การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24
20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

การพัฒนาเครื่องขึ้นรูปต้นแบบเร็วโดยวิธีพิมพ์แบบหยดหมึกตามประสงค์

(Development of Drop-on-Demand Printer for Rapid Prototyping Applications)

มานะ แซ่ด่าน

ห้องปฏิบัติการวิจัยระบบอัตโนมัติและแบบจำลองประยุกต์
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200
ติดต่อ: โทรศัพท์: 053 944 146, โทรสาร: 053 944 145
E-mail: mana@chiangami.ac.th

บทคัดย่อ

เครื่องขึ้นรูปต้นแบบเร็ว (Rapid prototype machine) นั้นมีเทคโนโลยีที่ใช้อยู่หลายประเภท ซึ่งวิธีพิมพ์แบบหยดหมึกตามประสงค์ (Drop-on-demand printing) จะเป็นเทคโนโลยีค่อนข้างใหม่ที่มีราคาเริ่มต้นต่ำกว่าเครื่องประเภทอื่น และยังสามารถใช้หมึกวัสดุโครงสร้างที่หลากหลาย อย่างไรก็ตามเครื่องขึ้นรูปต้นแบบเร็วที่มีจำหน่ายในท้องตลาดยังมีราคาค่อนข้างสูง อีกทั้งยังไม่เอื้อต่อการพัฒนาเพื่อใช้วัสดุโครงสร้างอื่นขึ้นรูปนอกจากที่ผลิตเฉพาะกับเครื่องนั้นๆ ดังนั้นในบทความนี้จะได้นำเสนอขั้นตอนการพัฒนาเครื่องขึ้นรูปต้นแบบเร็ว ซึ่งจะครอบคลุมการพัฒนาอุปกรณ์หลักต่างๆ ของตัวเครื่อง โดยเฉพาะการพัฒนาระบบหยดหมึกที่เป็นหัวใจหลัก รวมไปถึงแนวทางในการพัฒนาหมึกโครงสร้างขึ้นมาใช้งานพร้อมกับตัวเครื่อง โดยหมึกโครงสร้างนี้จะเป็นสารประกอบจำพวกโพลีเมอร์ไวแสง การพัฒนาเครื่องขึ้นรูปแบบหยดหมึกตามประสงค์ขึ้นมาด้วยตนเองนี้จะช่วยให้ลดงบประมาณในการที่จะมีเครื่องประเภทนี้ไว้ใช้ในงานการขึ้นรูปต้นแบบเร็ว อีกทั้งยังเปิดมิติใหม่ให้กับงานวิจัยที่อาศัยการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น (Layer by layer manufacturing) เช่นการขึ้นรูปอุปกรณ์ส่งยา (Drug delivery system) อุปกรณ์ตรวจวัด (Sensor) และโครงร่างรองรับเซลล์ (Scaffold) ในงานทางชีวการแพทย์ (Biomedical)

คำหลัก: การขึ้นรูปต้นแบบเร็ว, พิมพ์หยดหมึกตามประสงค์, หัวพิมพ์

Abstract

There are several technologies introduced to rapid prototype research field. The drop-on-demand printing is one of those technologies in which it is quite new and promises to give lower owner cost than other technologies. Furthermore, the ability to incorporate varieties of materials attracts researchers across the field. However, the current commercialized machines are still expensive and very limited in term of types of materials usage. In addition, they do not allow the use of materials from other vendors beside their own. This inspired us to develop a drop-on-demand printing machine from scratch. The report discusses the major components developments include the print-head in which it is a key component of the drop-on-demand printing system. Furthermore, the paper opens the idea of material development that can be used in our machine. We hope our development will extend the opportunity for advanced research that requires layer-by-layer such as drug delivery devices, sensors and tissue scaffold.

