

วิศวกรรมย้อนรอยในงานสร้างแบบกังหันต้นกำลังสามมิติ

An Application of Reverse Engineering for 3D modeling of the Fan Turbine

ณัฐพล จันทรพานิชย์¹ ชนะ รัศสิริ^{2*} ศรีสิทธิ์ เจียรบุตร³ ศุภสิทธิ์ รอดขวัญ⁴

^{1,2,3,4} สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

⁴ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900 โทรศัพท์ *02-9428567-70 *E-mail: chana_raksiri@yahoo.com

Nattapon Chantarapanich¹ Chana Raksiri² Srisit Chianrabutra³ Supasit Rodkwan⁴

^{1,2,3,4} Research and Development Institute of Industrial Production Technology (RDIPT)

Faculty of Engineering, Kasetsart University

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

⁴Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

Ladyao, Jatujak, Bangkok 10900 Tel. *02-9428567-70 *E-mail: chana_raksiri@yahoo.com

บทคัดย่อ

กังหันต้นกำลัง (Turbine) เป็นชิ้นส่วนสำคัญในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป เช่น โรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า โรงงานผลิตกระดาษ โรงงานผลิตอาหารกระป๋อง เป็นต้น อย่างไรก็ตามกังหันต้นกำลังเมื่อใช้งานไประยะเวลาหนึ่ง จะเกิดความเสียหายขึ้นโดยเฉพาะที่ตัวใบพัดทำให้ไม่สามารถใช้งานได้ ในกระบวนการผลิตกังหันต้นกำลังขึ้นมาใหม่เพื่อทดแทนของเดิมนั้นโดยส่วนใหญ่จะเป็นในรูปแบบของวิศวกรรมตามรอย (Forward Engineering) กล่าวคือต้องมีการออกแบบโครงสร้างสามมิติ (3D Modeling) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (Computer Aided Design, CAD) จากนั้นทำการวิเคราะห์การไหลทางพลศาสตร์ (Computational Fluid Dynamics, CFD) แล้วจึงนำไปทำการผลิตออกมาเป็นชิ้นงานจริง เนื่องจากกังหันต้นกำลังเป็นชิ้นงานที่รูปร่างค่อนข้างซับซ้อน จึงทำให้การออกแบบตามวิศวกรรมตามรอยต้องใช้เวลาอันยาวนาน ดังนั้นโครงการนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาและประยุกต์ใช้เทคนิคทางวิศวกรรมย้อนรอย (Reverse Engineering) โดยใช้อุปกรณ์เก็บค่าพิกัดสามมิติแบบระบบลำแสงเลเซอร์ (3D Laser Scanner) มาช่วยในการสร้างแบบสามมิติของกังหันต้นกำลังจากชิ้นส่วนเดิมที่มีการเสียหายขึ้นใหม่ โดยเลือกส่วนของใบพัดกังหันต้นกำลังเดิมที่เสียหายน้อยที่สุดมาทำการเก็บค่ากลุ่มของค่าพิกัดพื้นผิว (Cloud Point) โดยมีโปรแกรมเก็บค่าพิกัด (Polygonia) เป็นตัวรับค่าข้อมูลจากเครื่องเก็บค่าพิกัดระบบสามมิติแบบระบบลำแสงเลเซอร์ จากนั้นทำการสร้างและปรับแต่งพื้นผิว (Surface Reconstruction) ของใบพัดกังหันต้นกำลังให้มีความสมบูรณ์มากที่สุด โดยใช้โปรแกรมปรับแต่งพื้นผิว (Geomagic

