

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
Abstract	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย	4
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ความหนืด	5
2.2 การไหลของของไหล	6
2.3 การผลิตลำพุ่งความเร็วสูง	7
2.4 ชูดึงกระสุน	8
2.5 การวัดความเร็วของลูกปืนและลำพุ่งของเหลว	12
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	17
3.1 การผลิตลำพุ่งความเร็วสูง	17
3.2 ชุดทดลอง Horizontal single-state powder gun	17
3.3 วิธีทำการทดลอง	19
3.4 การวัดความเร็วของกระสุนปืน	21
3.5 สมรรถนะของชุดทดลอง	23
3.6 การถ่ายภาพ	25

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง	28
4.1 คุณสมบัติของลำพุง Non-Newtonian fluid ความเร็วสูงในอากาศ	28
4.2 คุณสมบัติของลำพุง Non-Newtonian fluid ความเร็วสูงในน้ำ	30
4.3 อิทธิพลของชนิดลำพุงของ Non-Newtonian fluid ความเร็วสูงเมื่อฉีดในอากาศ	36
4.4 อิทธิพลของชนิดลำพุงของ Non-Newtonian fluid ความเร็วสูงเมื่อฉีดในน้ำ	42
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	70
5.1 สรุปผลการศึกษา	70
5.2 ข้อเสนอแนะ	71
เอกสารอ้างอิง	72
ภาคผนวก	76
ภาคผนวก ก การออกแบบชุดทดลอง	76
ภาคผนวก ข ขั้นตอนการทดลองยิงกระสุนปืนความเร็วสูง	79
ภาคผนวก ค ประวัตินักวิจัย	89
ภาคผนวก ง ผลสำเร็จจากการดำเนินโครงการ	108

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	สรุปผลการทดลองคุณลักษณะลำพุ่งความเร็วสูงในอากาศ	42
4.2	สรุปผลการทดลองคุณลักษณะลำพุ่งความเร็วสูงในน้ำ	68
ข.1	ความเร็วของกระสุนปืนจากการทดลอง laser 1 และ laser 2 ระยะห่าง	85
ข.1	ความเร็วของกระสุนปืนจากการทดลอง laser 1 และ laser 2 ระยะห่าง (ต่อ)	86
ข.2	ความเร็วของกระสุนปืนจากการทดลอง laser 2 และ laser 3 ระยะห่าง	87
ข.2	ความเร็วของกระสุนปืนจากการทดลอง laser 2 และ laser 3 ระยะห่าง (ต่อ)	88

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	การเกิด velocity gradient เมื่อมีแรงมากระทำในแนวขนานกับพื้นผิวของของไหล	6
2.2	กราฟแสดงลักษณะการไหลของของเหลว	7
2.3	Generation of high-speed liquid jet injected into ambient air by impact acceleration method of Bowden and Bunton method [37, 38]	7
2.4	2การยิงกระสุนโดยชุดยิงกระสุนแบบใช้แก๊สเบา (Light gas gun)	9
2.5	ส่วนประกอบพื้นฐานของ piston-powered two-stage light gas gun	11
2.6	ชุดยิงกระสุนแบบใช้ดินปืน	11
2.7	ระบบจุดระเบิดแบบปืนปากกาในชุดปล่อยลูกปืน	12
2.8	ไดอะแกรมวงจรของการวัดความเร็วของลูกปืน	13
3.1	Impact driven method หรือ Bowden and Brunton method [37, 38]	17
3.2	ชุดทดลอง (a) แผนภาพชุดทดลอง (b) ภาพถ่ายชุดทดลอง Horizontal single stage powder gun (HSSPG)	18
3.3	(a) กระสุนปืน และ (b) หัวฉีดที่ใช้ในการทดลอง	19
3.4	ขั้นตอนการยิงของชุดทดลอง HSSPG : (a) ก่อนจุดระเบิด, (b) การจุดระเบิด, (c) ดินปืนเผาไหม้หมด, (d) หลังจากดินปืนเผาไหม้หมด และ (e) การยิงกระสุนปืน	20
3.5	การระบายอากาศด้านหน้ากระสุนปืน	20
3.6	การวัดความเร็วกระสุนปืนด้วยเทคนิค time of flight method	22
3.7	ตัวอย่างสัญญาณที่วัดได้จาก laser beam ชุดที่ 1 และชุดที่ 2 (=105 mm) บนหน้าจอ oscilloscope เครื่องที่ 1	22
3.8	ตัวอย่างสัญญาณที่วัดได้จาก laser beam ชุดที่ 2 และชุดที่ 3 (=33 mm) บนหน้าจอ oscilloscope เครื่องที่ 2	23
3.9	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของดินปืนและความเร็วของกระสุนปืนที่ระยะ	24
3.10	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของดินปืนและความเร็วของกระสุนปืนที่ระยะ	25
3.11	การการติดตั้งระบบถ่ายภาพด้วยเทคนิค Shadowgraph	26
3.12	การติดตั้งกล้องวิดีโอความเร็วสูงในมุมมองปกติ โดยไม่มีการติดตั้งระบบการถ่ายภาพแบบ Shadowgraph	26
3.13	การติดตั้งกล้องวิดีโอความเร็วสูงในแนวแกน โดยไม่มีการติดตั้งระบบการถ่ายภาพแบบ Shadowgraph	27