Keywords: Rapid prototype, Drop-on-demand printing, print-head

1. บทนำ

ในกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อการค้าจำเป็นที่จะต้องมีกระบวนการสร้างต้นแบบเพื่อศึกษาถึงองค์ประกอบต่างๆ หลักจากที่ได้มีการออกแบบในคอมพิวเตอร์ การที่สามารถสร้างต้นแบบจากภาพดิจิตอลสามมิติได้โดยตรงนั้นจะทำให้ได้ต้นแบบที่รวดเร็วโดยที่ยังไม่ต้องคำนึงถึงกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ จึงทำให้เครื่องขึ้นรูปต้นแบบเร็วถือกำเนิดมาเพื่อตอบสนองความต้องการดังกล่าว

ปัจจุบันมีผู้ผลิตเครื่องขึ้นรูปต้นแบบเร็วอยู่จำนวนหนึ่งซึ่งมีเทคโนโลยีในการขึ้นรูปต่างๆ กัน [1] เช่นการใช้วิธีสเตริโอลิโธกราฟี (Stereo lithography) ฟิวส์เดโพสิชัน (Fuse deposition) ลามิเน็ตออบเจ็คเมนูแฟ็คเจอรริ่ง (Laminated Object Manufacturing) และทรีดีปริ้นท์ติ้ง (3D Printing) โดยการพิมพ์ภาพสามมิตินั้นเป็นวิธีการที่พัฒนาขึ้นมาล่าสุด ซึ่งประยุกต์มาจากเทคโนโลยีการพิมพ์อิงค์เจ็ท (Inkjet)

การพิมพ์แบบหยดหมึกตามประสงค์เป็นเทคโนโลยีที่นิยมสำหรับการพิมพ์สามมิติซึ่งจะทำการควบคุมหยดหมึกให้เกิดขึ้นในตำแหน่งที่ต้องการให้มีการขึ้นรูป โดยจะทำให้ต้นแบบที่ได้จากการพิมพ์มีความแม่นยำ การขึ้นรูปลักษณะนี้ยังประหยัดหมึกสารขึ้นรูป และสามารถเก็บหมึกไว้ในภาชนะที่ปิดสนิทได้ จึงทำให้มีความนิยมที่จะนำมาใช้ในสำนักงานทั่วไป เนื่องจากกลิ่นของหมึกไม่รบกวนผู้ใช้งาน บริษัทที่จำหน่ายเครื่องขึ้นรูปลักษณะนี้ได้แก่ Z Corporation (www.zcorp.com) และ Objet Geometries Ltd. (www.object.com) เป็นต้น

แม้ว่าเครื่องพิมพ์ขึ้นรูปที่มีจำหน่ายเพื่อการพาณิชย์ในปัจจุบันมีราคาไม่สูงมากเมื่อเทียบกับเครื่องขึ้นรูปต้นแบบเร็วประเภทอื่น แต่ราคาของหมึกพิมพ์ขึ้นรูปกลับมีราคาแพงและยังถูกจำกัดให้ใช้ได้เฉพาะกับของบริษัทผู้ผลิตนั้นๆ ซึ่งการที่จะนำเครื่องพิมพ์ดังกล่าวมาใช้ในการศึกษาวิจัยและพัฒนางานด้านอื่นที่ประยุกต์หลักการการขึ้นรูปแบบชั้นเป็นไปด้วยความยากลำบาก รายงานนี้เล็งเห็นถึงปัญหาดังกล่าวจึงได้เสนอการพัฒนาระบบเครื่องพิมพ์แบบหยดหมึกตามประสงค์ขึ้นเองเพื่อเพิ่มโอกาสในงานวิจัยและพัฒนาด้านต่างๆ อาทิเช่น อุปกรณ์ส่งยา [2] อุปกรณ์ตรวจวัด [3] และโครงร่างรองรับเซลล์ [4] หากมีเครื่องพิมพ์ที่สามารถใช้วัสดุพิมพ์ได้หลากหลายและมีราคาที่ต่ำกว่าเครื่องพิมพ์ที่มีจำหน่ายทั่วไป เนื้อหารายงานฉบับนี้จะได้กล่าวถึงภาพรวมของการพัฒนาองค์ประกอบต่างๆ ของเครื่องพิมพ์ซึ่งอยู่ในระหว่างการพัฒนาศักยภาพให้สามารถขึ้นรูปต้นแบบจากวัสดุที่หลากหลาย

