

**กระบวนการสร้างลวดลายบนกระดาษโดยใช้หน้ากากน้ำ
และการประยุกต์ใช้สร้างแล็บบนชิปประเภทกระดาษ
Paper Patterning Method Using Water Mask and
Its Applications for Paper-Based Lab-On-a-Chip Fabrication**

ศตวรรษ กระเดื่องเดช, เนตรชนก จิราณสรณ์กุล, อลงกรณ์ พิมพ์พิณ, วีระยุทธ ศรีสุวรรณิช*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

* ติดต่อ: โทรศัพท์: 0-2218-6586 โทรสาร: 0-2252-2889 อีเมล: werayut.s@chula.ac.th

บทคัดย่อ

ในช่วง 50 ปีที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ซิลิกอนเป็นวัสดุหลักในการสร้าง แต่ซิลิกอนนั้นมีราคาแพงขึ้นและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ยังก่อให้เกิดปัญหาขยะอิเล็กทรอนิกส์ตามมา ในช่วง 5 - 6 ปีที่ผ่านมาได้มีการนำกระดาษมาใช้แทนซิลิกอนในการพัฒนาอุปกรณ์ต่างๆ โดยได้มีการนำเสนอวิธีการต่างๆ ในการสร้างลวดลายบนกระดาษเพื่อใช้พัฒนาอุปกรณ์ประเภทกระดาษ เช่น วิธีการโฟโตลิโทกราฟี (photolithography), การพิมพ์ wax, การใช้เครื่องพลอตเตอร์, การพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ท (inkjet printer) เป็นต้น แต่วิธีการเหล่านี้ยังมีข้อจำกัดบางประการ เช่น ต้องอาศัยเครื่องมือราคาแพง ไม่สามารถสร้างในปริมาณมากๆ หรือประเภทของวัสดุที่สามารถใช้ในการสร้างลวดลาย เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาวิธีการใหม่โดยประยุกต์ใช้ลวดลายน้ำที่พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ทเป็นหน้ากากป้องกันในการสร้างลวดลายของสารละลายประเภทที่ไม่มีขั้วบนกระดาษ ซึ่งมีจุดเด่น คือ มีต้นทุนต่ำ ผลิตได้ในปริมาณมากๆ และสามารถใช้ได้กับวัสดุหลากหลายประเภท ในการทดลองได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลในการสร้างลวดลาย ซึ่งประกอบด้วย ประเภทกระดาษ จำนวนครั้งที่พิมพ์ และความเข้มข้นของสารละลาย นอกจากนี้คณะวิจัยได้ประยุกต์ใช้วิธีที่พัฒนาขึ้นนี้ในการสร้างแล็บบนชิปประเภทกระดาษเพื่อใช้ในการทดสอบโปรตีน bovine serum albumin และสภาพความเป็นกรดต่าง นอกจากนี้ ทางคณะวิจัยได้ประยุกต์ใช้วิธีการที่พัฒนาขึ้นในการสร้างช่องทางการไหลหลายช่องทาง

คำหลัก: หน้ากากน้ำ, แล็บบนชิป, เครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ท

Abstract

In the past 50 years, electronic devices have been developed by using silicon as the main material. However, silicon has become more expensive and electronic devices have been the cause of electronic waste issues. In recent years, paper substrate has been introduced as alternative to silicon in device development whereas several patterning methods for paper-based device development such as photolithography, wax printing, plotter, ink-jet printing have been proposed. However, these methods are still limited by some issues such as requirement of expensive equipment, incapability of mass production

AMM-205

or choices of materials that can be used for patterning etc. Therefore, this work aims to develop a novel method by utilizing an ink-jet printed water pattern as a protective mask for patterning of non-polar solutions onto paper substrate. Its advantages are low cost, mass productive and capable of using a variety of materials. In the experiment, the factors that affect the patterning process including paper type, printing time, solution concentration were studied. Furthermore, we applied this patterning method to fabricate a paper-based lab-on-a-chip for detecting bovine serum albumin and pH. In addition, we utilized the developed method for fabricating multiple fluidic-channels.

