การฝังข้อมูลในวัตถุ ๓ มิติ ด้วยเทคโนโลยีการพิมพ์ ๓ มิติ

ปิยรัตน์ ศิลปกรศุภวงศ์[๑], Kazutake Uehira[๒] และ สุดา เกียรติกำจรวงศ์[๓]

[๑]ภาควิชาเกมและสื่อเชิงโต้ตอบ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยกรุงเทพ คลองหลวง ปทุมธานี ๑๒๑๒๐

[๒]Human Media Research Center, Kanagawa Institute of Technology, 1030 Shimo-ogino, Atsugi, Kanagawa, Japan, 243–0203

[๓]ราชบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ ประเภทวิชาเทคโนโลยี สำนักวิทยาศาสตร์ ราชบัณฑิตยสภา, ksuda@chula.ac.th

บทนำ

การพิมพ์สามมิติ (3D printing) หรือ additive manufacturing (AM) คือ การผลิตโดยวิธีการวางชั้นวัสดุทีละชั้นบนแนวระนาบ xy ให้มีความสูงหรือความหนาเพิ่มขึ้นในแนวดิ่งตามแกน z ทำให้เกิดมิติ (dimension : D) เป็นชิ้นวัตถุต่าง ๆ ได้ (สุดา และสมชัย, ๒๕๕๙; จุฬาพงษ์, ปิยะรัตน์ และสุดา, ๒๕๖๓; ปิยะรัตน์ และสุดา, ๒๕๖๕) เป็นเทคนิคหนึ่งที่ได้รับการพัฒนาอย่างก้าวกระโดดในยุคการปฏิวัติอุตสาหกรรมครั้งที่ ๔ และเข้าสู่ยุคการปฏิวัติเทคโนโลยีทางดิจิทัล (disruption) ปัจจุบัน วงการอุตสาหกรรมและประชาชนได้นำเทคโนโลยีนี้ไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ได้แทบทุกชนิด เพราะสามารถพิมพ์วัสดุที่หลากหลาย เช่น โลหะ พอลิเมอร์ เซรามิก อาหาร (ลักษิกา และ สักกมน, ๒๕๖๕) และเน้นไปในการผลิตแบบปัจเจก (on-demand production) เพื่อการผลิตผลิตภัณฑ์ต้นแบบหรือผลิตภัณฑ์ที่มีความซับซ้อน มีความเป็นเอกลักษณ์และเฉพาะเจาะจงกับงานแต่ละชนิดอยู่มากด้วยข้อดีและจุดแข็งของเทคโนโลยีนี้คือ ๑) ไม่ต้องผลิตแม่พิมพ์ ๒) ทำให้ต้นทุนการผลิตชิ้นงานจำนวนน้อยลดลงมหาศาล ๓) สามารถใช้วัสดุหลายประเภทและพิมพ์เสร็จเป็นผลิตภัณฑ์พร้อมใช้ภายในการพิมพ์เพียงครั้งเดียวเท่านั้น ๔) สามารถแก้ไขแบบเพื่อดัดแปรผลิตภัณฑ์ได้ตลอดเวลาที่ต้องการ และ ๕) อำนวยความสะดวกและประหยัดด้านการขน ส่งและการจัดเก็บผลิตภัณฑ์อย่างมาก เพราะส่งและเก็บแค่ไฟล์ดิจิทัลก็เพียงพอแล้ว และเมื่อต้องการใช้งานก็อาศัยแค่เครื่องพิมพ์ ๓ มิติ เพื่อสร้างวัตถุจริงพร้อมใช้งานได้ทุกสถานที่และทุกเวลา โดยอาศัยเทคโนโลยีซอฟต์แวร์ อุปกรณ์ประกอบและเทคนิคการพิมพ์ก็ควบคุมการผลิตผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปได้ตามความต้องการได้สะดวกและเหมาะสม จึงอาจกล่าวได้ว่า “เทคโนโลยีการพิมพ์ ๓ มิติ เป็นเทคโนโลยีที่เชื่อมโลกแห่งข้อมูลกับโลกแห่งความเป็นจริงเข้าด้วยกัน”