การพัฒนาเครื่องขึ้นรูปต้นแบบเร็วแบบหยดหมึกตามประสงค์จะเป็นการพัฒนาต่อที่ได้รับแรงบันดาลใจจากเครื่องพิมพ์หยดหมึกตามประสงค์ที่ได้มีรายงานไว้ใน [5] ซึ่งพัฒนาเครื่องพิมพ์หยดหมึกระบบหลายหัวพิมพ์ที่ใช้ขึ้นรูปวัตถุจากวัสดุหลายชนิดได้ในครั้งเดียวกัน ระบบเครื่องพิมพ์ดังกล่าวยังได้มีการใช้หัวพิมพ์ลักษณะต่างๆ เช่นหัวพิมพ์แบบใช้เพียโซเป็นตัวขับและหัวพิมพ์แบบโซลินอยด์วาล์ว เพื่อให้มีราคาต่อหน่วยของเครื่องพิมพ์ต่ำที่สุด โครงการได้พัฒนาอุปกรณ์หลักของเครื่องโดยเฉพาะในส่วนของหัวพิมพ์ที่ต้องใช้หยดหมึก การพัฒนาหัวพิมพ์ขึ้นใหม่จะประยุกต์วิธีการจาก [6] ซึ่งได้อธิบายวิธีการสร้างหัวพิมพ์ที่ใช้เปียโซเป็นตัวขับหมึกและอธิบายวิธีการเชื่อมหลอดแก้วคาปิลารีเข้ากับแผ่นออริฟิสที่ทำมาจากแผ่นซิลิกอนเวเฟอร์ด้วยความร้อน อีกทั้งยังเสนอแนวทางการพัฒนาระบบอิเล็กทรอนิกส์เพื่อทำการควบคุมหัวพิมพ์ โครงการได้พัฒนาและสร้างชุดหัวพิมพ์แบบถอดเปลี่ยนหัวฉีดได้ (Nozzle) ซึ่งจะทำให้สามารถใช้หัวพิมพ์ได้อย่างคุ้มค่าเพราะในส่วนหัวฉีดนี้จะเกิดการอุดตันได้ง่าย หากใช้หัวพิมพ์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดเช่นจากบริษัท MicroFab Technologies, Inc. (www.microfab.com) เมื่อเกิด

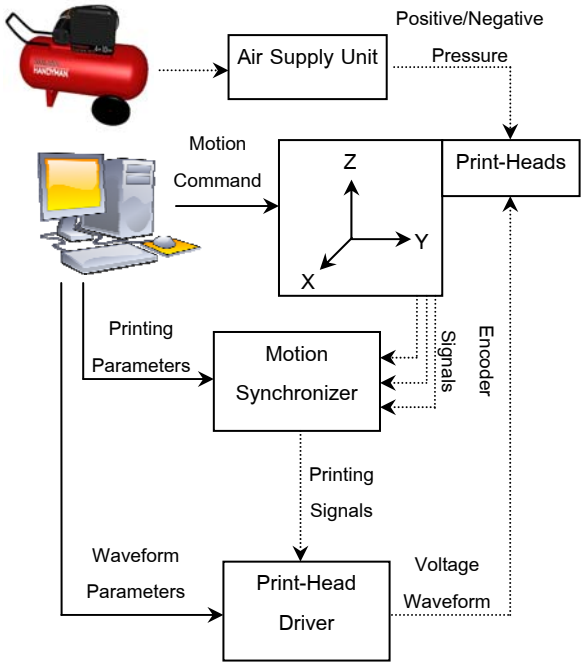
การอุดตันของหัวพิมพ์ขึ้นอาจจำเป็นต้องเปลี่ยนหัวพิมพ์ใหม่ทั้งหมดเนื่องจากไม่สามารถถอดเปลี่ยนชิ้นส่วนใดๆของหัวพิมพ์ได้ หัวพิมพ์ที่พัฒนาขึ้นมาใหม่นี้ต้องการแรงดันไฟฟ้าเพื่อกระตุ้นให้ตัวทำงานในหัวพิมพ์บีบตัวเพื่อจะสร้างหยดหมึกตรงปลายหัวฉีด วงจรสำหรับขับหัวพิมพ์นี้จะมีความพิเศษตรงที่ต้องสามารถจ่ายแรงดันสูง (±20 - ±160 โวลต์) ในลักษณะรูปคลื่นตามความต้องการ

