

# การนำวิศวกรรมย้อนกลับ เครื่องคอมพิวเตอร์นิวเมอริกัล คอนโทรลและเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบเร็ว ในทางทันตกรรมบูรณะ Reverse Engineering, Computer Numerical Control Machining and Rapid Prototyping in Restorative Dentistry

บุญส่ง ประทีปสว่างวงศ์  
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
Boonsong Prateepsawangwong  
Faculty of Dentistry, Thammasat University

ชม. ทันตสาร 2561; 39(2) : 13-29  
CM Dent J 2018; 39(2) : 13-29

## บทคัดย่อ

การนำวิศวกรรมย้อนกลับ ซีเอ็นซีและการสร้างต้นแบบเร็วซึ่งเป็นเทคโนโลยีดิจิทัลทางอุตสาหกรรมมาประยุกต์ใช้ในทางทันตกรรมมีมาตั้งแต่ราวสามทศวรรษที่ผ่านมา เทคโนโลยีดิจิทัลถูกนำเข้ามาแทนที่งานที่ต้องใช้ฝีมือมากขึ้นเรื่อย ๆ รวมถึงการผลิตชิ้นงานบูรณะจากซีวีเอสดีใหม่ ๆ ที่ไม่สามารถผลิตด้วยวิธีดั้งเดิมได้ เทคโนโลยีเหล่านี้ทำให้มีพัฒนาการของศาสตร์ทางทันตแพทย์หลายสาขา รวมทั้งสาขาทันตกรรมบูรณะและกำลังก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านการศึกษาและการรักษาทางทันตกรรม วารสารทางทันตกรรมจำนวนมากตีพิมพ์บทความ งานวิจัยเกี่ยวกับทันตกรรมดิจิทัล ห้องปฏิบัติการทางทันตกรรมใช้เทคโนโลยีดิจิทัลในการผลิตชิ้นงานบูรณะมากขึ้น โรงเรียนทันตแพทย์ส่วนหนึ่งเริ่มบรรจุเทคโนโลยี

## Abstract

An adoption of the industrial application related to reverse engineering, computer numerical control (CNC), and rapid prototyping has been made in dentistry during the last couple of decades. Digital technology has become increasingly involved in dentistry to replace what were previously manual tasks as well as in response to new biomaterials that cannot be processed by the conventional methods. The evolution of these technologies has led to a perceptible impact on many dental disciplines, including restorative dentistry. Accordingly, the dental educational landscape has been and will continue to be changed relative to dental education

Corresponding Author:

บุญส่ง ประทีปสว่างวงศ์  
อาจารย์ คณะทันตแพทยศาสตร์  
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Boonsong Prateepsawangwong  
Lecturer, Faculty of Dentistry, Thammasat University  
Pathumthani, 12121, Thailand  
E-mail: prabo@tu.ac.th

ทันตกรรมดิจิทัลบางอย่างในหลักสูตรทันตแพทยศาสตร์บัณฑิตหรือสร้างหลักสูตรใหม่สำหรับหัวข้อนี้โดยเฉพาะ เพื่อให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงที่กำลังดำเนินอยู่และสามารถนำวิธีการใหม่ ๆ นี้ไปใช้ประโยชน์ได้เต็มที่ทันตแพทย์ควรมีความรู้พื้นฐานของเทคโนโลยีดังกล่าว บทความปริทัศน์นี้นำเสนอหลักการทำงานของเทคโนโลยีเหล่านี้

**คำสำคัญ:** ทันตกรรมบูรณะ วิศวกรรมย้อนกลับ สแกนเนอร์ในช่องปาก แคนด/แคม ซีเอ็นซี การสร้างต้นแบบเร็ว

and patient care. Topics covered in most dental journals nowadays include digital technology in dental treatment. Laboratories are increasingly using digital technology to fabricate restorations. Dental schools start to embrace some digital dental technologies in their undergraduate curricula or design a separate course. To keep pace with these ongoing changes, dentists require certain basic knowledge if they are to benefit from these new procedures. This article provides an overview of how these technologies work.

**Keywords:** restorative dentistry, reverse engineering, intraoral scanner, CAD/CAM, CNC, rapid prototyping

**บทนำ**

ตั้งแต่อดีตจวบจนถึงปัจจุบัน งานทันตกรรมบูรณะทางอ้อม (indirect restoration) โดยมากใช้การผลิตแบบดั้งเดิม (conventional) ที่ต้องอาศัยประสบการณ์ ใช้แรงงานมากและกินเวลานาน ซึ่งมีขั้นตอนหลักคือ พิมพ์แบบ เทตาด และแบบจำลองเพื่อนำไปใช้ในการผลิตชิ้นงานด้วยกรรมวิธีหล่อแบบขี้ผึ้ง (the lost-wax process) ความถูกต้องของงานที่ผลิตด้วยวิธีนี้ขึ้นอยู่กับความถูกต้องของรอยพิมพ์ ความชำนาญและความพิถีพิถันของช่างทันตกรรมเป็นหลัก มีความพยายามในการนำเทคโนโลยีแคนด/แคม (CAD/CAM, computer-aided design/computer-aided manufacturing) มาประยุกต์ใช้ในทางทันตกรรมตั้งแต่ทศวรรษที่ 1970 โดย Bruce Altschuler ในประเทศสหรัฐอเมริกา Francois Duret ในประเทศฝรั่งเศส Werner Mörmann และ Marco Brandestini ในประเทศสวิตเซอร์แลนด์<sup>(1)</sup> แต่แคนด/แคมในทางทันตกรรมระบบแรกที่ประสบความสำเร็จในเชิงพาณิชย์เป็นผลงานของ Dr. Werner Mörmann ทันตแพทย์ชาวสวิตเซอร์แลนด์กับ Marco Brandestini วิศวกรไฟฟ้าชาวอิตาลี ที่มหาวิทยาลัยซูริก ในนาม CEREC<sup>®</sup> ของบริษัท Sirona Dental Systems ในปี ค.ศ. 1987<sup>(2)</sup> ต่อมาจึงมีบริษัทจำนวนมากพัฒนาและผลิตแคนด/แคมในทางทันตกรรมที่

แปลงอย่างกว้าง ๆ เป็นระบบที่ใช้ในห้องปฏิบัติการและระบบที่ใช้ข้างเก้าอี้ทันตกรรม นอกจากนี้แคนด/แคมทางทันตกรรมยังอาจแบ่งตามความสามารถในการแบ่งปันข้อมูลเป็นระบบเปิดและระบบปิด ระบบปิดคือระบบที่ขั้นตอนต่าง ๆ ตั้งแต่การเก็บข้อมูล การออกแบบและการผลิตชิ้นงานบูรณะถูกรวมเบ็ดเสร็จในตัว ไม่สามารถให้ผสมผสานกับระบบอื่นได้ ส่วนระบบเปิดยอมให้มีการแลกเปลี่ยนข้อมูลดิจิทัลของแคนดซอฟต์แวร์กับอุปกรณ์แคมจากต่างบริษัทได้

เทคโนโลยีแคนด/แคมยังถูกนำมาประยุกต์ใช้กับทันตชีววัสดุใหม่ ๆ ที่ไม่สามารถผลิตด้วยวิธีดั้งเดิม เช่น อลูมินา (alumina) และเซอร์โคเนีย (zirconia) ซึ่งเป็นเซรามิกความแข็งแรงสูง (high strength ceramic) การใช้แคนด/แคมในการผลิตฟันปลอมบนรากเทียม (dental implant)<sup>(3,4)</sup> และที่ยังอยู่ในขั้นศึกษา คือ การนำแคนด/แคมมาประยุกต์ใช้กับงานฟันปลอมบางส่วนถอดได้<sup>(5)</sup> และฟันปลอมทั้งปาก<sup>(6-10)</sup> การนำแคนด/แคมมาประยุกต์ใช้ในทางทันตกรรมมีมานานเกือบ 3 ทศวรรษ แม้การใช้ยังไม่เป็นที่แพร่หลาย แต่เป็นที่แน่นอนว่าเทคโนโลยีดิจิทัลรวมถึงแคนด/แคมจะเข้ามาแทนที่เทคนิคแบบดั้งเดิมมากขึ้นเรื่อย ๆ และจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งในด้านการศึกษาและการรักษาทางทันตกรรมในระยะเวลาอันใกล้<sup>(11-13)</sup>

## วิศวกรรมย้อนกลับ (Reverse Engineering)

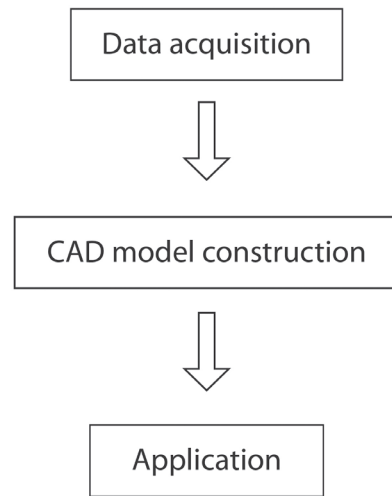
วิธีผลิตงานทางทันตกรรมด้วยเทคโนโลยีแคด/แคมมีรากฐานมาจากการนำวิศวกรรมย้อนกลับมาใช้ในการแปลงชิ้นหล่อ หรือโครงสร้างในช่องปากให้เป็นข้อมูลดิจิทัล แล้วนำมาใช้ออกแบบชิ้นงานบูรณะและผลิตด้วยเครื่องซีเอ็นซี (CNC, computer numerical control) หรือเทคนิคการสร้างต้นแบบเร็ว (rapid prototyping)<sup>(14,15)</sup> การผลิตงานทางวิศวกรรมโดยทั่วไปเริ่มต้นด้วยการออกแบบและสร้างต้นแบบ 3 มิติด้วยโปรแกรมแคด ทำการวิเคราะห์และผลิตออกมาเป็นชิ้นงานจริง ส่วนวิศวกรรมย้อนกลับเป็นการทำกลับกัน คือ เป็นการสร้างแบบจำลอง 3 มิติของชิ้นงานจริงเพื่อนำไปสู่การผลิตชิ้นงานที่เหมือนเดิมทุกประการ หรือนำข้อมูลที่ได้มาจากชิ้นงานเก่าไปแก้ไขจุดบกพร่องเพื่อผลิตเป็นแบบใหม่ (redesign) ในอดีตใช้วิศวกรรมย้อนกลับกับชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ แต่เอกสารการออกแบบผลิตภัณฑ์ดังกล่าวสูญหาย ถูกทำลายหรือผู้ผลิตยกเลิกการผลิตไปแล้ว<sup>(16)</sup>

วิธีการสร้างแบบจำลอง 3 มิติแรกเริ่มอาศัยการวัดขนาดของวัตถุด้วยเครื่องมือ เช่น วงเวียน คาลิปเปอร์ แล้วนำข้อมูลจากการวัดไปวาดภาพซึ่งนักเขียนโปรแกรมแคดนำไปอนุมานเป็นภาพแบบดิจิทัล วิธีการดังกล่าวต้องใช้ความพยายามสูง กินเวลามากและทำไม่ได้กับวัสดุที่มีทรวดทรงซับซ้อน ต่อมาจึงพัฒนามาเป็นการใช้หัววัด (probe) เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ หรือการสแกนด้วยแสง (optical scan) ซึ่งสามารถวัดได้ครอบคลุมกว่า ดังนั้น คำจำกัดความอีกอย่างหนึ่งของวิศวกรรมย้อนกลับจึงเป็นการสร้างแบบจำลองแคด (CAD model) ด้วยการสแกนวัตถุทางกายภาพ<sup>(16,17)</sup>

โดยทั่วไปวิศวกรรมย้อนกลับแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน<sup>(16,18,19)</sup> คือ การเก็บข้อมูล (data acquisition) การสร้างแบบจำลองแคด (CAD model construction) และการใช้ประโยชน์ (application) ดังรูปที่ 1

