

การจำลองแบบระบบพลศาสตร์แบบ 3 องศาอิสระของจรวดหลายลำกล้องไม่นำวิถี
เพื่อศึกษาผลของมุมยิงที่มีต่อเสถียรภาพของแท่นยิง
A 3 Degrees of Freedom Dynamic System Simulation
Of Unguided MLRS for Platform Stability Study under Curtain Firing Angles

เกติษฐ์ ใจดี¹, อัฐภูมิ เหลืองทองคำ² และ สุวิชา จันทน์กระพ้อ³

¹สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (องค์การมหาชน) กระทรวงกลาโหม
ชั้น 4 อาคารสำนักงานปลัดกระทรวงกลาโหม (แจ้งวัฒนะ) 47/433 หมู่ 3 ต.บ้านใหม่ อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี 11120

*ผู้ติดต่อ: 02 980 6688 หรือ 086 350 7868²

E-mail: kedit.j@dti.or.th¹, Auttapoom.l@dti.or.th², Suwicha.c@dti.or.th³

บทคัดย่อ

จรวดหลายลำกล้องเป็นอาวุธที่ต้องการแท่นยิงที่มีความเสถียรและมีความถูกต้องในตำแหน่งของมุมยิงสูง การปรับทิศของลูกจรวดก่อนยิงให้ได้ตรงตามที่ระบบควบคุมการยิงต้องการจะส่งผลให้จรวดยิงตกตรงเป้าหมาย ในกรณีที่ยิงจรวดอย่างต่อเนื่องจะก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนกับแท่นยิงจรวด ซึ่งทำให้ความแม่นยำของการยิงจรวดลดลงโดยเฉพาะกับจรวดแบบไม่นำวิถี งานวิจัยนี้เป็นการจำลองแบบรดยิงจรวดหลายลำกล้องแบบไม่นำวิถี โดยใช้โปรแกรมMATLAB เพื่อศึกษาถึงผลของมุมยิงว่ามีผลต่อเสถียรภาพของแท่นยิงจรวดอย่างไร จากผลการจำลองแบบพบว่ามุมยิงที่ต่างกันจะทำให้แรงขับจรวดที่กระทำกับแท่นยิงบนรดยิงต่างกัน ส่งผลให้การสั่นสะเทือนของแท่นยิงมีค่าต่างกันไปด้วย โดยเมื่อมุมยิงมากขึ้นการสั่นในแนวตั้งของแท่นยิงสูงและการสั่นในแนวระดับจะน้อย การยิงจรวด1 ลูกพบว่าใช้เวลาประมาณ 2 วินาที ในการที่การสั่นของแท่นยิงจะกลับเข้าสู่ภาวะเสถียร ซึ่งจากข้อมูลนี้ทำให้ได้ข้อมูลในการออกแบบระบบควบคุมการยิงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นได้

คำหลัก: แท่นยิงจรวด, การจำลองแบบแท่นยิงจรวด, การสั่นสะเทือนขณะยิง

Abstract

In military application, rocket launching platform of multiple launcher rocket system (MLRS) is extremely required high stability and precision movement mechanisms. Correctly, moving to assigned firing angle, obtained from fire control system, will result in good target hitting. However, platform vibration caused from continuous rockets firing will dramatically reduce the shooting accuracy, especially in case of unguided rocket. This paper presents a 3 degrees of freedom dynamic system simulation of unguided MLRS for launching platform stability study at various firing angles, using MATLAB. The simulation results reveal that the firing angle directly affects the platform vibration characteristic. For all examined firing angles, the launching system will reach the steady state after 2 seconds of firing. The outcomes from this research will be lately used to improve the rocket fire control system under vibration situation.

Keywords: Rocket Platform, Platform Simulation, Rocket Platform Vibration.