การเคลื่อนที่สามมิติของหัวพิมพ์จะอาศัยแกนเคลื่อนที่ที่มีเซอร์โวมอเตอร์เป็นต้นกำลัง โครงการเลือกใช้เซอร์โวมอเตอร์ด้วยเหตุผลที่จะได้จับตำแหน่งของการเคลื่อนที่ของหัวพิมพ์ได้อย่างแม่นยำถึงแม้ว่าราคาอุปกรณ์จะสูงกว่าการใช้สเตปมอเตอร์ซึ่งนิยมใช้กันมากในงานลักษณะนี้ การจับตำแหน่งของการเคลื่อนที่ของหัวพิมพ์จะนำมาระบุตำแหน่งที่ต้องหยดหมึกเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีความแม่นยำจนถึงระดับไมโครเมตร ตำแหน่งของหัวพิมพ์จะมีอ่านค่าตลอดเวลาแบบเวลาจริง (Real Time) ด้วยวงจรอิเล็กโทรนิคส์เพื่อที่ทำหน้าที่เฉพาะ โดยประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เนื่องจากมีราคาต่ำแต่สามารถทำงานในลักษณะดังกล่าวได้ดี การที่มีการแยกการจับตำแหน่งออกจากการควบคุมการเคลื่อนจะส่งผลดีในด้านของการเลือกใช้อุปกรณ์ควบคุมการเคลื่อนที่ (Motion controller) ซึ่งโดยมากจะมีหน้าที่เพียงควบคุมการเคลื่อนที่อย่างเดียว

ส่วนท้ายของรายงานจะเป็นแนวทางการพัฒนาหมึกพิมพ์ที่สามารถใช้ร่วมกับหัวพิมพ์ที่พัฒนาขึ้น โดยหมึกพิมพ์จะเป็นกลุ่มโพลีเมอร์ไวแสงที่สามารถเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของแข็งได้เมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสง

2. ขั้นตอนการพัฒนาเครื่องขึ้นรูปต้นแบบเร็ว

เครื่องขึ้นรูปต้นแบบเร็วในงานวิจัยและพัฒนานี้ประกอบไปด้วยส่วนสำคัญดังนี้ ชุดแกนเคลื่อนที่พร้อมระบบควบคุมการเคลื่อนที่ ระบบสัมพันธ์ตำแหน่ง ชุดหัวพิมพ์หยดหมึก และระบบจ่ายลม ซึ่งได้แสดงความสัมพันธ์ของแต่ละระบบในรูปที่ 1 ในแผนผังจะมีคอมพิวเตอร์ทำหน้าที่ประสานและสั่งงานอุปกรณ์หลักสามชนิดคือ แกนเคลื่อนที่ของแท่นพิมพ์ เครื่องสัมพัทธ์ตำแหน่ง (Motion synchronizer) และเครื่องขับหัวพิมพ์ (Print-head driver) ตำแหน่งของหัวพิมพ์จะถูกบันทึกผ่านเครื่องสัมพัทธ์ตำแหน่งเพื่อประมวลผลหาจุดที่ต้องทำการหยดหมึก เมื่อหัวพิมพ์เคลื่อนที่มาถึงตำแหน่งที่ได้ออกแบบไว้เครื่องสัมพัทธ์ตำแหน่งจะส่งสัญญาณพัลส์ไปยังเครื่องขับหัวพิมพ์เพื่อให้เครื่องขับหัวพิมพ์เริ่มกระบวนการสร้างรูปคลื่นแรงดันไปยังหัวพิมพ์เพื่อให้เกิดหยดหมึกขึ้นมา หัวพิมพ์แต่ละหัวจะต่อเข้ากับระบบจ่ายลมเพื่อจ่ายแรงดันลมสูญญากาศเพื่อชดเชยน้ำหนักของหมึกพิมพ์ซึ่งจะทำให้ไม่มีหมึกไหลออกจากหัวพิมพ์เมื่อไม่ได้สั่งงาน



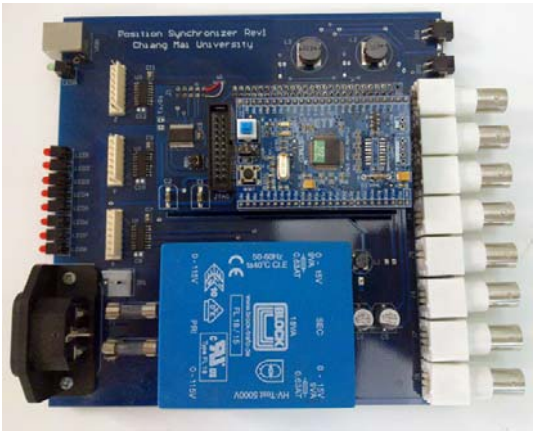
รูปที่ 1 แผนผังอุปกรณ์หลักของเครื่องขึ้นรูปเร็วแบบหยดหมึกตามประสงค์