Studios 6) ก่อนที่จะใช้โปรแกรมช่วยออกแบบทางวิศวกรรม (Unigraphics NX2) ในการสร้างใบพัดของกังหันจนครบรวมทั้งรายละเอียดของส่วนประกอบอื่นๆ ของใบกังหันต้นกำลัง งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นแนวทางในการใช้วิศวกรรมย้อนรอย (Reverse Engineering) สร้างแบบกังหันต้นกำลังขึ้นใหม่จากชิ้นส่วนเดิมที่มีอยู่เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ทางกลศาสตร์และพลศาสตร์ต่อไป นอกจากนี้การสร้างแบบจำลองของกังหันต้นกำลังในคอมพิวเตอร์ด้วยกรรมวิธีวิศวกรรมย้อนรอยนับว่าเป็นการช่วยประหยัดต้นทุนและเวลาในการออกแบบรวมทั้งการผลิต อีกทั้งเป็นการส่งเสริมให้มีการนำองค์ความรู้ใหม่เพื่อเป็นทางเลือกให้กับผู้ประกอบการโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆในประเทศที่ใช้กังหันต้นกำลังเป็นส่วนหนึ่งของการกระบวนการผลิต ในการทำผลิตกังหันต้นกำลังใหม่มาทดแทนของเดิมที่เสียหายอีกด้วย

คำหลัก วิศวกรรมย้อนรอย กังหันต้นกำลัง ค่าพิกัดพื้นผิว

Abstract

Turbine is one of the most important equipment in industrial manufacturing processes. It is used in various applications such as power plant, paper mill and agro-industrial plants. However, when the turbine is operated for sometime, the damage is occurred; especially on its blades. As a result, the turbine can not be longer operated. In general, the reconstruction of the turbine can be done by forward engineering which Computer Aided Design (CAD) is used to create 3D-modelling turbine. Then its 3D-modeling would be analyzed using Computer Fluid Dynamics

(CFD) program before manufacturing. Due to the complexity shape of the turbine, the forward engineering process might not appropriate, because of more time consumed. Therefore the reverse engineering application based on 3D- laser scanner is applied to reconstruct the turbine from the damaged one. By selection of the most complete damaged turbine's blade to collect the cloud of points using Polygonia as the data receiver program from the 3D-laser scanner. The next step is to reconstruction the blade's surface in order to complete the missing data of cloud of point via Geomagics Studios 6. Then, Unigraphics NX2 is used to complete all blades also other components. This research shows the guideline in reverse engineering application in reconstruction the turbine from the damaged one. The 3D-model can be analyzed strength and performance. Moreover, the reconstructions of turbine using reverse engineering application can save time and the budget in designation and manufacturing. Also, emphasizing the knowledge to be an alternative for industrial owners in Thailand who use the turbine as one component of manufacturing process to reconstruct the turbine in order to replace the damaged one.

Keywords: Reverse Engineering, Turbine, Cloud Point

1. บทนำ

ปัจจุบันการนำเอาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ ในรูปแบบของวิศวกรรมตามรอย (Forward Engineering) มีให้เห็นมากขึ้น อย่างไรก็ตามการปรับปรุงและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่โดยมีผลิตภัณฑ์เดิมเป็นข้อมูลพื้นฐานนั้นเป็นเรื่องค่อนข้างยาก ไม่ว่าจะเป็นด้วยสาเหตุของการไม่มีการบันทึกขนาดหรือข้อมูลพื้นฐานของผลิตภัณฑ์เดิมไว้ หรือเป็นการนำเอาผลิตภัณฑ์มาจากแหล่งผลิตอื่นซึ่งไม่ได้แนบรายละเอียดของขนาดมา โดยการถอดแบบจากผลิตภัณฑ์ดังกล่าวนั้นใช้เวลาค่อนข้างนานและต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ ดังนั้นการนำเอาเทคโนโลยีวิศวกรรมย้อนรอย (Reverse Engineering) เข้ามาประยุกต์เพื่อช่วยในการลดระยะเวลาการถอดแบบให้สั้นลงจึงมีความสำคัญเพิ่มมากขึ้น ทำให้สามารถปรับปรุงและพัฒนาผลิตภัณฑ์ได้ทันความต้องการ ส่งผลต่อความสามารถในการผลิตและเพิ่มความได้เปรียบในทางการตลาด สำหรับกังหันต้นกำลัง (Turbine) นั้นเป็นส่วนประกอบสำคัญในการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ในปัจจุบัน การใช้งานของกังหันต้นกำลังเมื่อใช้งานไประยะหนึ่งย่อมเกิดการเสียหายขึ้น โดยเฉพาะส่วนตัวของใบพัด โดยส่วนใหญ่การจัดหาทดแทนจะนำเข้าจากต่างประเทศซึ่งมีราคาสูง และใช้ระยะเวลาในการดำเนินการเพื่อทำการจัดส่งที่ยาวนาน ดังนั้นการผลิตกังหันต้นกำลังเพื่อทดแทน โดยการประยุกต์ใช้วิศวกรรมย้อนรอยจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของผู้ประกอบการโรงงานอุตสาหกรรมในการสร้างแบบจำลองสามมิติ (3D Modeling) ของกังหันต้นกำลังจากของเดิมที่เสียหาย เพื่อทำการวิเคราะห์การไหลทางพลศาสตร์ก่อนนำไปผลิตเพื่อนำไปสู่การใช้งานต่อไป

