บทที่ 7
สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาและทดลองที่ผ่านมาของงานวิจัยนี้ สามารถสรุปผลการศึกษาและ มีข้อเสนอแนะกับนักวิจัยท่านอื่นที่จะได้ดำเนินการต่อไป ดังต่อไปนี้

7.1 สรุปผลการศึกษา

1 งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา ทบทวนงานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้อง กับการสร้างลำพุ่งความเร็วสูงด้วยการกระแทก ทั้งวิธีศึกษาด้วย การทดลอง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และ ระเบียบวิธีพลศาสตร์การไหลเชิงคำนวณ (CFD)

2 งานวิจัยนี้ได้ทำการ ทบทวนวรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง กับการนำส่งยาด้วยลำพุ่งความเร็วสูง ทั้งมุมมองเชิงวิศวกรรม และทางการแพทย์ เพื่อเป็นความรู้พื้นฐานสำหรับออกแบบและสร้างชุดทดลอง เพื่อศึกษาคุณลักษณะของลำพุ่งความเร็วสูงที่กำเนิดจากการกระแทก เพื่อการประยุกต์ใช้สำหรับนำส่งยาผ่านผิวหนัง

3 งานวิจัยนี้ได้เสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยระเบียบวิธีพลศาสตร์การไหลเชิงคำนวณ (CFD) ของการไหลที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา แบบหลายสถานะ (Multiphase flow) และอัดตัวได้ (Compressible flow) จากขอบเขตปัญหาของกระบวนการกำเนิดลำพุ่งด้วยการกระแทก

4 งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการจำลองปรากฏการณ์การไหล ในหัวฉีดและการกำเนิดลำพุ่งจากการกระแทกของลูกปืน ด้วย CFD ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบผลกับการทดลองที่ผ่านมาแล้วพบว่า ให้ผลอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

5 งานวิจัยนี้สามารถอธิบายปรากฏการณ์การไหล ในช่วงกระบวนการกำเนิดลำพุ่งจากการกระแทกได้อย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้น จากผลของ CFD ที่บางมุมมอง การทดลองไม่สามารถทำได้ นอกจากนี้ จากการจำลองด้วย CFD ทำให้เห็นอิทธิพลของพารามิเตอร์ อันได้แก่ ความยาวท่อหัวฉีด เส้นผ่านศูนย์กลางคอขอด ความยาวคอขอด ความหนาแน่น และความเร็วของลูกปืน ที่มีต่อกระบวนการกำเนิดลำพุ่ง และคุณลักษณะของมัน

6 งานวิจัยนี้พบว่าปรากฏการณ์ สะท้อนและเคลื่อนที่ของชอร์กในหัวฉีด ในระหว่างกระบวนการสร้างลำพุ่งด้วยการกระแทก มีผลต่อคุณลักษณะของลำพุ่งที่เกิดขึ้น

7 งานวิจัยนี้ได้ออกแบบ สร้างอุปกรณ์ และปรับเทียบเครื่องมือ สำหรับวัดความเร็วออก และความดันกระแทกของลำพุ่ง โดยการวัดความเร็วจะอาศัยหลักการตัดแสงของวัตถุ ขณะที่ความดันกระแทก ได้นำคุณสมบัติ Piezoelectricity ของแผ่น Polyvinylidene Fluoride (PVDF) มาประยุกต์ใช้

8 งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพ และการทำงานของอุปกรณ์นำส่งยาด้วยลำพุ่งความเร็วสูงที่มีขายอยู่ในท้องตลาด ของบริษัท Merck ผลิตโดยบริษัท Bioject รุ่น Cool.Click

9 งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการไหลและคุณลักษณะของลำพุ่งที่กำเนิดจากอุปกรณ์ Cool.Click ด้วยวิธีการทดลอง จากการถ่ายภาพด้วยกล้องความเร็วสูง วัดความเร็วออกและความดันกระแทกของลำพุ่ง และด้วยวิธีพลศาสตร์การไหลเชิงคำนวณ (CFD)

10 งานวิจัยนี้พบว่า เมื่อของเหลวในหัวฉีดมีปริมาณมากขึ้น ความเร็วออกและความดันของลำพุ่งจาก Cool.Click จะมีความค่าลดลง และการเคลื่อนที่ของแท่งกดมีลักษณะสั่น ขณะขับของไหลออกจากหัวฉีด ทำให้ความเร็วที่ปากทางออกหัวฉีด มีลักษณะสั่นด้วย เนื่องจากอิทธิพลของการอัดตัวได้และการเคลื่อนที่ของคลื่นชอค์กของของเหลวในหัวฉีด

