

เอกสารอ้างอิง

- [1] F. P. Bowden and J. H. Brunton, Damage to solids by liquid impact at supersonic speeds, *Nature*, vol. 181, pp. 873-875, 1958.
- [2] Ryhming I.L., *Journal of Applied Mathematics and Physics (ZAMP)* 24: 149-164 (1973).
- [3] M. Rochester and J. Brunton, "High speed impact of liquid jets on solid," *1st International Symp on Jet Cutting Technology*, 1972, paper A1, Coventry, UK
- [4] J. E. Field and M. B. Lesser, On the mechanics of high speed liquid jets, *Proceedings of the Royal Society of London. Series A*, vol. 357, pp. 143-162, 1977.
- [5] H. H. Shi, Study of Hypersonic Liquid Jet, Ph.D. Thesis, Tohoku University, Sendai, Japan, 1994.
- [6] B. Milton, R. Casey, M. Behnia, S. Yudanov, and W. Mitchell, "Development of a tunable diesel engine injection system for engine calibration and optimization," ARC Research Report, Australia, 1998
- [7] K. Pianthog, "Supersonic liquid diesel fuel jets; generation, shock wave characteristics, auto-ignition feasibilities," Ph.D. thesis, the University of New South Wales, Sydney, Australia, 2002
- [8] T. Kakegawa, T. Suzuki, K. Tsujimura, and M. Shimoda, "A study on Combustion of High Pressure Fuel Injection for Direct Injection Diesel Engine," SAE Paper 880422, 1988.
- [9] G. Greeves and S. Tullis, "Contribution of EUI-200 and Quiescent Combustion System toward US94 Emissions," SAE Paper 930274, 1993.
- [10] B.E. Milton, R. Casey, M. Behnia, S. Yudanov, and W. Mitchell, "Development of a Tunable Diesel Engine Injection System for Engine Calibration and Optimization," ARC Research Report, The University of New South Wales, Sydney, NSW, Australia, 1998.
- [11] T. Nakahira, M. Komori, N. Nishida, and K. Tsujimura, "A Study of Shock Wave Generation around High Pressure Fuel Spray in Diesel Engine," *Shock Waves Proceedings*, Sendai, Japan, Springer-Verlag, 1991, pp. 1271-1276.
- [12] T. Minami, I. Yamaguchi, M. Shintani, K. Tsujimura, and T. Suzuki, "Analysis of Fuel Spray Characteristics and Combustion Phenomena under High Pressure Fuel Injection," SAE Paper 900438, 1990.
- [13] H. Akiyama, H. Nishimura, Y. Ibaraki, and N. Iida, "Study of Diesel Spray Combustion and Ignition Using High Pressure Fuel Injection and Micro-hole Nozzle with a Rapid Compression Machine," *JSAE Review*, vol. 9, 1998, pp. 319-327.

- [14] F. Pischinger, U. Reuter, and E. Scheid, "Self-ignition of Diesel Sprays and its Dependence of Fuel Properties and Injection Parameters," *Journal of Engineering for Gas Turbine and Power*, vol. 110, 1988, pp. 399-404.
- [15] K. Nishida, H. Ochiai, M. Arai, and H. Hiroyasu, "Characterization of Diesel Fuel Spray by Ultrahigh-Pressure Injection," *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Part B*, vol. 63(605), 1997, pp. 344-349 (Japanese).
- [16] K. Pianthong, B.E. Milton, and M. Behnia, "Fundamentals of supersonic diesel fuel jets for use in diesel engine," *Proceedings of the 12th International Pacific Conference on Automotive Engineering (12IPC)*, paper no. D08, 1-4 April 2003, Bangkok, Thailand.
- [17] Technology on Gasoline direct Injection (GDI), Mitsubishi-motors Website, <http://www.mitsubishi-motors.co.jp/inter/technology/GDI/page1.html>, 15 DEC 03.
- [18] J. O'Keefe, W. Wrinkle, and C. Scully, "Supersonic liquid jets," *Nature*, Vol. 213, 1967, pp. 23-25
- [19] H. Shi and K. Takayama, "Generation of hypersonic liquid fuel jets accompanying self-combustion," *Shock Waves*, Vol. 9, No. 5, 1999, pp.327-332.
- [20] K. Pianthong, S. Zakrzewski, M. Behnia, and B.E. Milton, Supersonic liquid jets; their generation and shock wave characteristics, *Shock Waves International Journal*, vol 11, no 6, pp 457 – 466, 2002.
- [21] K. Pianthong, S. Zakrzewski, M. Behnia, and B.E. Milton, "Characteristics of impact driven supersonic liquid jets," *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 27 (5), pp. 589-598, 2003.
- [22] T. Nakahira, M. Komori, N. Nishida, and K. Tsujimura, "A study of shock wave generation around high pressure fuel spray in diesel engine," *Shock Waves Proceedings*, Vol. 2, 1991, pp. 1271-1276
- [23] K. Pianthong, B.E. Milton, and M. Behnia, "Generation and shock wave characteristics of unsteady pulsed supersonic liquid jets," *Atomization and Sprays*, vol. 13, no. 5&6, pp. 475-498, 2003.
- [24] B.E. Milton, K. Pianthong, "Prediction of the driving conditions for hypersonic liquid fuel jets," *Proceedings of the 24th International Symposium on Shock Waves (ISSW24)*, Beijing, 11-16 July 2004, paper no. 3771.
- [25] K. Pianthong, S. Zakrzewski, B.E. Milton, and M. Behnia, "Contribution to auto-ignition of the shock wave characteristics from supersonic diesel fuel jets," *Proceedings of the 23rd*

International Symposium on Shock Waves (ISSW23) Conference, Fort Worth, Texas, USA, paper no. 2398, pp. 165-172, 22-27 July 2001.

[26] K. Pianthong, M. Behnia, and B.E. Milton, "Study of shock wave characteristics of supersonic diesel fuel jets using a shadowgraph technique," *Proceedings of the 14th Australasian Fluid Mechanics Conference (AFMC14)*, Adelaide, Australia, pp. 777-780, 9-14 December 2001.

[27] K. Pianthong, M. Behnia, and B.E. Milton, "Visualization of supersonic diesel fuel jets using shadowgraph technique," *Proceedings of the 24th International Congress on High-Speed Photography and Photonics (ICHSP24)*, Sendai, Japan, pp. 845-855, 24-29 September 2000.

[28] K. Pianthong, M. Behnia, and B.E. Milton, "Visualization of supersonic liquid diesel fuel jets: effect of nozzle geometries on jet shapes and shock waves characteristics," *Proceedings of the 7th Asian Symposium on Visualization (7ASV)*, 3-7 Nov. 2003, Singapore.

[29] K. Pianthong, K. Takayama, B.E. Milton, and M. Behnia, "Multiple pulsed hypersonic liquid diesel fuel jets driven by projectile impact," *Shock Waves Journal*, Vol. 14, no. 1&2, pp. 73-82, 2005.

[30] G.J. Smallwood and O.L. Gulder, "Views on the structure of transient diesel sprays," *Atomization and sprays*, vol. 10, pp. 355-386, 2000.

[31] S. Zakrzewski: A Numerical and Experimental Investigation of High-Speed Liquid Jets - Their Characteristics and Dynamics. PhD Thesis, UNSW, Sydney, Australia (2002)

[32] S. Zakrzewski, K. Pianthong, M. Behnia, and B.E. Milton, "CFD predictions of bow shock characteristics ahead of a high-speed liquid jet," *Proceedings of the 23rd International Symposium on Shock Waves (ISSW23) Conference*, Fort Worth, Texas, USA, paper no. 3124, pp. 698-704, 22-27 July 2001.

[33] S. Zakrzewski, K. Pianthong, M. Behnia, and B.E. Milton, "A blunt body analogy for bow shock characteristics in front of a supersonic liquid jet," *Proceedings of the 2nd International Conference on Computational Fluid dynamics (ICCFD2)*, Sydney, Australia, 15-19 July 2002, pp. 229 - 234.

[34] M. Behnia, S. Zakrzewski, K. Pianthong, B.E. Milton, and K. Takayama, "Supersonic and hypersonic liquid jets: Part 3--Simulation of shock wave structures and liquid/air mixing layers"

[35] K. Pianthong, "Visualisation of supersonic liquid fuel jets," *Proceedings of the 5th Pacific Symposium on Flow Visualisation and Image Proceeding (PSFVIP5)*, 27-29th September, 2005, Australia (Keynote Lecture).

[36] B.E. Milton and K. Pianthong, "Pulsed, supersonic fuel jets - A review of their characteristics and potential for fuel injection," *International Journal of Heat and Fluid Flow*, Vol. 26, issue 4 , pp. 656-671, 2005.

[37] A. Matthujak, K. Pianthong, M. Sun, K. Takayama, T. Itohagi, "Effect of different fuels on the characteristics of supersonic liquid fuel jets," *Proceedings of the 25th International Symposium on Shock Waves* (ISSW25), Bangalore, India, 17-19 July 2005, paper no.1104.

ภาคผนวก

ภาคผนวก

ผลงานตีพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

1. National Conferences

- 1.1 Wirapan Seehanam, **Wuttichai Sittiwong**, Kulachate Pianthong, and Anirut Matthujak
“Simulation on fundamental characteristic of high speed fuel jet”, Proceedings of the 21st Annual Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand. CST-45; 17-19 October, 2007.
- 1.2 **Wuttichai Sittiwong**, Wirapan Seehanam, Kulachate Pianthong, Anirut Matthujak, and Eric Yeo. “Calibration of High Speed Impact Test Rig”, Proceedings of the 22nd Annual Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand. AME-05; 15-17 October, 2008.
- 1.3 **Wuttichai Sittiwong**, Wirapan Seehanam, Kulachate Pianthong, and Anirut Matthujak.
“Impact pressure of high-speed water jets”, Proceedings of the 23rd Annual Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand. TSF-030232; 4-7 November, 2008.
- 1.4 Wirapan Seehanam, **Wuttichai Sittiwong**, Kulachate Pianthong, Anirut Matthujak..”Invesitigation on high speed liquid jet using computational fluid dynamics technique”. Proceedings of the 23rd Annual Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand. CST-035222; 4-7 November, 2008.

2. International Conferences

- 2.1 **Wuttichai Sittiwong**, Wirapan Seehanam, Kulachate Pianthong, and Anirut Matthujak.
“Effect of stand-off distance on impact pressure of high speed water jets”, Proceedings of the 10th Asian International Conference on Fluid Machinery (10th AICFM). AICFM0171; 21-23 October, 2008, Malaysia.

การจำลองคุณลักษณะเบื้องต้นของลำพุ่งเชื้อเพลิงความเร็วสูง Simulation on fundamental characteristic of high speed fuel jet

วิระพันธ์ สีหานาม^{1*} วุฒิชัย สิทธิวงษ์¹ กุลเชษฐ์ เพียรทอง¹ และ อนิรุทธ์ มัทธูจัก¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

โทร 0-4535-3381 โทรสาร 0-4535-3380 *อีเมลล์: wirapan_seehanam@yahoo.com

Wirapan Seehanam^{1*}, Wuttichai Sittiwong¹, Kulachate Pianthong¹, and Anirut Matthujak¹

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchatany University, Ubon Ratchatani, 34190,

Thailand. Tel: 0-4535-3381, Fax: 0-4535-3380 *E-mail: wirapan_seehanam@yahoo.com

บทคัดย่อ

การฉีดเชื้อเพลิงด้วยความเร็วสูงมากๆช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการเผาไหม้และลดมลภาวะที่เป็นพิษจากเครื่องยนต์ โดยเฉพาะกับเครื่องยนต์ดีเซล แต่อย่างไรก็ตาม การศึกษาในประเด็นดังกล่าวยังมีน้อยมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับการฉีดเชื้อเพลิงในระดับจิกะพาสคาล และความเร็วของลำพุ่งสูงสุดเกิดระดับความเร็วเสียงมากๆ ด้วยเหตุนี้การวิจัยนี้จึงได้พยายาม ศึกษาคุณลักษณะพื้นฐานของลำพุ่งเชื้อเพลิงความเร็วสูง โดยใช้ การคำนวณของไหลพลศาสตร์ (CFD) จำลองการฉีดพ่นของน้ำมันก๊าดโดยในแบบจำลองประกอบด้วยของไหล 2 ชนิด คือ น้ำมันก๊าด และอากาศ ความเร็วเริ่มแรกของเชื้อเพลิงอยู่ที่ 1300 เมตรต่อวินาที พุ่งออกสู่อากาศที่อยู่หนึ่ง โดยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของของไหลจะเปลี่ยนแปลงตามเวลา ผลการศึกษาจาก CFD และการทดลองให้ผลใกล้เคียงกัน การศึกษาที่น่าสนใจพิจารณาระยะแหวกอากาศและความเร็วของลำพุ่ง ผลการศึกษาทำให้เราเข้าใจคุณลักษณะของลำพุ่งเชื้อเพลิงความเร็วสูงได้ดียิ่งขึ้นและข้อมูลที่ได้ถือเป็นรากฐานสำหรับการพัฒนาในระดับต่อไป

Abstract

Injection of fuel jet at ultra-high pressure can benefit the combustion efficiency and emission reduction in internal combustion engine especially the diesel engine. However, very few studies had been carried out in the past, especially when injection pressure is in the order of GPa (10,000 bar) and the jet velocities are in hypersonic and supersonic ranges. In this study, fundamental characteristics of high speed fuel jets are calculated and visualized by Computational Fluid Dynamic (CFD). Computational domain, consisted of liquid fuel and air, is

modeled on the basis of two phase flow. The liquid jet is injected at velocity of around 1300 m/s, while the air is quiescent. The CFD results show quite similar trend to the previous experimental results. The simulation is time dependent or unsteady. The fundamental characteristics which are penetration distance and velocity attenuation of fuel jet are the main focus. From this study, more understanding on the characteristics of high speed fuel jet can obtained and will be useful further development.

1. บทนำ

การฉีดน้ำมันในเครื่องยนต์ดีเซลด้วยความดันสูงมากๆสามารถทำให้การเผาไหม้มีประสิทธิภาพดีขึ้นและช่วยลดมลภาวะจากการเผาไหม้ได้ ทั้งนี้การฉีดเชื้อเพลิงให้มีความเร็วสูงจะทำให้เพิ่มสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลสูงขึ้น [1,2] ซึ่งเครื่องยนต์ในปัจจุบันที่ฉีดเชื้อเพลิงแบบเป็นจังหวะเปิด-ปิด (intermittent) นั้น สามารถฉีดเชื้อเพลิงได้ระดับความดันในช่วง 75-230 MPa ความเร็วสูงสุดของลำพุ่งอยู่ที่ประมาณ 255-520 m/s ถ้าในสภาวะความดันบรรยากาศ ความเร็วในระดับนี้จะอยู่ในช่วงที่สูงกว่าความเร็วเสียง (transonic หรือ supersonic) แต่ในกระบอกสูบที่มีความดันและอุณหภูมิสูงกว่าสภาวะบรรยากาศทั่วไป ทำให้ความเร็วระดับดังกล่าวอยู่ต่ำกว่าความเร็วเสียงที่สภาวะกระบอกสูบ (ความเร็วเสียงในกระบอกสูบประมาณ 550 m/s) [3] ปัจจุบันมีนักวิจัยหลายกลุ่มพยายามศึกษาการฉีดเชื้อเพลิงด้วยความเร็วสูงระดับ ความเร็วสูงกว่าเสียงมาก (ระดับ supersonic หรือ hypersonic) [4,5] คุณลักษณะการฉีดถูกทดสอบและศึกษาเป็นระดับแรกๆ เพราะว่าเป็นพื้นฐานสำคัญในการพัฒนาการฉีดเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลแบบ homogeneous

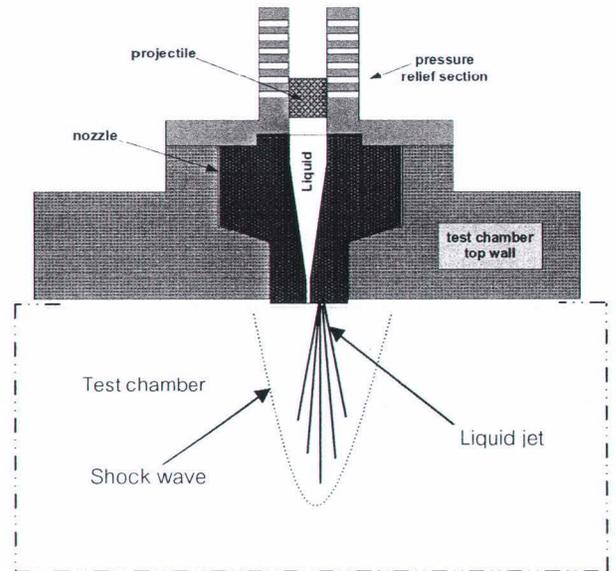
charge compression-ignition (HCCI) เพื่อให้ได้อัตราส่วนของอากาศ-เชื้อเพลิง ที่เหมาะสมอันประโยชน์ต่อการลดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและมลภาวะจากการเผาไหม้

อุปสรรคในการทดลองเพื่อศึกษาการฉีดเชื้อเพลิงด้วยความเร็วสูงคือ การวัดที่ทำได้ยากในทางปฏิบัติและจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ราคาแพง ด้วยเหตุนี้ การคำนวณพลศาสตร์การไหล (Computational Fluid Dynamics, CFD) จึงเป็นเครื่องมือทางเลือกใหม่เพื่อใช้ศึกษาและวิเคราะห์ลำพุงของเชื้อเพลิงในลักษณะต่างๆ ซึ่ง Zakrzewski *et al.* [6] ใช้ CFD โปรแกรม FLUENT ศึกษาคุณลักษณะของลำพุงที่ได้รับอิทธิพลจาก shock เมื่อลำพุงเคลื่อนที่ผ่านอากาศ โดยได้เพิ่มโปรแกรม (User Define Function, UDF) ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการคำนวณใน CFD ให้เพิ่มขึ้น โดยการศึกษาตั้งจำลองการแบ่งสถานะระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงแบบปฏิกิริยาเคมีของ multi-species ที่อัตราส่วนความหนาแน่นแตกต่างกันมากๆ นอกจากการศึกษาของ Zakrzewski *et al.* แล้ว Pianthong *et al.* [7] ได้นำ CFD โปรแกรม Auto Dyn ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับการจำลองการเกิด shock ในวัสดุหรือของไหลศึกษาควบคู่กับการทดลอง โดยเปลี่ยนแปลงชนิดของของไหล ซึ่งพบว่าชนิดของเชื้อเพลิงมีผลกับพฤติกรรมของลำพุงน้อยเมื่อความดันสำหรับฉีดและความเร็วของลำพุงมีค่าสูง แต่อย่างไรก็ตามทั้งสองงานวิจัยยังเป็นการคาดคะเนพฤติกรรมของลำพุงในเบื้องต้นอยู่ ยังไม่ได้ศึกษาคุณลักษณะทางพลศาสตร์ (dynamics characteristics) ของลำพุง เช่น ระยะแหวกอากาศ (penetration distance) และความเร็วเฉลี่ยของลำพุง (average jet velocity) อีกทั้ง ยังมีหลายตัวแปรที่ยังไม่มีการศึกษาและพิจารณา เช่น การเป็นละอองของเชื้อเพลิง (atomization) การกระจายตัวของเม็ดเชื้อเพลิงเหลว (droplet break-up) และ อากาศพลศาสตร์ของเม็ดเชื้อเพลิงเหลว ทั้งนี้มีสาเหตุหลักเนื่องจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในเวลานั้นยังมีประสิทธิภาพต่อย่อย ทำให้เกิดปัญหา การลู่ออกของผลเฉลยและได้คำตอบของปัญหาไม่ถูกต้อง แต่อย่างไรก็ตามโปรแกรม CFD ก็ถูกพัฒนาและศึกษา อย่างต่อเนื่อง ทำให้ CFD ในปัจจุบันสามารถคำนวณปัญหาได้ครอบคลุมปัญหาได้กว้างขวางมากยิ่งขึ้น รวมทั้งกรณีปัญหาการไหลของลำพุงความเร็วสูงผ่านอากาศ ก็เช่นเดียวกัน ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงได้นำเอา CFD โปรแกรม FLUENT เวอร์ชันใหม่ มาใช้ศึกษาปัญหาการฉีดเชื้อเพลิงความเร็วสูง โดยจำลองการฉีดของน้ำมันก๊าด (kerosene) สู่อากาศที่อยู่นิ่ง ซึ่งจะศึกษาและพิจารณา คุณลักษณะทางพลศาสตร์ โดยเปลี่ยนแปลงตามเวลา ในช่วง 350 μsec ที่ความเร็วลำพุงสูงสุด 1300 m/s

2. วิธีการสร้างลำพุงความเร็วสูงและระบบถ่ายภาพ

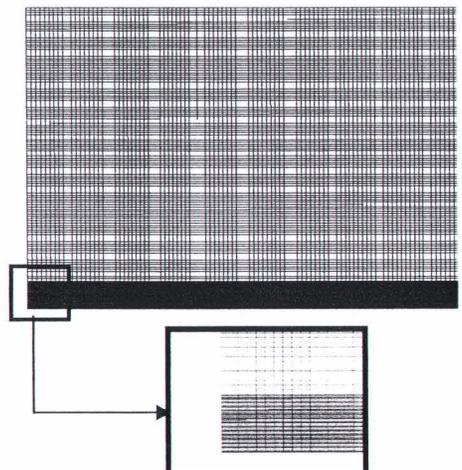
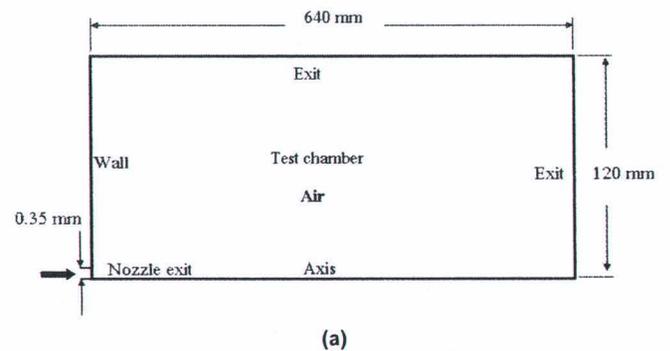
ในการทดลอง ใช้วิธีของ Bowden-Brunton [8] เพื่อสร้างลำพุงที่มีความเร็วสูงดังแสดงในรูปที่ 1 โดยหลักการนี้จะบรรจุเชื้อเพลิงเหลวในหัวฉีด จากนั้นปล่อยลูกปืนด้วยความเร็วสูงกระแทกทำให้ภายในหัวฉีดเกิดความดันสูงระดับ GPa และปล่อยเชื้อเพลิงด้วยความเร็วสูงสุดเหนือเสียงที่ความดันบรรยากาศ ออกสู่ห้องทดสอบ ซึ่งกล้องถ่ายภาพความเร็วสูง (high speed video camera) ที่

สามารถถ่ายภาพได้ 10^6 เฟรมต่อวินาที ถ่ายได้ 103 เฟรม จะบันทึกภาพด้วยเทคนิคการมองภาพแบบซาโดว์กราฟ (shadowgraph optical system) ซึ่งเทคนิคนี้ทำให้เราสามารถมองเห็น shock wave ที่เกิดในอากาศได้ ทั้งนี้เพื่อใช้อธิบายคุณลักษณะเชิงพลศาสตร์ของลำพุงที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาต่างๆ ซึ่งรายละเอียดของชุดทดลองสามารถดูได้จากการศึกษาของ Pianthong's *et al.* [7] และข้อมูลการทดลองของน้ำมันก๊าดเพื่อใช้เปรียบเทียบในการศึกษานี้ ได้จากการศึกษาที่ผ่านมาของ Matthujak, *et al.* [9]



รูปที่ 1 กระบวนการสร้างลำพุงความเร็วสูง

3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ CFD



(b)