1. บทนำ

แท่นยิงจรวด เป็นอุปกรณ์หลักในการยิงจรวด มีหน้าที่ในการปรับมุมทิศ, มุมยิงของจรวดให้ได้ตรงตามค่าที่ได้รับจากระบบควบคุมการยิง การปรับลูกจรวดให้มีทิศทางตรงตามที่ต้องการเป็นสิ่งที่สำคัญ เพื่อให้จรวดตกลงตามเป้าหมาย ดังนั้นแท่นยิงต้องมีความเสถียรและความถูกต้องของมุมทิศ, มุมยิงสูงในช่วงขณะทำการยิง โดยเฉพาะจรวดแบบไม่นำวิถีแรงภายนอกที่ต้องคำนึงถึงที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนของแท่นยิงได้คือแรงขับของจรวด การจำลองแบบแท่นยิงติดตั้งบนรถยิง โดยใช้โปรแกรม MATLAB จะทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของแรงขับจรวดกับการสั่นสะเทือนของแท่นยิงที่มุมยิงต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนาโปรแกรมในการคำนวณหามุมทิศ, มุมยิงของระบบควบคุมการยิงให้ถูกต้องมากขึ้น การจำลองแบบนี้ เป็นการจำลองแบบแท่นยิงที่ติดตั้งบนรถยิงจรวดล้อย่างแบบ 6x6 โดยแท่นยิงบรรจุลูกจรวดจำนวน 6 นัด รถยิงทำการยิงในมุมต่างกัน 4 มุม คือ 15 องศา, 30 องศา, 45 องศา และ 60 องศา ดังแสดงในรูปที่ 1

2. แท่นยิงจรวดหลายลำกล้อง

เพื่อให้เกิดความคล่องตัวในการเคลื่อนย้ายแท่นยิงจึงถูกติดตั้งบนรถ ซึ่งทำให้คล่องตัวสามารถเคลื่อนย้ายได้เร็วขึ้น

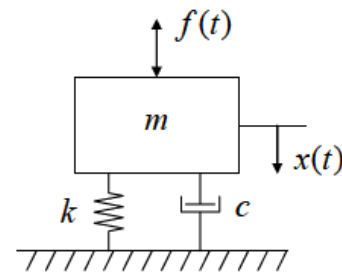


รูปที่ 1 แท่นยิงจรวดติดตั้งบนรถยิงท่ามุมต่างกัน

2.1 แบบจำลองการสั่นสะเทือนของแท่นยิง

จากการติดตั้งบนรถของแท่นยิง ทำให้เกิดปัญหาเรื่องการสั่นสะเทือนในขณะที่ทำการยิง

เนื่องจากแรงขับของจรวดที่กระทำกับแท่นยิง ดังนั้นการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนทางกลจึงมีบทบาทสำคัญในการออกแบบแท่นยิง และสามารถอธิบายได้โดยใช้สมการเชิงอนุพันธ์ โดยเป็นปัญหาการสั่นสะเทือนที่มีการหน่วง ซึ่งโดยทั่วไปสามารถเขียนเป็นสมการการเคลื่อนที่ได้ดังนี้



รูปที่ 2 แบบจำลองทางกายภาพของการสั่นสะเทือน

$$[M]\{\ddot{x}(t)\} + [C]\{\dot{x}(t)\} + [K]\{x(t)\} = \{f(t)\}$$

โดยที่ $[M]$ คือเมทริกซ์มวล (Mass)

$[C]$ คือเมทริกซ์ความหน่วง (Damping)

$[K]$ คือเมทริกซ์ความยืดหยุ่น (Stiffness)

$\{\ddot{x}(t)\}$ คือเวกเตอร์ความเร่ง

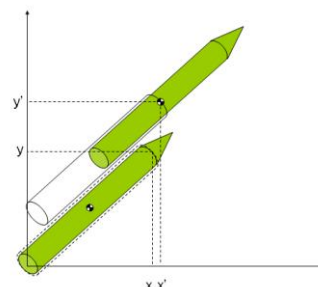
$\{\dot{x}(t)\}$ คือเวกเตอร์ความเร็ว

$\{x(t)\}$ คือเวกเตอร์การกระจัด

$\{f(t)\}$ คือเวกเตอร์ของแรงที่มากระทำ

2.2 ผลจากการสั่นสะเทือนของแท่นยิง

การสั่นสะเทือนของแท่นยิงทำให้เกิดการเคลื่อนที่ในแนวแกน x และ y และจรวดจะออกจากท่อจรวดในตำแหน่งที่เปลี่ยนไป ซึ่งจะส่งผลต่อความแม่นยำของจรวดต่อเป้าหมาย