### การเก็บข้อมูล

ขั้นตอนแรกของวิศวกรรมย้อนกลับคือ การสแกนเพื่อเก็บข้อมูลรูปร่างของวัตถุด้วยสแกนเนอร์สามมิติ (3D scanner) ได้ผลเป็นพอยต์คลาวด์ (point cloud) ที่แทนรูปร่างของวัตถุ เทคโนโลยีสแกนภาพ 3 มิติ แบ่งออกเป็น



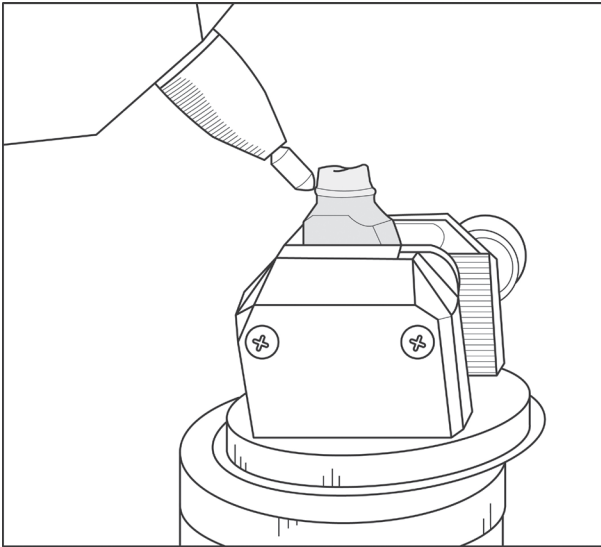
รูปที่ 1 ขั้นตอนพื้นฐานของวิศวกรรมย้อนกลับ

Figure 1 Basic process of reverse engineering

2 แบบ คือ แบบมีการสัมผัส (contact scanner) และแบบไม่มีการสัมผัส (non-contact scanner)

### สแกนเนอร์แบบมีการสัมผัส

สแกนเนอร์แบบมีการสัมผัสอาศัยหัววัด (probe) เคลื่อนไปบนผิววัตถุ อาจเป็นแบบทำด้วยมือ (manual) หรือแบบอัตโนมัติ เช่น เครื่องซีเอ็มเอ็ม (CMM, coordinate measuring machine) ซึ่งมีระบบกลไกเคลื่อนหัววัดไปบนผิววัตถุเพื่อวัดพิกัดของจุดบนพื้นผิว ส่วนประกอบหลักของซีเอ็มเอ็มมี 3 ส่วน คือ หัววัด กลไกเคลื่อนหัววัดและคอมพิวเตอร์ที่ประกอบด้วยซอฟต์แวร์เกี่ยวกับการวัด หัววัดทำหน้าที่วัดพิกัด x, y, และ z ของจุดขณะเคลื่อนไปบนผิววัตถุตามความถี่ที่ตั้งไว้ให้ผลเป็นพอยต์คลาวด์ที่เป็นตัวแทนรูปร่างของวัตถุ ข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งต่อไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อผ่านขั้นตอนต่อ ๆ ไป การสแกนแบบมีการสัมผัสใช้ได้กับพื้นผิวที่แข็งเพราะแรงกดของหัววัด ทำให้ผิวที่อ่อนนุ่มผิดรูปไม่สามารถใช้สแกนเนื้อเยื่อในปาก จึงมีใช้ในห้องปฏิบัติการทันตกรรมสำหรับสแกนตายหรือแบบจำลองเท่านั้น ตัวอย่างของสแกนเนอร์แบบมีการสัมผัสที่มีใช้ในทางทันตกรรม ได้แก่ ProCera<sup>®</sup> touch probe scanner ของบริษัท Nobel Biocare<sup>™</sup> (รูปที่ 2) และ DS10 contact scanner ของบริษัท



รูปที่ 2 สแกนเนอร์แบบสัมผัสของบริษัท โนเบล ไบโอแคร์  
**Figure 2** The Noble Biocare™ contact probe scanner

Renishaw สแกนเนอร์แบบมีการสัมผัสมีความแม่นยำและความถูกต้องพอ ๆ กับสแกนเนอร์แบบไม่มีการสัมผัส<sup>(20-23)</sup> ข้อเสียประการหนึ่งของการเก็บข้อมูลแบบนี้ คือ ใช้เวลานานกว่าแบบไม่มีการสัมผัส เนื่องจากการบันทึกพิกัดทำอย่างเป็นลำดับทีละจุด ๆ<sup>(24)</sup>

**สแกนเนอร์แบบไม่มีการสัมผัส**

สแกนเนอร์แบบไม่มีการสัมผัสบันทึกข้อมูลรูปทรงวัตถุโดยการฉายแสงไปบนวัตถุและรับแสงสะท้อนกลับด้วยอุปกรณ์รับแสง (photoreceptor device) แสงสะท้อนกลับถูกนำมาคำนวณเป็นรูปทรงของวัตถุด้วยเทคโนโลยีออปติก (optical technology) ต่าง ๆ<sup>(25)</sup> โดยหัวข้อต่อไปจะนำเสนอ บางส่วนของเทคโนโลยีเหล่านี้

**1. ไตรแองกูลേഷัน (Triangulation)**

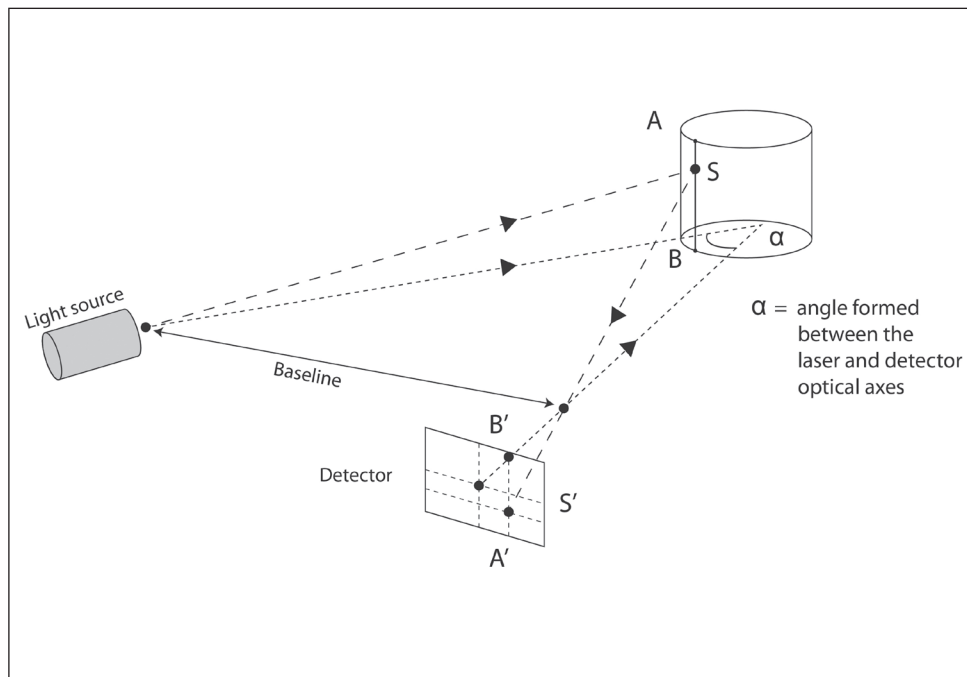
เทคโนโลยีนี้ใช้ระยะระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับแหล่งรับแสง (ซึ่งมีค่าคงที่) มุมระหว่างลำแสงตกกระทบกับแสงสะท้อนบนผิววัตถุในการคำนวณหาตำแหน่งแสงบนผิววัตถุ<sup>(19)</sup> สำหรับไตรแองกูลേഷันแบบแอ็กทีฟ (active triangulation) ใช้ลำแสงเลเซอร์ส่องไปบนผิววัตถุที่ต้องการสแกนและใช้อุปกรณ์ไวแสงบันทึกตำแหน่งที่แสงที่สะท้อนกลับตำแหน่งและมุมที่กระทำต่อกันระหว่างแหล่งกำเนิดแสงและอุปกรณ์รับแสงมีค่าคงที่ จึงคำนวณพิกัด x, y, z ของจุดที่

แสงเลเซอร์ตกกระทบบนผิววัตถุได้ด้วยหลักตรีโกณมิติ (รูปที่ 3) วิธีนี้จะได้พิกัดบนผิววัตถุทีละจุด จึงใช้เวลานานกว่าจะสแกนได้ครอบคลุมพื้นผิวทั้งหมด เพื่อความรวดเร็วจึงใช้ลำแสงที่มีแบบแผน (pattern) แทนลำแสงแบบจุดได้แก่ แสงแบบเป็นแถบหรือเป็นเส้น (sheet or line) แสงแบบเป็นริ้ว (stripe) เป็นต้น<sup>(26)</sup> เมื่อส่องแสงที่มีแบบแผนเหล่านี้ตกกระทบกับผิววัตถุ ภาพที่ได้จากแสงที่สะท้อนกลับสามารถนำมาวิเคราะห์หรือออกมาเป็นพิกัดของจุดต่าง ๆ บนผิวของวัตถุด้วยหลักตรีโกณมิติเช่นเดียวกัน (รูปที่ 4)

สแกนเนอร์ในช่องปาก (intraoral scanner) ที่ทำงานด้วยหลักโทรแองกูลേഷัน คือ สแกนเนอร์ CEREC Bluecam ซึ่งใช้ริ้วของแสงสีน้ำเงินส่องไปบนฟัน ริ้วของแสงที่สะท้อนกลับไปยังส่วนรับภาพจะถูกบิดตามรูปทรงของฟัน ซึ่งนำมาคำนวณพิกัดรูปทรงของฟันได้ (รูปที่ 5) ส่วน CEREC รุ่นล่าสุด คือ CEREC Omnicam ก็ยังคงใช้หลักการเดียวกัน แต่เปลี่ยนจากการถ่ายภาพนิ่งมาเป็นวิดีโอทัศน์และภาพที่ปรากฏเป็นภาพสี

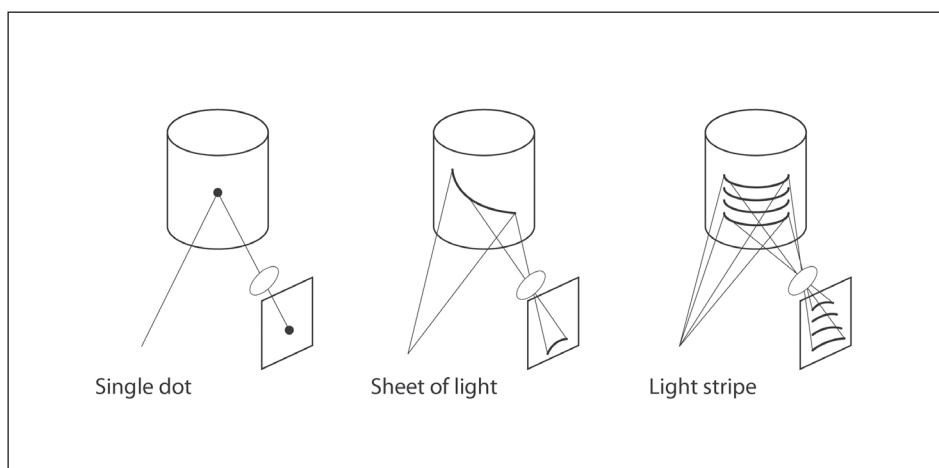
**2. แอ็กทีฟเวฟฟรอนต์แซมปลิ่ง (Active Wavefront Sampling)**

