การพัฒนากระบวนการผลิตแบบตอขาเทียมโดยใช้แขนกล
Improvement of Prosthesis Stump Positive Model Forming by using Robot Arm

ชัญญาพันธ์ วิรุฬห์ศรี*[1], ไพรัช ตั้งพรประเสริฐ[1] และ ปณิภัทร วัฒนศิริ[1]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
*ติดต่อ: chanyaphan.v@gmail.com เบอร์โทรศัพท์ 0-2218-6610, เบอร์โทรสาร 0-2252-2779

บทคัดย่อ

เนื่องจากการผลิตขาเทียมในปัจจุบันสูญเสียเวลาส่วนใหญ่ไปกับการทำตอขาเทียม เพราะจำเป็นต้องใช้เวลาในการหล่อแบบจากขาผู้พิการ งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนากระบวนการผลิตแบบตอขาเทียมโดยใช้แขนกลเพื่อลดเวลาในการผลิต โดยมีเป้าหมายให้สามารถ 1.ผลิตแบบตอขาเทียมให้มีพื้นผิวเช่นเดียวกับพื้นผิวที่สแกนจากขาของผู้พิการขาขาดเหนือเข่า 2.แบบตอขาเทียมมีความแข็งแรงเพียงพอต่อการใช้ขึ้นรูปเบ้าขาเทียมด้วยกระบวนการเทอร์โมฟอร์มมิ่ง 3.กัดตอขาเทียมเพื่อให้ได้ความหยาบของพื้นผิวเพียงพอต่อการตกแต่งให้เรียบด้วยมือต่อไป 4.ใช้เวลาในการผลิตแบบตอขาเทียมได้ภายในเวลา 1 วัน และกระบวนการผลิตนี้ไม่เป็นมลพิษต่อผู้ผลิต ผลสรุปโครงการที่ได้คือ มีความคลาดเคลื่อนสูงสุดของขนาดพื้นที่หน้าตัดชิ้นงาน 2.2% ชิ้นงานมีความแข็งแรงเพียงพอต่อการรับแรงกดในการขึ้นรูปเบ้าขาเทียมด้วยกระบวนการเทอร์โมฟอร์มมิ่ง ผิวชิ้นงานสามารถตกแต่งให้เรียบด้วยกระดาษทรายได้ และใช้เวลาในการผลิตตอขาเทียมทั้งหมด 8 ชั่วโมง 58 นาที

คำหลัก: แบบตอขาเทียม กระบวนการผลิตแบบตอขาเทียม แขนกล

Abstract

Since prosthesis legs production process spends most of time on prosthesis stump positive model, therefore this research is to improve prosthesis stump positive model forming by using robot arm. The objectives of the research are 1. make the prosthesis stump positive model and the 3D model from above-knee handicapped to be nearly same shape, 2. make this model to have enough strength to withstand thermo forming process, 3. formed model that have smooth surface enough for hand decoration, and 4. this model must be formed and finished within 1 day and all the process give no health hazardous. The result of the project showed that the maximum dimension error of leg stump cross sectional area was 2.2%. Prosthesis leg stump was also strong enough to withstand thermo forming process. Stump surface was smooth enough to be decorated by sandpaper. The time spent by the whole process was 8 hours 58 minutes.

keywords: prosthesis stump**,** prosthesis stump positive model forming, robot arm.

1. บทนำ

ในปัจจุบันกำลังการผลิตขาเทียมยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้พิการขาขาดในประเทศไทยซึ่งมีมากกว่า 30,000 คน [1]

โดยปกติแล้วการทำแบบตอขาเทียมในปัจจุบันจะใช้เวลานานถึงประมาณ 2-3 วัน เนื่องจากจำเป็นต้องใช้เวลาในการหล่อแบบจากขาผู้พิการให้ได้แบบตัวเมีย จากนั้นเทปูนปลาสเตอร์เข้าไปในแบบตัวเมียเพื่อให้ได้แบบตอขาตัวผู้ จากนั้นต้องทำการตกแต่งแบบปูนปลาสเตอร์ของแบบตอขาตัวผู้ [2] ให้ได้แบบตอขาเทียมที่มีลักษณะจำเพาะตามแต่ละผู้พิการแต่ละคน ซึ่งต้องใช้ผู้ที่มีความสามารถและประสบการณ์ในการตกแต่ง ทำให้มี

