพาะจะถูกตรวจสอบสถานะว่าสามารถลบได้หรือไม่ ถ้าลบได้ส่วนจัดการข้อมูลลักษณะจำเพาะก็จะลบลักษณะจำเพาะนี้ออกไป พร้อมกับปรับปรุงค่าของแบบจำลองโซลิดใหม่

4.3.3.3. การส่งแมสเซจเพื่อปรับปรุงแบบจำลองตามชนิดของลักษณะจำเพาะ เมื่อต้องการสร้างแบบจำลองโซลิด ส่วนสร้างแบบจำลองจะสร้างลักษณะจำเพาะขึ้นแล้วกำหนดพารามิเตอร์ให้ลักษณะจำเพาะนั้น จากนั้นจะส่งแมสเซจมายังส่วนจัดการข้อมูลลักษณะจำเพาะนี้เพื่อให้ปรับปรุงค่าของแบบจำลองโซลิด เช่นเดียวกันกับการสร้าง ในการแก้ไขแบบจำลองโซลิด เมื่อแก้ไขพารามิเตอร์ของลักษณะจำเพาะแล้ว ก็จะส่งแมสเซจมายังส่วนนี้เพื่อปรับปรุงแบบจำลองโซลิดเช่นกัน เมื่อส่วนจัดการข้อมูลลักษณะจำเพาะได้รับแมสเซจดังกล่าวก็จะ

ตรวจสอบจากชนิดของลักษณะจำเพาะที่นิยามไว้ว่าส่วนประกอบใดจะทำหน้าที่ปรับปรุงแก้ไขค่าของแบบจำลอง (อาจเป็นซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริม) ด้วยลักษณะจำเพาะชนิดนี้ ถ้าพบก็จะส่งแมสเซจพร้อมกับพารามิเตอร์ของลักษณะจำเพาะ ไปยังส่วนประกอบที่พบเพื่อปรับปรุงค่าของแบบจำลองโซลิด

4.3.3.4. การส่งแมสเซจแก้ไขแบบจำลองตามชนิดของลักษณะจำเพาะ ในการแก้ไขลักษณะจำเพาะ ส่วนแก้ไขแบบจำลองจะส่งแมสเซจมายังส่วนจัดการข้อมูลลักษณะจำเพาะนี้ เมื่อได้รับแมสเซจ ส่วนจัดการข้อมูลก็จะตรวจสอบหาส่วนประกอบของซอฟแวร์ที่ทำหน้าที่แก้ไขพารามิเตอร์ของลักษณะจำเพาะจากชนิดของลักษณะจำเพาะที่นิยามไว้ เมื่อพบส่วนประกอบที่ต้องการแล้ว ส่วนจัดการข้อมูลลักษณะจำเพาะก็จะส่งแมสเซจไปยังส่วนประกอบดังกล่าวเพื่อให้ส่วนประกอบนั้นแสดงกรอบโต้ตอบให้ผู้ใช้ได้แก้ไขพารามิเตอร์ของลักษณะจำเพาะตามต้องการ

4.3.3.5. การสลับลำดับการทำงานของลักษณะจำเพาะ ในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่จัดการปรับปรุงแบบจำลองโซลิดเมื่อผู้ใช้ต้องการสลับลำดับก่อนหลังของลักษณะจำเพาะที่กระทำต่อลำตัวของแบบจำลองโซลิด เมื่อมีการสลับลำดับส่วนจัดการข้อมูลลักษณะจำเพาะจะส่งแมสเซจเพื่อปรับปรุงแบบจำลองโซลิดด้วยลักษณะจำเพาะที่ได้รับผลกระทบจากการสลับตำแหน่งทั้งหมดตามลำดับ

4.3.4. <u>การเลือกองค์ประกอบโดยผู้ใช้</u> ในการสร้างหรือแก้ไขแบบจำลองโซลิดบางครั้งต้องมีการเลือกองค์ประกอบเพื่อใช้เป็นพารามิเตอร์ของลักษณะจำเพาะ ส่วนนี้จึงเป็นการตรวจสอบการซ้อนทับกันของตำแหน่งเมาส์กับองค์ประกอบของโซลิดเพื่อเลือกองค์ประกอบของแบบจำลองโซลิดที่ต้องการ โดยใช้การสร้างเส้นตรงที่มีทิศตั้งฉากและพุ่งเข้าจอภาพที่ตำแหน่งของเมาส์ แล้วตรวจสอบการตัดกันของเส้นตรงที่สร้างนี้กับองค์ประกอบของแบบจำลองโซลิด ถ้ามีการตัดกันเกิดขึ้น องค์ประกอบที่ถูกตัดด้วยเส้นตรงนี้จะถูกนำไปตรวจสอบว่าเป็นชนิดที่ต้องการหรือไม่ ถ้าเป็นชนิดที่ต้องการก็จะแสดงผลด้วยสีขององค์ประกอบที่ถูกเลือก แล้วแจ้งไปยังส่วนประกอบอื่น ๆ ของซอฟแวร์ว่ามีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบที่ถูกเลือก

4.3.5. <u>การติดต่อกับซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริม</u> เพื่อให้การใช้งานซียู-โซลิดกว้างมากขึ้น ผู้วิจัยได้ออกแบบให้ผู้ใช้สามารถสร้างซอฟแวร์ประกอบเสริม (Add-in) สำหรับทำงานเฉพาะอย่างที่ต้องการได้ เมื่อเริ่มใช้งานซียู-โซลิดส่วนจัดการข้อมูลจะโหลดซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริมทั้งหมดที่อยู่ในบัญชีรายชื่อชนิดซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริมสำหรับซียู-โซลิดที่ลงทะเบียนไว้กับวินโดว์มาไว้ในหน่วยความจำ ขณะที่ซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริมเหล่านี้มีการใช้งานจะต้องมี

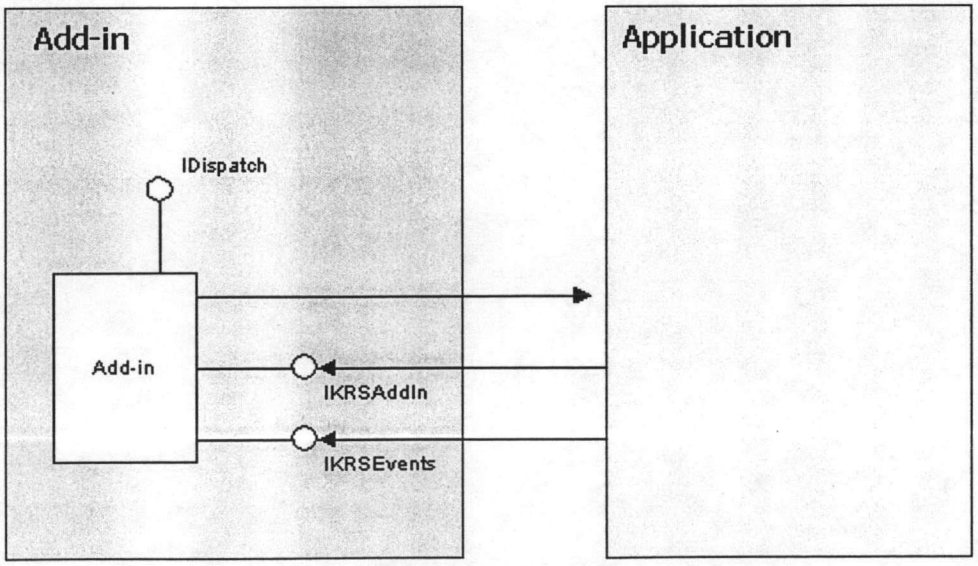
I 20324157

การติดต่อกับซียู-โซลิด เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลกัน ดังนั้นส่วนจัดการข้อมูลแบบจำลองโซลิดจึงมีหน้าที่จัดการข้อมูลที่แลกเปลี่ยนกัน รวมทั้งการรับและส่งอีฟเว่นไปยังซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริมเหล่านั้นด้วย

4.4. การออกแบบส่วนต่อประสานกับซอฟแวร์เสริม

4.4.1. ตัวต่อประสานสำหรับซอฟแวร์เสริม (Add-in Interface) ในการสร้างซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริม การติดต่อกับซียู-โซลิดจะกระทำผ่านตัวต่อประสานที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้น โดยตัวต่อประสานนี้ แบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ ส่วนที่ซียู-โซลิดเรียกใช้เพื่อส่งผ่าน หรืออ่านข้อมูลจากซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริม ส่วนที่สองจะเป็นส่วนที่ซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริมเรียกใช้ เพื่อส่งผ่านหรืออ่านข้อมูลจากซียู-โซลิด และส่วนสุดท้ายจะเป็นกลุ่มของตัวต่อประสานที่เป็นวัตถุ หรือข้อมูลของแบบจำลองที่ส่งผ่านระหว่างซียู-โซลิด และซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริม

4.4.1.1. ส่วนที่ซียู-โซลิดเรียกใช้ ตัวต่อประสานกลุ่มนี้จะอยู่ในซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริมทุกตัว จะมีรูปแบบเหมือนกันคือ เป็นส่วนข้อมูลรายละเอียดของซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริม และส่วนรับอีฟเว่นจากซียู-โซลิด อาจเรียกได้ว่าเป็นตัวต่อประสานส่วนเรียกกลับโดยซียู-โซลิด (Callback Interface) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.1 ตัวต่อประสานในกลุ่มนี้มี 2 ตัวด้วยกันคือ



รูปที่ 4.1 แสดงตัวต่อประสานส่วนที่ซียู-โซลิดเรียกใช้

4.4.1.1.1. *IKRSAddIn* เป็นตัวต่อประสานที่เก็บข้อมูลรายละเอียดของซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริม ได้แก่ ชื่อซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริม ชื่อผู้ผลิต ลิขสิทธิ์ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เริ่มต้น และหยุดการใช้งานซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริมด้วย

4.4.1.1.2. *IKRSEvents* เป็นตัวต่อประสานที่ทำหน้าที่รับอีฟเว่น และคำสั่งจากซียู-โซลิด ซึ่งอีฟเว่นที่รับได้แก่ การสร้างเอกสารใหม่ การเปิดเอกสาร การปิดเอกสาร การสร้างมุมมองภาพใหม่ การปิดมุมมองภาพ การเปลี่ยนแปลงการเลือกองค์ประกอบ และการกดปุ่มคำสั่งจากแถบเครื่องมือที่สร้างจากซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริมนั้น

4.4.1.2. ส่วนที่ซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริมเรียกใช้ ตัวต่อประสานในกลุ่มนี้จะอยู่ในซียู-โซลิด คอยรับ-ส่งข้อมูลจากซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริม ในกลุ่มนี้มีตัวต่อประสาน

4.4.1.2.1. *IKRSApp* เป็นตัวต่อประสานหลัก มีหน้าที่ติดต่อกับข้อมูลทั่วไปของตัวโปรแกรมหลัก ได้แก่ ข้อมูลชนิดของลักษณะจำเพาะ แถบเครื่องมือ ชนิดของไฟล์ที่สามารถเปิดหรือบันทึกได้ รวมถึงการสร้างเอกสารใหม่ การเปิดเอกสารที่มีอยู่ การบันทึกเอกสาร การเรียกไปยังซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริมอื่น ๆ ที่ได้ลงทะเบียนไว้ และการนิยามชนิดของลักษณะจำเพาะใหม่ด้วย

4.4.1.2.2. *IKRSDoc* มีทำหน้าที่ติดต่อกับตัวต่อประสานอื่นๆ ที่ใช้จัดการข้อมูลภายในเอกสารให้กับซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริม เช่น IKRSBody IKRSFeature IKRSDrawObj IKRSSketch IKRSUnit IKRSDrawList IKRSSelectionList IKRSView IKRSRollback นอกจากนี้ยังใช้ติดต่อกับส่วนจัดการข้อมูลแบบจำลองโซลิดในเอกสารอีกด้วย

