

**การวิเคราะห์และปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องในการออกแบบระบบทางกล
กรณีศึกษาชุดท่อยิงจรวด
Mechanical System Design Failure Mode and Effect Analysis for Improvement:
Case Study of Rocket Launcher Tube**

ทศพลพร พรพิบูลสมภพ* เพิ่มศักดิ์ ศิริพล และ คมสันต์ ประพันธ์กาญจน์
ฝ่ายวิจัยและพัฒนา สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (องค์การมหาชน) ปากเกร็ด นนทบุรี 11120
E-mail: tosapolporn.p@dti.or.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการการวิเคราะห์และปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องในการออกแบบระบบทางกลที่ยิงจรวด งานวิจัยเริ่มจากการวิเคราะห์เพื่อระบุขอบเขตของระบบทางกลรวมทั้งกำหนดความสำคัญในแต่ละระบบย่อย การหาข้อบกพร่องและผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น ยังหมายรวมถึงการระบุสาเหตุและการควบคุมการออกแบบในปัจจุบันของข้อบกพร่องเหล่านั้นของระบบย่อยที่มีความสำคัญสูงที่สุดด้วย ขั้นตอนถัดมาคือการประเมินความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดจากข้อบกพร่อง ความเป็นไปได้ที่คาดว่าจะเกิดข้อบกพร่อง และโอกาสตรวจจับข้อบกพร่องด้วยวิธีการควบคุมการออกแบบในปัจจุบันตามลำดับ ข้อบกพร่องถูกจัดลำดับความสำคัญด้วยตัวเลขความเสี่ยงซึ่งนำมาจากผลคูณของค่าประเมินดังกล่าวข้างต้น ข้อบกพร่องที่มีค่าตัวเลขความเสี่ยงซึ่งนำมากกว่า 100 จัดเป็นข้อบกพร่องหลัก และเลือกเป็นหัวข้อในการปรับปรุงแก้ไขการออกแบบระบบทางกลที่ยิงจรวดหลายลำกล้อง โดยวิเคราะห์หาการควบคุมการออกแบบที่เหมาะสมเพื่อปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องหลักเหล่านั้น ในท้ายที่สุดมีการทบทวนวิธีการวิเคราะห์รวมทั้งคำนวณค่าตัวเลขความเสี่ยงซึ่งนำดังกล่าวข้างต้นอีกครั้งเพื่อประเมินการควบคุมการออกแบบที่นำเสนอ การควบคุมการออกแบบที่มีค่าตัวเลขความเสี่ยงซึ่งนำน้อยกว่า 100 ถือเป็นการควบคุมที่เหมาะสม

จากผลการวิจัยพบว่า ระบบย่อยที่มีความสำคัญสูงสุดคือ ระบบชุดท่อยิง (43.3%) ซึ่งข้อบกพร่องหลักของระบบนี้เรียงตามตัวเลขความเสี่ยงซึ่งนำได้แก่ (1)ท่อยิงเสียหายจากการรับ Detention force ที่มีสาเหตุมาจากเลือกใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงไม่เพียงพอ (2)จรวดปืนเกลียวที่มีสาเหตุมาจากร่องเกลียวไม่สามารถประกอบ Guided knob ได้ (3)เกลียวหลุดระหว่างการเคลื่อนที่ของจรวดจากการยึดกันระหว่างเกลียวและท่อยิงไม่แข็งแรงเพียงพอ (4)ท่อยิงเสียรูปทรงจากการยิง ที่มีสาเหตุจากการออกแบบและการคัดเลือกวัสดุที่ไม่สมบูรณ์ งานวิจัยชี้ให้เห็นว่าสามารถลดความเสี่ยงในการเกิดข้อบกพร่องดังกล่าวได้ด้วยการออกแบบร่วมกับการคัดเลือกวัสดุที่เหมาะสม เมื่อออกแบบแล้วใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบทางกล รวมทั้งสร้างต้นแบบเพื่อทดสอบยิงก่อนการผลิตจริง ช่วยให้ความเสี่ยงลดลงเป็นอย่างมาก คำหลัก: DFMEA, ตัวเลขความเสี่ยงซึ่งนำ, การออกแบบระบบทางกล, ระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์