แต่เนื่องด้วยความง่ายดายของการเปลี่ยนแปลงข้อมูลผลิตภัณฑ์ในไฟล์ดิจิทัลทำให้มีปัญหาการลอกเลียนแบบหรือการปลอมแปลง และเผยแพร่ผลิตภัณฑ์โดยไม่ได้รับอนุญาตตามมาด้วยอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ซึ่งมีผลทั้งทางด้านกฎหมาย เศรษฐกิจ สังคม และปัญหามนุษยธรรมตามมาอีกมากมายอย่างคาดไม่ถึง ดังนั้นจึงมีการคิดค้นวิธีเพื่อการรักษาและแสดงเอกลักษณ์ต่าง ๆ ที่ผลิตภัณฑ์เพื่อป้องกันการปลอมแปลง เรียก

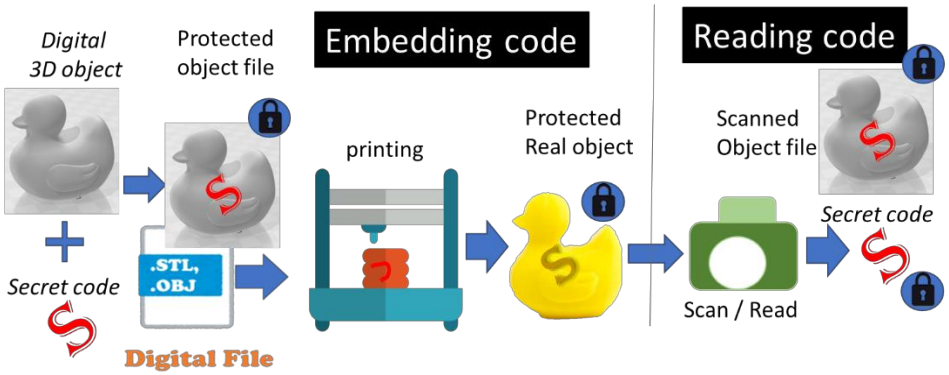
เทคนิคว่า “การซ่อนข้อมูลในวัตถุสามมิติขณะพิมพ์” ซึ่งเป็นการฝังหรือแฝงข้อมูลลงในวัตถุขณะพิมพ์ ทำให้ข้อมูลแนบอยู่กับชิ้นงานได้อย่างมิดชิด ทั้งนี้ มีระบบการอ่านข้อมูลที่ง่ายและรวดเร็ว เพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการส่งข้อมูลระหว่างกัน ปัจจุบันมีการประยุกต์หลักการของเทคนิคนี้ในหลายรูปแบบโดยผ่านจากไฟล์ซ่อนข้อมูลไปสู่การใช้งานที่หลากหลายด้วย

เทคนิค กระบวนการ และขั้นตอนการซ่อนข้อมูลในวัตถุ ๓ มิติขณะพิมพ์

การทำหน้าที่ของเทคนิคการซ่อนข้อมูลนี้คล้ายคลึงกับการทำหน้าที่ของ “ลายน้ำ” (water marking) ในงานสองมิติดังมีรายละเอียดที่ได้แสดงในภาพที่ ๑ (Hou et al., 2018) ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอน ดังนี้

๑. การทำไฟล์ซ่อนข้อมูล

เริ่มจากการสร้างวัตถุสามมิติแบบจำลองขึ้นในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ CAD (computer-aided design) เป็นไฟล์เพื่อการพิมพ์ ๓ มิติ เรายังสามารถเพิ่มข้อมูลลับ (secret code) เข้าไปในระหว่างการสร้างแบบจำลองวัตถุ ๓ มิตินี้ โดยทำข้อมูลลับนี้ให้อยู่ในรูปของรอยแผลเป็น (scar) ไปกับเนื้อวัตถุ ซึ่งสามารถอยู่บนพื้นผิว หรือ ภายในเนื้อของวัตถุก็ได้แล้วแต่เทคนิคของแต่ละวิธี (Hou et al., 2018) ไฟล์ที่ได้รับการป้องกันนี้จะถูกบันทึกเป็นรูปแบบ .STL (ไฟล์เฉพาะโครงสร้าง) หรือ .OBJ (ไฟล์รวมลวดลายและสีสัน) เพื่อนำไฟล์เหล่านี้ไปส่งต่อ ซื้อ ขาย และการเก็บรักษาไว้ได้ ดังแสดงในภาพที่ ๑