อัตราการผลิตต่ำ และการตกแต่งแบบตอขาเทียมที่ใช้ปูนปลาสเตอร์นี้จะเกิดฝุ่นผงจากปูนปลาสเตอร์ ซึ่งส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมและ สุขภาพของผู้ผลิต

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและลดเวลาในกระบวนการผลิตแบบตอขาเทียมโดยนำแขนกลมากัดขึ้นรูปชิ้นงาน และเก็บข้อมูลลักษณะพื้นผิวของขาผู้พิการด้วยอุปกรณ์เก็บข้อมูลสามมิติ นอกจากนี้ยังเลือกใช้วัสดุทำแบบตอขาเทียมที่ไม่เป็นมลพิษมาใช้ในกระบวนการผลิต

2. การออกแบบ และทดลอง กระบวนการผลิตแบบตอขาเทียม

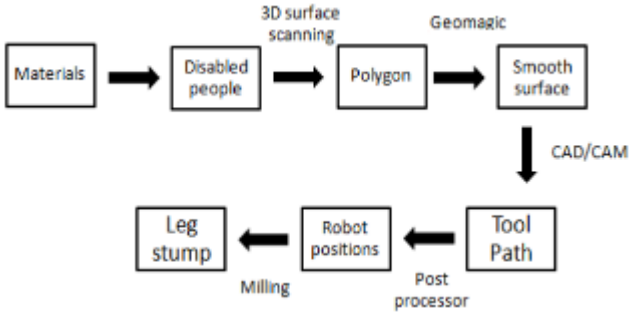
เนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องการใช้วัสดุทำแบบตอขาเทียมที่ไม่เป็นมลพิษและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ จึงเลือกใช้ดินชนิดต่างๆที่เป็นวัสดุจากธรรมชาติมาทดสอบหาคุณสมบัติต่างๆที่เหมาะสมในการขึ้นรูปชิ้นงาน

ในปัจจุบันการกัดขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบมักกระทำด้วยเครื่อง CNC (Computer Numerical Control) [3] ซึ่งใช้กัดชนิดงานโลหะหรือวัสดุแข็งอื่นๆ การใช้เครื่อง CNC กัดแบบตอขาเทียมที่มีวัสดุเป็นดินนั้น อาจทำให้เกิดปัญหากับเครื่องเนื่องจากดินอาจละลายน้ำ หรือเป็นฝุ่นผงและเข้าไปติดอยู่ในส่วนต่างๆของเครื่องได้ จึงทำการเลือกใช้แขนกลอุตสาหกรรม [4] FANUC M16iB/20 ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งสามารถป้องกันบริเวณข้อต่อได้ง่ายและมีความสามารถในการเคลื่อนที่ของปลายแขนตามความต้องการในการกัดแบบตอขาเทียม

รูปที่ 1 แขนกลอุตสาหกรรม FANUC M16iB/20

ในการกัดชิ้นงานด้วยระบบคอมพิวเตอร์ จะต้องสร้างเส้นทางในการเดินของมีดกัดลงในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งการสร้างเส้นทางเดินนี้จำเป็นต้องมีแบบจำลองสามมิติของชิ้นงานที่ต้องการเสียก่อน งานวิจัยนี้จึงได้นำอุปกรณ์เก็บข้อมูลพื้นผิวสามมิติด้วยแสงเลเซอร์ Handy Scan 3D รุ่น REVscan ซึ่งมีค่า Accuracy 50 ไมโครเมตร [5] ดังรูปที่ 2 มาเก็บข้อมูลพื้นผิวของขาผู้พิการขาขาดเพื่อนำไปทำแบบตอขาเทียม โดยกระบวนการผลิตแบบตอขาเทียมที่พัฒนาขึ้นมามีแผนผังโดยคร่าวดังรูปที่ 3

รูปที่ 2 อุปกรณ์เก็บข้อมูลพื้นผิวสามมิติด้วยแสงเลเซอร์ Creaform REVscan



รูปที่ 3 แผนผังกระบวนการผลิตแบบตอขาเทียมโดยใช้แขนกล

2.1 การเลือกวัสดุในการผลิต

การเลือกวัสดุทำโดยการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของวัสดุที่เลือกเทียบกับปูนปลาสเตอร์ที่เป็นวัสดุทำแบบตอขาเทียมในปัจจุบัน คุณสมบัติต่างๆที่สนใจ คือ