Abstract

The objective of this research is to analyze and improve the mechanical system of Rocket Launch Tube's failure modes. First, the analysis of possible failure modes and their effects for individual designed product's system and sub-system is carried out. The potential causes of failure as well as the current design control are also identified. Each design failure mode is rated for its severity of effect, likely failure rates over design life, and likelihood of detection by current design control, respectively. Once all failure modes are prioritized by corresponding Risk Priority Number (RPN), the failure modes having RPN more than 100 are classified as major failure and thus selected for correction improvement. Action plan may be considered for overcoming those particularly major failures. Finally, we re-analyze above procedure by currently updating the most vital sub-system and repeating RPN calculation to obtain appropriated action plan which RPN lower than 100.

The results from this research show that the most vital concerned sub-system is launch pod (43.3%). The major failure which was prioritized by RPN is (1) Damaged launch tube caused by improper selection of material, (2) Rocket falls out from the guided rail caused by designed rail size failed to hold guided knob, (3) Peeled guided rail inside-tube caused by low cohesive force between them, and (4) Distortion of launcher tube caused by improper selection of material and/or insufficient structural design. The result noticeably indicated that the diminished RPN can be achieved by paying more attention on structural design and correctly selecting proper material. Moreover, the finite element method should be applied during sub-system verification, and live firing test of the prototyping platform will be used as sub-system validation

Keywords: DFMEA, Risk Priority Number, Mechanical system design, Finite element method

1. บทนำ

ในกระบวนการออกแบบชิ้นส่วนหรือระบบทางกลนั้นสิ่งที่มีความสำคัญไม่น้อยไปกว่าแบบทางกลของชิ้นส่วนนั้น คือ กระบวนการประเมินผลการออกแบบทางกล การประเมินผลมีวัตถุประสงค์หลากหลาย เช่น เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องกับคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ความต้องการของลูกค้า เป็นต้น บทความฉบับนี้เป็นการนำเสนอกระบวนการประเมินข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นจากการออกแบบระบบทางกลซึ่งมีระบบย่อยหลายระบบประกอบอยู่ในซึ่งระบบย่อยชุดต่อจึงควรถูกนำมาเป็นตัวอย่างในการประเมินข้อบกพร่องในการออกแบบ รวมทั้งการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องเหล่านั้นด้วย

2. การสำรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

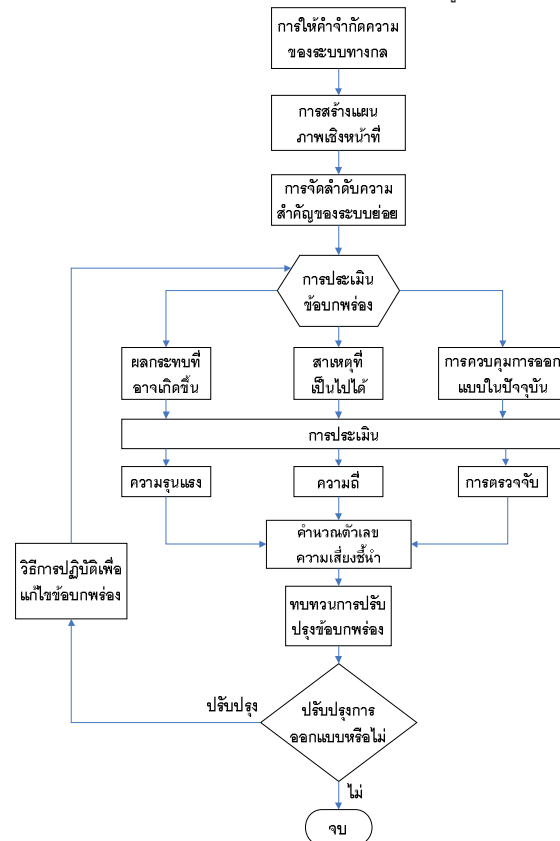
การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA) นั้นถูกนำมาประยุกต์ใช้ในหลากหลายกระบวนการ เช่น ในกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ นิพนธ์^[1] ใช้เทคนิคในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์สายไฟฟ้า ในกระบวนการผลิตเพื่อลดของเสีย ณัฐพล^[2] ใช้ในการผลิตท่อส่งน้ำระบายความร้อนในรถยนต์ และ สุรกิจ^[3] ในการผลิตชิ้นส่วนมาตรวัดแรงดัน นอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตได้ด้วย ปิยพร^[4] ใช้วิเคราะห์และควบคุมปริมาณโลหะมีค่าในกระบวนการผลิตเครื่องประดับ และ หทัยรัตน์^[5] ใช้ปรับปรุงและเฝ้าติดตามคุณภาพในกระบวนการก่อสร้างบ้าน การบริหารความปลอดภัยเองก็ประยุกต์ใช้แนวคิดนี้เช่นเดียวกัน กิตติพงษ์^[6] ใช้พัฒนาระบบบริหารความปลอดภัยสำหรับการขนส่งวัตถุอันตราย ในการบริหารโครงการได้มีการนำแนวทางนี้ไปประยุกต์ใช้ด้วยเช่นเดียวกัน ธวัชชัย^[7] ใช้เพื่อหาแนวทางในการสร้างระบบประกันคุณภาพสำหรับการบริหารโครงการของโรงผลิตน้ำ สำหรับ FMEA เองได้มีการพัฒนาเทคนิคนี้ให้มีความถูกต้อง แม่นยำ และมีความน่าเชื่อถือที่สูงขึ้น Kwai-Sang Chin^[8] ได้ประยุกต์วิธีการฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy logic) และระบบฐานความรู้ (Knowledge Based System) มาประยุกต์ใช้ร่วมกับ FMEA ในกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่ต้องการคุณภาพสูง Sellappan N. et al^[9] ได้พัฒนาวิธีการประเมินด้วยการประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) เพื่อแก้ไขปัญหาการประเมินที่แตกต่างกัน แต่มีค่าตัวเลขความเสี่ยงชี้แนะเท่ากัน

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยนั้นเริ่มตั้งแต่การให้คำจำกัดความของระบบทางกลของแท่นยิงจรวด การสร้างแผนภาพเชิงหน้าที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระบบย่อยที่อยู่ภายในช่วยให้สามารถเข้าใจการทำงานของแท่นยิงจรวดหลายส่วนได้ดียิ่งขึ้น ขั้นตอนต่อมาเป็นการจัดลำดับความสำคัญของระบบย่อย โดยการใช่วิธีการ Direct Rating ผู้ที่ทำการประเมินคือ นักวิจัยอาวุโสที่มีความเชี่ยวชาญในการออกแบบแท่นยิงจรวด รวมทั้งร่วมกับทีมวิจัยในการวิเคราะห์ถึงผลกระทบที่เกิดจากข้อบกพร่องเหล่านั้น สาเหตุหลักของข้อบกพร่อง และการควบคุมการออกแบบในปัจจุบัน การวิเคราะห์หาสาเหตุหลักดังกล่าวได้นำเอาแผนผังกังปลา (Cause