รูปที่ 2 (a) รูปร่าง และ (b) ขอบเขตปัญหาของห้องทดสอบ

กรอบและขอบเขตของปัญหาการฉีดเชื้อเพลิงด้วยความเร็วสูงที่เกิดขึ้นในห้องทดสอบแสดงไว้ในรูปที่ 2(a) โดยที่ทางออกของหัวฉีด (nozzle exit) มีเส้นผ่านศูนย์กลางหัวฉีด 7 mm และขนาดห้องทดสอบ กว้าง 24 ซม. และ ยาว 640 ซม. ซึ่งรูปที่ 2 แสดงในมุมมองแบบสมมาตรในแนวแกน จากกรอบปัญหาและขอบเขตดังกล่าว สามารถสร้างรูปร่างแบบจำลองและกริดด้วยโปรแกรม GAMBIT โดยรูปร่างกำหนดเป็นแบบสมมาตรในแนวแกน (axis-symmetry) และสร้างกริดสี่เหลี่ยม quadrilateral จำนวนประมาณ 100,000 โหนด ให้หนาแน่นบริเวณที่คาดว่าจะการผสมระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศจะเกิดขึ้น แสดงดังรูปที่ 2(b) รูปร่างแบบจำลองที่ได้นี้จะนำไปคำนวณด้วยโปรแกรม FLUENT เพื่อทดสอบและศึกษาคุณลักษณะเชิงพลศาสตร์ของลำพุ่งความเร็วสูง โดยการศึกษาจะใช้ น้ำมันก๊าดเป็นเชื้อเพลิงเหลว ทั้งนี้ในการคำนวณกำหนดคุณสมบัติให้เป็นของเหลวที่มีความหนาแน่นคงที่ ขณะที่อากาศกำหนดให้มีคุณสมบัติเป็นก๊าซอุดมคติ (ideal gas) ที่สามารถกดอัดได้ กำหนดคุณสมบัติของของผสมจากสารทั้งสองด้วยแบบจำลองของ Volume of Fluid (VOF) การคำนวณเป็นแบบเปลี่ยนแปลงขึ้นกับเวลา โดยขนาดช่วงเวลาคำนวณ 1 μ s และทำการเก็บข้อมูลทุกๆช่วงเวลาที่ยอมรับได้ การจำลองความปั่นป่วนของการไหลใช้แบบจำลองแบบ realizable k- ϵ ระเบียบคำนวณปัญหาแบบ segregate solver ความเร็วของเชื้อเพลิงที่ทางเข้า (nozzle exit) 1300 m/s

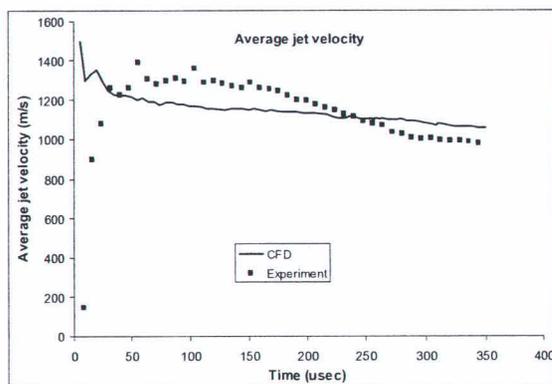
4. ผลการศึกษาและวิเคราะห์

4.1 คุณลักษณะเชิงพลศาสตร์ของลำพุ่งจากน้ำมันก๊าด

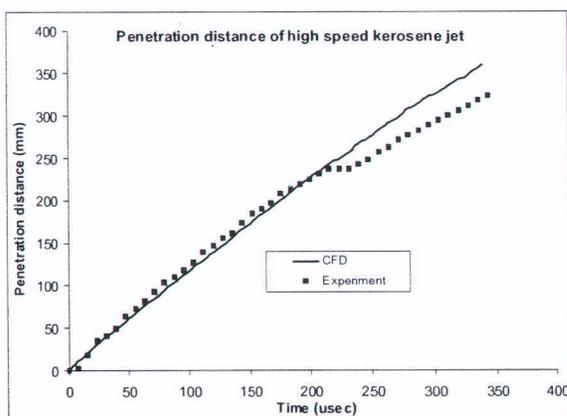
กราฟความเร็วเฉลี่ย ระยะแหวกอากาศ และความเร็วช่วง ณ ช่วงเวลา ต่อเวลาที่ลำพุ่งของน้ำมันก๊าดเคลื่อนที่ไป แสดงในรูปที่ 3,4 และ 5 ตามลำดับ ที่ช่วงเวลาเริ่มต้น (0 -75 μ s) ผลการคำนวณความเร็วเฉลี่ยของลำพุ่งจะลดลงอย่างรวดเร็ว แต่ผลจากการทดลองความเร็วจะเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลที่แตกต่างกัน เนื่องจากความแตกต่างของกระบวนการการสร้างลำพุ่งใน CFD และการทดลอง ในแบบจำลองลำพุ่งถูกกำหนดให้เคลื่อนที่เข้าสู่ขอบเขตปัญหาด้วยความเร็วเริ่มต้นสูงสุด (1300 m/s) แต่ในการทดลองลำพุ่งจะถูกฉีดออกมาด้วยการอัดของลูกปืนทำให้ความเร็วของลำพุ่งเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงความเร็วสูงสุด หลังจากลำพุ่งมีความเร็วสูงสุด ความเร็วเฉลี่ยและความเร็วช่วง ณ ช่วงเวลา จะลดลงอย่างรวดเร็ว

โดยทั่วไปแล้ว ผลจากการทดลองพบว่าลำพุ่งจะอ่อนกำลังและอัตราการแหวกอากาศลดลงหลังจากลำพุ่งเคลื่อนที่ไปได้ 200 μ s เนื่องจากการแยกตัวของหยดของเหลวออกจากลำพุ่ง ประกอบกับการเกิดละอองของเชื้อเพลิงจากการเคลื่อนที่สัมผัสกันระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศ นอกจากนี้แล้ว แรงต้านจากอากาศก็เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ลำพุ่งมีความเร็วลดลงเช่นกัน แต่การคำนวณใน CFD

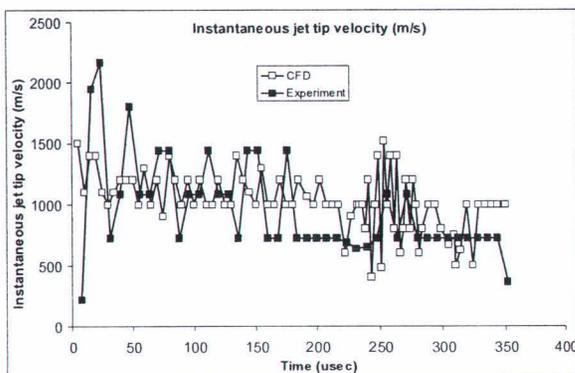
เรากำหนดให้น้ำมันก๊าดความเร็วที่ทางเข้าของขอบเขตมีสูงสุดคงที่และต่อเนื่อง อีกทั้งไม่ได้พิจารณาการเกิดหยดของเหลวและละอองของเชื้อเพลิงทำให้ระยะการแหวกอากาศของลำพุ่งมีค่าคงที่ จากรูปที่ 5 พบว่าผลจากทั้งการทดลอง และ CFD มีค่าความเร็ว ณ ช่วงเวลาที่มีค่าแกว่งกลับไปกลับมา ในช่วงความเร็วสูงสุด (1300 m/s) และเป็นสิ่งที่สังเกตว่าความกว้างของช่วงการแกว่งจากการทดลองมีค่ามากกว่าจาก CFD



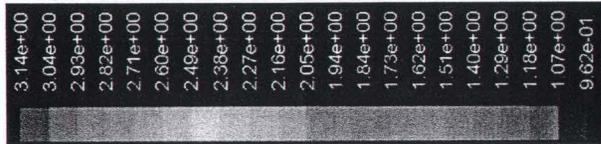
รูปที่ 3 ความเร็วเฉลี่ยของลำพุ่งของน้ำมันก๊าด



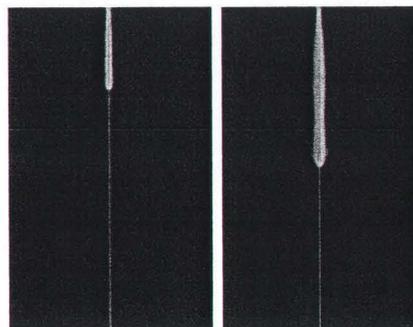
รูปที่ 4 ระยะแหวกอากาศของลำพุ่งของน้ำมันก๊าด



รูปที่ 5 ความเร็วช่วง ณ ช่วงเวลาของลำพุ่งของน้ำมันก๊าด

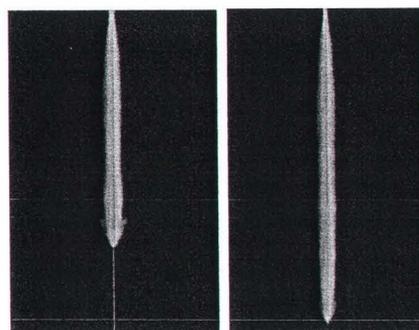


รูปที่ 7 แถบสีความหนาแน่นของอากาศที่ได้จาก CFD โดยเปลี่ยนแปลงตามเวลา



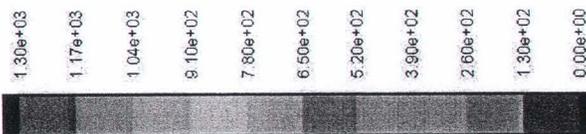
40 μ sec

80 μ sec



120 μ sec

160 μ sec

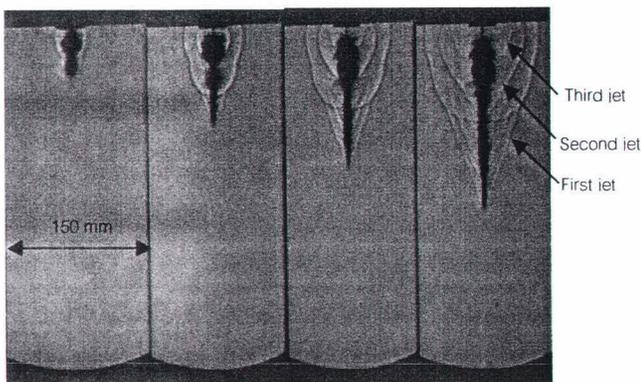


รูปที่ 8 แถบสีความเร็วของลำพุงจาก CFD ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

แถบสีของความเร็วที่แสดงได้จากการคำนวณแสดงในรูปที่ 8 ซึ่งสังเกตเห็นว่าในช่วงเริ่มต้น (0 - 40 μ sec) ความเร็วของส่วนที่เป็นน้ำมันกัดเท่านั้นที่ความเร็วสูงอยู่ แต่หลังจากนั้น ความเร็วของลำพุงจะเริ่มลดลงและอากาศรอบๆจะถูกเหวี่ยงทำให้มีความเร็วเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก การผสมกันและถ่ายเทพลังงานโมเมนตัมระหว่างของเหลวและอากาศ ซึ่งอากาศจะถูกเหวี่ยงมาให้ผสมกับลำพุง การเคลื่อนที่ของอากาศและลักษณะการผสมกันของอากาศกับลำพุงแสดงด้วยเวกเตอร์ตามรูปที่ 9 ซึ่งสามารถเห็นการไหลวนของ

4.2 ลำพุงของน้ำมันกัดความเร็วสูง

ภาพของลำพุงน้ำมันกัดความเร็วสูงที่ได้จากการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 6 ซึ่งสามารถแสดงการเกิด shock อย่างชัดเจนและพบพฤติกรรมของลำพุงที่มีหลายลูก ดังแสดงในรูปที่ 6. ซึ่งผลของ CFD ก็สนับสนุน และแสดงให้เห็นปรากฏการณ์ shock เช่นเดียวกัน เมื่อแสดงความหนาแน่นของอากาศ เราพบการเปลี่ยนแปลงซึ่งเป็นผลจาก shock แสดงดังรูปที่ 7 ทั้งนี้ผลของ CFD ยืนยันการเกิด shock มากกว่าหนึ่งลูกแม้ว่าจะไม่ชัดเจนดังเช่นกับจากการทดลอง เนื่องจากความแตกต่างกันของขบวนการสร้างลำพุงและเงื่อนไขการฉีดในหัวฉีด และเมื่อเปรียบเทียบภาพที่ช่วงเวลาเดียวกันจะเห็นว่ารูปร่างลำพุงมีความใกล้เคียงกัน แต่ระยะแหวกอากาศของแต่ละช่วงเวลา มีความแตกต่างกันอยู่มากซึ่งผลของ CFD ให้ความยาวมากกว่า ณ ช่วงเวลาเดียวกัน



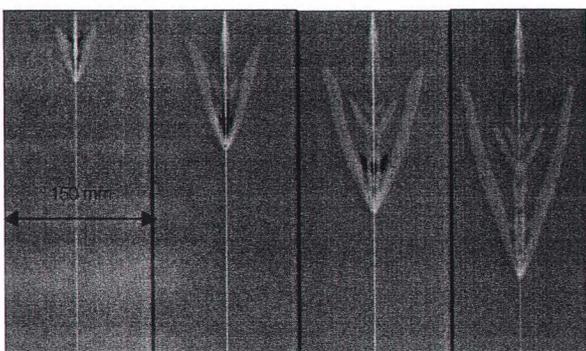
40 μ sec

80 μ sec

120 μ sec

160 μ sec

รูปที่ 6 ภาพลำพุงของน้ำมันกัดจากการทดลองตามเวลาที่เปลี่ยนแปลง



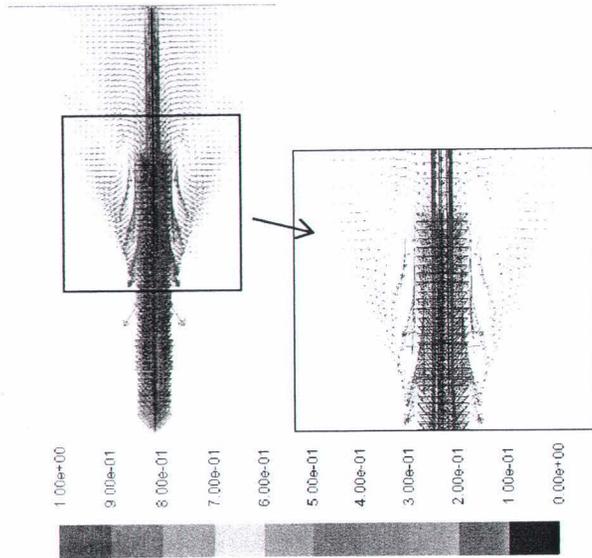
40 μ sec

80 μ sec

120 μ sec

160 μ sec

อากาศที่โคนของลำพ่นและความเร็วของอากาศที่บริเวณดังกล่าวจะสูงกว่าอากาศที่บริเวณอื่น



รูปที่ 9 เวกเตอร์ความเร็วกับแถบสีอัตราส่วนเชิงปริมาตรของอากาศ
ที่เวลา 20 μsec

5. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้เราได้เริ่มต้นศึกษาลำพ่นของน้ำมันก๊าดความเร็วสูงด้วยการคำนวณพลศาสตร์การไหลหรือ CFD ที่สภาวะความเร็วเริ่มต้นของลำพ่น 1300 m/s ได้เป็นผลสำเร็จ ซึ่งเป็นความก้าวหน้าที่สามารถคำนวณการไหลของของไหลแบบก๊าดอัดได้ที่มีความเร็วสูงและมีของไหลมากกว่าหนึ่งชนิด เราได้วิเคราะห์คุณลักษณะพื้นฐานของลำพ่นโดยเปรียบเทียบกันระหว่างการทดลองและ CFD พบว่าผลของทั้งสองวิธีสอดคล้องกัน ถึงแม้ว่ากระบวนการสร้างลำพ่นจะแตกต่างกัน ซึ่งเหตุดังกล่าวทำให้ผลบางประการไม่สอดคล้องกัน ดังนั้นเพื่อทำให้ผลของ CFD มีค่าที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้นจึงจำเป็นต้องพัฒนาแบบจำลองที่สามารถสร้างลำพ่นให้ใกล้เคียงกับการทดลอง นอกจากนี้แล้วการศึกษาในระดับต่อไปควรพิจารณาผลของการเกิดและกระจายตัวของหยดละอองจากเชื้อเพลิงเหลวด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้การสนับสนุนด้านเงินทุนวิจัยในการศึกษาครั้งนี้ อีกทั้งกลุ่มร่วมวิจัยจากสถาบัน Interdisciplinary Shock Wave Research Laboratory (ISWRL), Institute of Fluid Science, Tohoku University, Japan มา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Nishida, K., Ochiai, H., Arai, M., Hiroyasu, H., 1997. Characterization of Diesel Fuel Spray by Ultrahigh-Pressure Injection. Transaction of Japanese Society of Mechanical Engineering, series B 63 (605). pp. 344 -349.
- [2] Hiroyasu, H., 1995. Fundamental Spray Combustion Mechanism and Structure of Fuel Sprays in Diesel Engine. Begell House, New York.
- [3] Milton, B.E., and Pianthong, K., 2005. Pulsed, Supersonic Fuel Jet – A Review of Their Characteristics and Potential for Fuel Injection. International Journal of Heat and Fluid Flow, Vol. 25, pp. 656-671.
- [4] Shi H.H., 1994. Study of Hypersonic Liquid Jet. PhD Thesis, Tohoku University, Sendai, Japan.
- [5] Pianthong, K., 2002. Supersonic Liquid Diesel Fuel Jets: Generation, Shock Wave Characteristics, Auto-Ignition Feasibilities. University of New South Wales, Sydney, Australia.
- [6] Zakrzewski, S., Milton, B.E., Pianthong, K., and Behnia, M., 2004. Supersonic Liquid Fuel Jet Injected Into Quiescent Air. International Journal of Heat and Fluid Flow, Vol. 25, pp. 833-840.
- [7] Pianthong, K., Mutthujak, A., Takayama, K., Saito., and Milton, B. 2006. Visualization of Supersonic Liquid Fuel Jets. Journal of Flow Visualization and Image Processing, Vol. 30, pp. 217-242.
- [8] Bowden, F.P., and Brunton, J.H., 1958. Damage to Solids by Liquid Impact at Supersonic Speed. Nature, Vol. 213, pp. 23-25.
- [9] Matthujak, A., Hosseini, S.H.R., Takayama, K., Sun, M., and Voinovich, P., 2007. High Speed Jet Formation by Impact Acceleration Method. Shock Waves Journal (i



การเปรียบเทียบชุดทดลองสำหรับการศึกษาการกระแทกความเร็วสูง Calibration of High Speed Impact Test Rig

วุฒิชัย สิทธิวงษ์¹ วิระพันธ์ สีหานาม^{1*} กุลเชษฐ เพียรทอง¹ อนิรุตต์ มัทธจักร¹ และ Eric Yeo²

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190

²บริษัท Hi-Tech Resources ประจำประเทศไทย ถนนสุขุมวิท 21 แขวงคลองเตยเหนือ กรุงเทพฯ 10110

โทร 0-433-53380 โทรสาร 0-433-53333 อีเมล: wirapan_seehanam@yahoo.com

บทคัดย่อ

การศึกษาคุณลักษณะของลำพุ่งความเร็วสูง มีคุณประโยชน์ต่อการพัฒนาเทคโนโลยีการเผาไหม้ การตัด การเจาะ หรือแม้แต่ในทางการแพทย์ แต่การสร้างลำพุ่งที่มีความเร็วระดับเหนือเสียงเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการศึกษาทดลอง ทำให้การวิจัยค้นคว้าในเรื่องดังกล่าวมีน้อยมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศไทย ด้วยเหตุนี้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จึงได้สร้างชุดทดลองที่สามารถสร้างลำพุ่งของของเหลวที่มีความเร็วกว่าความเร็วเสียงในอากาศ โดยใช้หลักการ "ขับลำพุ่งด้วยการกระแทก (impact driven method)" โดยยิงลูกปืนกระแทกของเหลวที่บรรจุในหัวฉีด ชุดทดลองมีองค์ประกอบหลัก 4 ส่วน ได้แก่ ชุดปล่อยลูกปืน (launcher) ท่อส่งลูกปืน (launch tube) ท่อระบายความดัน (pressure relief section) และห้องทดสอบ (test chamber) ซึ่งชุดทดลองนี้สามารถสร้างความเร็วลูกปืนได้สูงกว่า 800 m/s และให้กำเนิดลำพุ่งของเหลวที่มีความเร็วระดับเหนือเสียง แต่อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์ดังกล่าวจำเป็นต้องทำการเปรียบเทียบการทดลอง สำหรับรองรับการศึกษาการกระแทกความเร็วสูงในระดับต่อไป ดังนั้น งานวิจัยนี้ จึงได้เสนอการศึกษาความเร็วสูงสุดที่ลูกปืนและลำพุ่งของเหลวที่ชุดทดลองนี้สามารถทำได้ ปริมาณดินปืนกับความเร็วของลูกปืน โดยวัดความเร็วด้วยการจับสัญญาณของชุดรับส่งแสงเลเซอร์ (time of flight method) เพื่อเป็นการตรวจสอบช่วงการทำงานของชุดทดลอง ซึ่งความเร็วสูงสุดของลูกปืนมีค่าประมาณ 1,100 m/s จากข้อมูลการทดลองระหว่างความเร็วลูกปืนกับปริมาณดินปืนสามารถสร้างสมการประมาณกำลังสอง เพื่อใช้ในการศึกษาในระดับต่อไป ความเร็วของลูกปืนนอกจากจะขึ้นกับปริมาณดินปืนแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น การเผาไหม้ของดินปืน ลักษณะการเคลื่อนที่ของลูกปืน และความสะอาดของชุดอุปกรณ์การทดลอง

Abstract

Investigations of high speed liquid jet characteristics benefit to many technology developments such as

combustion, material cutting, drilling, or even medical engineering. Generation of high speed liquid jet which has velocity over speed of sound is the barrier against the researcher from its study and development, resulting very few researches in these areas especially in Thailand. Therefore, high speed liquid jet test rig is constructed in the Department of Mechanical Engineering, Ubon Ratchatani University. The impact driving method is used for generating the liquid jet because the high velocity projectile will produce the impulsive liquid jet. There are four main components in this test rig; launcher, launch tube, pressure relief section and test chamber. In general, the launcher can generate the projectiles at velocity above 800 m/s averagely. Therefore, the liquid jet velocity from the projectile impact could be over the speed of sound. However calibration of the high speed impact test rig is necessary before experiments. This paper presents the maximum speed of projectile and liquid jet which apparatus can produce. In addition, relationship between the gun powder mass and projectile velocity was determined. The projectile velocity is measured by time of flight method and maximum velocity is 1100 m/s. Experimental data are plotted and fitted by the second order of polynomial curve. However, the uncertainty of projectile velocity is sometimes affected by many factors such as combustion in launcher, behavior of projectile movement and condition of apparatus, especially inside of the tube.