4.4.1.2.3. *IKRSView* เป็นตัวต่อประสานที่ใช้ติดต่อ และจัดการกับมุมมองของแบบจำลอง โดยจะมีฟังก์ชันการหมุน การเลื่อนตำแหน่ง การซูม การเปลี่ยนทรานสฟอร์มเมชันเมตริกของมุมมอง การซูมเต็มจอ และการเปลี่ยนค่าตัวเลือกเรนเดอร์สำหรับพาราโซลิดด้วย

4.4.1.2.4. *IKRSSelectionList* เป็นตัวต่อประสานที่ทำหน้าที่ติดต่อระหว่างซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริมกับส่วนจัดการการเลือกองค์ประกอบโดยผู้ใช้ของซียู-โซลิด โดยสามารถอ่านข้อมูลองค์ประกอบที่ถูกเลือกโดยผู้ใช้ได้

4.4.1.2.5. *IKRSDrawList* เป็นตัวต่อประสานที่ทำหน้าที่ติดต่อกับข้อมูลวัตถุภาพ 3 มิติที่วาดโดยซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริม ซึ่งวัตถุนี้จะเป็นภาพที่แสดงวัตถุตัวอย่าง หรือภาพสัญลักษณ์ไม่เกี่ยวข้องกับภาพของแบบจำลองที่สร้าง

4.4.1.2.6. *IKRSPropertySheet* เป็นตัวต่อประสานที่ใช้ติดต่อกับกรอบกำหนดคุณสมบัติ (Property Sheet) ของซียู-โซลิด เพื่อสร้างหน้าที่ใช้กำหนดคุณลักษณะ (Property Page) โดยซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริม

4.4.1.3. ตัวต่อประสานกลุ่มที่เป็นวัตถุหรือข้อมูลของแบบจำลองที่ส่งผ่านระหว่างซียู-โซลิดและซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริม จะประกอบด้วยตัวต่อประสานดังนี้

4.4.1.3.1. *IKRSBody* เป็นตัวต่อประสานที่ใช้ติดต่อกับข้อมูลของลำตัวที่สร้างขึ้น ซึ่งข้อมูลที่สามารถติดต่อได้คือ ชื่อของลำตัว คุณสมบัติของวัสดุ ค่าลำตัวจากพาราโซลิด การมองเห็น และลักษณะจำเพาะที่กระทำต่อลำตัวนี้

4.4.1.3.2. *IKRSSketch* เป็นตัวต่อประสานที่ใช้ติดต่อกับข้อมูลแบบร่างบนระนาบ ข้อมูลที่สามารถเข้าถึงได้คือ ชื่อของแบบร่างบนระนาบ ระนาบที่ใช้สร้างแบบร่าง และข้อมูลลำตัวของแบบร่างบนระนาบจากพาราโซลิด

4.4.1.3.3. *IKRSDrawObj* เป็นตัวต่อประสานที่ใช้ติดต่อกับข้อมูลภาพวาดโดยซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริม ที่เป็นภาพแสดงสถานะ แบบจำลองตัวอย่าง หรือสัญลักษณ์ของแบบจำลอง ไม่เกี่ยวข้องกับภาพแบบจำลองที่สร้างจริง

4.4.1.3.4. *IKRSUnit* เป็นตัวต่อประสานที่ใช้จัดการหน่วยที่ใช้สร้างแบบจำลอง โดยจะเปลี่ยนกลับไปกลับมาระหว่างหน่วยที่ใช้สร้างแบบจำลองซึ่งเป็นหน่วยเมตริก (Metric) และหน่วยที่ผู้ใช้กำหนด (User Unit)

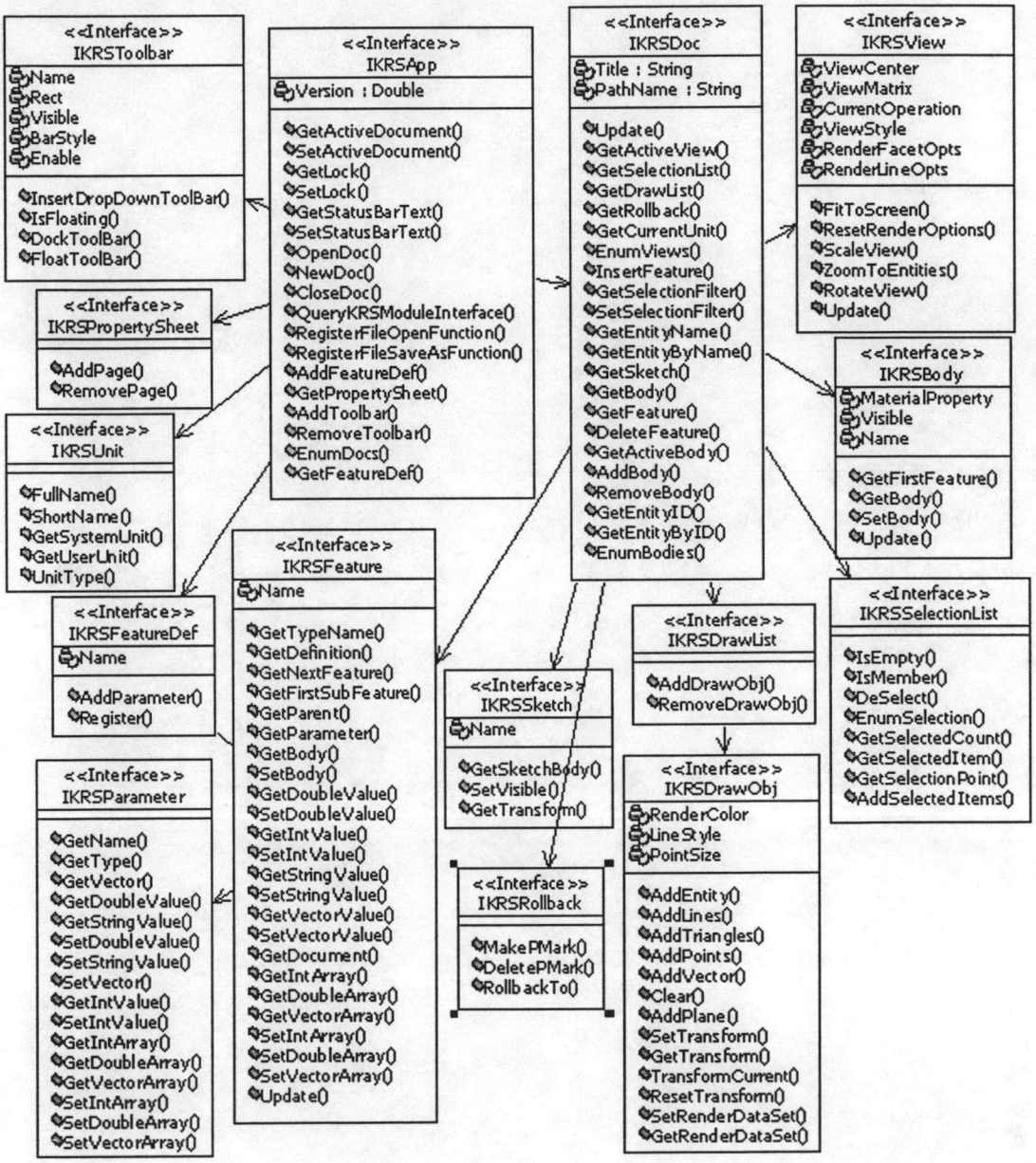
4.4.1.3.5. *IKRSFeatureDef* เป็นตัวต่อประสานที่ใช้ติดต่อกับข้อมูลชนิดของลักษณะจำเพาะที่นิยามไว้ ข้อมูลเหล่านี้คือ ชื่อชนิดของลักษณะจำเพาะ ชนิดของพารามิเตอร์ทั้งหมดที่ใช้โดยลักษณะจำเพาะชนิดนี้

4.4.1.3.6. *IKRSFeature* เป็นตัวต่อประสานที่ทำหน้าที่ติดต่อกับข้อมูลของลักษณะจำเพาะที่ใช้สร้างแบบจำลอง 3 มิติ ได้แก่ ชื่อชนิดของลักษณะจำเพาะที่นิยามไว้ ชื่อของลักษณะจำเพาะ ข้อมูลพารามิเตอร์ของลักษณะจำเพาะ ลำตัวที่ถูกกระทำด้วยลักษณะจำเพาะ และลักษณะจำเพาะที่กระทำต่อลำตัวเดียวกันนี้ในลำดับก่อนและหลังลักษณะจำเพาะนี้

4.4.1.3.7. *IKRSParameter* เป็นตัวต่อประสานที่ทำหน้าที่ติดต่อกับข้อมูลพารามิเตอร์ภายในลักษณะจำเพาะที่ใช้สร้างแบบ

4.4.1.3.8. *IKRSToolbar* เป็นตัวต่อประสานที่ใช้ติดต่อกับแถบเครื่องมือที่สร้างโดยซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริม

รูปที่ 4.2 เป็นรูปที่แสดงแผนผังการเชื่อมโยงระหว่างตัวต่อประสานต่าง ๆ ภายในซียู-โซลิดที่ได้กล่าวข้างต้น โดยตัวต่อประสานเหล่านี้จะเป็นส่วนที่เชื่อมโยงเข้ากับตัวพาราโซลิดเคอร์เนล ดังนั้นในอนาคตถ้ามีการปรับปรุงตัวพาราโซลิดเคอร์เนลให้มีความสามารถมากขึ้น เราก็สามารถปรับปรุงเพิ่มเติมตัวต่อประสานให้มีความสามารถมากขึ้นได้เช่นกัน



รูปที่ 4.3 แสดงแผนผังการเชื่อมโยงระหว่างตัวต่อประสานต่าง ๆ ภายในซียู-โซลิด

4.4.2. อีฟเว่นที่ส่งไปยังซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริม ในการติดต่อระหว่างซียู-โซลิดกับซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริม ซียู-โซลิดจะมีการส่งผ่านอีฟเว่นไปยังซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริม เพื่อให้ซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริมรู้สถานะของซียู-โซลิดที่ถูกกระทำโดยผู้ใช้ อีฟเว่นที่ซียู-โซลิดส่งไปยังซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริมนี้จะส่งผ่านทางตัวต่อประสาน IKRSEvents ซึ่งมีอีฟเว่นดังนี้

4.4.2.1. อีฟเว่นการสร้างเอกสารใหม่ (OnDocNew) จะเป็นอีฟเว่นที่ซีย-โซลิดส่งไปยังซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริมเมื่อมีการเรียกคำสั่งสร้างเอกสารใหม่โดยผู้ใช้ ซึ่งจะส่งตัวต่อประสาน IKRSDoc ของเอกสารที่สร้างใหม่นี้ไปด้วย

4.4.2.2. อีฟเว่นการเปิดเอกสาร (OnDocOpen) จะเป็นอีฟเว่นที่ซีย-โซลิดส่งไปยังซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริมเมื่อมีการเรียกคำสั่งเปิดเอกสารโดยผู้ใช้ ซึ่งจะส่งตัวต่อประสาน IKRSDoc ของเอกสารที่เปิดนี้ไปด้วย

4.4.2.3. อีฟเว่นการปิดเอกสาร (OnDocClose) จะเป็นอีฟเว่นที่ซีย-โซลิดส่งไปยังซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริมเมื่อมีการเรียกคำสั่งปิดเอกสารโดยผู้ใช้ ซึ่งจะส่งตัวต่อประสาน IKRSDoc ของเอกสารที่ปิดนี้ไปด้วย

