พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการตัดทำลายวัตถุระเบิดด้วยระบบน้ำแรงดันสูงผสมอนุภาคตัดโดยไม่เกิดการจุดระเบิด

The Appropriate Parameter from Disposal of Explosive Items with Abrasive Water Jet Cutting System (AWCS) without Self-Ignition

วสันต์ ทองสุข

สาขาวิชาวิศวกรรมป้องกันประเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาการกระจายตัวของพลังงาน (Energy Dissipation) ที่เกิดขึ้นกับวัตถุระเบิดในกระบวนการตัดทำลายวัตถุระเบิดด้วยระบบน้ำแรงดันสูงผสมอนุภาคตัด (Abrasive Water Jet Cutting System : AWCS) เพื่อนำมากำหนดพารามิเตอร์ของเครื่อง AWCS ให้เกิดความปลอดภัยในการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่เก็บกู้ระเบิด (Explosive Ordnance Disposal : EOD) และไม่เกิดการจุดระเบิดด้วยตัวเองของวัตถุระเบิดนั้น โดยจะทำการทดลองตัดแผ่นเหล็กขนาด 10 mm โดยมีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของเครื่อง AWCS คือ แรงดันของ Water Jet (Pressure : p) และความเร็วในการเคลื่อนที่ของ Nozzle (Traverse speed : v) ซึ่งพารามิเตอร์ทั้ง 2 ตัวนี้มีผลโดยตรงต่อพลังงานที่เกิดขึ้น ในการวัดผลจะทำการวัดค่า Surface Roughness เพื่อทำการเปรียบเทียบผลของพลังงานที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัดเนื่องจากไม่สามารถวัดค่าพลังงานที่เกิดขึ้นจริงได้โดยตรง จากนั้นจะทำการทดลองตัดวัตถุระเบิดจริง ด้วยพารามิเตอร์ที่ทำให้เกิด พลังงานสูงสุดเพื่อเป็นการยืนยันว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างปลอดภัยตามทฤษฎีที่ได้ศึกษา ไม่ก่อให้เกิดการจุดระเบิดด้วยตนเอง โดยในการทดลองนี้วัตถุระเบิดที่เราใช้คือ ลูกกระสุนปืนครกขนาด 120 mm , ลูกระเบิด Air bomb ขนาด 100 ปอนด์ ภายในประกอบด้วยสารระเบิด TNT ซึ่งมีค่าระดับพลังงานต่ำสุดที่ใช้ในการจุดระเบิด (Minimum Ignition Energy : MIE) เท่ากับ 75 mJ และระเบิดชนิด Primary ที่ใช้ทำเป็นเชื้อประทุบรรจุอยู่ในส่วน Fuze ได้แก่ Lead Azide มีค่า MIE เท่ากับ 7 mJ ซึ่งผลจากการทดสอบตัดวัตถุระเบิดจริงด้วย พารามิเตอร์ ที่ก่อให้เกิดพลังงานจลน์สูงสุดพบว่า ไม่เกิดการจุดระเบิดด้วยตนเอง ดังนั้นสามารถนำค่าพารามิเตอร์จากการทดลองนี้กำหนดเป็นมาตรฐานในการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ได้อย่างปลอดภัย

คำสำคัญ : ระบบตัดวัตถุด้วยน้ำแรงดันสูง , การกระจายตัวของพลังงาน , การตัดทำลายวัตถุระเบิด

Abstract

This Article will focus on the Energy dissipation which occurs in explosive items during the process concerned to The Disposal of Explosive Items with Abrasive Water Jet Cutting System: AWCS. Also, it utilizes for determine Parameter from AWCS machine and to ensure that it secures in operating for EOD

(Explosive Ordnance Disposal) Technicians by without self-ignition of explosive items. The Experiment was chosen by the method of cutting the steel plate: size 10 mm through adjusting the Variation of Parameter under AWCS machine which were Pressure Water Jet (Pressure: p) and Velocity of nozzle (Traverse speed: v); generated energy influence to both of Parameters. On the other hand, there is an experimental condition which is incapable to direct the assessment of Cutting system.Thus, the result of measurement was selected by Surface Roughness Tester and to compare with typical system for generated energy as statement above. After that, there was experimental cutting system through real explosive items with Parameter that generates highest energy. In order to verify the system, it must be safe, utilize for the operation and not driven to self-ignition as following theory in the research. The Explosive Items are taken for these experiments including; Mortar Shells size 120 mm, Air Bomb size 100 Ib which contained TNT as explosion material and Minimum Ignition Energy (MIE) is equivalent to 75 mJ and Primary explosion which is used for Blasting Cap/Detonator and it places in Fuze portion; Lead Azide with MIE at 7mJ. From the experimental results, the disposal of explosive items with Abrasive Water Jet Cutting System under Parameters conditions which influence to generate highest Kinetic Energy, has not found its self-ignition. Hence, the Parameters from experiment are able to determine the Performance Standard for EOD Technicians as safely.