รูปที่ 3 ตำแหน่งที่เปลี่ยนไปของท่อยิง

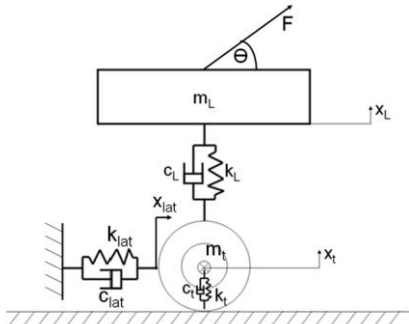
2.3 การใช้โปรแกรม MATLAB วิเคราะห์ปัญหา

ใช้วิธีการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ ด้วย Runge-Kutta Method โดยใช้โปรแกรม MATLAB

3. การจำลองแบบ

3.1 สมการการเคลื่อนที่ของแท่นยิง

พิจารณาแท่นยิงเป็นวัตถุชิ้นเดียวกับตัวรถมีช่วงล่างมีระบบกันสะเทือนและล้อรถ เมื่อพิจารณาเฉพาะ 1 ล้อสามารถเขียน FBD ได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 FBD ของรถยิงและล้อจำนวน 1 ล้อ

x_L, x_t, x_{lat} คือทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ จรวดมีแรงกระทำ F แท่นยิงมีมุม θ

เมื่อ m_L = มวลของรถ

m_t = มวลของล้อรถ

C_L = ค่าคงตัวการหน่วงของระบบกัน

สะเทือนของรถ

C_t = ค่าคงตัวการหน่วงของยางรถ

C_{lat} = ค่าคงตัวการหน่วงของยางรถตาม

ทิศการเคลื่อนที่ของรถ

k_L = ค่าคงตัวสปริงของระบบกันสะเทือน

ของรถ

k_t = ค่าคงตัวสปริงของยางรถ

k_{lat} = ค่าคงตัวสปริงของยางรถตามทิศ

การเคลื่อนที่ของรถ

จาก FBD สามารถเขียนสมการการเคลื่อนที่ตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน ได้ดังนี้

$$[\sum F_y = ma_y]$$

$$F \sin \theta - 6[k_L(x_L - x_t) + C_L(\dot{x}_L - \dot{x}_t)] - m_L g = m_L \ddot{x}_L \quad (1)$$

$$6k_L(x_L - x_t) + 6C_L(\dot{x}_L - \dot{x}_t) - 6(k_t x_t + C_t \dot{x}_t) - m_t g = m_t \ddot{x}_t \quad (2)$$

$$[\sum F_x = ma_x]$$

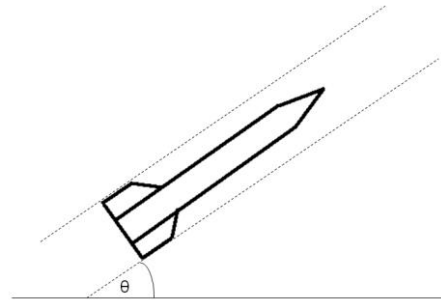
$$F \cos \theta - 6[k_{lat} x_{lat} + C_{lat} \dot{x}_{lat}] = (m_L + m_t) \ddot{x}_{lat} \quad (3)$$

เมื่อแก้สมการ (1), (2) จะได้ค่า x_L, x_t ซึ่งเป็นค่าการเคลื่อนที่ในแนวแกน y ของรถยิงและยางรถตามลำดับ ซึ่งจะสัมพันธ์กับแรง F และมุม θ ด้วย ส่วนสมการ (3) เป็นการสั้นในแนวแกน x ของรถยิง

