บทที่ 3

ความรู้พื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

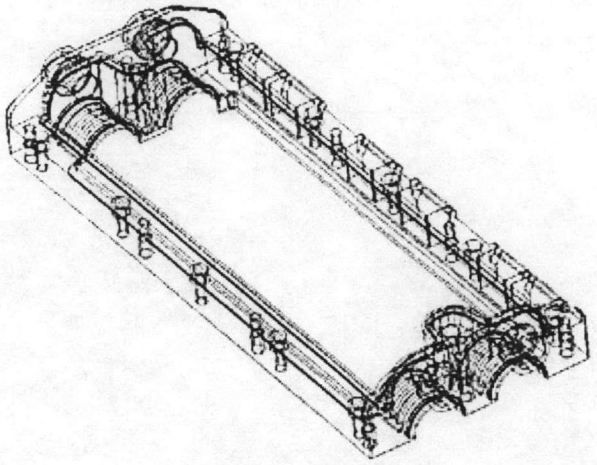
3.1. เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ

คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ (Queensland Manufacturing Institute Ltd [QMI], 2001) คือ คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ ชนิด 2 มิติ และ 3 มิติ

3.1.1. <u>คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบชนิด 2 มิติ</u> โดยทั่วไปจะคล้ายกับการออกแบบบนกระดาษ แฟ้มข้อมูลที่ได้จะเป็นภาพวาดของชิ้นงานในมุมมองต่างๆ กันบนระนาบ 2 มิติ ด้วยระบบการออกแบบนี้จึงไม่สามารถตรวจสอบความพอดีในการประกอบชิ้นงานที่เป็น 3 มิติ และไม่สามารถหาคุณสมบัติหลายประการของชิ้นงานได้ เช่น ปริมาตร พื้นผิว จุดศูนย์กลางมวล นอกจากนี้บ่อยครั้งที่ภาพวาดชิ้นงานใน 2 มิติมีความกำกวม ทำให้การตีความของภาพผิดเพี้ยน และเป็นสาเหตุให้เกิดความผิดพลาดในกระบวนการผลิตต่อไป แต่อย่างไรก็ดีคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบชนิด 2 มิติยังมีข้อดีอยู่หลายประการ เช่น การแก้ไขและการทำสำเนา ทำได้ง่ายการวาดภาพด้วยมือ สำหรับผู้ที่ใช้ได้คล่องจะสามารถวาดชิ้นงานได้เร็วขึ้น และข้อมูลของแบบจำลองสามารถส่งต่อไปยังซอฟแวร์คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต เพื่อสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่ของมีดกัดใน 2 มิติได้

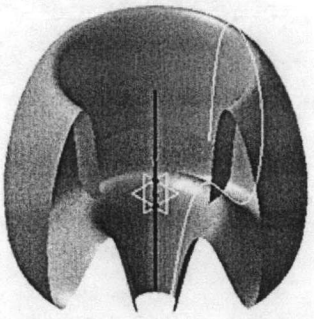
3.1.2. <u>คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบชนิด 3 มิติ</u> บางครั้งอาจเรียกว่าการสร้างแบบจำลองเชิงเรขาคณิต ซึ่งสามารถแบ่งย่อยออกได้เป็น 3 ชนิดด้วยกัน คือ

3.1.2.1. แบบจำลองโครงลวด (Wireframe Model) เป็นการนำเสนอแบบจำลองชิ้นงานด้วยเส้นใน 3 มิติหลายเส้นที่เชื่อมโยงกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.1 แบบจำลองโครงลวดจะให้ข้อมูลที่เป็นขอบ มุม และพื้นผิวที่ไม่ต่อเนื่อง ได้แม่นยำ แต่แบบจำลองที่ได้ยังคงมีความกำกวม เพราะในแต่ละมุมมองไม่สามารถเปรียบเทียบความลึกตื้นของเส้นได้ แบบจำลองโครงลวดนี้จัดเป็นการสร้างแบบจำลองเชิงเรขาคณิตที่ง่ายที่สุด และเป็นจุดเริ่มของคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบชนิด 3 มิติ



รูปที่ 3.1 แสดงแบบจำลองโครงลวด

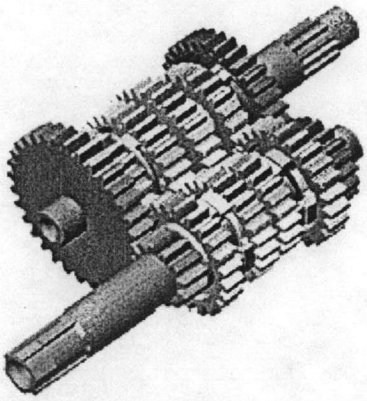
3.1.2.2. แบบจำลองรูปผิว (Surface Model) แบบจำลองชนิดนี้ได้พัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาเรื่องความกำกวมของภาพที่ได้จากแบบจำลองโครงลวด มีการแบ่งให้เห็นส่วนที่อยู่ภายนอกแบบจำลองได้อย่างชัดเจนด้วยพื้นผิวชนิดต่าง ๆ ที่ต่อกับส่วนของเส้นที่เป็นขอบของแบบจำลอง แบบจำลองรูปผิวนี้มีความคล้ายกับแบบจำลองโซลิดมาก แต่เป็นการนำเสนอเฉพาะส่วนที่เป็นผิวของแบบจำลองเท่านั้น ภายในส่วนที่เป็นเนื้อของแบบจำลองยังคงกลวงอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 แบบจำลองรูปผิวมีการใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานที่ให้ความสำคัญกับขอบเขตของแบบจำลอง เช่น งานสร้างโปรแกรมสำหรับการควบคุมเชิงตัวเลข เป็นต้น



รูปที่ 3.2 แสดงแบบจำลองรูปผิว

3.1.2.3. แบบจำลองโซลิด (Solid Model) คล้ายกับแบบจำลองรูปผิว แต่นอกเหนือไปจากการนำเสนอผิวนอกของแบบจำลองแล้ว แบบจำลองโซลิดยังสามารถนิยามคุณสมบัติต่างๆ ของแบบจำลองได้ เช่น ปริมาตร การตรวจสอบการซ้อนทับ และคุณสมบัติของ

วัสดุที่ใช้ทำแบบจำลอง จึงมีการสร้างระบบเสริมเพื่อนำแบบจำลองโซลิดไปใช้ในงานด้านอื่น ๆ อย่างกว้างขวาง จนกลายเป็นจุดแข็งจุดหนึ่งของแบบจำลองโซลิด

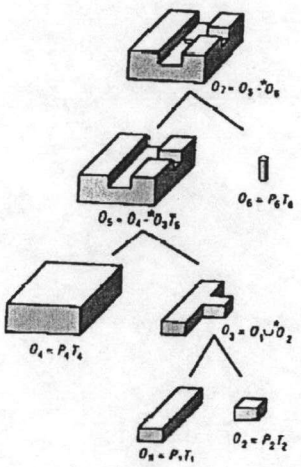


รูปที่ 3.3 แสดงแบบจำลองโซลิด

3.2. รูปแบบการนำเสนอแบบจำลองโซลิด

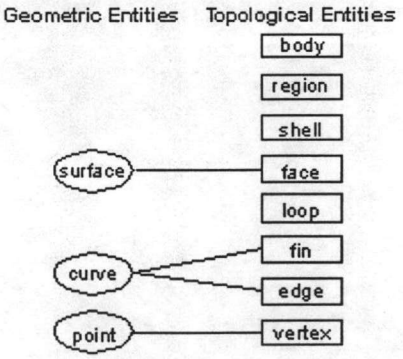
เนื่องจากแบบจำลองโซลิดสามารถนิยามคุณสมบัติต่าง ๆ ลงไปในแบบจำลองได้ ทำให้เป็นที่นิยมในการใช้งาน ดังนั้นจึงมีการพัฒนารูปแบบการนำเสนอ และวิธีการขึ้นรูปของแบบจำลองโซลิตอย่างต่อเนื่อง รูปแบบการนำเสนอแบบจำลองโซลิดสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีใหญ่ๆ คือ การนำเสนอด้วยแบบจำลองซีเอสจี (CSG: Constructive Solid Geometry) และการนำเสนอด้วยแบบจำลองบี-เรพ (B-rep: Boundary representation)