Key words: Abrasive Water Jet Cutting System, Energy dissipation, Explosive disposal

1. บทนำ

วัตถุระเบิดคือสารเคมีที่เป็นสารประกอบหรือของผสม ซึ่งหากได้รับการกระตุ้นที่เหมาะสมด้วยความร้อน แรงกระแทก การเสียดสีหรือ Shock Wave จะทำปฏิกิริยาสลายตัวทันทีและจะทำให้เกิดเป็นความร้อน และก๊าซที่มีความดันสูง วัตถุระเบิดแรงต่ำมีการทำปฏิกิริยาแบบช้าเป็นลักษณะการเผาไหม้อย่างรวดเร็วเรียกว่าการ Deflagration ส่วนวัตถุระเบิดแรงสูงจะทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วเรียกว่าการ Detonation ความไวในการระเบิด (Sensitivity) คือความยากง่ายในการระเบิดของวัตถุระเบิด วัดได้จากพลังงานที่จำเป็นต้องใช้ ในการกระตุ้นให้วัตถุระเบิดชนิดนั้นๆจุดระเบิดได้ โดยในการทดลองนี้วัตถุระเบิดที่เราใช้คือ ลูกกระสุนปืนครกขนาด 120 mm ภายในประกอบด้วยสารระเบิดหลัก TNT ซึ่งมี [1] ค่าระดับพลังงานต่ำสุดที่ใช้ในการจุดระเบิด (Minimum Ignition Energy : MIE) เท่ากับ 75 mJ และระเบิดชนิด Primary ที่ใช้ทำเป็นเชื้อประทุบรรจุอยู่ในส่วน Fuze ได้แก่ Lead Azide มีค่า MIE เท่ากับ 7 mJ ซึ่งมีความไวสูงมาก

การตัดทำลายวัตถุระเบิดด้วยระบบน้ำแรงดันสูงผสมอนุภาคตัด (Abrasive water jet cutting system) สำหรับประเทศไทย เริ่มมีการจัดหามาใช้ครั้งแรกเมื่อปี 2014 โดยกองทัพเรือ และปี 2015 โดยกองทัพบก โดยภาระกิจในการทำลายวัตถุระเบิดนั้นประกอบด้วย 2 ส่วนคือระเบิดที่เสื่อมสภาพจากการเก็บเป็นเวลานานและระเบิดที่หลงเหลือตามที่สาธารณะที่ถูกทิ้งไว้ตั้งแต่สมัยสงคราม

โดยมี [2] เทคโนโลยีทำลายวัตถุระเบิด 2 วิธีได้แก่ 1.การทำลายแบบเดิมคือใช้ระเบิด TNT มัดกับลูกระเบิดที่จะทำลายแล้วจุดระเบิด 2.ระบบ Water Jet แต่ในกระบวนการทำงานก็ยังมีความเสี่ยงอยู่คือจะทำอย่างไรให้การตัดไม่เกิดการจุดระเบิดด้วยตัวเอง โดยมีข้อควรระวังในการตัดทำลายวัตถุระเบิด เนื่องจากเป็นเงื่อนไขอาจทำให้เกิดการจุดระเบิดด้วยตัวเองคือ 1.วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้จะต้องไม่ทำให้เกิดไฟฟ้าสถิตย์หรือเกิดการ Spark [3] ไปยังวัตถุระเบิด ซึ่งชุดหัวตัด หรือ Manipulator และ Frame ที่ใช้ในการทดลองเป็นวัสดุที่เกิดไฟฟ้าสถิตย์ปริมาณน้อยมาก 2.การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของเครื่อง Water Jet ต้องมีความเหมาะสมโดยทั้ง 2 กรณีจะต้องไม่ทำให้ระเบิดได้รับพลังงานมากกว่าค่า MIE ของระเบิดชนิดนั้นๆ ตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ดังนั้นจึงเกิดการวิจัยเรื่องนี้ขึ้นมาเพื่อสร้างมาตรฐานในการทำงาน สร้างความเชื่อมั่นและความปลอดภัยให้กับเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน

ในส่วนของปริมาณวัตถุระเบิดที่รอการทำลายในปัจจุบันเฉพาะส่วนที่มีข้อมูลจากกองทัพบก มีจำนวนมากถึง 576.49 ตันซึ่งมีแผนการทำลายระเบิดในช่วง เดือน ตุลาคม ปี 2561 ถึง เดือน กันยายน ปี 2562 (แหล่งข้อมูล : กรมสรรพาวุธทหารบก) โดยส่วนใหญ่เป็นวัตถุระเบิดที่เสื่อมสภาพที่ถูกจัดเก็บอยู่ภายในคลังแสง โดยเทคโนโลยีในการจัดเก็บวัตถุระเบิดอ้างอิงข้อมูลจาก [4] ระบุว่าในการจัดเก็บวัตถุระเบิดต้องทำการจำแนกกลุ่มของวัตถุระเบิดก่อนซึ่งแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 ได้แก่ High Explosive เช่น Dynamite, Flash Powder , TNT กลุ่มที่ 2 ได้แก่ Low Explosive เช่น Black Powder, Safety Fuse, Igniter Cords, Fuse Lighters และกลุ่มที่ 3 ได้แก่ Blasting Agents เช่น Ammonium Nitrate-Fuel Oil เป็นต้น โดยระเบิดแต่ละกลุ่มจะถูกเก็บใน Magazines ต่างชนิดกันซึ่งมีการแบ่งชนิดของ Magazines ออกเป็น 5 Type เช่น Type 1 เป็นแบบติดตั้งถาวร ใช้สำหรับเก็บระเบิดชนิด High Explosive, Type 2 เป็นแบบ Portable ใช้ได้ทั้ง Indoor และ Outdoor สำหรับเก็บระเบิดชนิด High Explosive , Type 3 เป็นแบบ Portable ใช้งาน Outdoor สำหรับเก็บระเบิด High Explosives แบบชั่วคราว , Type 4 สำหรับเก็บระเบิด Low Explosives และ Type 5 สำหรับเก็บระเบิดชนิด Blasting Agents ในส่วนของอาคารหรือสิ่งปลูกสร้างที่ใช้เก็บรักษา Magazines จะมีข้อกำหนดแตกต่างกันออกไปตาม Type ของ Magazines นั้นซึ่งรายละเอียดสามารถหาข้อมูลเพิ่มเติมได้จากเอกสารอ้างอิง

รูปที่ 1 การทำลายวัตถุระเบิดที่พบในที่สาธารณะโดย

การศึกษาเกี่ยวกับระบบ Water Jet มีบทความหรือวารสารต่างๆ ที่น่าสนใจอาทิเช่น [5] ทดลองตัดโลหะด้วยวิธี Water Jet, Laser และ Plasma ซึ่งผลที่ได้คือ Water Jet มีจุดเด่นสามารถตัดวัสดุได้หลากหลายชนิด ขณะที่แบบอื่นมีข้อจำกัด Water Jet ไม่ทำให้เกิดความร้อน ทำให้เป็นเพียงวิธีการเดียวที่สามารถนำมาตัดระเบิดได้ แต่ข้อเสียคือความเร็วในการตัดช้ากว่าและมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าวิธีอื่นๆ ส่วน [6] ทดลองปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อให้มีค่า Kerf Taper ที่ดีโดยเมื่อเพิ่มค่าแรงดันน้ำ (Water Pressure) ทำให้ Kerf Taper ลดลง เมื่อเพิ่มระยะ Nozzle กับชิ้นงาน(Stand-off Distance) ทำให้ Kerf Taper เพิ่มขึ้นและเมื่อเพิ่มความเร็ว Nozzle ทำให้ Kerf Taper เพิ่มขึ้นซึ่งเป็นการเน้นที่คุณภาพพื้นผิวมากกว่า ขณะที่ [7] ศึกษาจำนวนครั้งที่เหมาะสมในการตัด AISI 304 Stainless Steel แบบ Multi-pass Cutting ทั้ง 2 แบบและเปรียบเทียบกับแบบ Single Cutting เพื่อพัฒนาคุณภาพพื้นผิวของการตัดโดยวัดจาก Surface Roughness และ Kerf Taper แต่ในการตัดวัตถุระเบิดสิ่งที่เราสนใจคือ การตัดให้ขาดเร็วที่สุด และปลอดภัยที่สุดมากกว่าประเด็นเรื่อง ความสวยงามของพื้นผิวดังนั้นการตัดระเบิดจึงควรเป็นแบบ Single Cut

เสมอ และ [8] ศึกษาผลของการปรับพารามิเตอร์ที่มีต่อ Surface Roughness โดยเมื่อความเร็วในการเคลื่อนที่ Nozzle เพิ่มมากขึ้นค่า Surface Roughness จะเพิ่มขึ้น , เมื่อเพิ่ม Abrasive Mass Flow Rate ค่า Surface Roughness จะลดลง และเมื่อความหนาของชิ้นงานเพิ่มขึ้น ค่า Surface Roughness จะเพิ่มขึ้น ซึ่งในการทดลองนี้จะเน้นที่คุณภาพของพื้นผิวการตัดเป็นหลักและยังไม่มีการอธิบายสาเหตุของการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของค่า Surface Roughness ในเชิง Mechanical หรือค่าพลังงานที่เกี่ยวข้องเมื่อมีการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์