and effect Diagram) เข้ามาเป็นเครื่องมือในการหารากเหง้า (Root cause) ของข้อบกพร่องเหล่านั้นอีกด้วย อีกทั้งประเมินความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดจากข้อบกพร่อง ความเป็นไปได้ที่คาดว่าจะเกิดข้อบกพร่อง และโอกาสตรวจจับข้อบกพร่องโดยการควบคุมการออกแบบในปัจจุบันด้วยเกณฑ์การประเมินของ FMEA เมื่อเสร็จสิ้นแล้วต้องมีการทบทวนเพื่อหาข้อบกพร่องหลัก ซึ่งเป็นข้อบกพร่องที่มีค่าตัวเลขความเสี่ยงชี้เนามากกว่า 100 รวมทั้งให้แนวทางในการปฏิบัติ การทดสอบ หรือ การออกแบบเพื่อปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องหลักดังกล่าว สุดท้ายต้องมีการประเมินแนวทางในการปฏิบัติ การทดสอบ หรือ การออกแบบอีกครั้งด้วยหลักเกณฑ์เดียวกันกับการประเมินในครั้งแรก ซึ่งต้องมีค่าตัวเลขความเสี่ยงชี้เนไม่เกิน 100 จึงจะถือว่าแนวทางในการปฏิบัติ การทดสอบ หรือ การออกแบบที่นำเสนอนั้นมีความเหมาะสม

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยสามารถแสดงได้ด้วยรูปที่ 1

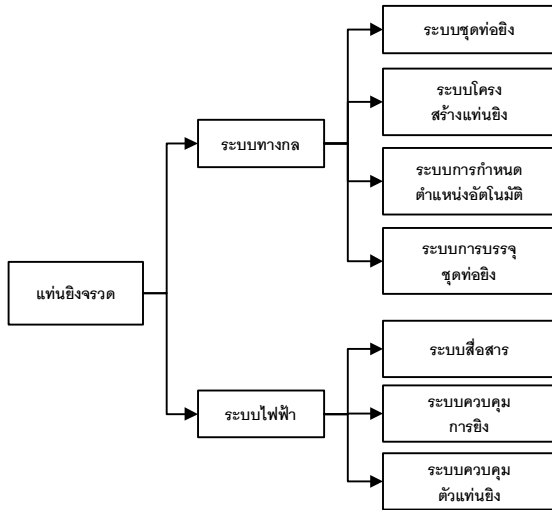


รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

4. ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผลการวิจัย

4.1 ผลการให้คำจำกัดความของระบบทางกล

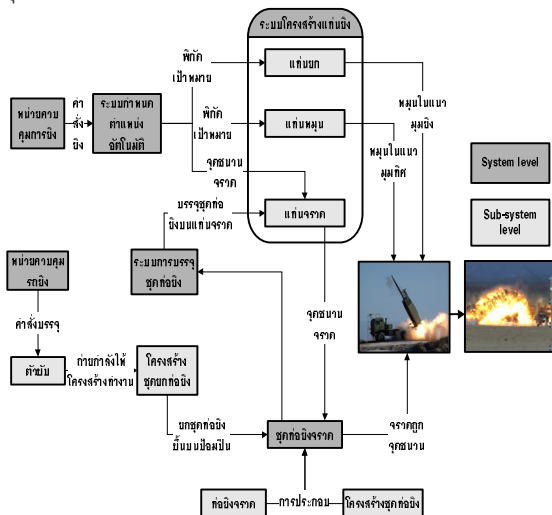
จากการวิเคราะห์พบว่าแท่นยิงจรวดสามารถแบ่งออกเป็นระบบได้ทั้งสิ้น 2 ระบบใหญ่คือ ระบบทางกลและระบบไฟฟ้าดังรูปที่ 2 โดยระบบทางกลประกอบด้วยระบบย่อย 4 ระบบได้แก่ ระบบชุดท่อยิงจรวด ระบบโครงสร้างแท่นยิง ระบบการกำหนดตำแหน่งอัตโนมัติ และ ระบบการบรรจุชุดท่อยิง