3.2.1. <u>แบบจำลองซีเอสจี</u> เป็นการนำเสนอแบบจำลองโซลิดด้วยลำดับการกระทำบูลลีนระหว่างแบบจำลองโซลิตพื้นฐานดังรูปที่ 3.4 ลักษณะของฐานข้อมูลจะเก็บเฉพาะรูปโซลิดพื้นฐาน และตัวกระทำบูลลีนเท่านั้น ฐานข้อมูลจึงมีขนาดเล็ก แต่เมื่อต้องการทราบข้อมูลส่วนย่อยของแบบจำลองโซลิด เช่น ขอบ และผิว จะต้องทำการคำนวณหาอีกทีหนึ่ง บางครั้งทำได้ค่อนข้างยาก จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในงานที่มีความซับซ้อนมาก ๆ



รูปที่ 3.4 แสดงแบบจำลองซีเอสจี

3.2.2. <u>แบบจำลองบี-เรพ</u> เป็นการนำเสนอแบบจำลองโซลิดด้วยความสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางโทโปโลยี (Topological Entity) ของแบบจำลองโซลิด ประกอบกับองค์ประกอบทางเรขาคณิต (Geometric Entity) ที่นิยามบนองค์ประกอบทางโทโปโลยีนั้น ๆ ดังแสดงด้วยรูปที่ 3.5 ลักษณะของฐานข้อมูลที่ได้สามารถเข้าถึงข้อมูลส่วนย่อยของแบบจำลองโซลิดได้ง่าย และรวดเร็วกว่า ความถูกต้องแม่นยำมากกว่าแบบจำลองซีเอสจี ปัจจุบันนิยมใช้รูปแบบการนำเสนอของมูลแบบนี้ รายละเอียดขององค์ประกอบทางโทโปโลยี และองค์ประกอบทางเรขาคณิตจะอธิบายในหัวข้อที่ 3.4 และ 3.5 ตามลำดับ



รูปที่ 3.5 แสดงแผนผังองค์ประกอบทางโทโปโลยี และเรขาคณิตของแบบจำลอง บี-เรพ

3.2.3. <u>แบบจำลองไฮบริด</u> (Hybrid) เป็นการนำเสนอแบบจำลองที่ผสมผสานกันระหว่างแบบจำลองซีเอสจี และแบบจำลองบี-เรพ คือการนำตัวกระทำบูลลีนมาใช้ร่วมกับแบบจำลองบี-เรพ แบบจำลองไฮบริดสามารถเข้าถึงองค์ประกอบย่อยของแบบจำลองได้ง่าย เพราะการเก็บข้อมูลของแบบจำลองนั้นเหมือนกับแบบจำลองบี-เรพ

3.3. เทคโนโลยีพาราเมตริกในงานคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ

พาราเมตริก (Parametric) เป็นเทคโนโลยีที่นิยามการสร้างแบบจำลองด้วยพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับวิธีการสร้าง หรือรูปทรงของแบบจำลอง นิยมใช้ร่วมกับสมการพาราเมตริก (Parametric equation) เพราะสามารถกำหนดพารามิเตอร์ในการสร้าง และแก้ไขแบบจำลองได้โดยการกำหนดหรือปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ของสมการพาราเมตริกที่เกี่ยวข้อง และเพื่อให้ผู้ใช้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์กับแบบจำลองโซลิดได้ง่ายขึ้น จึงมีการพัฒนาวิธีการกำหนดพารามิเตอร์ในการสร้างแบบจำลองโซลิดขึ้นใหม่ เรียกว่า พาราเมตริกชนิดอ้างอิงกับลักษณะจำเพาะ (Parametric Feature-Based Solid Modeling) เป็นการนำเทคโนโลยีพาราเมตริกมาประยุกต์ใช้ร่วมกับการกำหนดลักษณะจำเพาะ การกำหนดลักษณะจำเพาะสามารถกำหนดได้หลายรูปแบบ ซึ่งแวนลิวเวน แวกเตอร์ และออกซ์แมน (van Leeuwen, Wagter and Oxman, 1995) ได้จำแนกลักษณะจำเพาะที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง 3 มิติออกเป็นประเภทต่าง ๆ ได้ดังนี้

3.3.1. ลักษณะจำเพาะทางรูปทรง (Form Feature) เป็นการกำหนดลักษณะจำเพาะจากความสัมพันธ์กับรูปทรงทางเรขาคณิตของแบบจำลอง

3.3.2. ลักษณะจำเพาะทางความแม่นยำ (Precision Feature) เป็นการกำหนดลักษณะจำเพาะที่เกี่ยวข้องกับขนาดที่ยอมรับได้ของรูปทรงของแบบจำลอง

3.3.3. ลักษณะจำเพาะทางเทคโนโลยี (Technology Feature) เป็นการกำหนดลักษณะจำเพาะที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพและกระบวนการสร้าง

3.3.4. ลักษณะจำเพาะทางวัสดุ (Material Feature) เป็นการกำหนดลักษณะจำเพาะที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทางวัสดุ ของแบบจำลอง เช่น ความหนาแน่น การสะท้อนแสง เป็นต้น

3.3.5. ลักษณะจำเพาะทางการประกอบชิ้นงาน (Assembly Feature) จะเป็นการกำหนดลักษณะจำเพาะที่เกี่ยวข้องกับการประกอบชิ้นงานเข้าด้วยกัน เช่น การวางตัวของชิ้นงาน ลำดับการประกอบ เป็นต้น

3.3.6. ลักษณะจำเพาะทางแบบแผน (Pattern Feature) เป็นการกำหนดลักษณะจำเพาะที่เกี่ยวข้องกับแบบแผนของรูปทรงที่คล้ายกัน

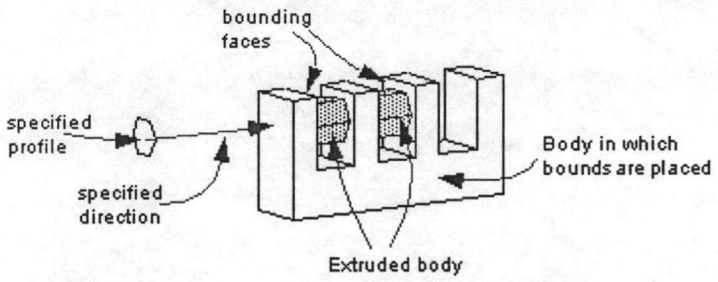
3.3.7. ลักษณะจำเพาะทางการเชื่อมต่อ (Connection Feature) เป็นการกำหนดลักษณะจำเพาะที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์บังคับ (Constraint) ระหว่างแบบจำลอง

3.3.8. ลักษณะจำเพาะทางคุณสมบัติของแบบจำลอง (Property Feature) เป็นการกำหนดลักษณะจำเพาะที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ไม่ใช่คุณสมบัติทางเรขาคณิต

