

การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับประเมินโอกาสในการทำลายเป้าหมายของ ระบบจรวดหลายลำกล้อง

A Development of Computer Program for Estimating Probability of Target Damage for Multiple Launch Rocket Systems

ปวัตน์ ชูศิลป์* , เจษฎา ศิริรัฐนิคม และ ไธวุฒิ นิลกุล

สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (องค์การมหาชน) กระทรวงกลาโหม
อาคารสำนักงานปลัดกระทรวงกลาโหม 47/433 ถนนแจ้งวัฒนะ ตำบลบ้านใหม่ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี 11120
*ติดต่อ: อีเมลล์ pawat.c@dti.or.th, โทรศัพท์ 02-980-6200

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับใช้ประเมินโอกาสในการทำลายเป้าหมาย หรือความเสียหายของเป้าหมายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจากการยิงซัลโวของระบบจรวดหลายลำกล้อง การคำนวณของโปรแกรมนี้ใช้วิธีการจำลองแบบมอนติคาร์โล ซึ่งเป็นการจำลองสุ่มจุดตกของจรวดแล้วประเมินความเสียหายของเป้าหมาย โดยอาจใช้กรณีสุ่มมากกว่าพันกรณีเพื่อให้ได้ผลคำนวณที่เชื่อถือได้ แล้ววิเคราะห์ผลทางสถิติจากกรณีสุ่มทั้งหมด ผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรมในปัญหาตัวอย่างถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลการคำนวณด้วยสูตรทางสถิติที่เชื่อถือได้เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม ทั้งนี้พบว่าผลการคำนวณทั้งสองวิธีได้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ยังได้ทดสอบโปรแกรมนี้กับกรณีศึกษาเพิ่มเติมเพื่อศึกษาจำนวนกรณีสุ่มที่เหมาะสมในการคำนวณด้วย

คำหลัก: การประเมินโอกาสในการทำลายเป้าหมาย, จรวดหลายลำกล้อง, การจำลองแบบมอนติคาร์โล

Abstract

This paper presents the development of a computer program for determining the expected fractional target damage from a salvo of a multiple launch rocket system. The developed computer program utilizes a Monte Carlo method that simulates the impact points in thousand randomized runs. Then the results from these runs are statistically evaluated to determine the average expected target damage and the confidence interval. The program was tested with a problem, of which an analytical solution is available. It was found that the results from both methods were close. In addition, the program was tested in two additional case studies to investigate the number of Monte Carlo runs needed to provide reliable results.

Keywords: Expected Fractional Target Damage, Multiple Launch Rocket Systems, Monte Carlo Simulation, Probability of Hit.

1. บทนำ

การกระจายตัวของจุดตกเป็นคุณลักษณะอย่างหนึ่งของระบบจรวดหลายลำกล้องแบบไม่นำวิถี (Unguided Multiple Launch Rocket System) ซึ่งเกิดขึ้นจากหลายสาเหตุ เช่น ลม สภาพอากาศที่แตกต่างไปจากสภาพมาตรฐาน พิกัดความเผื่อในการผลิตจรวด (Manufacturing Tolerance) ระบบจรวดชนิดนี้จึงมัก

ถูกใช้เพื่อทำลายเป้าหมายที่มีลักษณะเป็นอาคารขนาดใหญ่หรือพื้นที่มากกว่าเป้าหมายขนาดเล็กหรือเป็นจุด นอกจากนี้ ในการใช้งานอาวุธชนิดนี้จำเป็นต้องประเมินความเสียหายของเป้าหมายและความเสียหายข้างเคียงล่วงหน้า เพื่อให้สามารถวางแผนปฏิบัติการและเลือกจำนวนจรวดที่ใช้ได้อย่างเหมาะสม มีประสิทธิภาพ และสร้างความเสียหายข้างเคียงน้อยที่สุด