รูปที่ 2 แสดงระบบต่างๆของแท่นยิงจรวดหลายลำกล้อง

4.2 แผนภาพเชิงหน้าที่

เป็นแผนภาพแสดงหน้าที่ของแต่ละระบบที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 4.1 การทำหน้าที่ของแต่ละระบบเริ่มจากหน่วยควบคุมทำการบรรจุชุดท่อยิงไว้บนรถยิงแล้วเคลื่อนตัวเข้าสู่ที่ตั้งยิง เมื่อทราบพิกัดของฝ่ายตรงข้ามแล้ว หน่วยควบคุมการยิงจะออกคำสั่งยิงให้กับระบบกำหนดตำแหน่งอัตโนมัติ ซึ่งจะกำหนดพิกัดเป้าหมายเป็นการหมุนไปหาทิศทางของเป้าหมาย เมื่อลือคเป้าหมายได้แล้วก็จุดชนวนจรวดเพื่อยิงจรวดทำลายเป้าหมายต่อไป

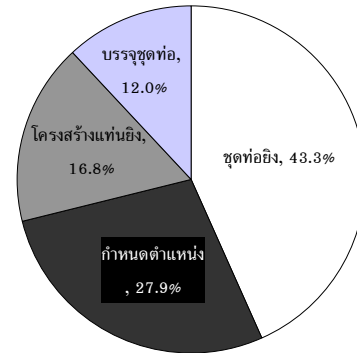


รูปที่ 3 แสดงอันตรกิริยาระหว่างระบบและระบบย่อยต่างๆของชุดท่อยิงจรวดหลายลำกล้อง

4.3 การจัดลำดับความสำคัญของระบบย่อย

การจัดลำดับระบบย่อยต่างๆเพื่อต้องการจำแนกความสำคัญของระบบโดยการให้ความเห็นของนักวิจัยอาวุโสนั้นเป็นไปตามรูปที่ 4

จากรูปที่ 4 แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ระบบชุดท่อยิงเป็นระบบย่อยที่มีความสำคัญสูงที่สุดที่ 43.3% เมื่อเทียบกับระบบย่อยอื่นๆที่เหลือ



รูปที่ 4 แสดงความสำคัญของแต่ละระบบย่อยทางกล

4.4 การประเมินข้อบกพร่องของระบบทางกล

หลังจากที่ได้ระบบย่อยทางกลที่ต้องการแล้ว จึงเริ่มทำการประเมินความรุนแรงของผลกระทบจากข้อบกพร่อง ความเป็นไปได้ที่คาดว่าจะเกิดข้อบกพร่อง และโอกาสตรวจจับข้อบกพร่อง เกณฑ์การประเมินนั้นใช้หลักเกณฑ์ของ FMEA

ผลการประเมินข้อบกพร่องแสดงดังตารางที่ 1

4.5 การทบทวนเพื่อปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องหลัก

ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการวิเคราะห์หาข้อบกพร่องหลัก ซึ่งทางทีมวิจัยได้กำหนดว่า ข้อบกพร่องหลักจะต้องมีค่าตัวเลขความเสี่ยงขั้นต่ำมากกว่า 100 ดังนั้นข้อบกพร่องหลักในการออกแบบระบบชุดท่อยิงนี้คือ

4.5.1 ท่อยิงเสียหายจากการรับ Detention force อันเกิดจากเลือกใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงไม่เพียงพอ มีค่าความเสี่ยงขั้นต่ำเท่ากับ 250

4.5.2 จรวดปืนเกลียวที่มีสาเหตุมาจากร่องเกลียวประคอง knob ไม่ได้ มีค่าความเสี่ยงขั้นต่ำเท่ากับ 245

4.5.3 ท่อยิงเสียหายจากการรับ Detention force อันเกิดจากการออกแบบระบบการยึด Detent ไม่เหมาะสม มีค่าความเสี่ยงขั้นต่ำเท่ากับ 210

4.5.4 เกลียวหลุดระหว่างการเคลื่อนที่ของจรวด อันเกิดจากการยึดกันระหว่างเกลียวและท่อยิงไม่แข็งแรงเพียงพอ มีค่าความเสี่ยงขั้นต่ำเท่ากับ 168