2. Energy Dissipation Model [9]

การประมาณค่าพลังงานที่กระจายตัวบนชิ้นงานระหว่างกระบวนการตัดด้วยเครื่อง AWCS , พลังงานจลน์ (Kinetic Energy) , E_A ของการ flow ของ High speed abrasive-water สามารถคำนวณได้จาก

$$E_A = 0.5\, m_A v_A^2 \quad (1)$$

เมื่อ m_A คือ มวลของ Abrasive และน้ำที่ผสมกันและ v_A คือความเร็ว โดยที่มวลของ Abrasive และน้ำที่ผสมกันคือ

$$m_A = (m_P + m_W)\, t_E \quad (2)$$

ในสมการนี้ m_P คือ Mass flow rate ของ Abrasive , m_W คือ Mass flow rate ของน้ำและ t_E คือ Exposure time ได้จาก

$$t_E = \frac{d_F}{v} \quad (3)$$

โดย d_F คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของ Mixing Nozzle และ v คือความเร็วในการเคลื่อนที่ของ Nozzle (Traverse rate)

จากหลักการถ่ายเทโมเมนตัมอย่างง่าย (Simple Momentum Transfer) ระหว่าง น้ำความเร็วสูงและอนุภาคตัด Abrasive ที่เข้ามาผสมใน Mixing Chamber ดังนั้นความเร็วของน้ำที่ผสมกับอนุภาคตัด สามารถคำนวณจาก

$$v_A = \alpha \frac{v_W}{1+(m_P/m_W)} \quad (4)$$

โดยที่ α คือค่า Mixing Efficiency Coefficient และ v_W คือค่าความเร็วของน้ำที่ไหลเข้ามาใน Mixing Nozzle โดยค่า α สามารถประมาณได้จากการวัดค่า Impact Force และความเร็วของน้ำความเร็วสูงสามารถคำนวณได้จากหลักการของ Bernoulli ได้ดังนี้

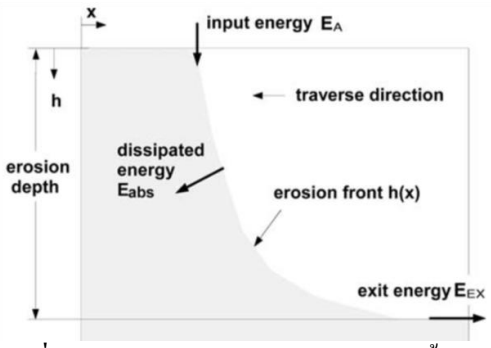
$$v_W = \varphi\sqrt{\left(\frac{2p}{\rho_W}\right)} \quad (5)$$

โดยที่ p คือ แรงดันที่ปั๊มจ่ายให้กับระบบ , ρ_W คือค่าความหนาแน่นของน้ำและ φ คือค่า Orifice momentum transfer coefficient ซึ่งได้จากการประมาณโดยการวัดค่า Impact Force จากนั้นแทนค่าสมการที่ (2) - (5) ลงในสมการ (1)

$$E_A = \frac{\alpha^2\varphi^2 d_F(m_P+m_W)p}{\rho_W(1+\frac{m_P}{m_W})^2 v} \quad (6)$$

จากรูปที่ 2 และสมการ (6) แสดงให้เห็นค่าพลังงาน Input สู่กระบวนการตัดด้วยน้ำแรงดันสูงผสมอนุภาคตัดและเกิดการกระจายพลังงานโดยกลไกทาง Mechanics [10] ที่ต่างกันซึ่งหลักๆเกิดจากการทำให้วัตถุแตกเป็นชิ้นเล็กๆ (Erosion Debris) และแรงเสียดทานที่เกิดบริเวณผิววัตถุ (Friction on the kerf wall) เป็นต้น , E_{abs} คือค่าพลังงานที่กระจายตัวและ E_{EX} คือค่าพลังงานที่เหลือหลังจากการตัดวัตถุ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างพลังงาน E_A และ ค่า Surface Roughness คือเมื่อมีการเพิ่ม Pressure [น้อยกว่า 2900 bar] จะทำให้ค่า Surface Roughness ลดลงเนื่องจากเป็นการเพิ่มความสามารถในการกัดกร่อนชิ้นงานให้มากขึ้น โดยในการทดลอง [8] พบว่าพื้นผิวของการตัดจะแบ่งเป็น 2 Type คือด้านบนของชิ้นงานเมื่อเริ่มการตัดจะมีลักษณะเป็น Smooth Surface และด้านล่างของชิ้นงานจะมีลักษณะเป็น Rough Surface ซึ่งเมื่อมีการเพิ่มพลังงานในการตัดจะไปทำให้ Smooth Surface เพิ่มขึ้นและ Rough Surface ลดลง ส่วน E_{EX} สามารถเขียนสมการอย่างง่ายได้ดังนี้คือ