3.3.9. ลักษณะจำเพาะทางแอพลิเคชัน (Application Feature) เป็นการกำหนดลักษณะจำเพาะที่เกี่ยวข้องกับความต้องการในการวางแผนสำหรับกระบวนการผลิต

3.4. ลักษณะจำเพาะที่กำหนดขึ้นเพื่อใช้สร้างแบบจำลองโซลิดในซอฟแวร์คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ ที่นิยมในปัจจุบัน

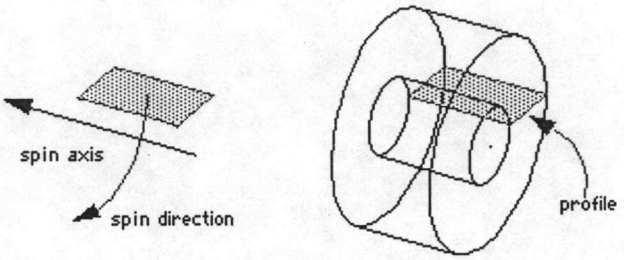
3.4.1. การยืดตามแนวเส้นตรง (Extrusion) เป็นการยืดหรือเพิ่มความหนาให้กับแบบร่างที่จำทำการยืด ไปตามทิศที่กำหนด วิธีการยืดตามแนวเส้นตรงนี้มีตัวแปรที่สำคัญคือ แบบร่างที่จะทำการยืดตามแนวเส้นตรง ขอบเขตเริ่มต้นของการยืด และขอบเขตสุดท้ายของการยืด ซึ่งขอบเขตของการยืดอาจกำหนดจากระยะความสูง หรืออ้างอิงกับองค์ประกอบอื่น ๆ ก็ได้ แบบร่างที่นำมาใช้มีได้หลายชนิดผลที่จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของแบบร่างที่นำมาทำการยืด โดยถ้าแบบร่างเป็นลำตัวจุด ผลที่ได้จะเป็นลำตัวเส้น ถ้าแบบร่างเป็นลำตัวเส้น ผลที่ได้จะเป็นลำตัวแผ่น และถ้าแบบร่างเป็นลำตัวแผ่นผลที่ได้ก็จะเป็นลำตัวโซลิด



รูปที่ 3.6 แสดงการยืดตามแนวเส้นตรง

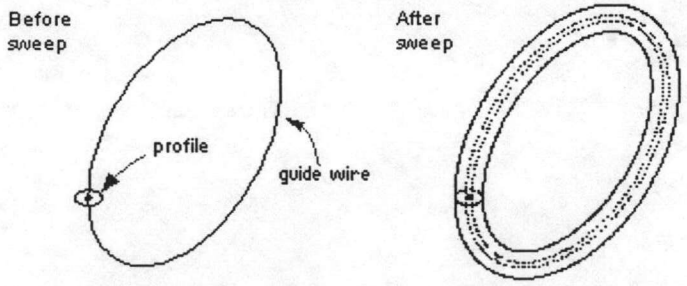
3.4.2. การกวาดเชิงมุม (Revolution) เป็นการยืดหรือกวาดแบบร่างที่จะทำการกวาดเชิงมุมรอบแกนหมุน วิธีการกวาดเชิงมุมนี้มีตัวแปรที่สำคัญคือ แบบร่างที่จะทำการกวาดเชิงมุม แกนหมุน และขอบเขตของการหมุน ซึ่งจะกำหนดด้วยมุมการกวาดดังแสดงด้วยรูปที่ 3.7 ผลที่ได้จากการกวาดเชิงมุมจะขึ้นกับชนิดของแบบร่างที่นำมาทำการกวาดเชิงมุม คือถ้าแบบร่าง

เป็นลำตัวจุด ผลที่ได้จะเป็นลำตัวเส้น ถ้าแบบร่างเป็นลำตัวเส้น ผลที่ได้จะเป็นลำตัวแผ่น และถ้าแบบร่างเป็นลำตัวแผ่นผลที่ได้ก็จะเป็นลำตัวโซลิด



รูปที่ 3.7 แสดงการกวาดเชิงมุม

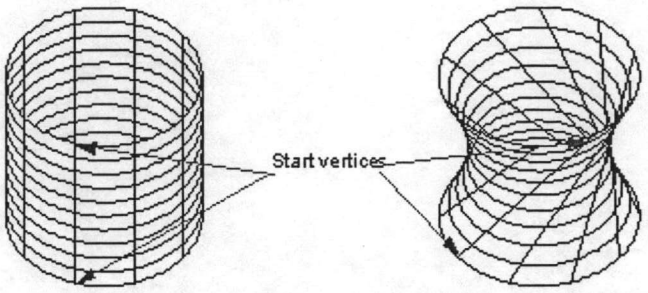
3.4.3. <u>การยืดตามเส้นนำ</u> (Sweep along guide) คล้ายกับการยืดตามแนวเส้นตรง แต่จะเป็นการยืด หรือเพิ่มความหนาของแบบร่างที่จะยืดไปตามแนวของเส้นนำ (Guide wire) โดยจะเริ่มต้นจากปลายข้างหนึ่งไปยังปลายอีกด้านหนึ่งของเส้นนำ ในกรณีที่เส้นนำมีลักษณะเป็นวงแหวน การยืดก็จะทำจนครบเป็นวงเช่นกัน ดังแสดงด้วยรูปที่ 3.8 ผลที่ได้จากการยืดตามเส้นนำจะขึ้นกับชนิดของแบบร่างที่นำมาทำการยืดตามเส้นนำ คือถ้าแบบร่างเป็นลำตัวจุด ผลที่ได้จะเป็นลำตัวเส้น ถ้าแบบร่างเป็นลำตัวเส้น ผลที่ได้จะเป็นลำตัวแผ่น และถ้าแบบร่างเป็นลำตัวแผ่นผลที่ได้ก็จะเป็นลำตัวโซลิด



รูปที่ 3.8 แสดงการยืดตามเส้นนำ

3.4.4. <u>การสร้างแบบจำลองด้วยวิธีลอฟท์</u> (Loft) เป็นการขึ้นรูปจากแบบร่างของหน้าตัดของแบบจำลองบนระนาบที่ตัดผ่านต่างๆ กัน โดยหน้าตัดแต่ละอันต้องมีการกำหนดจุดอ้างอิงระหว่างกันด้วย เพื่อบอกถึงการบิดตัวของแบบจำลอง นอกจากนี้อาจมีการกำหนดเส้นบังคับหน้าตัดระหว่างหน้าตัดด้วยกันเพื่อบังคับผิวนอกของแบบจำลองที่ได้ในส่วนที่เป็นช่องว่าง

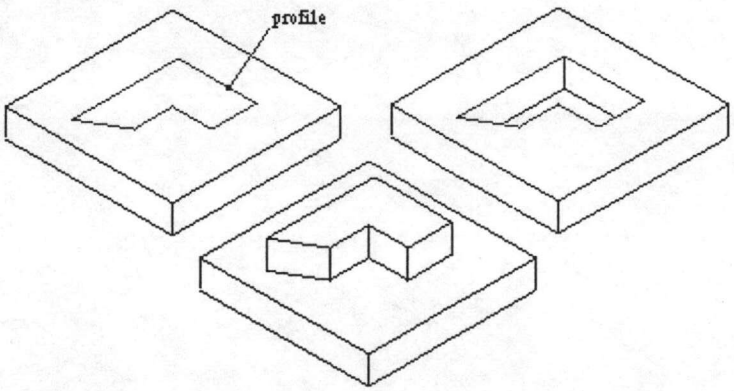
ระหว่างหน้าตัด แบบร่างที่นำมาเป็นหน้าตัดจะต้องเป็นลำตัวเส้น หรือลำตัวแผ่นเท่านั้น โดยผลที่ได้จะเป็นลำตัวแผ่น และลำตัวโซลิดตามลำดับ



