

การวิเคราะห์ความแข็งแรงของท่อยิงจรวดในขณะยิงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ Strength Analysis of Firing Launch Tube using Finite Element Method

อชิรภุชฌ์ จุณนิพิฐวณิช* และ นัตตา จงไพโรจน์เมษิต

สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (องค์การมหาชน) กระทรวงกลาโหม ชั้น 4 อาคารสำนักงานปลัดกระทรวงกลาโหม (แจ้งวัฒนะ)
47/433 หมู่ 3 ต.บ้านใหม่ อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี 11120

* ติดต่อ: E-mail: achirakris.j@dti.or.th โทรศัพท์: 02 980 6200-207 ต่อ 619 โทรสาร: 02 980 6198

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอการวิเคราะห์ความแข็งแรงของท่อยิงจรวดไม่นำวิถีขณะยิงจรวดออกไปแบบหมุนด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ การหมุนของจรวดนี้ทำให้มีความแม่นยำในการยิงสูงขึ้น โดยการทำให้จรวดหมุนในขณะที่ยิงออกไปสามารถทำได้โดยการทำเกลียวในท่อยิงจรวดและทำสลักติดไว้ที่จรวดเพื่อให้จรวดสามารถเคลื่อนที่ไปตามเกลียวเนื่องจากจรวดได้รับแรงดันสูงจากดินขับอีกทั้งพื้นที่ที่เกิดการกระทบของสลักขณะเคลื่อนที่ไปตามเกลียวมีขนาดเล็ก ดังนั้นจึงทำให้เกิดความเค้นสูง การวิเคราะห์ความแข็งแรงของท่อยิงจึงมีความจำเป็นมากในการออกแบบท่อยิงจรวด ในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของท่อยิงขณะปล่อยจรวดนี้ได้เลือกใช้เหล็กชนิด SS400 ซึ่งเป็นวัสดุสำหรับสลักและท่อยิงจรวด และใช้วัสดุที่มีความหนาแน่นเท่ากับความหนาแน่นของวัสดุของจรวด ผลการจำลองพบว่าเกิดความเค้นสูงบริเวณจุดที่เกิดการกระทบระหว่างสลักและเกลียว และพบว่าจำนวนครั้งการกระทบระหว่างสลักและเกลียวนี้เพิ่มขึ้นและความเค้นมีค่าลดลงตามความเร็วของจรวดที่เพิ่มขึ้น

คำหลัก: ท่อยิงจรวด, ไฟไนต์เอลิเมนต์, เกลียวในท่อยิงจรวด

Abstract

This paper presented the strength analysis of firing launch tube for spinning unguided rocket using finite element method. The rotation of unguided rocket increases precision of hitting a target. To render the rocket rotated while firing, a thread is built inside the launch tube and knobs is attached on rocket, thereby allowing the rocket to spirally move along the thread. Because there is occurrence of the high stress generated from the propellant combustion and the small contact area between the thread and knob, strength analysis is then crucial in launch tube design. In this analysis, SS400 steel is material of knob and launch tube, whereas material having density equal to that of rocket material is used for rocket. The computed result showed high stress at contact area between knobs and thread. In addition, the numbers of impacts between thread and knob was directly dependent upon the rocket speed, while the stress was reduced.

Keywords: launch tube, FEA, thread in launch tube

1. บทนำ

การหมุนของจรวดในขณะที่อยู่ในอากาศเป็นการช่วยลดการผลกระทบของสิ่งรบกวนต่างๆเช่นลม และการเยื้องศูนย์ที่อาจเกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต เป็นต้น ส่งผลให้ความแม่นยำในการยิงจรวดไม่นำวิถีสูงขึ้น

การออกแบบรอกยิงจรวดหรือระบบอำนาจการยิงเพื่อให้จรวดหมุนตั้งแต่จรวดอยู่ในลำกล้องหรือท่อยิงเป็น

ที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย โดยการทำให้จรวดหมุนสามารถทำได้โดยการทำเกลียวในท่อยิงจรวดและทำสลักไว้ที่จรวด ในขณะที่จรวดถูกยิงออกไปด้วยแรงดันจากการเผาไหม้ของดินขับ สลักที่ติดอยู่ที่จรวดจะไถลไปกับเกลียวของท่อยิงทำให้จรวดหมุนได้ โดยขณะที่จรวดเคลื่อนที่ไปบนเกลียวมีการกระทบของสลักและเกลียวเกิดขึ้น ดังนั้นการออกแบบท่อยิงจรวดไม่นำวิถีจำเป็นต้องวิเคราะห์