4.4.2.4. อีฟเว่นการเปิดมุมมองใหม่ (OnViewOpen) เป็นอีฟเว่นที่ซีย-โซลิดส่งไปยังซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริมเมื่อมีการสร้างมุมมองใหม่ของแบบจำลอง โดยจะส่งตัวต่อประสาน IKRSView ของมุมมองที่สร้างใหม่นี้ติดไปกับอีฟเว่นด้วย

4.4.2.5. อีฟเว่นการปิดมุมมอง (OnViewClose) เป็นอีฟเว่นที่ซีย-โซลิดส่งไปยังซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริมเมื่อมีการปิดมุมมองของแบบจำลอง โดยจะส่งตัวต่อประสาน IKRSView ของมุมมองที่ปิดติดไปกับอีฟเว่นด้วย

4.4.2.6. อีฟเว่นการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบที่ถูกเลือกโดยผู้ใช้ (OnSelectedChange) เป็นอีฟเว่นที่ซีย-โซลิดส่งไปยังซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริมเมื่อมีการเลือกองค์ประกอบโดยผู้ใช้

4.4.2.7. อีฟเว่นการสร้างลักษณะจำเพาะใหม่ (OnCreateFeature) เป็นอีฟเว่นที่ซีย-โซลิดส่งไปยังซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริมเมื่อมีการสร้างลักษณะจำเพาะใหม่เกิดขึ้นในเอกสาร โดยจะส่งตัวต่อประสาน IKRSFeature ไปกับอีฟเว่นด้วย

4.4.2.8. อีฟเว่นปรับปรุงค่าของลักษณะจำเพาะ (OnUpdateFeature) เป็นอีฟเว่นที่ซีย-โซลิดส่งไปยังซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริมเมื่อมีการปรับปรุงค่าของลักษณะจำเพาะ โดยจะส่งตัวต่อประสาน IKRSFeature ไปกับอีฟเว่นด้วย

4.4.2.9. อีฟเว่นการแก้ไขลักษณะจำเพาะ (OnEditFeature) เป็นอีฟเว่นที่ซีย-โซลิดส่งไปยังซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริมเมื่อผู้ใช้ต้องการแก้ไขพารามิเตอร์ลักษณะจำเพาะ โดยจะส่งตัวต่อประสาน IKRSFeature ไปกับอีฟเว่นด้วย

4.4.2.10. อีฟเว่นการลบลักษณะจำเพาะ (OnDeleteFeature) เป็นอีฟเว่นที่ซีย-โซลิดส่งไปยังซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริมเมื่อผู้ใช้ลบลักษณะจำเพาะออกจากเอกสาร โดยจะส่งตัวต่อประสาน IKRSFeature ไปกับอีฟเว่นด้วย

4.4.2.11. อีฟเว่นการเรียกคำสั่งจากแถบเครื่องมือ (OnCommand) เป็นอีฟเว่นที่ซียู-โซลิดส่งไปยังซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริมเมื่อผู้ใช้เรียกใช้คำสั่งจากแถบเครื่องมือ โดยจะส่งรหัสคำสั่งที่เลือกไปกับอีฟเว่นด้วย

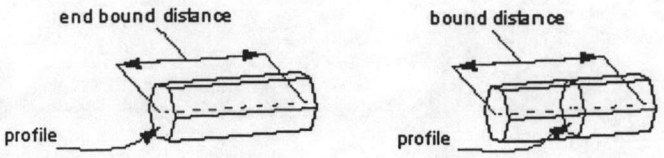
4.4.2.12. อีฟเว่นการปรับปรุงส่วนติดต่อกับผู้ใช้ของคำสั่งในแถบเครื่องมือ (OnCommandUpdateUI) เป็นอีฟเว่นที่ซียู-โซลิดส่งไปยังซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริมเมื่อมีการปรับปรุงส่วนติดต่อกับผู้ใช้ของคำสั่งในแถบเครื่องมือ โดยจะส่งรหัสคำสั่งที่ต้องการปรับปรุงส่วนติดต่อกับผู้ใช้ไปกับอีฟเว่นด้วย

4.5. การออกแบบส่วนสร้างและแก้ไขแบบจำลองโซลิด

การสร้างและแก้ไขแบบจำลองโซลิดจะทำโดยการตามลักษณะจำเพาะที่นิยามขึ้น ในการใช้งานผู้ใช้จะกำหนดพารามิเตอร์ที่ต้องการของลักษณะจำเพาะจากนั้น ส่วนจัดการข้อมูลแบบจำลองจะทำการปรับปรุงแบบจำลองโซลิดด้วยลักษณะจำเพาะนั้น ๆ ในการออกแบบส่วนนี้จะออกแบบให้เป็นซอฟแวร์ส่วนประกอบเสริมสำหรับซียู-โซลิด

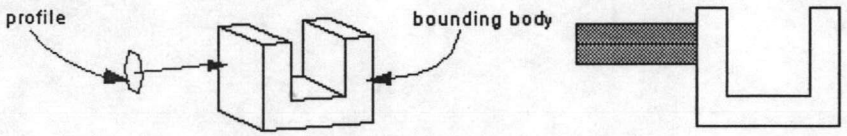
4.5.1. <u>การพอกด้วยการยืดตามแนวเส้นตรง</u> (Extrusion) เป็นการยืดลำตัวแผ่นไปตามทิศการยืดซึ่งเป็นเส้นตรงโดยมีการกำหนดขอบเขตบน และล่างของการยืดด้วยวิธีต่าง ๆ ลำตัวแผ่นที่ใช้จะสร้างจากการปิดล้อมของลำตัวเส้นที่ได้จากแบบร่างบนระนาบ ลำตัวที่ได้จากการยืดตามแนวเส้นตรงจะนำมากระทำบูลลีนแบบรวมกับลำตัวที่มีอยู่เดิม สำหรับซียู-โซลิดจะมีขอบเขตบนอยู่ที่ระนาบขอบแบบร่างที่จะนำมายืดเสมอ และจะกำหนดเฉพาะขอบเขตล่างเท่านั้น ขอบเขตล่างที่ผู้ใช้สามารถกำหนดได้มีดังนี้

4.5.1.1. กำหนดขอบเขตด้วยระยะการยืด เป็นการกำหนดขอบเขตการยืดด้วยระยะทางตามทิศของการยืดโดยขอบเขตนี้จะต้องมีค่ามากกว่าศูนย์ ในการใช้งานผู้ใช้จะเลือกแบบร่างบนระนาบ (Profile) ที่จะนำมายืด และกำหนดขอบเขตล่างเป็นระยะทางวัดจากระนาบของแบบร่างตามทิศทางของการยืด ซึ่งทิศของการยืดนี้จะเป็นทิศทางตั้งฉากกับระนาบขอบแบบร่าง ซึ่งสามารถกลับทิศได้ นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดให้ยืดไปในทิศทางทั้งสองข้างของระนาบของแบบร่างเป็นระยะทางที่เท่ากันได้ด้วย กรณีนี้ระยะที่กำหนดจะเป็นระยะรวมของการยืดทั้งสองด้าน การกำหนดขอบเขตด้วยระยะยืดแสดงด้วยรูปที่ 4.3



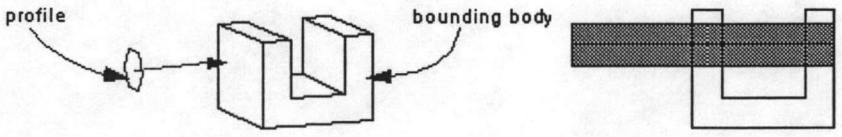
รูปที่ 4.4 แสดงการพอกด้วยการยืดตามแนวเส้นตรงกำหนดขอบเขตด้วยระยะการยืด

4.5.1.2. กำหนดขอบเขตด้วยหน้าแรกที่ตัดผ่านแนวการยืด เป็นการกำหนดขอบเขตด้วยหน้าของลำตัวที่ใช้เป็นขอบเขต ซึ่งหน้าที่ใช้เป็นหน้าแรกที่ตัดกับลำตัวที่ได้จากการยืดโดยวัดเทียบตามทิศของการยืด ตัวอย่างการกำหนดขอบเขตด้วยวิธีนี้แสดงด้วยรูปที่ 4.4 ในการใช้งานผู้ใช้จะเลือกแบบร่างบนระนาบที่ต้องการนำมายืด และทิศทางที่จะยืดเท่านั้น



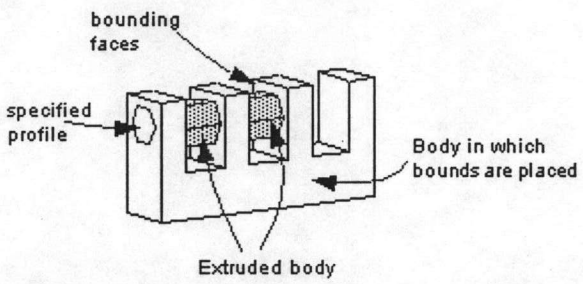
รูปที่ 4.5 แสดงการพอกด้วยการยืดตามแนวเส้นตรงกำหนดขอบเขตด้วยหน้าแรกที่ตัดผ่านแนวการยืด

4.5.1.3. กำหนดขอบเขตด้วยหน้าสุดท้ายที่ตัดผ่านแนวการยืด เป็นการกำหนดขอบเขตด้วยหน้าของลำตัวที่ใช้เป็นขอบเขต ซึ่งหน้าที่ใช้เป็นหน้าสุดท้ายที่ตัดกับลำตัวที่ได้จากการยืดโดยวัดเทียบตามทิศของการยืด ตัวอย่างการกำหนดขอบเขตด้วยวิธีนี้แสดงด้วยรูปที่ 4.5 ในการใช้งานผู้ใช้จะเลือกแบบร่างบนระนาบที่ต้องการนำมายืด และทิศทางที่จะยืด



รูปที่ 4.6 แสดงการพอกด้วยการยืดตามแนวเส้นตรงกำหนดขอบเขตด้วยหน้าสุดท้ายที่ตัดผ่านแนวการยืด

4.5.1.4. กำหนดขอบเขตด้วยหน้าที่กำหนด และตัดผ่านแนวการยืด เป็นการกำหนดขอบเขตด้วยหน้าที่กำหนดโดยผู้ใช้ ซึ่งหน้าที่ใช้เป็นขอบเขตนี้ต้องตัดกับลำตัวที่ได้จากการยืดด้วย ในการใช้งานผู้ใช้จะเลือกแบบร่างที่จะนำมายืด และหน้าที่ใช้เป็นขอบเขตล่าง



รูปที่ 4.7 แสดงการพอกด้วยการยืดตามแนวเส้นตรงกำหนดขอบเขตด้วยหน้าซึ่งผู้ใช้กำหนด และตัดผ่านแนวการยืด

เมื่อกำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ครบถ้วนแล้ว ก็จะสร้างลักษณะจำเพาะการพอกด้วยการยืดตามเส้นนำ จากนั้นกำหนดพารามิเตอร์ที่ได้นี้ให้กับลักษณะจำเพาะที่สร้างขึ้น สุดท้ายจะส่งแมสเซจเพื่อปรับปรุงแบบจำลองด้วยลักษณะจำเพาะที่สร้างขึ้นนี้

ในการปรับปรุงแบบจำลองโซลิดด้วยลักษณะจำเพาะการพอกด้วยการยืดตามแนวเส้นตรง ส่วนปรับปรุงแบบจำลองเมื่อได้รับแมสเซจก็จะอ่านพารามิเตอร์จากลักษณะจำเพาะที่ติดมากับแมสเซจ จากนั้นจะสร้างหน้าให้กับแบบร่างที่จะนำมายืดทำให้แบบร่างซึ่งแต่เดิมเป็นลำตัวเส้นกลายเป็นลำตัวแผ่น แล้วใช้คำสั่งของพาราโซลิดสร้างลำตัวโซลิดโดยการยืดลำตัวแผ่นไปตามแนวเส้นตรงที่กำหนดมา สุดท้ายนำลำตัวที่ได้มากระทำบูลลีนแบบรวมกับลำตัวที่มีอยู่