1. คำนำ

ลำพุ่งของเหลวความเร็วสูงถูกนำมาประยุกต์ใช้กับงานหลายประเภทในปัจจุบัน ได้แก่ อุตสาหกรรมขึ้นรูปวัสดุ การเผา

ใหม่ของเครื่องยนต์ หรือแม้แต่ในทางการแพทย์ ซึ่งแต่ละประเภทการใช้งานต้องการคุณลักษณะของลำพุ่งแตกต่างกันออกไป เช่น

การเจาะหรือการตัดวัสดุหิน ความดันสร้างลำพุ่งจะอยู่ในช่วง 50 – 500 MPa โดยมีความเร็ว 300 – 1,000 m/s [1 และ 2]

เทคโนโลยีการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ ประสิทธิภาพจะขึ้นอยู่กับความเร็วของการฉีดน้ำมัน เชื่อว่าหากสามารถฉีดน้ำมันด้วยความเร็วสูงมากๆ ได้ ประสิทธิภาพการเผาไหม้ยิ่งดีและเป็นการลดมลภาวะจากการเผาไหม้ด้วย [3]

ทางการแพทย์ ยังนำเทคโนโลยีลำพุ่งของเหลวถูกศึกษาและพัฒนาเพื่อนำส่งยาเข้าสู่ร่างกายแทนเข็ม พบว่าความเร็วและความดันน้อยสุดในการเจาะผิวหนัง ประมาณ 150 m/s และ 140 MPa ตามลำดับ [4 และ 5] ซึ่งความเร็วของลำพุ่งจะต้องมากขึ้นตามเป้าหมายในการฉีด

นอกจากการประยุกต์ใช้งานดังที่กล่าวไว้ ลำพุ่งความเร็วสูงยังถูกไปใช้กับ อุตสาหกรรมเจาะน้ำมัน เจาะอุโมงค์ หรือแม้แต่การฉีดพ่นต่างๆด้วยเช่นกัน

จะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีของลำพุ่งความเร็วสูงมีบทบาทต่อการพัฒนาในงานหลายประเภท ดังที่กล่าวไว้ ดังนั้นความเข้าใจคุณลักษณะของลำพุ่ง จึงมีความสำคัญ และนอกจากนั้นแล้ว การเพิ่มความเร็วลำพุ่งให้สูงขึ้นมีความสำคัญต่อการพัฒนาเทคโนโลยีเหล่านั้นอยากหลีกเลี่ยงไม่ได้

การศึกษาเพื่อเพิ่มความเร็วของลำพุ่งให้สูงกว่าความเร็วเสียง (ระดับ supersonic หรือ hypersonic) F. P. Bowden และ J. H. Brunton [6] การศึกษาการกระแทกบนวัสดุของลำพุ่งความเร็วสูงซึ่งใช้หลักการ “ขับลำพุ่งด้วยการกระแทก (impact driven method)” โดยลำพุ่งที่ได้มีความเร็วสูงถึง 1200 m/s จากนั้น ด้วยหลักการเดียวกัน K. Pianthong และคณะ [7-10] ศึกษาการฉีดเชื้อเพลิงที่ความเร็ว 1500 – 2,500 m/s เพื่อศึกษาคุณลักษณะของลำพุ่งกับการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากลำพุ่งความเร็วสูงถูกนำไปประยุกต์ใช้กับงานหลายประเภท จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาคุณลักษณะที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ในด้านอื่นๆ ด้วย

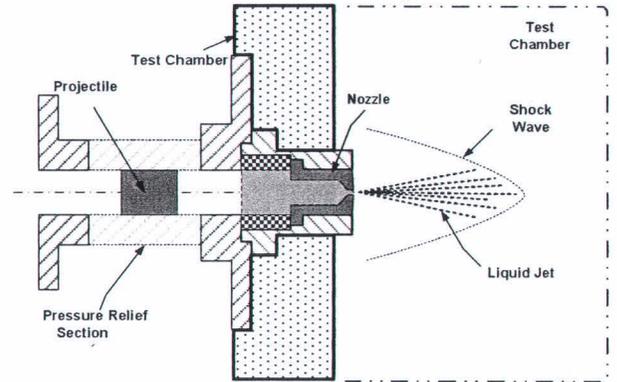
ด้วยเหตุนี้ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จึงได้ทำการสร้างชุดทดลอง เพื่อสร้างลำพุ่งของเหลวความเร็วสูง จากการอาศัยหลักการ ขับลำพุ่งด้วยการกระแทก ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวจำเป็นต้องทำการปรับเทียบ ก่อนนำไปใช้ทดสอบ ดังนั้นการศึกษานี้จึงได้ทำการปรับเทียบอุปกรณ์การทดลอง การฉีดลำพุ่งด้วยความเร็วสูง เพื่อเก็บข้อมูลเป็นพื้นฐานสำหรับอุปกรณ์การทดลอง โดยเปรียบเทียบความเร็วของลูกปืนกับดินปืน สำหรับการกำหนดความเร็วลูกปืนในการศึกษาลำพุ่งของเหลวในลำดับต่อไป

2. การทดลอง

2.1 หลักการขับลำพุ่งด้วยการกระแทก (impact driven method)

หลักการการขับลำพุ่งด้วยการกระแทกถูกใช้เป็นครั้งแรกโดย Bowden and Brunton [6] เพื่อสร้างลำพุ่งที่มีความเร็วสูง (ดัง

แสดงในรูปที่ 1) โดยหลักการนี้จะบรรจุของเหลวในหัวฉีด จากนั้นปล่อยลูกปืนด้วยความเร็วสูง กระแทกของเหลวภายในหัวฉีดให้เกิดความดันระดับ GPa และหัวฉีดจะปล่อยของเหลวออกมาด้วยความเร็วเหนือเสียงที่ความดันบรรยากาศเข้าสู่ห้องทดสอบ



รูปที่ 1 การขับลำพุ่งด้วยการกระแทก (impact driven method)

2.2 อุปกรณ์ฉีดลำพุ่งด้วยความเร็วสูง

ชุดทดลองนี้มีส่วนประกอบหลัก 4 ส่วน ได้แก่ ชุดปล่อยลูกปืน (launcher) ท่อส่งลูกปืน (launch tube) ท่อระบายความดัน (pressure relief section) และห้องทดสอบ (test chamber) ดังแสดงในรูปที่ 2

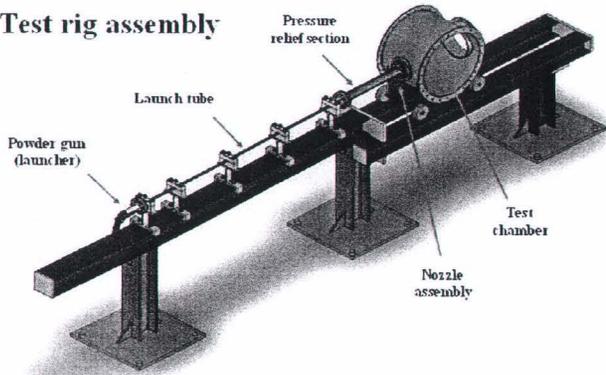
ชุดปล่อยลูกปืนทำหน้าที่เป็นตัวขับ จากการจุดระเบิดของดินปืน ในห้องเผาไหม้ และขับลูกปืนที่ทำจาก high density Polyethylene (HDPE) หนัก 0.88 g ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.1 mm ยาว 15 mm สำหรับระบบการจุดระเบิด ดินปืนจะบรรจุในท่อบรรจุ (รูปที่ 3a) และลูกปืนจะอัดบนหัวท่อบรรจุ (รูปที่ 3b) ซึ่งทั้งหมดแสดงดังรูปที่ 3 ในช่วงแรกเมื่อ จุดชนวนด้วยเข็มแทงชนวนทั่วไป พบว่าการจุดระเบิดดินปืนไม่แน่นอน เนื่องจากแรงกดของเข็มแทงชนวนไม่พอ จึงได้ทำการปรับปรุงระบบการจุดระเบิดใหม่โดยใช้หลักการของปืนปากกา ที่ใช้แรงอัดจากสปริง ดันให้เข็มแทงชนวน ซึ่งพบว่าให้ประสิทธิภาพมากกว่าแบบจุดด้วยเข็มแทงชนวนทั่วไป ที่ปากทางออกของชุดปล่อยลูกปืนจะต่อกับท่อส่งลูกปืนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 mm ยาว 1,500 mm สำหรับการปล่อยให้ลูกปืนเพิ่มความเร็วของลูกปืน ก่อนจะไปยังท่อระบายความดัน

หน้าของท่อระบายความดันจะทำการระบายอากาศด้านหน้า ลูกปืนที่ถูกอัดในท่อส่งออกสู่บรรยากาศ เพื่อป้องกันอากาศกระแทกบนหัวฉีดก่อนลูกปืน ท่อระบายความดันมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 mm ฝาล่อง 4 ด้าน ขนาดกว้าง 4 mm ยาว 400 mm ปลายท่อต่อกับชุดประกอบหัวฉีด ซึ่งอยู่ระหว่างท่อระบายความดันกับห้องทดสอบ

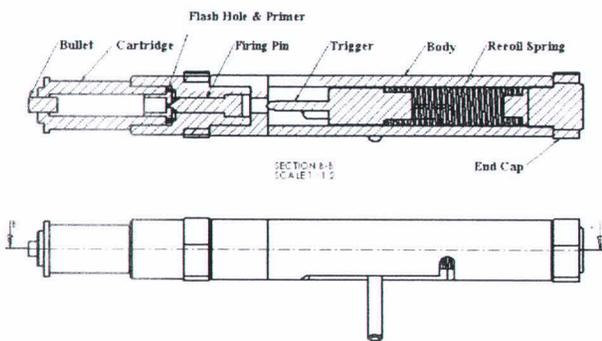
ห้องทดสอบมีลักษณะเป็นทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 400 mm ด้านข้างทั้งสองประกบติดด้วยวัสดุใสทำจาก polymethyl methacrylate (PMMA) ด้านหลังห้องทดสอบต่อกับถังรับลูกปืนซึ่งจะทำหน้าที่คอยรับลูกปืนที่ถูกยิงออกมา ห้องทดสอบนี้ถูก

ออกแบบให้สามารถปรับความดันภายในได้ เพื่อรองรับการทดลองในขั้นต่อไป นอกจากนี้แล้วการวัดความเร็วของลูกปืนและลำฟุ้งจะติดตั้งอุปกรณ์วัดไว้ในส่วนนี้ด้วย

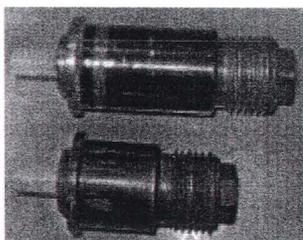
Test rig assembly



รูปที่ 2 ชุดอุปกรณ์กำเนิดลำฟุ้งความเร็วสูง



a) ชุดจุดระเบิดด้วยปืนปากกา



b) ทอบรรจุดินปืนกับลูกปืน

รูปที่ 3 ระบบจุดระเบิดแบบปืนปากกาในชุดปล่อยลูกปืน

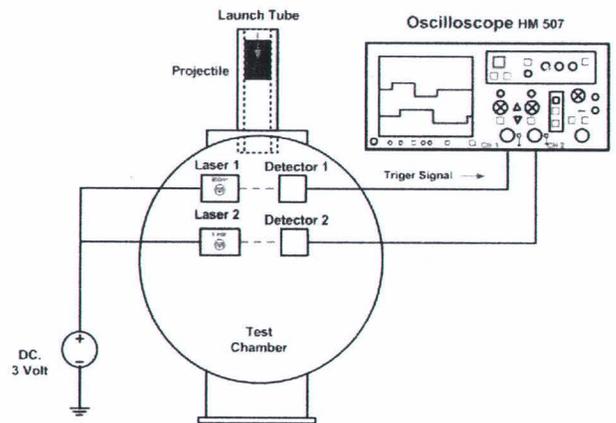
2.3 การวัดความเร็วของลูกปืนและลำฟุ้งของเหลว

การวัดความเร็วของลูกปืนและลำฟุ้งของเหลวใช้หลักการ "การตัดเลเซอร์ของวัตถุ (laser beam interrupt method)" หรือ "time of flight method" ติดตั้งตัวกำเนิดเลเซอร์และตัวรับแสง เลเซอร์มีกำลัง 5 mW ความยาวคลื่นประมาณ 850 nm วางตัวกำเนิดห่างจากผนังด้านชุดประกอบหัวฉีด 12 mm และห่างกัน 33 mm ภายในห้องทดสอบ ตัวรับแสงจะต่อสัญญาณเข้ากับ oscilloscope เพื่ออ่านสัญญาณไฟฟ้าจากตัวรับแสงและแสดงบนหน้าจอ ดังไดอะแกรมรูปที่ 4

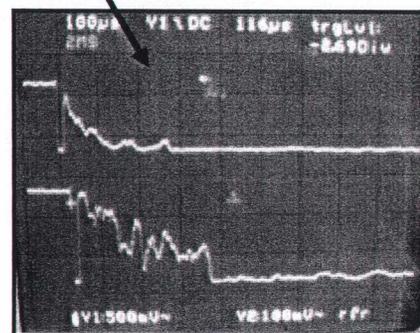
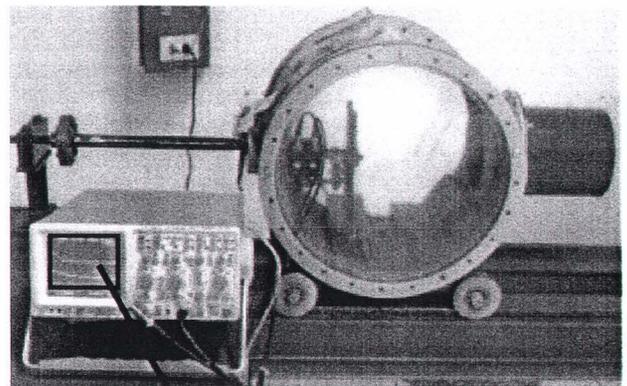
การวัดความเร็วของลูกปืนนั้นจะวัดจากเวลาที่ลูกปืนใช้ในการวิ่งตัดเลเซอร์ตัวที่หนึ่งกับเลเซอร์ตัวที่สอง แล้วจึงแปลงมาเป็นความเร็วเฉลี่ยของลูกปืนดังสมการ

$$v_p = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

โดยที่ Δx คือระยะห่างระหว่างเลเซอร์ทั้งสองเท่ากับ 33 mm และ Δt ได้จากผลที่แสดงใน oscilloscope ของเส้นสัญญาณจากตัวรับแสงเลเซอร์ทั้งสอง ซึ่งแสดงผลดังรูปที่ 5



รูปที่ 4 ไดอะแกรมวงจรของการวัดความเร็วของลูกปืน



รูปที่ 5 ระบบวัดความเร็วแสงด้วยแสงเลเซอร์และความเข้มแสงที่ตกไปเมื่อวัตถุวิ่งผ่าน

นอกจากนี้ยังได้ถ่ายภาพการเคลื่อนที่ของลูกปืนด้วยกล้องถ่ายภาพความเร็วสูง (High speed video camera) ของบริษัท Photron รุ่น FASTCAM SA3 ซึ่งสามารถถ่ายภาพด้วย

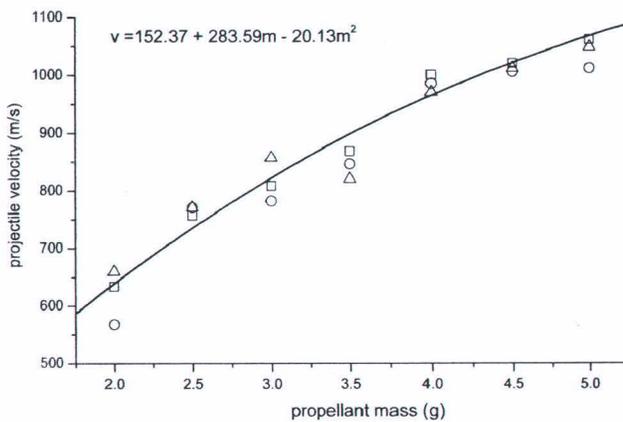
ความเร็วได้สูงถึง 60,000 fps เพื่อศึกษาพฤติกรรมและวัดความเร็วของลูกปืนและลำฟุ้งขณะเคลื่อนที่ในห้องทดสอบ

ในการศึกษานี้ไม่สามารถระบุได้เนื่องจากข้อจำกัดของความกว้างของห้องทดสอบและเครื่องมือวัด

3. ผลการศึกษา

3.1 ปริมาณดินปืนกับความเร็วของลูกปืน

เมื่อทำการเก็บข้อมูล โดยวัดความเร็วของลูกปืนที่เปลี่ยนไป กับน้ำหนักของดินปืนที่เติมแต่ละครั้งในการยิง พบว่า ดินปืนจะสามารถทำการขับเคลื่อนลูกปืนได้ต้องใช้ ดินปืนปริมาณ 2 กรัม ขึ้นไป หากน้อยกว่านั้น ไม่สามารถขับเคลื่อนลูกปืนได้ ทั้งนี้ท่อยบรรจุดินปืนสามารถบรรจุดินปืนได้สูงสุด 5 กรัม ในช่วงที่ทำการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 6 พบว่าเมื่อดินปืนมีปริมาณเพิ่มขึ้นความเร็วของลูกปืนก็จะเพิ่มขึ้นด้วย แต่อย่างไรก็ตามมีข้อสังเกตว่า ที่ช่วง 4 – 5 กรัมความเร็วของลูกปืนเริ่มมีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ช่วง 950 – 1050 m/s

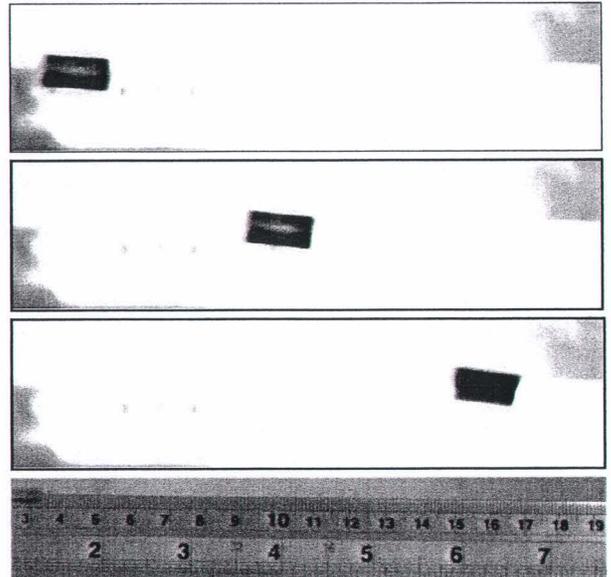


รูปที่ 6 ผลของปริมาณดินปืนที่มีต่อความเร็วของลูกปืน

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณดินปืนกับความเร็วลูกปืน ที่ได้จากการทดลองสามารถนำข้อมูลมาสร้างสมการประมาณการ ได้ดังแสดงไว้ในรูปที่ 6 สมการนี้สามารถนำมาคำนวณหาความเร็วของลูกปืนจากปริมาณดินปืนที่ใช้และเป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้ศึกษาในระดับต่อไป

3.2 การเคลื่อนที่ของลูกปืน

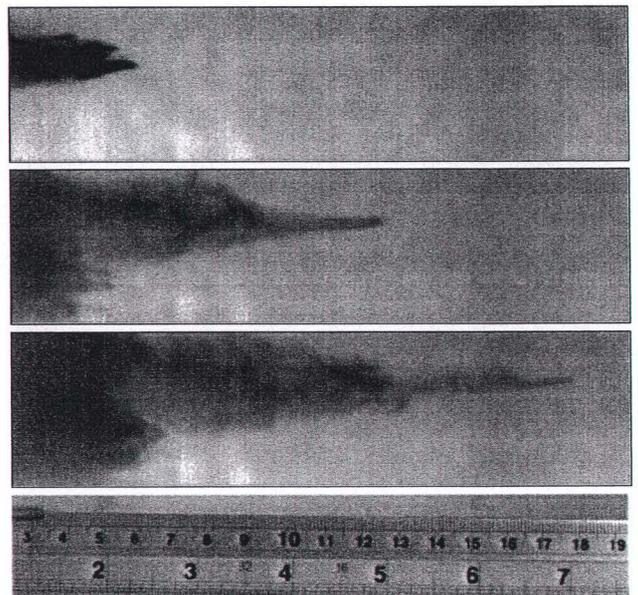
เมื่อทำการถ่ายภาพด้วยกล้องความเร็วสูง ที่ความเร็ว 15,000 fps พบการเคลื่อนที่ของลูกปืนดังแสดงในรูปที่ 7 จากรูปสามารถวัดความเร็วของลูกปืน โดยเวลาของแต่ละภาพใช้ห่างกัน 66.7 micro-sec ระยะห่างของลูกปืนวัดได้ตามภาพโดยเทียบกับความยาวไม้บรรทัด ที่ติดตั้งก่อนทำการถ่ายภาพ ซึ่งจากรูปทำการคำนวณพบว่าความเร็วเฉลี่ยของลูกปืนประมาณ 833 m/s ทั้งนี้ความเร็วลูกปืนในช่วงรูปแรกกับรูปสอง มีค่าน้อยกว่าความเร็วในช่วงรูปสองกับรูปสาม นั้นหมายความว่า ลูกปืนยังเร่งความเร็วได้ไม่สูงสุด จากปลายกระบอกปืนแต่จะยังมีความเร็วเพิ่มขึ้นอีกซึ่ง



รูปที่ 7 ภาพถ่ายการเคลื่อนที่ของลูกปืน จากกล้องถ่ายภาพความเร็วสูง 66.67 micro-sec ต่อภาพ, ดินปืนชนิดดินดำ,หนัก 3 กรัม

3.3 การเคลื่อนที่ของลำฟุ้ง

เมื่อทำการถ่ายภาพลำฟุ้งด้วยกล้องความเร็วสูงที่ 20,000 fps ได้ผลแสดงดังรูปที่ 8 โดยใช้ลูกปืนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.1 mm ยาว 15 mm หนัก 0.88 กรัม กระแทกบนหัวฉีดแบบรูเดี่ยว มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 mm ของเครื่องยนต์ดีเซล พบว่าความเร็วเฉลี่ยของลำฟุ้งประมาณ 1,350 m/s จากความเร็วลูกปืนที่วัดได้ในตอนต้น 833 m/s



รูปที่ 8 การเคลื่อนที่ของลำฟุ้งหลังจากการกระแทกของลูกปืน

4. อภิปรายผลการศึกษา

การทดสอบเบื้องต้นของเครื่องมือสร้างลำพุ่งความเร็วสูง เพื่อทำการเปรียบเทียบข้อมูลสำหรับความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลูกปืนกับปริมาณดินปืน ให้ผลตามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ผ่านมาตามรูปที่ 6 แต่อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าชุดข้อมูลนี้ ยังกระจายและเบี่ยงเบนอยู่ ปัจจัยที่ทำให้การยิงลูกปืนแต่ละครั้งที่ดินปืนปริมาณเท่ากันแต่ให้ความเร็วคลาดเคลื่อนกัน ได้แก่ การเผาไหม้ของดินปืนไม่ไปอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งขึ้นอยู่กับห้องเผาไหม้หรือท่อบรรจุดินปืน ชนิดและคุณภาพของดินปืน ความสะอาดของอุปกรณ์การทดสอบโดยเฉพาะในท่อส่งลูกปืน และห้องเผาไหม้ ก็มีผลเช่นเดียวกัน เพราะเศษวัสดุ หรือฝุ่นในท่อที่ลูกปืนเคลื่อนที่มีผลเพิ่มแรงเสียดทานได้เช่นกัน

นอกจากนี้แล้วจากภาพถ่ายความเร็วสูง เห็นได้ว่าการเคลื่อนที่ออกมาในห้องทดสอบของลูกปืนจะไม่ขนานกับแนวระนาบ และไม่เหมือนกันในการทดสอบแต่ละครั้ง ทำให้แรงดันจากอากาศต่อการเคลื่อนที่มีค่าไม่เท่ากัน ความเร็วของลูกปืนที่วัดได้จึงไม่เท่ากันด้วย แต่อย่างไรก็ตามพฤติกรรม การเคลื่อนที่ของลูกปืนในห้องทดสอบไม่มีผลต่อการศึกษาลำพุ่งของของเหลว เพราะว่าลูกปืนจะหยุดที่ชุดประกอบหัวฉีด หลังจากการฉีดลำพุ่งของเหลว

ปัจจัยที่มีผลต่อความเร็วลูกปืนเหล่านี้ยังจำเป็นต้องทำการศึกษาเพื่อพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพของชุดทดลองให้ดียิ่งขึ้น

5. สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้แสดงชุดทดสอบสำหรับกำเนิดลำพุ่งความเร็วสูง พร้อมเครื่องมือวัดความเร็วลูกปืนและลำพุ่ง ทำการเปรียบเทียบอุปกรณ์ โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างดินปืนและความเร็วของลูกปืน พร้อมทั้งเสนอสมการประมาณความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองเพื่อเป็นข้อมูลในการศึกษาในระดับต่อไป

จากการศึกษานี้พบว่าความเร็วของลูกปืนที่ได้จากการวัดแต่ละครั้งมีค่าไม่เท่ากันทุกครั้ง เนื่องจาก การเผาไหม้ไม่สม่ำเสมอ ลักษณะการเคลื่อนที่ของลูกปืนไม่แน่นอน และความสะอาดของอุปกรณ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ภายในท่อส่งลูกปืน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

เอกสารอ้างอิง

1. Leach, S. J., Walker, G. L., Smith, A. V., Farmer, I. W

and Geoffrey Taylor, 1966. Some Aspects of Rock Cutting by High Speed Water Jets. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, Vol. 260, No. 1110, pp 295 – 310.