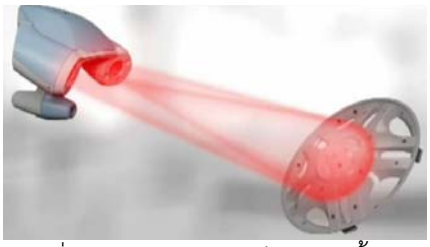
1.ความเรียบผิวของวัสดุหลังการกัด milling
2.ความสามารถในการรับแรงกด
3.ราคา
4.ระยะเวลาในการปั้นขึ้นรูป
5.วัสดุสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

หลังจากการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ วัสดุที่เลือกใช้ คือ ดินเซรามิคซึ่งเป็นดินที่ใช้ในการปั้นเครื่องปั้นเซรามิค มีความละเอียดสูง ลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน ปั้นขึ้นรูปได้ง่าย ราคาถูก มีความแข็งแรงต่ำกว่าดินชนิดอื่นแต่เพียงพอต่อการขึ้นรูปแบบตอขา และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

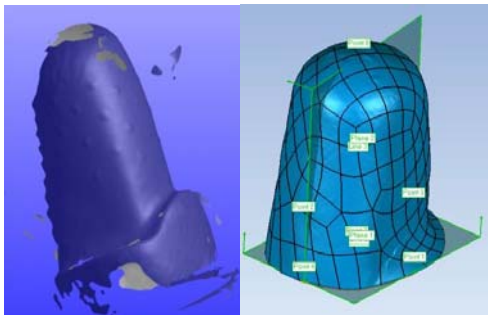
2.2 การเก็บข้อมูลพื้นผิวสามมิติและการสร้างพื้นผิวเรียบ

การเก็บข้อมูลพื้นผิวของแบบตอขาผู้พิการเพื่อนำมาสร้างแบบจำลองสามมิติในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ใช้อุปกรณ์เก็บข้อมูลพื้นผิวโดยยิงแสงเลเซอร์ไปยังชิ้นงานดังรูปที่ 4 จนได้เป็นข้อมูลโพลีกอนในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ดังรูปที่ 5 (ก)

ข้อมูลโพลีกอนที่ได้จะเป็นข้อมูลพื้นผิวที่ไม่ราบเรียบ ซึ่งไม่สามารถสร้างเส้นทางมีดกัดได้ จึงแปลงเป็นข้อมูลพื้นผิวเรียบในโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยแบ่งเป็นพื้นผิวเรียบย่อยๆทั้งหมด 250 ส่วนดังรูปที่ 5 (ข)



รูปที่ 4 การใช้อุปกรณ์เก็บข้อมูลพื้นผิว



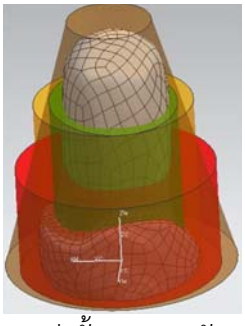
5(ก) 5(ข)

5(ก) ข้อมูลโพลีกอนของแบบตอขาที่ได้
5(ข) พื้นผิวเรียบสำหรับการสร้างเส้นทางมีดกัด

รูปที่ 5 ข้อมูลพื้นผิวแบบตอขาเทียม

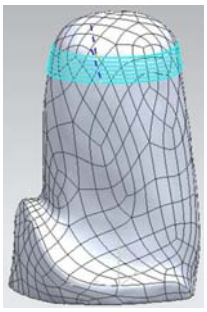
2.3 การสร้างเส้นทางเดินมีดกัดด้วยโปรแกรม CAM และการแปลงเป็นตำแหน่งปลายแขนกล

สร้างทางเดินมีดกัดแบบตอขาด้วยโปรแกรม CAM (Computer-aided Manufacturing) โดยแบ่งกระบวนการกัดชิ้นงานออกเป็นรูปร่างเรขาคณิตต่างๆ เช่น ทรงกระบอก ทรงกรวย และ ปริซึม เพื่อให้ได้รูปร่างที่เหมาะสมและใกล้เคียงกับรูปร่างของแบบตอขาเทียมดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การแบ่งขั้นตอนการกัดแบบตอขาเป็นรูปเรขาคณิตต่างๆ