3.2 การจำลองแบบมูมยิงและแรงขับจรวด

ในขณะที่จรวดถูกจุดชนวน เพื่อยิงออกจากท่อ จรวดจะคงอยู่ในท่อในระยะเวลาสั้นๆ ระยะเวลาหนึ่งจนกว่าจะชนะแรงดึงของท่อยิง ซึ่งแรงที่จรวดกระทำกับท่อยิงนี้จะส่งผลต่อการสั่นสะเทือนของระบบได้

แรงกระทำต่อท่อยิงในแนวท่อยิง ใช้เวลาเพียง 0.2 วินาที โดยให้ถือว่า การเคลื่อนที่ของจรวดออกจากท่อ ไม่เกิดแรงเสียดทานระหว่างจรวดและท่อจรวด



รูปที่ 5 แบบจำลองจรวดในท่อยิง

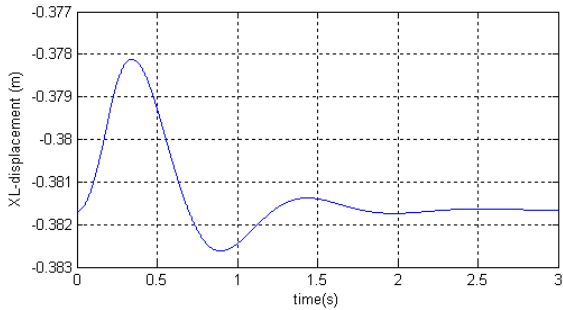
3.3 การคำนวณ

จากสมการที่ (1), (2) และ (3) สามารถใช้โปรแกรม MATLAB ในการคำนวณ โดยที่ค่าคงที่ต่างๆ ในรูปที่ 4 ได้กำหนดเป็นดังตารางที่ 1 ตารางที่ 1 ค่าคงที่ของการจำลองแบบแท่นยิง

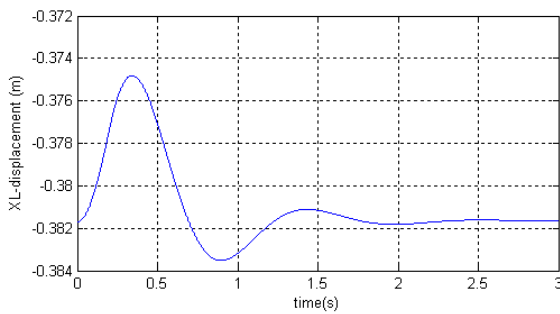
Parameters	Values
m_L	15,000 kg
m_t	50 kg
k_L	96 kN/m
k_t	195 kN/m
k_{lat}	700 kN/m
C_L	22.5 kN s/m
C_t	250 N s/m
C_{lat}	350 kN s/m

4. ผลการจำลองแบบ

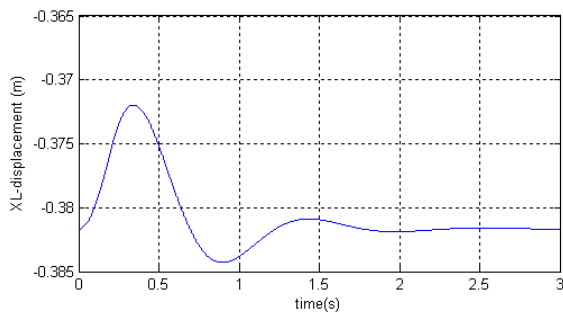
4.1 กราฟการเคลื่อนที่ของแท่นยิงในแนวแกน y