Keywords: water mask, lab-on-a-chip, ink-jet printer

1. บทนำ

ในช่วง 50 ปีผ่านมามีการพัฒนาอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่ออุตสาหกรรมของโลกในด้านต่างๆ โดยได้มีการใช้ซิลิกอนเป็นวัสดุหลักในการสร้าง จากการพัฒนาดังกล่าวทำให้มีความก้าวหน้าทางคอมพิวเตอร์และอินเทอร์เน็ตและนำไปสู่การปฏิวัติทางข้อมูลในช่วงที่ผ่านมา แต่ซิลิกอนนั้นมีราคาแพงขึ้นและยังก่อให้เกิดขยะอิเล็กทรอนิกส์จำนวนมากซึ่งก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมา ในช่วง 5 - 6 ปีที่ผ่านมาจึงได้มีการนำกระดาษมาใช้แทนซิลิกอนในการพัฒนาอุปกรณ์ต่างๆ เนื่องจากกระดาษมีราคาถูกและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ยกตัวอย่างเช่น แล็บบนชิปประเภทกระดาษ [1 - 4] เซ็นเซอร์ประเภทกระดาษต่างๆ [5, 6] ตลอดจนชิปสำหรับเครื่องตรวจวัดน้ำตาลในเลือด (glucometer) [7]

ที่ผ่านมาได้มีการนำเสนอวิธีการต่างๆ ในการสร้างลวดลายบนกระดาษเพื่อใช้พัฒนาอุปกรณ์ประเภทกระดาษต่างๆ เช่น วิธีการโฟโตลิโทกราฟี (photolithography) [1, 2] การพิมพ์ wax [3] การใช้เครื่องพลอตเตอร์ [4] การพิมพ์สกรีน (screen print) [6, 7] การพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ท [5] เป็นต้น แต่วิธีการเหล่านี้ยังต้องอาศัยเครื่องมือราคาแพง ไม่สามารถใช้สร้างในปริมาณมากๆ หรือมีข้อจำกัดของวัสดุที่ใช้ในการสร้างลวดลาย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาวิธีการใหม่ในการสร้าง

ลวดลายบนกระดาษโดยไม่ใช้เครื่องมือราคาแพงและสามารถใช้กับวัสดุได้หลากหลายประเภท วิธีการใหม่ที่พัฒนาขึ้นนี้ประยุกต์ใช้การพิมพ์น้ำจากน้ำ (water mask) [8] โดยทำการพิมพ์น้ำลงบนกระดาษด้วยเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ท เพื่อใช้น้ำที่พิมพ์นั้นเป็นหน้ากากป้องกัน หลังจากนั้นจึงนำชิ้นงานไปจุ่มลงในสารละลายชนิดที่ไม่มีขั้ว โดยหน้ากากน้ำซึ่งเป็นสารที่มีขั้วจะป้องกันการแทรกซึมของสารละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น สารละลายพลาสติกต่างๆ ไม่ให้เข้าไปในบริเวณหน้ากากน้ำ เมื่อปล่อยให้แห้งก็จะได้ลวดลายของสารที่ไม่มีขั้วนั้น เช่น พลาสติก บนกระดาษตามที่ต้องการ โดยสามารถนำไปพัฒนาเป็นอุปกรณ์ที่ทำจากกระดาษประเภทต่างๆ ได้ ซึ่งวิธีการนี้มีจุดเด่น คือ มีต้นทุนต่ำผลิตได้ในปริมาณมากๆ และสามารถใช้วัสดุได้หลากหลายประเภทในการสร้างลวดลายซึ่งสารดังกล่าวส่วนใหญ่ไม่สามารถพิมพ์ในเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ทได้ โดยสามารถประยุกต์ใช้สร้างแล็บบนชิปประเภทกระดาษ และพัฒนาอุปกรณ์ประเภทกระดาษต่างๆ ได้อีกด้วย