- Harris, H. D. and Malcolm Mellor. Cutting Rock with Water Jets. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 11, pp. 343 – 358.
- Milton, B.E. and Pianthong, K., 2005. Pulsed, Supersonic Fuel Jet – A Review of Their Characteristics and Potential for Fuel Injection. International Journal of Heat and Fluid Flow, Vol. 25, pp. 656-671.
- Shergold, O. A., Fleck, N. A., and King, T. S., 2006. The penetration of a soft solid by a liquid jet, with application to the administration of a needle-free injection. Journal of Biomechanics Vol. 39, pp. 2593–2602.
- Baxter, J. and Mitragotri, S., 2004. Needle-free jet injections: dependence of jet penetration and dispersion in the skin on jet power. Journal of controlled release. Vol. 97, pp. 517-535.
- Bowden, F. P. and Brunton J. H. 1961. The Deformation of Solids by Liquid Impact at Supersonic Speeds. Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, Vol. 263, No. 1315, pp. 433-450.
- Pianthong., K. Zakrzewski, S. Behnia., M. and Milton., B.E. 2003. Characteristics of impact driven supersonic liquid jets. Experimental Thermal and Fluid Science, vol. 27 (5), pp. 589-598.
- Pianthong, K., Takayama, K., Milton, B.E. and Behnia, M. 2005. Multiple pulsed hypersonic liquid diesel fuel jets driven by projectile impact, Shock Waves Journal, Vol. 14, pp. 73 -82.
- Pianthong, K., Matthujak, A., Takayama, K., Milton, B.E. and Behnia, M. 2006. Fundamental studies on effects of nozzle geometries and fuel properties on the characteristics of supersonic fuel jets. Shock Waves Journal.
- วิระพันธ์ สีหนาม วุฒิชัย สิทธิวงษ์ กุลเชษฐ์ เพียรทอง และ อนิรุตต์ มัทธจักร, การจำลองคุณลักษณะเบื้องต้นของลำพุ่งเชื้อเพลิงความเร็วสูง, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21 17-19 ตุลาคม 2550 จังหวัดชลบุรี

ความดันกระแทกของลำพุ่งความเร็วสูง Impact pressure of high-speed water jets

วุฒิชัย สิทธิวงษ์*, วิระพันธ์ สีหานาม, กุลเชษฐ์ เพียรทอง และ อนิรุตต์ มัทธูจักร

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190
อีเมล: sittiwong@hotmail.com โทร 0-433-53380 โทรสาร 0-433-53333

บทคัดย่อ

การศึกษาลำพุ่งของไหลความเร็วสูง (High-Speed Liquid Jet) และหยดน้ำที่พุ่งชนผิววัสดุมีความสำคัญในงานอุตสาหกรรมหลายด้าน เช่น การตัดด้วยลำพุ่ง การทำความสะอาดผิววัสดุ การฉีดเชื้อเพลิงและการเผาไหม้ เป็นต้น การกระแทกจากของไหลความเร็วสูงสามารถทำให้เกิดความเสียหายหรือการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวรในโครงสร้างของวัสดุได้ ดังเช่นการเกิดความเสียหายของเครื่องบินที่บินด้วยความเร็วสูงในเวลาที่ไม่คาดคิด ซึ่งเป็นการกัดเซาะจากน้ำฝน การกัดเซาะจากน้ำฝน หรือ "Rain erosion" เป็นปัญหาที่มาของการวิจัยในด้านการพุ่งด้วยความเร็วสูง

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อเปรียบเทียบและวัดแรงกระแทก (Impact pressure) ลำพุ่งของน้ำความเร็วสูงที่ระดับความเร็วเหนือเสียง โดยลำพุ่งความเร็วสูงจะใช้วิธีกำเนิดขึ้นด้วยการส่งถ่ายโมเมนตัมของลูกกระสุนปืน (projectile) ที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงเข้ากระแทกน้ำที่บรรจุอยู่ในชุดหัวฉีด ความเร็วของลำพุ่งที่ใช้ในการทดลองจะมีความเร็วอยู่ในช่วง 1,240 – 2,290 เมตรต่อวินาที โดยกำเนิดจากเครื่องมือทดลองที่สร้างขึ้นจากหลักการทำงานของปืนที่ขับเคลื่อนด้วยดินปืนซึ่งจะถูกเรียกว่า "Horizontal Single Stage Powder Gun (HSSPG)" กับหัวฉีด 3 แบบ ที่มีขนาดรูฉีด 0.7 มิลลิเมตร แต่มีรูปทรงภายในแตกต่างกัน ลำพุ่งความเร็วสูงของน้ำจะพุ่งเข้ากระแทกแผ่นอะคริลิกแล้ววัดแรงกระแทกของลำพุ่งโดยใช้เปียโซอิเล็กทริกฟิล์ม (Piezoelectric polyvinylidene fluoride (PVDF) film) จากผลการทดลองพบว่า ความดันกระแทกมีค่าสูงสุดประมาณ 3.4 GPa ที่ระยะ 3 เซนติเมตรจากปลายหัวฉีด

คำหลัก: ลำพุ่งความเร็วสูง, ความดันกระแทก, เปียโซอิเล็กทริกฟิล์ม.

Abstract

The study of high-speed liquid jet and its droplets striking on the solid surface has important application in many industrial areas, such as jet cutting technology, jet cleaning, fuel injection, and combustion. High speed liquid impact can cause damage or permanently deform of structure materials. Such damage can occur on the surface of aircraft during high-speed flight in the rain. This “rain erosion” problem began to attract researchers in the filed of impact engineering.

This study focuses on an experiment of the calibration and measurement of an impact pressure of high-speed water jets. The high-speed water jets were generated by using the momentum exchange from the impact of a high velocity projectile on liquid package contained in the nozzle. Water jet velocities ranging from 1240 m/s to 2291 m/s were generated by a horizontal single stage powder gun (HSSPG) with three difference nozzle curve angles and 0.7 mm orifice diameter. The impact pressure on polymethyl methacrylate (PMMA) caused by water jets impact was measured using a piezoelectric polyvinylidenedifluoride (PVDF) film. The maximum impact pressure of about 3.4 GPa at stand-off distance 3 cm was obtained. However, at more than 3 cm stand-off distance, the impact pressure significantly decreases because of aerodynamic drag, jet core break-up, and atomization of the water jet.

Key words: high-speed water jets, impact pressure, PVDF.

1. บทนำ

ปรากฏการณ์การกระแทกของของเหลวที่มีความเร็วสูงเกิดขึ้นในงานอุตสาหกรรมหลายด้านไม่ว่าจะเป็นการสร้างเพื่อใช้ประโยชน์หรือเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นโดยไม่ต้องการ เช่น เทคโนโลยีการตัดและการทำความสะอาดผิววัสดุด้วยน้ำ การฉีดเชื้อเพลิงที่ความดันสูงและเครื่องยนต์สแครมเจ็ต (Scramjets) งานเหมืองแร่และอุโมงค์ การกักความร้อนกัมมันตภาพรังสี การกักความร้อนผิววัสดุที่เคลื่อนที่ผ่านน้ำ เนื่องจากหยดน้ำที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงเมื่อกระแทกลงบนผิววัสดุหรือวัตถุ ความเร็วสูงเคลื่อนที่ผ่านหยดน้ำจะทำให้เกิดความเสียหายขึ้นกับผิวของวัสดุ อย่างเช่นเครื่องบินที่เคลื่อนที่ผ่านฝน หยดน้ำที่กลั่นตัวในระบบกัมมันตภาพรังสี ส่วนของระบบฉีดเชื้อเพลิงที่ความดันสูง [1-3] เป็นต้น Worthing (1908) [4] ทำการศึกษาทางกายภาพของหยดน้ำที่กระแทกบนผิววัสดุโดยใช้เทคนิคการถ่ายภาพความเร็วสูง การเกิดการเสีรูปในของแข็งที่ถูกกระแทกจากลำพุ่งความเร็วสูงจะเกิดขึ้น 5 แบบคือ

การเสียหายที่ผิวเป็นวงกลม การเสียหายใต้ผิววัสดุ การเสีรูปในวงกว้าง การเสีรูปจากแรงเฉือนในพื้นที่ที่ถูกกระแทกและการเสีรูปจากการสะท้อนและการเกิดจากคลื่นสั่นสะเทือน (Stress wave) โดยการเกิดความเสียหายในแต่ละแบบนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุและความเร็วของลำพุ่งที่เข้ากระแทก ส่วนการใช้งานลำพุ่งของน้ำครั้งแรกเพื่อใช้ในการตัดถ่านหินในสหภาพโซเวียต อเมริกาและโปรแลนด์ ใช้ความดันเพียง 30 MPa [3-5]

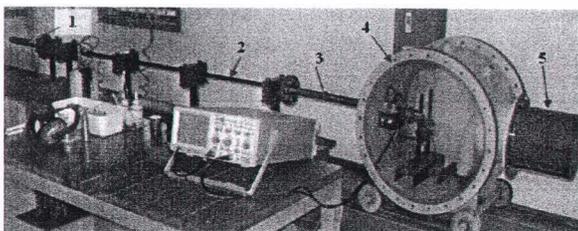
จากการศึกษาด้านการกระแทกของลำพุ่งความเร็วสูงบนผิววัสดุ เช่น การกระแทกบนอลูมิเนียม กระจก อะคริลิก มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาความเสียหายของผิววัสดุ ศึกษาความดันกระแทก (Impact Pressure) หรือการคำนวณค้อนน้ำ (Water hammer) จากความเร็วของลำพุ่งที่ 2-3 เท่าของความเร็วเสียงเท่านั้น [6-10] การศึกษาการกระแทกของลำพุ่งที่ความดันสูงในระยะต่างๆ จากหัวฉีด (Stand-off Distance) ยังมีน้อยมาก และยังไม่พบในประเทศไทย

เนื่องจากความดันกระแทกจากลำพุ่งความเร็วสูง เป็นความดันจลน์ (Dynamics Pressure) และมีค่าความดันสูงในระดับเมกะปาสกาล(MPa) - จิกะปาสกาล (GPa) ทำให้การวัดทำได้ยาก ด้วยเหตุนี้ที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จึงได้สร้างชุดทดลองกำเนิดลำพุ่งความเร็วสูงระดับจิกะปาสกาล (GPa) จากการกระแทก (1) สร้างและเปรียบเทียบเซนเซอร์วัดความดันจลน์จากเปียโซอิเล็กทริกฟิล์ม เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและพัฒนา ระบบฉีดเชื้อเพลิงที่ความดันสูงต่อไป

2. การทดลอง

2.1 ชุดกำเนิดลำพุ่งความเร็วสูง

การทดลองจะกำเนิดลำพุ่งความเร็วสูงที่ความเร็วเหนือเสียง (ระดับ Supersonic ถึง Hypersonic) จากชุดทดลองที่สร้างขึ้นและทำการปรับเทียบ โดยชุดทดลองนี้เรียกว่า “Horizontal Single - Stage Powder Gun (HSSPG)” ซึ่งประกอบไปด้วย 5 ส่วนหลัก คือ ชุดปล่อยลูกกระสุนปืน (Launcher) ท่อส่งลูกกระสุนปืน (Launch Tube) ท่อระบายความดัน (Pressure Relief Section) และห้องทดสอบ (Test Chamber) ถึงถังเก็บ (Drum Tank) ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ชุดกำเนิดลำพุ่งความเร็วสูง: 1.ชุดปล่อยลูกกระสุนปืน 2.ท่อส่งลูกกระสุนปืน 3.ท่อระบายความดัน 4.ห้องทดสอบ และ 5.ถังเก็บ

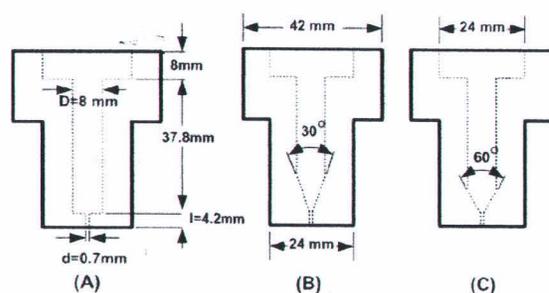
การกำเนิดลำพุ่งความเร็วสูงจะอาศัยหลักการการส่งถ่ายโมเมนตัม (Projectile Impact Driven Method) จากลูกกระสุนปืน (หรือ Projectile) ไปกระแทกกับของเหลวที่ถูกบรรจุในชุดหัวฉีดด้วยความเร็วสูงของเหลวในชุดหัวฉีดก็就会被ฉีดออกมาด้วยความเร็วสูง

ซึ่งหลักการทำงานและรายละเอียดของชุดกำเนิดลำพุ่งความเร็วสูงได้นำเสนอไว้โดยวุฒิชัยและคณะแล้ว [11]

2.2 หัวฉีด

ปัจจัยที่มีผลต่อการกำเนิดลำพุ่งให้มีคุณลักษณะที่ต้องการ เช่น ความเร็วของลำพุ่งที่กำเนิดได้ การแตกตัว (Atomization) ของลำพุ่ง ความสามารถของลำพุ่งในการเหนี่ยวนำ เป็นต้น นอกจากความเร็วของลูกกระสุนปืนที่กระแทกแล้ว รูปทรงของหัวฉีด (Nozzle Geometry) ยังเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณลักษณะของลำพุ่งที่กำเนิดได้ [12-14]

ในการทดลองนี้จะใช้หัวฉีดที่มีรูปทรงต่างกันสามแบบเพื่อศึกษาความเร็วของลำพุ่ง (Water Jets Tip) และความดันกระแทกที่ระยะต่างๆจากปลายหัวฉีด หัวฉีดทั้งสามแบบจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางห้องบรรจุของเหลว (D) 8 mm ขนาดรูหัวฉีด (d) 0.7 mm และ ความยาวรูฉีด (l) เป็น 4.2 mm ซึ่งความยาวรูฉีดจะถูกกำหนดในเทอมของอัตราส่วนของความยาวรูฉีดต่อขนาดรูฉีด (l/d) ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญในการออกแบบหัวฉีด (2) และในส่วนที่แตกต่างกันคือ หัวฉีด A เป็นหัวฉีดทรงกระบอก (Cylindrical nozzle หรือ Step nozzle) หัวฉีด B เป็นหัวฉีดทรงกรวยมุม 30° และหัวฉีด C เป็นหัวฉีดทรงกรวยมุม 60° (Conical nozzle) ดังแสดงในรูปที่ 2

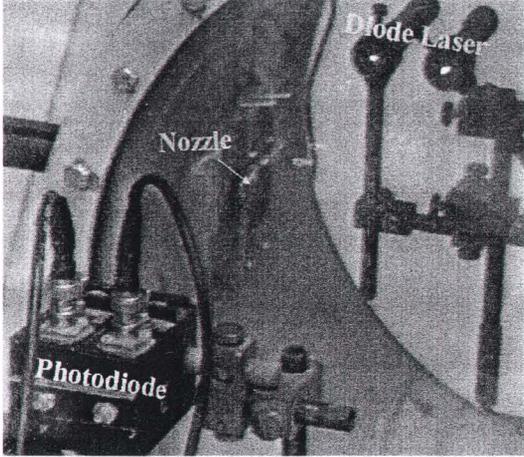


รูปที่ 2 หัวฉีดที่ใช้ในการทดลอง

2.3 การวัดความเร็วของลำพุ่ง

การวัดความเร็วของลำพุ่งของเหลวใช้หลักการ “การตัดเลเซอร์ของวัตถุ (laser beam interruption method)” หรือ “Time of Flight Method” โดยใช้ไดโอดกำเนิดแสงเลเซอร์และไดโอดรับแสงจำนวน 2

ชุด โดยไดโอดชุดแรกวางห่างจากหัวฉีด 15 mm และ ไดโอดทั้งสองชุดวางห่างกัน 33 mm ไดโอดรับแสงจะ ต่อสายสัญญาณเข้ากับออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) เพื่ออ่านสัญญาณไฟฟ้าจากและแสดงผลบนหน้าจอ ดัง รูปที่ 3



รูปที่ 3 หัวฉีดที่ใช้ในการทดลอง

การวัดความเร็วของลำพุ่งของเหลวนั้นจะวัดจาก เวลาที่ส่วนหัวของลำพุ่งของของเหลวตัดแสงเลเซอร์ ของตัวที่หนึ่งกับเลเซอร์ตัวที่สอง ที่แสดงวัดได้ออสซิลโลสโคปแล้วจึงคำนวณความเร็วเฉลี่ยของลำพุ่ง (v_j) ดังสมการ

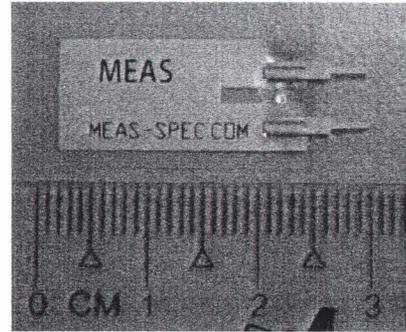
$$v_j = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (1)$$

2.4 การวัดความดันกระแทกของลำพุ่ง

ลำพุ่งของเหลวที่ถูกกำเนิดจาก HSSPG เป็น แรงดันแบบจังหวะพัลส์ (Pulse) ที่ไม่ต่อเนื่อง ซึ่งเป็น ความดันจลน์ (Dynamic Pressure) หรือ ค้อนน้ำ (Water hammer) ซึ่งไม่สามารถใช้เครื่องวัดความดัน ซึ่งจะเป็นความดันสถิต (Static Pressure) วัดได้ นอกจากนี้ค่าความดันที่สูงยังเป็นปัญหาต่อการวัดและความเสียหายของเครื่องมือวัด

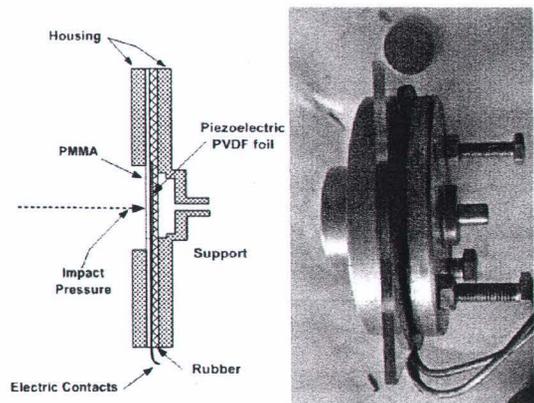
เครื่องวัดความดันถูกออกแบบและสร้างโดยใช้ เปียโซอิเล็กทริกฟิล์ม (Piezoelectric film) หรือ polyvinylidene fluoride (PVDF) ฟิล์ม ซึ่งอาศัยหลักการ การกำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากการสั่น หรือโก่งตัว

ทันทีทันใด ดังนั้นจึงสามารถใช้งานกับความดัน กระแทกได้ ซึ่งแสดงในรูปที่ 4 เป็น PVDF ฟิล์มที่ใช้ สำหรับสร้างเครื่องวัดความดันกระแทกในการศึกษานี้



รูปที่ 4 เปียโซอิเล็กทริกฟิล์ม (Piezoelectric film)

เครื่องวัดความดันถูกสร้างให้ PVDF ฟิล์ม ถูก ติดตั้งภายในเรือนโลหะ เครื่องวัดความดันจะประกอบ ไปด้วย ส่วนหน้าของเรือนโลหะจะเป็นแผ่นอะคริลิกหนา 6 mm ทำหน้าที่รับแรงกระแทกจากลำพุ่ง ส่วนที่สองเป็น PVDF ฟิล์ม มีความหนา 28 μm ซึ่งจะต่อสายสัญญาณกับออสซิลโลสโคป และส่วนที่สามเป็น แผ่นยางหนา 1.8 cm ทำหน้าป้องกันความเสียหาย จากกระแทกของ PVDF กับเรือนโลหะส่วนหลัง ดัง แสดงในรูป 5

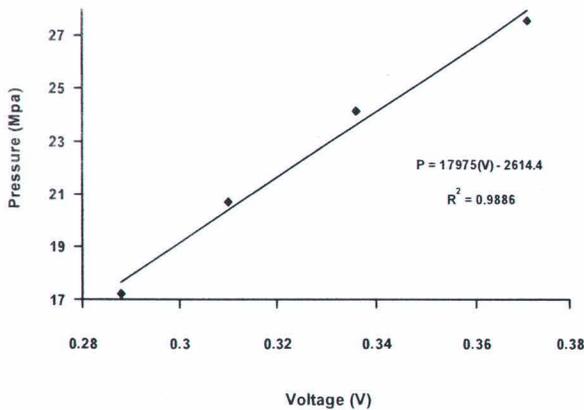


รูปที่ 5 ส่วนประกอบของเครื่องวัดความดัน การปรับเทียบเครื่องวัดความดันโดยใช้ความดัน กระแทกจากเครื่องทดสอบหัวฉีดและหัวฉีดดีเซลแบบ ปรับความดันชนิดได้ โดยยึดหัวฉีดเข้ากับเครื่องวัด ความดันดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ชุดปรับเทียบความดัน

การปรับเทียบความดันจะทำโดยปรับความดันชนิดที่ตัวปรับแรงดันของหัววัดดีเซล จากนั้นฉีดเชื้อเพลิงดีเซลลงบนเครื่องวัด เมื่อเครื่องวัดถูกกระแทกจากเชื้อเพลิงที่ฉีด PVDF फिल्मจะโก่งตัวทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าส่งไปยังออสซิลโลสโคป ความดันที่ใช้สำหรับการปรับเทียบจะถูกสร้างขึ้นจากเครื่องทดสอบหัววัดและหัววัดดีเซลจากความดัน 17.2 – 27.6 MPa (2,500 – 4,000 psi) ผลที่ได้จากการปรับเทียบแสดงไว้ในรูปที่ 7



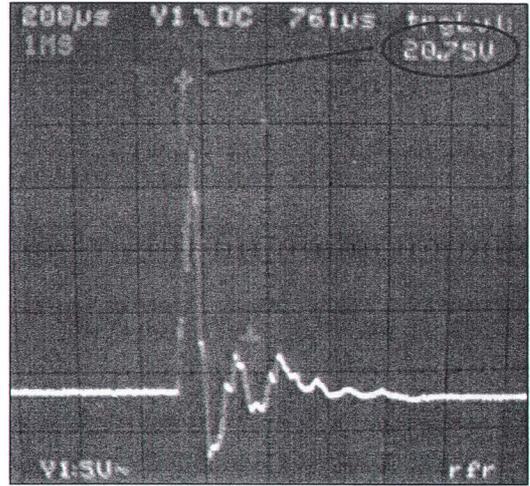
รูปที่ 7 แผนภาพความดันกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากเครื่องวัดความดัน PVDF फिल्म จากรูปที่ 7 ได้สมการความสัมพันธ์ของความดันกับแรงเคลื่อนไฟฟ้า

$$P = 17,975 (V) - 2614.4 \quad (2)$$

เมื่อ $P =$ ความดัน (psi)

$V =$ แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage)

ในการทดลอง เมื่อลำพุ่งของเหลวความเร็วสูงกระแทกลงบนเครื่องวัด แผ่น PVDF फिल्मโก่งตัวทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้น และส่งสัญญาณไปที่ออสซิลโลสโคป ได้สัญญาณไฟฟ้างดงามในรูปที่ 8 เมื่อนำค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าแทนลงในสมการที่ 2 ก็จะได้ความดันกระแทก

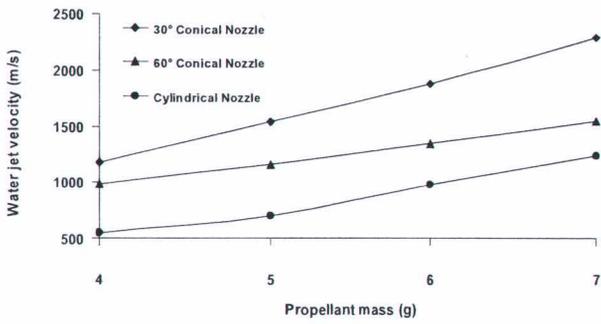


รูปที่ 8 แรงเคลื่อนไฟฟ้าจาก PVDF फिल्म เมื่อถูกกระแทกด้วยความดันจากลำพุ่งของน้ำ

3. ผลการศึกษา

3.1 ความเร็วลำพุ่งของน้ำ

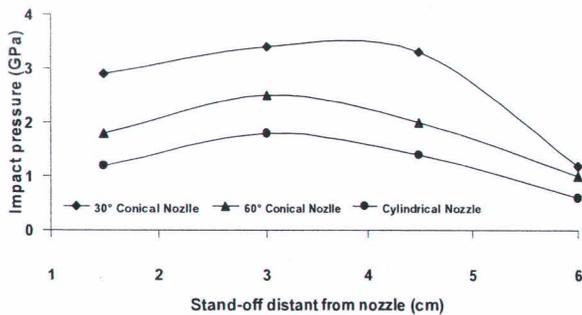
ในเบื้องต้น ความเร็วของลำพุ่งจะถูกเปลี่ยนแปลงตามความเร็วของลูกกระสุนปืน โดยการเพิ่มปริมาณดินปืนขึ้น การทดลองหาความเร็วของลำพุ่งจากหัวฉีดทั้งสามแบบข้างต้น ที่ปริมาณดินปืนขึ้น 4-7 กรัม (ความเร็วของลูกกระสุนปืนเฉลี่ย 956-1,358 m/s) พบว่าทุกๆค่าการทดลองของปริมาณดินปืนจาก หัวฉีด B ได้ค่าความเร็วสูงที่สุด และความเร็วสูงสุดของลำพุ่งของน้ำมีค่า 2,292 m/s ที่ปริมาณดินปืนขึ้น 7 กรัม (ความเร็วของลูกกระสุนปืน 1,358 m/s) ส่วนความเร็วต่ำสุดของลำพุ่งได้จากหัวฉีด A ที่ความเร็ว 552 m/s จากปริมาณดินปืนขึ้น 7 กรัมเท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 ผลจากรูปทรงหัวฉีดและปริมาณดินปืนขับที่มีต่อความเร็วของลำพุ่งของน้ำ

3.2 แรงดันกระแทก

ที่ความเร็วสูงสุดของลำพุ่งของน้ำจากหัวฉีด (A) (B) และหัวฉีด (C) มีค่า 1,240 2,292 และ 1,549 m/s ตามลำดับ ใช้ทดลองหาค่าความดันกระแทกที่ระยะ 1.5, 3, 4.5 และ 6 cm พบว่าที่หัวฉีด B มีความดันสูงกว่าหัวฉีด A และ C ในทุกตำแหน่ง หัวฉีด A มีค่าความดันกระแทกต่ำที่สุดในทุกตำแหน่งการวัด และหัวฉีดทั้งสามแบบจะค่าความดันกระแทกสูงสุดที่ระยะ 3 cm จากหัวฉีด ค่าความดันกระแทกสูงสุดของหัวฉีด A มีค่า 1.8 GPa ค่าความดันกระแทกสูงสุดของหัวฉีด B มีค่า 3.4 GPa และค่าความดันกระแทกสูงสุดของหัวฉีด C มีค่า 2.5 GPa ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ผลของความดันกระแทกที่ระยะต่างๆ