11 งานวิจัยนี้ ได้ทำการออกแบบและสร้างชุดต้นแบบ อุปกรณ์นำส่งยาด้วยลำพุ่งที่ขับด้วยแก๊สแรงดันสูง (Medical Jet Needle Free Injection System, Med-jet NFIS) โดยอาศัยต้นกำลังจากระบบไฮดรอลิก และใช้ก๊าซแรงดันสูงขับแท่งกด เพื่อดันของเหลว ให้เป็นลำพุ่งที่มีความเร็ว

12 งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาคุณลักษณะของลำพุ่งสำหรับนำส่งยาจากชุดต้นแบบ Med-jet NFIS โดยใช้หลักการขับลูกสูบ 3 ลักษณะ คือ 1) ลูกสูบแบบมีโอลิงและไม่กระแทกก่อนขับ 2) ลูกสูบแบบมีโอลิงและกระแทกก่อนขับ และ 3) ลูกสูบแบบไม่มีโอลิงและกระแทกก่อนขับ

13 งานวิจัยนี้พบว่า ลำพุ่งนำส่งยาจากชุดต้นแบบ Med-jet NFIS แบบ ไม่มีโอลิงและกระแทกก่อนขับให้ความเร็วมีความเร็วออกและความดันขับสูงที่สุด แต่กราฟความดันขับ มีลักษณะสั่น เนื่องจากการสั่นของลูกสูบขับที่ได้รับอิทธิพลจากการเคลื่อนที่ของคลื่นชอค์กของของเหลวในหัวฉีด และการสั่นของความดันจะน้อยลงและมีลักษณะของกราฟใกล้เคียงกับแนวโน้มกราฟที่ได้จาก Cool.Click เมื่อใช้ลูกสูบแบบมีโอลิงและไม่มีการกระแทกก่อนขับ

7.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากเป็นปัญหาที่ซับซ้อนมาก แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยระเบียบวิธีพลศาสตร์การไหลเชิงคำนวณ (CFD) ของลำพุ่งที่กำเนิดจากการกระแทก ในการศึกษานี้ยังมีข้อที่ต้องปรับปรุงอยู่ เช่น แบบจำลองนี้ไม่ปรากฏคลื่นชอค์กในอากาศ เนื่องจากการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วของลำพุ่ง แต่อย่างไรก็ตามแบบจำลองนี้ก็เหมาะสมกับลำพุ่งที่ความเร็วไม่สูงมากนัก อย่างเช่นกับกรณีที่เกิดกับการนำส่งยา

2. ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาลำพุ่งความเร็วสูงที่เกิดจากการกระแทก ด้วย CFD สามารถนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐาน หรือประยุกต์ใช้งานกับ งานด้านอื่นๆ (ที่ไม่ใช้เพียงแต่การนำส่งยาเท่านั้น) ที่นำลำพุ่งของเหลวมาใช้งาน เช่น การตัดวัสดุ และการเผ้าไหมในเครื่องยนต์ เป็นต้น
3. ข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้ส่วนใหญ่ เป็นลำพุ่งที่ฉีดทิ้งในบรรยากาศ ดังนั้น นักวิจัยท่านอื่นที่สนใจควร ศึกษาพฤติกรรมการแพร่ของลำพุ่ง ในเนื้อเยื่อ โดยเฉพาะด้วยการจำลองใน CFD เพราะจะช่วยค่าใช้จ่ายในห้องทดลองได้
4. ในงานวิจัยต่อไปจำเป็นต้อง ทำการทดลอง เพื่อศึกษาคุณลักษณะของลำพุ่งจากชุดต้นแบบ Med-jet NFIS เพิ่มเติม โดยเฉพาะ การทดสอบอิทธิพลของพารามิเตอร์อื่น เช่น ชนิดของก๊าซ ขนาดรูปของหัวฉีด และความดันก๊าซ ที่มีผลต่อลำพุ่ง และการแพร่ในเนื้อเยื่อ
5. จากข้อมูลในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยที่จะทำการศึกษาต่อ สามารถนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับออกแบบชุดทดลองหรืออุปกรณ์นำส่งยาแบบใหม่ได้
6. เนื่องจากชุดต้นแบบ Med-jet NFIS มีขนาดใหญ่และการใช้งานยุ่งยากเพราะถูกออกแบบมาเพื่อทำการทดลองเป็นหลัก ดังนั้นจึงยังห่างไกลกับการนำไปใช้จริง ควรมีการปรับปรุงอุปกรณ์ในระดับต่อไป ให้ใกล้เคียงกับการใช้งานจริงมากขึ้นกว่านี้