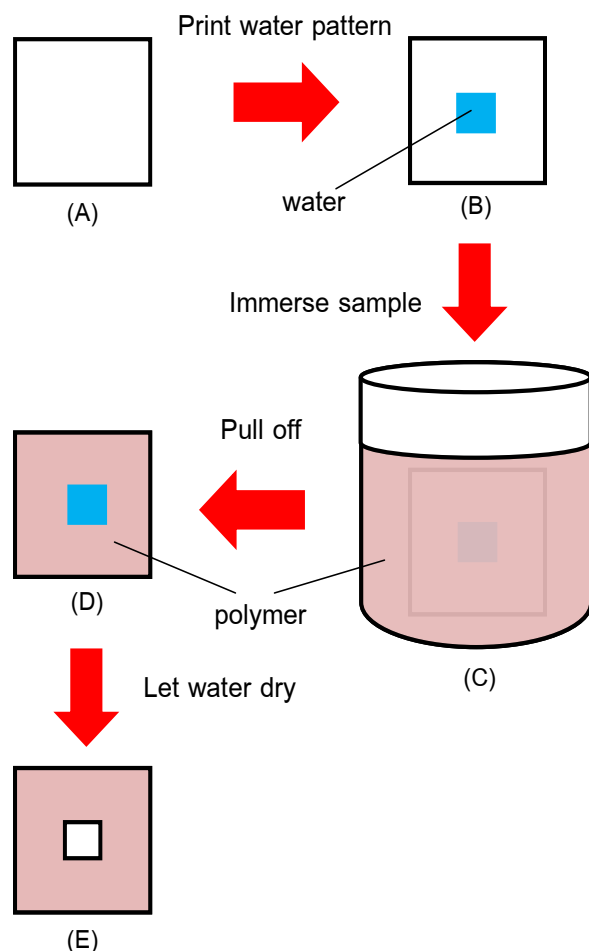
2. การสร้างลวดลายด้วยวิธีการ Water mask

2.1 วิธีการ Water mask

วิธีการ Water mask เป็นวิธีการสร้างลวดลายลงบนกระดาษดังแสดงในรูปที่ 1 มีขั้นตอนดังนี้ เริ่มแรกจะทำการพิมพ์น้ำลงบนกระดาษรองด้วยเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ทให้ได้เป็นลวดลายที่เราต้องการ

AMM-205

หลังจากนั้นจะนำกระดาษที่พิมพ์น้ำไปจุ่มในโพลิเมอร์ (polymer) ที่ละลายในตัวทำละลาย (solvent) เนื่องจากหน้ากระดาษซึ่งเป็นสารละลายที่มีขี้ผึ้งสามารถป้องกันการแทรกซึมของ polymer ที่ละลายใน solvent ซึ่งเป็นสารละลายไม่มีขี้ผึ้งไม่ให้เข้าไปบริเวณหน้ากระดาษได้ เนื่องจากคุณสมบัติความเป็นขี้ผึ้งที่ต่างกันจึงทำให้สารละลายทั้ง 2 ไม่สามารถผสมเข้าด้วยกันได้ หลังจากนั้นจึงนำกระดาษขึ้นมาแล้วปล่อยให้แห้ง จะมีแต่ polymer ที่เหลืออยู่บนกระดาษจึงได้เป็นลวดลายของ polymer ตามที่ต้องการ



รูปที่ 1 กระบวนการสร้างลวดลายด้วยวิธี water mask (A) กระดาษกรอง (B) พิมพ์น้ำลงบนกระดาษกรองด้วยเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ท (C) นำกระดาษกรองไปจุ่มในโพลิเมอร์ที่ละลายในตัวทำละลาย (D) โพลิเมอร์ไปเกาะบริเวณที่ไม่มีน้ำ (E) เมื่อปล่อยให้แห้งจะได้ลวดลายที่ต้องการ

2.2 การเลือกวัสดุและอุปกรณ์

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการนี้มีดังต่อไปนี้ เครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ท Epson รุ่น ME-101 ซึ่งมีหัวพิมพ์ที่ใช้หลักการ piezoelectric technology ในการสร้างหยดหมึก โดยในหัวพิมพ์จะจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ piezoelectric transducer เพื่อให้ diaphragm เกิดการยืดหดตัวเพื่อดันหยดหมึกออกมา โดยวิธีการนี้เองจะทำให้เกิดความร้อนน้อยกว่าหัวพิมพ์ที่ใช้วิธีการ thermal inkjet technology ซึ่งจะทำให้เกิดอุณหภูมิที่สูงมาก ดังนั้นคณะวิจัยจึงเลือกใช้เครื่องพิมพ์ Epson รุ่น ME-101 ซึ่งใช้วิธีการ piezoelectric technology เพื่อป้องกันอุณหภูมิที่สูงซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการอุดตันในหัวพิมพ์ นอกจากนี้เครื่องพิมพ์ดังกล่าวยังมีราคาถูกและหาซื้อได้ง่าย ในส่วนของกระดาษทางคณะวิจัยเลือกใช้ กระดาษกรอง whatman เบอร์ 41, 1, 3 เนื่องด้วยกระดาษกรองในแต่ละเบอร์ที่เราเลือกใช้จะมีคุณสมบัติที่ต่างกัน เช่น ขนาดของรูพรุน ความหนาของกระดาษ อัตราการไหลของอากาศ ดังตารางที่ 1 คุณสมบัติเหล่านี้จึงส่งผลต่อกระบวนการสร้างลวดลายด้วยวิธี water mask ในส่วนของโพลิเมอร์ (polymer) นั้นเลือกใช้สารละลาย polystyrene ใน toluene