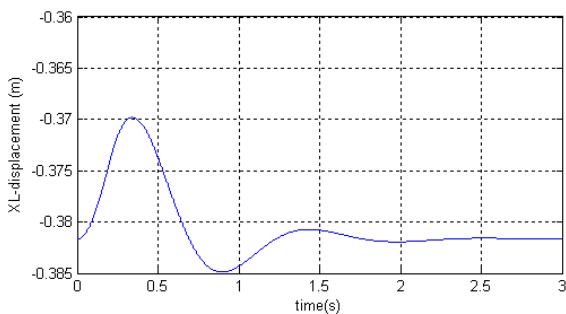
รูปที่ 6 ระยะเวลาการเคลื่อนที่ต่อเวลาที่มุมยิง 15°



รูปที่ 7 ระยะเวลาการเคลื่อนที่ต่อเวลาที่มุมยิง 30°

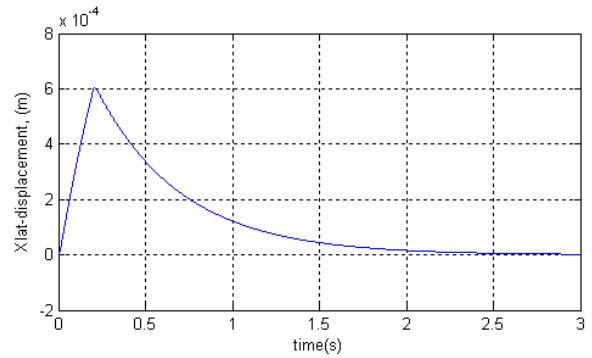


รูปที่ 8 ระยะเวลาการเคลื่อนที่ต่อเวลาที่มุมยิง 45°

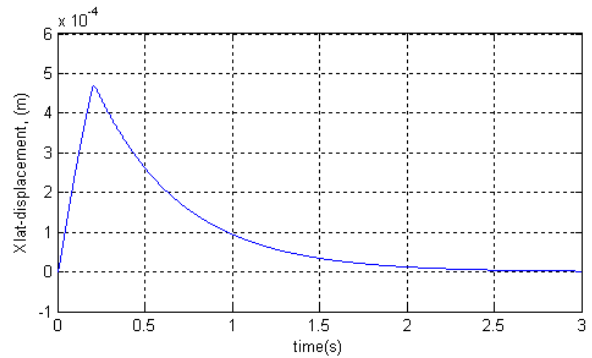


รูปที่ 9 ระยะเวลาการเคลื่อนที่ต่อเวลาที่มุมยิง 60°

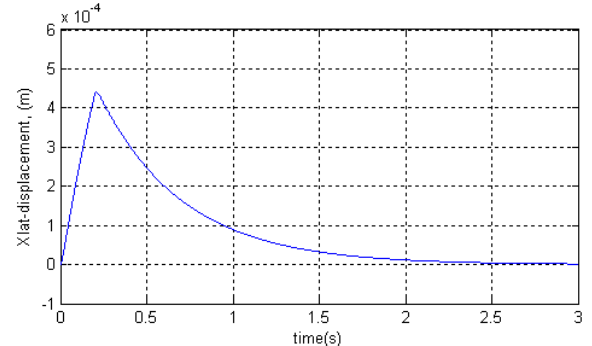
4.2 กราฟการเคลื่อนที่ของแท่นยิงในแนวแกน x



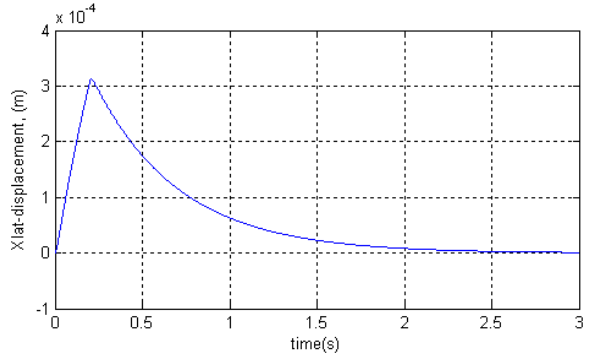
รูปที่ 10 ระยะเวลาการเคลื่อนที่ต่อเวลาที่มุมยิง 15°