2. วิศวกรรมย้อนรอย

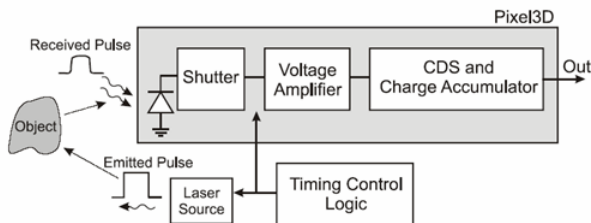
วิศวกรรมย้อนรอย [1] เป็นกระบวนการย้อนกลับทางวิศวกรรมที่สร้างแบบของชิ้นงาน ให้มีรูปร่างและคุณสมบัติเหมือนกับวัตถุต้นแบบที่มีอยู่จริงซึ่งอาศัยหลักการการตรวจสอบข้อมูลทางเทคนิคและข้อมูลอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ โดยลักษณะงานที่จะใช้วิศวกรรมย้อนรอยจะเป็นงานประเภทที่ผลิตภัณฑ์นั้นไม่มีข้อมูลอ้างอิงต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์เพียงพอที่จะใช้พัฒนาต่อไปได้ จึงจำเป็นต้องมีการนำมาย้อนรอยกระบวนการเพื่อให้ได้ข้อมูลเหล่านั้นมาใช้งาน นอกจากนี้วิศวกรรมย้อนรอยยังใช้เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อที่จะให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น การใช้วิศวกรรมย้อนรอยในการสร้างแบบสามมิติ (3D Modeling) ของรถแข่งเพื่อนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์ของการยก (Coefficient of Lift, C_l) และค่าสัมประสิทธิ์ของต้าน (Coefficient of Drag, C_d) โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณและวิเคราะห์ทางหลักอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamics) เพื่อนำมาปรับปรุงประสิทธิภาพของรถแข่งต่อไป [2] นอกจากนี้วิศวกรรมย้อนรอยยังสามารถประยุกต์ได้หลายลักษณะงาน เช่น

1. การสร้างชิ้นงานเลียนแบบวัตถุโบราณเพื่อใช้แสดงหรือนำไปศึกษา เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับวัตถุโบราณเหล่านั้น
2. การเก็บข้อมูลรูปร่างของวัตถุที่ได้รับการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงขนาดแต่ไม่ได้มีการจดบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงเอาไว้
3. การออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ขึ้นรูปต้นแบบในลักษณะสามมิติด้วยการปั้น โดยทำการเก็บข้อมูลรูปร่างและทำการสร้างแบบสามมิติด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อนำแบบนั้นมาใช้ในขั้นตอนการผลิตอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องต่อไป
4. การเก็บข้อมูลรายละเอียดต่างๆ ของวัตถุหรือผลิตภัณฑ์ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ เช่น ข้อมูลของขนาด ความกว้าง, ความยาว เป็นต้น
5. การเปรียบเทียบวัตถุหรือผลิตภัณฑ์โดยวัดจาก รูปทรงขนาด หรือแม้กระทั่งความสวยงามของสินค้าของบริษัทที่ดีกว่า เพื่อใช้เพิ่มความพึงพอใจของลูกค้าหรือเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต
6. การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ภายหลังการผลิตเพื่อเปรียบเทียบกับแบบที่ได้ออกแบบไว้
7. การสร้างชิ้นส่วนของมนุษย์ที่มีรูปร่างลักษณะยากต่อการวัดขนาดได้ละเอียดในทุกจุด เช่น ใบหู กะโหลก ไซข้อกระดูกสันหลัง เป็นต้น ทั้งนี้วิศวกรรมย้อนรอยสามารถสแกนชิ้นส่วนจริงแล้วมาสร้างเป็นของเทียมขึ้นโดยมีรายละเอียดต่างๆ ที่สมบูรณ์