รูปที่ 3.9 แสดงการลอฟท์

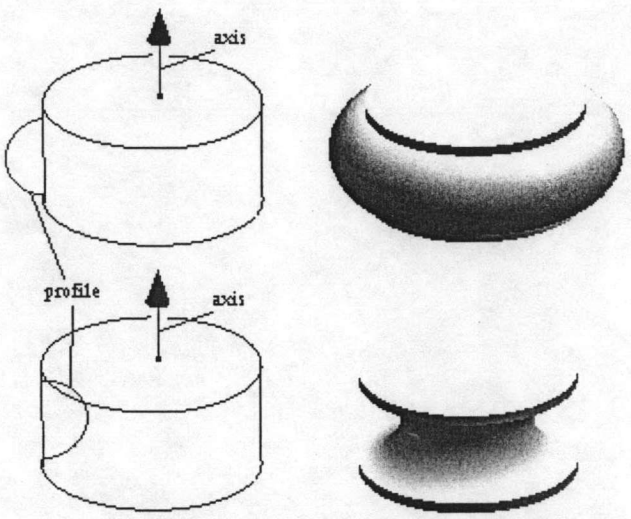
จากลักษณะจำเพาะข้างต้นได้มีการนำตัวกระทำบูลลีนมาประยุกต์ใช้ร่วมด้วย โดยการสร้างแบบจำลองโซลิดด้วยลักษณะจำเพาะข้างต้นและแล้วนำแบบจำลองที่ได้มากระทำบูลลีน กลายเป็น

การพอกและการตัดด้วยการยืดตามแนวเส้นตรง เป็นการนำแบบจำลองที่ได้จากการยืดตามแนวเส้นตรงมากระทำบูลลีนแบบรวม และแบบลบกับแบบจำลองที่มีอยู่เดิมตามลำดับ ดังแสดงด้วยรูปที่ 3.10



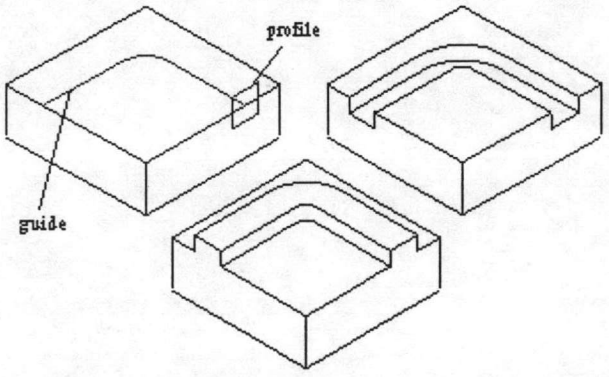
รูปที่ 3.10 แสดงการพอก และการตัดด้วยการยืดตามแนวเส้นตรง

การพอกและการตัดด้วยการกวาดเชิงมุม เป็นการนำแบบจำลองที่ได้จากการกวาดเชิงมุมมากระทำบูลลีนแบบรวม และแบบลบกับแบบจำลองที่มีอยู่เดิมตามลำดับ ดังแสดงด้วยรูปที่ 3.11



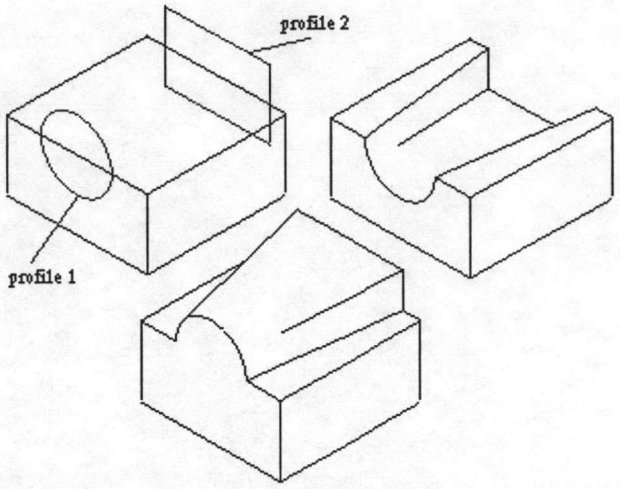
รูปที่ 3.11 แสดงการพอกและการตัดด้วยการกวาดเชิงมุม

การพอกและการตัดด้วยการยืดตามเส้นนำ เป็นการนำแบบจำลองที่ได้จากการยืดตามเส้นนำมากระทำบูลลีนแบบรวม และแบบลบกับแบบจำลองที่มีอยู่เดิมตามลำดับ ดังแสดงด้วยรูปที่ 3.12



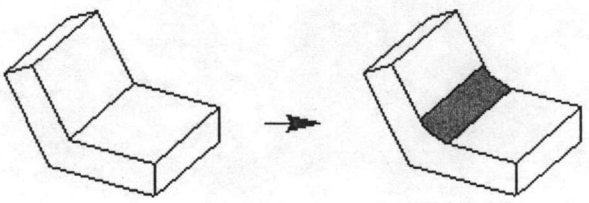
รูปที่ 3.12 แสดงการพอกและการตัดด้วยการยืดตามเส้นนำ

การพอกและการตัดด้วยลอฟท์ เป็นการนำแบบจำลองที่สร้างโดยการกำหนดหน้าตัดที่ตำแหน่งต่างๆ มากระทำบูลลีนแบบรวม และแบบลบกับแบบจำลองที่มีอยู่เดิมตามลำดับ ดังแสดงด้วยรูปที่ 3.13

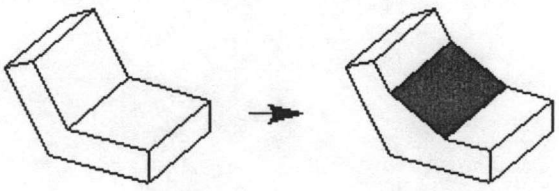


รูปที่ 3.13 แสดงการพอกและการตัดด้วยลอฟท์

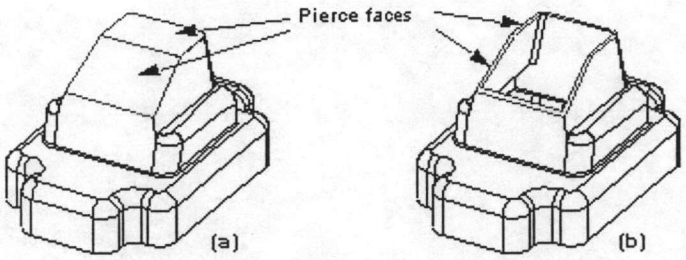
นอกจากลักษณะจำเพาะที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นแล้ว ซอฟแวร์บางยี่ห้อได้กำหนดลักษณะจำเพาะขึ้นมาเพื่อช่วยให้สร้างแบบจำลองได้ง่ายขึ้น เช่น การเจาะรู (Hole) การทำฟิลเลต (Fillet) การทำแชมเฟอร์ (Chamfer) การทำโซลิดกลวง (Hollow) เป็นต้น