4.5.2. <u>การพอกด้วยการกวาดเชิงมุม</u> (Revolution) เป็นการกวาดลำตัวแผ่นรอบแกนหมุนโดยมีการกำหนดขอบเขตด้วยมุมการกวาดวัดเทียบกับระนาบขอบแบบร่างที่จะนำมากวาดเชิงมุม ซึ่งทิศทางการกวาดจะกำหนดด้วยกฎมือขวา การทำงานผู้ใช้จะเลือกแบบร่างบนระนาบที่จะนำมากวาดเชิงมุม และกำหนดมุมกวาด จากนั้นซียู-โซลิดจะตรวจสอบว่าผู้ใช้กำหนดข้อมูลได้ถูกต้องหรือไม่ ถ้าถูกต้องซียู-โซลิดจะสร้างลักษณะจำเพาะของการพอกด้วยการกวาดเชิงมุมแล้วกำหนดพารามิเตอร์ของลักษณะจำเพาะด้วยค่าที่ผู้ใช้กำหนด จากนั้นจะส่งแมสเซจเพื่อปรับปรุงแบบจำลองด้วยลักษณะจำเพาะที่สร้างขึ้นนี้

ในการปรับปรุงแบบจำลองโซลิดด้วยลักษณะจำเพาะการพอกด้วยการกวาดเชิงมุม เมื่อส่วนปรับปรุงได้รับแมสเซจจะอ่านค่าพารามิเตอร์จากลักษณะจำเพาะที่ติดมาพร้อมกับแมสเซจ

แล้วเปลี่ยนลำตัวเส้นของแบบร่าง ให้เป็นลำตัวแผ่นโดยการสร้างหน้าให้กับลำตัวเส้นของแบบร่าง จากนั้นนำไปทำการกวาดเชิงมุม รอบแกนที่กำหนดด้วยคำสั่งของพาราโซลิด แล้วนำลำตัวโซลิดที่ได้มากระทำบูลลีนแบบรวมกับลำตัวที่มีอยู่เดิม

4.5.3. การพอกด้วยการยึดตามเส้นนำ (Sweep along guide) เป็นการยึดลำตัวแผ่นที่ได้จากแบบร่างบนระนาบไปตามเส้นนำ (Guide Wire) แล้วนำลำตัวที่ได้มากระทำบูลลีนแบบรวมกับลำตัวที่มีอยู่เดิม ในการทำงานผู้ใช้จะเลือกแบบร่างที่จะนำมาทำเป็นลำตัวแผ่นสำหรับการยึดตามเส้นนำ แบบร่างที่เลือกนี้จะต้องเป็นวงปิด จากนั้นจะเลือกเส้นนำซึ่งเป็นแบบร่างบนระนาบเช่นกัน ซึ่งแบบร่างที่ใช้เป็นเส้นนำนี้จะเป็นวงปิดหรือไม่ก็ได้ ในการยึดตามเส้นนำจะต้องกำหนดด้วยว่าแบบร่างที่จะนำมาทำเป็นลำตัวแผ่นสำหรับกวาดนั้นจะรักษามุมของระนาบให้คงที่เสมอเมื่อเทียบกับระบบแกนอ้างอิงรวม (World Coordinate System) หรือจะให้คงที่เทียบกับเส้นสัมผัสของเส้นนำ เมื่อผู้ใช้กำหนดพารามิเตอร์ครบก็จะต้องตรวจสอบความถูกต้องของพารามิเตอร์ ถ้าถูกต้องก็จะสร้างลักษณะจำเพาะของการยึดตามเส้นนำแล้วกำหนดพารามิเตอร์ของลักษณะจำเพาะนี้ด้วยค่าที่ผู้ใช้กำหนด จากนั้นจะส่งแมสเซจเพื่อปรับปรุงแบบจำลองด้วยลักษณะจำเพาะการพอกด้วยการยึดตามแนวเส้นที่สร้างขึ้นนี้

ในการปรับปรุงแบบจำลองด้วยลักษณะจำเพาะการพอกด้วยการยึดตามเส้นนำ ส่วนปรับปรุงแบบจำลองจะอ่านค่าพารามิเตอร์ เนื่องจากต้องการสร้างลำตัวโซลิดดังนั้นจึงต้องเปลี่ยนลำตัวเส้นของแบบร่างให้เป็นลำตัวแผ่นโดยการสร้างหน้าให้กับลำตัวเส้นของแบบร่าง จากนั้นใช้คำสั่งของพาราโซลิดในการสร้างลำตัวด้วยการยึดตามเส้นนำ แล้วจะนำลำตัวที่ได้มากระทำบูลลีนแบบรวมกับลำตัวที่มีอยู่

4.5.4. การพอกด้วยลอฟท์ (Loft) เป็นการสร้างลำตัวด้วยวิธีการลอฟท์แล้วนำลำตัวที่ได้มากระทำบูลลีนแบบรวมกับลำตัวที่มีอยู่เดิม ในการทำงานผู้ใช้จะกำหนดแบบร่างบนระนาบที่จะนำมาใช้เป็นหน้าตัดของแบบจำลองโซลิดที่จะสร้างตั้งแต่ 2 อันขึ้นไป แบบร่างเหล่านี้จะต้องเป็นวงปิด จากนั้นต้องกำหนดจุดยอดที่เป็นจุดเริ่มต้นของการอ้างอิง เมื่อผู้ใช้เลือกพารามิเตอร์ได้ครบก็จะตรวจสอบความถูกต้อง ถ้าถูกต้องก็จะสร้างลักษณะจำเพาะของการพอกด้วยลอฟท์ แล้วกำหนดพารามิเตอร์ของลักษณะจำเพาะนี้ด้วยพารามิเตอร์ที่ผู้ใช้กำหนด จากนั้นจะส่งแมสเซจเพื่อปรับปรุงแบบจำลองด้วยลักษณะจำเพาะการพอกด้วยลอฟท์ที่สร้างขึ้นนี้

ในการปรับปรุงแบบจำลองโซลิด เมื่อส่วนปรับปรุงได้รับแมสเซจเพื่อให้ปรับปรุงลักษณะจำเพาะการพอกด้วยลอฟท์ ส่วนปรับปรุงจะอ่านค่าพารามิเตอร์จากลักษณะจำเพาะที่ส่งมาพร้อมกับแมสเซจ ในการสร้างแบบจำลองด้วยการลอฟท์นี้ แบบร่างที่จะนำมาใช้จะต้องมีจุดยอด

มากกว่าหนึ่งจุด และต้องมีจุดยอดเท่ากัน แต่แบบร่างที่เลือกอาจไม่เป็นเช่นนั้น ดังนั้นจึงต้องสร้างจุดยอดขึ้นบนแบบร่างที่ไม่มีจุดยอด (วงกลม หรือวงรี) ด้วยวิธีการอิมพรินท์ (Imprint) จุดยอดลงบนขอบด้วยคำสั่งของพาราโซลิด และทำการอ้างอิงจุดยอดระหว่างแบบร่างที่อยู่ติดกัน โดยแนวการอ้างอิงนี้จะต้องไม่ตัดกัน สุดท้ายจะใช้คำสั่งของพาราโซลิดในการสร้างลำตัวด้วยการลอฟท์ แล้วนำลำตัวที่ได้มากระทำบูลลีนแบบรวมกับลำตัวที่มีอยู่เดิม

4.5.5. <u>การตัดด้วยการยืดตามแนวเส้นตรง</u> (Extrusion Cut) ในการออกแบบจะมีแนวคิดเช่นเดียวกับการพอกด้วยการยืดตามแนวเส้นตรง แต่ในขั้นตอนสุดท้ายจะนำไปกระทำบูลลีนแบบลบแทนการกระทำบูลลีนแบบรวม

4.5.6. <u>การตัดด้วยการกวาดเชิงมุม</u> (Revolution Cut) ในการออกแบบจะมีแนวคิดเช่นเดียวกับการพอกด้วยการกวาดเชิงมุม แต่ในขั้นตอนสุดท้ายจะนำไปกระทำบูลลีนแบบลบแทนการกระทำบูลลีนแบบรวม

4.5.7. <u>การตัดด้วยการยืดตามเส้นนำ</u> (Swept Cut) ในการออกแบบจะมีแนวคิดเช่นเดียวกับการพอกด้วยการยืดตามเส้นนำ แต่ในขั้นตอนสุดท้ายจะนำไปกระทำบูลลีนแบบลบแทนการกระทำบูลลีนแบบรวม

4.5.8. <u>การตัดด้วยลอฟท์</u> (Loft Cut) ในการออกแบบจะมีแนวคิดเช่นเดียวกับการพอกด้วยลอฟท์ แต่ในขั้นตอนสุดท้ายจะนำไปกระทำบูลลีนแบบลบแทนการกระทำบูลลีนแบบรวม

4.5.9. <u>การทำฟิลเลต</u> (Fillet) เป็นการลบขอบของแบบจำลองโซลิดด้วยหน้า ซึ่งเป็นผิวโค้งของทรงกระบอกโดยผู้ใช้จะกำหนดรัศมีของผิวโค้งนี้ เมื่อผู้ใช้กำหนดข้อมูลครบก็จะสร้างลักษณะจำเพาะการทำฟิลเลตแล้วกำหนดพารามิเตอร์ของการทำฟิลเลต จากนั้นจะส่งแมสเซจเพื่อปรับปรุงแบบจำลองด้วยลักษณะจำเพาะการทำฟิลเลต

ในการทำฟิลเลตนี้มีพารามิเตอร์ 2 ตัวคือ กลุ่มของขอบที่จะทำการฟิลเลต ซึ่งจะเก็บค่าเป็นอาร์เรย์ของเลขจำนวนจริงที่เป็นรหัสที่ใช้อ้างถึงขอบ ส่วนพารามิเตอร์อีกตัวคือรัศมีของการทำฟิลเลต จะเก็บเป็นเลขจำนวนจริง

การปรับปรุงแบบจำลองโซลิดด้วยลักษณะจำเพาะการทำฟิลเลตนี้ เมื่อส่วนปรับปรุงได้รับแมสเซจก็จะตรวจสอบการคงอยู่ของขอบที่ได้จากพารามิเตอร์ของลักษณะจำเพาะนี้ ถ้าพบขอบที่ต้องการทำฟิลเลตครบก็จะใช้คำสั่งของพาราโซลิดในการทำฟิลเลต จากนั้นตรวจสอบว่ามีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นจากการทำฟิลเลตด้วยพาราโซลิดหรือไม่ ถ้าไม่มีก็จะทำการปรับปรุงภาพการ

แสดงผลของแบบจำลอง แต่ถ้าพบข้อผิดพลาดก็จะยกเลิกการทำฟิลเลตพร้อมกับข้อความเตือนผู้ใช้ในจุดที่เกิดความผิดพลาดขึ้น