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.1	ภาพถ่ายโดยเทคนิค shadowgraph ของลำพ่นนมในอากาศ (milk jet in air, V_j , max = 1,802.18 m/s, Ma = 5.3)	28
4.2	ความเร็วเฉลี่ยและระยะการเคลื่อนที่ของลำพ่นนมในอากาศ (average milk jet velocity and jet penetration distance in air)	29
4.3	ภาพถ่ายโดยเทคนิค shadowgraph ของลำพ่นนมในน้ำ (milk jet in water, V_j , max = 288.93 m/s)	31
4.4	ภาพถ่ายโดยไม่ใช้เทคนิค shadowgraph ของลำพ่นนมในน้ำ	32
4.5	ระยะการเคลื่อนที่ของลำพ่นและ bubble และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ bubble ของลำพ่นนมในน้ำ (jet and bubble penetration distance and bubble diameter of milk jet in water)	34
4.6	ภาพถ่ายในแนวนอนโดยไม่ใช้เทคนิค shadowgraph ของลำพ่นนมในน้ำ	35
4.7	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำพ่นในแนวนอน (D_x) และแนวตั้ง (D_y) ของลำพ่นนมในน้ำ (bubble diameter D_x and D_y of milk jet injected in water)	36
4.8	ภาพถ่ายด้วยเทคนิค Shadowgraph ของลำพ่นความเร็วสูงทั้ง 4 ชนิด เมื่อฉีดในอากาศ	37
4.8	ภาพถ่ายด้วยเทคนิค Shadowgraph ของลำพ่นความเร็วสูงทั้ง 4 ชนิด เมื่อฉีดในอากาศ (ต่อ)	38
4.8	ภาพถ่ายด้วยเทคนิค Shadowgraph ของลำพ่นความเร็วสูงทั้ง 4 ชนิด เมื่อฉีดในอากาศ (ต่อ)	39
4.8	ภาพถ่ายด้วยเทคนิค Shadowgraph ของลำพ่นความเร็วสูงทั้ง 4 ชนิด เมื่อฉีดในอากาศ (ต่อ)	40
4.9	ความเร็วเฉลี่ย (average jet velocity) ของลำพ่นทั้ง 4 ชนิด	41
4.10	ระยะการเคลื่อนที่ (penetration distance) ของลำพ่นทั้ง 4 ชนิด	41
4.11	ภาพถ่ายด้วยเทคนิค Shadowgraph ของลำพ่นความเร็วสูงทั้ง 4 ชนิด เมื่อฉีดในน้ำ	43
4.11	ภาพถ่ายด้วยเทคนิค Shadowgraph ของลำพ่นความเร็วสูงทั้ง 4 ชนิด เมื่อฉีดในน้ำ (ต่อ)	44
4.11	ภาพถ่ายด้วยเทคนิค Shadowgraph ของลำพ่นความเร็วสูงทั้ง 4 ชนิด เมื่อฉีดในน้ำ (ต่อ)	45