3.3 แรงดันกระแทกทางทฤษฎี

การศึกษากลไกการเสียรูปของผิววัสดุภายใต้แรงแรงกระแทกของของไหลที่มีความเร็วสูงเป็นผลที่เกิดจากความดันกระแทกที่เกิดจากของไหลเคลื่อนที่แล้วหยุดอย่างฉับพลันจากสิ่งกีดขวาง โดยใช้สมการ

พื้นฐานของสมการค้อนน้ำ (Water Hammer) สมการที่ใช้คือ

$$P = \rho CV \quad (3)$$

เมื่อ ρ เป็นความหนาแน่นของของไหลความเร็วสูง (kg/m^3) C เป็นความเร็วเสียงของของไหลความเร็วสูง (Sound of Speed, m/s) และ V เป็นความเร็วของของไหลความเร็วสูง (m/s) [2, 4-7, 10, 15, 16]

นำผลของความเร็วลำพุ่งของน้ำที่ค่าสูงสุดจากหัวฉีดทั้งสามในรูปที่ 4 แทนสมการที่ 3 เพื่อหาความดันกระแทกหรือค้อนน้ำเปรียบเทียบกับความดันกระแทกที่ได้จากการทดลองที่ระยะการวัดของชุดวัดความเร็ว 1.5 - 4.8 cm ได้ผลเปรียบเทียบกันดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบผลความดันกระแทกจากการคำนวณและการทดลองที่ความเร็วลำพุ่งของน้ำสูงสุดของหัวฉีดสามแบบ

รูปร่างหัวฉีด วิธีการ	Step Nozzle (GPa)	30°Conical Nozzle (GPa)	60°Conical Nozzle (GPa)	
การคำนวณ (1.5 - 4.8 cm.)	1.9	3.57	2.57	
การทดลอง	ระยะ 3 cm.	1.8	3.4	2.5
	ระยะ 4.5 cm.	1.4	3.3	2

4. อภิปรายผลการศึกษา

การทดสอบความดันกระแทกของลำพุ่งของน้ำที่ความเร็วสูง เพื่อสร้างและเปรียบเทียบเครื่องวัดความดันจนที่ความดันสูงมากๆ ศึกษาปัจจัยเบื้องต้นที่มีผลต่อความดันกระแทกที่เกิดขึ้นจากลำพุ่งความเร็วสูงมากๆ หาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของลำพุ่งของน้ำกับความดันกระแทกและความดันกระแทกที่ระยะต่างๆของลำพุ่งจากหัวฉีดที่แตกต่างกัน จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความเร็วของลูกกระสุนปืนที่ทำหน้าที่ขับดันลำพุ่งมีผลต่อความเร็วของลำพุ่ง ความเร็วของลำพุ่งมีผลโดยตรงต่อความดันกระแทกของลำพุ่ง ส่วนความดันกระแทกของลำพุ่งที่ใกล้หัวฉีดไม่ได้มีค่ามากที่สุดแต่จะเพิ่มขึ้นหากระยะเพิ่มขึ้นจนถึงระยะหนึ่งจึง

ลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งต้องทำการศึกษาต่อไปถึงความมีนัยสัมพันธ์กับความเร็วของลำพุ่งของน้ำที่ระยะต่างๆ รูปร่างภายในมีผลโดยตรงต่อความเร็วของลำพุ่ง เครื่องวัดความดัน PVDF फिल्मสามารถวัดความดันจนนี้ได้ผลที่น่าพอใจเมื่อเปรียบเทียบกับความดันที่ได้จากการคำนวณ

แต่อย่างไรก็ตามลำพุ่งของน้ำที่ความเร็วสูงจะทำให้เกิดคลื่นกระแทก (Shock Wave) ขึ้น ในเบื้องต้นเชื่อว่าสามารถใช้เครื่องวัดความดัน PVDF फिल्मที่สร้างขึ้นทำการศึกษาพฤติกรรมในเบื้องต้นได้ ซึ่งจะได้ทำการศึกษาเพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อไป

5. สรุปผลการศึกษา

งานทดลองนี้ ออกแบบ สร้างและเปรียบเทียบเครื่องวัดความดันจลน์จาก PVDF फिल्म เพื่อใช้วัดความดันที่เกิดจากลำพุ่งของน้ำความเร็วสูง ศึกษาความดันกระแทกของลำพุ่งของน้ำที่ความเร็วสูง ความสัมพันธ์ของความดันกระแทกที่เกิดจากรูปร่างของหัวฉีดสามแบบ ความสัมพันธ์ของความดันกระแทกกับความเร็วสูงสุดของลำพุ่งความเร็วสูง

จากการศึกษานี้พบว่าความดันกระแทกของลำพุ่งความเร็วสูงมีผลโดยตรงจากความเร็วของลำพุ่ง และความเร็วของลำพุ่งขึ้นอยู่กับรูปร่างของหัวฉีดและความเร็วในการกระแทกของลูกกระสุนปืนหรือตัวขับลำพุ่งด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

[1] A.S. Vlasov, E.L. Zilberbrand, A.A. Kozhushko, A.I. Kozachuk and A.B. Sinani (2002). Behavior of Strengthened Glass Under High-Velocity Impact, Strength of Material, Vol. 34(3), pp. 266-268.

[2] J.E.Field (1966). Stress waves, deformation and fracture caused by liquid impact,

Mathematical and Physical Sciences, Vol. 260(6), pp. 86-93.

[3] S.J.Leach and G.L.Walker (1966). The application of high speed liquid jets to cutting, Mathematical and Physical Sciences, Vol. 266, pp. 295-310.

[4] J.H.Brunton (1966). The physics of impact and deformation: Single Impact, Mathematical and Physical Sciences, Vol. 260(1110), pp. 79-85.

[5] F.P.Bowden, F.R.S., and J.H.Brunton (1961). The deformation of solid by liquid impact at supersonic speeds, Mathematical and Physical Sciences, Vol. 263(10-15), pp. 433-450.

[6] N.K.Bourne, T.Obara and J.E.Field (1997). High-speed Photography and Stress Gauge Studies of Jet Impact Upon Surfaces, The Royal Society, Vol. 355, pp. 607-623.

[7] N.K.Bourne (2005). On Impacting Liquid Jets and Drops onto Polymethylmethacrylate Targets, The Royal Society, Vol. 461, pp. 1129-45.

[8] Yoshiaki YAMAUCHI, Hitoshi SOYAMA and Yasunori ADACHI (1995). Suitable Region of High-Speed Submerged Water Jets for Cutting and Peening, JSME, Vol. 38 (1), pp. 31-38.

[9] N.K.Bourne, T.Obara and J.E.Field (1996). The impact and penetration of a water surface by a liquid jet, The Royal Society, Vol. 452, pp.1497-1502.

[10] H.H. Shi, Kazuyoshi Takayama and Nobuo Nagayasu (1995). The measurement of impact pressure and solid surface response in liquid solid impact up to hypersonic range, WEAR, Vol. 186-187, pp. 352-359.

[11] วุฒิชัย สิทธิวงษ์, กุลเชษฐ์ เพียรทอง, วิระพันธ์ สีหานาม และ อนิรุตน์ มัทธจักร (2008). การเปรียบเทียบชุดกำเนิดลำพุ่งความเร็วสูง, การประชุมเครือข่าย

วิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย,
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี.

[12] K.Pianthong, S.Zakrzewski, M.Behnia and B.E.Milton (2002). Supersonic liquid jets: Their generation and shock wave characteristics, *Shock Waves*, Vol.7(11), pp. 457-66.

[13] H.H. Shi, Motoyuki Itoh (1966). Design and Experiment of a Small High-Speed Liquid Jet Apparatus, *Jpn.J.Appl.Phys*, pp. 35(4157-4165).

[14] M.V. Hopson, S.K. Treadway (2008). Testing and computational analysis of pressure transducers in water filled tank impacted by hypervelocity projectile, *Impact Engineering*, Vol. 35(12), pp. 121-139.

[15] N.L.Hancox, J.H.Brunton (1966). The Physics of Impact and Deformation: Multiple Impact, *The Royal Society*, Vol 260, pp. 121-39.

[16] F.P.Bowden, F.R.S. and J.E.Field (1964). The brittle fracture of solid by liquid impact, by solid impact, and by shock, *The Royal Society*, Vol. 282, pp. 331-352.

Effect of stand-off distance on impact pressure of high speed water jets

Wuttichai Sittiwong^{*}, Wirapan Seehanam, Kulachate Pianthong and Anirut Matthujak

Department of Mechanical Engineering, Ubon Ratchathani University

Ubon Ratchathani, 34190, Thailand

Tel: +66 45 353 309 / FAX: +66 45 353 308

sittiwong@hotmail.com

Abstract

High speed liquid jets may be applied to jet cutting, drilling and cleaning. Recently, in the automotive industries, the spray injection pressure becomes higher and higher to enhance the fuel mixing for the improved combustion efficiency. However, the ultra high injection pressure may cause the damage to the nozzle and also the combustion chamber. In the medical application, the high speed liquid injection might be applied for the drug delivery through the skin where the needle is not required anymore.

From the above mentioned application, the investigation on the impact pressure of the high speed liquid jet relative to the stand-off distance is significant. The high speed liquid jets are generated by the projectile impact driven method. The high speed projectile is launched by the horizontal single stage powder gun. The experimental study focuses on the stand-off between 1.5 cm to 6.0 cm, while the nozzle contains approximately 1.5 cm³ of water in its cavity. The nozzle conical angles are 30° and 60° with the orifice diameter of 0.7 mm. The jet velocities are measured by laser beam interruptions method. The target material is the Polymethyl Methacrylate (PMMA) which the impact pressure is measured by using a piezoelectric Polyvinylidene Fluoride (PVDF) film. From the experiments, the maximum water jet velocity of 2290 m/s can be obtained from the 30° conical angle nozzle. The maximum impact pressures of nozzle conical angle of 30° and 60° are 3.4 GPa and 2.6 GPa respectively, at stand-off distance 3 cm. However, at the stand-off distance more than 3 cm, the impact pressure significantly decreases, because of aerodynamic drag, jets core break-up, and atomization of the water.

Key words: high-speed water jets, impact pressure, water-hammer, PVDF film

1. Introduction

The impact phenomenon of high-speed liquid jet on surface have been studied for many engineering application, such as water jet cleaning and cutting technology [1, 2] wet stream turbine erosion, mining and tunneling, fuel injection and Supersonic Combustion Ram (SCRAM) jets [3-7]. However, high speed liquid phenomenon can cause damage or permanently deform of structure materials. If the high-speed liquid strikes on solid surface, it can generate a great number of pressures on solid surface. This pressure causes stresses, which can create damage in material. Such damage can occur on the surface of aircraft during high-speed flight in rain, steam turbine blades, surface cleaning, fuel injection part, etc [8-16]. In case of aircraft, it is referred to as "rain erosion". The first experimental investigation of the physical of drop impact began with the famous experiments of Worthington (1908) [12] who for the first time used high speed photograph to study liquid impact. Investigation into the mechanism of rain erosion has been carried out by Engel and Jenkins (1957) [17]. Since 1961, F.P Bowden *et al.* [13] studied, the deformation of solid by the impact of a liquid jet on the solid surface, it is found that there are five general types of deformation produced in the solid, There are in that; (i) circumferential surface fractures, (ii) subsurface flow and fractures, (iii) large-scale plastic deformation, (iv) shear deformation around the periphery the impact zone and (v) fracture due to the reflexion of stress wave. After that, J.H. Brunton (1966) [12] generate liquid jet at speed up to 1,200 m/s for investigate the mode of deformation in brittle

and plastically deforming material. It was found that the predominating mechanism of deformation depends on mechanical properties of the solid and the velocity of impact. In the last 10 years, H.H. Shi *et al.* [24] measured high speed liquid jet impact pressure on solid targets by using a polyvinylidenedifluoride (PVDF) pressure transducer at various stand-off distances from nozzle exit to the target. A single size nozzle diameter 2 mm was for generating impact velocity of 270 m/s.

In literature review, the studies of high speed liquid impact on a solid surface have been purpose for investigation of the damage out across the surface [8-11,13-16,21-23], calculation water-hammer pressure for 2-3 time speed of sound [2,11,14,24-25]. However, the impact pressure measurement of high speed liquid jet is difficult because of the limitation pressure transducer.

In this study high impact pressure is measured by a pressure transducer made from PVDF piezoelectric film. A study of an impact pressure of supersonic to hypersonic water jets at various stand-off distances from nozzle exit to the PVDF pressure sensor is carried out. The nozzles for experiment are three difference shapes. Finally, the value of impact pressure found from experiments can be compared with that determined from water-hammer equation.

2. Experimental apparatus

2.1 Test rig

In this study, high-speed liquid jet is generated by a special technique known as the projectile impact driven method [13]. By this technique, the liquid retained in the nozzle cavity is impacted by a high velocity projectile. The liquid obtains the momentum transfer from the projectile and is injected from the nozzle. The high velocity projective needed in this technique has been generated by the Horizontal Single Stage Powder Gun (HSSPG), shown in Fig.1. The HSSPG consists of launcher, launch tube, pressure relief section, test chamber and dump tank. The launch tube has a diameter of 15 mm and length of 1.5 m. The pressure relief section has a length of 40 cm, which is designed to diminish the blast wave in front of the projectile as shown in Fig. 2. The pressure relief section has 3 slots; each having a diameter of 4 mm and a length of 36 cm. The test chamber has a diameter of 48 cm. It is enclosed by poly methyl methacrylate (PMMA) and windows on two sides for visualization. The projectile is made of Polymethyl Methacrylate (PMMA), is cylindrical shape with diameter of 15 mm and length of 8 mm (weight of 0.92 g). This HSSPG has been employed to generate the high-speed water jet velocity ranged from 550 to 2,290 m/s.

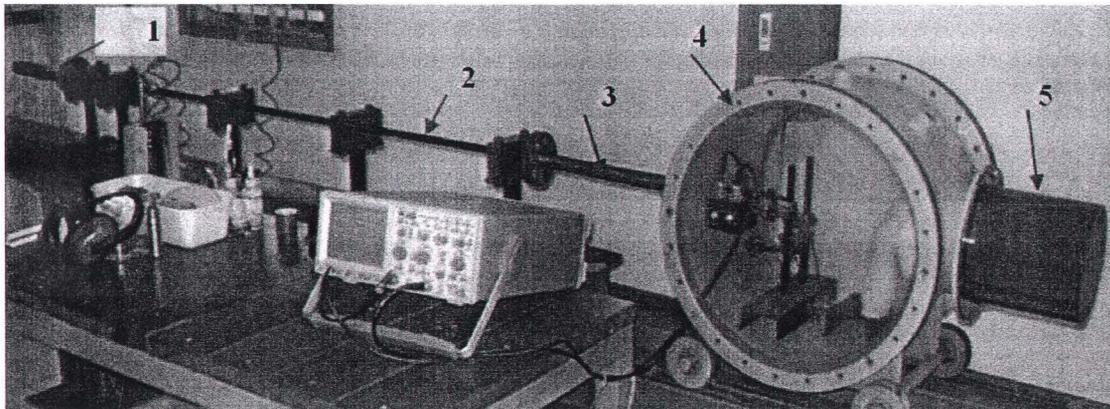


Fig. 1 The HSSPG facility: (1) Launcher, (2) Launch tube, (3) Pressure Relief Section, (4) Test Chamber and (5) Dump Tank.

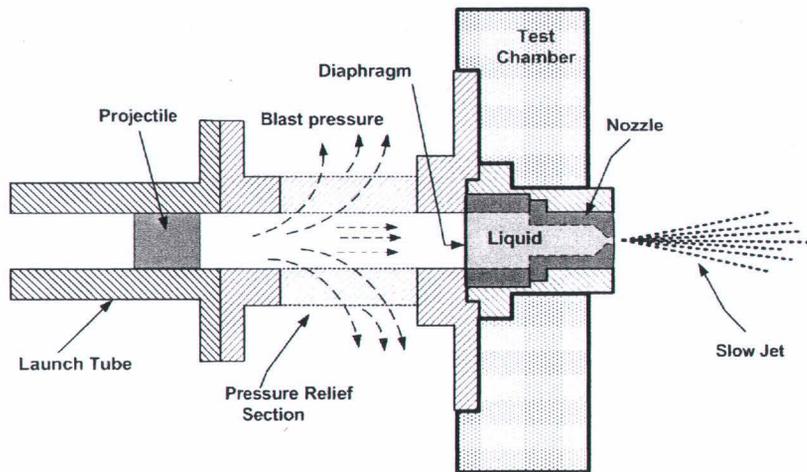


Fig. 2 The blast pressure or shock wave effect cause slow jet

2.2 Nozzle geometries

To investigate the effect of nozzle geometries on the impact pressure of the high speed water jet, three nozzle geometries: the cylindrical nozzle (A) and two conical nozzle (B, C), which has apex angles of 30° and 60° , respectively, have been tested. All nozzles have a 0.7 mm of orifice diameter (d), 8 mm. of entrance diameter (D), and 4.2 mm of nozzle orifice length (l). The length of the nozzle orifice is usually defined in terms of the nozzle diameter as l/d . cone angles, and l/d as an importance parameter in designing nozzles [26] as shown in Fig. 3.

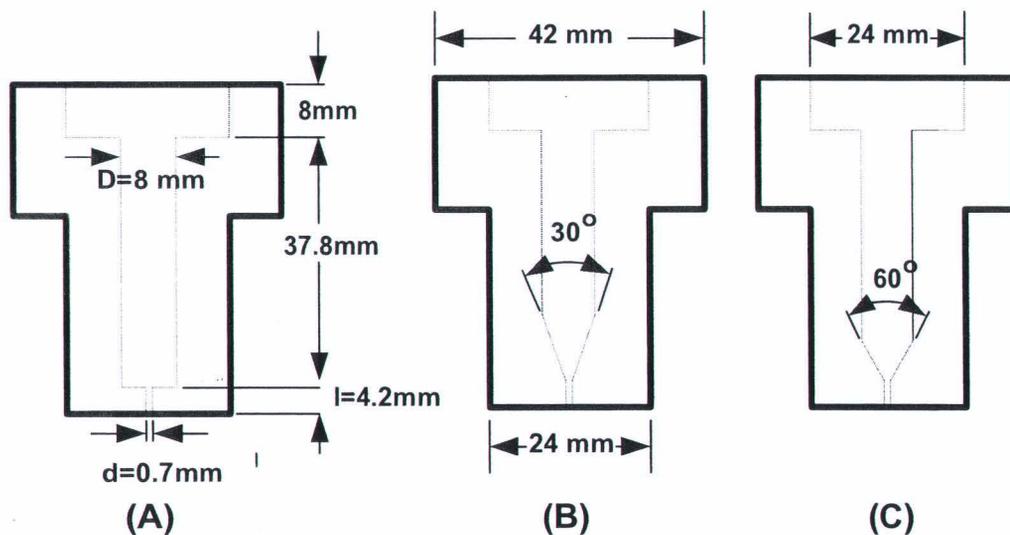


Fig. 3 nozzle shape, (A) Cylindrical nozzle (B) 30° cone angle nozzle and (C) 60° cone angle nozzle

2.3 Jet velocity measurement

The jets velocity is measured by laser beam interruption method. Two diode laser beams are put across the jet path in the test chamber as shown in Fig. 4. The 1st laser beam is placed at 15 mm from the nozzle exit and the second laser beams are at 33 mm away from the 1st one. When the jet tip interrupted laser beams, the corresponding output signals were recorded and displayed in a digital oscilloscope.

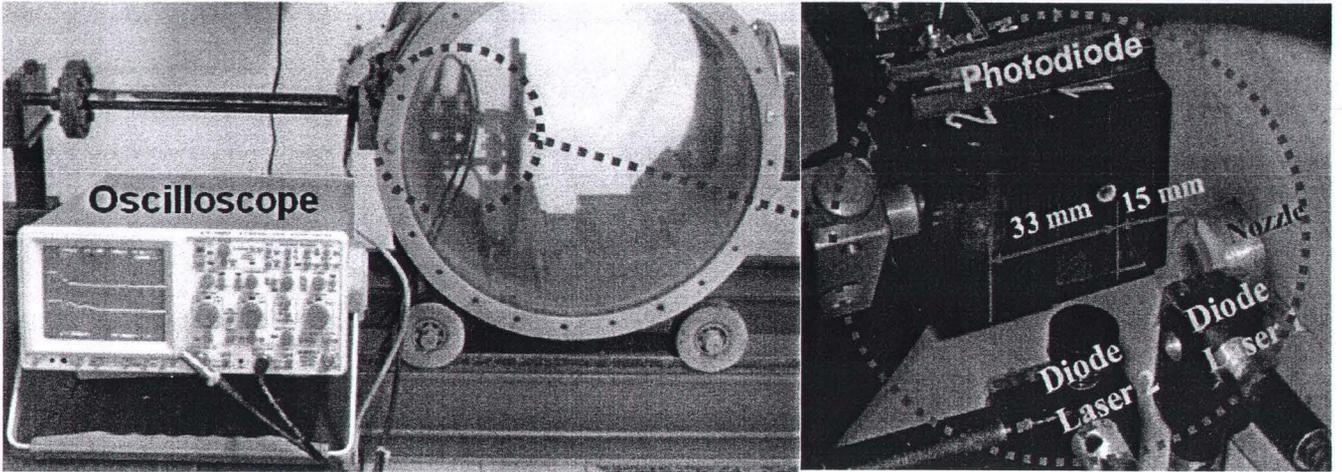


Fig. 4 Water Jet velocity measurement arrangement

When water jet tip interrupts the laser beams, the jet travelling duration between two laser beams is measured by an oscilloscope as shown in Fig. 5. From the time interval between the water jet tip crossed the two laser beam, the water jet velocities (V_j) can be calculated by,

$$V_j = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (1)$$

Where Δs is the distances between two laser beams (33 mm, in this case) and Δt is the time of flight of water jet tip over the distance Δs

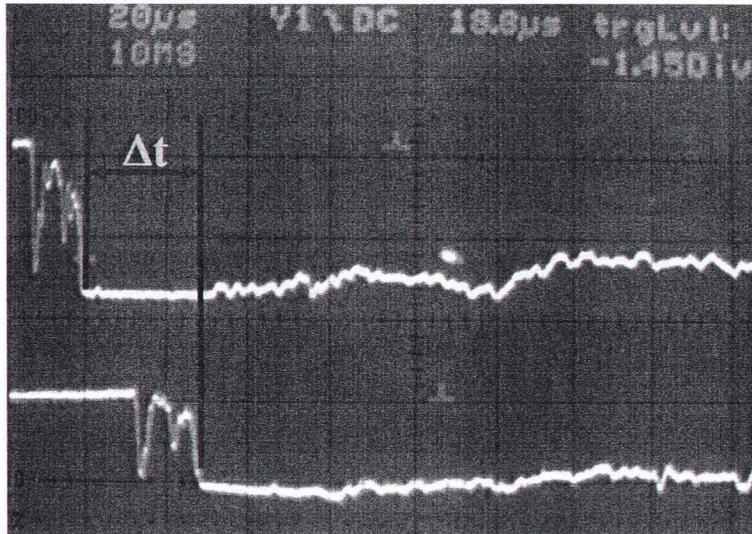


Fig. 5 Oscilloscope trace for the time of flight measurement

2.4 Impact pressure measurement

The high speed water jets generated from HSSPG is impulsive jet. Once the water jet impinges on solid surface, their impact pressure reaches a high value in a very short time. This pressure is dynamics pressure or water-hammer pressure created by impact of impulsive water jet. This dynamics pressure is a pressure of high MPa up to GPa. Hence, it is not possible to measure by conventional pressure measurement.

To measure very high pressure which can not use conventional pressure measurement, the pressure sensor was designed, manufactured and calibrated in this study. The pressure sensor is constructed with Polyvinylidene Fluoride (PVDF)

piezoelectric film, a 6 mm thick of PMMA and a 8 mm thick of support rubber. The constructed pressure sensor is assembled in a 8 mm thickness and an outer diameter 75 mm housing as shown in Fig 6. This PVDF film is a flexible component which comprises a 28 μm thick of piezoelectric PVDF polymer film with screen printed Ag-ink electrodes as shows in Fig. 7.

