สารบัญ

	หน้าที่
สารบัญ	I
สารบัญรูป	IV
สารบัญตาราง	IV
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1-1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1-3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1-3
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย	1-3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ลำพุ่งความเร็วสูงและวิธีการสร้างลำพุ่งความเร็วสูง	2-1
2.2 ลำพุ่งความเร็วสูงที่สร้างด้วยวิธีการกระแทก	2-3
2.2.1 การสร้างลำพุ่งด้วยวิธีการกระแทก	2-3
2.2.2 วิธีขับวัตถุให้มีความเร็ว	2-5
2.2.3 ความดันฉีดกับการกำเนิดลำพุ่งด้วยวิธีการกระแทก	2-6
2.2.4 คุณลักษณะของลำพุ่งที่กำเนิดด้วยวิธีการกระแทก	2-11
2.2.5 การกระแทกของลำพุ่งความเร็วสูงที่กำเนิดด้วยวิธีการกระแทก	2-13
2.3 ลำพุ่งความเร็วสูงที่สร้างด้วยวิธีการกดสำหรับนำส่งยาผ่านผิวหนัง	2-15
2.3.1 ลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของชั้นผิวหนัง	2-15
2.3.2 การนำส่งยาผ่านผิวหนังด้วยลำพุ่งความเร็วสูง	2-17
2.3.3 อุปกรณ์นำส่งยาด้วยลำพุ่งความเร็วสูง	2-19
2.3.4 คุณลักษณะการนำส่งยาด้วยลำพุ่งความเร็วสูง	2-20
1) ความดันฉีดและการกระแทกของลำพุ่ง	2-20
2) การเจาะเนื้อเยื่อและการกระจาย	2-23
บทที่ 3 การศึกษาลำพุ่งความเร็วสูงจากการกระแทกด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงตัวเลข (CFD)	
3.1 กลไกการกำเนิดลำพุ่งความเร็วสูงด้วยวิธี IDM	3-1
3.2 แบบจำลองคณิตศาสตร์	3-2
3.2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของของไหลผสม แบบ Mixture	3-3
3.2.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการเกิดโพรงอากาศ (Cavitation)	3-6
3.2.3 ขอบเขตและรูปร่างของปัญหา	3-7

สารบัญ (ต่อ)

		หน้าที่
	3.2.4 การเปลี่ยนกริดและการเคลื่อนที่ของลูกปืน	3-9
	3.2.5 คุณสมบัติของของไหล	3-10
	3.2.6 ระเบียบวิธีคำนวณ	3-11
3.3	การยืนยันผลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	3-11
3.4	ผลการศึกษา	3-17
	3.4.1 รูปแบบการไหลในหัวฉีดและลำพุ่ง	3-17
	3.4.2 พฤติกรรมการไหลในหัวฉีด	3-19
	3.4.3 การเปลี่ยนสถานะของลำพุ่ง	3-23
	3.4.4 อิทธิพลของพารามิเตอร์ที่มีต่อลำพุ่งความเร็วสูง	3-24
	1) เส้นผ่านศูนย์กลางคอขอด	3-24
	2) ความยาวของท่อหัวฉีด	3-24
	3) ความยาวคอขอด	3-26
	4) ความหนาแน่นของลูกปืน	3-26
	5) ความเร็วของลูกปืน	3-27
บทที่ 4	**การดำเนินการทดลอง**	
4.1	อุปกรณ์กำเนิดลำพุ่ง เพื่อนำส่งของเหลวผ่านผิวหนัง	4-1
	4.1.1 อุปกรณ์ขับด้วยสปริง: Cool. Click	4-1
	4.1.2 อุปกรณ์ขับด้วยแก๊สแรงดันสูง: Med-jet NFIS	4-4
	1) ส่วนประกอบและขั้นตอนการทำงาน	4-4
	2) การปรับเทียบชุดทดลองของ Med-jet NFIS	4-7
4.2	หลักการวัดความเร็วและความดันกระแทกของลำพุ่ง	4-9
	4.2.1 การวัดเร็วความเร็วด้วย หลักการตัดแสงของวัตถุ	4-9
	4.2.2 การปรับเทียบและหลักการวัดความดันกระแทกด้วยแผ่น PVDF	4-11
บทที่ 5	**คุณลักษณะการนำส่งยาด้วยลำพุ่งความเร็วสูงจากอุปกรณ์ที่ขับด้วยสปริง**	
5.1	เครื่องมือและอุปกรณ์ถ่ายภาพลำพุ่ง	5-1
	5.1.1 การเตรียม Polyacylamide gel เพื่อใช้เป็นเนื้อเยื่อจำลอง	5-1
	5.1.2 ระบบถ่ายภาพด้วยกล้องจับภาพความเร็วสูง	5-2
5.2	คุณลักษณะของลำพุ่ง	5-3
	5.2.1 ความเร็วออก และกำลังของลำพุ่ง	5-4
	5.2.2 รูปร่างและความเร็วเฉลี่ยเฉพาะกาลของลำพุ่ง	5-5

สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
5.2.3 ความดันกระแทกของลำพุ่ง	5-8
5.2.4 การเจาะผ่านเนื้อเยื่อจำลอง	5-9
5.2.5 พฤติกรรมของหัวกด	5-11
5.3 การศึกษาลำพุ่งด้วยระเบียบวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงตัวเลข (CFD)	5-12
5.3.1 ขอบเขตและรูปร่างของปัญหา	5-14
5.3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	5-15
1) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	5-15
2) การเคลื่อนที่ของแท่งกด	5-15
3) คุณสมบัติของของไหล	5-16
4) ระเบียบวิธีคำนวณ	5-17
5.3.3 การยืนยันผลแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	5-17
5.3.4 กระบวนการกำเนิดลำพุ่ง	5-20
5.4 การกระจายของลำพุ่งในเนื้อหมู	5-24
บทที่ 6 คุณลักษณะการนำส่งยาด้วยอุปกรณ์ขับจากแก๊สแรงดันสูง: Med-jet NFIS	
6.1 เงื่อนไขและรูปแบบการศึกษา	6-1
6.2 ความเร็วออกของลำพุ่ง	6-4
6.3 ความดันกระแทกของลำพุ่ง	6-5
6.4 การกระจายลำพุ่งในเนื้อหมู	6-7
บทที่ 7 สรุปและข้อเสนอแนะ	
7.1 สรุปผลหารศึกษา	7-1
7.2 ข้อเสนอแนะ	7-2
เอกสารอ้างอิง	ก-1
Out put จากโครงการ	ข-1
ภาคผนวก: ผลงานวิชาการจากผลงานวิจัย	ผ-1

สารบัญรูป

	หน้าที่
รูปที่ 2.1 การสร้างแรงดันด้วยการการเคลื่อนที่ของวัตถุ	2-2
รูปที่ 2.2 หลักการสร้างลำพุ่งความเร็วสูงของ Bowden และ Brunton	2-3
รูปที่ 2.3 การกำเนิดลำพุ่งด้วยการกระแทก	2-4
รูปที่ 2.4 วิธีการขับวัตถุ	2-5
รูปที่ 2.5 ชุดเครื่องมือวัดความดันของ Shi	2-7
รูปที่ 2.6 การเปลี่ยนแปลงความดันในหัวฉีดจากผลการศึกษาของ Shi	2-7
รูปที่ 2.7 แผนภาพการเคลื่อนที่ของคลื่นชอค์กในหัวฉีดของ Pianthong และคณะ	2-8
รูปที่ 2.8 แผนภูมิ x-t ของการเคลื่อนที่ของชอค์กในหัวฉีดแบบบ่าของ Pianthong และคณะ	2-8
รูปที่ 2.9 รูปแบบความดันในหัวฉีดจากการศึกษาของ Mutthujak และ คณะ	2-10
รูปที่ 2.10 คลื่นชอค์ก ในหัวฉีดขณะกำเนิดลำพุ่ง จากการศึกษาของ Mutthujak และคณะ	2-10
รูปที่ 2.11 การไหลผ่านหัวฉีดของของเหลวเนื่องจากการกระแทกของลูกปืน	2-12
รูปที่ 2.12 รูปแบบการไหลของลำพุ่งที่เริ่มออกจากหัวฉีด	2-12
รูปที่ 2.13 ลำพุ่งความเร็วสูงที่ออกเป็นลูก	2-13
รูปที่ 2.14 การกระแทกของลำพุ่งความเร็วสูงบน PMMA ที่ความเร็วลำพุ่ง 680 m/s	2-14
รูปที่ 2.15 ความเสียหายจากการกระแทกของลำพุ่งความเร็วสูง (950 m/a)	2-15
รูปที่ 2.16 โครงสร้างและชั้นผิวหนังของร่างกาย	2-15
รูปที่ 2.17 ชั้นย่อยของหนังกำพร้า	2-16
รูปที่ 2.18 หลักการฉีดยาด้วยลำพุ่งความเร็วสูง	2-17
รูปที่ 2.19 ความดันกระแทกตามช่วงเวลาฉีดจากอุปกรณ์ฉีดยาที่มีจำหน่ายในท้องตลาด	2-22
รูปที่ 2.20 รูปแบบการกระจายของของเหลวในเนื้อเยื่อ	2-24
รูปที่ 2.21 กระบวนการฉีดยาในเนื้อเยื่อ	2-24
รูปที่ 3.1 การกำเนิดลำพุ่งด้วยการกระแทก	3-2
รูปที่ 3.2 ขนาดหัวฉีด	3-8
รูปที่ 3.3 ขนาดหัวฉีดของ H. H. Shi	3-8
รูปที่ 3.4 กริดและขอบเขตปัญหา	3-9
รูปที่ 3.5. ความเร็วเฉลี่ยของลำพุ่งจากการกระแทกตรงบนหัวฉีดแบบบ่าเป็นกรวย	3-12
รูปที่ 3.6. ความดันฉีดจากการกระแทกตรงบนหัวฉีดแบบบ่าเป็นกรวย	3-13
รูปที่ 3.7 ระยะแหวกอากาศและความเร็วเฉลี่ยของลำพุ่งจากการหัวฉีดแบบบ่าตรง	3-13