4.5.10. การทำแชมเฟอร์ (Chamfer) เป็นการลบขอบของแบบจำลองโซลิดด้วยหน้าซึ่งเป็นแผ่นเรียบ ในการทำงานเมื่อผู้ใช้เรียกคำสั่งการสร้างแชมเฟอร์ ผู้ใช้จะต้องกำหนดขอบที่ต้องการทำแชมเฟอร์ และระยะการลบในแต่ละด้านของขอบ เมื่อกำหนดพารามิเตอร์ครบแล้วต้องตรวจสอบความถูกต้องของพารามิเตอร์ ถ้าถูกต้องก็จะสร้างลักษณะจำเพาะของการทำแชมเฟอร์ แล้วกำหนดพารามิเตอร์ที่ผู้ใช้เลือกให้กับลักษณะจำเพาะ โดยพารามิเตอร์ของ จะกำหนดด้วยรหัสการอ้างถึงของขอบ ซึ่งเป็นอาร์เรย์ของเลขจำนวนจริง และพารามิเตอร์ของระยะการลบในแต่ละด้านของขอบจะกำหนดเป็นเลขจำนวนจริง เมื่อกำหนดพารามิเตอร์เสร็จแล้วก็จะส่งแมสเซจเพื่อปรับปรุงแบบจำลองด้วยลักษณะจำเพาะการทำแชมเฟอร์

ในส่วนของการปรับปรุงแบบจำลองด้วยลักษณะจำเพาะการทำแชมเฟอร์ เมื่อได้รับแมสเซจส่วนปรับปรุงแบบจำลองโซลิดด้วยลักษณะจำเพาะการทำแชมเฟอร์จะอ่านพารามิเตอร์จากลักษณะจำเพาะที่ส่งมาพร้อมกับแมสเซจ จากนั้นหาขอบที่ต้องการทำแชมเฟอร์จากรหัสอ้างถึง เมื่อได้ขอบครบแล้วก็จะใช้คำสั่งของพาราโซลิดในการทำแชมเฟอร์ จากนั้นตรวจสอบว่ามีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นจากการทำแชมเฟอร์ด้วยพาราโซลิดหรือไม่ ถ้าไม่มีก็จะทำการปรับปรุงภาพการแสดงผลของแบบจำลอง แต่ถ้าพบข้อผิดพลาดก็จะยกเลิกการทำแชมเฟอร์พร้อมกับข้อความเตือนผู้ใช้ในจุดที่เกิดความผิดพลาดขึ้น

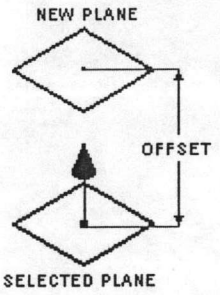
4.5.11. การทำโซลิดกลวง (Hollow) เป็นการทำให้แบบจำลองโซลิดให้มีภายในเป็นบริเวณว่าง (Void Region) ในการทำงานเมื่อผู้ใช้เรียกคำสั่งการทำโซลิดกลวง ผู้ใช้จะต้องกำหนดความหนาของหน้าทั้งหมดของลำตัวโซลิดเรียกว่าค่าออฟเซต (Offset) และกำหนดทิศของออฟเซตด้วยว่ามีทิศเข้า หรือออกจากลำตัวโซลิด จากนั้นเลือกหน้าที่ต้องการเปิดออก (ถ้ามี) และหน้าที่ต้องการกำหนดระยะออฟเซตต่างจากค่าออฟเซตรวม และค่าออฟเซตนั้น (ถ้ามี) เมื่อกำหนดพารามิเตอร์ครบก็จะตรวจสอบความถูกต้อง ถ้าพารามิเตอร์ถูกต้องก็สร้างลักษณะจำเพาะการทำโซลิดกลวง แล้วกำหนดพารามิเตอร์ที่ผู้ใช้กำหนดให้กับลักษณะจำเพาะ โดยพารามิเตอร์ที่เป็นองค์ประกอบโทโปโลยีที่ผู้ใช้เลือก จะเก็บเป็นรหัสอ้างถึงองค์ประกอบเหล่านั้น ซึ่งเป็นเลขจำนวนจริง ในส่วนของระยะออฟเซตจะกำหนดเป็นจำนวนจริง พารามิเตอร์ทิศทางการออฟเซตจะกำหนดด้วยเลขจำนวนจริง ถ้าเป็น 0 มีทิศเข้า และถ้าเป็น 1 มีทิศออก เมื่อกำหนดพารามิเตอร์ให้กับลักษณะจำเพาะเสร็จแล้วจะส่งแมสเซจเพื่อปรับปรุงแบบจำลองโซลิดด้วยลักษณะจำเพาะการทำโซลิดกลวง

เมื่อส่วนปรับปรุงลักษณะจำเพาะการทำโซลิดกลวงได้รับแมสเซจ ก็จะอ่านค่าพารามิเตอร์จากลักษณะจำเพาะการทำโซลิดกลวงที่ติดมากับแมสเซจ จากนั้นหาองค์ประกอบโทโปโลยีจากรหัสอ้างถึงที่เป็นพารามิเตอร์ของลักษณะจำเพาะ เมื่อได้องค์ประกอบทางโทโปโลยีครบใช้คำสั่งของพาราโซลิดในการสร้างลำตัวกลวง แล้วปรับปรุงการแสดงผล

4.6. การออกแบบส่วนสร้างและแก้ไขระนาบอ้างอิง

ระนาบอ้างอิงเป็นระนาบที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นเครื่องมือในการสร้างแบบจำลองโซลิด โดยเป็นระนาบใน 3 มิติที่มีองค์ประกอบทางเรขาคณิตที่เป็นพื้นผิวชนิดระนาบแต่เพียงอย่างเดียว ในการทำงานวิธีการสร้างระนาบอ้างอิงจะสามารถสร้างได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับว่าจะสร้างอ้างอิงกับองค์ประกอบใด ในซียู-โซลิดสามารถสร้างระนาบอ้างอิงได้ด้วยวิธีการดังนี้

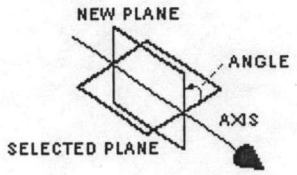
4.6.1. <u>ออฟเซตจากระนาบที่กำหนด</u> ด้วยวิธีนี้ผู้ใช้จะต้องกำหนดระนาบที่จะใช้เป็นต้นแบบ ซึ่งอาจเป็นระนาบอ้างอิง หรือองค์ประกอบโทโปโลยีชนิดหน้าที่เป็นระนาบก็ได้ นอกจากนี้ต้องกำหนดระยะออฟเซต พร้อมกับทิศทางของการออฟเซตซึ่งจะตั้งฉากกับระนาบที่เลือก โดยระนาบอ้างอิงที่ได้จากการสร้างด้วยวิธีนี้จะขนานกับระนาบต้นแบบ มีตำแหน่งศูนย์กลางระนาบอยู่ที่ศูนย์กลางระนาบอ้างอิง หรือศูนย์กลางมวลของหน้าที่ใช้เป็นต้นแบบ ตัวอย่างการสร้างระนาบอ้างอิงด้วยการออฟเซตจากระนาบที่กำหนดแสดงด้วยรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.8 แสดงการสร้างระนาบอ้างอิงด้วยการกำหนดค่าออฟเซตจากระนาบที่กำหนด

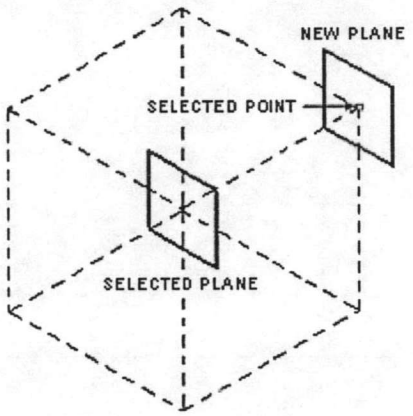
4.6.2. <u>ตั้งฉากหรือทำมุมใด ๆ กับระนาบที่กำหนด</u> เป็นการสร้างระนาบอ้างอิงโดยการทำสำเนาระนาบต้นแบบแล้วหมุนรอบแกนหมุนเป็นมุมที่กำหนด ในการทำงานผู้ใช้จะต้องเลือกระนาบต้นแบบซึ่งอาจเป็นระนาบอ้างอิงหรือองค์ประกอบทางโทโปโลยีชนิดหน้าที่เป็นระนาบก็ได้ จากนั้นก็กำหนดแกนหมุน ซึ่งเลือกได้จากของที่เป็นเส้นตรง หรือเลือกเป็นระนาบอ้างอิงก็ได้ แล้วกำหนดมุมการหมุนที่ต้องการ ในกรณีที่ผู้ใช้เลือกแกนหมุนเป็นระนาบอ้างอิง ระนาบอ้างอิงที่

สร้างขึ้นใหม่นี้จะสร้างโดยหมุนรอบแกนตั้งฉากของระนาบที่ผ่านจุดศูนย์กลางระนาบอ้างอิงที่ใช้เป็นแกนหมุน ตัวอย่างการสร้างระนาบอ้างอิงด้วยวิธีนี้แสดงด้วยรูปที่ 4.8



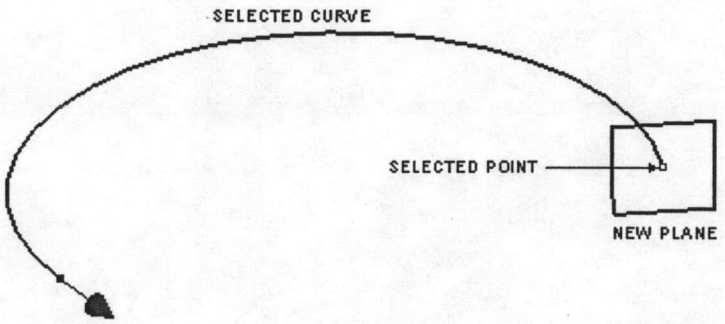
รูปที่ 4.9 แสดงการสร้างระนาบอ้างอิงด้วยการกำหนดมุมที่ทำกับระนาบที่กำหนด

4.6.3. <u>ขนานกับระนาบต้นแบบที่จุดที่กำหนด</u> เป็นการสร้างระนาบอ้างอิงที่ขนานกับระนาบต้นแบบ โดยมีจุดศูนย์กลางระนาบอยู่ที่จุดที่ผู้ใช้เลือก โดยระนาบต้นแบบที่ใช้อาจเป็นระนาบอ้างอิงหรือเป็นองค์ประกอบทางโทโปโลยีที่เป็นระนาบก็ได้ ตัวอย่างการสร้างระนาบอ้างอิงด้วยวิธีนี้แสดงด้วยรูปที่ 4.9



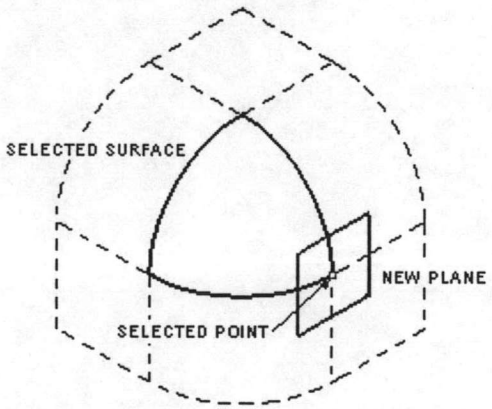
รูปที่ 4.10 แสดงการสร้างระนาบอ้างอิงที่ขนานกับระนาบต้นแบบที่จุดที่กำหนด

4.6.4. <u>ตั้งฉากกับเส้นโค้ง ณ จุดที่กำหนด</u> เป็นการสร้างระนาบอ้างอิงที่ตั้งฉากกับเส้นโค้ง ณ จุดที่ผู้ใช้กำหนด ซึ่งจุดนี้จะต้องอยู่บนเส้นโค้งด้วย ในการทำงานผู้ใช้จะกำหนดเส้นโค้งและจุดบนเส้นโค้ง ณ ตำแหน่งที่ต้องการสร้างระนาบอ้างอิง ระนาบอ้างอิงที่ได้จะมีศูนย์กลางระนาบอยู่ที่จุดบนเส้นโค้งที่เลือก ตัวอย่างการสร้างระนาบอ้างอิงด้วยวิธีนี้แสดงด้วยรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.11 แสดงการสร้างระนาบอ้างอิงที่ตั้งฉากกับเส้นโค้ง ณ จุดที่กำหนด

