

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

วิทยาการไมโครฟลูอิดิกส์เพิ่งเริ่มรุ่งเรืองขึ้นมาเมื่อประมาณปี พ.ศ. 2530 ปัจจุบันกำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ความน่าสนใจของไมโครฟลูอิดิกส์อยู่ที่ประโยชน์ต่อหลากหลายวงการเช่น เคมี ชีววิทยา แพทย์ศาสตร์ เกษตศาตร์ สารธารณสุขศาสตร์ เกษตรศาสตร์ และด้านความมั่นคงแห่งชาติในแง่ของเครื่องมือในการพัฒนาภูมิคุ้มกันต่อต้านอาวุธชีวภาพ ตัวอย่างของการนำไมโครฟลูอิดิกส์สำหรับการใช้งานในด้านต่างๆที่กล่าวมานี้ เช่น การประยุกต์ใช้ระบบไมโครฟลูอิดิกส์ในการตรวจวิเคราะห์สาร (microfluidics flow analysis) การวิเคราะห์ทางชีววิทยาเกี่ยวกับเซลล์ (single cell analysis) เพิ่มปริมาณดีเอ็นเอบนชิป polymerase chain reaction (PCR) on chip การแยกโมเลกุลสาร (capillary electro phoresis) การตรวจวัดปริมาณยา (doze monitoring) การตรวจวินิจฉัยโรค (medical diagnose) ระบบตรวจ สอบและ สร้างวัคซีนต่อต้านอาวุธชีวภาพ ฯลฯ โดยส่วนใหญ่ระบบไมโครฟลูอิดิกส์ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้กับงานต่างๆเหล่านี้ นั้นมักได้ประโยชน์และข้อดีหลายประการจากสมบัติทางฟิสิกส์ของระบบระดับไมครอน เช่น

- สอดคล้องกับพัฒนาการของโลกที่มุ่งสู่อุปกรณ์ต่างๆที่มีขนาดเล็กลงๆ (miniaturization)
- สามารถพัฒนาให้เป็นอุปกรณ์วิเคราะห์แบบพกพาที่มีราคาไม่แพงทั้งแบบใช้แล้วทิ้งและนำกลับมาใช้ ใหม่
- หากเป็นอุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์ทางเคมี จะใช้ปริมาณสารที่เกี่ยวข้องในระดับต่ำมาก จึงลดความสิ้นเปลืองในกรณีที่ต้องใช้สารเคมีราคาแพง
- ใช้เวลาสั้นเนื่องจากกระบวนการจะเกิดขึ้นเร็วกว่า เนื่องจากสารในระบบจะมีปริมาตรน้อย
- สามารถควบคุมเรื่องความร้อนได้ดีเพราะมีค่า surface-to-volume ratio สูง
- ด้วยเพราะขนาดเล็กมาก จึงไม่สิ้นเปลืองพลังงาน
- ปลอดภัยกว่าในกรณีของ exothermic reactions
- มีความหลากหลาย สะดวก สอดคล้องกับความก้าวหน้าของวงวิชาการที่มีแนวโน้มจะเพิ่ม

เทคนิควิธีการ ทดสอบมากขึ้น กล่าวคือ สามารถทำให้มีลักษณะการใช้งานคล้ายกับระบบซิปฝังตัวเช่น SIM card ในโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งสามารถถอดเปลี่ยนซิปตัวเล็กๆได้ตามจุดประสงค์การใช้งาน

- มีโอกาสที่จะนำไปทำเป็นระบบอัตโนมัติได้สูง สามารถลดขั้นตอนที่ต้องเกี่ยวข้องกับมนุษย์ มีศักยภาพที่จะเป็น real-time analysis ที่สามารถควบคุมได้จากระยะไกล (remote sensing) (Whitesides, 2006)