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้าที่

รูปที่ 3.8 ความดันฉีดจากการกระแทกตรงบนหัวฉีดของ Shi 3-13
รูปที่ 3.9 ความดันฉีดจากการกระแทกผ่านตัวกลางแท่งทองเหลืองบนหัวฉีดของ Shi 3-16
รูปที่ 3.10 อิทธิพลของน้ำหนักแท่งทองเหลืองที่มีต่อความเร็วและความดันสูงสุด 3-16
รูปที่ 3.11 ระดับความดัน (GPa) ของของเหลวไหลในหัวฉีด และความเร็วของลำพุ่ง (km/s) 3-18
รูปที่ 3.12 ระดับความดัน (GPa) ของน้ำมันดีเซลในหัวฉีดแบบบ่าตรง 3-19
รูปที่ 3.13 ระดับความดัน (GPa) ของน้ำมันดีเซลในหัวฉีดแบบบ่าเป็นกรวย 3-20
รูปที่ 3.14 ระดับความดัน (GPa) ของน้ำมันดีเซลในหัวฉีดของ Shi แบบกระแทกผ่านตัวกลาง 3-21
รูปที่ 3.15 ระดับความดัน (GPa) ของน้ำมันดีเซลในหัวฉีดของ Shi จากการกระแทกตรง 3-22
รูปที่ 3.16 สัดส่วนปริมาตรของเหลวตามแนวแกน 3-23
รูปที่ 3.17 ความดันฉีดและความเร็วกับเส้นผ่านศูนย์กลางคอขอดที่เปลี่ยนแปลง 3-25
รูปที่ 3.18 ความดันฉีดและความเร็วกับความยาวของท่อหัวฉีดที่เปลี่ยนแปลง 3-25
รูปที่ 3.19 ความดันฉีดและความเร็วกับความยาวของคอขอดที่เปลี่ยนแปลง 3-26
รูปที่ 3.20 ความดันฉีดและความเร็วกับความหนาแน่นของลูกปืนที่เปลี่ยนแปลง 3-27
รูปที่ 3.21 ความดันฉีดและความเร็วกับความเร็วของลูกปืน 3-28
รูปที่ 4.1 ลักษณะและกลไกของอุปกรณ์นำส่งยาด้วยลำพุ่งความเร็วสูงแบบขับด้วยสปริง 4-2
รูปที่ 4.2 การทดสอบแรงกดของสปริง 4-3
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยุบกับแรงกดของสปริง 4-3
รูปที่ 4.4 Med-jet NFIS 4-4
รูปที่ 4.5 ระบบสร้างลำพุ่งด้วยแก๊สแรงดันสูง 4-5
รูปที่ 4.6 อุปกรณ์ต่อพ่วงของ Med-jet NFIS 4-6
รูปที่ 4.7 ลักษณะการวางแผ่นไดอะแฟรมและการแตกหลังการใช้งาน 4-7
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระว่างความหนา และชนิดของวัสดุ กับความดันแตก 4-8
รูปที่ 4.9 การวัดความเร็วลำพุ่งด้วยหลักการตัดเลเซอร์ 4-9
รูปที่ 4.10 วงจรไฟฟ้าของชุดดักจับความเข้มแสง 4-10
รูปที่ 4.11 ลักษณะการเกิดแรงดันไฟฟ้าจากการขดงอของแผ่น PVDF 4-11
รูปที่ 4.12 ตัวเรือนรับการกระแทกและแผ่น PVDF 4-11
รูปที่ 4.13 ระบบปรับเทียบแรงดันไฟฟ้ากับความดันกระแทกบนแผ่น PVDF 4-12
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ของแรงกระแทกกับแรงดันไฟฟ้าจากแผ่น PVDF 4-13
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ของความดันกระแทกกับแรงดันไฟฟ้าจากแผ่น PVDF 4-14