2.1 ชุดเคลื่อนที่ของเครื่องขึ้นรูปและอุปกรณ์สัมพันธ์ตำแหน่ง

รูปที่ 2 แสดงชุดแกนเคลื่อนที่ของเครื่องขึ้นรูป ประกอบไปด้วยระบบเคลื่อนที่แบบบอลสกูลที่มีเซอร์โวมอเตอร์เป็นต้นกำลังโดยจะเคลื่อนหัวพิมพ์ไปในแนวราบ (ระนาบ X-Y) ส่วนในแนวดิ่งจะเป็นการเคลื่อนที่ชิ้นงานลงเมื่อขึ้นรูปเสร็จหนึ่งชั้น ช่องว่างแสดงพื้นที่ทำงานของเครื่องพิมพ์ที่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานที่มีมิติ 100 x 100 x 50 มม. (เวลาทำงานจริงจะมีแผ่นรองชิ้นงานวางอยู่เหนือแกนแนวดิ่ง) การควบคุมการเคลื่อนที่ของแกนทั้งสามของชุดเคลื่อนที่จะผ่านการ์ดควบคุมการเคลื่อนที่ซึ่งติดตั้งไว้ในคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ การ์ดควบคุมจะทำหน้าที่ควบคุมแต่ละแกนของเครื่องขึ้นรูปด้วยระบบควบคุมแบบพีไอดี (PID controller) ซึ่งสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของแต่ละแกนได้อย่างแม่นยำ อย่างไรก็ตามการ์ดที่โครงการนี้มีใช้ไม่มีช่องสัญญาณออกเพื่อควบคุมการหยดของหัวพิมพ์ตามตำแหน่งที่ต้องการ ดังนั้นโครงการจึงได้พัฒนาเครื่องสัมพัทธ์การเคลื่อนที่ซึ่งเป็นวงจรอิเล็กโทรนิกส์เพื่อจับตำแหน่งของแต่ละแกนการเคลื่อนที่แล้วนำมาสั่งหัวพิมพ์ให้หยดหมึกลงตามตำแหน่งที่ได้ออกแบบไว้

เครื่องสัมพัทธ์การเคลื่อนที่ในรูปที่ 3 ประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักคือไมโครคอนโทรลเลอร์รหัสรุ่น STM32F103RET6 ทำงานที่ความถี่สูงสุด 72 เม-กะเฮิร์ต ความพิเศษของไมโครลคอนโทรเลอร์รุ่นนี้จะมีอุปกรณ์ต่อพ่วง (Peripheral) ที่สามารถนับสัญญาณจากโรตารีเอนโคดเตอร์แบบควอดดราเจอร์ (Quadrature) ได้โดยตรงซึ่งจะไม่สิ้นเปลืองเวลาคำนวณของไมโครคอนโทรลเลอร์ การออกแบบวงจรสัมพัทธ์การเคลื่อนที่ดังกล่าวทำให้ลดต้นทุนต่อหน่วยของเครื่องพิมพ์ลงได้อย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งยังสามารถสั่งงานหัวพิมพ์ได้ถึงสูงสุด 8 หัวพิมพ์ในเวลาเดียวกัน โดยทำการส่งสัญญาณดิจิตอลไปยังวงจรขับหัวพิมพ์แต่ละหัวเพื่อส่งสัญญาณแรงดังไปยังหัวพิมพ์อีกทอดหนึ่ง

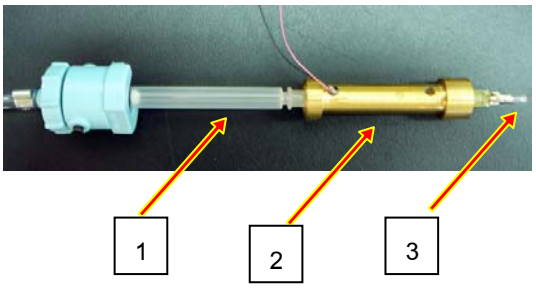
รูปที่ 2 แท่นเครื่องพิมพ์ที่ประกอบไปด้วยแกนเคลื่อนที่สามแกน และเครื่องสัมพันธ์ตำแหน่งตรงบริเวณมุมบนขวาของแท่นพิมพ์