ความแข็งแรงของสลักที่จรวดและเกลียวในท่อยิง เนื่องจากแรงดันที่เกิดจากการเผาไหม้ดินขี้ปืนมีขนาดสูง อีกทั้งจุดสัมผัสของสลักและเกลียวมีขนาดเล็กทำให้เกิดความเค้นสูงทำให้เกิดความเสียหายขึ้นที่เกลียวของท่อยิง และส่งผลกระทบต่อสมรรถนะในการยิง โดย Fung [1] ได้ศึกษาความแข็งแรงของท่อยิงจรวดไม่นำวิถีสำหรับจรวดขนาด 122 มิลลิเมตร ซึ่งทำร่องที่ท่อยิงจรวดเป็นเกลียวเพื่อให้สลักเคลื่อนที่ไปตามร่องนี้

เนื่องจากที่ผ่านมางานวิจัยเกี่ยวกับท่อยิงจรวดที่ทำเกลียวติดที่ผิวด้านใน (แบบนูน) ของท่อยิงจรวดยังไม่ได้ได้รับการตรวจสอบ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการวิเคราะห์ความแข็งแรงของท่อยิงจรวดที่มีเกลียวแบบนูนขณะยิงจรวดออกไปด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และใช้เป็นแนวทางในการออกแบบท่อยิงจรวดไม่นำวิถีขนาดอื่นๆ รวมทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการออกแบบท่อยิงจรวดแบบนำวิถีอีกด้วย

2. ทฤษฎี

สำหรับการแก้ปัญหาการเคลื่อนที่ไม่เชิงเส้น สมการพื้นฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของจรวด [2] สามารถเขียนได้ดังนี้

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F^a\} \quad (1)$$

จากสมการที่ (1) : $[M]$ คือเมตริกซ์ของมวล, $[C]$ คือเมตริกซ์ของแดมป์, $[K]$ คือเมตริกซ์ของความแข็งแรง, $\{\ddot{u}\}$ คือเวกเตอร์ของความเร่ง, $\{\dot{u}\}$ คือเวกเตอร์ของความเร็ว, $\{u\}$ คือเวกเตอร์ของการเคลื่อนที่ และ $\{F^a\}$ คือเวกเตอร์ของแรงภายนอก

การแก้สมการที่ (1) สามารถทำได้โดยใช้วิธีของนิวมาร์ค [3]

$$\{\ddot{u}_{n+1}\} = \{\ddot{u}_n\} + [(1-\delta)\{\ddot{u}_n\} + \delta\{\ddot{u}_{n+1}\}]\Delta t \quad (2)$$

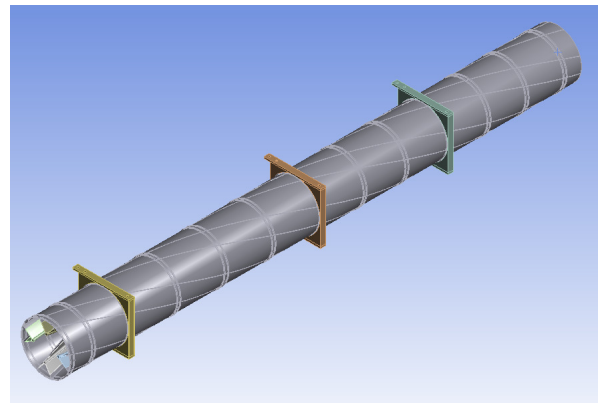
$$\{u_{n+1}\} = \{u_n\} + \{\dot{u}_n\}\Delta t + \left[\left(\frac{1}{2}-\alpha\right)\{\ddot{u}_n\} + \alpha\{\ddot{u}_{n+1}\}\right]\Delta t^2 \quad (3)$$

จากสมการที่ (3) : α คือตัวแปรสำหรับการอินทิเกรตของนิวมาร์ค, $\Delta t = t_{n+1} - t_n$, $\{u_n\}$ คือเวกเตอร์ของการเคลื่อนที่ที่เวลา t_n , $\{\dot{u}_n\}$ คือเวกเตอร์ความเร็วที่เวลา t_n , $\{\ddot{u}_n\}$ คือเวกเตอร์ความเร่งที่เวลา t_n , $\{u_{n+1}\}$ คือเวกเตอร์ของการเคลื่อนที่ที่เวลา t_{n+1} , $\{\dot{u}_{n+1}\}$ คือเวกเตอร์ความเร็วที่เวลา t_{n+1} และ $\{\ddot{u}_{n+1}\}$ คือเวกเตอร์ความเร่งที่เวลา t_{n+1}

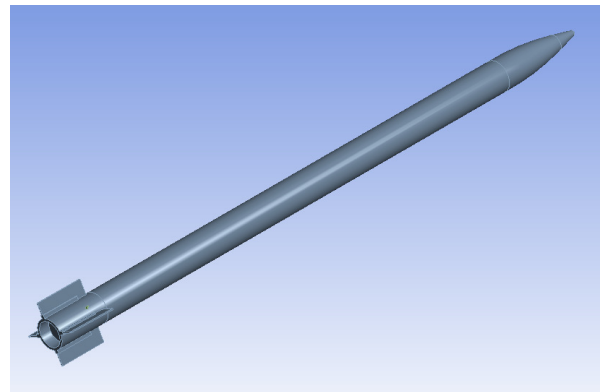
3. การวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