แอ็กทีฟเวฟฟรอนต์แซมปลิ่ง หรือ เอดับเบิลยูเอส (AWS) เป็นเทคนิคการสร้างภาพสามมิติด้วยเลนส์เดี่ยว (single-lens) ที่อาศัยหลักดีโฟเฟติ (DFD, principle of depth from defocus) ซึ่งอธิบายให้เข้าใจได้ง่าย ๆ ดังนี้ กล้องถ่ายภาพมีระยะชัดลึก (depth-of-field) คือระยะที่ภาพบนจอชัดจำกัด จุดที่อยู่บนระนาบในระยะโฟกัสเท่านั้นจึงจะปรากฏเป็นจุดชัดบนเซ็นเซอร์รับภาพ หากเลื่อนจุดออกไปอยู่หน้าหรือหลังต่อระยะโฟกัส ภาพที่ปรากฏจะเป็นวงกลมเบลอ เส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมเบลอจะมีขนาดเพิ่มขึ้นตามความห่างของจุดจากระนาบโฟกัส (focal plane) ระยะจากจุดตั้งกล่าวถึงตัวกล้องคำนวณได้จากสูตร เมื่อทราบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมเบลอ ระยะโฟกัสและความกว้างของหน้าเลนส์<sup>(27)</sup> (รูปที่ 6) แต่การใช้หลักการนี้กับวัตถุที่มีทรวดทรงทำให้เกิดวงกลมเบลอซ้อนกันจนยากแก่การแยกแยะ วิธีแก้ปัญหา คือ ติดแผ่นกั้นที่มีรูให้แสงผ่านอยู่ตรงนอกแกน (off axis aperture) โดยแผ่นกั้นหมุนเป็นวงกลมรอบแกนออปติก (optical axis) ภาพจะปรากฏเป็น



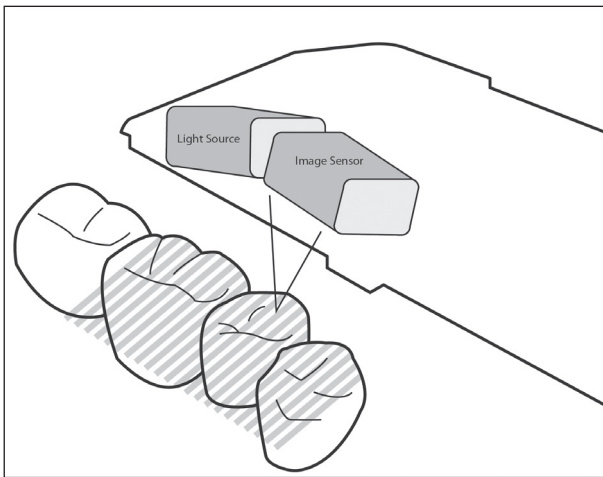
**รูปที่ 3** หลักการส่องกล้องเลเซอร์คำนวณตำแหน่งจุดบนผิววัตถุจากลำแสงที่สะท้อนไปตกบนจอร์รับภาพซึ่งมีตำแหน่งคงที่สัมพันธ์กับแหล่งกำเนิดแสง

**Figure 3** Schema of triangulation principle: The system projects light spot on an object's surface, and measures the position of the reflected light by a detector located in a known position with respect to the light emitter (Modified from Sansoni G, Trebeschi M, Docchio F. State-of-the-art and applications of 3D imaging sensors in industry, cultural heritage, medicine, and criminal investigation. *Sensor* 2009; 9:571.)



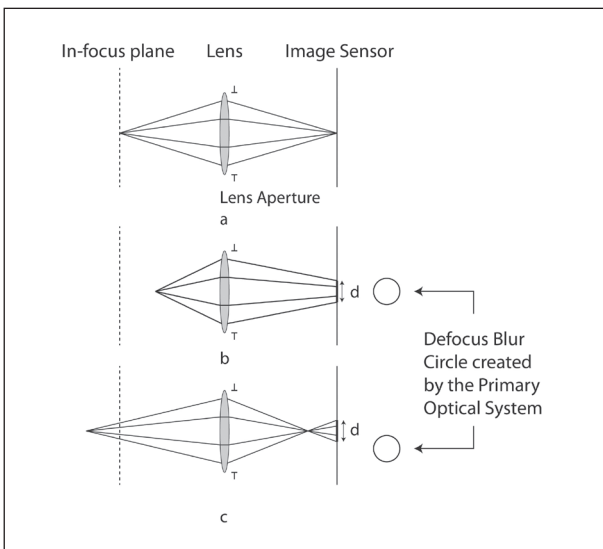
**รูปที่ 4** แสงในรูปแบบต่าง ๆ ที่ใช้ในการสแกนวัตถุ

**Figure 4** Different light patterns used in structured-light scanners (Modified from Pham DT, Hieu LC. Reverse engineering-hardware and software. In: Raja V, Fernandes KJ, ed: Reverse engineering: an industrial perspective. London: Springer-Verlag; 2008: 33-69.)



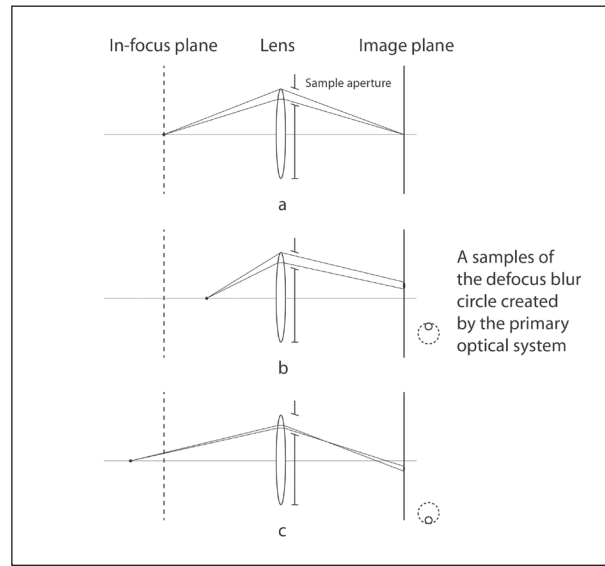
รูปที่ 5 สแกนเนอร์ CEREC ทำงานด้วยหลักไทรแองกูเลชันแบบแอ็กทีฟ โดยใช้ริ้วของแสงส่องไปบนวัตถุ

Figure 5 The CEREC scanner employs active triangulation principle, in which a light stripe is projected on an object.



รูปที่ 6 หลักการของดีโฟกัส คือ ภาพของวัตถุที่อยู่ในระยะโฟกัสจะปรากฏเป็นจุดบนจอภาพ (a) ส่วนวัตถุที่อยู่ใกล้หรือไกลออกไปจะปรากฏเป็นวงกลมเบลอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแปรผันตามระยะทาง (b และ c)

Figure 6 Principle of depth from defocus: In-focus point object forms a point image (a). Near and far objects form blur circles whose diameter vary with distance (b and c respectively) (Modified from Hong W. Light field applications to 3-dimensional surface imaging. Bachelor of Science (Mechanical Engineering). Massachusetts Institute of Technology, 2009.)

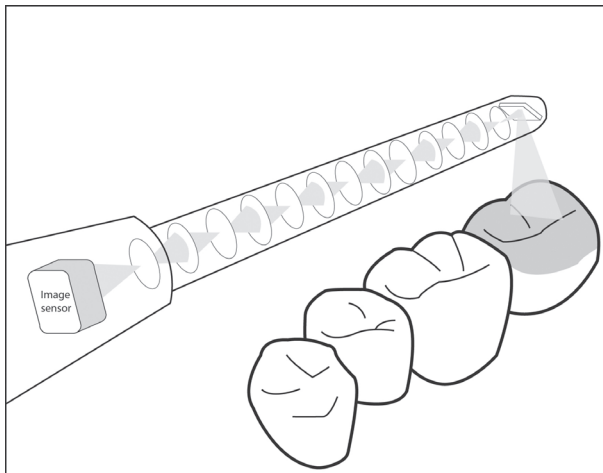


รูปที่ 7 หลักแอ็กทีฟเวฟฟรอนต์แซมปลิ่ง วัตถุที่อยู่ในระยะโฟกัสจะอยู่กับที่ (a) ส่วนวัตถุที่อยู่ใกล้หรือไกลออกไปจะปรากฏอยู่บนและล่างแกนออปติก (a และ b ตามลำดับ)

Figure 7 Principle of active wavefront sampling. In-focus point object remains stationary (a) while the images of near and far objects are displaced upwards and downwards respectively (b and c) (Modified from Hong W. Light field applications to 3-dimensional surface imaging. Bachelor of Science (Mechanical Engineering). Massachusetts Institute of Technology, 2009.)

วงกลมบนเซ็นเซอร์ ข้อมูลด้านความลึกคำนวณได้จากขนาดของรัศมีวงกลมที่เกิดจากการหมุนของรูปเปิดดังกล่าว (รูปที่ 7) เทคนิคการสร้างภาพสามมิติจากหลักการนี้เรียกว่า แอ็กทีฟเวฟฟรอนต์แซมปลิ่ง (Active wavefront sampling)<sup>(28)</sup>

สแกนเนอร์ในช่องปากที่ทำงานด้วยหลักแอ็กทีฟเวฟฟรอนต์แซมปลิ่งคิดค้นโดยบริษัท Brontes Technologies ที่เมืองเล็กซิงตัน รัฐแมสซาชูเซตส์ สหรัฐอเมริกา และเป็นลิขสิทธิ์ของบริษัท 3M ESPE ในปลายปี 2006 ผลิตออกจำหน่ายในนาม LAVA™ Chairside Intraoral Scanner (C.O.S.) ในปี ค.ศ. 2008<sup>(25)</sup> (รูปที่ 8) และเปลี่ยนชื่อเป็น 3M™ True Definition Scanner เมื่อผลิตเป็นรุ่นที่ 2 ในปี ค.ศ. 2012 บริษัทผู้ผลิตระบุว่า เป็นสแกนเนอร์สามมิติที่ถ่ายภาพเป็นวิถีทัศนนำมาเชื่อมต่อกัน



**รูปที่ 8** สแกนเนอร์ Lava COS ใช้หลักการของแอ็กทิฟเวฟฟรอนต์แซมปลิง แสงสะท้อนจากฟันจะถูกส่งผ่านไปยังระบบเลนส์ไปตกบนจอร์รับภาพ หากส่วนนั้นอยู่ในระนาบโฟกัส ระยะจากจุดตั้งกล้องฟันจะเท่ากับความยาวโฟกัสของเลนส์ แต่ถ้าจุดตั้งกล้องไม่ได้อยู่ในระนาบโฟกัส สามารถคำนวณระยะจากขนาดของวงกลมเบลอ

**Figure 8** The Lava COS scanner utilizes active wavefront sampling technology. The image reflected from the teeth is led through a lens system and finally projected onto a sensor. If the image is in focus, the distance of the object coincides with the focus length of the lens. If the image is out-of-focus, the distance from the lens to the object can be calculated from the size of the blurred circle.