ส่วน ในแง่วิชาการทางฟิสิกส์นั้น วิทยาการไมโครฟลูอิดิกส์ก็เป็นศาสตร์ใหม่ที่มีเรื่องให้ต้องศึกษาไม่น้อย เพราะเรื่องราวทางฟิสิกส์จะอยู่ บริเวณชายเขตแดนสมมุติฐานของสมการนาเวียร์-สโตกส์ (Navier-Stokes equations) คือเส้นผ่าศูนย์กลางของ ร่องหรือท่อจิ๋ว มีขนาดใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยระยะอิสระของโมเลกุล (mean-free-path) ของ โมเลกุลของของไหล (ในกรณีของแก๊ส) หรือมวลหลักของของไหลก็อยู่ประชิดติดกับผนังท่อทั้งสิ้น พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของของไหลในท่อจิ๋ว จึงแตกต่างจากการไหลของของไหลขนาดปกติ เช่น ความตึงผิวและความหนืด จะมีผลรุนแรงขึ้นมาก แต่ในขณะที่ความเฉื่อย (inertia) จะมีผลน้อยลง หรือ สามารถที่จะถูกควบคุมทิศทางการไหลได้โดยการใช้สนามไฟฟ้า (electrokinetic effects) อย่างที่ไม่สามารถทำได้ในการไหลในระบบปกติ อีกประการหนึ่งนั้นการวิจัย/ศึกษาเรื่องนี้ ส่วนใหญ่ต้องบูรณาการเข้ากับศาสตร์หลายสาขา คือ มีความเป็น interdisciplinary nature สูง ซึ่งทั้งสองประการเป็นองค์ความรู้ใหม่ที่น่าสนใจสำรวจเป็นอย่างยิ่ง (ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์, 2010)

เนื่องจากการประยุกต์ใช้ ไมโครฟลูอิดิกส์ ในงานต่างๆ โดยส่วนใหญ่ เกี่ยวข้องกับการไหลของของไหลใน โครงข่ายท่อขนาดเล็กทั้งชนิดที่เป็นท่อเปิดและปิดทั้งสิ้น ดังนั้นการศึกษาฟิสิกส์ของการไหลและการอธิบายพฤติกรรมของการไหลของของไหลในท่อผ่านตัวแปรที่วัดได้เช่น ความดัน อัตราการไหล เส้นกระแสการไหล (stream line) สนามของเวกเตอร์ความเร็ว (velocity field) จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการควบคุมและจัดการกับของไหลในท่อ

โดยทั่วไปพฤติกรรมของการไหลของของไหลในท่อนั้นสามารถอธิบายได้ด้วยสมการความต่อเนื่อง (continuity equation) สมการนาเวียร์-สโตกส์ สมการอนุรักษ์พลังงาน และกฎของแก๊ส (ในกรณีที่ของไหลพิจารณาเป็นแก๊ส) ซึ่งพฤติกรรมของของไหลในขอบเขตที่พิจารณาโดยทั่วไป

จะขึ้นกับ สมบัติเฉพาะของของไหล สมบัติของขอบเขต รูปร่างของขอบเขต และแรงภายนอกที่มากระทำ

จากการผันแปรของสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่ง จะทำให้ของไหลเปลี่ยนแปลงการไหลไปด้วยแต่กระนั้นการใช้เงื่อนไขขอบเขต การคำนวณค่าตัวแปรต่างๆ นั้นยังมีความยุ่งยากซับซ้อน หากระบบมีความซับซ้อนมากขึ้น และเนื่องจากตัวสมการเป็นสมการอนุพันธ์ไม่เชิงเส้น (non-linear differential equation) ในบางกรณี ทำให้ไม่สามารถหาคำตอบที่แท้จริงได้เลย นอกเสียจากการหาคำตอบโดยประมาณโดยใช้ระเบียบวิธีทางตัวเลข (ปราโมทย์, 2545) เหตุนี้เองจึงมี ผู้ศึกษาผลของลักษณะรูปร่างของท่อต่อตัวแปรต่างๆ ที่อธิบาย พฤติกรรมการไหลในท่อจำนวนมาก ทั้งทางฟิสิกส์ คำนวณ (Computational Fluid Dynamics: CFD) เช่นระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ (Finite Element) และการทดลอง