Grade	Pore size (μm)	Air flow rate (s/100ml/in ²)	Typical thickness (μm)
41	20-25	0.007	220
1	11	10.5	180
3	6	26	390

ตารางที่ 1 ข้อมูลจำเพาะของกระดาษกรอง whatman เบอร์ต่างๆที่ใช้ในการทดลอง

2.3 การทดลอง

การทดลองนี้ได้ทำการศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมของการสร้างลวดลายบนกระดาษด้วยวิธีการ water

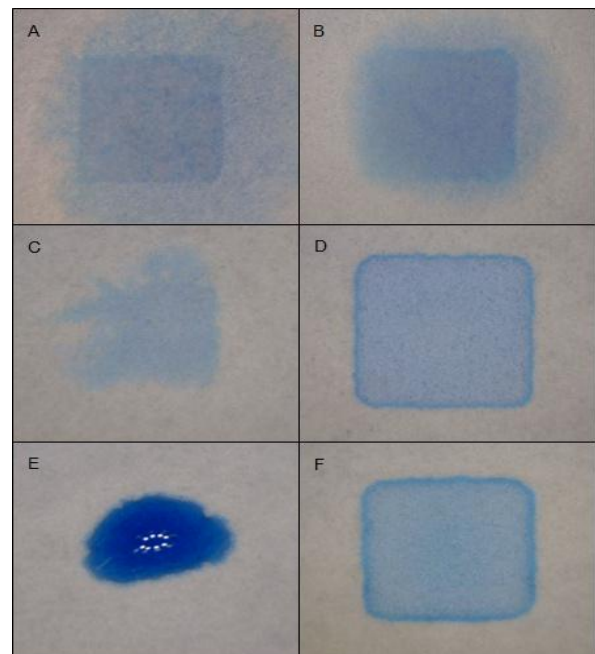
AMM-205

mask ซึ่งประกอบด้วย ประเภทของกระดาษ ความเข้มข้นของสารละลาย เวลาในการจุ่มกระดาษในสารละลาย จำนวนครั้งในการพิมพ์ซ้ำ โดยมีเงื่อนไขต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ ประเภทของกระดาษ คือ กระดาษกรอง whatman เบอร์ 41, 1 และ 3 (เนื่องจากในกระดาษกรองแต่ละเบอร์มีขนาดรูพรุนที่ไม่เท่ากัน) ความเข้มข้นของสารละลาย polystyrene ใน toluene ที่ความเข้มข้น 1%, 2% และ 3% โดยมวลต่อปริมาตร เวลาในการจุ่มกระดาษในสารละลาย ที่ 3, 8 และ 60 วินาที และจำนวนครั้งในการพิมพ์ซ้ำที่จำนวน 1, 2, 3 และ 4 ครั้ง โดยมีการขั้นตอนในการสร้างดังรูปที่ 1 หลังจากนั้นจะนำชิ้นงานที่ได้มาทดสอบโดยการหยดน้ำหมึกลงบนบริเวณที่เกิดเป็นลวดลายด้วยปริมาตร 5 ไมโครลิตร แล้วรอประมาณ 15 นาที เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการสร้างลวดลายรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ยังคงรักษารูปร่างอยู่ได้โดยที่น้ำหมึกไม่ซึมออกนอกบริเวณที่ได้ออกแบบไว้