สมการที่ (1) - (3) เป็นสมการการจำลองเชิงตัวเลข (Numerical Model) ที่ประยุกต์ใช้ในโปรแกรมสำเร็จรูป Ansys และใช้ในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของจรวดในท่อยิง

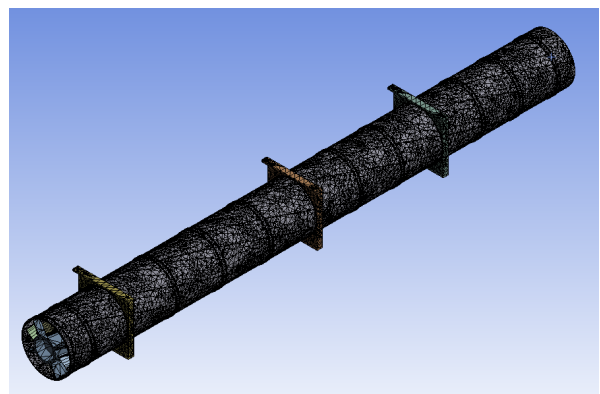
สำหรับแบบจำลองของท่อยิงและจรวดที่ใช้วิเคราะห์แสดงในรูปที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ภาพที่ 3 แสดงลักษณะของ mesh ที่ใช้ในการคำนวณด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์



รูปที่ 1 แบบจำลองของท่อยิง

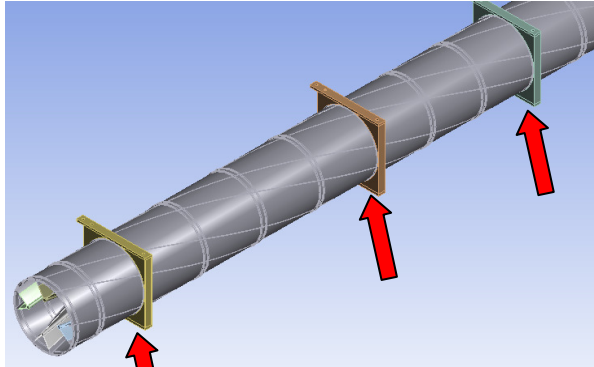


รูปที่ 2 แบบจำลองของจรวด



รูปที่ 3 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

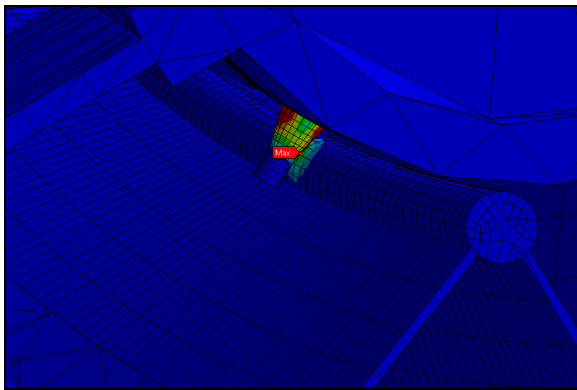
ในการจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของจรวดนี้ สมมุติให้ไม่มีแรงเสียดทานระหว่างท่ออิงกับจรวด และใช้จุดรองรับ 3 จุดดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 จุดรองรับท่ออิงจรวด

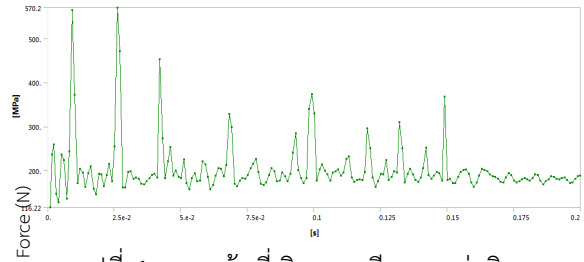
4. ผลการวิเคราะห์

จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่ามีความเค้นเกิดขึ้นเนื่องจากการกระแทกกระท่างระหว่างสลักและเกลียวตามที่ได้คาดการณ์ไว้ลักษณะความเค้นที่เกิดขึ้นแสดงดังรูปที่ 5



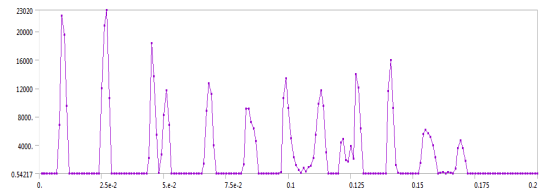
รูปที่ 5 ความเค้นที่เกิดขึ้นจากการกระแทกกระท่างระหว่างสลักและเกลียว