รูปที่ 11 ระยะเวลาการเคลื่อนที่ต่อเวลาที่มุมยิง 30°



รูปที่ 12 ระยะเวลาการเคลื่อนที่ต่อเวลาที่มุมยิง 45°



รูปที่ 13 ระยะเวลาการเคลื่อนที่ต่อเวลาที่มุมยิง 60°

4.3 ผลความสัมพันธ์จากกราฟ

ตารางที่ 2 ค่าแอมพลิจูด

มุมยิง	+Y(mm)	-Y(mm)	+X(mm)
15	3.5	0.9	0.6
30	6.9	1.8	0.46
45	9.7	2.3	0.44
60	11.7	3.3	0.32

แอมพลิจูดในการสั่นสะเทือนของแท่นยิงกับ มุมยิงมีความสัมพันธ์กัน โดยมุมยิงที่สูงทำให้การ สั่นสะเทือนในแกน y มากขึ้น ในขณะที่แกน x ลดลง และในทางกลับกันมุมยิงที่ลดลง ทำให้การสั่นสะเทือน ในแกน y ลดลงแต่การสั่นสะเทือนในแกน x มากขึ้น จากตัวเลขพบว่า การสั่นสะเทือนในแกน x ถือว่าน้อยมาก การสั่นสะเทือนในแกน y นั้น ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของท่อยิงมากกว่า จากผลการทดลองพบว่า การสั่นสะเทือนใช้เวลา 2 วินาที จึงกลับสู่ภาวะเสถียร

5. สรุปผล

ในระหว่างที่ยิงจรวดในแต่ละนัด แรงขับของ จรวดมีผลต่อการเคลื่อนที่ของรถยิงทั้งในแนวแกน xy การออกแบบระบบควบคุมการยิงจะต้องให้ ความสำคัญกับการสั่นสะเทือนของแท่นยิง โดยการ ออกแบบระบบช่วงล่างและการเลือกโช้ยางรถเป็นสิ่งที่ ต้องคำนึงถึง ส่วนเวลาในการยิงจรวดแต่ละลูกจะต้อง คำนึงถึงการสั่นของท่อยิง ซึ่งเวลาที่ให้แท่นยิงกลับเข้าสู่ ภาวะเสถียรประมาณ 2 วินาที และจาก ผลการวิจัยนี้ สามารถนำไปศึกษาเพื่อหาลำดับในการ จุดจรวดที่เหมาะสมได้ต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Pamfil ŞOMOIAG, Doru SAFTA, Cristian-Emil MOLDOVEANU. Particularity of the Rocket Movement upon the Launcher under the Disturbance Factors Action which Appear During the Firing, paper presented in *World Congress on Engineering 2008*, London, U.K.

[2] Dan RĂDUCANU, Ion NEDLCU, Doru SAFTA, Pamfil ŞOMOIAG, Cristian-Emil MOLDOVEANU. Particularity Concerning Evaluation of Unguided Rocket Trajectories Deviation under the Disturbance Factors Action, paper presented in *World Congress on Engineering 2009*, London, U.K.

[3] Guoping Wang, Xiaoting Rui, Yuqi Lu. Dynamics Analysis of multibody System with Random Parameters, Institute of Power Engineering Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, P.R. China

[4] Cungui Yu, Dawei Ma, Xuefeng Zhang. Launch process simulation of a ship-borne multiple launch rocket system, *World Journal of Modelling and Simulation* Vol.3(2007) No.1, pp.58-65

[5] DJ Cole, D Cebon. Truck tires, suspension design and road damage, Cambridge University Engineering Department, Trumpington St, Cambridge, CB2 1PZ.

[6] Anantawit Tuchinda, Surachate Chutima, Ekaratch Pankaew, Vibration Analysis of Suspension in HDD with FEM, IE Network Conference 2008

[7] Clarence W. de Silva, Computer Techniques in Vibration, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2007

[8] Montri Piroonkaset, Mechanical Vibration, Top Publishing, 2551

[9] Jimin He, Zhi-Fang Fu, Modal Analysis, Butterworth-Heinemann, 2001