4.6 วิธีการปฏิบัติเพื่อปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง

จากการวิเคราะห์ข้อบกพร่องหลักที่อาจเกิดขึ้นจากการออกแบบชุดท่อยิงภายในที่ออกแบบ ได้มีข้อสรุปเกี่ยวกับวิธีการปฏิบัติเพื่อปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องหลักดังกล่าวได้ทั้งสิ้น 5 วิธีการได้แก่ การจำลองภาระและการยิง (FFS) การคำนวณเชิงตัวเลขด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ (FEM) การสร้างต้นแบบเพื่อทดสอบยิง (PTP) และ การใช้ท่อยิงที่ทำจากอะลูมิเนียมในช่วงที่เป็นเกลียว (ATT) ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์กับข้อบกพร่องหลักได้ดังตารางที่ 2

4.7 ผลการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องหลัก

ผลการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องหลักนั้นวัดได้ด้วยการประเมินด้วยวิธีการเดียวกันกับหัวข้อที่ 4.4 เพียงแต่เปลี่ยนจากการประเมินความรุนแรงของการออกแบบในปัจจุบันเป็นการประเมินวิธีการปฏิบัติเพื่อปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องแทน แสดงได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 1 แสดงข้อบกพร่องหลักและวิธีการปฏิบัติเพื่อปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องเหล่านั้น

Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	S e v	Potential Cause(s) / Mechanism(s) of Failure	O c c u r	Current Design Controls Detection	D e t e c t N.	R. P. N.
เกลียวภายในลำกล้องหลุดขณะยิงจรวด	- เกลียวพื้นจรวดทำให้จรวดติดภายในท่อ - เกิดความเสียหายกับชุดท่อยิงจรวด - อาจเกิดอันตรายกับผู้ปฏิบัติงาน	8	การยึดกันระหว่างเกลียวและท่อยิงไม่แข็งแรงเพียงพอ	7	ใช้ FEM ช่วยคำนวณแรงยึดเหนี่ยวเพื่อหาจุดบกพร่องที่เด่นชัดที่สุด	3	168
			จรวดเคลื่อนที่ด้วยความเร็วมากกว่าที่คำนวณไว้	3	คำนวณน้ำหนักของดินระเบิดจรวดด้วยหลักการของ Combustion Science และ Rocket Propulsion	3	72
			การกัดกร่อนของท่อยิง	4	คัดเลือกวัสดุที่ทนทานการกัดกร่อน	3	96
จรวดปืนเกลียว	- จรวดมีความเร็วน้อยกว่าที่ออกแบบไว้ ทำให้มีความแม่นยำลดลง - เกิดความเสียหายกับชุดท่อยิงจรวด - อาจเกิดอันตรายกับผู้ปฏิบัติงาน	7	จรวดเคลื่อนที่ด้วยความเร็วมากกว่าที่คำนวณไว้	3	คำนวณน้ำหนักของดินระเบิดจรวดด้วยหลักการของ Combustion Science และ Rocket Propulsion	4	84
			ระยะพิชชิ่งของเกลียวมีค่ามากเกินไป	2	ระยะพิชชิ่งได้มาจากการคำนวณทางด้านพลศาสตร์	6	84
			ขนาดของเกลียวไม่สามารถปรับจรวดจรวดไว้ได้	7	ออกแบบความสูงของเกลียวเท่ากับ ความสูงของ knob	5	245
					ออกแบบตัวประกอบจรวดบนเกลียว (Lug) เพื่อลดการกระแทกของ knob	2	98
ท่อยิงเสียหาย	- ท่อยิงเสียหายจากการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วของจรวด - เกิดอันตรายกับผู้ปฏิบัติงาน	10	คัดเลือกวัสดุไม่เหมาะสม	5	คำนวณแรงอันตรกิริยาระหว่างท่อยิงและ Detent รวมทั้งใช้ Ashby's map ในการคัดเลือกวัสดุ	5	250
			ออกแบบ Detent ไม่เหมาะสม	3	คำนวณแรงที่กระทำในตำแหน่งการยึดเพื่อคัดเลือกวิธีการยึดที่เหมาะสม	7	210
ท่อยิงชนิดเบี่ยง	- ท่อยิงชนิดเบี่ยงอาจทำให้จรวดค้างในท่อยิง - ท่อยิงอาจหลอมติดกับโครงสร้างท่อทำให้ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ - ทำให้วิถีการยิงเปลี่ยนแปลง จรวดไม่กระทบเป้าหมาย	6	ไม่ทราบอุณหภูมิที่ท่อยิงรับภาระอยู่ ทำให้เลือกวัสดุไม่ถูกต้อง	3	ใช้การประมาณการประมาณความร้อนที่ท่อยิงรับภาระโดยผู้เชี่ยวชาญเพื่อคำนวณอุณหภูมิที่ท่อยิงรับภาระ	5	90
			คัดเลือกวัสดุไม่เหมาะสม	4	อัตราส่วนอุณหภูมิที่ท่อยิงต้องรับภาระกับอุณหภูมิใช้งานของวัสดุนั้นวัสดุที่มีค่าอัตราส่วนดังกล่าวมีน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 สามารถใช้งานได้	3	72
			ออกแบบโครงสร้างไม่เหมาะสม	5	คำนวณฟอร์คที่ก่อขึ้น แล้วแปลงเป็นค่าความเค้นเฉลี่ยสูงสุดเพื่อใช้ในการเลือกวัสดุ	2	60