$$E_A = E_{abs} + E_{EX} \quad (7)$$

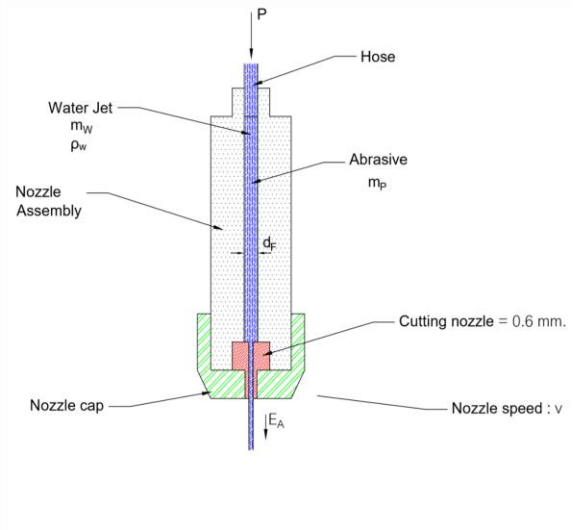


รูปที่ 2 การกระจายพลังงานระหว่างการตัดชิ้นงาน

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการคำนวณพลังงานที่เหลือหลังจากการตัดด้วยระบบน้ำแรงดันสูงผสมอนุภาคตัด (E_{EX}) ถูกพัฒนาโดย [11] จากการทดลองพบว่ากระบวนการตัดวัสดุจะเริ่มขึ้นเมื่อแรงดันของปั๊มสูงกว่าแรงดันวิกฤติ ซึ่งเราเรียกว่าค่า Threshold Pressure (p_T) ซึ่งค่านี้ของแต่ละวัสดุสามารถคำนวณได้จากการทดลองโดยการ plot กราฟระหว่าง ความลึกของการตัดและแรงดันของปั๊ม ดังนั้นจากสมการที่ (6) และ (7) สามารถหาค่าพลังงาน E_{ABS} ได้จาก

$$E_{ABS} = \frac{\alpha^2 \varphi^2 d_F (m_P + m_W)}{\rho_W (1+\frac{m_P}{m_W})^2 v} [p - p_T] \qquad (8)$$

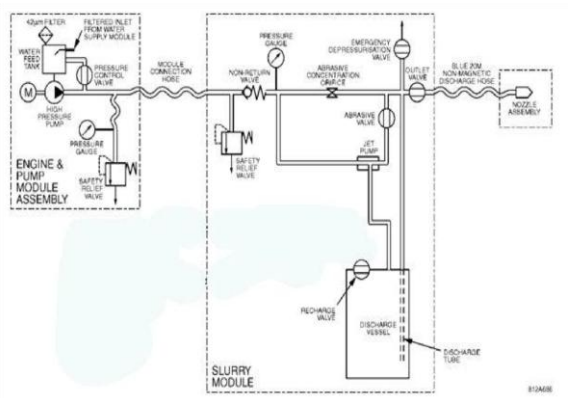
สมการที่ (8) สามารถใช้คำนวณหาค่าพลังงานที่กระจายตัว (E_{ABS}) ระหว่างการตัดชิ้นงานได้ โดยจะเห็นได้ว่าตัวแปรบางตัวในสมการสามารถรู้ค่าหรือสามารถวัดค่าได้และมีบางตัวแปรเช่น α , φ และ p_T จะขึ้นอยู่กับ Process Parameters อื่นๆ



รูปที่ 3 โครงสร้าง Geometry ของ Nozzle Assembly

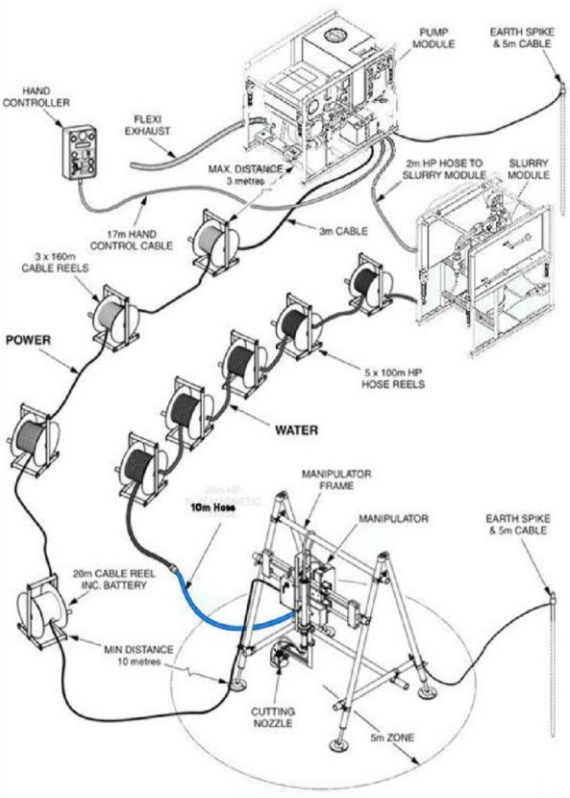
3. การทดลอง

ระบบ Abrasive water jet cutting ใช้เครื่องยี่ห้อ ABP รุ่น AWCS ซึ่งมี Schematic Diagram ดังรูปที่ 4 มีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วนคือ Engine & Pump Module , Slurry Module และ Nozzle Assembly โดยในส่วน Nozzle Assembly มีโครงสร้าง Geometry ดังรูปที่ 3