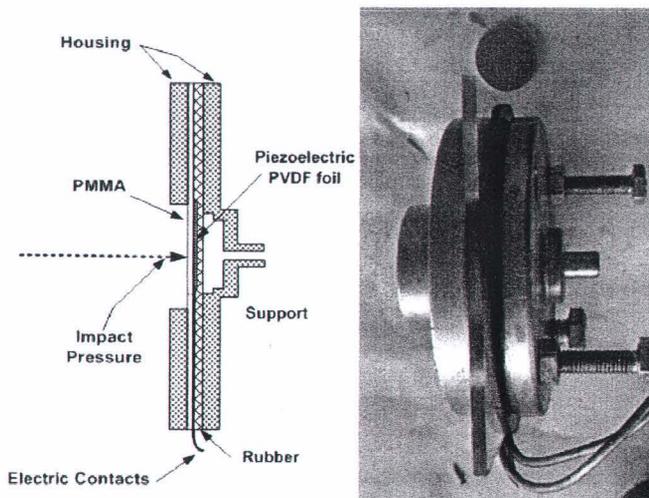


Fig. 6 Assembly of the PVDF pressure sensor

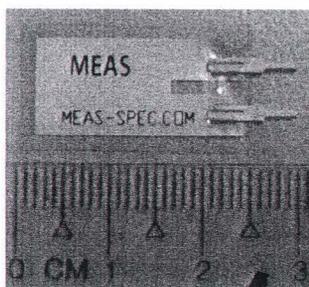


Fig. 7 Polyvinylidene Fluoride (PVDF) piezoelectric film

The characteristics curve of PVDF pressure sensor was measured by test set-up shown in Fig. 8. The PVDF pressure sensor was calibrated by using dynamics pressure from injector nozzle tester. One side of the pressure sensor is exposed to the impingement from diesel fuel generated by injector nozzle tester, and other side is exposed to ambient air pressure. The pressure level was increasing from 2,500 psi to 4,000 psi (17.2 – 27.6 MPa) by 500 psi step interval.

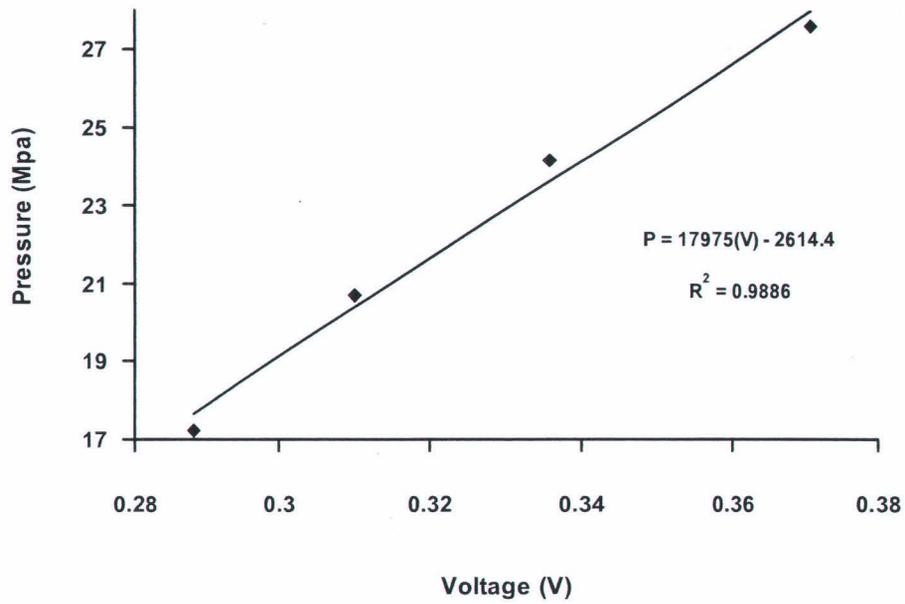


Fig. 8 Characteristics curve of the PVDF pressure sensor

The experiment setup for measuring the impact pressure of liquid jets by using a PVDF is shown in Fig. 9. Once the water jet impacts on the PMMA surface, the PVDF film will respond to impact pressure and then the pressure signal of PVDF film is recorded by oscilloscope as shown in Fig. 10. In the experiment, the stand-off distance from nozzle exit to the PVDF pressure sensor is varied changed by adjusting the pressure sensor holder backwards or forwards.

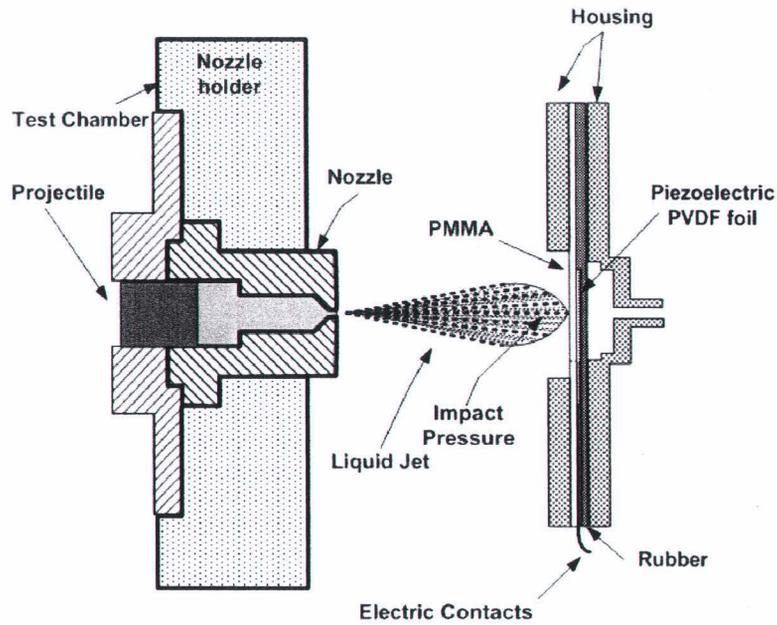


Fig. 9 Experimental setup for Impact pressure measurement

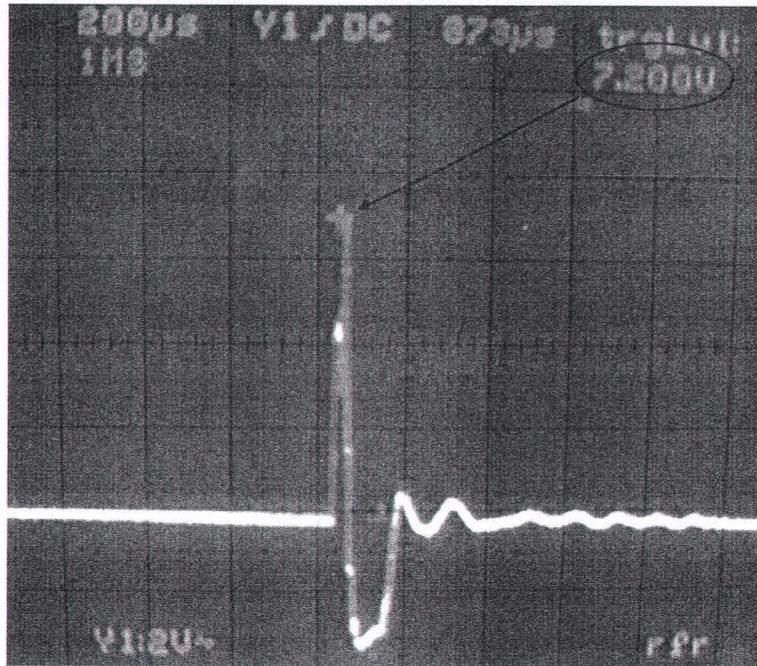


Fig. 10 A load-time trace for a water jet impact

From the calibration curve in Fig. 8, the line on the figure is linear fit to the data and the impact pressure can be calculated using the Equation:

$$P = 17,975 (V) - 2,614.4 \quad (2)$$

Where P is the impact pressure (MPa) of water jet and V is voltage signal (mV) from PVDF pressure sensor.

3. Results

3.1 The Water jet velocity

In this experiment, the projectile velocity (956-1,358 m/s) is varied by variant the propellant mass from a 4 g up to 7 g of smokeless gunpowder. In Fig. 11, the water jet velocities from three shapes nozzle are compared. In this study, a 7 g (1,358 m/s V_p) of gunpowder is used for generating the maximum water jet velocity. The maximum velocity of around 2,292 m/s, 1,549 m/s and 1,241 m/s were generated from a 30° conical angle nozzle, a 60° conical angle and a cylindrical nozzle, respectively. The effect of nozzle shape and propellant mass on water jet velocities are shown in Fig.

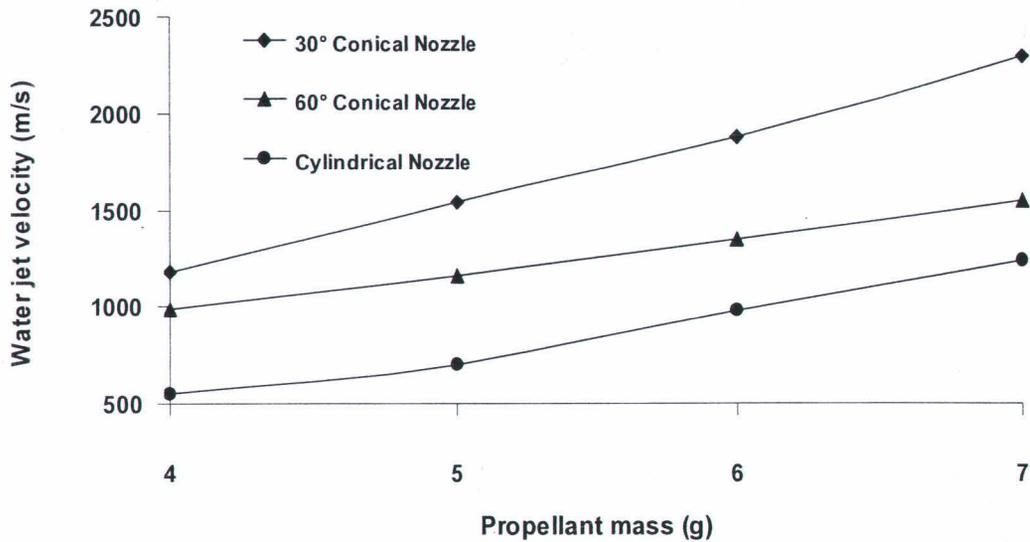


Fig. 11 The effect of nozzle shape and propellant mass on water jet velocities

3.2 The Impact Pressure

The impact pressures of the water jets at 1.5, 3, 4 and 6 cm stand-off distance from nozzle exit with three nozzle shapes are investigated. The maximum water jet velocities generated from nozzle (A), nozzle (B) and nozzle (C) are 1,240, 2,292 and 1,549 m/s, respectively. The effect of stand-off distant and nozzle geometries on the impact pressures is shown in Fig. 12. From the figure, we found that the maximum impact pressure obtained from the 30° conical nozzle, 60° conical nozzle and cylindrical nozzle are 3.4 GPa, 2.5 GPa and 1.8 GPa, respectively. The maximum impact pressure occurs at 3 cm for 60° conical nozzle and cylindrical nozzle while it occurs at 4.5 for 30° conical nozzle.

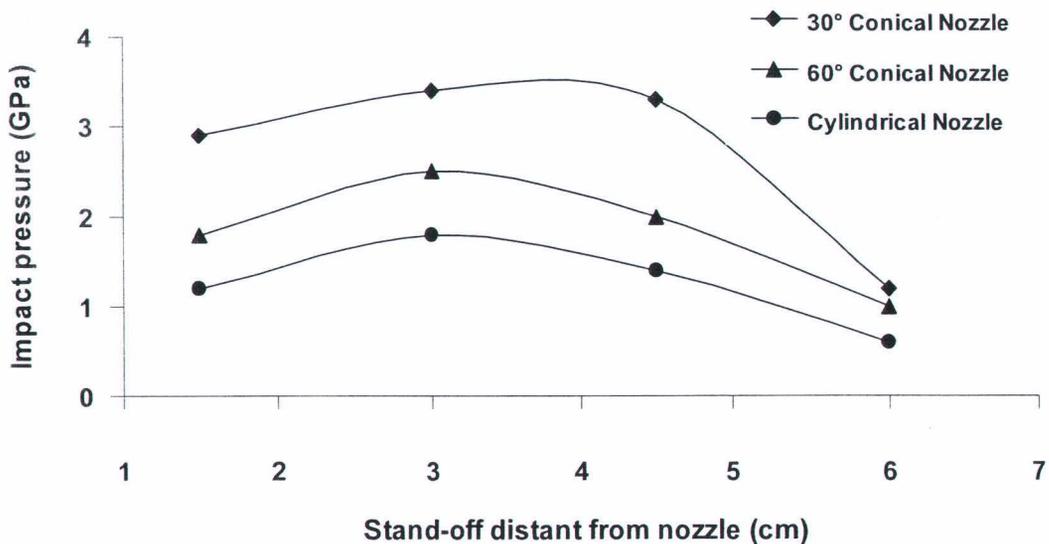


Fig. 12 Impact pressure at stand-off distance from nozzle

3.3 The water-hammer effect

When a droplet of liquid crash on a rigid surface under higher velocity or the frontal liquid in column is stopped instantaneously and sideways flow is prevented. In these cases, the pressure developed in moving column or the high

pressure occur in liquid impact as a result of the water-hammer effect. The water-hammer pressure (P) for a liquid striking a rigid surface is given by the equation [11-16, 23, 24]

$$P = \rho CV \quad (3)$$

Where ρ is the density (kg/m^3) of the liquid, C the speed of sound (m/s) in liquid and V is the velocity (m/s) of the liquid. The water-hammer equation can be used for calculating the maximum pressure developed when a water jet collides on a rigid surface. The value of P found from the experiments can be compared with that determined from Equation (3). From the equation, a water jet with an impact velocities V of the maximum velocity from each nozzles (1,240 2,292 and 1,549 m/s), C = 1,500 m/s and $\rho = 1,000 \text{ kg/m}^3$. Results of impact pressure from experiment are comparing with that of the calculation as shown in Table 1.

Table 1 Calculate-experiment comparison for impact pressure

Nozzle Shapes		Cylindrical Nozzle (GPa)	30° Conical Nozzle (GPa)	60° Conical Nozzle (GPa)
source				
Calculation (1.5 - 4.8 cm.)		1.9	3.57	2.57
Experiment	Distance 3 cm.	1.8	3.4	2.5
	Distance 4.5 cm.	1.4	3.3	2

4. Concluding Remarks

A horizontal single-stage powder gun was designed and manufactured for the high-speed liquid jets generation. From the high-speed jet generation, the maximum water jet velocity of 2,292 m/s can be obtained from 30° conical angle nozzle with 7 g of gunpowder. In this study, the PVDF film is used for measuring the impact pressure of the high-speed water jet at four stand-off distance with three nozzle geometries. The maximum impact pressure is 3.4 GPa at 3 cm stand-off distance. These results are compared with the water-hammer pressure equation from comparison, the pressure PVDF sensor was successfully performed to measure dynamics pressure of high-speed water jet. Besides, the impact pressures of water jets depend on the velocities of water jet, while the velocity of water jet depends on nozzle shapes and projectile impact velocity.

Acknowledgments

This research is financially supported by the National Research Council of Thailand (NRCT) through Ubon Ratchathani University Research grant 2007 and Thailand Research Fund (RTF), contract No.RMU5180020.

References

- [1] S.J.Leach, G.L.Walker., 1966, "The application of high speed liquid jets to cutting. Mathematical and Physical Sciences," Vol. 266, pp. 295-310.
- [2] Yoshiaki YAMAUCHI, Hitoshi SOYAMA, Yasunori ADACHI, et al., 1995, "Suitable Region of High-Speed Submerged Water Jets for Cutting and Peening," JSME, Vol. 38, No. 1 pp. 31-38.
- [3] K.Pianthong, A.Matthujak, K.Takayama, et al., 2008, "Dynamic characteristics of pulsed supersonic fuel sprays," Shock Waves, Vol. 18, pp. 1-10.
- [4] K.Pianthong, K.Takayama, B.E.Milton, M.Behnia., 2005, "Multiple pulsed hypersonic liquid diesel fuel jets driven by projectile impact," Shock Waves.
- [5] B.E.Milton, K.Pianthong., 2005, "Pulsed, supersonic fuel jets-A review of their characteristics and potential for fuel injection. Heat and Fluid Flow," Vol. 26, pp. 656-71.
- [6] H.H.Shi, K.Takayama., 1999, "Generation of hypersonic liquid fuel jets accompanying self-combustion," Shock Waves, Vol. 9, pp.327-32.
- [7] Chang Sik Lee, T.Obara, Sung Wook Park., 2002, "An experimental and numerical study on fuel atomization characteristics of high-pressure diesel injection sprays," Fuel, Vol. 81, pp. 2417-23.
- [8] M.J.MATTHEWSON, D.A.Gorhan., 1980, "An oblique impact anomaly in high-velocity liquid impact on glass," journal of materials science, Vol. 15, pp. 1518-20.

- [9] R.C.Dykhuisen, M.F.Smith, D.L.Gilmore, et al., 1999, "Impact of High Velocity Cold Spray Particles," *Journal of Thermal Spray Technology*, Vol. 8, No. 4, pp. 559-64.
- [10] V.Samardzic, E.S.Geskin, G.A.Atanov, et al., 2008, "Investigation of Liquid Impact-Based Macro-, Meso-, and Microforming Processes," *Journal of Materials Engineering and Performance*, Vol.17 No. 3, pp. 302-15.
- [11] N.K.Bourne., 2005, "On Impacting Liquid Jets and Drops onto Polymethylmethacrylate Targets," *The Royal Society*, Vol. 461, pp. 1129-45.
- [12] J.H.Brunton., 1966, "The physics of impact and deformation: Single Impact," *Mathematical and Physical Sciences*, Vol. 260, No. 1110, pp.79-85.
- [13] F.P.Bowden, F.R.S., J.H.Brunton., 1961, "The deformation of solid by liquid impact at supersonic speeds," *Mathematical and Physical Sciences*, Vol. 263, No. 10-15, pp. 433-50.
- [14] N.K.Bourne, T.Obara, J.E.Field., 1997, "High-speed Photography and Stress Gauge Studies of Jet Impact Upon Surfaces," *The Royal Society*, Vol. 355, pp. 607-623.
- [15] N.L.Hancox, J.H.Brunton., 1966, "The Physics of Impact and Deformation: Multiple Impact," *The Royal Society*, Vol 260, pp.121-39.
- [16] F.P.Bowden, F.R.S., J.E.Field., 1964, "The brittle fracture of solid by liquid impact, by solid impact, and by shock," *The Royal Society*, Vol. 282, pp.331-352.
- [17] Wuttichai Sittiwong, Kulachate Pianthong, Wirapan Seehanam, Anirut Matthujak., 2008. "Calibration of High Speed Impact Test Rig," *The Mechanical Engineering Network of Thailand*, Bangkok, Thailand, ISBN 978-974-466-340-5
- [18] A.Sasoh, S.Ohba, K.Takayama., 2000, "Projectile acceleration in a single-stage gun at breech pressures below 50 MPa," *Shock Waves*, Vol. 10, pp. 235-40.
- [19] A.Matthujak, S.H.R.Hosseini, K.Takayama, et al., 2007, "High speed jet formation by impact acceleration method," *Shock Waves*, Vol. 16, pp. 405-19.
- [20] H.H.Shi, H.Sato., 2003, "Comparison-speed liquid jets," *Experiments in Fluids*, Vol. 35, pp. 486-92.
- [21] A.S.Vlasov, E.L.Zilberbrand, A.A.Kozhushko, et al., 2002, "Behavior of Strengthened Glass Under High-Velocity Impact," *Strength of Materials*, Vol. 34, No. 3, pp. 266-268.
- [22] H.H.Shi, J.E.Field., 2004, "Stress waves propagation in solids under high-speed liquid impact," *Science in China*, Vol. 47, No. 6, pp. 752-66.
- [23] J.E.Field., 1966, "Stress waves, deformation and fracture caused by liquid impact," *Mathematical and Physical Sciences*, Vol. 260, No. 6, pp. 86-93.
- [24] H.H.Shi, Kazuyoshi Takayama, Nobuo Nagayasu., 1995, "The measurement of impact pressure and solid surface response in liquid solid impact up to hypersonic range," *WEAR*, Vol. 186-187, pp.352-359.
- [25] N.K.Bourne, T.Obara, J.E.Field., 1996, "The impact and penetration of a water surface by a liquid jet. *The Royal Society*, Vol. 452, pp.1497-1502.
- [26] K.Pianthong, S.Zakrzewski, M.Behnia, B.E.Milton., 2002, "Supersonic liquid jets: Their generation and shock wave characteristics," *Shock Waves*, Vol.7, No. 11, pp. 457-66.

ภาคผนวก ข
ประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติคณะผู้วิจัย

ส่วน ก : ประวัติคณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

- ชื่อ(ภาษาไทย) รศ.ดร. กุลเชษฐ์ เพียรทอง
(ภาษาอังกฤษ) Asst.Prof.Dr. Kulachate PIANTHONG
- หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน 3 3499 00623 07 1
- ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190
Email: K.Pianthong@ubu.ac.th
Telephone: 045-288376-377 Fax: 045-288378

4. ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษาที่จบ	ระดับปริญญา (ตรีโท เอก) และชื่อเต็ม	อักษรย่อปริญญา วิชา	สาขา	วิชาเอก	ชื่อสถาบันการศึกษา	ประเทศ
2535	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	วศ.บ. (เครื่องกล)	วิศวกรรมเครื่องกล	-	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	ไทย
2540	มหาบัณฑิต	M.Eng.Sc. (Mechanical Engineering)	วิศวกรรมเครื่องกล	Refrigeration and Air Conditioning design	The University of New South Wales	Australia
2545	ดุษฎีบัณฑิต	Ph.D. (Mechanical Engineering)	วิศวกรรมเครื่องกล	Combustion	The University	Australia

		Engineering)		hypersoni c jets	of New South Wales	
--	--	--------------	--	---------------------	--------------------------	--

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ: High-speed liquid fuel jets and shock wave characteristics, fuels & engine performance & engine emission, ejector refrigeration
6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ
 - a. Heating-up Behaviour of Rotary Kiln in Cement Plant, TPI Polene Co. Ltd. Saraburi, THAILAND (1994)
 - b. Hyper-velocity impact at Shock Wave Research Research Center, Institute of Fluid Sciences, Tohoku University, Sendai, JAPAN (1998)
 - c. Combustion in Hypersonic Fuel jets at the Internal Combustion Engine Laboratory, The University of New South Wales, Sydney, AUSTRALIA. (1997-2001)
 - d. Supersonic Liquid Fuel Jets at Interdisciplinary Shock Wave Research Center, Institute of Fluid Science, Tohoku University, Japan (during 2001-2004, เดินทางไปร่วมทำวิจัย 7 ครั้ง)
7. บทความวิจัย//ผลงานตีพิมพ์

ผลงานตีพิมพ์ ของ รศ.ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง (เฉพาะบทความวิจัยตีพิมพ์ในวารสาร)

List & Contribution on Kulachate Pianthong's Publications

International Refereed Journal

[1] **K. Pianthong**, S. Zakrzewski, B.E. Milton, and M. Behnia, "Supersonic liquid jets; their generation and shock wave characteristics," Shock Waves Journal, Vol. 11, no. 6, pp. 457-466, 2002. (average impact factor = 0.442, between 2002-2004)

- [2] **K. Pianthong**, S. Zakrzewski, M. Behnia, and B.E. Milton, "Characteristics of impact driven supersonic liquid jets," *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 27 (5), pp. 589-598, 2003. (average impact factor = 0.663, between 2002-2004)
- [3] **K. Pianthong**, B.E. Milton, and M. Behnia, "Generation and shock wave characteristics of unsteady pulsed supersonic liquid jets," *Journal of Atomization and Sprays*, vol. 13, no. 5&6, pp. 475-498, 2003. (average impact factor = 0.512, between 2002-2004)
- [4] S. Zakrzewski, B.E. Milton, **K. Pianthong**, and M. Behnia, "Supersonic liquid fuel jets injected into quiescent air," *International Journal of Heat and Fluid Flow*, Vol. 25, pp 833-840, 2004. (average impact factor = 1.018, between 2002-2004)
- [5] **K. Pianthong (70%)**, K. Takayama (15%), B.E. Milton (10%), and M. Behnia (5%), "Multiple pulsed hypersonic liquid diesel fuel jets driven by projectile impact," *Shock Waves Journal*, Vol. 14, issue 1&2, pp. 73-82, 2005. (average impact factor = 0.442, between 2002-2004)
- [6] B.E. Milton (50%) and **K. Pianthong (50%)**, "Pulsed, supersonic fuel jets - A review of their characteristics and potential for fuel injection," *International Journal of Heat and Fluid Flow*, Vol. 26, issue 4, pp. 656-671, 2005. (average impact factor = 1.018, between 2002-2004)
- [7] **K. Pianthong (60%)**, A. Matthujak (10%), K. Takayama (10%), T. Saito (10%), and B. Milton (10%), "Visualization of supersonic liquid fuel jets," *Journal of Flow Visualization and Image Processing*, Vo. 13, pp. issue. 3, pp. 217-242, 2006 (December) (invited paper & Keynote speaker at PSFVIP5)
- [8] **K. Pianthong*** (65%), W. Seehanam (20%), M. Behnia (5%), T. Sriveerakul (5%), S. Aphornratana (5%), "Investigation and improvement of ejector refrigeration system using computational fluid dynamics technique," *Energy Conversion and Management Journal*, vol. 48, pp. 2556-2564, 2007 (impact factor 2005 = 1.244)
- [9] **K. Pianthong*** (60%), A. Matthujak (15%), K. Takayama (10%), B.E. Milton (10%), and M. Behnia (5%), "Dynamic characteristics of pulsed supersonic sprays," *Shock Waves Journal*, Vo. 18, pp. issue. 1, pp. 1-10, 2006. (Impact factor 2010 = 0.907).