การประเมินความโอกาสในการทำลายเป้าหมายของระบบจรวดหลายลำกล้องสามารถทำได้หลายวิธี หากพื้นที่ของเป้าหมายเป็นรูปทรงเรขาคณิตพื้นฐาน เช่น วงกลม วงรี สี่เหลี่ยมผืนผ้า ก็สามารถใช้สูตรคำนวณที่มีอยู่ในเอกสารอ้างอิงประเมินได้ [1-7] แต่หากเป้าหมายมีความซับซ้อนมากขึ้น เช่น เป็นพื้นที่ที่ไม่เป็นสี่เหลี่ยม วงกลม วงรี หรือเป้าหมายเป็นอาคารมากกว่าหนึ่งหลัง ตั้งอยู่ในบริเวณใกล้เคียง การประเมินโดยใช้สูตรคำนวณ จะทำได้ยากหรือไม่สามารถทำได้

ในปัจจุบันที่วิทยาการคอมพิวเตอร์ก้าวหน้าไปมาก วิธีหนึ่งที่สามารถทำได้สะดวกและมีข้อจำกัดน้อยกว่าการประเมินโดยใช้สูตรคำนวณ คือ การใช้การจำลองแบบมอนติคาร์โล (Monte Carlo Simulation) [8,9] โดยทำการสุ่มจุดตกของจรวดแล้วประเมินความเสียหายของเป้าหมายในหลายๆกรณีสุ่ม จากนั้นคำนวณหาค่าทางสถิติ เช่น ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และช่วงความเชื่อมั่น จากกรณีสุ่มทั้งหมด การจำลองแบบนี้อาจต้องใช้จำนวนกรณีสุ่มมากถึงหลายพันหรือหมื่นกรณี เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำและน่าเชื่อถือ แต่หากใช้จำนวนกรณีที่สุ่มมากเกินไป การคำนวณก็อาจใช้เวลานานโดยไม่จำเป็น งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับประเมินโอกาสในการทำลายเป้าหมายของจรวดหลายลำกล้องด้วยการจำลองแบบมอนติคาร์โล และทดลองใช้โปรแกรมนี้กับกรณีศึกษาเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของผลคำนวณและศึกษาจำนวนกรณีที่สุ่มที่จำเป็นในการหาผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือ โดยในบทต่อไปของบทความนี้จะบรรยายการใช้วิธีมอนติคาร์โลเพื่อประเมินโอกาสในการทำลายเป้าหมายของระบบจรวดหลายลำกล้อง จากนั้นจะอธิบายโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น การทดสอบโปรแกรมในกรณีศึกษา บทสรุปและข้อเสนอแนะ

2. การประเมินโอกาสในการทำลายเป้าหมายด้วยการจำลองแบบมอนติคาร์โล

วิธีการประเมินโอกาสในการทำลายเป้าหมายที่ใช้ในงานวิจัยนี้ตั้งอยู่บนสมมติฐานต่อไปนี้

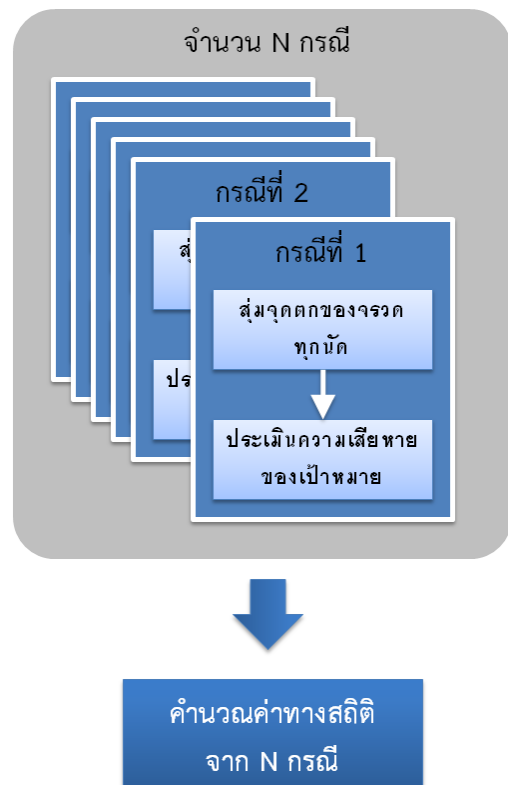
1. เป้าหมายมีลักษณะเป็นพื้นที่หรืออาคารซึ่งไม่เคลื่อนไหว และไม่มีระบบป้องกันภัย (Passive Target)
2. ระยะห่างระหว่างจุดปานกลางมณฑล (Mean Point of Impact) กับจุดเล็ง (Aiming Point) มีค่าน้อยมาก ซึ่งในทางปฏิบัติ สามารถลดระยะห่างนี้ได้ด้วยการปรับมุมยิง