เนื่องด้วยความซับซ้อนดังกล่าว จึงมีการประมาณ model ซึ่งใช้ความคล้ายคลึงกันของวงจรไฟฟ้าที่อธิบายการไหลของประจุ มาใช้อธิบายพฤติกรรมการไหลในระบบของไหล เช่นระบบไมโครฟลูอิดิกส์ model นี้เป็นที่รู้จักกันในชื่อ “Equivalent circuit” หรือ EC modeling โดยแปลงค่าต่างๆทางของไหล เป็น Lumped-parameter ซึ่งง่ายต่อการวิเคราะห์ สำหรับตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบความสอดคล้องของตัว “Equivalent circuit” ที่สถานะคงตัวสามารถอ้างอิงถึงงานของ Kim *et. al.* (2006) ข้อดีของการใช้ EC modeling คือสามารถอธิบายระบบซึ่งเปลี่ยนแปลงไปกับเวลาได้ เป็นอย่างดี (Vdel, 2006)

จากความสนใจในเรื่องดังกล่าว หน่วยวิจัยไมโครฟลูอิดิกส์ ศูนย์วิจัยฟิสิกส์ของพลาสมา และลำอนุภาค ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ได้คิดค้นและพัฒนาเทคนิค (Etched Wiring Board Technique: EWBT) (Unai *et. al.*, 2010) ซึ่งเป็นการกัดแม่แบบด้วยกรด เพื่อสร้างไมโครฟลูอิดิกชิปที่มีความกว้างของท่อ ในระดับ 100 -1000 ไมโครเมตรขึ้น โดยวัดคุณสมบัติความขรุขระ ในขั้นต้นด้วยกล้องจุลทรรศน์และคำนวณค่าเฉลี่ยกำลังสองของความขรุขระบนผนังท่อด้านข้างซึ่งมีค่าระหว่าง 0.6 - 8 ไมโครเมตร ลักษณะที่เกิดจากการกัดกร่อนของแผ่นวงจรพบได้เช่นเดียวกับวิธีสร้างไมโครฟลูอิดิกชิปของ Sudasan (2003) และผลของความขรุขระนี้ มีผู้ศึกษาไว้ในบางส่วนแล้ว ด้วยการคำนวณโดยคอมพิวเตอร์ที่เลขเรย์โนลด์ 50-750 และกำหนดค่าความขรุขระไว้ 1-6 ไมโครเมตร พบว่าการสูญเสียความดันในระบบท่อจะมีค่ามากขึ้นเมื่อเลขเรย์โนลด์มีค่ามากขึ้น (Kulkarni, 2004) แต่จากการคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ที่แสดงในหัวข้อ 2.3.5

ซึ่งประมาณว่าความขรุขระของผนังท่อมีค่าน้อย และเกิดอย่างสุ่มบนพื้นผิวจนสามารถประมาณเป็น perturbation term ที่ไม่มีผลกับการลดลงของความดันในระบบเมื่อสามารถวัดค่าเฉลี่ยขนาดความกว้าง ความยาว และความสูงของผนังท่อได้อย่างถูกต้อง

ดังนั้นผู้วิจัยจึง ศึกษาความสัมพันธ์ของความดันกับอัตราการไหลของไมโครเซนแนลที่สร้างจากเทคนิค EWBT โดยใช้ผลจากสมการ Navier-Stokes Equation และ EC modeling ในการเปรียบเทียบ ค่าความดันสูญเสียที่วัดได้จากการทดลอง ไปพร้อมๆกับการตรวจสอบผลของความขรุขระต่ออัตราการไหลดังกล่าว ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 0.04 -10 ซึ่งเป็นช่วงใช้งานในอุปกรณ์ไมโครฟลูอิดิกส์

เมื่อคำนวณค่าตัวแปรต่างๆโดยใช้ EC theory แล้วสอดคล้องกับผลการทดลอง จึงนำไปใช้ออกแบบประมาณค่าการไหลในระบบไมโครฟลูอิดิกชิป เพื่อการพัฒนาไปสู่ระบบ lab on a chip ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อพัฒนาเทคนิคในการสร้างไมโครฟลูอิดิกชิปโดยเทคนิค Etched Wiring Board Technique (EWBT)
2. เพื่อพัฒนาการวัดอัตราการไหล ของของไหลในท่อระดับไมครอน
3. เพื่อพัฒนาวิธีการวัดความดัน
4. เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล และ ผลต่างความดันในไมโครเซนแนล
5. เพื่อพัฒนาระบบ microbead counter