2.4 ผลการทดลองและวิจารณ์

จากตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองการกันการซึมของน้ำหมึกบนชิ้นงานที่สร้างด้วยเงื่อนไขต่าง ๆ และรูปที่ 2 แสดงให้เห็นถึงลักษณะชิ้นงานภายหลังจากหยดน้ำหมึกลงบนกระดาษ โดยจะเห็นได้ว่าสำหรับกระดาษกรองทุกเบอร์ที่ความเข้มข้นของสารละลาย polystyrene ใน toluene ที่ 1% จะมีน้ำหมึกรั่วซึมออกมานอกลวดลายที่ได้ออกแบบไว้ เนื่องจากสารละลาย polystyrene ใน toluene มีความเข้มข้นน้อยเกินไป สำหรับที่ความเข้มข้นของสารละลาย polystyrene ใน toluene ที่ 3% กระดาษกรองเบอร์ 41, 1 สามารถสร้างเป็นลวดลายได้ โดยที่กระดาษกรองเบอร์ 41 ใช้การพิมพ์น้ำเพียงครั้งเดียวก็สามารถกันการรั่วซึมของน้ำหมึกได้ เนื่องจากกระดาษกรองเบอร์ 41 มีขนาดรูพรุนที่ใหญ่ที่สุดดังนั้นน้ำจึงไหลลงด้านล่างได้ดีและลึกเพียงพอทำให้สามารถสร้างเป็นลวดลายได้สมบูรณ์ และที่ความเข้มข้นของ สารละลาย polystyrene ใน toluene ที่ 5% กระดาษกรองทั้ง 3 เบอร์สามารถสร้างเป็น

ลวดลายได้ ที่จำนวนการพิมพ์น้ำตั้งแต่ 2 ครั้งขึ้นไป โดยจะสังเกตได้ว่าไม่สามารถใช้จำนวนการพิมพ์น้ำ 1 ครั้งได้เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลาย polystyrene ใน toluene ที่สูงทำให้สารละลายสามารถแทรกเข้าไปในบริเวณหน้ากากน้ำได้ จึงจำเป็นต้องใช้จำนวนครั้งในการพิมพ์ที่มากขึ้น จากผลการทดลองจึงสามารถสรุปได้ว่าความเข้มข้นของสารละลาย polystyrene ที่น้อยเกินไปจะทำให้ไม่สามารถป้องกันการรั่วซึมของน้ำหมึกได้ ทำให้ไม่ได้ลวดลายตามที่ต้องการออกมาไว้ ความเข้มข้นของสารละลาย polystyrene ที่มากเกินไปจะทำให้ในขณะที่น่ากระดาษกรองไปจุ่มในสารละลาย polystyrene ทำให้น้ำหมึกบางส่วนแทรกเข้าไปบริเวณหน้ากากน้ำได้ จึงทำให้ต้องมีการพิมพ์น้ำซ้ำด้วยจำนวนครั้งที่มากขึ้นเพื่อกัน



รูปที่ 2 ตัวอย่างชุดทดสอบความเข้มข้นของ polystyrene ที่ (A) 1% กระดาษกรองเบอร์ 1 จำนวนพิมพ์ซ้ำ 1 ครั้ง (B) 1% กระดาษกรองเบอร์ 41 จำนวนพิมพ์ซ้ำ 2 ครั้ง (C) 3% กระดาษกรองเบอร์ 1 จำนวนการพิมพ์ซ้ำ 1 ครั้ง (D) 3% กระดาษกรองเบอร์ 41 จำนวนการพิมพ์ซ้ำ 1 ครั้ง (E) 5% กระดาษกรองเบอร์ 41 จำนวนการพิมพ์ซ้ำ 1 ครั้ง (F) 5% กระดาษกรองเบอร์ 41 จำนวนการพิมพ์ซ้ำ 2 ครั้ง