ทั้งหมดที่กล่าวมานี้เป็นเพียงส่วนหนึ่งของความสามารถที่วิศวกรรมย้อนรอยสามารถทำได้ ขีดจำกัดของงานในลักษณะที่กล่าวมานี้ขึ้นอยู่กับขนาด และรูปทรงของวัตถุที่จะนำมาเก็บค่าพิกัด เพราะถ้าวัตถุมีรายละเอียดมาก การทำวิศวกรรมย้อนรอยนั้นจะต้องใช้เวลานานในการดำเนินการจนกระทั่งสำเร็จออกมาเป็นรูปทรงที่ต้องการ

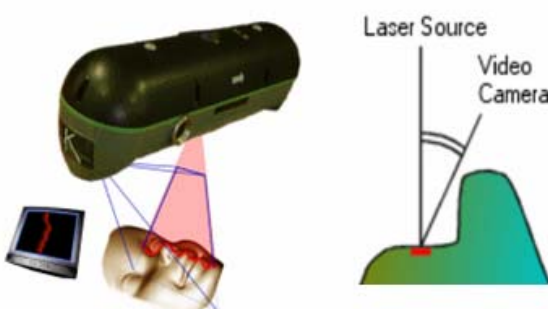
3. อุปกรณ์เก็บค่าพิกัดสามมิติในระบบเลเซอร์

การทำงานของพื้นฐานของเครื่องเก็บพิกัดสามมิติระบบเลเซอร์ จะใช้หลักการฉายแสงเป็นแนวทแยงสามเหลี่ยม (Triangulation Principle) ลงบนวัตถุและภาพที่ได้จะมีลักษณะเหมือนจริงทั้งขนาดและรูปทรง [3] โดยหลักการดังกล่าว คือ การทราบค่าระยะและค่ามุมตกกระทบก็จะสามารถหาตำแหน่งของจุดได้ แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ (Laser Source) ส่งแสงเลเซอร์ไปกระทบวัตถุ และจะสะท้อนกลับมาระทบกับส่วนรับแสงซึ่งจะมีเลนส์ และกล้อง CCD (Charge Coupled Device) ภายในประกอบด้วยหน่วยรับสัญญาณ (Pixel) ซึ่งภายในประกอบด้วยไดโอด (Diode) หน่วยแปลงสัญญาณภาพ (Shutter) หน่วยขยายสัญญาณ (Voltage Amplifier) หน่วยลดสัญญาณรบกวน (CDS) และหน่วยสะสมประจุ (Charge Accumulators) จากนั้นสัญญาณจะแปลงตำแหน่งในแนว u และ v ในรูปของเมตริก เพื่อให้จุดต่างๆ ปรากฏในคอมพิวเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงอุปกรณ์จับลำแสงของเลเซอร์ภายในกล้องวิดีโอในหัวสแกนเลเซอร์ [3]

นอกจากนี้ขนาดของมุมที่เกิดจากการฉายแสงเลเซอร์ก็มีผลต่อการจัดเก็บข้อมูลโดยอัตโนมัติลงในโปรแกรมด้วยเช่นกัน [4] โดยที่ขนาดมุม 0 องศา กล้องจะไม่สามารถเก็บข้อมูลของวัตถุที่ถูกสแกนได้เลย ที่ขนาดมุม 90 องศา เป็นมุมที่เหมาะสมที่สุดในการฉายแสงลงบนวัตถุ แต่ทั้งนี้การฉายแสงเคลื่อนที่ไปมามากเกินไป กล้องจะไม่สามารถจับทิศทางของเส้นแสงเลเซอร์ที่ฉายแนวลงบนวัตถุได้ แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะการจับลำแสงของเลเซอร์ด้วยกล้องวิดีโอในหัวสแกนเลเซอร์ [5]