### 3. คอนโฟคอลไมโครสโคปี (Confocal Microscopy)

หลักการงานของการถ่ายภาพคอนโฟคอลถูกคิดค้นโดย Marvin Minsky เมื่อปี ค.ศ. 1955 ขณะเป็นนักวิจัยระดับหลังปริญญาเอกที่มหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ด และจดสิทธิบัตรในปี ค.ศ. 1957 การถ่ายภาพแบบคอนโฟคอลเป็นการแก้ไขปัญหาข้อจำกัดของกล้องจุลทรรศน์แสงฟลูออเรสเซนซ์แบบมุมมองกว้าง (wide-field fluorescence microscope) ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบนี้มีส่วนของตัวอย่าง (specimen) ที่อยู่นอกระยะชัดลึกปนอยู่ด้วยจึงมีความเบลอปนอยู่ในภาพทำให้แยกรายละเอียดไม่ได้ ส่วนกล้องจุลทรรศน์คอนโฟคอล

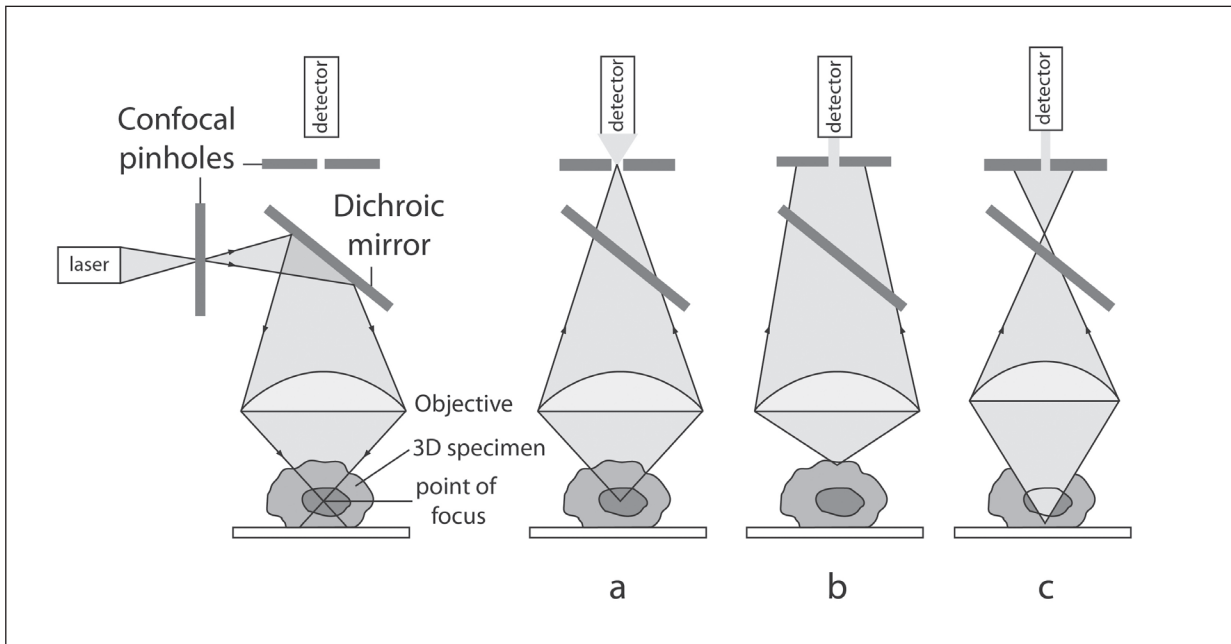
ให้ภาพที่คมชัดด้วยการกันแสงส่วนที่อยู่นอกระยะโฟกัสออกไป (รูปที่ 9) การรับแสงเป็นแบบทีละจุดตรงจุดโฟกัสจึงต้องสแกนภาพในระนาบนั้นทั้งชิ้น แล้วใช้คอมพิวเตอร์ในการประกอบเป็นภาพสองมิติ เมื่อนำภาพจากแต่ละระนาบโฟกัสมาประกอบต่อเนื่องกันก็จะได้ภาพสามมิติของชิ้นตัวอย่าง<sup>(29)</sup>

สแกนเนอร์ในช่องปากที่ทำงานด้วยหลักของคอนโฟคอลไมโครสโคปีได้แก่ iTero ของบริษัท Align Technology และ TRIOS<sup>®</sup> ของบริษัท 3Shape การถ่ายภาพคอนโฟคอลแบบเดิมเป็นการใช้แสงเลเซอร์สแกนทีละจุด แต่ iTero ใช้แพราเลลคอนโฟคอล (parallel confocal) (รูปที่ 10) ที่ประกอบด้วยไมโครเลนส์รับแสงถึง 100,000 จุด ปรับระยะโฟกัสได้ 300 ระนาบ แต่ละระนาบห่างกันประมาณ 25 ไมครอน สแกนเนอร์ที่ใช้เทคโนโลยีนี้ไม่ต้องทา (coat) สารลดการสะท้อนแสง<sup>(2)</sup>

นอกจากนี้ยังมีเทคโนโลยีออปติกอื่น ๆ เช่น ออพติคัลโคฮีเรนซ์โทโมกราฟี (optical coherence tomography) ซึ่งมีหลักการทำงานคล้ายอัลตราซาวด์ แต่ใช้คลื่นแสงแทนคลื่นเสียงความถี่สูง<sup>(30)</sup> และแอกคอร์ดียนเฟรินจ์อินเตอร์เฟอริเมทรี (accordion fringe interferometry)<sup>(25)</sup> เป็นต้น

### การสร้างแบบจำลองแคด (CAD Model Construction)

ข้อมูลจากการสแกน คือ พอยต์คลาวด์ในพิกัด x, y, z ที่แทนรูปทรงของวัตถุ<sup>(15)</sup> โดยทั่วไปการสแกนด้วยเทคโนโลยีแสงมีปัญหาในการอ่านพื้นผิววัตถุที่ขานานหรือเป็นส่วนคอด (undercut) ต่อทิศทางลำแสง นอกจากนี้ผิวที่เป็นมันเงายังก่อให้เกิดการสะท้อนที่ไม่พึงประสงค์ ส่วนการสแกนในช่องปากมีข้อจำกัดต่อไปนี้เพิ่มขึ้น คือ มีขอบเขตการมองเห็น (field of view) ที่แคบ ระยะโฟกัสถูกจำกัดอยู่ที่ประมาณ 3-4 นิ้ว การสแกนครั้งหนึ่งครอบคลุมฟันได้ประมาณ 3 ซี่<sup>(31)</sup> เนื้อเยื่อมีการสะท้อนแสงที่ต่างกัน มีรูปทรงซับซ้อน เต็มไปด้วยรายละเอียดเล็ก ๆ วิธีแก้ปัญหาคือ แบ่งสแกนเป็นบริเวณ ๆ ละมากกว่าหนึ่งมุมมอง (multi-view) ทั้งนี้แต่ละบริเวณต้องมีส่วนที่เหลื่อมกัน และในบางเทคนิคต้องทา (coat) เนื้อเยื่อที่สแกนด้วยสารกันการสะท้อนที่ไม่พึงประสงค์ การสแกนเป็นบริเวณทำให้ได้ชุดของพอยต์คลาวด์แบบบางส่วน (partial) หลายมุมมอง (multi-angle) ที่ต้องนำมาต่อและ



**รูปที่ 9** หลักการทำงานของคอนโฟคอลไมโครสโคปี คือ หน้าจอร์รับภาพมีรูบนระนาบคอนจูเกตกับระนาบโฟกัสของเลนส์วัตถุทำหน้าที่กันแสงนอกระนาบโฟกัส ยอมให้เฉพาะแสงจากรนาบโฟกัสผ่านไปยังจอร์รับภาพ

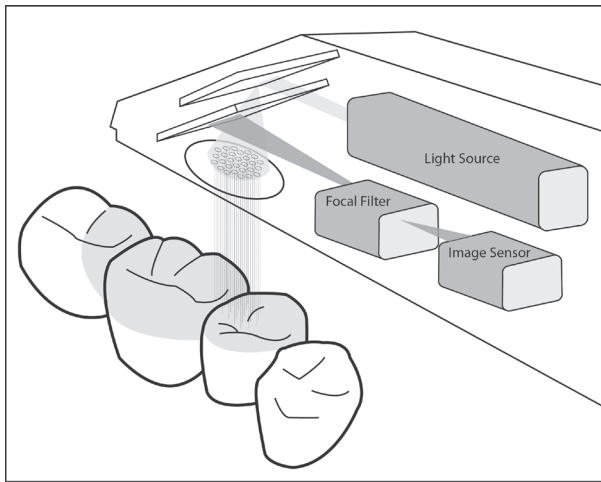
**Figure 9** Basic set up of confocal microscopy. Light coming from the focal plane can pass through the pin hole in front of the detector on a plane conjugate to the focal plane of the objective lens (a), whereas light coming from above and below the focal plane cannot (b) and (c)  
(Modified from Alberts B, Johnson A, Lewis J, Raff M, Roberts K, Walter P. *Molecular biology of the cell*. 5th ed. New York: Garland Science; 2008:591.)

จัดให้อยู่ในระบบพิกัดรวม (global coordinate system) เพื่อให้ได้เป็นพอยต์คลาวด์ที่เป็นตัวแทนรูปทรงวัตถุทั้งชิ้น ด้วยกระบวนการที่เรียกว่า รีจิสเตอร์ซันและสติชซิง (registration and stitching) ซึ่งมีหลายวิธี<sup>(32)</sup> แต่บริษัทผู้ผลิตสแกนเนอร์ในช่องปากมีอัลกอริทึม (algorithm) ที่เป็นกรรมสิทธิ์เฉพาะสำหรับการนี้

พอยต์คลาวด์จากเครื่องสแกนที่ใช้เทคโนโลยีแสงมักมีความหนาแน่นมากเกินจึงมีขั้นตอนการลดจำนวนข้อมูล (data thinning) พร้อม ๆ กับขจัดข้อมูลส่วนที่อยู่นอกกลุ่ม (outlier) ออกซึ่งทำยที่สุดอาจเหลืออยู่เพียงร้อยละ 10 ก็เพียงพอแก่การนำมาสร้างพื้นผิว<sup>(33)</sup> การมองภาพวัตถุสามมิติจากพอยต์คลาวด์มีปัญหาในบางมุมมอง จึงแปลงพอยต์คลาวด์เป็นข่ายพอลิกอน (polygon mesh)<sup>(34)</sup> ซึ่งประกอบด้วยสามเหลี่ยมที่ได้จากการเชื่อมจุดข้างเคียงสามจุด (triangulation)

ภายในพอยต์คลาวด์ (รูปที่ 11) ข่ายดังกล่าวจะมีรูปร่างและขนาดใกล้เคียงกับวัตถุที่สแกนเพียงใดขึ้นอยู่กับขนาดของสามเหลี่ยม ซึ่งหากมีความละเอียดสูงขนาดของไฟล์และเวลาในการประมวลก็จะมากขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตามโครงข่ายพอลิกอนก็ยังไม่เหมือนวัตถุที่สแกนซึ่งมีผิวที่เกลี้ยง จึงต้องผ่านกระบวนการปรับแต่งด้วยอัลกอริทึมเพื่อให้ด้านและมุมเกลี้ยงขึ้น จากนั้นจึงเติมแสงเงาเพื่อให้ดูเหมือนจริง วิธีอื่นในการสร้างแบบสามมิติของพื้นผิววัตถุ คือ NURBS (non-uniform rational B-spline)<sup>(15,35)</sup> เนิร์บเซอร์เฟซ (NURBS surface) จัดเป็นเอาต์พุตที่ให้รายละเอียดถูกต้องสูงสุดของวิศวกรรมย้อนกลับ<sup>(36)</sup> รายละเอียดของวิธีการนำพอยต์คลาวด์มาสร้างเป็นพื้นผิวเป็นความลับทางการค้า ไม่มีผู้ผลิตใดเปิดเผยข้อมูล ผลลัพธ์ของขั้นตอนนี้คือ แบบจำลองแคดหรือแบบจำลองเสมือนจริงสามมิติของพื้นและ/หรือเนื้อเยื่อในช่องปาก





**รูปที่ 10** การทำงานของสแกนเนอร์ iTero ใช้หลักแฟรแลลคอนโฟคอล แสงที่สะท้อนกลับถูกเบนไปยังส่วนกรองที่ยอมให้เฉพาะภาพในระนาบโฟกัสผ่านไปตกบนจอรับภาพ ในการสแกนวัตถุทั้งชิ้นไมโครเลนส์จะเคลื่อนที่ขึ้นลงพร้อมทั้งส่งภาพที่ระนาบโฟกัสไปบนจอรับภาพ

**Figure 10** The iTero scanner uses parallel confocal laser scanning principle, in which the reflected beams are led to a focal filter so that only images that lie in the focal plane of the micro-lenses can project on the sensor. To scan the whole object, the micro-lenses are moved up and down, each time projecting a part of the object onto the sensor

การนำวิศวกรรมย้อนกลับมาประยุกต์ใช้สแกนเนื้อเยื่อในช่องปากจนได้แบบจำลองแคตสามมิติบนจอคอมพิวเตอร์ เรียกว่า การพิมพ์แบบดิจิทัล (digital impression) หรือ การพิมพ์แบบออปติก (optical impression)