รูปที่ 4 Schematic Diagram ของเครื่อง Water Jet

การ Set up อุปกรณ์ เริ่มจากการต่อ Module ต่างๆทั้ง 3 ส่วนเข้าด้วยกันด้วยสายยางแรงดันสูงตามรูปที่ 6 หลังจากนั้นทำการ Set up ชิ้นงานที่ต้องการตัดโดยกำหนดให้ระยะปลาย Nozzle และชิ้นงานห่างกัน 5 mm ดังรูปที่ 7



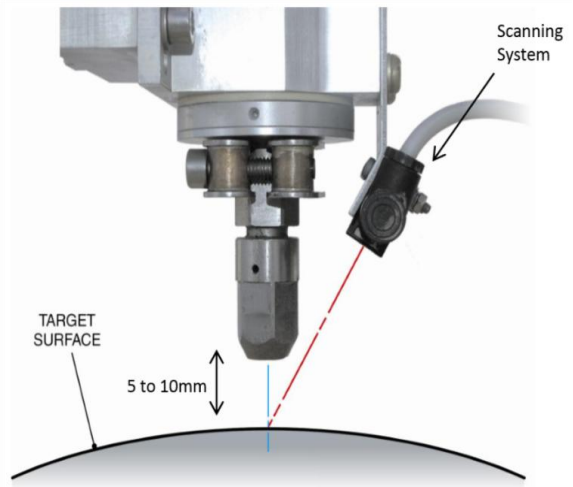
รูปที่ 6 การติดตั้งระบบ Water Jet ที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ที่มีค่าคงที่

Machining Parameters	
Abrasive	Garnet
Abrasive size	80 mesh
Abrasive particle shape	Angular
Abrasive concentration	10% (mass)
Orifice Material	Sapphire
Orifice diameter	0.6 mm
Stand-off distance	5 mm
Water flow rate	5.7 l min^{-1}
Impact angle	90 ^{o}
Material Workpiece	Steel Plate SS400
Material Thickness	12 mm
Cutting length	50 mm

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ปรับค่าได้ที่ใช้ในการทดลอง

Experimental Parameters	
Water Jet Pressure	550 – 700 bar
Nozzle speed	10 – 40 mm min^{-1}



รูปที่ 7 การ Set ระยะ Nozzle

จากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับ Energy Dissipation พบว่ามีพารามิเตอร์ 2 ค่าที่มีผลต่อพลังงานที่เกิดขึ้นจึงแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วนดังนี้คือ

ส่วนที่ 1 ทดสอบตัดแผ่นเหล็กหนา 12 mm โดยเปลี่ยนแปลงค่าแรงดัน Water Jet 4 ค่าคือ 550 , 600 , 650 และ 700 bar ซึ่งกำหนด Nozzle Speed ให้มีค่าคงที่เท่ากับ 30 mm/min

ส่วนที่ 2 ทดสอบตัดแผ่นเหล็กหนา 12 mm โดยเปลี่ยนแปลงค่า Nozzle Speed จำนวน 4 ค่าคือ 10, 20, 30 และ 40 mm/min ซึ่งกำหนดให้ แรงดัน Water Jet มีค่าคงที่เท่ากับ 700 bar

ส่วนที่ 3 ทดสอบตัดวัตถุระเบิดจริงคือ 1.ลูกกระสุนปืนครกขนาด 120 mm ภายในบรรจุสารระเบิด TNT 2. แท่งเชื้อประทุ (Blasting Cap/Detonator) ภายในบรรจุสารระเบิด Lead Azide , Lead Strypnate และ RDX และ 3.ลูกระเบิด Air bomb ขนาด 100 ปอนด์ โดยการตัดจะกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้เกิด Energy สูงสุดคือ แรงดัน Water Jet เท่ากับ 700 bar และ Nozzle Speed เท่ากับ 10 mm/min

การวัดผลทำโดยการวัดค่า Surface Roughness ด้วยเครื่อง Coordinate Measuring Machine (CMM) เพื่อทำการเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อ Energy Dissipation จากการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์เนื่องจากไม่สามารถวัด Energy ดังกล่าวได้โดยตรง