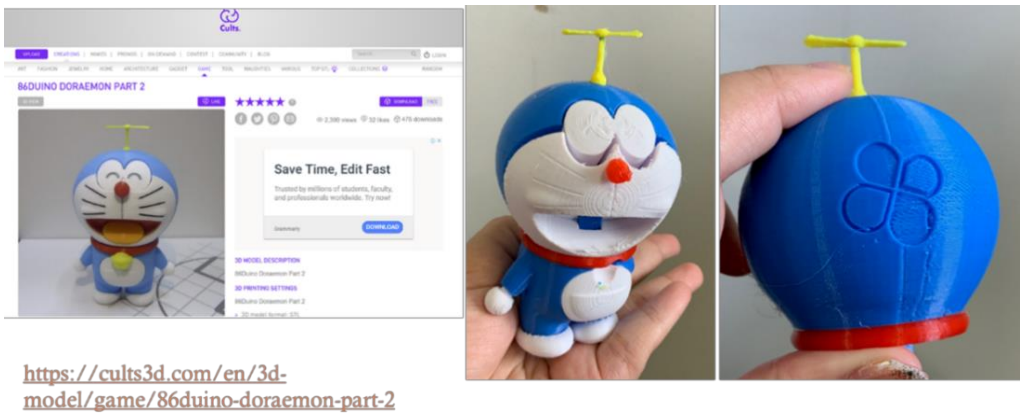


ภาพที่ ๑ เทคนิคการซ่อนข้อมูลในวัตถุ ๓ มิติขณะพิมพ์ผลิต

๒. การพิมพ์วัตถุเพื่อใช้งานที่มีการแนบฝังข้อมูล

เมื่อต้องการพิมพ์วัตถุเพื่อใช้งาน เราจะแปลงวัตถุเป็นไฟล์รูปแบบของ .gcode และ .cpp (หรือตามที่เครื่องพิมพ์นั้นกำหนด) เพื่อสื่อสารกับเครื่องพิมพ์และบังคับหัวพิมพ์ในการพิมพ์แต่ละชั้น (slicer) เครื่องพิมพ์จะสร้างวัตถุสามมิติโดยพิมพ์วัสดุพิมพ์เพิ่มขึ้นทีละชั้น (additive manufacturing) (อาจใช้วัสดุมากกว่า ๑ ชนิดก็ได้) จนกว่าจะถึงชั้นสุดท้ายของวัตถุ ซึ่งระหว่างการพิมพ์ เครื่องพิมพ์จะพิมพ์รอยแผลเป็นตามแบบในไฟล์ดิจิทัลลงไปด้วย ดังนั้น ข้อมูลลับจึงถูกแนบไปกับวัตถุอย่างแนบเนียนในขั้นตอนนี้ อนึ่ง หากเลือกวิธีการฝังข้อมูลลับ (embedding code) โดยฝังภายในเนื้อวัตถุด้านใน ซึ่งตาจะไม่สามารถมองเห็นข้อมูลลับนั้นจากภายนอก และข้อมูลนี้ก็ต้องใช้เทคนิคการอ่านแบบเฉพาะเจาะจงตามลักษณะข้อมูลลับ จึงจะ

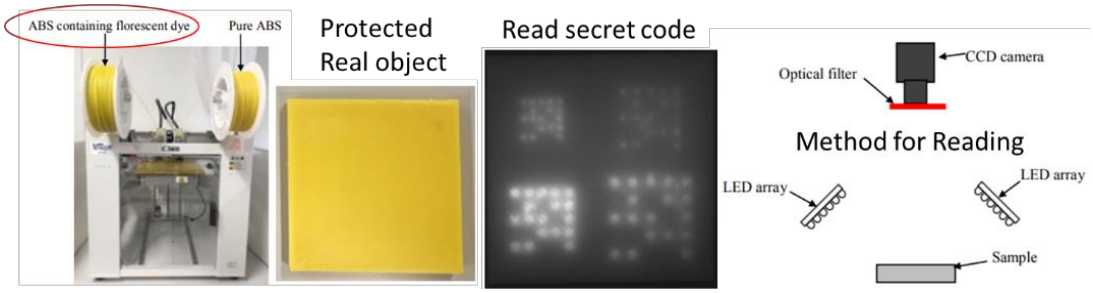
สามารถอ่านข้อมูลออกมาได้ (reading code) ทั้งนี้ ข้อมูลลับจำเป็นที่จะต้องฝังแบบไม่ให้กระทบฟังก์ชันการใช้งานของผลิตภัณฑ์ เพื่อจะได้ไม่เกิดความเสียหายต่อผลิตภัณฑ์ต่อไป สำหรับการพิมพ์สีสามมิติ (ด้วยไฟล์แบบ .obj) สีจะเคลือบอยู่บนผิววัสดุทีละชั้นพร้อมกับการสร้างโครงสร้างของวัตถุไปเรื่อย ๆ ทีละชั้นด้วยเช่นกัน ด้วยเหตุนี้ การพิมพ์สีสามมิติจึงใช้เวลาพิมพ์นานกว่าการพิมพ์สามมิติสีขาว-ดำประมาณสองเท่า ทั้งนี้มีเทคนิคในการซ่อนข้อมูลด้วยข้อมูลสีด้วย (ภาพที่ ๒)