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้าที่
รูปที่ 5.1 ระบบถ่ายภาพความเร็วสูง	5-1
รูปที่ 5.2 ความเร็วออก และกำลังของลำพุ่ง	5-5
รูปที่ 5.3 การแหวกอากาศของลำพุ่ง	5-6
รูปที่ 5.4 ความเร็วเฉลี่ยเฉพาะกาลของลำพุ่ง	5-6
รูปที่ 5.5 ลักษณะรูปร่างของลำพุ่งตามปริมาตรการฉีด	5-7
รูปที่ 5.6 ความดันกระแทกของลำพุ่ง	5-8
รูปที่ 5.7 การเจาะของลำพุ่งบน 20% PAMG เมื่อปริมาตรของเหลว	5-10
รูปที่ 5.8 ระยะแหวกของลำพุ่งใน 20% PAMG	5-11
รูปที่ 5.9 ความเร็วเฉลี่ยของลำพุ่งใน 20% PAMG	5-11
รูปที่ 5.10 ความเร็วเฉลี่ยของหัวแท่งกด	5-12
รูปที่ 5.11 กลไกและรูปร่างของหัวฉีด	5-13
รูปที่ 5.12 กริดและขอบเขตของปัญหา	5-14
รูปที่ 5.13 ความเร็วลำพุ่งระหว่าง CFD กับผลการทดลอง	5-18
รูปที่ 5.14 ระยะแหวกของลำพุ่งจาก CFD กับผลการทดลอง	5-19
รูปที่ 5.15 ความเร็วเฉพาะกาลของลำพุ่งจาก CFD กับผลการทดลอง	5-19
รูปที่ 5.16 ความเร็วเฉพาะกาลของหัวกดจาก CFD และการทดลอง	5-20
รูปที่ 5.17 ความดันฉีดที่ปากทางออกหัวฉีด	5-21
รูปที่ 5.18 ความเร็วที่จุดห่างปากทางออกหัวฉีด 1 mm	5-22
รูปที่ 5.19 ระดับความดันและเวกเตอร์ของการไหลระหว่างการกำเนิดลำพุ่ง (MPa)	5-23
รูปที่ 5.20 การกระจายของลำพุ่งในเนื้อหมู	5-25
รูปที่ 6.1 ชุดต้นแบบของอุปกรณ์นำส่งยาด้วยลำพุ่งความเร็ว Med-jet NFIS	6-1
รูปที่ 6.2 แท่งกด ขนาดต่างๆ	6-2
รูปที่ 6.3 ลักษณะของลูกสูบขับที่ใช้ขับแท่งกด	6-3
รูปที่ 6.4 การวัดความเร็วออกของลำพุ่งด้วยหลักการตัดแสงของวัตถุ	6-4
รูปที่ 6.5 ความเร็วออกของลำพุ่งจาก Med-jet NFIS	6-4
รูปที่ 6.6 การวัดความดันด้วยแผ่น PVDF (ภาพถ่ายมุมมองด้านบน)	6-5
รูปที่ 6.7 ความดันกระแทก ของลำพุ่งที่ขับโดยไม่มีการกระแทก	6-6
รูปที่ 6.8 ความดันกระแทก ของลำพุ่งที่ขับด้วยการกระแทกลูกสูบแบบไม่มีโอลิง	6-7

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้าที่
รูปที่ 6.9 เปรียบเทียบความดันกระแทกของลำพุ่งที่ ปริมาตรของเหลว 0.5 ml	6-7
รูปที่ 6.10 การกระจายของลำพุ่งในเนื้อหมูจากการฉีดด้วย Med-jet NFIS	6-8

สารบัญตาราง

	หน้าที่
ตาราง 2.1 คุณสมบัติและค่าตัวแปรต่างๆแกน x-t ของ Pianthong และคณะ	2-9
ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติเชิงกลของชั้นผิวหนัง	2-17
ตารางที่ 2.3 ข้อมูลเบื้องต้นของอุปกรณ์การฉีดยาด้วยลำพุ่งที่มีจำหน่ายในท้องตลาด	2-19
ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของของเหลว	3-11
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลเบื้องต้นของ Cool.Click	4-2
ตารางที่ 4.2 แสดงลักษณะการฉีกขาดของแผ่นไดอะแฟรมแต่ละชนิด	4-8
ตารางที่ 4.3 รายละเอียดจำเพาะของชุดดักจับความเข็มแสง	4-10
ตารางที่ 5.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของลำพุ่งของเหลวใน CFD	5-15
ตารางที่ 5.2 คุณสมบัติของของไหล	5-17