รูปที่ 3.14 แสดงการทำฟิลเลต



รูปที่ 3.15 แสดงการทำแชมเฟอร์



รูปที่ 3.16 แสดงการทำโซลิดกลวง

3.5. องค์ประกอบทางโทโปลียี

สร้างขึ้นเพื่อแบ่งส่วนประกอบย่อยของแบบจำลองโซลิดที่มีความเหมือนกันทางด้านองค์ประกอบของรูปร่าง โดยไม่คำนึงถึงคุณสมบัติทางเรขาคณิต หรืออาจเรียกว่ามีความสมมูลทางโทโปโลยี (Topology equivalent) สำหรับแบบจำลองบี-เรพสามารถแบ่งข้อมูลทางโทโปโลยีออกเป็นกลุ่มต่าง ๆ ดังนี้คือ (Parasolid Technical Support Group, Electronic book, 2001a: 49-57)

3.5.1. ลำตัว (Body) เป็นส่วนสำคัญของการสร้างแบบจำลอง ซึ่งจะประกอบไปด้วยองค์ประกอบย่อยทางโทโปโลยีตั้งแต่หนึ่งอันขึ้นไป ลำตัวสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ ลำตัวเมนนิโฟลด์ (Manifold Body) และ ลำตัวเจเนอรัล (General Body)

3.5.1.1. ลำตัวเมนนิโฟลด์ (Manifold Body) เป็นลำตัวที่มีอยู่ในความเป็นจริง ซึ่งแบ่งย่อยออกเป็นสี่ชนิดตามความซับซ้อนขององค์ประกอบย่อยทางโทโปโลยีของลำตัว ได้แก่ ลำตัวจุด (Acorn Body) ลำตัวเส้น (Wire Body) ลำตัวแผ่น (Sheet Body) และลำตัวโซลิด (Solid Body) ลำตัวจุดเป็นลำตัวที่มีความซับซ้อนน้อยที่สุดประกอบด้วยกลุ่มของจุดยอด ถ้ามีจุดยอดเพียงจุดเดียวจะเรียกว่าเป็นลำตัวมินิมัม (Minimum Body) ลำตัวจุดนี้ถือว่าเป็นลำตัวที่มีมิติเป็นศูนย์ ลำตัวเส้นเป็นลำตัวที่เกิดจากการต่อกันของขอบตั้งแต่หนึ่งขอบขึ้นไป โดยจุดยอดที่ในลำตัวชนิดเส้นจะมีขอบมาต่อกันไม่เกิน 2 ขอบ ลำตัวแผ่นเป็นลำตัวที่เกิดจากการต่อกันของขอบและหน้า เป็นลำตัวที่ไม่มีความหนา และลำตัวโซลิดเป็นลำตัวที่มี 3 มิติ และมีปริมาตรที่แน่นอน

3.5.1.2. ลำตัวเจเนอรัล (General Body) เป็นลำตัวที่มีองค์ประกอบย่อยทางโทโปโลยีทั่วๆ ไปรวมกัน โดยอาจจะต่อกันหรือไม่ก็ได้ หรืออาจเป็นการรวมกันของโทโปโลยีที่มีมิติต่างๆ กันรวมกัน แบ่งเป็น ลำตัวชนิดเซลลูลาร์ (Cellular body) ลำตัวที่เกิดจากการรวมกันขององค์ประกอบที่มีมิติต่างกัน และลำตัวที่ไม่ใช่ลำตัวเมนนิโฟลด์

3.5.2. บริเวณ (Region) เป็นส่วนที่มีความต่อเนื่องกันใน 3 มิติ ซึ่งขอบเขตของบริเวณจะประกอบไปด้วยกลุ่มของจุดยอด ขอบ และหน้าที่ถูกกำหนดทิศที่แน่นอน บริเวณแบ่งเป็นส่วนที่เป็นเนื้อโซลิด และส่วนที่เป็นบริเวณว่าง

3.5.3. เปลือก (Shell) เป็นกลุ่มของหน้าที่ต่อเนื่องกัน และมีการกำหนดทิศของหน้าแต่ละหน้าที่แน่นอน เปลือกแต่ละเปลือกในบริเวณเดียวกันจะต้องไม่ซ้อนทับกัน และต้องไม่มีการใช้หน้าร่วมกัน

3.5.4. หน้า (Face) เป็นส่วนที่เกิดจากการกำหนดขอบเขตให้กับพื้นผิว (Surface) ซึ่งของเขตนี้จะเป็นกลุ่มของวงตั้งแต่ศูนย์วงขึ้นไป ถ้าหน้านั้นไม่มีวง หมายความว่าเป็นหน้าของทรงกลมเต็ม หน้าอาจเปรียบเสมือนว่าเป็นบริเวณใน 2 มิติ

3.5.5. วง (Loop) เกิดจากการต่อกันของส่วนที่เป็นขอบเขตของหน้า คล้ายกับวงว่าเป็นเปลือกใน 2 มิติ วงจะประกอบไปด้วยกลุ่มของจุดยอด และลำดับขอบครีบที่ต่อกันเป็นวงแหวนซึ่งจะแสดงถึงการต่อกันของขอบที่ครีบนั้นอ้างอิงถึงกับขอบอื่นๆ ด้วยจุดยอดในวงนั้นๆ ทิศของวงพิจารณาได้จาก เมื่อมองจากด้านบนของหน้าที่วงอ้างอิงถึงทิศของวงจะทำให้เกิดหน้าอยู่ทางซ้ายมือ

3.5.6. ครีบ (Fin) หมายถึงทิศทางของขอบที่กำหนดโดยวง ซึ่งจะกำหนดว่ามีทิศตามหรือสวนทางกับทิศของขอบ

3.5.7. ขอบ (Edge) เป็นส่วนประกอบที่เกิดจากการกำหนดขอบเขตให้กับเส้นที่อยู่ใน 3 มิติ ซึ่งขอบเขตนี้จะเป็นกลุ่มของจุดยอดตั้งแต่ 0 ถึง 2 จุดยอด ขอบจะเปรียบเสมือนว่าเป็นบริเวณที่มี 1 มิติ โดยปกติขอบจะประกอบไปด้วยจุดเริ่มต้น และจุดปลาย ซึ่งอาจจะมีหรือไม่ก็ได้ ถ้ามีทิศทางของขอบจะมีทิศจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดปลาย

3.5.8. จุดยอด (Vertex) เป็นการนำเสนอจุดเพียงหนึ่งจุดใน 3 มิติ โดยจุดยอดจะคล้ายกับว่าเป็นบริเวณที่มีมิติเป็นศูนย์

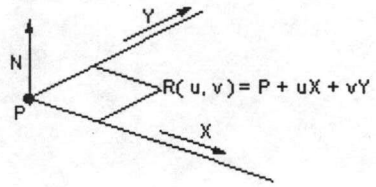
องค์ประกอบทางโทโปโลยีโดยปกติจะมีการนิยามองค์ประกอบทางเรขาคณิตติดอยู่ด้วยเพื่อกำหนดรูปทรงที่แน่นอนให้กับองค์ประกอบทางโทโปโลยีนั้น แต่องค์ประกอบทางโทโปโลยีบางตัวอาจไม่มีการนิยามองค์ประกอบทางเรขาคณิตก็ได้เรียกว่าองค์ประกอบทางโทโปโลยีที่เป็นรับเบอร์ (Rubber) ซึ่งสามารถนิยามองค์ประกอบทางเรขาคณิตได้ในภายหลัง

3.6. องค์ประกอบทางเรขาคณิต

เป็นองค์ประกอบที่ใช้นิยามความสัมพันธ์เชิงเรขาคณิตภายในแบบจำลอง โดยจะอ้างอิงกับสมการทางเรขาคณิต การนิยามองค์ประกอบทางเรขาคณิตนี้จะนิยามติดไปกับองค์ประกอบทางโทโปโลยีเพื่อกำหนดรูปทรงขององค์ประกอบทางโทโปโลยีนั้น องค์ประกอบทางเรขาคณิตแบ่งออกเป็น 3 ชนิดคือ (Parasolid Technical Support Group, Electronic book, 2001a: 58-60)