จากนั้นจึงสร้างเส้นทางเดินมีดกัดบนผิวชิ้นงานโดยแบ่งขั้นตอนการกัดเป็นระดับความสูงต่างๆระดับละ 20 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 เส้นทางเดินมีดกัดที่สร้างขึ้นบนผิวของแบบจำลองชิ้นงานในโปรแกรม

รูปที่ 8 การจำลองเส้นทางเดินปลายแขนกลในโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของข้อต่อแขนกล

แล้วใช้โปรแกรม UGs NX 7.5 ในการคำนวณเส้นทางเดินการกัด เมื่อได้เส้นทางเดินมีดกัดแล้วจึงทำการแปลงเส้นทางเดินมีดกัดนี้เป็นตำแหน่งการเคลื่อนที่ของปลายแขนกล โดยใช้ชุดคำสั่งแปลงข้อมูลตำแหน่ง

ปลายแขนกลที่พัฒนาขึ้นจากโปรแกรมพื้นฐานของแขนกล (ROBOGUIDE-Handling PRO) แล้วจำลองเส้นทางการเดินของปลายแขนกลในโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์รูปแบบการเคลื่อนที่ของข้อต่อต่างๆของแขนกล ดังรูปที่ 8

2.4 เงื่อนไขการกัดขึ้นรูปแบบตอขาเทียม

ในการสร้างเส้นทางเดินของมีดกัดนั้น ต้องระบุค่าเงื่อนไขการกัดต่างๆที่จำเป็น เช่น ความเร็วรอบการหมุนใบมีด ความเร็วการป้อนใบมีด ความลึกในการตัด และความสูงของสันชิ้นงานจากการตัด เป็นต้น ซึ่งได้มาจากการทดลองหาค่าเงื่อนไขการกัดที่เหมาะสม โดยได้เงื่อนไขการกัด ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการกัดต่างๆของแบบตอขาเทียม

ขนาดมีดกัด	6 mm
ความเร็วการป้อนใบมีด	3 mm/s
ความเร็วรอบการหมุนใบมีด	25,000 rpm
ความลึกในการตัด	15 mm
ระยะพิตช์ของการตัด	4 mm
มุมเอียงระหว่างมีดกัดกับชิ้นงาน	45-60 องศา

2.5 การตกแต่งแบบตอขาเทียมด้วยกระดาษทรายหลังจากการกัดขึ้นรูป

9(ก) 9(ข)

9(ก) แบบตอขาเทียมหลังการกัดที่มีผิวขรุขระ
9(ข) แบบตอขาเทียมหลังขัดผิวด้วยกระดาษทราย

รูปที่ 9 แบบตอขาเทียมหลังการกัด

แบบตอขาเทียมที่ได้หลังจากการกัดขึ้นรูปด้วยแขนกล มีลักษณะผิวขรุขระเนื่องจากปลายแขนกลเดินกัดชิ้นงานให้ได้รูปร่างโดยคร่าวเพื่อลดเวลาการผลิตดังรูปที่ 9(ก) จึงนำแบบตอขาเทียมที่ได้มาปรับแต่งให้มีผิวเรียบด้วยกระดาษทรายดังรูปที่ 9(ข)

3. ผลการทดลอง และอภิปรายผลการทดลอง

3.1 การผลิตแบบตอขา

ในการทดลองผลิตแบบตอขาเทียมโดยใช้แขนกลนี้มีกระบวนการผลิตตั้งแต่ การเก็บข้อมูลพื้นผิวตอขาเป็นแบบจำลองสามมิติ การสร้างเส้นทางเดินปลายมีดและการเคลื่อนที่ของแขนกล การกัดชิ้นงานเป็นแบบตอขาเทียมด้วยแขนกล จนถึงการตกแต่งผิวแบบตอขาเทียมเพื่อนำไปใช้ทำเบ้าขาเทียม โดยใช้เวลาในการผลิตทั้งหมด 8 ชั่วโมง 58 นาที มีขั้นตอนและระยะเวลาดังตารางที่ 2