- [10] Nirut Onsalung, Chawalit Thinwongpituk, and **Kulachate Piantong**. "The Influence of Foam Density on Specific Energy Absorption of Rectangular Steel Tubes", *Energy Research Journal (ERJ)*. Vol. 1, issue 2, pp. 135-140, 2010.
- [11] **Kulachate Piantong**, and Prachasanti Thaiyasuit* "Production of Biodiesel from Rubber Seed Oil and Its Effects to Engine Performances" Greater Mekong Sub-region Academic and Research Network (GMSARN) International Journal, Vol. 5, no. 1, pp. 1-10.
- [12] **Kulachate Piantong***, Prachasanti Thaiyasuit, Chayamon Saengmanee, Veerayoot nonchana and Sorawit Nunt-jaruwong "Investigation on Performances of the Engine for the Electrical Power Generator Using Biomass Gases and Biodiesel as Fuels", Greater Mekong Sub-region Academic and Research Network (GMSARN) International Journal, Vol. 5, no. 1, pp. 11-17.
- [13] Ittipon Worapan, **Kulachate Piantong***, Prachasanti Thaiyasuit, "**Optimization for biodiesel production from crude palm oil by ultrasonic irradiation assisted using response surface methodology**," *Journal of Chemical Technology and Biotechnology (JCTB)* (in press) (Impact factor 2010 = 1.818)
- [14] Prachasanti Thaiyasuit, **Kulachate Piantong***, Ittipon Worapan, "**Acid esterification-alkaline transesterification process for methyl ester production from crude rubber seed oil**," *Journal of Oleo Science (JOS)* (in press) (Impact factor 2010= 1.094)
- [15] Ittipon Worapan, **Kulachate Piantong***, Prachasanti Thaiyasuit, "**Two-step biodiesel production from crude *Jatropha curcas* L. oil using ultrasonic irradiation assisted**," *Journal of Oleo Science (JOS)* (manuscript accepted) (Impact factor 2010= 1.094)
- [16] A. Matthujak, C. Kasamnimitporn, W. Sitthinwong, **K. Piantong**, "**Effect of stand-off distance on impact pressure of high speed water jets injected into water**," *Applied Mechanics and Materials*, Vols. 52-54 (Advances in Mechanical Engineering), pp. 1873-1878, 2011. (SJR 2010 = 0.027 equivalent to Impact factor 0.146, powered by SCOPUS).

[17] A. Matthujak, C. Kasamnimitporn, W. Sitthinwong, **K. Pianthong**, “Effects of different liquid properties on the characteristics of impact-generated high speed liquid jets,” Applied Mechanics and Materials, Vols. 110-116 (Mechanical and Aerospace Engineering), pp. 370-376, 2012. (SJR 2010 = 0.027 equivalent to Impact factor 0.146, powered by SCOPUS).

National Refereed Journal

[1] I. Worapun (45%), **K. Pianthong (45%)**, S. Pongstabodee (5%), and D. Soodphakdee (5%) “Performance and Emission Characteristics in Diesel Engine Using Biodiesel from Waste Cooking Oil-Ethanol Blend as a Fuel,” KKU Engineering Journal, Vol. 33, no. 6, pp. 691-705, 2006. (in Thai)

[2] W. Seehanam (45%), **K. Pianthong (40%)**, M. Behnia (5%), T. Sriveerakul (5%), S. Aphornratana (5%), “Investigation on Characteristic of Ejector Refrigeration using CFD,” KKU Engineering Journal, Vol. 33, no. 6, pp. 629-644, 2006. (in Thai)

[3] กุลเชษฐ เพียรทอง กิติพงษ์ เสถียรเสาวภาค อธิพิล วรพันธ์ และ วิระพันธ์ สีหนาม “ความสึกหรอและสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันทอดแล้วเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในระยะยาว” วารสารวิชาการ ม.อบ. (มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี), ปีที่ 10, ฉบับที่ 3, หน้า 45-60, 2550.

[4] อธิพิล วรพันธ์ กุลเชษฐ เพียรทอง และ ประชาสันติ ไตรยสุทธิ “ผลกระทบของอัตราส่วนผสมน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลต่อสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษในเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว” วารสารวิชาการ ม.อบ. (มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี), ปีที่ 10, ฉบับที่ 3, หน้า 61-80, 2550.

[5] กุลเชษฐ เพียรทอง ปรัชญา มุขดา และ วิระพันธ์ สีหนาม “การลดของสัมประสิทธิ์แรงต้าน ในกรณีวิ่งตามกันของรถบรรทุกเล็ก” วารสารวิชาการ ม.อบ. (มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี), ปีที่ 11, ฉบับที่ 1, หน้า 35-52, 2552.

[6] ชญานนท์ แสงมณี กุลเชษฐ์ เพียรทอง พิสิษฐ์ เตชะรุ่งไพศาล อนิรุตต์ มัทธจักร “สมรรถนะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ก๊าซชีววมวลและน้ำมันไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิง” วารสารวิชาการ ม.อบ. มหาวิทยาลัย (อุบลราชธานี, ปีที่ 11, ฉบับที่ 2, หน้า 1-9, 2552).

[7] พิสิษฐ์ เตชะรุ่งไพศาล ธนกร ลีสุวรรณ ชาคริต โพธิ์งาม กุลเชษฐ์ เพียรทอง “ระบบติดตามดวงอาทิตย์สำหรับวัดรังสีแสงอาทิตย์” วารสารวิชาการ ม.อบ. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี (ปีที่ 11, ฉบับที่ 1, หน้า 99-110, 2552).

[8] ปรัชญา मुखดา, กุลเชษฐ์ เพียรทอง, และวิระพันธ์ สีหานาม. “การเพิ่มขึ้นของอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันจากการเปิดกระจกข้างและติดอุปกรณ์เสริมของรถบรรทุกเล็ก,” วารสารราชภัฏเพชรบุรี ปีที่ 7 ฉบับที่ 1: มกราคม-มิถุนายน 2552.

[9] ปรัชญา मुखดา, กุลเชษฐ์ เพียรทอง, และวิระพันธ์ สีหานาม. “การเพิ่มขึ้นของอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันจากการเปิดกระจกข้างและติดอุปกรณ์เสริมของรถบรรทุกเล็ก,” วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ปีที่ 1 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2551.

[10] Ittipon Worapun, **Kulachate Pianthong** and Prachasanti Thaiyasui .Synthesis of biodiesel by two-step transesterification from crude jatropha curcus L.oil using ultrasonic cavitation assisted .KKU Engineering Journal. Volume 37 Number 3, July-September, 2010. pp.169-179

[11] วุฒิชัย สิริวงษ์ กุลเชษฐ์ เพียรทอง วิระพันธ์ สีหานาม อนิรุตต์ มัทธจักร และ ชัยเดช เกษมนิมิตรพร “ผลของอุณหภูมิต่อพฤติกรรมของลำฟุ้งน้ำมันดีเซลความเร็วสูง” วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, ปีที่ 13, ฉบับที่ 2, 2554, หน้า 33-43.

[12] วิลักษณ์นาม ผลเจริญ และ กุลเชษฐ์ เพียรทอง “การปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องยนต์ SI ที่ใช้เชื้อเพลิงเอทานอล (E100) และ เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอลล์ E85, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, ปีที่ 13, ฉบับที่ 2, 2554, หน้า 44-51.

[13] สุพิน จอดนอก กุลเชษฐ์ เพียรทอง และ จริง ดินเชิดชู “คุณลักษณะการเผาไหม้และสมรรถนะของเตาชีววมวลทรงกระบอก”, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, ปีที่ 13, ฉบับที่ 2, 2554, หน้า 52-61.

5. ผลงานวิจัย บทความทางวิชาการ และสิ่งตีพิมพ์

5.1 ประชุมวิชาการระดับชาติ

- [1] ประชาสันติ ไตรยสุทธิ 2547, "Effect of Ethanol-Gasoline Fueled on Combustion Characteristics for SI Engine" การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18
- [2] กุลเชษฐ เพียรทอง อธิพิพล วรพพันธ์ ประชาสันติ ไตรยสุทธิ พิศาล สมบัติวงศ์ มงคล สุดเสนห์ 2548, "การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วขนาด 150 ลิตร ต่อรอบการผลิต และการใช้งานกับเครื่องยนต์ขนาดเล็ก", การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 1
- [3] ประชาสันติ ไตรยสุทธิ, กุลเชษฐ เพียรทอง, ไพบุลย์ เสถียรรัมย์, ทองคำ กิริยะ และ อธิพิพล วรพันธ์ 2549, "การผลิตน้ำมัน Bio diesel จากน้ำมันพืชใช้แล้ว และศึกษาผลกระทบต่อเครื่องยนต์" การประชุมวิชาการ ม.อบ.วิจัย ครั้งที่ 1
- [4] ประชาสันติ ไตรยสุทธิ, กุลเชษฐ เพียรทอง, พิสิษฐ์ เตชะรุ่งไพศาล, ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์ และ อธิพิพล วรพันธ์ 2550, "สมรรถนะและมลพิษจากไอเสียของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดเมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากเมล็ดยางพารา" ประชุมสัมมนาวิชาการ วิศวกรรมยานยนต์ ครั้งที่ 3
- [5] ประชาสันติ ไตรยสุทธิ, กุลเชษฐ เพียรทอง, พิสิษฐ์ เตชะรุ่งไพศาล, ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์ และ อธิพิพล วรพันธ์ 2550, "การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดยางพาราโดยวิธี กรด-เอสเทอร์รีฟิเคชัน และ ค้าง-ทรานเอสเทอร์รีฟิเคชัน" การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3
- [6] ประชาสันติ ไตรยสุทธิ, กุลเชษฐ เพียรทอง และ อธิพิพล วรพันธ์ 2550, "สมรรถนะและสมดุลทางความร้อนของเครื่องยนต์ดีเซล 1 สูบที่ใช้ไบโอดีเซลจากเมล็ดยางพารา" การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21
- [7] ประชาสันติ ไตรยสุทธิ, กุลเชษฐ เพียรทอง, พิสิษฐ์ เตชะรุ่งไพศาล, ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์ และ อธิพิพล วรพันธ์ 2550, "การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดยางพาราด้วยวิธี ทรานเอสเทอร์รีฟิเคชันแบบ 2 ขั้นตอน" การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21
- [8] ประชาสันติ ไตรยสุทธิ, และ กุลเชษฐ เพียรทอง 2552, "คุณลักษณะการสเปรย์ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซล" การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 5
- [9] ัญฐพล ศิริสวัสดิ์, ประชาสันติ ไตรยสุทธิ และ กุลเชษฐ เพียรทอง 2554, "การใช้เอทานอลเป็นสารหน่วงจังหวะเริ่มต้นการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ CI ขนาดเล็กเมื่อใช้ปาล์มไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงหลัก" การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25



[10] พิศาล สมบัติวงศ์ **ประชานติ ไตรยสุทธิ** และ กุลเชษฐ เพียรทอง 2554, “คุณลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วมน้ำมันดีเซล-ก๊าซชีววมวล” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25

[11] Ittipon Worapun, Kulachate Pianthong and **Prachasanti Thaiyasuit** 2554, “Ultrasonic irradiation assisted synthesis of biodiesel from crude palm oil using response surface methodology (RSM)” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25

5.2 วารสารวิชาการระดับชาติ

[1] อธิพิณ วรพันธ์, กุลเชษฐ เพียรทอง และ **ประชานติ ไตรยสุทธิ** 2551, “ผลกระทบของอัตราส่วนผสมน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอลต่อสมรรถนะและการปล่อยมลพิษในเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว” วารสารวิชาการ ม.อบ. ปีที่ 10 ฉบับที่ 3, 61-80 หน้า.

[2] Ittipon Worapun, Kulachate Pianthong and **Prachasanti Thaiyasui**. Synthesis of biodiesel by two-step transesterification from crude jatropha curcus L.oil using ultrasonic cavitation assisted. KKU Engineering Journal. Volume 37 Number 3, July-September, 2010. pp.169-179.

[3] Ittipon Worapun, **Prachasanti Thaiyasuit** and Kulachate Pianthong, 2554, “Ultrasonic irradiation assisted synthesis of biodiesel from crude palm oil using response surface methodology” วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปีที่ 6 ฉบับที่ 1.

5.3 International Conferences

[1] **P. Thaiyasuit**, K. Pianthong, P. Techarungpaisan, C. Thinwongpituk, I. Worapun. 2007, “PRODUCTION OF BIODIESEL FROM RUBBER SEED OIL AND ENGINE PERFORMANCE TESTS” The 9th Asian International Conference on Fluid Machinery, Jeju, Korea.

[2] K. Pianthong, **P. Thaiyasuit**, C. Saengmanee, V. Nonchana, S. Nunt-jaruwong. 2009, “Investigation on performances of the engine for the electrical power generator using biomass gases and biodiesel as fuels” The 4th GMSARN International Conference, Ha Long, Vietnam.

[3] K. Pianthong, **P. Thaiyasuit**. 2009. “Acid esterification-alkaline transesterification process for methyl ester production from crude rubber seed oil and its performances in CI engine” The 4th GMSARN International Conference, Ha Long, Vietnam.

[4] I. Worapun, K. Pianthong, **P. Thaiyasuit**, C. Thinvongpituk. 2009. "Effect on the use of ultrasonic cavitation for biodiesel production from crude *jatropha curcas L.* seed oil with a high content of free fatty acid" Fourth International Conference on Experimental Mechanics, Singapore, Singapore.

5.4 International Journals

[1] K. Pianthong, **P. Thaiyasuit**, C. Saengmanee, V. Nonchana, S. Nunt-jaruwong. 2011, "Investigation on performances of the engine for the electrical power generator using biomass gases and biodiesel as fuels" GMSARN International Journal, 5(1), 1-10.

[2] K. Pianthong, **P. Thaiyasuit**. 2011. "Acid esterification-alkaline transesterification process for methyl ester production from crude rubber seed oil and its performances in CI engine" GMSARN International Journal, 5(2), 1-10.

[3] I. Worapun, K. Pianthong and **P. Thaiyasuit**. 2011, "Optimization of biodiesel production from crude palm oil using ultrasonic irradiation assistance and response surface methodology". Journal of Chemical Technology and Biotechnology. Article first published online: 14 JUN 2011 DOI: 10.1002/jctb.2679 .

[4] **P. Thaiyasuit**, K. Pianthong and I. worapun. 2012. "Acid esterification-alkaline transesterification process for methyl ester production from crude rubber seed oil" Journal of oleo science, 61(2).

[5] I. worapun, K. Pianthong and **P. Thaiyasuit**. 2012. "Two-step biodiesel production from crude *jatropha curcas L.* oil using ultrasonic irradiation assisted" Journal of oleo science, 61(4).

[6] **P. Thaiyasuit**, K. Pianthong and B. milton. 2012. "Combustion efficiency and performance of RSO biodiesel as alternative fuel in a single cylinder CI engine" Energy exploration and exploitation, 30.

6. ประวัติการทำงาน

- ปี พ.ศ. 2536-2537: วิศวกร บริษัท Fujitsu (Thailand) Ltd.
- ปี พ.ศ. 2541-2547: อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- ปี พ.ศ. 2547-ปัจจุบัน: อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

.....

ผู้ร่วมวิจัย

- ชื่อ (ภาษาไทย) ผศ.ดร.ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์
(English) (Asst.Prof.Dr. Chawalit THINVONGPITUK)
- หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน 3 3497 00058 141
- ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ระดับ 8
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
โทรศัพท์ 045 288400 ต่อ 3380, 3382 โทรสาร 045 353 333

4. ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษาที่จบ	ระดับปริญญา (ตรีโท เอก) และชื่อเต็ม	อักษรย่อปริญญา วิชา	สาขา	วิชาเอก	ชื่อสถาบันการศึกษา	ประเทศ
2539	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	วศ.บ. (เครื่องกล) (เกียรตินิยม อันดับ 2)	วิศวกรรม เครื่องกล	-	มหาวิทยาลัย อุบลราชธานี	ไทย
2545	ดุษฎีบัณฑิต	Ph.D. (Mechanical Engineering)	Mechanical Engineering	-	University of Manchester Institute of Science and Technology (UMIST)	สหราชอาณาจักร

5. ผลงานวิจัย บทความทางวิชาการ และสิ่งตีพิมพ์

Book Contribution

1. **Chawalit Thinvongpituk** and Somya Poonaya. "A study of the ovalisation of circular tubes subjected to pure bending" in Current Themes in Engineering Science 2008, American Institute of Physics (AIP), 2009, London, England, p129-140

International Journal

1. **C Thinvongpituk** and V. Chomkwah "Experimental and Numerical Studies on the Behavior of Cylindrical and Conical Shells with Varying Thickness Along the Length Subjected to Axial Compression" Global Journal of Researcher in Engineering (GJRE), 10(4), August 2010, p 92-100
2. Nirut Onsalung, **Chawalit Thinvongpituk** and Kulachate Painthong "The influence of foam density on specific energy absorption of rectangular steel tubes" Energy Research Journal, 1(2), 2010, p 135-140
3. S. Poonaya, **C. Thinvongpituk** "Plastic collapse analysis of thin-walled circular tubes subjected to bending" Thin-Walled Structures, 2009, 47 p 637-645
4. Somya Poonaya, **Chawalit Thinvongpituk** and Umphisak Teeboonma "An analysis of collapse mechanism of thin-walled circular tubes subjected to bending" International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering, 2007, 1(3), p 144-149
- 5.

International Conferences

1. **C. Thinvongpituk**, A. Bootwong and Y. Watanabe "The effect of axial force and contact angle on the welded area of plastic tube welded by ultrasonic welding" 4th International Conference on Experimental Mechanics 2009, 18-20 November 2009, Holiday Inn Atrium Hotel, Singapore
2. Nirut Onsalung, **Chawalit Thinvongpituk** and Kulachate Painthong "Crush Characteristic of Foam-Filled Steel Tubes" 4th International Conference on Experimental Mechanics 2009, 18-20 November 2009, Holiday Inn Atrium Hotel, Singapore

3. Ittipon Worapun, Kulachate Painthong Prachasanti Thaiyasuit and **Chawalit Thinwongpituk** "Effect on the Use of Ultrasonic Cavitation for Biodiesel Production from Crude Jatropha Curcas L. Seed Oil with a High Content of Free Fatty Acid" 4th International Conference on Experimental Mechanics 2009, 18-20 November 2009, Holiday Inn Atrium Hotel, Singapore
4. Nirut Onsalung, **Chawalit Thinwongpituk** and Kulachate Painthong "The Influence of Foam Density on the Specific Energy Absorption of Rectangular Steel Tubes" International Conference on Science, Technology and Innovation for Sustainable Well-Being (STISWB 2009), 23-24 July 2009, Pullman Raja Orchid Hotel, Khon Kaen, Thailand
5. **C. Thinwongpituk**, S. Poonaya, S. Choksawadee and M. Lee "The Ovalisation of Thin-walled Circular Tubes Subjected to Bending" The 2008 International Conference of Mechanical Engineering, 2-4 July, 2008, London, U.K.
6. P. Thaiyasuit, K. Pianthong, P. Techarungpaisan, **C. Thinwongpituk**, and I. Worapun "Production of biodiesel from rubber seed oil and engine performance tests," The 9th Asian International Conference of Fluid Machinery, 16-19 October 2007, Jeju Island, South Korea,
7. P. Swatdepan, U. Teeboonma, **C. Thinwongpituk**, "Study of performance improvement of air condition by heat recovery", An International Conference on Energy for Sustainable Development, Phuket, 1-3 March 2006.
8. **C Thinwongpituk**, V Chomkwah "Crush characteristic of conical shell with varying thickness" 8th Asian Symposium on Visualization, 23-27 May 2005, Chaing Mai, Thailand
9. **C Thinwongpituk**, H. El-Sobky "Buckling of axially compressed conical shells of linearly variable thickness" The 2nd MIT Conference on Computational Fluid Dynamics and Solid Mechanics, June 17-20, 2003, MIT, USA
10. **C Thinwongpituk**, H. El-Sobky "The effect of end conditions on the buckling load characteristic of conical shells subjected to axial loading" The ABAQUS Users' Conference Proceedings, 2003 June 4-6, 2003, Munich, Germany.

6.2 ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในระดับชาติ

National Journal

1. สุรัชย์ จันทรชนะ และ ขวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์ “อิทธิพลของเวลาเสียดทานและมุมหน้าสัมผัสในการเชื่อมท่อพลาสติกกลมชนิดพอลิเอทิลีนด้วยความเสียดทาน” วารสารวิศวกรรมสาร มข. 38(2), April-June 2011
2. ช่วงชัย ชูปวา และ ขวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์ “อิทธิพลของเวลาในการเสียดทานและความเร็วรอบในการเสียดทานที่มีผลต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อมของเหล็ก AISI 1015 ที่เชื่อมเสียดทาน” วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ปีที่ 13 ฉบับที่ 1, ม.ค. – มี.ค. 2554 หน้า 73-81
3. ช่วงชัย ชูปวา และ ขวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์ “อิทธิพลของเวลาในการเสียดทานที่มีผลต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อมของเหล็ก AISI 1015 ที่เชื่อมด้วยความเสียดทาน” วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. ปีที่ 3 ฉบับที่ 2, ก.ค. – ธ.ค. 2553
4. ปิยะวุฒิ ป้องเพชร, นิรุต อ่อนสูง และ ขวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์ “การศึกษาคุณลักษณะการเสียหายของเหล็กกล่องที่เติม โฟมโพลียูรีเทนภายใต้แรงกด” วารสารวิศวกรรมสาร มข., ปีที่ 37 ฉบับที่ 2, เม.ย.-มิ.ย. 2553, หน้า 101-108
5. อติศักดิ์ บุตรวงษ์, สุรสิงห์ อารยางค์กูร และ ขวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์ “ปัจจัยที่มีผลต่อการเชื่อมท่อพลาสติกกลมด้วยอุลตราโซนิก” วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, ปีที่ 11 ฉบับที่ 2, พฤษภาคม-สิงหาคม 2552
6. สุรสิงห์ อารยางค์กูร อติศักดิ์ บุตรวงษ์ และ ขวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์ “การศึกษาคุณสมบัติของรอยเชื่อมของเหล็กกลมที่เชื่อมด้วยความเสียดทาน” วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, ปีที่ 11 ฉบับที่ 1, ม.ค.-เม.ย. 2552, หน้า 83-89
7. นิรุต อ่อนสูง ขวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์ และ อำไพศักดิ์ ทีบุญมา “การศึกษาความสามารถการดูดซับพลังงานของแบบจำลองโครงสร้างด้านข้างของรถยนต์โดยสารภายใต้การชน” วิศวกรรมสาร มข. , ปีที่ 34 ฉบับที่ 3 เดือน พฤษภาคม – มิถุนายน 2550, หน้า 343-354

National Conferences

1. ช่วงชัย ชูปวา, **ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์** และสุริยา โชคสวัสดิ์ “อิทธิพลของความเร็วยรอบในการเสียดทานที่มีผลต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อมที่เชื่อมด้วยความเสียดทานภายใต้การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรอื่นๆ” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 24, 20-22 ตุลาคม 2553, โรงแรมสุนีย์แกรนด์ไฮเทล แอนคอนเวนชัน เซ็นเตอร์ อุบลราชธานี
2. ปิยะวุฒิ ป็องเพชร, นิรุต อ่อนสูง และ **ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์** “อิทธิพลของความหนาแน่นของโฟมต่อความสามารถในการรับแรงกดของท่อเหล็กกลมที่เติมโฟม” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 24, 20-22 ตุลาคม 2553, โรงแรมสุนีย์แกรนด์ไฮเทล แอนคอนเวนชัน เซ็นเตอร์ อุบลราชธานี
3. ธาณี ทุมประเสน, ช่วงชัย ชูปวา, **ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์** และสุชอังคณา ลี “การศึกษาสมบัติทางกลของรอยเชื่อมแบบความเสียดทานต่อเหล็กกล้าผสมต่ำและไร้สนิม” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 24, 20-22 ตุลาคม 2553, โรงแรมสุนีย์แกรนด์ไฮเทล แอนคอนเวนชัน เซ็นเตอร์ อุบลราชธานี
4. สุระชัย จันทร์ชนะ และ **ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์** “การศึกษาการเชื่อมต่อพลาสติกกลมชนิด Polyethylene ด้วยวิธีความเสียดทาน” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 24, 20-22 ตุลาคม 2553, โรงแรมสุนีย์แกรนด์ไฮเทล แอนคอนเวนชัน เซ็นเตอร์ อุบลราชธานี
5. อติศักดิ์ บุตรวงษ์, **ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์** และ Yuji Watanabe “ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดรอยเชื่อมท่อพลาสติกกลมด้วยอุลตราโซนิก” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 24, 20-22 ตุลาคม 2553, โรงแรมสุนีย์แกรนด์ไฮเทล แอนคอนเวนชัน เซ็นเตอร์ อุบลราชธานี
6. สุรสิงห์ อารยางกูร, **ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์** และชูชาติ พยอม “คุณลักษณะของโครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อมของเหล็กกลมคาร์บอนต่ำที่เชื่อมด้วยความเสียดทาน” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 23, 4-7 พฤศจิกายน 2552, โรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิ้ง เชียงใหม่
7. ช่วงชัย ชูปวา และ **ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์** “การศึกษาอิทธิพลของเวลาในการเสียดทานและแรงดันในการอัดที่มีผลต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อม” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 23, 4-7 พฤศจิกายน 2552, โรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิ้ง เชียงใหม่
8. สุรสิงห์ อารยางกูร และ **ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์** “การเชื่อมเหล็กกลมด้วยความเสียดทาน” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22, 15-17 ตุลาคม 2551, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