3.6.1. <u>พื้นผิว</u> (Surface) เป็นองค์ประกอบทางเรขาคณิตที่นิยามติดไปกับองค์ประกอบทางโทโปโลยีที่เป็นหน้า พื้นผิวที่ใช้กันมากในงานคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบคือ ระนาบ พื้นผิวทรงกระบอก พื้นผิวทรงกรวย พื้นผิวทอรัส พื้นผิวทรงกลม พื้นผิวแบบบี (B-Surface) ฯลฯ และต่อไปนี้เป็นตัวอย่างการนำเสนอองค์ประกอบทางเรขาคณิตที่เป็นพื้นผิวด้วยสมการพาราเมตริก

3.6.1.1. พื้นผิวระนาบ เป็นพื้นผิวที่นิยามด้วยสมการพาราเมติกของระนาบตามสมการที่ 3.1 ตัวอย่างของพื้นผิวระนาบแสดงด้วยรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 แสดงพื้นผิวระนาบ

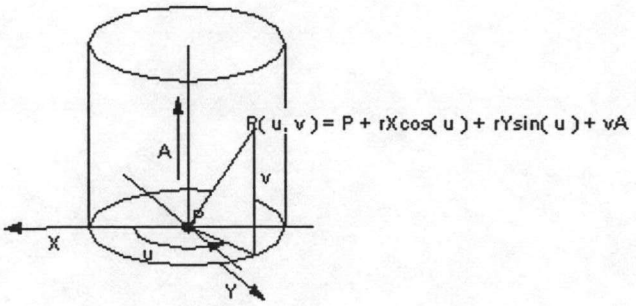
$$R(u,v) = P + uX + vY \qquad (3.1)$$

เมื่อ

P = เป็นพิกัดของจุดใด ๆ บนระนาบ

X, Y = เวกเตอร์หนึ่งหน่วยที่อยู่บนระนาบ และตั้งฉากซึ่งกันและกัน

3.6.1.2. พื้นผิวทรงกระบอก เป็นพื้นผิวที่นิยามด้วยสมการที่ 3.2 ตัวอย่างของพื้นผิวทรงกระบอกแสดงด้วยรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 แสดงพื้นผิวทรงกระบอก

$$R(u,v) = P + rX\cos(u) + rY\sin(u) + vA \qquad (3.2)$$

$$(0 \le u < 2\pi, r > 0)$$

เมื่อ

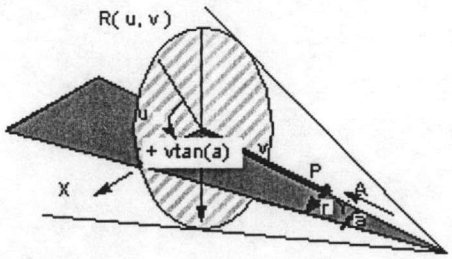
P = จุดใด ๆ ที่อยู่บนแกนของทรงกระบอก

r = รัศมีของพื้นผิวทรงกระบอก ต้องมากกว่าศูนย์

A = แกนของพื้นผิวทรงกระบอก

X, Y = เวกเตอร์หนึ่งหน่วย โดย X Y และ A ต้องตั้งฉากซึ่งกันและกัน

3.6.1.3. พื้นผิวทรงกรวย เป็นพื้นผิวที่นิยามด้วยสมการที่ 3.3 ตัวอย่างของพื้นผิวทรงกรวยแสดงด้วยรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 แสดงพื้นผิวทรงกรวย

$$R(u,v) = P - vA + (X\cos(u) + Y\sin(u))(r + v\tan(a)) \qquad (3.3)$$

$$(0 \le u < 2\pi, -r(\cot(a)) \le v < \infty)$$

เมื่อ

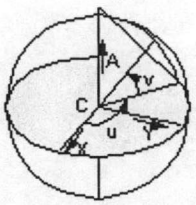
P = จุดใด ๆ ที่อยู่บนแกนของพื้นผิวทรงกรวย

r = รัศมีของพื้นผิวทรงกรวยที่จุด P

A = แกนของพื้นผิวทรงกรวย

X, Y = เวกเตอร์หนึ่งหน่วย โดย X Y และ A ต้องตั้งฉากซึ่งกันและกัน

3.6.1.4. พื้นผิวทรงกลม เป็นพื้นผิวที่นิยามด้วยสมการที่ 3.4 ตัวอย่างของพื้นผิวทรงกลมแสดงด้วยรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 แสดงพื้นผิวทรงกลม

$$R(u,v) = C + (X\cos(u) + Y\sin(u))r\cos(v) + rA\sin(v) \qquad (3.4)$$

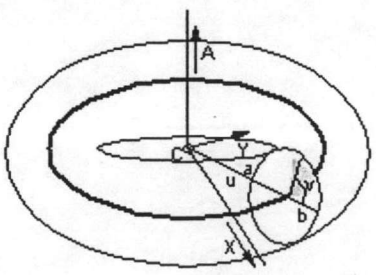
เมื่อ

C = จุดศูนย์กลางของพื้นผิวทรงกลม

r = รัศมีของพื้นผิวทรงกลม

A, X, Y = เวกเตอร์หนึ่งหน่วยที่ตั้งฉากซึ่งกันและกัน

3.6.1.5. พื้นผิวทรงทอรัส เป็นพื้นผิวที่นิยามด้วยสมการที่ 3.5 ตัวอย่างของพื้นผิวทรงทอรัสแสดงด้วยรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 แสดงพื้นผิวทรงทอรัส

$$R(u,v) = C + (X\cos(u) + Y\sin(u))(a + b\cos(v)) + bA\sin(v) \quad (3.5)$$

เมื่อ

C = จุดศูนย์กลางของพื้นผิวทรงทอรัส

A = แกนของพื้นผิวทรงทอรัส

a = รัศมีเอก (Major Radius) ของพื้นผิวทรงทอรัส

b = รัศมีโท (Minor Radius) ของพื้นผิวทรงทอรัส

X, Y = เวกเตอร์หนึ่งหน่วย โดย X Y และ A ต้องตั้งฉากซึ่งกันและกัน

3.6.1.6. พื้นผิวแบบบี เป็นพื้นผิวที่นิยามด้วยสมการที่ 3.6

$$R(u,v) = \frac{\sum_{i=0}^{cols-1}\sum_{j=0}^{rows-1} b_i(u)b_j(v)w_{ij}V_{ij}}{\sum_{i=0}^{cols-1}\sum_{j=0}^{rows-1} b_i(u)b_j(v)w_{ij}} \quad (3.6)$$

เมื่อ

cols = จำนวนแถวในแนวตั้งของจุดยอด

rows = จำนวนแถวในแนวนอนของจุดยอด

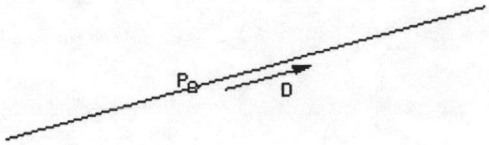
$V_{00}\ldots V_{cols\text{-}1\ rows\text{-}1}$ = จุดยอดของเส้นโค้งแบบบี

$w_{00}\ldots w_{cols\text{-}1\ rows\text{-}1}$ = ค่าน้ำหนักถ่วง

$b_i(t)$, $b_j(t)$ = สัมประสิทธ์ของเส้นโค้งแบบบี (B-spline coefficients)