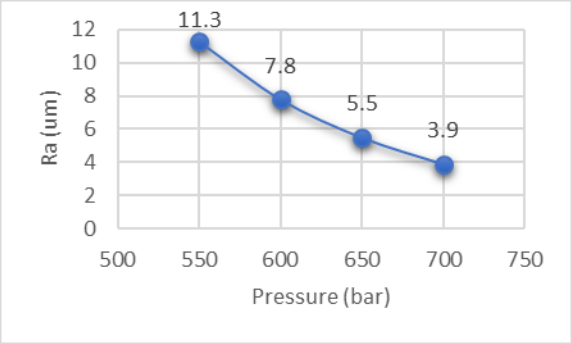
4. ผลการทดลอง

ผลการทดลองส่วนที่ 1 เมื่อเปลี่ยนค่าแรงดันโดยกำหนดให้ Nozzle Speed คงที่เท่ากับ 30 mm/min และทำการวัดค่า Surface Roughness แสดงดังตาราง

Pressure (bar)	*550*	*600*	*650*	*700*
R_a (um)	11.3	7.8	5.5	3.9

ตารางที่ 3 ค่า Surface Roughness เมื่อมีการเปลี่ยนค่าแรงดัน

เมื่อนำไป plot กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Pressure และ Surface Roughness จะได้กราฟดังนี้



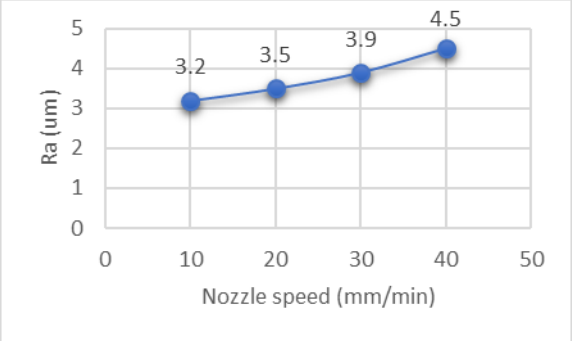
รูปที่ 8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Pressure และ Surface Roughness

ผลการทดลองส่วนที่ 2 เมื่อเปลี่ยนค่า Nozzle Speed โดยกำหนดให้ค่าแรงดันคงที่เท่ากับ 700 bar และทำการวัดค่า Surface Roughness แสดงดังตาราง

Nozzle speed (mm/min)	*10*	*20*	*30*	*40*
R_a (um)	3.2	3.5	3.9	4.5

ตารางที่ 4 ค่า Surface Roughness เมื่อมีการเปลี่ยนค่า Nozzle Speed

เมื่อนำไป plot กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nozzle Speed และ Surface Roughness จะได้กราฟดังนี้

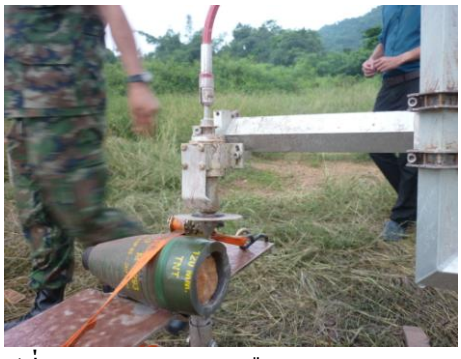


รูปที่ 9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Nozzle Speed และ Surface Roughness

ผลการทดลองส่วนที่ 3 การตัดวัตถุระเบิดจริงคือ 1.ลูกกระสุนปืนครกขนาด 120 mm 2.แท่งเชื้อประทุ (Blasting Cap/Detonator และ 3.ลูกระเบิด Air bomb ขนาด 100 ปอนด์ ด้วยค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้เกิด Energy สูงสุดคือ แรงดัน Water Jet เท่ากับ 700 bar และ Nozzle Speed เท่ากับ 10 mm/min โดยผลของการตัดคือ

Explosive	*ระเบิด*	*ไม่ระเบิด*
1. ค.120 mm		X
2.แท่งเชื้อประทุ		X
3.Air bomb 100 ปอนด์		X

ตารางที่ 5 ผลการตัดวัตถุระเบิดจริงเพื่อทดสอบการจุดระเบิดด้วยตัวเองเนื่องจากความร้อน



รูปที่ 10 การตัดลูกกระสุนปืนครกขนาด 120 mm

รูปที่ 11 การตัดแท่งเชื้อประทุ

รูปที่ 12 การตัดลูกระเบิด Air Bomb 100 ปอนด์

5. สรุปผล

บทความนี้เป็นการศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการตัดทำลายวัตถุระเบิดด้วยระบบน้ำแรงดันสูงผสมอนุภาคตัด (Abrasive Water Jet Cutting System : AWCS) เพื่อนำมากำหนดพารามิเตอร์ของเครื่องให้เกิดความปลอดภัยในการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ EOD ไม่เกิดการจุดระเบิดด้วยตัวเองของวัตถุระเบิดนั้น โดยจากการศึกษาพบว่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อค่าพลังงานที่วัตถุระเบิดได้รับ