4.6.5. <u>สัมผัสกับพื้นผิว ณ จุดที่กำหนด</u> เป็นการสร้างระนาบอ้างอิงที่มีแกนตั้งฉากของระนาบ (Normal) ขนานกับแนวตั้งฉากของพื้นผิว ณ จุดที่ผู้ใช้กำหนด ในการทำงานผู้ใช้จะเลือกพื้นผิวที่ใช้อ้างอิง ซึ่งจะเลือกจากองค์ประกอบโทโปโลยีที่เป็นหน้า (จะนำไปหาองค์ประกอบทางเรขาคณิตที่เป็นพื้นผิวอีกทีหนึ่ง) แล้วเลือกจุดที่ต้องการสร้างระนาบอ้างอิง ซึ่งจะต้องเป็นจุดที่อยู่บนระนาบที่เลือกด้วย ระนาบอ้างอิงที่ได้จะมีศูนย์กลางระนาบอยู่ที่จุดที่เลือก ตัวอย่างการสร้างระนาบอ้างอิงด้วยวิธีนี้แสดงด้วยรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.12 แสดงการสร้างระนาบอ้างอิงที่สัมผัสกับพื้นผิว ณ จุดที่กำหนด

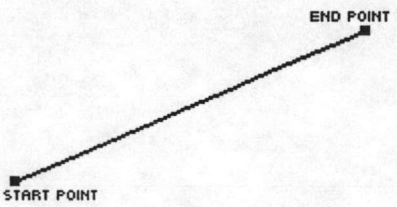
4.7. การออกแบบส่วนสร้างและแก้ไขแบบร่างบนระนาบ

การสร้างและแก้ไขแบบร่างบนระนาบ จะเป็นการสร้างลำตัวเส้นบนระนาบ โดยลำตัวเส้นนี้เกิดจากลำตัวเส้นย่อย ๆ หลายอันมาต่อกัน ลำตัวเส้นย่อย ๆ นี้เรียกว่า เซกเมนต์ของแบบร่างบนระนาบ (Sketch Segment) ในการทำงานขั้นแรกผู้ใช้จะต้องเลือกระนาบที่ต้องการสร้างแบบร่างเสียก่อน ระนาบนี้อาจเป็นระนาบอ้างอิงหรือ เป็นองค์ประกอบทางโทโปโลยีชนิดหน้าที่เป็นระนาบก็ได้ เมื่อเลือกระนาบแล้ว มุมมองของแบบจำลองจะปรับให้อยู่ในตำแหน่งตั้ง

ฉากกับระนาบที่เลือกนี้ จากนั้นผู้ใช้ก็สามารถเลือกคำสั่งในการสร้างเซกเมนต์ของแบบร่างบนระนาบแบบต่าง ๆ โดยแบ่งออกเป็น

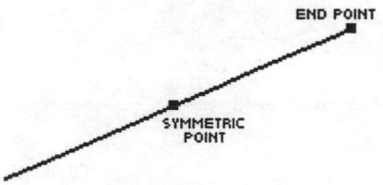
4.7.1. <u>การสร้างเส้นตรง</u> (Line) เป็นการสร้างเซกเมนต์ของแบบร่างบนระนาบชนิดลำตัวเส้นที่เกิดจากขอบที่เป็นเส้นตรงจำนวนหนึ่งขอบ ซึ่งขอบนี้มีการนิยามองค์ประกอบทางเรขาคณิตชนิดเส้นตรงอยู่ด้วย ในการสร้างเส้นตรงแบ่งวิธีการสร้างออกเป็น 3 วิธีด้วยกัน คือ

4.7.1.1. จุดต้นและจุดปลาย ผู้ใช้จะกำหนดจุดปลาย 2 จุดของบนเส้นตรงที่ต้องการสร้างโดยจุดแรกที่เลือกจะเป็นจุดเริ่มต้น และอีกจุดเป็นจุดสุดท้าย ดังรูปที่ 4.13 ทิศทางของเส้นตรงจะมีทิศจากจุดเริ่มต้น ไปยังจุดสุดท้าย



รูปที่ 4.13 แสดงการสร้างเส้นตรงด้วยจุดต้นและจุดปลาย

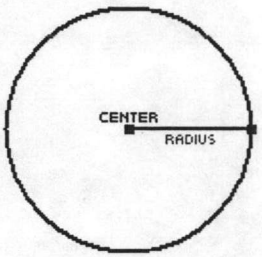
4.7.1.2. จุดสมมาตรและจุดปลาย ในการใช้งานผู้ใช้จะกำหนด จุดสมมาตร และจุดปลายของเส้นตรงตามลำดับ ดังรูปที่ 4.14 เส้นตรงที่ได้จะมีทิศจากจุดสมมาตรไปยังจุดปลาย



รูปที่ 4.14 แสดงการสร้างเส้นตรงด้วยจุดสมมาตรและจุดปลาย

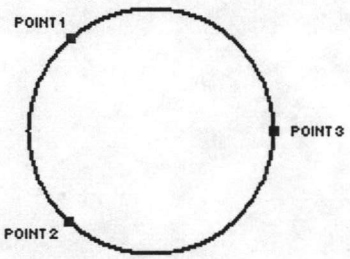
4.7.2. <u>การสร้างวงกลม และวงรี</u> (Circle and Ellipse) เป็นการสร้างเซกเมนต์ของแบบร่างบนระนาบชนิดลำตัวเส้นที่เกิดจากขอบที่เป็นวงกลมหรือวงรีจำนวนหนึ่งขอบ ซึ่งขอบนี้มีการนิยามองค์ประกอบทางเรขาคณิตที่เป็นวงกลม หรือวงรีอยู่ด้วย โดยมีคำสั่งที่ใช้สร้าง 4 คำสั่งคือ

4.7.2.1. การสร้างวงกลมด้วยจุดศูนย์กลางและรัศมี เป็นการสร้างวงกลมโดยผู้ใช้จะกำหนดจุดศูนย์กลางของวงกลมและจุดใด ๆ บนวงกลมเพื่อนำมาคำนวณหาค่ารัศมี ดังแสดงด้วยรูปที่ 4.14



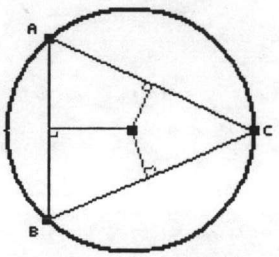
รูปที่ 4.15 แสดงการสร้างวงกลมด้วยจุดศูนย์กลางและรัศมี

4.7.2.2. การสร้างวงกลมด้วยจุดบนเส้นรอบวง 3 จุด เป็นการสร้างวงกลมจากจุดใดๆ ที่อยู่บนวงกลม 3 จุด โดยจุดทั้งสามจะต้องไม่ซ้อนทับกัน ดังแสดงด้วยรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.16 แสดงการสร้างวงกลมด้วยจุดบนเส้นรอบวง 3 จุด

เมื่อผู้ใช้กำหนดจุดทั้งสามแล้วจะนำมาคำนวณหาจุดศูนย์กลาง และรัศมีของวงกลมดังนี้



รูปที่ 4.17 แสดงการคำนวณหาจุดศูนย์กลาง และรัศมีของวงกลมด้วยจุดบนเส้นรอบวง 3 จุด

จากรูปที่ 4.16 จุด A B และ C เป็นจุดใดๆ บนวงกลมที่ผู้ใช้กำหนดพบว่าเส้นที่แบ่งครึ่งและตั้งฉากกับด้านของสามเหลี่ยมที่เกิดจากการลากเส้นเชื่อมระหว่างจุด A B และ C จะตัดกันที่จุดศูนย์กลางของวงกลม และสมการพาราเมตริกของเส้นที่แบ่งครึ่งและตั้งฉากส่วนของเส้นตรง AB คือ

$$L(t) = \frac{1}{2}(A+B) + (B-A)^{\perp}t \qquad (4.1)$$

กำหนดให้

$a = B - A$ และ $a^{\perp}$ คือเวกเตอร์ที่ตั้งฉากกับ a

$b = C - B$ และ $b^{\perp}$ คือเวกเตอร์ที่ตั้งฉากกับ b

$c = A - C$ และ $c^{\perp}$ คือเวกเตอร์ที่ตั้งฉากกับ c

ดังนั้นเราจะได้สมการพาราเมตริกของเส้นตรงที่แบ่งครึ่งและตั้งฉากกับเส้นตรง AB คือ

$$P(t) = A + \frac{a}{2} + a^{\perp}t \qquad (4.2)$$

ในทำนองเดียวกันสมการพาราเมตริกของเส้นตรงที่แบ่งครึ่งและตั้งฉากกับเส้นตรง AC

$$P(u) = A - \frac{c}{2} + c^{\perp}u \qquad (4.3)$$

และเนื่องจาก $a + b + c = 0$

จะได้ $a^{\perp}t = \frac{b}{2} + c^{\perp}u$

เพื่อหาค่า t จำเป็นต้องกำจัดค่า u โดยการดอท (Dot product) ทั้งสองข้างของสมการด้วยเวกเตอร์ที่ตั้งฉากกับ $c^{\perp}$ ซึ่งก็คือ c จะได้

$$t = \frac{1}{2}\frac{(b \cdot c)}{(a^{\perp} \cdot c)}$$

เมื่อนำไปแทนค่าจะได้จุดศูนย์กลางของวงกลมเป็น

$$C = A + \frac{1}{2}\left(a + \frac{b \cdot c}{a^{\perp} \cdot c}a^{\perp}\right) \qquad (4.4)$$

เมื่อ C คือจุดศูนย์กลางของวงกลม

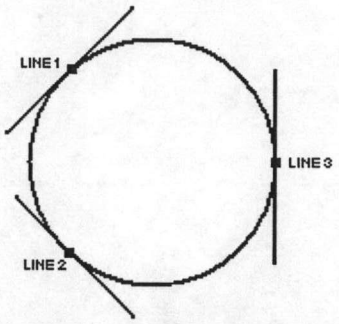
รัศมีของวงกลมคือ $|C - A|$ ดังนั้น

$$r = \frac{|a|}{2}\sqrt{\left(\frac{b \cdot c}{a^{\perp}.c}\right)^2 + 1} \qquad (4.5)$$

เมื่อ r คือรัศมีของวงกลม

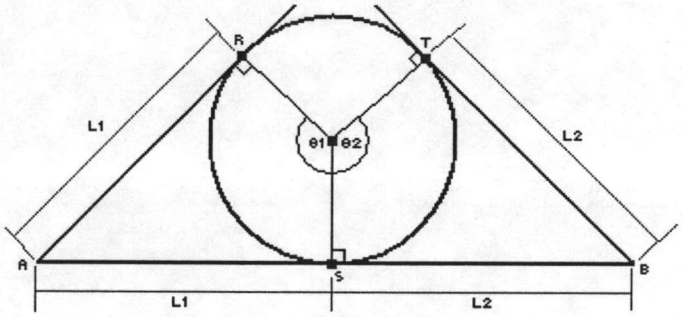
เมื่อได้จุดศูนย์กลางและรัศมีของวงกลมก็จะนำมาสร้างองค์ประกอบทางเรขาคณิตที่เป็นวงกลมด้วยพาราโซลิด แล้วจึงนำไปสร้างเป็นลำตัวเส้นที่เป็นเซกเมนต์ของแบบร่างบนระนาบ

4.7.2.3. การสร้างวงกลมด้วยเส้นตรงที่สัมผัสกับวงกลม 3 เส้น เป็นการสร้างวงกลมโดยผู้ใช้จะกำหนดเส้นตรง 3 เส้นที่สัมผัสกับวงกลม ดังแสดงด้วยรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.18 แสดงการสร้างวงกลมด้วยเส้นตรงที่สัมผัสวงกลม 3 เส้น