3.6.2. <u>เส้นโค้ง</u> (Curve) เป็นองค์ประกอบทางเรขาคณิตที่นิยามติดไปกับองค์ประกอบทางโทโปโลยีที่เป็นขอบ หรือครีบ เส้นโค้งที่ใช้กันในงานคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบคือ เส้นตรง วงกลม ส่วนโค้งของวงกลม พาราโบลา ไฮเพอร์โบลา วงรี เส้นโค้งแบบบี (B-Curve) ฯลฯ และต่อไปนี้เป็นการนำเสนอองค์ประกอบทางเรขาคณิตที่เป็นเส้นโค้งในรูปสมการพาราเมตริก

3.6.2.1. เส้นตรง เป็นเส้นโค้งที่นิยามด้วยสมการที่ 3.7 ตัวอย่างของเส้นตรงแสดงด้วยรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 แสดงเส้นตรง

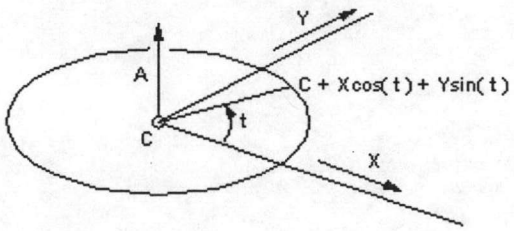
$$R(t) = P + tD \tag{3.7}$$

เมื่อ

P = จุดใด ๆ บนเส้นตรง

D = ทิศของเส้นตรง

3.6.2.2. วงกลม เป็นเส้นโค้งที่นิยามด้วยสมการที่ 3.8 ตัวอย่างของวงกลมแสดงด้วยรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.23 แสดงวงกลม

$$R(t) = C + rX\cos(t) + rY\sin(t) \tag{3.8}$$

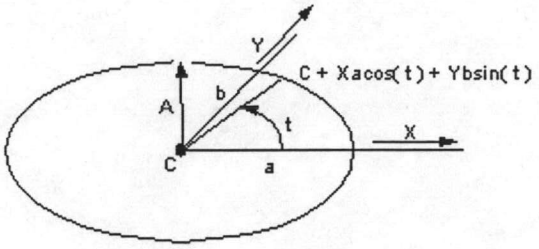
เมื่อ

C = จุดศูนย์กลางของวงกลม

r = รัศมีของวงกลม

X, Y = เวกเตอร์หนึ่งหน่วยที่ตั้งฉากซึ่งกันและกัน

3.6.2.3. วงรี เป็นเส้นโค้งที่นิยามด้วยสมการที่ 3.9 ตัวอย่างของวงรีแสดงด้วยรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.24 แสดงวงรี

$$R(t) = C + aX\cos(t) + bY\sin(t) \qquad (3.9)$$

เมื่อ

C = จุดศูนย์กลางของวงรี

X = แกนเอกของวงรี

Y = แกนโทของวงรี

a = รัศมีเอกของวงรี

b = รัศมีโทของวงรี

3.6.2.4. เส้นโค้งแบบบีชนิดเนิร์บส์ (NURBS)เป็นเส้นโค้งที่นิยามด้วยสมการที่ 3.10

$$R(t) = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} b_i(t) w_i V_i}{\sum_{i=0}^{n-1} b_i(t) w_i} \qquad (3.10)$$

เมื่อ

n = จำนวนจุดยอด

$V_0 \ldots V_{n-1}$ = จุดยอดของเส้นโค้งแบบบี

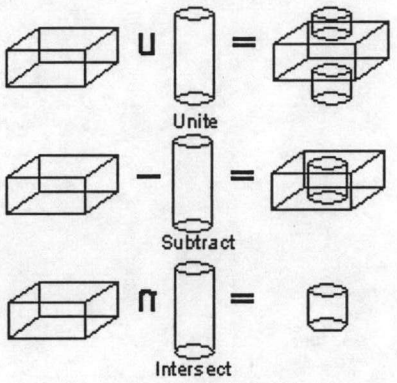
$w_0 \ldots w_{n-1}$ = ค่าน้ำหนักถ่วง

$b_0(t) \ldots b_{n-1}(t)$ = ฟังก์ชันมาตรฐานของเส้นโค้งแบบบี (B-spline basis function)

3.6.3. จุด (Point) เป็นองค์ประกอบทางเรขาคณิตที่นิยามติดไปกับองค์ประกอบทางโทโปโลยีที่เป็นจุดยอด โดยจุดทั้งหมดที่ใช้งานจะเป็นจุดคาร์ทีเซียน (Cartesian Point)

3.7. การกระทำบูลลีนสำหรับแบบจำลองโซลิด

การกระทำบูลลีนสำหรับแบบจำลองโซลิดแบ่งออกเป็น 3 ชนิดคือ (Parasolid Technical Support Group, Electronic book, 2001a: 117) การรวม (Unite) การลบ (Subtract) และการอินเตอร์เซก (Intersect) ดังแสดงด้วยรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 แสดงการกระทำบูลลีนระหว่างแบบจำลองโซลิด

3.7.1. รวม (Unite) เป็นการนำแบบจำลองโซลิด ตั้งแต่ 2 ชิ้นขึ้นไปมารวมกันกลายเป็นแบบจำลองชิ้นเดียว

3.7.2. ลบ (Subtract) เป็นการนำแบบจำลองโซลิดที่จะนำไปลบออก (Tool) ตั้งแต่หนึ่งชิ้นขึ้นไปมาลบออกจากแบบจำลองโซลิดที่เป็นเป้าในการลบ (Target)

3.7.3. อินเตอร์เซก (Intersect) เป็นการกระทำบูลลีนของแบบจำลองโซลิดตั้งแต่ 2 ชิ้น โดยผลที่ได้จะเป็นลำตัวในส่วนที่เกิดจากการซ้อนทับกันของแบบจำลองโซลิดทุกชิ้นที่นำมากระทำอินเตอร์เซก

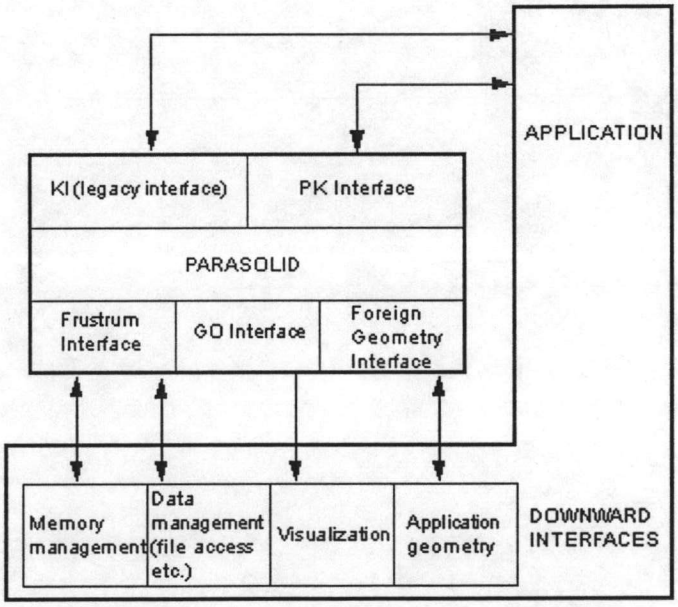
3.8. พาราโซลิดเคอร์เนล (Parasolid Kernel)