มีจำนวนมากแต่ถูกกำหนดเป็นค่าคงที่จากระบบโดยมีพารามิเตอร์ที่สามารถปรับค่าได้คือ ค่าแรงดันน้ำ และ Nozzle Speed ซึ่งจากการทดลองพบว่ าเมื่อมีการเพิ่มแรงดันมากขึ้นค่า Roughness :R_a จะมีค่าน้อยลง (พลังงานจลน์ของน้ำเพิ่มมากขึ้น) ในขณะที่เมื่อมีการเพิ่ม Nozzle Speed ค่า R_a จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากระยะเวลาที่แต่ละจุดได้รับพลังงานน้อยลงเพราะ Nozzle เคลื่อนที่เร็วขึ้น จากนั้นทำการทดลองตัดวัตถุระเบิดจริงทั้ง 3 ชนิดได้แก่ 1. ลูกกระสุนปืนครกขนาด 120 mm 2.แท่งเชื้อประทุ 3.ลูกระเบิด Air Bomb ขนาด 100 ปอนด์ ซึ่งไม่เกิดการระเบิด แสดงให้เห็นว่า การปรับค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้เกิดค่าพลังงานจลน์สูงสุดคือปรับให้แรงดันสูงสุดและความเร็ว Nozzle Speed ต่ำสุดไม่ทำให้เกิดการจุดระเบิดด้วยตนเอง (พลังงานที่หลงเหลือจากการตัดน้อยกว่าค่า Minimum Ignition Energy ของวัตถุระเบิดนั้นๆ) ดังนั้นสามารถนำค่าพารามิเตอร์จากการทดลองนี้กำหนดเป็นมาตรฐานในการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ EOD สามารถนำไปใช้ในภาระกิจตัดทำลายวัตถุระเบิดจริงได้อย่างปลอดภัยซึ่งเป็นวัตถุประสงค์หลักของการวิจัยในครั้งนี้

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก รศ. ดร.จารุวัตร เจริญสุข อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ EOD กองประดาน้ำและถอดทำลายอมภัณฑ์ กรมสรรพวุธทหารเรือ และ เจ้าหน้าที่ EOD กองคลังแสง กรมสรรพวุธทหารบก ที่ให้คำแนะนำและสอนเกี่ยวกับทฤษฎีกลไกการจุดระเบิด ชนิดของวัตถุระเบิดและการทำลายวัตถุระเบิดชนิดต่างๆ ตลอดจนสนับสนุนวัตถุระเบิดและร่วมกันทดสอบตัดทำลายวัตถุระเบิดจริงด้วยน้ำแรงดันสูงผสมอนุภาคตัดจนประสบความสำเร็จตามเป้าหมาย

7. เอกสารอ้างอิง

[1] V. Brauskak, “Ignition Handbook,” Fire Science Publishers, 2003.

[2] Lynn Stanley, “How water pump technology powers water jet line for demilitarization of high-explosive munitions,” FF Journal, 2012.

[3] Paul L. Miller, “Formation of Sparks from Abrasive Water Jet Cutting and Their Effect on Condensed Explosives,” Proceedings of the Twenty-Sixth DoD Explosives Safety Seminar, 1994.

[4] Bureau of Alcohol, Tobacco, Firearms and Explosives, “Federal Explosives Law and Regulations,” ATF Publication, pp. 47 - 53, 2007.

[5] Daniel Krajcarz, “Comparison Metal Water Jet Cutting with Laser and Plasma Cutting,” Procedia Engineering, vol. 69, pp. 838 - 843, 2014.

[6] J. Wong, “A Study of Abrasive Water Jet Cutting of Metallic Coated Sheet Steel,” International Journal of Machine Tools and Manufacture, vol. 39, pp. 855 - 870, 1999.

[7] Xiaojin Miao, Zhengrong Qiang, Meiping Wu, Lei Song, Feng Ye, “The Optimal Cutting Times of Multipass Abrasive Water Jet Cutting,” The International Journal of Advance Manufacturing Technology, vol. 97, pp. 1779 - 1786, 2018.

[8] Derzija Begic-Hajdarevic, Ahmet Cekic, Muhamed Mehmedovic, Almina Djelmic, “Experimental Study on Surface Rougness in Abrasive Water Jet Cutting,” Procedia Engineering, vol. 100, pp. 394 - 399, 2015.

[9] R. S. Mohan, A. W. Momber, R. Kovacevic, “Energy Dissipation Control in Hydro-Abrasive Machining Using Quantitative Acoustic Emission,” The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 20, pp. 397 - 406, 2002.

[10] A. W. Momber and R. Kovacevic, “An energy of high-speed abrasive water jet erosion,” Proceeding of the Institution of Mechanical Engineers, vol. 213, pp. 463 - 472, 1999.

[11] A. W. Momber and R. Kovacevic, “Calculation of exist energy in abrasive water jet cutting,” W.E. Alzheimer (ed.) Manufacturing Science and Engineering, vol. 1, pp. 361 - 366, 1994.