เมื่อผู้ใช้กำหนดเส้นตรงครบทั้งสามเส้นแล้วจะนำไปคำนวณหาจุดสัมผัสที่จะเกิดขึ้น เมื่อได้จุดสัมผัสทั้งสามจุดก็สามารถหาจุดศูนย์กลางและรัศมีของวงกลมได้ด้วยวิธีเดียวกันกับการสร้างวงกลมด้วยจุดใด ๆ บนวงกลม 3 จุด ในการหาจุดสัมผัสสามารถหาได้โดย



รูปที่ 4.19 แสดงการคำนวณหาจุดศูนย์กลาง และรัศมีของวงกลมด้วยเส้นสัมผัสวงกลม 3 เส้น

จากรูปที่ 4.18 ในขั้นแรกต้องหาจุดตัดของเส้นตรงที่เลือกเสียก่อน โดยต้องใช้ 2 จุดคือ จุด A กับ B และกำหนดให้ R S และ T เป็นจุดสัมผัสกับวงกลมที่มีรัศมี r จะได้

$$L1 = r\tan\frac{\theta_1}{2} \quad \text{และ} \quad L2 = r\tan\frac{\theta_2}{2}$$

โดย θ_1 และ θ_2 สามารถคำนวณได้เมื่อทราบเวกเตอร์ทิศทางของเส้นตรงทั้งสาม

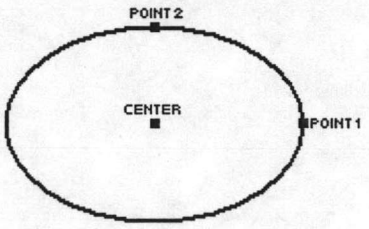
ดังนั้น

$$\frac{L1}{L2} = \frac{\tan\frac{\theta_1}{2}}{\tan\frac{\theta_2}{2}} \qquad (4.6)$$

$$L1 + L2 = |A - B| \qquad (4.7)$$

สามารถคำนวณหา L1 และ L2 ได้จากสมการทั้งสองนี้ และเมื่อหาค่าได้แล้วสามารถหาจุด R S และ T ได้ต่อไป

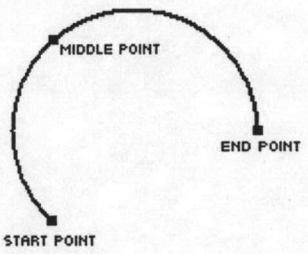
4.7.2.4. การสร้างวงรี จะสร้างโดยกำหนดจุดศูนย์กลางของวงรี จุดที่อยู่บนวงรีที่ปลายของแกนเอก และแกนโทตามลำดับ ดังแสดงด้วยรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.20 แสดงการสร้างวงรี

4.7.3. <u>การสร้างส่วนของวงกลม</u> (Arc) เป็นการสร้างเซกเมนต์ของแบบร่างบนระนาบชนิดลำตัวเส้นที่เกิดจากขอบที่เป็นส่วนโค้งวงกลมจำนวนหนึ่งขอบ ซึ่งขอบนี้มีการนิยามองค์ประกอบทางเรขาคณิตที่เป็นวงกลมอยู่ด้วย ในการสร้างส่วนโค้งของวงกลมในขั้นแรกจะสร้างองค์ประกอบทางเรขาคณิตที่เป็นวงกลม จากนั้นจะกำหนดค่าขอบเขตให้กับองค์ประกอบทางเรขาคณิตที่สร้างขึ้นนี้ แล้วนำมาทำเป็นลำตัวชนิดเส้นต่อไป การสร้างส่วนโค้งของวงกลมด้วยซียู-โซลิดจะสร้างได้ 3 วิธีคือ

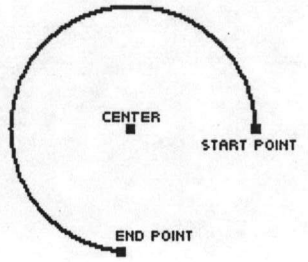
4.7.3.1. จุดเริ่มต้น จุดระหว่างจุดต้นและจุดปลาย จุดปลาย เป็นการสร้างส่วนโค้งของวงกลมโดยผู้ใช้จะกำหนดจุดเริ่มต้น จุดระหว่างจุดต้นกับจุดปลาย และจุดปลายตามลำดับ ดังแสดงด้วยรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.21 แสดงการสร้างส่วนโค้งของวงกลมด้วยจุดบนเส้นรอบวง 3 จุด

4.7.3.2. จุดเริ่มต้น จุดปลาย จุดระหว่างจุดต้นและจุดปลาย เป็นการสร้างส่วนโค้งของวงกลมโดยผู้ใช้จะกำหนดจุดเริ่มต้น จุดปลาย และจุดระหว่างจุดต้นกับจุดปลายตามลำดับ ส่วนโค้งของวงกลมที่ได้จะเหมือนกับ การสร้างส่วนโค้งในหัวข้อ 4.7.3.1

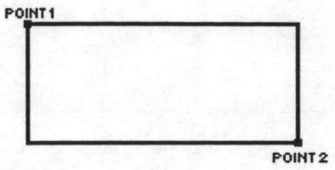
4.7.3.3. จุดเริ่มต้น จุดศูนย์กลาง จุดปลาย เป็นการสร้างส่วนโค้งของวงกลมโดยกำหนดจุดเริ่มต้น จุดศูนย์กลาง และจุดปลายตามลำดับ ดังแสดงด้วยรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.22 แสดงการสร้างส่วนโค้งของวงกลมด้วยจุดเริ่มต้น จุดศูนย์กลาง และจุดปลาย

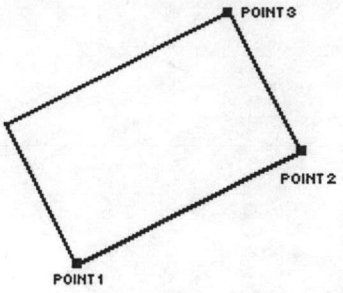
4.7.4. <u>การสร้างสี่เหลี่ยม</u> เป็นการสร้างเซกเมนต์ของแบบร่างบนระนาบชนิดลำตัวเส้นที่เกิดจากขอบที่เป็นเส้นตรงจำนวน 4 ขอบต่อกันเป็นสี่เหลี่ยมที่ต้องการ โดยมีวิธีการสร้าง 3 วิธีคือ

4.7.4.1. สี่เหลี่ยมผืนผ้าด้วยจุด 2 จุด เป็นการสร้างสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความกว้างอยู่ในแนวนอน และความสูงอยู่ในแนวดิ่งโดยกำหนดจุดที่มุมของสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ต้องการสร้าง 2 จุด ซึ่งจะต้องเป็นจุดของมุมที่อยู่ตรงกันข้าม ดังแสดงด้วยรูปที่ 4.22



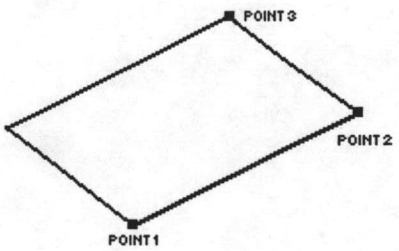
รูปที่ 4.23 แสดงการสร้างสี่เหลี่ยมผืนผ้าด้วยจุด 2 จุด

4.7.4.2. สี่เหลี่ยมผืนผ้าด้วยจุด 3 จุด เป็นการสร้างสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยผู้ใช้จะกำหนดจุดที่มุมของสี่เหลี่ยมผืนผ้า 3 จุด เมื่อได้จุดทั้งสามก็จะนำมาคำนวณหาความยาวและความสูงเพื่อสร้างสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังแสดงด้วยรูปที่ 4.23



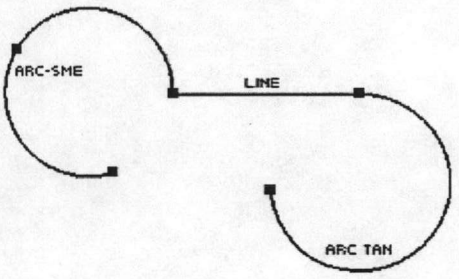
รูปที่ 4.24 แสดงการสร้างสี่เหลี่ยมผืนผ้าด้วยจุด 3 จุด

4.7.4.3. สี่เหลี่ยมด้านขนานด้วยจุด 3 จุด เป็นการสร้างสี่เหลี่ยมด้านขนานโดยผู้ใช้จะกำหนดจุดที่มุมของสี่เหลี่ยมด้านขนาน 3 จุด ดังแสดงด้วยรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.25 แสดงการสร้างสี่เหลี่ยมด้านขนานด้วยจุด 3 จุด

4.7.5. <u>การสร้างเส้นต่อเนื่อง</u> เป็นการสร้างเซกเมนต์ของแบบร่างบนระนาบชนิดเส้นตรง และชนิดส่วนโค้งของวงกลม ต่อเนื่องกันหลาย ๆ อันโดยจุดปลายของเซกเมนต์ที่ถูกสร้างขึ้นจะเป็นจุดเริ่มต้นของเซกเมนต์ที่จะสร้างอันต่อไปดังรูปที่ 4.25 ในการสร้างเซกเมนต์ที่เป็นเส้นตรงจะสร้างด้วยวิธีการกำหนดจุดต้นและจุดปลาย ส่วนเซกเมนต์ที่เป็นส่วนโค้งของวงกลมจะสร้างได้ 2 แบบ แบบแรกจะเป็นการสร้างด้วยจุดเริ่มต้น จุดที่อยู่ระหว่างจุดเริ่มต้นกับจุดปลายและจุดปลาย อีกวิธีหนึ่งเป็นการสร้างส่วนโค้งของวงกลมให้สัมผัสกับเซกเมนต์ที่สร้างก่อนหน้านี้



รูปที่ 4.26 แสดงการสร้างเส้นต่อเนื่องแบบต่าง ๆ

4.8. การออกแบบส่วนฐานข้อมูล

การจัดเก็บและการอ่านข้อมูลจากไฟล์ พาราโซลิดได้สร้างเป็นฟังก์ชันเรียกกลับในตัวต่อประสานฟรัสตรัม โดยจะส่งข้อมูลที่ต้องการจัดเก็บ หรือตัวแปรที่จะรับข้อมูลจากไฟล์มาให้ ผู้สร้างซอฟแวร์จะต้องสร้างฟังก์ชันเพื่อเขียนข้อมูลของแบบจำลอง 3 มิติลงไฟล์ และฟังก์ชันเพื่อเปิดไฟล์และอ่านข้อมูลแบบจำลองจากไฟล์เอง สำหรับซียู-โซลิดจะใช้ฐานข้อมูลพาราโซลิดเอ็กซ์ที แต่จะใช้นามสกุลเป็น “part” ซึ่งมีการนิยามแอททริบิวต์เพิ่มเติมลงไปด้วย ได้แก่

4.8.1. <u>ลำดับของลักษณะจำเพาะที่ใช้สร้างแบบจำลอง</u> จะเก็บ ชื่อ ชนิดของลักษณะจำเพาะที่ใช้สร้างแบบจำลอง และสถานะของลักษณะจำเพาะ ตามลำดับ แอททริบิวต์นี้จะกำหนดติดไปกับลำตัวที่ถูกสร้างลักษณะจำเพาะเหล่านี้

ข้อมูลของลำดับลักษณะจำเพาะที่ใช้สร้างแบบจำลองนี้จะสร้างเป็นแอททริบิวต์ของพาราโซลิด ชื่อ "KRS/TYDA_FEATURELIST" โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดข้อมูลของแอททริบิวต์ KRS/TYDA_FEATURELIST