AMM-205

Concentration of ps/toluene 1%	Filter paper grade	Printing time											
		1			2			3			4		
		Dip time (s)			Dip time (s)			Dip time (s)			Dip time (s)		
		3	8	60	3	8	60	3	8	60	3	8	60
		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Concentration of ps/toluene 3%	Filter paper grade	Printing time											
		1			2			3			4		
		Dip time (s)			Dip time (s)			Dip time (s)			Dip time (s)		
		3	8	60	3	8	60	3	8	60	3	8	60
		O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Concentration of ps/toluene 5%	Filter paper grade	Printing time											
		1			2			3			4		
		Dip time (s)			Dip time (s)			Dip time (s)			Dip time (s)		
		3	8	60	3	8	60	3	8	60	3	8	60
		Δ	X	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองที่สาร polystyrene ใน toluene ที่ความเข้มข้น 1%, 3%, 5% ที่กระดาษกรองเบอร์ 41, 1, 3 จำนวนในการพิมพ์ซ้ำ 1, 2, 3, 4 ครั้ง และระยะเวลาที่จุ่มเป็นระยะเวลา 3, 8, 60 วินาที โดยที่ X แทนผลการทดลองที่น้ำหมึกซึมออกนอกบริเวณลวดลายที่ออกแบบ หรือ มีน้ำหมึกไม่เต็มบริเวณลวดลายที่ได้ออกแบบ Δ แทนผลการทดลองที่บางครั้งน้ำหมึกซึมอยู่ในบริเวณลวดลาย แต่บางครั้งน้ำหมึกไม่เต็มบริเวณลวดลายที่ได้ออกแบบ O แทนผลการทดลองที่น้ำหมึกอยู่เต็มบริเวณลวดลายที่ได้ออกแบบโดยที่ไม่มีการซึมออกนอกบริเวณลวดลาย

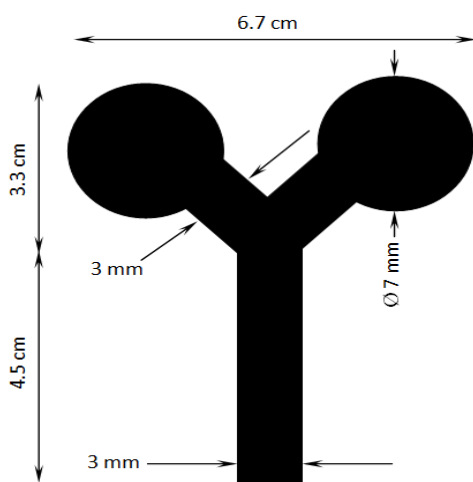
AMM-205

polystyrene ไม่ให้แทรกเข้าไปในบริเวณหน้ากากน้ำ และขนาดของรูพรุนบนกระดาษกรองมีผลต่อการสร้าง ลวดลายบนกระดาษ โดยที่กระดาษกรองที่มีรูพรุน ขนาดใหญ่ จะมีอัตราการไหลของของไหลได้เร็วกว่า กระดาษกรองที่มีรูพรุนขนาดเล็ก ทำให้น้ำซึมได้ง่าย กว่า จึงเป็นเหตุผลที่กระดาษกรองเบอร์ 41 ใช้การ พิมพ์น้ำครั้งเดียวก็สามารถสร้างลวดลายได้ ซึ่งการใช้ กระดาษที่มีรูพรุนใหญ่สามารถลดระยะเวลาในการ สร้างได้

3. การสร้างต้นแบบแล็บบนชิปประเภทกระดาษ โดยวิธีการ water mask

3.1 การออกแบบลวดลายแล็บบนชิป

จากรูปที่ 3 พื้นที่ที่เป็นสีดำจะเป็นบริเวณที่จะ พิมพ์น้ำลงไปเป็นหน้ากาก โดยลวดลายจะประกอบไป ด้วยท่อหลักที่ใช้ลำเลียงสารที่ต้องการตรวจสอบให้ ของไหลมาสัมผัสกับสารทดสอบ (reagent) โดยการ แทรกซึมของสารละลายไปบนกระดาษกรอง โดยที่ ตรงปลายท่อหลักจะมีทางแยกออกเป็นสองทาง เพื่อ แยกสารที่ต้องการทดสอบไปทดสอบกับสารทดสอบ 2 ชนิด คือ สารที่ใช้ทดสอบโปรตีน BSA และ สารที่ใช้ ทดสอบสภาพความเป็นกรด-ด่าง ของสารละลาย ตัวอย่าง ซึ่งสารที่ใช้ในการทดสอบทั้ง 2 จะอยู่ที่หลุม วงกลมทั้งสองด้าน