รูปที่ 6 แสดงความเค้นที่เกิดขึ้นบนท่ออิง พบว่ามีจังหวะของการเกิดความเค้น เนื่องจากการมีกระแทกกระท่างระหว่างสลักและท่ออิงเกิดขึ้นเป็นจังหวะจนกระทั่งจรวดหลุดพ้นท่ออิงออกไป



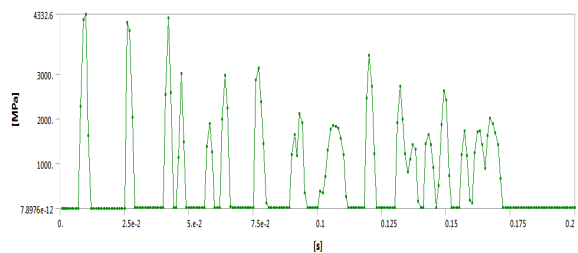
รูปที่ 6 ความเค้นที่เกิดขึ้นบนเกลียวของท่ออิง จากรูปที่ 6 สามารถสังเกตเห็นได้ว่ามีความเค้นสูงสุด 570.2 MPa เกิดขึ้น ณ ช่วงเวลาประมาณ 0.026 วินาทีของการเคลื่อนที่ของจรวด และความเค้นมีแนวโน้มค่อยๆ ลดลงเมื่อจรวดเคลื่อนที่ออกไปเรื่อยๆ

แรงที่เกิดจากการกระแทกกระท่างระหว่างสลักและเกลียวของท่ออิงมีลักษณะดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 แรงที่เกิดขึ้นจากการกระแทกกระท่างระหว่างสลักและเกลียวของท่ออิง

แรงที่เกิดจากการกระแทกกระท่างระหว่างสลักและเกลียวของท่ออิงมีลักษณะเป็นจังหวะ โดยมีขนาดสูงในช่วงต้นของการเคลื่อนที่และมีขนาดลดลงเมื่อจรวดเคลื่อนที่ออกไป ในขณะที่จรวดเคลื่อนที่ออกไปความถี่ของการกระแทกจะเพิ่มขึ้น



รูปที่ 8 ความเค้นที่เกิดขึ้นที่สลัก จากรูปที่ 8 จะเห็นว่าความเค้นที่เกิดขึ้นที่สลักสูงมากถึง 4,332 MPa ซึ่งน่าจะทำให้สลักขาดออกจากจรวดตั้งแต่ ณ ช่วงเวลาประมาณ 0.01 วินาที

5. สรุป

ในการออกแบบท่ออิงจรวดจำเป็นต้องพิจารณาความเค้นที่เกิดขึ้นจากการกระแทกของสลักกับเกลียวของท่ออิงในช่วงเวลาดันๆของการเคลื่อนที่ของจรวดเนื่องจาก



เป็นช่วงที่เกิดความเค้นสูง โดยจากงานวิจัยนี้พบความเค้นที่เกลียวของท่ออิงขนาด 570.2 MPa ที่เวลาประมาณ 0.026 วินาที แต่เมื่อพิจารณาเทียบกับความเค้นที่เกิดขึ้นที่สลักซึ่งมีค่าถึง 4,332 MPa ที่เวลาประมาณ 0.01 วินาที ซึ่งน่าจะทำให้สลักเสียหายไปแล้ว ดังนั้นจึงควรพิจารณาความเค้นที่เกิดขึ้นที่เกลียวของท่ออิงที่เวลาประมาณ 0.01 วินาที จากรูปที่ 6 พบว่าที่เวลาประมาณ 0.01 วินาที เกลียวของท่ออิงเกิดความเค้นประมาณ 565 MPa ในขณะที่เหล็ก SS400 มีขีดจำกัดความยืดหยุ่น 245 MPa เท่านั้น จะเห็นได้ว่าความเค้นมีขนาดเกินกว่าค่าขีดจำกัดความยืดหยุ่นของเหล็ก SS400 ดังนั้นจึงควรพิจารณาเปลี่ยนชนิดของเหล็กที่นำมาทำเกลียวของท่ออิง หรือเสริมความแข็งแรงของเกลียวของท่ออิงที่บริเวณช่วงต้นๆของท่ออิง

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Y. Fung, Z. Li, S. Xu (2007). Influence and analysis of escape posture for different launch tube spiral angle, World Journal of Modeling and Simulation, vol. 3, April 2007, pp. 230-234.
- [2] Ansys, Inc. Ansys 14.0 Help, 2011.
- [3] K. J. Bathe (1996). Finite Element Procedures. Prentice-Hall. Englewood Cliffs.