อุปกรณ์เสริมที่จำเป็นอย่างหนึ่งสำหรับวัตถุที่มีสีทึบหรือมีผิวมันวาว คือ “สเปรย์แป้ง” ซึ่งจะใช้สำหรับพ่นเคลือบผิวของวัตถุเพื่อให้สามารถสะท้อนลำแสงได้ สำหรับค่าที่ได้จากการสแกนวัตถุนั้นย่อมมีความผิดพลาด ส่วนมากจะเกิดจากการเคลื่อนที่ขณะทำการสแกนวัตถุของแขนกลที่ใช้คู่กับอุปกรณ์เก็บค่าพิกัดสามมิติในระบบเลเซอร์ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งความผิดพลาดดังกล่าวจะสามารถแก้ไขได้โดยวิธีการวัดขนาดของชิ้นงานมาตรฐานซึ่งทราบค่าจริงแล้วนำไปทำการชดเชยค่าความคลาดเคลื่อนในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่อไป



รูปที่ 3 แขนจับยึดชุดตรวจวัดพิกัดและหัวสแกนเลเซอร์ [6]

4. ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองสามมิติของกังหันต้นกำลังโดยใช้วิศวกรรมย้อนรอย

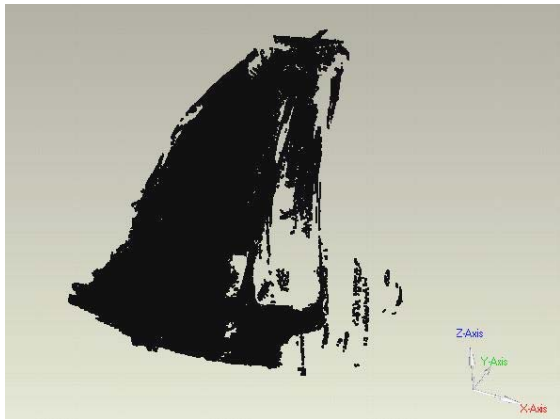
1. นำกังหันต้นกำลังที่ชำรุดมาทำการเก็บค่าพิกัดพื้นผิว โดยเลือกใบพัดของกังหันต้นกำลังที่สมบูรณ์ที่สุดมาทำการเก็บกลุ่มพิกัดพื้นผิวด้วยอุปกรณ์เก็บค่าพิกัดสามมิติระบบแสงเลเซอร์ (3D Laser Scanner) และบันทึกด้วยโปรแกรมเก็บค่าพิกัด (Polygonia) ซึ่งจะแสดงผลในรูปแบบของกลุ่มพิกัดจุด (Clouds of Points) ดังแสดงในรูปที่ 4, 5 และ 6



รูปที่ 4 แสดงลักษณะของกังหันต้นกำลังที่เสียหายเพื่อนำมาเก็บค่าพิกัดจุด (Clouds of Points)

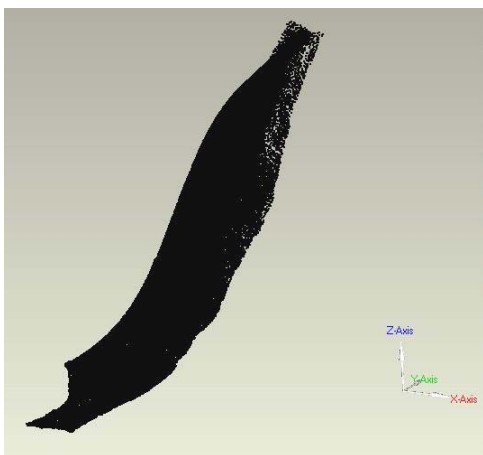


รูปที่ 5 แสดงการใช้อุปกรณ์อุปกรณ์เก็บค่าพิกัดสามมิติระบบแสงเลเซอร์ (3D Laser Scanner) กลุ่มพิกัดจุด (Clouds of Points) ของต้นแบบกังหันต้นกำลัง