รูปที่ 3 วงจรอุปกรณ์สัมพันธ์ตำแหน่ง

2.2 ชุดหัวพิมพ์

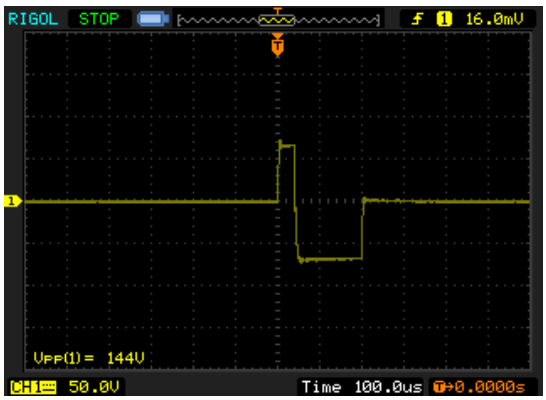
ชุดหัวพิมพ์เป็นอุปกรณ์หัวใจหลักในระบบขึ้นรูปแบบหยดหมึก หัวพิมพ์ที่ห้องวิจัยพัฒนาขึ้นนั้นเป็นลักษณะที่ถอดเปลี่ยนหัวพ่นได้ (Nozzle) ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยประกอบไปด้วยส่วนสำคัญสามส่วนคือ 1) หลอดเก็บสารที่ประยุกต์ใช้หลอดฉีดที่หาได้ง่ายและมีราคาไม่สูง อีกทั้งหลอดฉีดยาทำจากโพลีโพพีลีน ซึ่งมีคุณสมบัติทนการกัดกร่อนและตัวทำละลายได้ดี 2) ท่อขับหมึกซึ่งมีการใช้ตัวทำงานเปียโซ (Piezo actuator)



รูปที่ 4 หัวพิมพ์แบบถอดหัวฉีดได้

แบบหลอดมาติดกับท่อพลาสติกทนสารเคมี เพื่อทำหน้าที่ขับน้ำหมึกออกมาทางหัวพ่น 3) หัวฉีดหมึกซึ่งทำมาจากการนำหลอดแก้วคาปิลลารีมาเชื่อมติดกับแผ่นออริฟิสแซฟฟายร์ด้วยวิธีทางความร้อน ขนาดรูบนแผ่นออริฟิสที่เลือกใช้คือขนาด 50 ไมโครเมตร

หัวพิมพ์ที่พัฒนาขึ้นมาต้องใช้วงจรขับเปียโซที่สามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าตามลักษณะคลื่นสัญญาณที่ต้องการ โดยปกติคลื่นสัญญาณจะมีลักษณะแบบไบโพลาร์ที่มีการกำหนดลักษณะรูปคลื่นดังในรูปที่ 5