ตารางที่ 2 แสดงข้อบกพร่องหลักและวิธีการปฏิบัติเพื่อปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องเหล่านั้น

ข้อบกพร่องหลักข้อที่*	วิธีการปฏิบัติเพื่อปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง			
	FFS	FEM	PTP	ATT
4.5.1		✓		
4.5.2	✓		✓	
4.5.3			✓	
4.5.4			✓	✓

* ลำดับข้อสามารถดูได้จากหัวข้อที่ 4.5

5. สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยพบว่า ระบบย่อยที่มีความสำคัญสูงสุดคือระบบชุดท่อยิง (43.3%) ซึ่งข้อบกพร่องหลักของระบบนี้เรียงตามตัวเลขความเสี่ยงขึ้นไปได้แก่ ท่อยิงเสียหายจากการรับ Detention force จรวดปืนเกลียว เกลียวหลุดระหว่างเคลื่อนที่ของจรวด และ ท่อยิงเบี่ยงเบน สาเหตุหลักเกิดจากการออกแบบและการคัดเลือกวัสดุที่ไม่สมบูรณ์ งานวิจัยชี้ให้เห็นว่าสามารถลดความเสี่ยงในการเกิดข้อบกพร่องดังกล่าวได้ด้วยการออกแบบร่วมกับการคัดเลือกวัสดุที่เหมาะสมด้วยแผนที่ของแอสบี้ (Ashby's Map) เมื่อ

ออกแบบแล้วใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบทางกล รวมทั้งสร้างต้นแบบเพื่อทดสอบยิงก่อนการผลิตจริง ช่วยให้ความเสี่ยงลดลงเป็นอย่างมาก ยกตัวอย่างเช่น ค่าความเสี่ยงขึ้นของข้อบกพร่องประเภทท่อยิงเสียหายจากการรับ Detention force ที่เกิดจากเลือกใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงไม่เพียงพอ และการออกแบบระบบการยึด Detent กับท่อยิงไม่เหมาะสม รวมทั้งข้อบกพร่องประเภทจรวดปืนเกลียว มีค่าเท่ากับ 250 245 และ 210 ตามลำดับ แต่เมื่อกำหนดให้มีการสร้างแบบจำลองร่วมกับการสร้างต้นแบบเพื่อทดสอบยิงเข้ามาช่วยพบว่า ค่าความเสี่ยงขึ้นลดลงมาอยู่ที่ 100 49 และ 30 ตามลำดับเป็นต้น