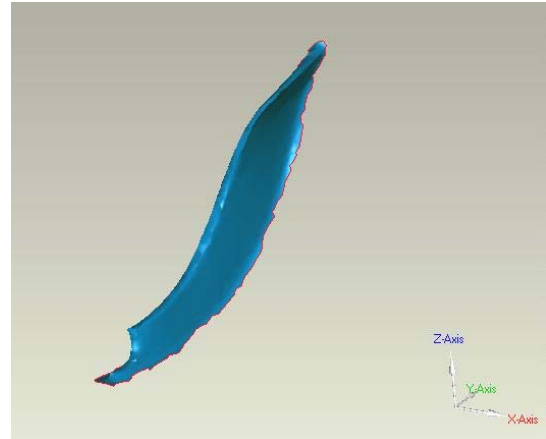
รูปที่ 6 ตัวอย่างกลุ่มพิกัดจุด (Clouds of Points) ของต้นแบบกังหันต้นกำลัง

2. นำกลุ่มพิกัดจุดที่ได้มาคัดแยก โดยเลือกเฉพาะกลุ่มพิกัดที่เป็นองค์ประกอบของชิ้นงานจริง (Final Clean Clouds) ดังตัวอย่างชิ้นงานที่แสดงในรูปที่ 7



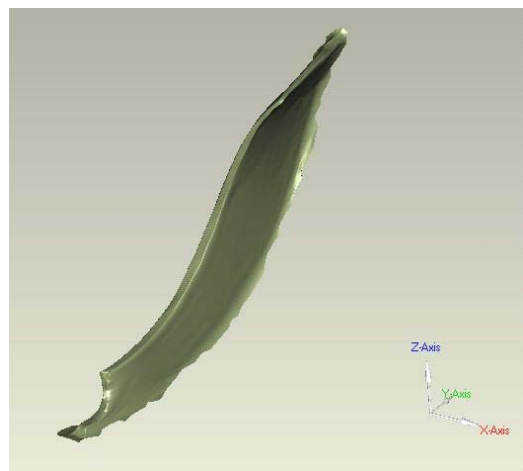
รูปที่ 7 ตัวอย่างองค์ประกอบชิ้นงานจริง (Final Clean Clouds)

3. นำกลุ่มพิกัดที่ได้มาสร้างพื้นผิว (Surface Reconstruction) โดยใช้หลักการเชื่อมจุดต่อจุดเข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้โครงสร้างพื้นผิวใบพัดของกังหันต้นกำลังด้วยโปรแกรมปรับแต่งพื้นผิว (Geomagic Studio 6) ดังแสดงในรูปที่ 8



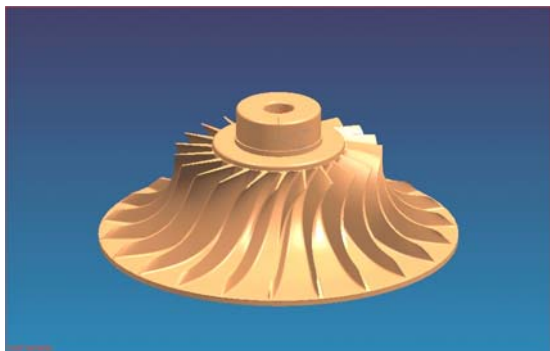
รูปที่ 8 ตัวอย่างโครงสร้างพื้นผิวของใบพัดของกังหันต้นกำลัง

4. นำโครงสร้างพื้นผิวใบพัดของกังหันต้นกำลังที่ได้มาทำการปรับแต่งให้อยู่ในรูปแบบจำลองสามมิติ (3D Modeling) ดังตัวอย่างชิ้นงานที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 ตัวอย่างแบบจำลองสามมิติใบพัดของกังหันต้นกำลัง