ภาพที่ ๒ ลายน้ำแบบรอยสลักบนผิววัตถุสามมิติโดยตรง เห็นได้ชัดเจนด้วยตาเปล่า เพื่อป้องกันการปลอมแปลงแบบครบสมบูรณ์เต็มรูปแบบ ตรวจสอบได้ทั้งแบบปฐมภูมิและทุติยภูมิ

๓. การอ่านข้อมูลจากวัตถุ เพื่อพิสูจน์ทราบอัตลักษณ์ข้อมูลของวัตถุที่ปกป้อง

การอ่านข้อมูลลับจากวัตถุ ๓ มิติที่มีการใช้เทคนิคการซ่อนข้อมูลนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องได้เทคนิคและลักษณะวิธีการฝังข้อมูลว่าเป็นชนิดใด เพื่อเลือกเทคนิควิธีการอ่านได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ เทคนิคการอ่านข้อมูลแต่ละแบบใช้ได้เฉพาะเทคนิคการฝังข้อมูลแต่ละแบบเท่านั้นด้วย เช่น การแฝงข้อมูลลับบนผิววัตถุ เราก็สามารถใช้ตาปกติในการพิสูจน์ทราบได้เลย (ภาพที่ ๒) แต่หากฝังข้อมูลลับเป็นแบบภายในวัตถุด้วยวัสดุเรืองแสงชนิดฟลูออเรสเซนส์ (Silapasuphakornwong et al, 2019) (ภาพที่ ๓) จำเป็นต้องส่องวัตถุนั้นผ่านแสงช่วงความยาวคลื่นเฉพาะและถ่ายภาพจากกล้องรังสีอินฟราเรด รวมทั้งใช้ซอฟต์แวร์ในการช่วยแปลรหัส จึงสามารถอ่านข้อมูลลับมาเป็นรหัสที่ผู้ทดลองเข้าใจได้ ฯลฯ



ภาพที่ ๓ (ซ้ายไปขวา) การฝังข้อมูลด้วยเส้นฟิลาเมนต์พลาสติกชนิดเอบีเอสที่เคลือบสารฟลูออเรสเซนส์ ผู้ทดลองไม่สามารถมองเห็นข้อมูลของวัตถุพิมพ์ได้จากผิวภายนอก ต้องใช้วิธีพิเศษเท่านั้นจึงจะอ่านข้อมูลที่ฝังให้อ่านออกมาได้ และข้อมูลเหล่านี้ต้องไม่รบกวนฟังก์ชันการใช้งานของผลิตภัณฑ์นี้