ตารางที่ 3 แสดงวิธีการปฏิบัติเพื่อปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องรวมทั้งผลการประเมินวิธีการปฏิบัติเหล่านั้น

Potential Failure Mode	D e t e c t N.	R. P. N.	Recommended Action(s)	Action Results			
				S e v	O c c u r	D e t e c t N.	R. P. N.
เกลียวหลุดระหว่างการเคลื่อนที่ของจรวด	3	168	ก๊าดท่อโลหะให้มีเกลียวภายในแล้วทดสอบยิง	8	7	1	56
	3	72	Static Firing Test เพื่อดูรูปแบบของ Trust pressure และ force	8	3	2	48
	3	96		8	4	3	96
จรวดปืนเกลียว	4	84	Static Firing Test เพื่อดูรูปแบบของ Trust pressure และ force	7	3	2	42
	6	84	1. จำลองแบบการเคลื่อนที่ของจรวดในท่อ	7	2	1	14
	5	245	2. จัดให้มีการทดลองยิงจรวดจริงเพื่อรับรองผล	7	7	1	49
	2	98		7	7	1	49
ท่อยิงเสียหายจากการรับโหลด Detent	5	250	จำลองแรงที่กระทำกับท่อด้วยวิธี FEM เพื่อปรับปรุงการออกแบบ	10	5	2	100
	7	210	จัดทำการศึกษาทดสอบยิงกับจรวดเพื่อดูผลการรับแรง	10	3	1	30
ท่อยิงเบี่ยง	5	90	ใช้การ Simulation เพื่อหาอุณหภูมิที่ท่อยิงรับภาระได้ค่าที่นำเชื่อถือมากขึ้น	6	3	2	36
	3	72		6	4	2	48
	2	60		6	5	2	60

6. กิตติกรรมประกาศ

ทีมผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (องค์การมหาชน) ที่ได้สนับสนุนการวิจัยครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] นิพนธ์ ชวนะปรางค์ (2514). การประยุกต์ใช้เทคนิค FMEA และ FTA ในงานการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์สายไฟฟ้า วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาวิทยาลัย ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [2] ณัฐพล บัวกล้า (2549). การวิเคราะห์และลดความเสี่ยงในกระบวนการผลิตท่อส่งน้ำระบายความร้อนในรถยนต์โดยใช้เทคนิค FMEA. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาวิทยาลัย ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [3] สุริจ มั่นยานนท์ (2550). การประยุกต์แนวทาง FMEA เพื่อลดความเสี่ยงในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนมาตรวัดแรงดัน วิทยานิพนธ์

ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[4] ปิยะพร โละกิจ (2550). การศึกษาวิเคราะห์และควบคุมปริมาณ
โลหะมีค่าในกระบวนการผลิตเครื่องประดับโดยใช้เทคนิค FMEA.
วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[5] หทัยรัตน์ สงวนไทร (2550). การปรับปรุงและเฝ้าติดตาม
คุณภาพในกระบวนการก่อสร้างบ้านโดยประยุกต์ใช้หลักการ QFD
และ FMEA. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรม
อุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[6] กิตติพงศ์ พุทธพรมงคล (2548). ระบบบริหารความปลอดภัย
สำหรับการขนส่งวัตถุอันตรายโดยการวิเคราะห์ความเสี่ยง.
วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[7] ธวัชชัย นาวาล้ำเลิศ (2542). การประกันคุณภาพสำหรับการ
บริหารโครงการของโรงผลิตน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย

[8] Kwai-Sang Chin et al (2008). *Development of a fuzzy
FMEA based product design system*. International Journal of
Advanced Manufacturing Technology vol. 36, pp 633–649

[9] Sellappan N. et al (2009). *A New Approach for Prioritization
of Failure Modes in Design FMEA using ANOVA*. World
Academy of Science Engineering and Technology vol 49