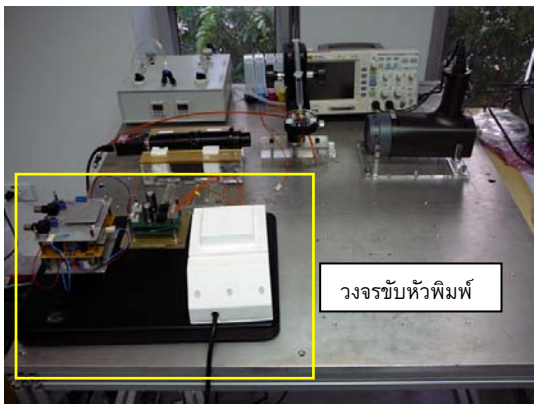


รูปที่ 5 ลักษณะสัญญาณแรงดันจากวงจรขับหัวพิมพ์ที่ทำให้หัวพิมพ์หยดหมึกออกมา

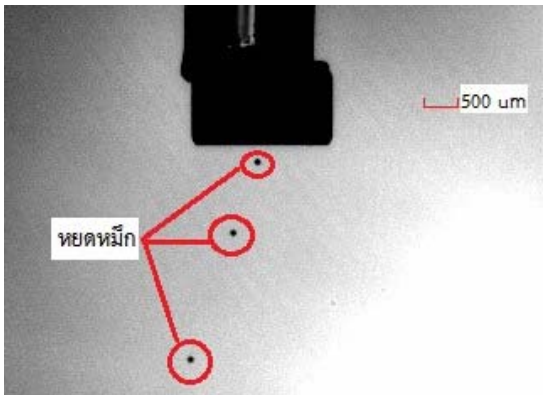
การที่จะกำหนดรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้านี้จะอาศัยเครื่องสร้างแบบคลื่น (Waveform generator) แล้วใช้ตัวขยายแรงดัน (Amplifier) เพื่อให้ได้แรงดันในระดับที่ต้องการแสดงในรูปที่ 6 เป็นชุดทดลองเพื่อค่าลักษณะการพิมพ์ ทั้งนี้การเกิดหยดหมึกนั้นจะมีหลายปัจจัยที่มีอิทธิพลเช่น ขนาดแรงดัน ลักษณะคลื่นแรงดัน ความหมึดของหมึก ขนาดของหัวฉีด ลักษณะทางกายภาพของหัวพิมพ์ ฯลฯ โดยในหลายๆ ปัจจัยนั้นจะค่อนข้างยากต่อการควบคุมและการจำลองสถานะการณ์ ดังนั้นการที่จะทำการหยดหมึกได้สำเร็จในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจึงใช้วิธีการทดลองเพื่อหาลักษณะการพิมพ์ที่เหมาะสมสำหรับหัวพิมพ์และหมึกพิมพ์ของงานวิจัยนั้นๆ [7] ดังรูปที่ 7 เป็นการแสดงหยดหมึกที่ออกจากหัวพิมพ์ที่โครงการได้ผลิตขึ้นเมื่อทำการปรับค่าลักษณะการพิมพ์ที่เหมาะสม

2.3 ระบบจ่ายลม

ระบบจ่ายลมในเครื่องขึ้นรูปต้นแบบเร็วจะทำหน้าที่จ่ายลมทั้งลมอัดและสูญญากาศ เพื่อเป่า (Purge) หัวพิมพ์ในกรณีที่เกิดการอุดตัน และในชดเชยน้ำหนักของหมึกพิมพ์ไม่ให้ไหลออกจากหัวพิมพ์เอง โดยในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบจ่ายลมที่ใช้เครื่องผลิตลมสุญญากาศ (Vacuum generator) ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมมาเพื่อทำการผลิตแรงดันสูญญากาศ โดยปกติเครื่องผลิตลมสูญญากาศจะมีแรงดันสูญญากาศค่อนข้างมากเมื่อมีอากาศไหลภายในเครื่องผลิตลมสุญญากาศต่ำ ซึ่งทำให้ไม่สามารถใช้งานกับหัวพิมพ์ได้โดยตรงเนื่องจากการชดเชยน้ำหนักของหมึกต้องการแรงดันสูญญากาศไม่เกิน 15 kPa ดังนั้นจะต้องทำการติดตั้งรูระบายอากาศพร้อมวาล์วเพื่อปรับปริมาณอากาศขาเข้าของเครื่องผลิตลมสุญญากาศให้ได้แรงดันที่เหมาะสมสำหรับชดเชยน้ำหนักหยดหมึก



รูปที่ 6 ชุดวงจรขับหัวพิมพ์พร้อมทั้งหัวพิมพ์ขณะทำการทดลองหาค่าลักษณะการพิมพ์



รูปที่ 7 ภาพของหยดหมึกที่ออกจากหัวพิมพ์

3. หมึกพิมพ์สำหรับการขึ้นรูปต้นแบบเร็ว

แม้ว่าเครื่องขึ้นรูปต้นแบบเร็วที่พัฒนาขึ้นมาสามารถใช้หมึกวัสดุสำหรับพิมพ์ได้หลากหลาย แต่ความหนืดของหมึกพิมพ์ต้องอยู่ในช่วงที่หัวพิมพ์สามารถพ่นหมึกออกมาทางหัวฉีดได้ อีกทั้งยังต้องสามารถควบคุมการแข็งตัวของหมึกพิมพ์หลังจากที่ทำการหยดลงบนชิ้นงานได้ ด้วยข้อจำกัดและความต้องการดังกล่าว คณะนักวิจัยจึงได้หาแนวทางในการพัฒนาสูตรหมึกพิมพ์เพื่อให้ได้หมึกที่มีความหนืดอยู่ในช่วงเหมาะสมสำหรับพิมพ์ สามารถควบคุมการแข็งตัวด้วยแสง และมีความเป็นพิษต่อผู้ใช้งานต่ำ