### การใช้ประโยชน์ (Applications)

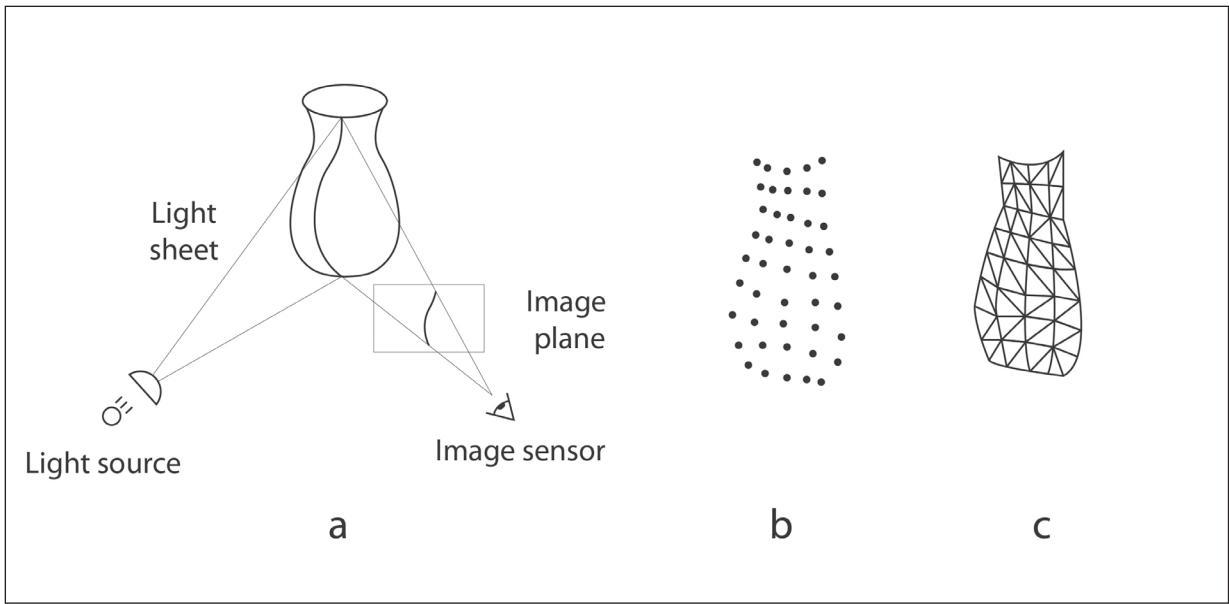
ขั้นตอนต่อจากการแปลงพอยต์คลาวด์เป็นแบบจำลองสามมิติ (3D model) คือ การนำแบบจำลองสามมิติมาออกแบบชิ้นงานบูรณะ เช่น อินเลย์ (inlay) ครอบฟันเต็มซี่

(complete crown) ครอบฟันชั้นใน (coping) หรือโครงสร้างฐาน (substructure) ซึ่งบริษัทผู้ผลิตจะมีซอฟต์แวร์มาให้ (รูปที่ 12) ข้อมูลจากการออกแบบจะถูกเก็บเป็นข้อมูลในรูปแบบ (file format) ต่าง ๆ<sup>(24)</sup> สำหรับในทางวิศวกรรม การสร้างต้นแบบเร็ว รูปแบบเอสทีแอล (STL-standard transformation language) ถือเป็นมาตรฐานในการส่งผ่านข้อมูล แต่ผู้ผลิตสแกนเนอร์ในช่องปากหลายบริษัทใช้รูปแบบเฉพาะที่ทำงานข้ามกันไม่ได้ จึงถือเป็นระบบปิด มีจำนวนน้อยที่ใช้รูปแบบเอสทีแอลซึ่งถือเป็นระบบเปิดที่สามารถใช้ร่วมกับอุปกรณ์อื่นที่อ่านไฟล์เอสทีแอลได้

ขั้นตอนสุดท้ายของวิศวกรรมย้อนกลับทางทันตกรรม คือ การผลิตชิ้นงานบูรณะจริงจากแบบจำลองแคต และนำไปผ่านขั้นตอนอื่น ๆ ก่อนนำไปยึดด้วยซีเมนต์ในปาก หากต้องการตายและแบบจำลองทางกายภาพ (physical die and model) เพื่อตรวจสอบความแนบ เพื่อวีเนียร์โครงสร้างฐานหรือตรวจสอบการสบฟัน ก็สามารถผลิตจากแบบจำลองแคตสามมิติได้เช่นเดียวกัน วิธีการผลิตชิ้นงานทางกายภาพทางวิศวกรรมแบ่งได้เป็น 2 หมวด ได้แก่ การผลิตแบบลบ (subtractive manufacturing) และการผลิตแบบบวก (additive manufacturing)<sup>(18)</sup>

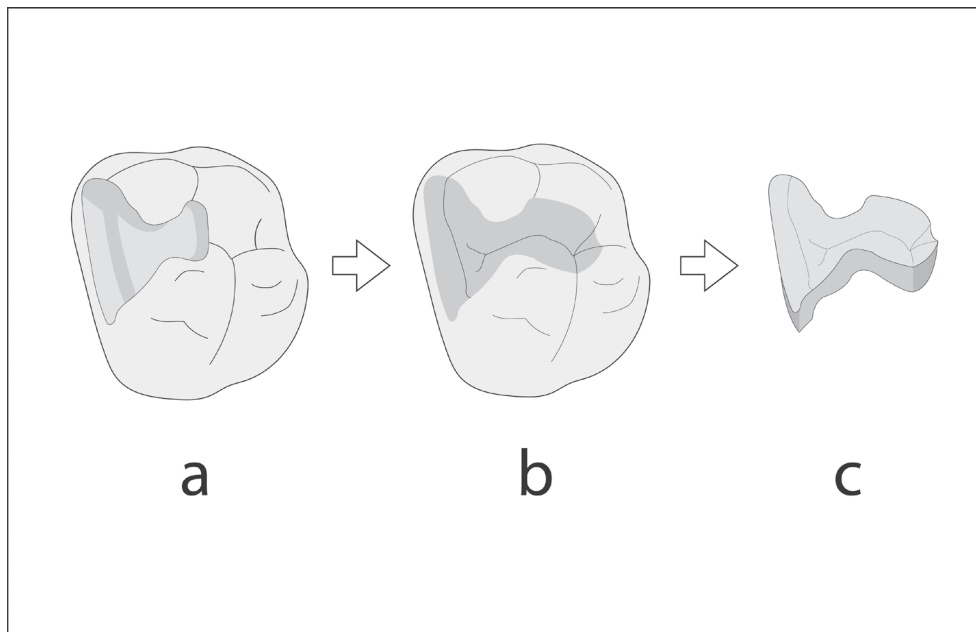
การผลิตแบบลบทำให้อัตถุเป็นรูปเป็นร่างด้วยการสกัดส่วนที่ไม่ต้องการออกจากแท่งวัสดุ แบบดั้งเดิมของวิธีนี้คือ การผลิตด้วยเครื่องเอ็นซี (NC, numerical control machining) เช่น เครื่องกัดเซาะ (milling machine) วิธีใหม่ ๆ ได้แก่ เครื่องกัดด้วยไฟฟ้า (EDM, electrical discharge machining) เครื่องกัดด้วยเลเซอร์ (laser machining)

การผลิตแบบบวกคือ การขึ้นรูปชิ้นงานตามแบบจำลองสามมิติด้วยการเติมเนื้อวัสดุเป็นชั้น ๆ ตามลำดับ โดยมีหลักการทำงานดังนี้ ผ่านแบบจำลองแคตตามขวางออกเป็นชั้น ๆ แล้วแปลงข้อมูลเพื่อใช้เป็นแนวหน้าให้เครื่องผลิตวางหรือฉีดวัสดุเป็นรูปตามภาคตัดขวางเหล่านั้นทีละชั้น ๆ จนเสร็จ (รูปที่ 13) ข้อดีของการผลิตแบบบวกคือ สามารถขึ้นรูปชิ้นงานที่มีรายละเอียด มีโครงสร้างภายในซับซ้อน สามารถปรับแปรสัดส่วนของวัสดุผสม (graded composition) ได้ สิ้นเปลืองวัสดุคิบน้อยกว่าเพราะไม่มีการสกัดออก<sup>(18,37)</sup>



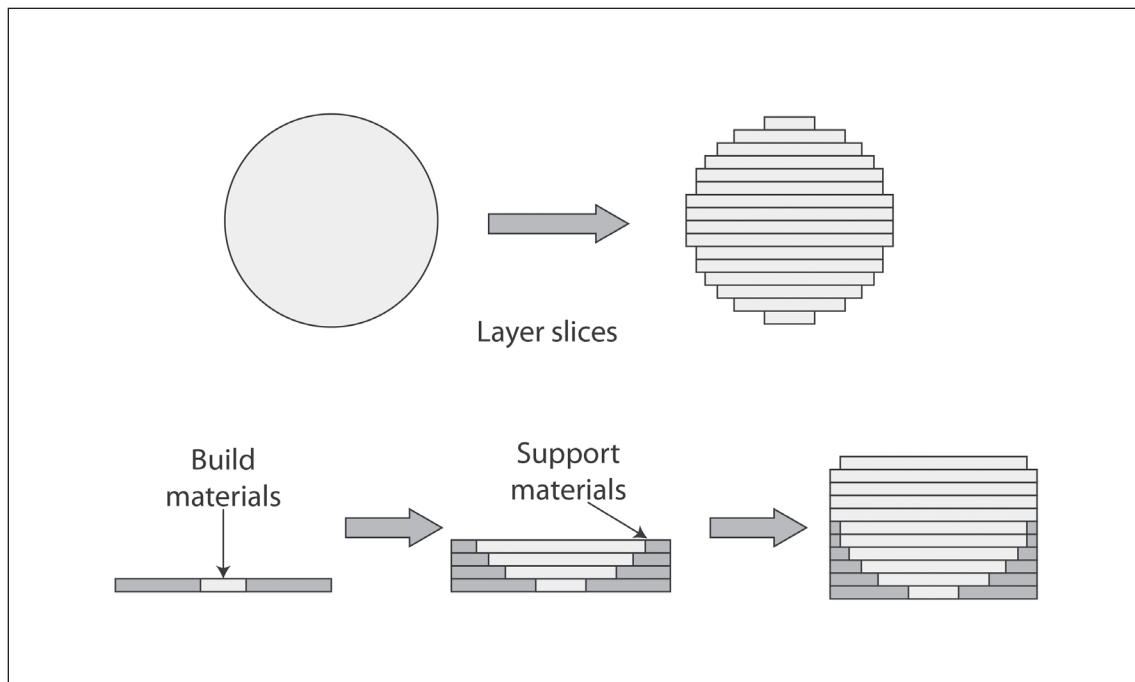
รูปที่ 11 ขั้นตอนพื้นฐานของการสร้างแบบจำลองแคดประกอบด้วย การสแกนวัตถุ (a) จนได้พอยต์คลาวด์ (b) และประมวลพอยต์คลาวด์เป็นซายพอลิกอน

Figure 11 Schematic of a CAD model construction: scanning (a) to point cloud (b) and polygon mesh (c) (Modified from Curless B, Levoy M. A volumetric method for building complex models from range images [monograph on the Internet]. Computer Based Learning Unit, University of Leeds; [cited 2017 JUN 30]) Available from [https://graphics.stanford.edu/papers/volrange/paper\\_2\\_levels/node1.html](https://graphics.stanford.edu/papers/volrange/paper_2_levels/node1.html))



รูปที่ 12 การนำแบบจำลองแคดที่ได้จากการสแกนฟันมาออกแบบอินเลย์ด้วยซอฟต์แวร์ของบริษัทผู้ผลิต

Figure 12 The scanned CAD model of a prepared tooth is used to design an inlay with the manufacturer's design software



รูปที่ 13 หลักของการผลิตแบบแอดดิทีฟ

Figure 13 Schematic of additive manufacturing

(Modified from Liu QB, Leu MC, Schmitt SM. Rapid prototyping in dentistry: technology and application. Int J Adv Manuf Technol 2006; 29(3-4): 317-335.)