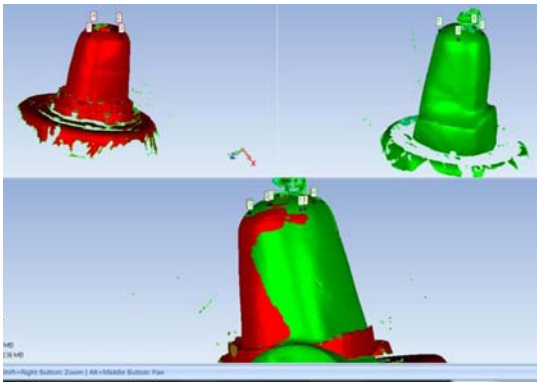
ตารางที่ 2 ขั้นตอนและระยะเวลาการผลิตแบบตอขาเทียม

ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	ระยะเวลาที่ใช้
เก็บข้อมูลพื้นผิวแบบตอขาเทียม	15 นาที
สร้างพื้นผิวเรียบ ด้วยโปรแกรม Geomagic	15 นาที
สร้างเส้นทางเดินปลายมีดกัด ด้วยโปรแกรม CAM	50 นาที
แปลงทางเดินปลายมีดกัดเป็นตำแหน่งแขนกล	30 นาที
กัดชิ้นงานเป็นรูปทรงเรขาคณิต	139 นาที
กัดชิ้นงานหยาบ	150 นาที
กัดชิ้นงานละเอียด	115 นาที
ตกแต่งผิวด้วยกระดาษทรายเพื่อให้ชิ้นงานเรียบ	24 นาที
ระยะเวลารวม	538 นาที

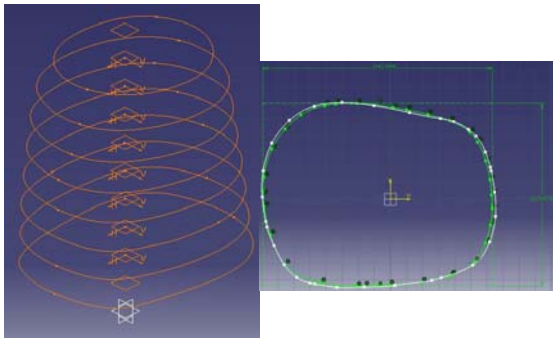
จากผลการทดลองดังตารางที่ 2 จะพบว่าเวลาในการผลิตแบบตอขาเทียมของงานวิจัยนี้มากกว่าครึ่งหนึ่งคือการเดินใบมีดกัดชิ้นงาน ซึ่งใช้เงื่อนไขการตัดเพียงแบบเดียว ซึ่งในการทดลองเพื่อพัฒนาต่อไปจึงควรปรับปรุงวิธีในการกัดชิ้นงานให้เหมาะสมต่อการผลิตมากขึ้น เช่น การใช้ใบมีดหลายขนาด การปรับเปลี่ยนความเร็วการป้อนใบมีดและเงื่อนไขการตัดต่างๆอย่างเหมาะสมซึ่งจะสามารถลดเวลาในการผลิตลงได้มากกว่านี้

3.2. ความคลาดเคลื่อนของรูปร่างของแบบตอขาเทียมจากการผลิตโดยใช้แขนกล

ทำการเปรียบเทียบรูปร่างของแบบตอขาเทียมที่ผลิตได้กับแบบตอขาเทียมต้นแบบ โดยการนำพื้นผิวของแบบตอขาทั้งสองมาซ้อนทับกันในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 การเปรียบเทียบรูปร่างของแบบตอขาเทียม



11(ก) 11(ข)

(ก) หน้าตัดของแบบตอขาที่แต่ละระดับความสูง
(ข) การเปรียบเทียบหน้าตัดของแบบตอขาเทียมจากการผลิตกับต้นแบบ

รูปที่ 11 หน้าตัดของแบบตอขาเทียม

เมื่อวัดขนาดหน้าตัดของแบบตอขาเทียมที่ระดับความสูงต่างๆระดับละ 20 มิลลิเมตรดังรูปที่ 11 พบว่าขนาดหน้าตัดของพื้นผิวแบบตอขาเทียมที่ผลิตได้มีความคลาดเคลื่อนของขนาดหน้าตัดชิ้นงานเฉลี่ย 1.49% ในแกนนอน และ0.79% ในแกนตั้ง และมีความคลาดเคลื่อนสูงสุดของขนาดพื้นที่หน้าตัดชิ้นงานจากต้นแบบ 2.2% ซึ่งอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