3. การกระจายของตำบลกระสุนตกของจรวดเป็นไปตามค่า CEP (Circular Error Probable) ที่ทางผู้ผลิตระบบจรวดกำหนด
4. ความเสียหายของเป้าหมายเป็นไปตาม Damage Function ซึ่งในบทความนี้เลือกใช้ Cookie Cutter Function

ข้อมูลที่ต้องใช้ในการประเมิน ได้แก่ ระยะยิงขนาดของเป้าหมาย จำนวนนัด รัศมีการทำลายของหัวรบ และตัวชี้วัดการกระจายของจุดตก เช่น ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, σ), ความคลาดเคลื่อนคาดคะเน (Probable Error, PE), หรือ วงความคลาดเคลื่อนน่าจะเป็น (Circular Error Probable, CEP) ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว ข้อมูลเหล่านี้จะถูกกำหนดโดยผู้ผลิตระบบจรวดหลายลำกล้อง

2.1 ขั้นตอนการคำนวณ

รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการคำนวณโดยรวม โดยขั้นแรกเริ่มจากสุ่มจุดตกของจรวดจนครบทุกนัด จากนั้นคำนวณพื้นที่ของเป้าหมายที่เสียหายโดยใช้ Damage Function ที่กำหนด จากนั้นทำซ้ำจนครบ N กรณี แล้วนำความเสียหายของเป้าหมายในทุกกรณีมาหาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และช่วงความเชื่อมั่นของพื้นที่เป้าหมายที่ถูกทำลาย



รูปที่ 1 ภาพรวมของการคำนวณ

2.2 Damage Function

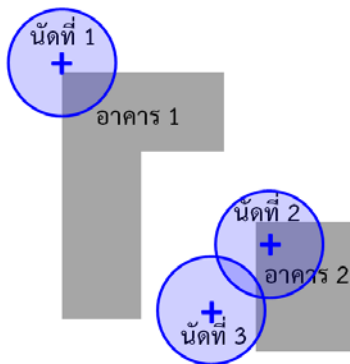
Damage Function ที่นิยมใช้ในการประเมินความเสียหายของเป้าหมายมีหลายแบบ เช่น Cookie Cutter, Gaussian, Exponential, Incline Step, Lognormal Shrapnel [1,10] สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้ Cookie Cutter Function ซึ่งตั้งอยู่บนสมมติที่ว่าพื้นที่เป้าหมายที่อยู่ในรัศมีการทำลายของหัวรบจะถูกทำลายทั้งสิ้น และพื้นที่เป้าหมายที่อยู่นอกรัศมีการทำลายของหัวรบจะไม่ได้รับความเสียหาย ดังแสดงในสมการ (1)

$$d(r) = \begin{cases} 1 & , r \leq R_k \\ 0 & , r > R_k \end{cases} \quad (1)$$

เมื่อ $d(r)$ = ความเสียหายของเป้าหมาย
 R_k = รัศมีการทำลายของหัวรบ
 r = ระยะห่างจากจุดตก

$d(r)$ มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อเป้าหมายส่วนนั้นถูกทำลาย และมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อเป้าหมายส่วนนั้นไม่ได้รับความเสียหาย

รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างเป้าหมาย คือ อาคาร 1 และ อาคาร 2 และผลการสุ่มจุดตกของจรวด 3 นัด โดยวงกลมในรูปแสดงรัศมีการทำลายของหัวรบ ในกรณีที่ใช้ Cookie Cutter Function จะประเมินได้ว่าส่วนของอาคารทั้งสองหลัง ที่อยู่ภายในรัศมีการทำลายของหัวรบจะถูกทำลายทั้งสิ้น