9. สุรสิงห์ อารยางกูร และ ขวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์ “อิทธิพลของแรงดันเสียดทานต่อคุณสมบัติของเหล็กที่เชื่อมด้วยความเสียดทาน” การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ครั้งที่ 2 28-29 กรกฎาคม 2551, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี
10. นิรุต อ่อนสูง ขวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์ และณรงค์ หุชัยภูมิ “การศึกษาการดูดซับพลังงานของแผงโครงสร้างด้านข้างที่ต่อสลับกับโครงสร้างหลังคาของรถยนต์โดยสารภายใต้ภาระการชนในแนวแกน” การประชุมสัมมนาทางวิชาการ ราชชมงคลอีสานวิชาการ ครั้งที่ 1, 9-11 มกราคม 2551, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน, นครราชสีมา
11. นิรุต อ่อนสูง ขวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์ และ ชาคริต โพธิ์งาม “การศึกษาความสามารถในการดูดซับพลังงานจากการชนของโครงสร้างหลังการถยนต์โดยสาร จากการต่อเสริมด้วยเหล็กที่มีหน้าตัดต่างกัน” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21, 17-19 ตุลาคม 2550, โรงแรมเวลคัม จอมเทียน บีช, พัทยา, ชลบุรี
12. P. Triyasuti, K. Pianthong, P. Techarungpaisan, **C. Thinvongpituk** and I. Worapun “Performances and exhaust gas emission of CI engine using biodiesel from rubber seed oil” The 3rd National Conference on Automotive Engineering, 2 April 2007, Bangkok.
13. P. Thaiyasuit, K. Pianthong, P. Techarungpaisan, **C. Thinvongpituk**, and I. Vorapun, “Production of biodiesel from rubber seed oil by acid-esterification and alkaline-transesterification method,” Proceedings of the 3rd Annual Conference of Energy Network of Thailand (E-Nett) , 23-25 May 2007, Baiyok Sky Hotel, Bangkok
14. P. Thaiyasuit, K. Pianthong, P. Techarungpaisan, **C. Thinvongpituk**, and I. Worapun, “Production of biodiesel from unrefined Para rubber seed oil by 2 step transesterification method” Proceeding of the 21st Annual Conference on Mechanical Engineering Network of Thailand (ME NETT 21st), 17-19 October 2007, Welcome Jomtien Beach Hotel, Chonburi
15. อติศักดิ์ บุตรวงษ์ และ ขวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์ “กราฟช่วยออกแบบหัวเชื่อมอุตสาหกรรมเครื่องจักรกล” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20, 18-20 ตุลาคม 2549, โรงแรมแมนดาริน โกลเดนวัลเลย์ โฮเต็ลแอนด์รีสอร์ท, ปากช่อง, นครราชสีมา
16. นิรุต อ่อนสูง ขวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์ และชาคริต โพธิ์งาม “การศึกษาความสามารถในการดูดซับพลังงานของโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสารภายใต้แรงกด แรงบิดและแรงดัด” การประชุมวิชาการ

เครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20, 18-20 ตุลาคม 2549, โรงแรมแมนดาริน โกลเดนวัลเลย์ ไฮเต็ลแอนด์รีสอร์ท, ปากช่อง, นครราชสีมา

17. นิรุต อ่อนสูง, ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์ และ อำไพศักดิ์บุญญา “การศึกษาผลตอบสนองต่อการกดของโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสาร” การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 19, 19-21 ตุลาคม 2548, โรงแรม เดอะ รอยัล พาราไดซ์, ภูเก็ต
18. Somya Poonaya, **Chawalit Thinvongpituk** and Umpaisak Teeboonma “Some analytical methods of plastic collapse of circular steel tube under quasi-static axial compression” the 19th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand, 19-21 October 2005, Phuket, Thailand
19. ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์ และ กุลเชษฐ เพียรทอง “การกระจายตัวของอุณหภูมิในเตาเผาเครื่องปั้นดินเผาที่ใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง” การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 1, 11-13 พฤษภาคม 2548 โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ ซิตี้ จอมเทียน จังหวัดชลบุรี
20. P. Swatdepan, U. Teeboonma, **C. Thinvongpituk**, “Performance improvement of air condition by heat recovery”, Proceedings of the 19th Annual conference of Mechanical Engineering Network of Thailand, Phuket, 19-21 October, 2005, paper no. ETM023.
21. P. Swatdepan, U. Teeboonma, **C. Thinvongpituk**, “Performance improvement of air condition by water condensing from evaporator”, Proceedings of the 1st Annual Conference of Energy Network of Thailand (E-Nett) , Pattaya City, 11-13 May, 2005, paper no. ECB06.
22. **C Thinvongpituk**, P. Techarungpaisarn, H. El-Sobky “Buckling of axially compressed conical shells of linearly variable thickness using structural model” Proceedings of the 17th Annual conference of Mechanical Engineering Network Thailand, 15-17 October, 2003.
23. **C Thinvongpituk**, H. El-Sobky “The buckling load characteristic of conical shells under various end conditions” Proceedings of the 17th Annual conference of Mechanical Engineering Network Thailand, 15-17 October, 2003.

.....

ผู้ช่วยนักวิจัย

1. ชื่อ (ภาษาไทย) นายวุฒิชัย สิทธีวงษ์
(ภาษาอังกฤษ) Mr.Wuttichai Sittiwong
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3 6399 00087 754
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์
โทรศัพท์ 044 153093 โทรสาร 044 153093

4. ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษาที่จบ	ระดับปริญญา (ตรีโท เอก) และชื่อเต็ม	อักษรย่อปริญญา วิชา	สาขา	วิชาเอก	ชื่อสถาบันการศึกษา	ประเทศ
2539	ครุศาสตร์ อุตสาหกรรมบัณฑิต	คอ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล)	วิศวกรรมเครื่องกล	-	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล จ.เทพารักษ์	ไทย
2546	ครุศาสตร์ อุตสาหกรรม มหาบัณฑิต	คอ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล)	วิศวกรรมเครื่องกล		ม.เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	

5. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

- วิทยานิพนธ์ เรื่อง สมรรถนะระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ความร้อนทิ้งจากไอเสียเครื่องยนต์
- การพัฒนาเครื่องกลั่นเชื้อเพลิงเอทานอล โดยใช้ความร้อนทิ้งจากไอเสียเครื่องยนต์เล็กเพื่อการเกษตร

6. ผลงานวิจัย บทความทางวิชาการ และสิ่งตีพิมพ์

- [1] **Wuttichai Sittiwong**, Wirapan Seehanam, Kulachate Pianthong, Anirut Matthujak, and Eric Yeo. "Calibration of High Speed Impact Test Rig", Proceedings of the 22nd Annual Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand. AME-05; 15-17 October, 2008.
- [2] Wirapan Seehanam, **Wuttichai Sittiwong**, Kulachate Pianthong, and Anirut Matthujak "Simulation on fundamental characteristic of high speed fuel jet", Proceedings of the 21st Annual Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand. CST-45; 17-19 October, 2007.
- [3] **Wuttichai Sittiwong**, Wirapan Seehanam, Kulachate Pianthong, and Anirut Matthujak. "Impact pressure of high-speed water jets", Proceedings of the 23rd Annual Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand. TSF-030232; 4-7 November, 2008.
- [4] Wirapan Seehanam, **Wuttichai Sittiwong**, Kulachate Pianthong, Anirut Matthujak.. "Investigation on high speed liquid jet using computational fluid dynamics technique". Proceedings of the 23rd Annual Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand. CST-035222; 4-7 November, 2008.
- [5] **Wuttichai Sittiwong**, Wirapan Seehanam, Kulachate Pianthong, and Anirut Matthujak. "Effect of stand-off distance on impact pressure of high speed water jets", Proceedings of the 10th Asian International Conference on Fluid Machinery (10th AICFM). AICFM0171; 21-23 October, 2008, Malaysia.
- [6] วุฒิชัย สิทธิวงษ์ กุลเชษฐ เพียรทอง วิระพันธ์ สีหนาม อนิรุตต์ มัทธูจักษ์ และชัยเดช เกษมนิมิตรพร "ผลของอุณหภูมิต่อพฤติกรรมของลำพุน้ำมันดีเซลความเร็วสูง" วารสารวิชาการ ม.อบ. (มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี), ปีที่ 13, ฉบับที่ 2, 2554.
- [7] วุฒิชัย สิทธิวงษ์, วิระพันธ์ สีหนาม, กุลเชษฐ เพียรทอง, อนิรุตต์ มัทธูจักษ์ และชัยเดช เกษมนิมิตรพร. 2553. ผลของอุณหภูมิที่มีต่อคุณลักษณะของลำพุน้ำมันเชื้อเพลิงความเร็วสูง. การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24, 20 – 22 ตุลาคม 2553; อุบลราชธานี.มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. Paper no. TSF 25.
- [8] วุฒิชัย สิทธิวงษ์, วิระพันธ์ สีหนาม, กุลเชษฐ เพียรทอง, อนิรุตต์ มัทธูจักษ์ และชัยเดช เกษมนิมิตรพร. 2553. ผลของอุณหภูมิและความดันที่มีต่อคุณลักษณะของลำพุน้ำมันดีเซลความเร็วสูง. การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24, 20 – 22 ตุลาคม 2553; อุบลราชธานี. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. Paper no. TSF 20.

2546	วิศวกรรมศาสตร มหาบัณฑิต	วศ.ม. (วิศวกรรมเค รื่องกล)	วิศวกรรม เครื่องกล	-	คณะ วิศวกรรมศาสตร มหาวิทยาลัย อุบลราชธานี	ไทย
------	----------------------------	----------------------------------	-----------------------	---	--	-----

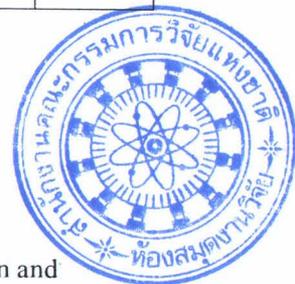
5. บทความทางวิชาการ

5.1 International refereed journal

[1] K. Pianthong, **W. Seehanam**, M. Behnia, T. Sriveerakul, S. Apornratana, "Investigation and improvement of ejector refrigeration system using computational fluid dynamics technique," Energy Conversion and Management Journal, 2007;48:2556-2564 (impact factor 2005 = 1.244.)

5.2 International Refereed conference

- [1]. K. Pianthong, **W. Seehanam**, K. Chunnanond, S. Aphornratana, M. Behnia, "Prediction of performance and flow behavior of steam ejector using computational fluid dynamics techniques," Proceedings of the 8th Annual National Symposium on Computational Science and Engineering (ANSCSE8), at Nakorn Ratchaseema, Thailand , 21-23 July 2004, paper no. CFDM-028.(International)
- [2] **W. Seehanam**, K. Sahumin, K. Pianthong and M. Behnia, "Prediction of flow characteristic and performance of steam ejector in refrigeration cycle using CFD," Proceedings of the 8th Asian Symposium on Visualization (8ASV), 23-27 May. 2005, Chiangmai, Thailand. (Inter national)
- [3] K. Pianthong, **W. Seehanam**, and A. Matthujak 'Investigation on Supersonic Kerosene Jets' Proceedings of The 9th Asian International Conference on Fluid Machinery, Jeju, Korea, 2007, paper no. AICFM9-188 (International)
- [4] W. Sittiwong, **W. Seehanam**, K. Pianthong, and A. Matthujak. "Effect of stand-off distance on impact pressure of high speed water jets", Proceedings of the 10th Asian International Conference on Fluid Machinery (10th AICFM). AICFM0171; 21-23 October, 2008, Malaysia



[5] **W. Seehanam**, K. Pianthong and W. Sittiwong. “Dynamic Characteristics of Impact Driven Jet in a Step Nozzle” Proceedings of The First TSME International Conference on Mechanical Engineering 20-22 October, 2010, Ubon Ratchathani, Thailand, Paper no.CST003

[6] W. Sittiwong, **W. Seehanam**, K. Pianthong, A. Matthujak and C. Kasamnimitporn. “Effect of temperature and pressure on characteristics of high speed diesel jets”, Proceedings of the first TSME International Conference on Mechanical Engineering, 20-22 October, 2010, Ubon Ratchathani Paper no. TSF 014

[7] K. Pianthong, W. Sittiwong, **W. Seehanam**, A. Matthujak and C. Kasamnimitporn. “Effect of test chamber conditions on high speed fuel jets behaviors”, International Conference on Experimental Mechanics 2010 (ICEM 2010), 29 November -1 December, 2010, Legend Hotel, Kuala Lumpur, Malaysia Paper no. TSF 014

5.3 National refereed journal

[1] วิระพันธ์ สีหนาม, กุลเชษฐ เพียรทอง, Masud Behnia, ธนรัฐ ศรีวิระกุล และ ศรัทธา อภรณ์รัตน์. ‘การศึกษาและพัฒนาระบบทำความเย็นแบบฮีตเตอร์โดยใช้วิธีเชิงตัวเลขสำหรับการไหล’, วิศวกรรมสาร มข. ปีที่ 33 ฉบับที่ 6 2550. pp. (639-654)

[2] กุลเชษฐ เพียรทอง, กิตติพงษ์ เสถียรเสาวภาคย์, อธิพล วรพันธ์ และ วิระพันธ์ สีหนาม. “ความสึกหรอและสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันทอดแล้วเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในระยะเวลา” วารสารวิชาการ ม.อบ. ปีที่ 10 ฉบับที่ 3 2551 pp. 45- 60.

[3] กุลเชษฐ เพียรทอง, ปรัชญา มุขดา และ วิระพันธ์ สีหนาม. “การลดลงของสัมประสิทธิ์แรงต้าน ในกรณีวิ่งตามกันของรถบรรทุกเล็ก” วารสารวิชาการ ม.อบ. ปีที่ 11 ฉบับที่ 1 2552 pp. 35- 52.

[4] วุฒิชัย สิทธิวงษ์ กุลเชษฐ เพียรทอง วิระพันธ์ สีหนาม อนิรุตต์ มัทธจักร์ และชัยเดช เกษมนนิมิตพร “ผลของอุณหภูมิต่อพฤติกรรมของลำพ่นน้ำมันดีเซลความเร็วสูง” วารสารวิชาการ ม.อบ. (มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี), ปีที่ 13, ฉบับที่ 2, 2554.

5.4 National refereed conferences

[1] **W. Seehanam**, K. Pianthong, M.Behnia, K. Chunnanond, and S. Aphornratana, “Simulation on performance of CPM and CRMC steam ejectors using CFD technique,” Proceedings of the 18th Annual

Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand, Khonkaen, 18-20 October, 2004, paper no. CST29. (National)

[2] **W. Seehanam**, K. Pianthong, T. Sriveerakul, S. Aphornratana, and M. Behnia, "Design and test of CRMC steam ejector in refrigeration system," Proceedings of the 19th Annual conference of Mechanical Engineering Network of Thailand, Phuket, 19-21 October, 2005, paper no. CST043. (National)

[3] ปรัชญา มุขดา, กุลเชษฐ์ เพียรทอง และ วิระพันธ์ สีหานาม 'อากาศพลศาสตร์เพื่อการประหยัดงาน สำหรับรถยนต์บรรทุกขนาดเล็กโดยวิธีจำลองเชิงตัวเลข' Proceedings of the 21th Annual conference of Mechanical Engineering Network of Thailand, Chonburi, 16 - 18 October, 2005, paper no. CST031. (National)

[4] ปรัชญา มุขดา, กุลเชษฐ์ เพียรทอง และ วิระพันธ์ สีหานาม 'การลดลงของสัมประสิทธิ์แรงต้าน ในกรณีวิ่งตามกันของรถบรรทุกเล็ก' Proceedings of the 22th Annual conference of Mechanical Engineering Network of Thailand, Phatutani, 15 - 17 October, 2005, paper no. CST024. (National)

[5] วุฒิชัย สิทธิวงษ์, วิระพันธ์ สีหานาม, กุลเชษฐ์ เพียรทอง, อนิรุตต์ มัทธูจกร และ Eric Yeo. 'การเปรียบเทียบชุดทดลองสำหรับการศึกษาการกระแทกความเร็วสูง' Proceedings of the 22th Annual conference of Mechanical Engineering Network of Thailand, Phatutani, 15 - 17 October, 2005, paper no. AME005. (National)

[6] **W. Seehanam**, W. Sittiwong, K. Pianthong, and A. Matthujak 'Simulation on fundamental characteristic of high speed fuel jet' Proceedings of the 21th Annual conference of Mechanical Engineering Network of Thailand, Chonburi, 16 - 18 October, 2005, paper no. CST045. (National)

[7] Wuttichai Sittiwong, **Wirapan Seehanam**, Kulachate Pianthong, and Anirut Matthujak. "Impact pressure of high-speed water jets", Proceedings of the 23rd Annual Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand. TSF-030232; 4-7 November, 2008

[8] **Wirapan Seehanam**, Wuttichai Sittiwong, Kulachate Pianthong, Anirut Matthujak.. "Investigation on high speed liquid jet using computational fluid dynamics technique". Proceedings of the 23rd Annual Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand. CST-035222; 4-7 November, 2008

[9] วุฒิชัย สิทธิวงษ์, วิระพันธ์ สีหานาม, กุลเชษฐ์ เพียรทอง, อนิรุตต์ มัทธูจกร และชัยเดช เกษมนิมิตรพร .2553. ผลของอุณหภูมิที่มีต่อคุณลักษณะของลำพ่นน้ำมันเชื้อเพลิงความเร็วสูง. การประชุมเครือข่าย

วิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24, 20 – 22 ตุลาคม 2553; อุบลราชธานี.มหาวิทยาลัย
อุบลราชธานี. Paper no. TSF 25.

[10] วุฒิชัย สิริวงษ์, วิระพันธ์ สีหนาม, กุลเชษฐ์ เพียรทอง, อนิรุตต์ มัทธจักร์ และชัยเดช เกษมนนิมิตพร.
2553. ผลของอุณหภูมิและความดันที่มีต่อคุณลักษณะของลำฟุ้งน้ำมันดีเซลความเร็วสูง.การประชุม
เครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24, 20 – 22 ตุลาคม 2553; อุบลราชธานี.มหาวิทยาลัย
อุบลราชธานี. Paper no. TSF 20

.....

ภาคผนวก ค

ความเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ

เลขที่	1731
วันที่	27 เม.ย. 2554
เวลา	16.00 น.



บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ โครงการจัดตั้งกองส่งเสริมการวิจัยฯ สำนักงานอธิการบดี โทรศัพท์ ๑๓๕๙

ที่ ศธ ๐๕๒๙.๑.๔/ ๕๕๙

วันที่ 25 เม.ย. 2554

เรื่อง ผลการพิจารณาร่างรายงานการวิจัย

เรียน คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

ตามที่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ได้ส่งร่างรายงานผลการวิจัย เรื่อง “การศึกษาคุณลักษณะของสเปร์ยเชื้อเพลิงเหลวความเร็วสูง และความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้กับหัวฉีดของเครื่องยนต์โดยการทดลอง” โดยมี ผศ.ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง เป็นหัวหน้าโครงการ ให้พิจารณาก่อนจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์ ความละเอียดทราบแล้วนั้น บัดนี้กองบรรณาธิการบริหารงานวิจัย มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีได้พิจารณาร่างรายงานดังกล่าวเสร็จสิ้นแล้ว ซึ่งมีรายละเอียดการแก้ไขและข้อเสนอแนะในการจัดทำรายงานตามแนบ

ดังนั้นโครงการจัดตั้งกองส่งเสริมการวิจัย ฯ จึงขอแจ้งผลการพิจารณาให้นักวิจัยดำเนินการจัดทำรายงานตามคำแนะนำและส่งแบบฟอร์มแจ้งการแก้ไขร่างรายงานการวิจัยตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ พร้อมจัดส่งรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ จำนวน ๑๐ เล่ม และแผ่นบันทึกข้อมูล จำนวน ๒ แผ่น มาที่โครงการจัดตั้งกองส่งเสริมการวิจัย ฯ

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

ในร. อ. ก. ก. ๑๑๐๗ ๕๖๐๕
- เพื่อโปรดพิจารณา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร จึงสุทธิวงษ์
ผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายวิจัย

๗ ๕
(นพจจิรา โชตสวัสดิ์)
เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป
28 เม.ย. 2554

ในร. (จ) อ. ก. ๑๑๐๗ ๕๖๐๕
คราวที่ ๑๕๖๕ เพื่อโปรดพิจารณา

ในร. อ. ก. ๑๑๐๗ ๕๖๐๕

28/4/54

ผลการพิจารณาร่างรายงานวิจัย

โครงการวิจัย: การศึกษาคุณลักษณะของสเปร์ยเชื้อเพลิงเหลวความเร็วสูง และความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้กับหัวฉีดของเครื่องยนต์โดยทำการทดลอง

หัวหน้าโครงการ: ผศ.ดร.กุลเชษฐ์ เพ็ชรทอง

เนื้อหาหรือคุณภาพของงานวิจัย : ดี

ข้อเสนอแนะในการจัดทำรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ มีดังนี้

- ๑ ควรตรวจสอบความถูกต้องของค่าต่าง ๆ และขนาดตัวอักษรในรายงานทั้งหมด
- ๒ เอกสารอ้างอิงให้พิมพ์ตามแบบที่กำหนด
- ๓ รูปแบบปรายงานให้จัดทำตามแบบที่แนบมาพร้อมนี้
- ๔ ข้อเสนอแนะอื่น ๆ ให้ดูในเอกสารแนบ

ข้อเสนอแนะของผู้ประเมินผลเพื่อการพัฒนางานวิจัยต่อไป

(ระบุประเด็น/เรื่องที่จะพัฒนางานวิจัยต่อไป และแนวทางการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์)

- ศึกษาค้นคว้า มีประโยชน์

- งดเปรียบเทียบกับ ความเร็วที่ผิดใน
เว็บไซต์ที่ มีอยู่ ๓,๕๐๐ เว็บ.

ข้อเสนอแนะของผู้ประเมินผลเพื่อการพัฒนางานวิจัยต่อไป

(ระบุประเด็นเรื่องที่จะพัฒนางานวิจัยต่อไป และแนวทางการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์)

ต้องเริ่มต้นร่วมกับผลงานวิจัยในโครงการศึกษาคุณภาพและประสิทธิ
ใช้เพื่อส่งเสริมความก้าวหน้า ซึ่งดำเนินการดังกล่าววิจัย และประสบความสำเร็จ
สำเร็จเป็นอันดับแรก และจะเป็นโครงการที่ช่วยพัฒนาบุคลากรระดับ
และทางด้านจิตวิทยาที่พร้อมทั้งด้านทฤษฎีและปฏิบัติอื่น ๆ อธิบาย
ปัญหาของพื้นที่แล้วจึงค่อยให้คำแนะนำวิจัยได้พัฒนาองค์ความรู้ต่าง
อย่างต่อเนื่อง และเพิ่มเติมนวัตกรรมใหม่ ๆ เข้าไป เพื่อต่อยอด
ให้บุคลากรและวิจัยในพื้นที่สามารถใช้ได้กับพื้นที่จริง และ
พัฒนาระบบนิเวศให้เกิดขึ้น และเพื่อส่งเสริมความก้าวหน้า
ของพื้นที่

ลงชื่อผู้ประเมินผล

(.....)

ตำแหน่ง

.....

เห็นชอบกับการประเมินผลการวิจัยนี้

ลงชื่อผู้บริหารหน่วยงาน

(.....)

ตำแหน่ง

.....



แบบฟอร์มแจ้งการแก้ไขร่างรายงานการวิจัยตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ

โครงการวิจัย เรื่อง

หัวหน้าโครงการ

1. ข้อเสนอแนะที่ได้แก้ไขแล้ว ดังนี้

ข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ	แก้ไขตามข้อเสนอแนะ

2. ข้อเสนอแนะที่ไม่ได้แก้ไข

ข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ	ไม่แก้ไข เนื่องจาก

3. ข้อเสนอแนะของผู้เสนอผลงาน

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....
(.....)

วันที่ / /