เป็นซอฟแวร์ช่วยการพัฒนาโปรแกรมสร้างแบบจำลอง 3 มิติชนิดหนึ่งที่เป็นที่นิยมใช้กันมากที่สุดเพื่อพัฒนาซอฟแวร์สำหรับงานคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ และซอฟแวร์สำหรับงานคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต พาราโซลิดถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัทอีดีเอส (EDS) ใช้การนำเสนอแบบจำลอง 3 มิติชนิดบี-เรพ มีความสามารถในการจัดการข้อมูล 3 มิติ คำนวณหาคุณสมบัติทางมวลและโมเมนต์ความเฉื่อย ตรวจสอบการซ้อนทับของแบบจำลอง และจัดเก็บข้อมูลของแบบจำลอง 3 มิติในรูปแฟ้มข้อมูลทางอิเล็กทรอนิกส์

3.8.1. <u>การเชื่อมต่อกับพาราโซลิด</u> เมื่อต้องการใช้งานพาราโซลิดจะต้องใช้งานผ่านตัวต่อประสานของพาราโซลิด (Parasolid 's Interface) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

3.8.1.1. ส่วนที่เรียกใช้ตัวสร้างแบบจำลอง (Modeler) เป็นส่วนที่โปรแกรมใช้งาน (Application) เรียกใช้พาราโซลิด เพื่อสั่งให้พาราโซลิดทำงานตามต้องการ โดยพาราโซลิดได้จัดเตรียมตัวต่อประสานประเภทนี้ไว้ 2 ชนิด คือ ตัวต่อประสานพีเค (PK Interface) และตัวต่อประสานเคไอ (KI Interface) ตัวต่อประสานทั้งสองชนิดจะทำงานคล้ายกัน คือจะมีฟังก์ชันในการสร้าง แก้ไข รวมแบบจำลอง และควบคุมการทำงานของตัวสร้างแบบจำลอง แต่ต่างกันตรงที่ตัวต่อประสานพีเคจะใช้ภาษาซีในการเชื่อมต่อ ส่วนตัวต่อประสานเคไอจะเชื่อมต่อโดยการเขียนรหัสคำสั่งที่เป็นตัวหนังสือตามรูปแบบคำสั่งของตัวต่อประสานเคไอ

3.8.1.2. ส่วนที่ถูกเรียกใช้โดยตัวสร้างแบบจำลอง เรียกว่า ตัวต่อประสานส่วนล่าง (Downward Interface) เป็นกลุ่มของฟังก์ชันเรียกกลับ (Callback Function) ที่สร้างขึ้นโดยโปรแกรมใช้งาน เพื่อให้พาราโซลิดเรียกใช้งาน เช่น การบันทึก และการอ่านข้อมูลจากไฟล์ การแสดงผล 3 มิติ และการจัดการหน่วยความจำ



รูปที่ 3.26 แสดงการเชื่อมต่อกับพาราโซลิด

3.8.2. <u>ระบบฐานข้อมูลแบบจำลอง 3 มิติ</u> พาราโซลิดได้จัดเตรียมระบบฐานข้อมูลเพื่อใช้สำหรับจัดเก็บข้อมูลของแบบจำลอง 3 มิติให้อยู่ในรูปแฟ้มข้อมูลทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยมีชื่อว่า พาราโซลิดเอ็กซ์ที (Parasolid XT Format) จัดเป็นฐานข้อมูลมาตรฐานชนิดหนึ่ง พาราโซลิดเอ็กซ์ที (Parasolid Technical Support Group, Electronic book, 2001b:

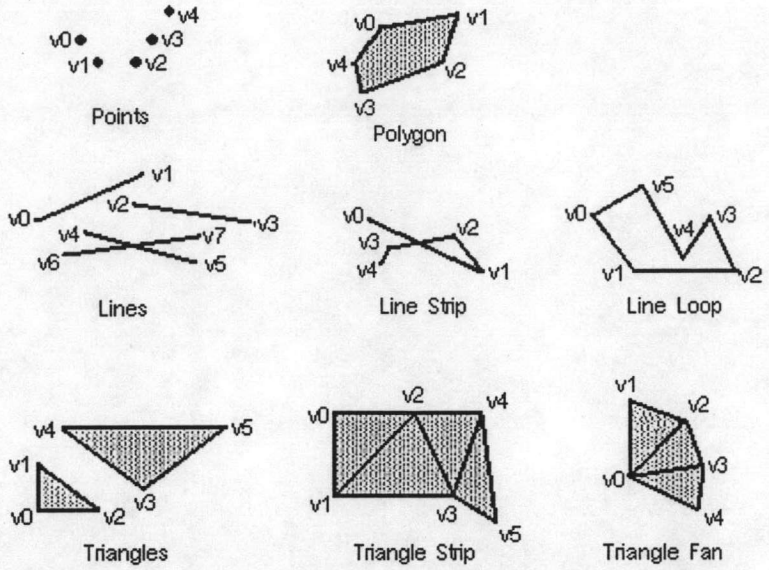
2) มีการจัดเก็บข้อมูล 2 แบบคือ แบบตัวหนังสือ (Text) และแบบเลขฐานสอง (Binary) ในการติดต่อกับฐานข้อมูลสามารถติดต่อผ่านทางตัวต่อประสานส่วนล่างที่ชื่อตัวต่อประสานฟลัสตรัม (Frustrum Interface)

3.8.3. ระบบการแสดงผล 3 มิติ พาราโซลิดไม่สามารถแสดงภาพ 3 มิติได้ด้วยตัวเอง แต่พาราโซลิดจะจัดเตรียมข้อมูลสำหรับการแสดงผล 3 มิติให้กับโปรแกรมใช้งานผ่านทางตัวต่อประสานส่วนล่างที่ชื่อตัวต่อประสานจีโอ (Graphical Output: GO) ข้อมูลเหล่านี้จะนำไปใช้เรนเดอร์ (Render) เป็นภาพ 3 มิติด้วยเอนจิน 3 มิติ (3-D Engine) ต่อไป เอนจิน 3 มิติที่นิยมใช้กันมากในงานคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ คือ โอเพนจีเอล (OpenGL) และไดเรกเอ็กซ์ (DirectX)

3.9. โอเพนจีเอล (OpenGL)

โอเพนจีเอลเป็นเอนจิน 3 มิติ คือเป็นซอฟแวร์ที่ใช้สร้างและแสดงภาพ 3 มิติบนคอมพิวเตอร์ รวมถึงการควบคุมสภาวะแวดล้อมของการแสดงภาพ 3 มิติด้วย เช่น แสง แหล่งกำเนิดแสง การสะท้อนภาพสิ่งแวดล้อมกับผิววัตถุ เงาตกกระทบ เป็นต้น นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นตัวต่อประสานระหว่างโปรแกรมใช้งานกับฮาร์ดแวร์ที่ใช้แสดงผล โอเพนจีเอลถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัทซิลิกอนกราฟิกจำกัด (Silicon Graphic Inc.)

การสร้างภาพ 3 มิติด้วยโอเพนจีเอล โอเพนจีเอลจะสร้างภาพ 3 มิติจากข้อมูลย่อยที่เป็นจุด โดยจะสร้างเป็นภาพ 3 มิติพื้นฐานอย่างง่าย (3-D Primitive) แล้วนำมาประกอบกันจนเป็นภาพ 3 มิติที่ซับซ้อนตามต้องการ ภาพ 3 มิติอย่างง่ายที่โอเพนจีเอลสร้าง ได้แก่ จุด เส้นตรง สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม และรูปหลายมุม (Polygon) แสดงด้วยรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 แสดงภาพ 3 มิติพื้นฐานแบบต่าง ๆ ของโอเพนจีเอล