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.11	ภาพถ่ายด้วยเทคนิค Shadowgraph ของลำพุ่งความเร็วสูงทั้ง 4 ชนิด เมื่อฉีดในน้ำ (ต่อ)	46
4.11	ภาพถ่ายด้วยเทคนิค Shadowgraph ของลำพุ่งความเร็วสูงทั้ง 4 ชนิด เมื่อฉีดในน้ำ (ต่อ)	47
4.12	ภาพถ่ายโดยไม่ใช้เทคนิค shadowgraph ของลำพุ่งความเร็วสูงทั้ง 4 ชนิด เมื่อฉีดในน้ำ	49
4.12	ภาพถ่ายโดยไม่ใช้เทคนิค shadowgraph ของลำพุ่งความเร็วสูงทั้ง 4 ชนิด เมื่อฉีดในน้ำ (ต่อ)	50
4.12	ภาพถ่ายโดยไม่ใช้เทคนิค shadowgraph ของลำพุ่งความเร็วสูงทั้ง 4 ชนิด เมื่อฉีดในน้ำ (ต่อ)	51
4.12	ภาพถ่ายโดยไม่ใช้เทคนิค shadowgraph ของลำพุ่งความเร็วสูงทั้ง 4 ชนิด เมื่อฉีดในน้ำ (ต่อ)	52
4.12	ภาพถ่ายโดยไม่ใช้เทคนิค shadowgraph ของลำพุ่งความเร็วสูงทั้ง 4 ชนิด เมื่อฉีดในน้ำ (ต่อ)	53
4.13	ความเร็วเฉลี่ยของลำพุ่งในน้ำ (average jet velocity in water) ทั้ง 4 ชนิด	54
4.14	ระยะการเคลื่อนที่ของลำพุ่งในน้ำ (jet penetration distance in water) ทั้ง 4 ชนิด	54
4.15	ความเร็วเฉลี่ยของ bubble (average bubble velocity) ที่เกิดจากลำพุ่งทั้ง 4 ชนิด	55
4.16	ระยะการเคลื่อนที่ของ bubble (bubble penetration distance, Lb) ที่เกิดจากลำพุ่งทั้ง 4 ชนิด	56
4.17	ความเร็วเฉลี่ยในการขยายตัวของ bubble (average expansion velocity of bubble) ของลำพุ่งทั้ง 4 ชนิด	56
4.18	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ bubble (bubble diameter, Dd) ของลำพุ่งทั้ง 4 ชนิด	57
4.19	ภาพถ่ายในแนวแกนโดยไม่ใช้เทคนิค Shadowgraph ของลำพุ่งความเร็วสูงทั้ง 4 ชนิด เมื่อฉีดในน้ำ	59
4.19	ภาพถ่ายในแนวแกนโดยไม่ใช้เทคนิค Shadowgraph ของลำพุ่งความเร็วสูงทั้ง 4 ชนิด เมื่อฉีดในน้ำ (ต่อ)	60

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.19 ภาพถ่ายในแนวแกนโดยไม่ใช้เทคนิค Shadowgraph ของลำพุ่งความเร็วสูงทั้ง 4 ชนิด เมื่อฉีดในน้ำ (ต่อ)	61
4.19 ภาพถ่ายในแนวแกนโดยไม่ใช้เทคนิค Shadowgraph ของลำพุ่งความเร็วสูงทั้ง 4 ชนิด เมื่อฉีดในน้ำ (ต่อ)	62
4.19 ภาพถ่ายในแนวแกนโดยไม่ใช้เทคนิค Shadowgraph ของลำพุ่งความเร็วสูงทั้ง 4 ชนิด เมื่อฉีดในน้ำ	63
4.20 ความเร็วในการขยายตัวของ bubble ในแนวนอน (average expansion velocity of bubble in x axial, V_x) ของลำพุ่งทั้ง 4 ชนิด	64
4.21 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ bubble ในแนวนอน (bubble diameter in x axial, D_x) ของลำพุ่งทั้ง 4 ชนิด	65
4.22 ความเร็วในการขยายตัวของ bubble ในแนวตั้ง (average expansion velocity of bubble in y axial, D_y) ของลำพุ่งทั้ง 4 ชนิด	65
4.23 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ bubble ในแนวตั้ง (bubble diameter in y axial, D_y) ของลำพุ่งทั้ง 4 ชนิด	66
ก.1 ชุดปล่อยกระสุนปืน (launcher หรือ powder gun)	77
ก.2 ท่อส่งกระสุนปืน (launch tube)	77
ก.3 ท่อระบายความดัน (pressure relief section)	78
ก.4 ห้องทดสอบ (test chamber)	78
ข.1 ชั่งมวลของกระสุนปืน	80
ข.2 วัดขนาดของกระสุนปืน	80
ข.3 บรรจุกระสุนปืน	81
ข.4 บรรจุดินปืนและติดไพรเมอร์	81
ข.5 เช็คสัญญาณ laser beam และ oscilloscope	82
ข.6 การประกอบชุดปืน	82
ข.7 การยิง	83
ข.8 (a) ตำแหน่ง laser beam บนหน้าจอ oscilloscope และ (b) ตำแหน่งติดตั้ง laser beam	83
ข.8 (a) ตำแหน่ง laser beam บนหน้าจอ oscilloscope และ (b) ตำแหน่งติดตั้ง laser beam (ต่อ)	84