หมึกพิมพ์ได้พัฒนาในขั้นต้นนี้จะเป็นหมึกประเภทโพลีเมอร์ไวแสง (Photosensitive polymer) ที่ประกอบขึ้นจากโมโนเมอร์ที่มีความหนืดต่ำ สารกระตุ้นด้วยแสง (Photo initiator) และสารปรับคุณสมบัติอื่นๆ หมึกพิมพ์ที่พ่นออกจากหัวพิมพ์จะถูกกระตุ้นให้เกิดการแข็งตัวด้วยแสงยูวีจากต้นกำเนิดแสงแบบหลอดแอลอีดี ที่มีประสิทธิภาพในการให้กำลังแสงสูง มีขนาดที่เล็ก และควบคุมการปิด-เปิดได้ง่าย หมึกพิมพ์ที่พัฒนาขึ้นมาแล้วดังข้างต้นจะนำมาสร้างต้นแบบหัววัดไมโครอิเล็กโทรดเลือกไอออน ซึ่งวิธีการและส่วนผสมของสารเคมีต่างๆ ไม่ได้ถูกนำมารวมไว้ในรายงานฉบับนี้

4. สรุป ข้อเสนอแนะ และงานในอนาคต

รายงานฉบับนี้ได้นำเสนอภาพรวมในการพัฒนาเครื่องขึ้นรูปต้นแบบเร็วแบบพิมพ์หยดหมึกตามประสงค์ ที่มีราคาต่อหน่วยต่ำกว่าเครื่องขึ้นรูปที่ใช้เทคโนโลยีคล้ายกันในตลาด อีกทั้งเครื่องขึ้นรูปต้นแบบเร็วที่สร้างขึ้นยังสามารถใช้หมึกพิมพ์ได้หลากหลายซึ่งจะเป็นการเปิดมิติใหม่ให้กับงานวิจัยด้านอื่นๆ อย่างไรก็ตามเครื่องที่พัฒนาขึ้นนี้ยังไม่สามารถใช้งานได้อย่างเต็มที่เนื่องจากยังต้องทำการศึกษาและพัฒนาศักยภาพของเครื่องต่อไปอีกโดยเฉพาะทางด้านหมึกพิมพ์ที่สามารถนำมาใช้ขึ้นรูปได้

นอกจากหมึกพิมพ์แล้วโครงการมีแผนที่จะทำการการพัฒนาระบบโปรแกรมซอฟท์แวร์ที่ควบคุมสั่งงานเครื่องขึ้นรูปให้สามารถสร้างชิ้นงานได้จากวัสดุหลายชนิดในเวลาเดียวกัน เพื่อจะได้นำผลดังกล่าวไปใช้ในงานวิจัยด้านการสร้างอุปกรณ์ตรวจวัด และโครงร่างรองรับเซลล์ต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่ได้มอบทุนสนับสนุนงานวิจัยและพัฒนาเครื่องผลิตต้นแบบเร็วภายใต้รหัสโครงการ R000005817

6. เอกสารอ้างอิง

1. R. Brown and K. W. Stier (2002). Selecting Rapid Prototyping System, *Industrial Technology*, vol. 18, 2009

2. B. V. Antohe and D. B.Wallace (2008). Ink-Jet as a Manufacturing Method for Drug Delivery Applications, *International Manufacturing Science and Engineering Conference*, Evanston, Illinois, USA.

3. J. Xu and D. Attinger (2008). Drop on demand in a microfluidic chip, *Micromechanics and Microengineering*, 2008, pp. 1–10.

4. W.-Y. Yeong, C.-K. Chua, K.F. Leong, M. Chandrasekaran (2004). Rapid prototyping in tissue engineering: challenges and potential, *TRENDS in Biotechnology*, vol. 22(12), 2004, pp. 643-652.

5. L. Li, M. Saedan, W. Feng, J. Y. H. Fuh, Y. S. Wong, H. T. Toh, S. C. H. Thian, S. T. Thoroddsen and L. Lu (2009). Development of a multi-nozzle drop-on-demand system for multi-material dispensing, *Materials Processing Technology*, vol. 209(9), 2009, pp. 4444-4448.

6. E. R. Lee (2003). *Microdrop Generation*, ISBN 0-8493-1559-X, CRC Press LLC, Florida.

7. C. Rensch (2006), Creation of small drop, *MicroFab Technologies Inc.*, 2006.