ชื่อ	KRS/TYDA_FEATURELIST
คลาส	PK_ATTDEF_class_06_c
ชนิดขององค์ประกอบ	PK_CLASS_body
เขตข้อมูล	PK_ATTRIB_field_ustring_c - ชื่อลักษณะจำเพาะ PK_ATTRIB_field_ustring_c - ชื่อชนิดของลักษณะจำเพาะ PK_ATTRIB_field_real_c – สถานะของลักษณะจำเพาะ

4.8.2. ข้อมูลของลักษณะจำเพาะ จะประกอบด้วย ชื่อของลักษณะจำเพาะ ชนิดของลักษณะจำเพาะ และพารามิเตอร์ที่ใช้ตามการนิยามของลักษณะจำเพาะชนิดนั้น ๆ ซึ่งแอททริบิวต์นี้จะกำหนดติดไปกับลำตัวที่ถูกสร้างด้วยลักษณะจำเพาะนี้

4.8.3. การมองเห็น เป็นแอททริบิวต์ที่กำหนดติดไปกับลำตัว ใช้บอกว่าลำตัวนี้มองเห็นหรือไม่ จะกำหนดด้วยเลขจำนวนเต็ม โดยถ้ามีค่าเป็น 1 หมายถึงสามารถมองเห็นได้ แต่ถ้าเป็น 0 หมายถึงลำตัวนี้ถูกซ่อนอยู่ แอททริบิวต์การมองเห็นมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 รายละเอียดข้อมูลของแอททริบิวต์ KRS/TYDA_VISIBLE

ชื่อ	KRS/TYDA_VISIBLE
คลาส	PK_ATTDEF_class_01_c
ชนิดขององค์ประกอบ	All types
เขตข้อมูล	PK_ATTRIB_field_integer_c – สถานะของการมองเห็น

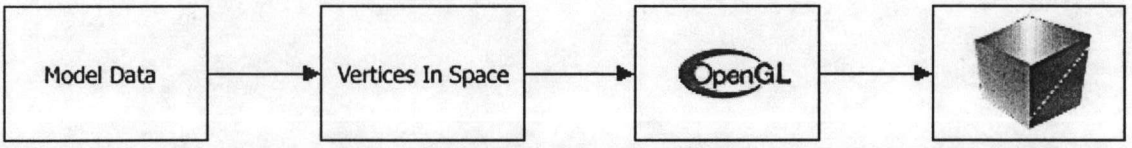
4.8.4. ชนิดของลำตัว เป็นแอททริบิวต์ที่กำหนดติดไปกับลำตัวเพื่อบอกว่าเป็นลำตัวนี้ถูกใช้งานอย่างไรโดยซียู-โซลิด แบ่งเป็น ลำตัวที่เป็นค่าเริ่มต้น ลำตัวของแบบร่างบนระนาบ และลำตัวที่เป็นชิ้นงาน แอททริบิวต์ชนิดของลำตัวมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 รายละเอียดข้อมูลของแอททริบิวต์ KRS/TYDA_ITEMTYPE

ชื่อ	KRS/TYDA_ITEMTYPE
คลาส	PK_ATTDEF_class_01_c
ชนิดขององค์ประกอบ	PK_CLASS_body
เขตข้อมูล	PK_ATTRIB_field_integer_c – ค่าชนิดของลำตัว

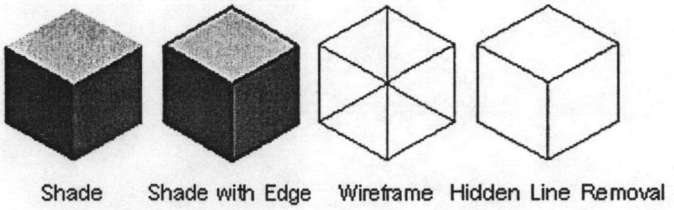
4.9. การออกแบบส่วนแสดงผล 3 มิติ

ในการนำข้อมูลของแบบจำลอง 3 มิติมาแสดงผล พาราโซลิดได้สร้างเป็นฟังก์ชันเรียกกลับในตัวต่อประสานจีโอเพื่อส่งข้อมูลที่จำเป็นในการสร้างภาพ 3 มิติมาให้ ข้อมูลเหล่านี้จะถูกเปลี่ยนให้เป็นข้อมูลของจุดใน 3 มิติเพื่อสร้างเป็นภาพ 3 มิติพื้นฐานชิ้นเล็ก ๆ ที่เป็นองค์ประกอบย่อยของภาพ 3 มิติรวมของแบบจำลอง ซึ่งภาพ 3 มิติพื้นฐานที่ใช้จะเป็นสามเหลี่ยมและ เส้นตรง สำหรับการแสดงผลแบบโซลิดที่มีแสงเงา (Shade) และการแสดงผลแบบเส้น (Wireframe) ตามลำดับ เมื่อต้องการแสดงผลบนจอภาพก็จะนำข้อมูลภาพ 3 มิติพื้นฐานที่ได้มาเรนเดอร์ (Render) ด้วยโอเพนจีเอล (OpenGL)



รูปที่ 4.27 แสดงวิธีการนำข้อมูลแบบจำลองโซลิดไปแสดงผลแบบ 3 มิติ

การแสดงภาพ 3 มิติ ซียู-โซลิดจะแสดงผลได้ 4 แบบคือ การแสดงผลแบบโซลิดที่มีแสงเงา (Shade) การแสดงผลแบบโซลิดที่มีแสงเงาและเส้นขอบ (Shade with Edge) การแสดงผลแบบเส้น (Wireframe) และการแสดงผลแบบเส้นที่ซ่อนเส้นที่ถูกทับ (Wireframe with Hidden Line Removal) ดังแสดงด้วยรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.28 แสดงการแสดงผล 3 มิติแบบต่าง ๆ

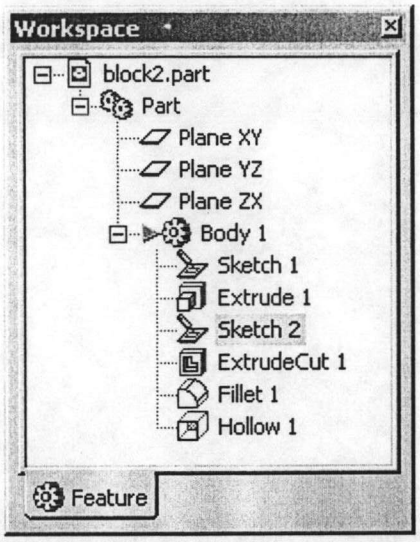
สำหรับมุมมองของภาพ 3 มิตินั้นจะถูกกำหนดด้วยทรานสฟอร์มเมชันเมตริก (Transformation Matrix) ของระบบแกนอ้างอิงของมุมมองเทียบกับระบบแกนอ้างอิงของแบบจำลอง 3 มิติ และออโทรโกนัลโปรเจกชันเมตริก (Orthogonal Projection Matrix) ที่ใช้ควบคุมการสร้างภาพฉายของแบบจำลองที่เป็น 3 มิติลงบนระนาบของจอภาพ ดังนั้นการควบคุมมุมมองจึงเป็นการเปลี่ยนทรานสฟอร์มเมชันเมตริก และออโทรโกนัลโปรเจกชันเมตริกของมุมมองในขณะนั้นเพื่อให้ได้ผลลัพธ์เป็นมุมมองใหม่ที่ต้องการ ซียู-โซลิดมีคำสั่งสำหรับควบคุมมุมมอง คือ การเลื่อนตำแหน่งในแนวเส้นตรง (Pan or Translate) การหมุนรอบแกน (Rotate) และการซูม (Zoom)

4.10. การออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้

ส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ผู้ใช้เรียกเพื่อติดต่อกับซอฟแวร์ซียู-โซลิด โดยแบ่งออกเป็น

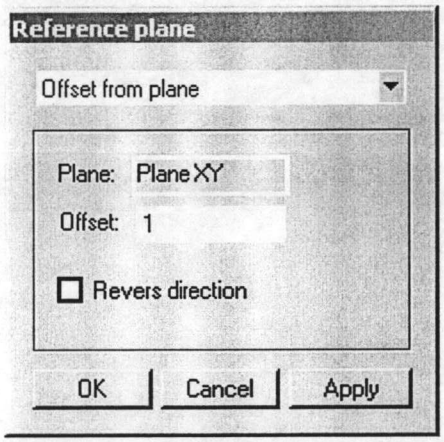
4.10.1. <u>การเรียกคำสั่งเพื่อใช้งาน</u> ส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ผู้ใช้ติดต่อเพื่อสั่งงานซียู-โซลิด เช่น สั่งให้ซียู-โซลิดสร้างแบบจำลองด้วยลักษณะจำเพาะชนิดต่าง ๆ การสั่งเรียกคำสั่งเปลี่ยนมุมมอง หรือการเรียกคำสั่งเพื่อให้คำนวณหาคุณสมบัติของแบบจำลองโซลิดเป็นต้น โดยจะออกแบบให้ผู้ใช้เรียกคำสั่งจากแถบเครื่องมือ และจากเมนูของซียู-โซลิดเป็นหลัก

4.10.2. <u>การจัดการลักษณะจำเพาะที่สร้างขึ้น</u> ในรูปที่ 4.28 แสดงทรีของลักษณะจำเพาะ (Feature Tree) ซึ่งส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ผู้ใช้จัดการกับลักษณะจำเพาะที่สร้างขึ้น โดยสามารถจัดลำดับและความสัมพันธ์ของลักษณะจำเพาะที่สร้างขึ้น กับลำตัวของแบบจำลองโซลิด ทรีของลักษณะจำเพาะนี้จะรองรับการลากและปล่อย (Drag and Drop) เพื่อใช้เปลี่ยนลำดับการทำงานของลักษณะจำเพาะด้วย



รูปที่ 4.29 แสดงทรีของลักษณะจำเพาะ

4.10.3. <u>การกำหนดพารามิเตอร์ของลักษณะจำเพาะ</u> จะสร้างเป็นกรอบโต้ตอบดังรูปที่ 4.29 เพื่อให้ผู้ใช้กรอกข้อมูลของพารามิเตอร์ที่ต้องการ และในกรณีที่พารามิเตอร์เป็นองค์ประกอบที่ผู้ใช้จะต้องเลือกจากแบบภาพแบบจำลองโซลิด เมื่อผู้ใช้เลือกองค์ประกอบแล้วก็จะแสดงชื่อขององค์ประกอบที่ถูกเลือกด้วย



รูปที่ 4.30 แสดงตัวอย่างกรอบโต้ตอบเพื่อรับพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองโซลิด

4.10.4. <u>การควบคุมมุมมอง</u> เมื่อผู้ใช้เรียกคำสั่งการปรับเปลี่ยนมุมมองด้วยวิธีต่าง ๆ ในการเปลี่ยนมุมมอง จะออกแบบให้ใช้เมาส์เป็นตัวเปลี่ยนมุมมอง ถ้าต้องการเปลี่ยนมุมมองด้วยการหมุนก็จะลากเมาส์ในทิศที่ตั้งฉากกับแกนหมุน ถ้าต้องการเปลี่ยนมุมมองด้วยการเปลี่ยนตำแหน่งเชิงเส้น ก็จะลากแบบจำลองด้วยเมาส์ไปยังตำแหน่งใหม่ของที่ต้องการ (มุมมอง

จะเคลื่อนที่ไปในทิศตรงข้ามกับเมาส์) และถ้าต้องการซูมก็จะลากเมาส์ขึ้นลงเพื่อซูมเข้า และซูมออกตามลำดับ

4.10.5. การเปลี่ยนค่าตัวเลือก (Options) จะมีส่วนการติดต่อกับผู้ใช้คล้ายกับการกำหนดพารามิเตอร์ของลักษณะจำเพาะคือ เป็นกรอบโต้ตอบเพื่อให้ผู้ใช้เลือกค่าที่ต้องการ