5. นำแบบจำลองสามมิติที่ได้มาทำการปรับแต่งพื้นผิวอีกให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น รวมทั้งทำการสร้างใบพัดของกังหันต้นกำลังจนครบรวมทั้งรายละเอียดของส่วนประกอบอื่นๆ ของใบพัดต้นกำลังให้สมบูรณ์ โดยใช้โปรแกรมช่วยในการออกแบบ (Computer Aided Design, CAD) Unigraphics NX2 เพื่อพร้อมสำหรับการนำไปวิเคราะห์ผลทางวิศวกรรม เช่น การไหลทางอากาศพลศาสตร์ เพื่อหาประสิทธิภาพการไหลของใบพัดต่อไป ดังแสดงในรูป 10



รูปที่ 10 ตัวอย่างแบบจำลองสามมิติที่สมบูรณ์ของกังหันต้นกำลัง

5. สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยพบว่าการใช้วิธีการทั่วไปในการสร้างกังหันต้นกำลังด้วยการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบนั้น จะต้องทราบสมการใบพัดของกังหันต้นกำลังเสียก่อนจึงจะสามารถสร้างกังหันต้นกำลังได้ทำให้ใช้เวลาค่อนข้างนาน ตรงข้ามกับการประยุกต์การใช้เทคโนโลยีวิศวกรรมย้อนรอย ซึ่งจะช่วยลดเวลาในการทำแบบจำลองสามมิติได้อย่างมาก ทำให้สามารถสร้างแบบจำลองสามมิติของกังหันต้นกำลังได้เร็วขึ้น อย่างไรก็ตามอุปสรรคที่พบในการทำวิศวกรรมย้อนรอยในงานสร้างแบบสามมิติของกังหันต้นกำลังนั้น คือ การที่ใบพัดของกังหันต้นกำลังมีลักษณะที่มีความโค้งค่อนข้างมากทำให้การเก็บค่าพิกัดสามมิติทำได้ค่อนข้างยากต้องใช้ระยะเวลาในการหาหมุดกล้องที่เหมาะสม เพราะแสงเลเซอร์ที่ส่งไปสะท้อนกับชิ้นงานไม่สามารถสะท้อนกลับมายังตัวรับของกล้องได้ นอกจากนี้ในส่วนใบพัดของกังหันต้นกำลังที่อยู่ลึกเกินกว่าแสงเลเซอร์จะสะท้อนกลับมายังกล้องรับได้ ทำให้พื้นผิวบางส่วนไม่สมบูรณ์จึงต้องไปทำการแก้ไขในใช้โปรแกรมช่วยในการออกแบบแทน ดังนั้นงานวิจัยนี้สามารถสรุปผลได้ว่าวิศวกรรมย้อนรอยเป็นเทคโนโลยีที่ช่วยในการสร้างแบบจำลองสามมิติที่พร้อมจะนำไปสู่การวิเคราะห์ทางวิศวกรรมอื่นๆ เช่น การไหลทางอากาศพลศาสตร์ ซึ่งนำไปสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Pearce, J. T. H., “วิศวกรรมย้อนรอยเพื่อการสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์ และอะไหล่ทดแทน ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ กรุงเทพฯ ส.ศ.ท. พ.ศ. 2545
- [2] Simoni A., Gonzo L. and Gottardi M, “Integrated Optical Sensors for 3-D Vision”, Integrated Optical Sensors Group, ITC-IRST, Povo, Trento, Italy.
- [3] Feng, C. X., Xiao, S., “Computer Aided Reverse Engineering with CMM for Digitization and LOM for Duplication”, Conference on Frontier of Design and Manufacturing, 2000, pp. 256- 262

- [4] ศุภสิทธิ์ รอดขวัญ และคณะ “การศึกษาวิธีการสร้างแบบจำลองในคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีวิศวกรรมย้อนรอย โดยใช้อุปกรณ์เก็บค่าพิกัดสามมิติระบบเลเซอร์” สถาบันค้นคว้าเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ พ.ศ. 2547

- [5] Internet Resource: <http://www.kreon3d.com>

- [6] กรวิศว์ นราเดช และคณะ “การสร้างตัวถังรถต้นแบบโดยใช้คอมพิวเตอร์ในการออกแบบและวิศวกรรมย้อนรอย” วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ พ.ศ. 2547