อย่างไรก็ตามการวัดผลความคลาดเคลื่อนของแบบตอขาเทียมในงานวิจัยนี้เป็นการวัดด้วยการนำพื้นผิวของชิ้นงานมาเปรียบเทียบกับต้นแบบในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยอุปกรณ์เก็บข้อมูลพื้นผิวสามมิติ ซึ่งจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในขั้นตอนการแปลงผลพื้นผิวเป็นสามมิติในคอมพิวเตอร์ ในการทดลองเพื่อพัฒนาต่อไปควรใช้อุปกรณ์วัดที่สามารถวัดรูปร่างและขนาดจริงของแบบตอขาเทียมที่กัดได้โดยตรงและมีความแม่นยำ เช่น เครื่อง CMM (Coordinate Measuring Machine) แทน

4. สรุปผลการพัฒนากระบวนการผลิต

ในการพัฒนากระบวนการผลิตแบบตอขาเทียมโดยใช้แขนกล มีเป้าหมายหลักในการลดระยะเวลาการผลิต เลือกใช้วัสดุที่ไม่เป็นมลพิษและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ จากผลการพัฒนากระบวนการผลิตนี้ได้ใช้เวลาทั้งหมด 8 ชั่วโมง 58 นาที ซึ่งน้อยกว่าการผลิตแบบเดิมที่ใช้เวลา 2-3 วัน

รูปร่างของแบบตอขาเทียมที่ได้มีความคลาดเคลื่อนของพื้นที่หน้าตัดชิ้นงานจากต้นแบบสูงสุด 2.2% ซึ่งเป็นระดับที่ยอมรับได้ และแบบตอขาเทียมมีความแข็งแรงเพียงพอต่อการนำไปขึ้นรูปเบ้าขาเทียมต่อไปได้

นอกจากนี้แบบตอขาเทียมนี้ยังทำจากวัสดุที่ไม่เป็นมลพิษต่อผู้ผลิตซึ่งเป็นดินจากธรรมชาติและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินทุนสนับสนุนการวิจัยส่วนหนึ่งจากทุนสนับสนุนโครงการวิจัย ISUZU ประจำปี 2554

6. เอกสารอ้างอิง

[1] เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, กระทรวง, สำนักงาน. *ตารางสถิติ จำนวนประชากรพิการอายุ 15 - 70 ปีที่จดทะเบียนคนพิการ จำแนกตามการได้รับการส่งเสริมด้านอาชีพหรือการจัดหางานจากรัฐ เพศ และเขตการปกครอง ทั่วราชอาณาจักร พ.ศ.2550*,แหล่งที่มา http://service.nso.go.th/nso/nso_center/project/table/files/S-disable/2550/000/00_S-disable_2550_000_000000_03300.xls,
เข้าดูเมื่อวันที่ 19/12/2554.

[2] ขาเทียมในสมเด็จพระศรีนครินทราบรมราชชนนี. มูลนิธิ. *การค้นคว้าประดิษฐ์ชิ้นส่วนขาเทียม* แหล่งที่มา: http://prothesesfoundation.or.th, เข้าดูเมื่อวันที่ 19/12/2554.

[3] สมนึก บุญพาสไว. *CAD/CAM/CAE/CNC กับอุตสาหกรรมการผลิต,* แหล่งที่มา http://www.

servoline.com/images/column_1229496966/CAD-CAM-CAE-CNC.pdf, เข้าดูเมื่อวันที่ 19/12/2554.
[4] John J.Craig, D.C. (2005). *Introduction to Robotics Mechanics and Control*, 3rd edition, ISBN: 0-13-123629-6, Pearson Education Inc., NJ.
[5] Creaform Inc.. *Portable 3D Scanners for 3D Scanning -Handyscan 3D by Creaform,* แหล่งที่มา http://www.creaform3d.com/en/metrology-solutions/portable-3d-scanner-handyscan-3d, เข้าดูเมื่อวันที่ 19/12/2554.