๔. การพิสูจน์ทราบการปลอมแปลง การลอกเลียนแบบ และการทำซ้ำ

การละเมิด การปลอมแปลง การลอกเลียน และทำซ้ำเพื่อการเผยแพร่ต่อโดยไม่ได้รับอนุญาต มักมาจากการสแกนวัตถุด้วยเครื่องสแกน ๓ มิติ เพื่อให้ได้ไฟล์โมเดลกลับมาสำหรับการเก็บข้อมูล การแจกจ่าย และการทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตภายใต้การกระทำของคนที่ละเมิดนั้นเป็นคดี ซึ่งหากมีการแฝงข้อมูลในวัตถุมาแล้ว เจ้าของสิทธิ์ในผลิตภัณฑ์สามารถพิสูจน์ทราบได้ใน ๒ ขั้นด้วยกัน คือ ขั้นปฐมภูมิ คือ วัตถุที่พิมพ์ผ่านเครื่องพิมพ์รอบที่ ๑ จากไฟล์ดั้งเดิมซึ่งยังไม่ผ่านเครื่องสแกน ๓ มิติ และขั้นทุติยภูมิ คือ วัตถุที่ผ่านการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ ๓ มิติ จากไฟล์ที่ผ่านการสแกนวัตถุด้วยเครื่องสแกน ๓ มิติ มาแล้ว เป็นการพิมพ์รอบที่ ๒ ทั้งนี้ สังเกตได้ว่า เทคนิคการซ่อนลายน้ำในตัววัตถุสามมิติ (ฝังภายในวัตถุ) จะพิสูจน์ข้อมูลลับทราบผ่านขั้นทุติยภูมิไม่ได้ เพราะเครื่องสแกน ๓ มิติ จะสแกนผิววัตถุได้แต่ภายนอกเท่านั้น ดังนั้น ข้อมูลจะหายไปในขั้นตอนนี้ ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่า หากต้องการการป้องกันขั้นสูงสุดนั้น จำเป็นต้องทำให้วัตถุเกิดรอยสลัก หรือรอยแผลเป็น (scar) บนผิววัตถุด้วยเท่านั้น อนึ่ง เทคนิคการแฝงข้อมูลในวัตถุไม่จำเป็นต้องใช้เทคนิคการพิมพ์เท่านั้น แต่สามารถปรับเปลี่ยนเป็นการใช้การสลักลวดลายสำคัญแบบสกัดออก (subtraction) เช่น ระบบการสกัดด้วยลำแสงเลเซอร์ (laser cutting) ในสมัยนี้มักใช้เครื่องตัดด้วยแสงเลเซอร์ที่ติดมากับเครื่องหลอมวัสดุและก่อเป็นรูปร่าง (fusion deposition modeling printer, FDM) มาใช้งาน เพียงแค่เปลี่ยนหัวพิมพ์จากหัวอัดรีดเส้นใย (extrusion filament) ไปเป็นหัวเลเซอร์ที่ใช้ความร้อนสกัดซึ่งมีความแม่นยำสูงกว่ามาแทน (Matusik and Konakovic, 2023) งานวิจัยนี้เปลี่ยนระบบการพิมพ์จากการพิมพ์สามมิติไปใช้ laser cutting แทนเพื่อสร้างรอยแผล (scar) บนผิววัตถุ และแผลที่เกิดขึ้นนี้เป็นรหัสข้อมูลสำหรับยืนยันตัวตนของสินค้าโดยอ่านผ่านกล้องที่มีโปรแกรมอ่าน เชื่อว่า ในอนาคตจะมีการนำวิธีนี้มาทำ “การซ่อนข้อมูล” จากการ “ซ่อนข้อมูลเพื่อให้การปลอมแปลงทำได้ยากมากขึ้น” เป็น “การแนบข้อมูลเพื่อการพกพาไปทุกที่แบบไม่มีขยะหรือร่องรอยที่เหลือทิ้ง” กล่าวคือ เมื่อจะใช้งานผ่านรหัสข้อมูล จำเป็นต้องเป็นผู้ใช้ตัวจริงที่รู้รหัสการเข้าถึงข้อมูลได้ด้วยวิธีการเฉพาะเท่านั้น จึงสามารถใช้งานอย่างปลอดภัย สะดวก ง่ายดาย และเข้าถึงข้อมูลหรือระบบในโลกดิจิทัลได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว โดยไม่ทิ้งร่องรอยการใช้งานหรือขยะไว้เบื้องหลัง การตอบรับสอดคล้องและสนับสนุนระบบการผลิตและการบริโภคแบบปัจเจก หรือ สนองตามความต้องการ (on-demand) อย่างแท้จริง การเปลี่ยนแปลงจากยุคอุตสาหกรรมดั้งเดิมสู่ยุคอุตสาหกรรมดิจิทัลหลังการปฏิวัติอุตสาหกรรม ๔.๐ ซึ่งได้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ทำให้การผลิตระบบเดิมหยุดชะงักและเกิดเทคนิคใหม่ การผลิตแบบปฏิรูป การผลิตแบบดั้งเดิมอย่างสิ้นเชิงและชัดเจน (disruption)