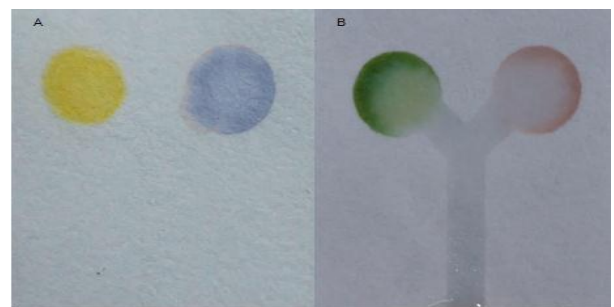


รูปที่ 3 แบบของต้นแบบแล็บบนชิปประเภทกระดาษ

3.2 การเตรียมสารที่ใช้ในการทดสอบ

สารที่ใช้ทดสอบโปรตีนบรีสุท์ (bovine serum albumin, BSA) เตรียมโดยนำ citrate buffer 250 mM ปริมาตร 2 μ l หยดลงบนหลุมทางด้านซ้ายของแล็บบน ชิปปาก่อน แล้วหยด 2 μ l ของ Tetrabromophenol blue 3.3 ml ละลายใน 95% ethanol ตามไปที่บริเวณ ตำแหน่งเดียวกัน จากนั้นปล่อยให้แห้งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อแห้งบริเวณที่หยดสารที่ใช้ในการทดสอบ จากสีขาวจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง

สารที่ใช้ทดสอบสภาพความเป็นกรด-ด่างนั้นใช้ litmas 0.01 g/mL ปริมาตร 2 μ l จะถูกหยดลงบนหลุม ทางด้านขวา และปล่อยให้แห้งเป็นเวลา 1 ชั่วโมงและ เมื่อแห้งบริเวณหลุมที่หยดจะเป็นสีน้ำเงินเนื่องจาก litmas จะมีสีน้ำเงินเมื่ออยู่ในสภาพ pH ที่มากกว่า 7



รูปที่ 4 แล็บบนชิปต้นแบบโดยใช้วิธีการ water mask (A) เตรียมสารทดสอบลงในหลุมทั้ง 2 ข้าง (B) จุ่มในสารละลายตัวอย่างทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที สารที่ใช้เป็นสารตัวอย่างในการทดสอบนั้นเตรียมโดย นำ citrate buffer 12 ml และ BSA ปริมาตร 325 μ M ละลายในน้ำ 10 ml โดยสารที่ใช้ในการทดสอบจะมีค่าสภาพความเป็นกรด-ด่างหรือ pH อยู่ที่ ประมาณ 2.40

3.3 การทดลอง

หลังจากที่ได้มีการเตรียมสารที่ใช้เป็นตัวอย่าง ตามขั้นตอนข้างต้นแล้ว การทดสอบเริ่มจากการนำแล็บ บนชิปจุ่มลงในสารละลายตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ และปล่อยให้สารละลายตัวอย่างค่อยๆ ไหลผ่าน กระดาษกรองขึ้นตามท่อหลัก แล้วแยกออกไป

AMM-205

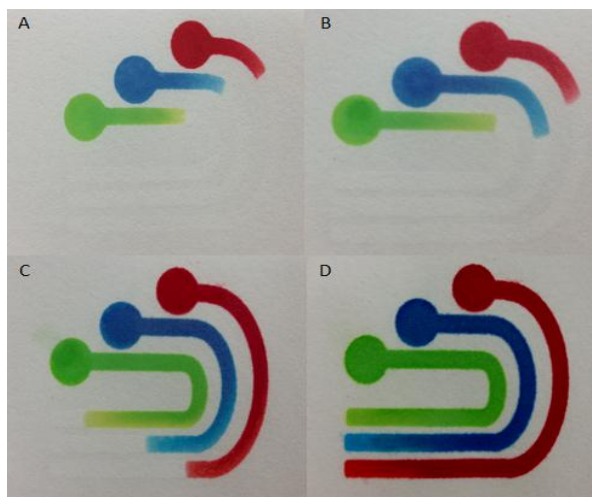
สัมผัสกับสารที่ใช้ทดสอบทั้ง 2 ชนิดในหลุมทั้งสองด้าน จากนั้นสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีที่บริเวณหลุมทั้งสองด้าน

3.4 ผลการทดลอง

จากรูปที่ 4 จะสังเกตเห็นได้ว่าหลุมทางด้านซ้ายของต้นแบบแล็บบนชิปซึ่งทดสอบโปรตีนบริสุทธิ BSA จะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีเขียว หลุมทางด้านขวาของต้นแบบแล็บบนชิปเพื่อตรวจสอบสภาพความเป็นกรด ต่าง จะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีแดง

4. การสร้างช่องทางขนาดเล็กด้วยวิธีการ Water mask

เราได้มีการนำวิธีการสร้างลวดลายด้วยวิธีการ Water mask มาสร้างเป็นช่องทางการไหลในรูปแบบที่ซับซ้อนมากขึ้น จากรูปที่ 5 แสดงช่องทางการไหลโดยใช้น้ำหมึกสีแดง น้ำเงิน และ เขียว ในการทดสอบ ซึ่งใช้เวลาในกระบวนการประมาณ 10 นาที



รูปที่ 5 ช่องการไหลขนาดเล็ก (A) เมื่อเวลาผ่านไป 30 วินาที (B) เมื่อเวลาผ่านไป 1 นาที (C) เมื่อเวลาผ่านไป 7 นาที (D) เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที

5. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและพัฒนาวิธีการใหม่

ในการสร้างลวดลายบนกระดาษด้วยวิธีการพิมพ์หน้ากากน้ำ โดยการประยุกต์ใช้เครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ท ซึ่งจากผลการทดลองได้เงื่อนไขที่เหมาะสม คือ ความเข้มข้น polystyrene ใน toluene 3% ใช้กระดาษกรองเบอร์ 41 และจำนวนครั้งที่พิมพ์ 1 ครั้ง โดยขนาดของรูปบนกระดาษกรองและความเข้มข้นของ polystyrene ที่มากหรือน้อยเกินไปมีผลต่อการสร้างลวดลายบนกระดาษทำให้ไม่ได้ลวดลายตามที่ต้องการ ออกแบบไว้ นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ได้มีการประยุกต์ใช้วิธีการพิมพ์หน้ากากน้ำสร้างเป็นแล็บบนชิปประเภทกระดาษเพื่อใช้ในการทดสอบโปรตีนบริสุทธิ (BSA) และสภาพความเป็นกรด-ต่าง นอกจากนี้ได้ประยุกต์ใช้วิธีการที่พัฒนาขึ้นนี้ในการสร้างช่องทางการไหลขนาดเล็กซึ่งมีความซับซ้อนมากขึ้นอีกด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการขับเคลื่อนการวิจัยกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช Special Task Force for Activating Research (STAR) ภายใต้กลุ่มการวิจัยเทคโนโลยีการสร้างระดับจุลภาคและนาโน (GSTAR 56-005-21-002)

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Martinez, A. W., Phillips, S. T., Butte, M. J., and Whitesides, G. M., "Patterned paper as a platform for inexpensive, low-volume, portable bioassays," *Angew. Chem., Int. Ed.* 2007, 46, 1318– 1320.
- [2] Andres W. Martinez, Scott T. Phillips, and George M. Whiteside, "Three-dimensional microfluidic devices fabricated in layered paper and tape" *PNAS*, 2008, 105, 50.
- [3] Lu, Y., Shi, W., Jiang, L., Qin, J., and Lin, B., "Rapid prototyping of paper-based microfluidics

AMM-205

with wax for low-cost, portable bioassay,”
Electrophoresis 2009, 30, 1497– 1500.

[4] Derek A. Bruzewicz, Meital Reches, and George M. Whitesides, “Low-Cost Printing of Poly(dimethylsiloxane) Barriers To Define Microchannels in Paper,” *Anal. Chem.* 2008, 80, 3387-3392.

[5] Li, X., Tian, J., and Shen, W., “Progress in patterned paper sizing for fabrication of paper-based microfluidic sensors,” *Cellulose* 2010, 17, 649– 659.

[6] Xinyu Liu, Martin Mwangi, XiuJun Li, Michael O’Brien, and George M. Whitesides, “Paper-based piezoresistive MEMS sensors,” *The Royal Society of Chemistry*, 2011, 2189-2196.

[7] Zhihong Nie, Frederique Deiss, Xinyu Liu, Akbulut and George M. Whitesides, “Integration of paper-based microfluidic devices with commercial electrochemical readers,” *Lab chip* 2010, 10, 3163-3169.

[8] เกริกฐากร พันธุ์พัฒนกุล (2555). การพัฒนาการสร้างลดสายช่องทางไหลขนาดเล็กและการลดการยัดเกาะของแอนติบอดีติดฉลากด้วยทองสำหรับแล็บบนชิปประเภทกระดาษ, วิทยานิพนธ์ทางวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.