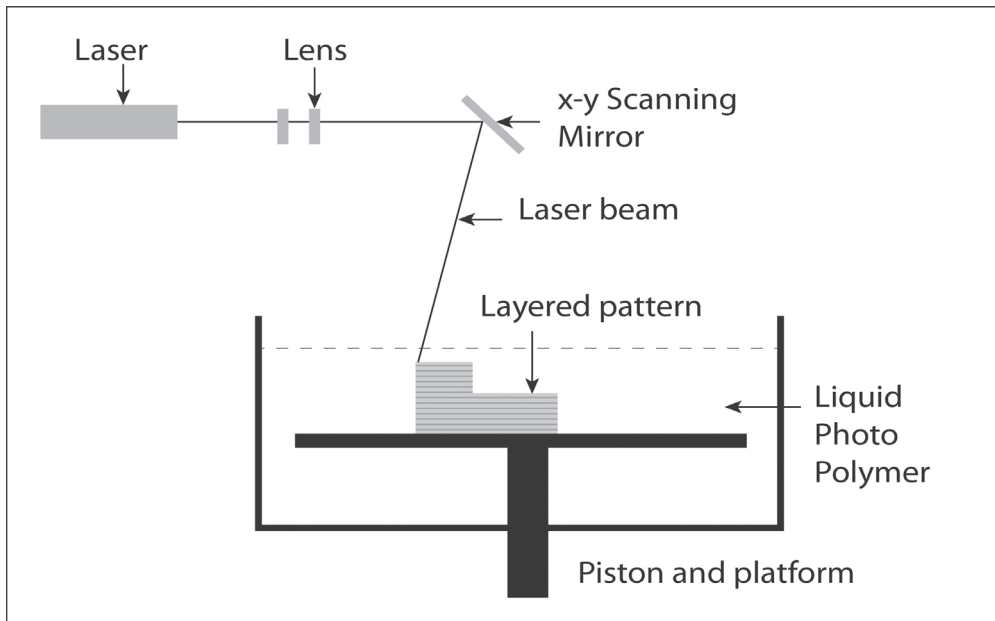
### เครื่องคอมพิวเตอร์นิวเมอริคัลคอนโทรล (Computer Numerical Control Machining)

ในปัจจุบันเครื่องคอมพิวเตอร์นิวเมอริคัลคอนโทรล หรือซีเอ็นซี (CNC) ไม่ได้ถูกจัดเป็นการสร้างต้นแบบเร็ว ซีเอ็นซีเป็นการนำคอมพิวเตอร์มาควบคุมเครื่องกลแต่งวัสดุ ให้มีรูปร่างตามต้องการในแบบการสกัดออกหรือซั้บแพร์กทิฟ กระบวนการผลิตขึ้นส่วนจากแบบจำลองแคด 3 มิติรู้จักกัน โดยทั่วไปในนามของ แคด/แคม (Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing, CAD/CAM) แคด/แคม ประกอบด้วยซอฟต์แวร์และส่วนโปรแกรมที่ส่งคำสั่งไปยังเครื่องซีเอ็นซี (Computer Numerical Control, CNC) ให้ผลิตวัตถุโดยการสกัดส่วนที่ไม่ต้องการออกจาก ท่อน (block) ของวัสดุจนได้เป็นรูปร่างตามต้องการ เครื่องซีเอ็นซีที่มีใช้กันมาก ได้แก่ เครื่องกัด (milling machine) เครื่องกลึง (lathes)<sup>(38)</sup>

เทคนิคที่ใช้ผลิตงานขึ้นรูปโลหะทางทันตกรรมในปัจจุบัน คือ การกรอแบบเปียก (wet grinding) ซึ่งก็คือการกัดที่ ระบายความร้อนด้วยน้ำ<sup>(39)</sup> การผลิตแบบซั้บแพร์กทิฟเป็นวิธี ที่สิ้นเปลือง เนื่องจากวัสดุที่ถูกลกัดออกไปมีมากกว่าส่วน ที่นำไปใช้ประโยชน์ ทั้งไม่สามารถหมุนเวียนมาใช้ใหม่ (recycle) ได้และผลิตได้ทีละชิ้น<sup>(40)</sup> นอกจากนี้ยังมีบริษัทที่ ผลิตตายและแบบจำลองด้วยวิธีซั้บแพร์กทิฟ คือ Align Technology ผู้ผลิตเครื่องสแกนในช่องปากชื่อ iTero<sup>(41)</sup>

### การสร้างต้นแบบเร็ว (Rapid Prototyping)

คำว่า “การสร้างต้นแบบ (prototyping)” ถูกนำมาใช้ เนื่องจากโดยแรกเริ่มแล้วกระบวนการนี้ใช้เฉพาะสำหรับ สร้างต้นแบบในทางวิศวกรรมเครื่องกลเท่านั้น ความก้าวหน้า ทางวิทยาการทำให้สามารถนำวิธีการนี้ไปผลิตวัตถุในปริมาณ มาก ๆ ได้ จึงยังคงใช้ศัพท์คำนี้เรียกกระบวนการทั้งหลายที่ ใช้สร้างวัตถุตามแบบจำลองเสมือนสามมิติบนจอคอมพิวเตอร์ ด้วยเครื่องอัตโนมัติ กระบวนการสร้างต้นแบบเร็วจัดเป็น การผลิตแบบแอดดิทีฟ<sup>(38)</sup>



รูปที่ 14 หลักการทำงานของเอสแอลเอ  
 Figure 14 Schematic of SLA process

ในบรรดาเทคนิคการผลิตแบบแอดดิทีฟที่มีอยู่หลากหลาย ณ ปัจจุบัน มีการนำสเตอริโอลิโทกราฟีหรือเอสแอลเอ (stereolithography, SLA) มาใช้ในทางทันตกรรมบูรณะ ส่วนที่ยังอยู่ในขั้นทดลองและพัฒนา ได้แก่ วิธีผลิตครอบฟันเซอร์โคเนีย (zirconia) ด้วยเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ทแบบสามมิติ (3D inkjet printing)<sup>(40,42)</sup>

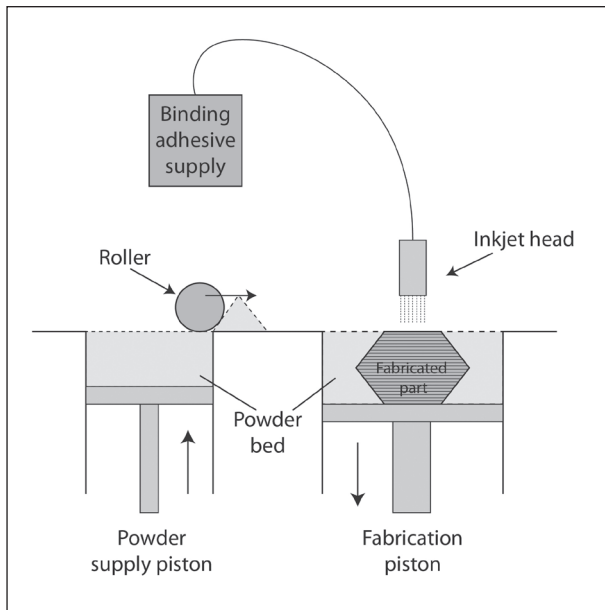
**สเตอริโอลิโทกราฟี (Stereolithography)**

สเตอริโอลิโทกราฟีเป็นเทคนิคการสร้างต้นแบบเร็ววิธีแรกที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เทคนิคนี้ใช้ไฟล์เอสทีแอล (STL file format) จึงเป็นมาตรฐานของการส่งข้อมูลทางอุตสาหกรรมการสร้างต้นแบบเร็ว ชิ้นงานต้นแบบจะถูกสร้างทีละชั้น ๆ จากด้านล่างขึ้นด้านบน โดยการวาดเลเซอร์ไปบนอ่างโฟโต้พอลิเมอร์เหลว (liquid photopolymer) ที่ภายในมีแท่น (platform) ที่สามารถเคลื่อนขึ้นลงได้ โฟโต้พอลิเมอร์ที่ถูกฉายแสงจะแข็งตัวอย่างรวดเร็ว เมื่อวาดชั้นแรกเสร็จก็จะเลื่อนแท่นลงในระยะสั้น ๆ ที่ทราบค่า จากนั้นจึงวาดชั้นที่ 2 ยึดซ้อนบนชั้นแรก และทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนได้แบบจำลองสามมิติที่สมบูรณ์ (รูปที่ 14)

ผู้ผลิตเครื่องสแกนในช่องปากที่ผลิตขึ้นหล่อทางทันตกรรมจากแบบจำลองแคดด้วยเทคนิคสเตอริโอลิโทกราฟี ได้แก่ บริษัท Sirona และ 3M ESPE ซึ่งผลิตสแกนเนอร์ในนาม CEREC และ True Definition scanners ตามลำดับ<sup>(41,43)</sup> นอกจากนี้ยังนำเทคนิคนี้ไปใช้ผลิตสเตนต์ศัลยกรรม (surgical stent) สำหรับฝังรากฟันเทียม (dental implant) ด้วย<sup>(44,45)</sup>

**เครื่องพิมพ์สามมิติอิงค์เจท (3D Ink-Jet Printing)**

หลักการทำงานของเทคโนโลยีนี้คล้ายคลึงกับสเตอริโอลิโทกราฟี คือ เป็นการสร้างแบบจำลองทีละชั้น ๆ แต่แทนที่จะใช้เลเซอร์ทำให้พอลิเมอร์เหลวแข็งตัว กาวประสาน (binding adhesive) จะถูกฉีดออกมาจากหัวฉีดขนาดเล็กลงบนแท่นที่มีผง (powder) เกลี่ยเตรียมไว้ การขึ้นรูปจะทำทีละชั้น ๆ จนได้ชิ้นงานต้นแบบที่สมบูรณ์ (รูปที่ 15) หากใช้กับวัสดุเซรามิก เครื่องพิมพ์สามมิติอิงค์เจทอาจทำงานในแบบฟรีฟอร์ม (free-form) หรือโรโบแคสติง (robocasting)<sup>(42)</sup> ซึ่งเป็นการฉีดเซรามิกแขวนลอย (ceramic



รูปที่ 15 หลักการทำงานของเครื่องพิมพ์สามมิติอิงค์เจต

**Figure 15** Schematic of 3D ink-jet printing  
(Modified from Liu QB, Leu MC, Schmitt SM. Rapid prototyping in dentistry: technology and application. *Int J Adv Manuf Techol* 2006; 29(3-4): 317-335.)

suspension) เป็นรูปร่างของเซรามิกที่ยังไม่ผ่านการเผา (green body) เช่น ครอบฟันเซรามิกความแข็งแรงสูงเซอร์โคเนีย แม้ว่าสมบัติเชิงกลของครอบฟันที่ได้จะมีค่าพอ ๆ กับแบบที่ได้จากวิธีอื่น แต่โครงสร้างทางจุลภาคของครอบฟันที่ได้ยังมีข้อบกพร่องที่ต้องแก้ไข เช่น ความแข็งแรงที่ไม่สม่ำเสมอเกิดมาจากหัวฉีดอุดตัน<sup>(40)</sup> วิธีนี้จึงยังอยู่ในขั้นการทดลองและพัฒนา<sup>(46)</sup>

### บทวิจารณ์

หากมองย้อนไปยังเทคโนโลยีต่าง ๆ ในทางทันตกรรม จะพบว่าเทคโนโลยีใหม่ ๆ บางเทคโนโลยีเป็นที่นิยมในเวลาอันรวดเร็ว ในขณะที่บางเทคโนโลยีต้องใช้เวลาช้านานกว่าจะนิยมแพร่หลาย ตัวอย่างเช่น ด้ามกรอฟันแอร์โรเตอร์ (air rotor handpiece) เป็นที่นิยมแพร่หลายแทนด้ามกรอฟันแบบสายพาน (belt-driven handpiece) อย่างรวดเร็ว กรอฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนใช้เวลากว่า 5 ปีจึงนิยมใช้