บทสรุป

การฝังข้อมูลในวัตถุสามมิติมีวัตถุประสงค์เบื้องต้นเพื่อการปกป้องลิขสิทธิ์ หรือแสดงความเป็นเจ้าของโดยถูกต้องตามกฎหมายของผู้ผลิตหรือผู้สร้างสรรค์งานนั้นก็ตาม เมื่อมีการพัฒนาเทคนิคนี้เพื่อฝังข้อมูลได้มากขึ้นและดีขึ้น ผู้ใช้สามารถนำวิธีทางเทคนิคเหล่านี้ไปใช้ในการฝังข้อมูลชนิดอื่นได้ด้วย เช่น barcode, QR code หรือการฝังโลหะ ทำให้สามารถเกิดวงจรไฟฟ้าได้ซึ่งอาจเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุสามมิตินั้นได้

อนึ่ง บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของผลงานในโครงการวิจัยด้านเทคโนโลยีของข้อมูลภายใต้ความร่วมมือเพื่อแลกเปลี่ยนนิสิตนักศึกษาระหว่างจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประเทศไทย กับ Kanagawa Institute of Technology, ประเทศญี่ปุ่น ค.ศ. ๒๐๑๐ – ๒๐๒๐ คณะผู้นิพนธ์บทความนี้ขอกราบขอบพระคุณโครงการนี้ที่ทำให้ได้มีโอกาสร่วมพัฒนาเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติขึ้นที่มีประโยชน์อย่างกว้างขวางทั้งระดับงานวิจัยเพื่อหาผลิตภัณฑ์ใหม่และเพื่อแทนที่เทคโนโลยีการผลิตเก่าที่ไม่ทันสมัยและสิ้นเปลืองรวมทั้งไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

เอกสารอ้างอิง

จุฬาพงษ์ พานิชเกรียงไกร, ปิยะรัตน์ ศิลปศุภกรวงศ์ และสุดา เกียรติกำจรวงศ์ (๒๕๖๓) จากการพิมพ์ ๓ มิติสู่การพิมพ์ ๔ มิติ และการใช้ประโยชน์ของเทคโนโลยีดิจิทัล: วรรณกรรมปริทัศน์ฉบับย่อ. วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. ปีที่ ๔๓ ฉบับที่ ๔ ตุลาคม–ธันวาคม ๒๕๖๓ หน้า ๓๘๕–๔๒๓.

ปิยะรัตน์ ศิลปศุภกรวงศ์ และสุดา เกียรติกำจรวงศ์ (๒๕๖๕) บทบาทของเทคโนโลยีการพิมพ์ ๓ มิติ-๔ มิติสำหรับกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมในอนาคต. จุลสารสำนักวิทยาศาสตร์ ราชบัณฑิตยสภา ปีที่ ๑ ฉบับที่ ๑ มกราคม–มีนาคม ๒๕๖๕ หน้า ๘–๑๓.

ลักษิกา งามวงศ์ล้ำเลิศ และสักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา (๒๕๖๕) การพิมพ์อาหารสามมิติ. จุลสารสำนักวิทยาศาสตร์ ราชบัณฑิตยสภา ปีที่ ๑ ฉบับที่ ๑ มกราคม–มีนาคม ๒๕๖๕ หน้า ๑๔–๑๘.

สุดา เกียรติกำจรวงศ์ และสมชัย บวรกิตติ (๒๕๕๙) การพิมพ์อวัยวะ ๓ มิติ : สถานภาพปัจจุบัน ในหนังสือเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา ฯ สยามบรมราชกุมารี ในโอกาสฉลองพระชนมายุ ๕ รอบ สำนักวิทยาศาสตร์ ราชบัณฑิตยสภา โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ISBN 978–616–389–030–6 หน้า ๑๙๙–๒๒๓.

Hou, J.U., Kim, D., Ahn, W.H. and Lee, H.K. (2018) Copyright Protections of Digital Content in the Age of 3D Printer: Emerging Issues and Survey. *IEEE Access*, *6*, 44082–44093.

Matusik, H. and Konakovic Lukovic, M. (2023) ObjGen: Constructing Objects with Digital Genetic Information. In *Extended Abstracts of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1–8. [Acm23]

Silapasuphakornwong, P., Trii, H., Uehira, K. and Suzuki, M. (2019) Technique for Embedding Information in Objects Produced with 3D Printer using Near Infrared Fluorescent Dye. MMEDIA 2019: The Eleventh International Conference on Advances in Multimedia, 1, 500(2), 56–58.