แพร่หลาย<sup>(47)</sup> ส่วนรากฟันเทียมใช้เวลาประมาณ 25 ปี แม้จะมีการนำวิศวกรรมย้อนกลับมาใช้ในทางทันตกรรมเกือบสามทศวรรษแล้ว แต่ก็ยังไม่เป็นที่นิยมแพร่หลาย ซึ่งอาจมีหลายสาเหตุ เช่น การลงทุนแรกเริ่ม (ด้วยอุปกรณ์) ที่มีราคาสูง เมื่อเทียบกับวิธีดั้งเดิม ใช้เวลาในการเรียนรู้การใช้งานและการเก็บรักษาอุปกรณ์ ความยุ่งยากในการเลือกใช้ระบบที่มีอยู่หลากหลาย เช่น หากเป็นระบบที่ไม่มีเครื่องกัดข้างเก้าอี้ทำฟัน ต้องมีห้องปฏิบัติการทางทันตกรรมในห้องที่รองรับการทำงานของระบบที่เลือกใช้ นอกจากนี้ระบบต่าง ๆ ยังคงมีการพัฒนาอยู่อย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว จนทำให้ระบบนั้น ๆ ตกฐานได้ในระยะเวลาสั้น เนื่องจากไม่สามารถเลื่อนชั้น (upgrade) ซอฟต์แวร์ได้

ปัญหาอีกประการหนึ่งที่อาจเป็นสาเหตุให้วงการทันตกรรมยอมรับเทคโนโลยีนี้ช้า คือ ระบบที่มีในท้องตลาดส่วนมากเป็นไฟล์ระบบปิดที่การใช้งานถูกจำกัดอยู่กับบริษัทผู้ผลิต จึงเป็นไปได้ว่าระบบที่จะได้รับความนิยมแพร่หลายในอนาคตน่าจะเป็นไฟล์ระบบเปิดที่เทคนิคการผลิตทั้งหลายเข้าถึงได้

การนำแคด/แคมมาใช้ในการผลิตงานทันตกรรมบูรณะทางอ้อมโดยอ้างว่ามีข้อดีเหนือการผลิตแบบดั้งเดิมหลายประการ ซึ่งรวมถึงความรวดเร็ว ความสะดวก และคุณภาพของงาน<sup>(48)</sup> ในแง่ของความรวดเร็วและความสะดวก สแกนเนอร์ในช่องปากสามารถประเมินฟันที่กรอบแบบรีเลย์ใหม่บนจอคอมพิวเตอร์ หากมีข้อบกพร่องสามารถแก้ไขและสแกนใหม่ได้ทันทีในขณะที่การประเมินฟันที่กรอจากรอยพิมพ์ทำได้ยาก ต้องรอจนกว่าจะแกะตายและแบบจำลองออกจากรอยพิมพ์ ในเชิงคุณภาพของงานยังคงต้องมีการศึกษาอย่างถ่วงถ่วงจะได้กล่าวถึงในย่อหน้าถัดไป ระบบที่มีเครื่องกัดข้างเก้าอี้ทำฟันหรือมีในห้องปฏิบัติการที่อยู่ในละแวกเดียวกันสามารถทำเสร็จในวันเดียวโดยไม่ต้องใส่ครอบฟันชั่วคราว มีรายงานว่านักศึกษาทันตแพทย์ที่ไม่มีประสบการณ์ เรียนรู้การใช้เครื่องสแกนในช่องปากได้ง่ายกว่าการพิมพ์แบบ<sup>(49,50)</sup> ในขณะที่ทันตแพทย์ที่มีประสบการณ์ในการพิมพ์แบบตั้งแต่ 5 ปีขึ้นไปเลือกใช้ทั้งสองวิธีอย่างละกึ่งหนึ่ง<sup>(50)</sup> แต่มีข้อสังเกตว่าการศึกษาทั้งสองนี้เป็นการทดลองที่ทำบนโมเดลของรากฟันเทียมหนึ่งซี่เท่านั้น ในแง่ของผู้ป่วยพบว่า ผู้ป่วยชอบการสแกนด้วยเครื่องสแกนในช่องปากมากกว่าการพิมพ์แบบด้วยวิธีดั้งเดิม<sup>(51,52)</sup>

ข้อจำกัดอีกประการหนึ่งของสแกนเนอร์ในช่องปากที่ใช้เทคโนโลยีออฟติค คือ บริเวณที่สแกนต้องแห้งเช่นเดียวกับการพิมพ์แบบดั้งเดิม สแกนเนอร์บันทึกได้เฉพาะส่วนที่กล้องจับภาพได้เท่านั้น จึงยังคงต้องมีขั้นตอนการผลักเหงือก (gingival displacement) ออกไปจากผิวฟันเพื่อให้บันทึกบริเวณขอบได้ ในอนาคตอาจมีการนำคลื่นอัลตราโซนิก (ultrasonic waves) มาใช้แทน อัลตราซาวด์สามารถทะลุผ่านของเหลวและเนื้อเยื่ออ่อนโดยไม่มีอันตราย ทำให้สามารถพิมพ์แบบเปียกได้โดยไม่ต้องมีขั้นตอนการผลักเหงือก<sup>(53)</sup> ซึ่งจะลดเวลาในการพิมพ์และเพิ่มความสบายของผู้ป่วย

มีแนวโน้มที่จะสรุปว่า แคด/แคมเป็นกรรมวิธีผลิตงานบูรณะที่เที่ยงตรงกว่าวิธีหล่อแบบซีฟิ่งหาย ข้อสรุปดังกล่าวมีฐานมาจากการมีมนุษย์เข้าไปเกี่ยวข้องกับกระบวนการน้อยกว่า การละเว้นขั้นตอนบางขั้นตอน เช่น การแต่งแบบซีฟิ่ง การสร้างบ้ำหล่อและการเหวี่ยง แต่ข้อสรุปนี้อาจไม่เป็นจริงเสมอไป กล่าวคือ อินเลย์ที่ผลิตจากเครื่อง CEREC ในรุ่นแรก ๆ มีความแม่นยำไม่ดี สาเหตุมาจากข้อจำกัดของเทคโนโลยีดิจิทัลในขณะนั้น แต่ก็เป็นที่ยอมรับเมื่อใช้กับแอดฮีซีฟซีเมนต์ (adhesive cement)<sup>(54)</sup> แต่ระบบมีการเปลี่ยนรุ่น พัฒนาฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์อย่างรวดเร็ว ต่อเนื่องแบบไม่เปิดเผยรายละเอียดต่อสาธารณะด้วยเหตุผลทางการค้า กระบวนการทางวิศวกรรมย้อนกลับประกอบด้วยหลายขั้นตอน ตั้งแต่การสแกนแบบออฟติค การดำเนินการกับพอยต์คลาวด์จนถึงการออกแบบและผลิตชิ้นงานบูรณะ การประเมินคุณภาพ ความถูกต้องของแต่ละระบบจึงควรประเมินในทุกขั้นตอนดังกล่าวซึ่งเป็นงานยาก เนื่องจากผู้ผลิตมักไม่เปิดเผยรายละเอียดของขั้นตอนย่อย ๆ เหล่านี้ การใช้งานมักจะเป็นการสแกนแล้วแสดงผลเป็นแบบจำลองแคดเพื่อนำไปออกแบบชิ้นงานบูรณะหรือแบบจำลองเท่านั้น

ข้อดีอีกประการหนึ่งของการนำวิศวกรรมย้อนกลับมาใช้ในทางทันตกรรม คือ การเก็บตายหรือแบบจำลองในรูปแบบดิจิทัลไม่เปลืองเนื้อที่เหมือนการเก็บตายหรือแบบจำลองทางกายภาพ และไม่เสี่ยงต่อการแตกหัก ในกรณีที่ต้องการแบบจำลองทางกายภาพ สามารถนำแบบจำลองดิจิทัลดังกล่าวมาผลิตด้วยเทคนิคการสร้างต้นแบบเร็วดังกล่าวมาแล้วข้างต้น ส่วนข้ออ้างที่ว่าแบบจำลองที่ได้จาก

การเทปูนพลาสติกอาจมีมิติผิดไปจากการขยายตัวของปูนพลาสติกขณะแข็งตัว แต่การผลิตแบบจำลองด้วยการทำให้โฟโต้พอลิเมอร์แข็งตัวเป็นชั้น ๆ อาจทำให้เกิดลักษณะชั้นบันได หากซอยชั้นหนาเกินไป ระหว่างเกิดพอลิเมอร์ก็มีการหดตัว เกิดความเค้นตึงที่ทำให้แบบจำลองบ่หรือเบี้ยวได้<sup>(41)</sup> นอกจากนี้พอลิเมอร์ไม่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (เพราะใช้เวลาในการสลายตัวนานมาก หรือเกิดสารพิษหากเผาทำลาย) เมื่อเทียบกับชิ้นหล่อจากยิปซัมซึ่งเป็นวัสดุจากธรรมชาติ ทิศทางพัฒนาการในอนาคตจึงควรทำให้สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องอาศัยแบบจำลองทางกายภาพโดยสิ้นเชิง

### บทสรุป

ทันตกรรมบูรณะนำวิศวกรรมย้อนกลับมาใช้ประโยชน์ในการบันทึกเนื้อเยื่อในช่องปากออกมาเป็นแบบจำลองแคดสามมิติบนจอคอมพิวเตอร์ที่สามารถนำไปใช้ในการออกแบบผลิตชิ้นงานบูรณะและ/หรือแบบจำลองทางกายภาพ ด้วยเทคโนโลยีซีเอ็นซีหรือการสร้างต้นแบบเร็ว ความถูกต้องเที่ยงตรงของงานที่ได้ขึ้นอยู่กับฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ระบบเหล่านี้จะได้รับความนิยมก็ต่อเมื่อต้นทุน เวลาที่ใช้และคุณภาพของงานอย่างน้อยควรอยู่ในระดับเดียวกับหรือต้องเหนือกว่าการผลิตแบบดั้งเดิม ซึ่งในขณะนี้มียารงานการวิจัยเปรียบเทียบออกมาอย่างต่อเนื่อง

### เอกสารอ้างอิง

1. Liu PR. A panorama of dental CAD/CAM restorative systems. *Compend Contin Educ Dent* 2005;26(7):507-508, 510, 512 passim; quiz 517, 527.
2. Birnbaum NS, Aaronson HB, Stevens C, Cohen B. 3D digital scanners: a high-tech approach to more accurate dental impressions. *Inside Dent* 2009; 5: 70-77.
3. Kapos T, Ashy LM, Gallucci GO, Weber HP, Wismeijer D. Computer-aided design and computer-assisted manufacturing in prosthetic implant dentistry. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2009; 24 Suppl: 110-117.

4. Patzelt SB, Spies BC, Kohal RJ. CAD/CAM-fabricated implant-supported restorations: a systematic review. *Clin Oral Implants Res* 2015; 26 Suppl 11: 77-85.
5. Kattadiyil MT, Mursic Z, AlRumaih H, Goodacre CJ. Intraoral scanning of hard and soft tissues for partial removable dental prosthesis fabrication. *J Prosthet Dent* 2014; 112(3): 444-448.
6. Bidra AS, Taylor TD, Agar JR. Computer-aided technology for fabricating complete dentures: systematic review of historical background, current status, and future perspectives. *J Prosthet Dent* 2013; 109(6): 361-366.
7. Infante L, Yilmaz B, McGlumphy E, Finger I. Fabricating complete dentures with CAD/CAM technology. *J Prosthet Dent* 2014; 111(5): 351-355.
8. McLaughlin JB, Ramos V, Jr. Complete denture fabrication with CAD/CAM record bases. *J Prosthet Dent* 2015; 114(4): 493-497.
9. Kattadiyil MT, Jekki R, Goodacre CJ, Baba NZ. Comparison of treatment outcomes in digital and conventional complete removable dental prosthesis fabrications in a predoctoral setting. *J Prosthet Dent* 2015; 114(6): 818-825.
10. Wimmer T, Gallus K, Eichberger M, Stawarczyk B. Complete denture fabrication supported by CAD/CAM. *J Prosthet Dent* 2016; 115(5): 541-546.
11. Baba K. Paradigm shifts in prosthodontics. *J Prosthodont Res* 2014; 58(1): 1-2.
12. Fernandez MA, Nimmo A, Behar-Horenstein LS. Digital denture fabrication in pre- and postdoctoral education: A survey of U.S. dental schools. *J Prosthodont* 2016; 25(1): 83-90.
13. Alghazzawi TF. Advancements in CAD/CAM technology: Options for practical implementation. *J Prosthodont Res* 2016; 60(2): 72-84.
14. Chang CC, Lee MY, Wang SH. Digital denture manufacturing-An integrated technologies of abrasive computer tomography, CNC machining and rapid prototyping. *Int J Adv Manuf Tech* 2006; 31(1-2): 41-49.
15. Christ A, Heister R, Anderl R. Reverse engineering for the utilization of product model data for CAX workflows in dental technology. In: 20th European Concurrent Engineering Conference, ECEC'2014 and the 10th Future Business Technology Conference, FUBUTEC'2014. Bruges, Belgium: EUROSIS-ETI; 2014, p. 47-54.
16. Raja V. Introduction to reverse engineering. In: Raja V, Fernandes KJ, ed: *Reverse engineering: an industrial perspective*. London: Springer-Verlag; 2008: 1-9.
17. Fudos I. CAD/CAM methods for reverse engineering : a case study of re-engineering jewelry. *Comput Aided Des Appl* 2006; 3(6): 683-700.
18. Liu QB, Leu MC, Schmitt SM. Rapid prototyping in dentistry: technology and application. *Int J Adv Manuf Techol* 2006; 29(3-4): 317-335.
19. Várady T, Martin RR, Cox J. Reverse engineering of geometric models-an introduction. *Comput Aided Design* 1997; 29(4): 255-268.
20. Persson M, Andersson M, Bergman B. The accuracy of a high-precision digitizer for CAD/CAM of crowns. *J Prosthet Dent* 1995; 74(3): 223-229.
21. Persson A, Andersson M, Oden A, Sandborgh-Englund G. A three-dimensional evaluation of a laser scanner and a touch-probe scanner. *J Prosthet Dent* 2006; 95(3): 194-200.
22. Holst S, Persson A, Wichmann M, Karl M. Digitizing implant position locators on master casts: comparison of a noncontact scanner and a contact-probe scanner. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2012; 27(1): 29-35.

23. Katsoulis J, Mericske-Stern R, Rotkina L, Zbaren C, Enkling N, Blatz MB. Precision of fit of implant-supported screw-retained 10-unit computer-aided-designed and computer-aided-manufactured frameworks made from zirconium dioxide and titanium: an in vitro study. *Clin Oral Implants Res* 2014; 25(2): 165-174.
24. Beuer F, Schweiger J, Edelhoff D. Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J* 2008; 204(9): 505-511.
25. Logozzo S, Zanetti EM, Franceschini G, Kilpela A, Makynen A. Recent advances in dental optics - Part I: 3D intraoral scanners for restorative dentistry. *Opt Laser in Eng* 2014; 54: 203-221.
26. Pham DT, Hieu LC. Reverse engineering-hardware and software. In: Raja V, Fernandes KJ, ed: *Reverse engineering: an industrial perspective*. London: Springer-Verlag; 2008: 33-69.
27. Hong W. Light field applications to 3-dimensional surface imaging. Bachelor of Science (Mechanical Engineering). Massachusetts Institute of Technology, 2009.
28. Prakash H. Active wave-front sampling based 3D endoscope. Master of Science (Mechanical Engineering and Electrical Engineering and Computer Science). Massachusetts Institute of Technology, 2007.
29. Paddock SW. Principles and practices of laser scanning confocal microscopy. *Mol Biotechnol* 2000; 16(2): 127-149.
30. Huang D, Swanson EA, Lin CP, et al. Optical coherence tomography. *Science* 1991; 254(5035): 1178-1181.
31. Bradley C, Currie B. Advances in the field of reverse engineering. *Comput Aided Des Appl* 2005; 2(5): 697-706.
32. Park S, Kang HC, Lee J, Shin J, Shin YG. An enhanced method for registration of dental surfaces partially scanned by a 3D dental laser scanning. *Comput Methods Programs Biomed* 2015; 118(1): 11-22.
33. Piegl LA, Tiller W. Parametrization for surface fitting in reverse engineering. *Comput Aided Design* 2001; 33(8): 593-603.
34. Ireland AJ, McNamara C, Clover MJ, et al. 3D surface imaging in dentistry - what we are looking at. *Br Dent J* 2008; 205(7): 387-392.
35. Remondino F, El-Hakim S. Image-based 3D modelling: A review. *Photogramm Record* 2006; 21(115): 269-291.
36. Hieu LC, Sloten JV, Hung LT, et al. Medical reverse engineering applications and methods. In: International Conference on Innovations, Recent Trends and Challenges in Mechatronics, Mechanical Engineering and New High-Tech Products Development. Bucharest, Romania; 2010. p. 232-246.
37. Azari A, Nikzad S. The evolution of rapid prototyping in dentistry: a review. *Rapid Prototyping J* 2009; 15(3): 216-225.
38. Heynick M, Stotz I. 3D CAD, CAM and rapid prototyping. In: LAPA digital technology seminar. École Polytechnique Fédéral de Lausanne, Lausanne; 2006.
39. Zandparsa R. Digital imaging and fabrication. *Dent Clin North Am* 2014; 58(1): 135-158.
40. Ebert J, Ozkol E, Zeichner A, et al. Direct inkjet printing of dental prostheses made of zirconia. *J Dent Res* 2009; 88(7): 673-676.
41. Patzelt SB, Bishti S, Stampf S, Att W. Accuracy of computer-aided design/computer-aided manufacturing-generated dental casts based on intraoral scanner data. *J Am Dent Assoc* 2014; 145(11): 1133-1140.
42. Silva NR, Witek L, Coelho PG, Thompson VP, Rekow ED, Smay J. Additive CAD/CAM process for dental prostheses. *J Prosthodont* 2011; 20(2): 93-96.



43. Cho SH, Schaefer O, Thompson GA, Guentsch A. Comparison of accuracy and reproducibility of casts made by digital and conventional methods. *J Prosthet Dent* 2015; 113(4): 310-315.
44. van Noort R. The future of dental devices is digital. *Dent Mater* 2012; 28(1): 3-12.
45. Dawood A, Marti Marti B, Sauret-Jackson V, Darwood A. 3D printing in dentistry. *Br Dent J* 2015; 219(11): 521-529.
46. Denry I, Kelly JR. Emerging ceramic-based materials for dentistry. *J Dent Res* 2014; 93(12): 1235-1242.
47. Eshleman JR, Sarrett DC. How the development of the high-speed turbine handpiece changed the practice of dentistry. *J Am Dent Assoc* 2013; 144(5): 474-477.
48. Davidowitz G, Kotick PG. The use of CAD/CAM in dentistry. *Dent Clin North Am* 2011; 55(3): 559-570, ix.
49. Lee SJ, Gallucci GO. Digital vs. conventional implant impressions: efficiency outcomes. *Clin Oral Implants Res* 2013; 24(1): 111-115.
50. Lee SJ, Macarthur RXt, Gallucci GO. An evaluation of student and clinician perception of digital and conventional implant impressions. *J Prosthet Dent* 2013; 110(5): 420-423.
51. Joda T, Bragger U. Patient-centered outcomes comparing digital and conventional implant impression procedures: a randomized crossover trial. *Clin Oral Implants Res* 2016; 27(12): e185-e189.
52. Yuzbasioglu E, Kurt H, Turunc R, Bilir H. Comparison of digital and conventional impression techniques: evaluation of patients' perception, treatment comfort, effectiveness and clinical outcomes. *BMC Oral Health* 2014; 14: 10.
53. Chuembou Pekam F, Marotti J, Wolfart S, Tinschert J, Radermacher K, Heger S. High-frequency ultrasound as an option for scanning of prepared teeth: an in vitro study. *Ultrasound Med Biol* 2015; 41(1): 309-316.
54. Miyazaki T, Hotta Y, Kunii J, Kuriyama S, Tamaki Y. A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. *Dent Mater J* 2009; 28(1): 44-56.
55. Sansoni G, Trebeschi M, Docchio F. State-of-the-art and applications of 3D imaging sensors in industry, cultural heritage, medicine, and criminal investigation. *Sensor* 2009; 9:571.
56. Alberts B, Johnson A, Lewis J, Raff M, Roberts K, Walter P. *Molecular biology of the cell*. 5th ed. New York: Garland Science; 2008:591.
57. Curless B, Levoy M. A volumetric method for building complex models from range images [monograph on the Internet]. Computer Based Learning Unit, University of Leeds; [cited 2017 JUN 30] Available from [https://graphics.stanford.edu/papers/volrange/paper\\_2\\_levels/node1.html](https://graphics.stanford.edu/papers/volrange/paper_2_levels/node1.html)



การประชุมวิชาการเรื่อง

# โดดเด่น กับงานทันตกรรมประดิษฐ์ แบบไม่โดดเด่น

ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
ณ โรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิง จ.เชียงใหม่

## วันที่ 20 พฤศจิกายน 2561

เวลา	หัวข้อบรรยาย	วิทยากร
08.00 – 08.45 น.	ลงทะเบียน	
08.45 – 09.00 น.	พิธีเปิดการประชุม	คณบดี คณะทันตแพทยศาสตร์ ผศ.ทพญ.ดร.มารีสา สุขพัทธ์
09.00 – 10.30 น.	Oral rehabilitation : Concepts, strategies and key to success.	
10.30 – 10.45 น.	รับประทานอาหารว่าง	
10.45 – 12.00 น.	Oral rehabilitation of fully dentate patients.	ผศ.ทพ.ดร.พีริยะ ยาวิราช อ.ทพ.ดร.พิสัยศิษฏ์ ชัยจรีนนท์
12.00 - 13.00 น.	รับประทานอาหารกลางวัน	
13.00 – 14.15 น.	Oral rehabilitation of partially dentate patients: Fixed and removable prosthodontics.	ผศ.ทพ.บุญชัย เซาวันโกกลางค์ ผศ.ทพญ.ดร.ภัทรณัฐ บัณฑิตคุณานนต์
14.15 - 15.15 น.	Oral rehabilitation of partially dentate patients : Fixed -implant prosthodontics.	ผศ.ทพญ.ดร.พิมพ์เดือน รังสิยากุล
15.15 – 15.30 น.	รับประทานอาหารว่าง	
15.30 – 16.30 น.	Oral rehabilitation of edentulous patients : Implant overdenture and Implant-supported fixed prosthesis.	อ.ทพ.ณัฐวรรณ ปลื้มสำราญ อ.ทพ.วัชรพงศ์ อรุณแสง

## วันที่ 21 พฤศจิกายน 2561

เวลา	หัวข้อบรรยาย	วิทยากร
09.00 – 09.45 น.	Digital treatment planning.	ผศ.ทพ.ดร.อรรถวิทย์ พิสิฐอนุสรณ์ อ.ทพญ.ดร.พัชราวรรณ ศีลธรรมพิทักษ์ รศ.ทพญ.ดร.พนารัตน์ ขอดแก้ว
09.45 – 10.30 น.	Oral rehabilitation of maxillofacial patients.	
10.30 – 10.45 น.	รับประทานอาหารว่าง	
10.45 – 12.15 น.	Multidisciplinary approach to oral rehabilitation.	อ.ทพญ.ภัทริกา อังกลสิทธิ์ อ.ทพญ.วิศนี เจริญหากรัพย์
12.15 – 13.15 น.	รับประทานอาหารกลางวัน	
13.15 – 15.00 น.	Materials in oral rehabilitation.	รศ.ทพ.ดร.นิยม ธำรงค์อนันต์สกุล
15.00 – 15.15 น.	รับประทานอาหารว่าง	
15.15 – 16.30 น.	Case presentation.	นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา แขนงวิชาทันตกรรมประดิษฐ์

**CE Credit: 10.75**

ค่าลงทะเบียน  
- ทันตแพทย์ทั่วไป  
- นักศึกษา

ภายในวันที่ 31 ต.ค.61  
3,000 บาท  
2,000 บาท

หลังวันที่ 31 ต.ค. 61  
4,000 บาท  
2,500 บาท

สอบถามเพิ่มเติม  
E-mail: cedentcmu@yahoo.com  
โทรศัพท์ 053-944429, 098-7890234



สำหรับลงทะเบียน