รูปที่ 2 ตัวอย่างของการสุ่มจุดตกจรวด 3 นัด

2.3 วิธีการคำนวณพื้นที่เป้าหมายที่ถูกทำลาย

การคำนวณพื้นที่เป้าหมายที่ถูกทำลายในแต่ละกรณี ที่สุ่มดังแสดงในตัวอย่างในรูปที่ 2 จะประยุกต์ใช้วิธี Acceptance-Rejection [9,11,12] ซึ่งถูกใช้อย่างแพร่หลายในการคำนวณหาพื้นที่ที่ไม่เป็นรูปทรงเรขาคณิต นอกจากนั้น วิธีนี้ยังสะดวกต่อการใช้งานร่วมกับ Cookie Cutter Function อีกด้วย

ขั้นแรกของการคำนวณพื้นที่ของเป้าหมายส่วนที่เสียหายด้วยวิธีดังกล่าวเริ่มจากสร้างสี่เหลี่ยมขอบเขตให้ครอบคลุมเป้าหมายทั้งหมด ทั้งนี้ขนาดของสี่เหลี่ยมขอบเขตควรจะเล็กที่สุดโดยยังสามารถครอบคลุมเป้าหมายทั้งหมดได้ เพราะประสิทธิภาพของวิธีการคำนวณพื้นที่แบบนี้แปรผกผันกับสัดส่วนพื้นที่เป้าหมายทั้งหมดต่อพื้นที่สี่เหลี่ยมขอบเขต [9] จากนั้นทำการสุ่มจุดแบบกระจายอย่างสม่ำเสมอ (Uniformly Distributed) ภายในสี่เหลี่ยมขอบเขต โดยอาจต้องใช้หลายหมื่นจุดเพื่อให้ได้ผลการคำนวณพื้นที่ที่แม่นยำ จากนั้นทำการคำนวณพื้นที่เป้าหมายส่วนที่ถูกทำลายด้วยสมการ (2)

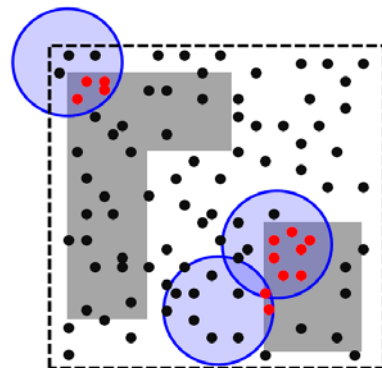
$$A_{dmg} = \frac{m_{dmg}}{m} \times A \quad (2)$$

เมื่อ A_{dmg} = พื้นที่เป้าหมายส่วนที่ถูกทำลาย
 A = พื้นที่สี่เหลี่ยมขอบเขต
 m = จำนวนจุดทั้งหมด
 m_{dmg} = จำนวนจุดที่อยู่ใน A_{dmg}

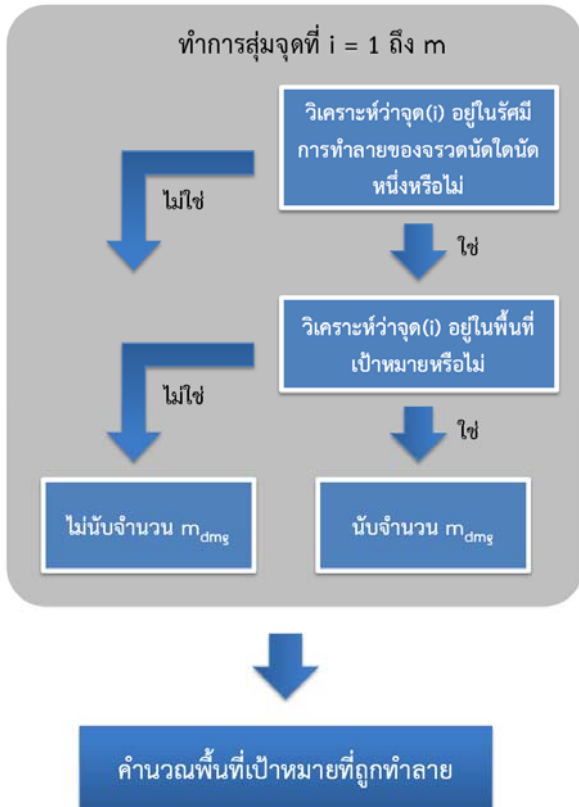
ทั้งนี้ A และ m ถูกกำหนดโดยผู้คำนวณ และ m_{dmg} ได้จากการนับจำนวนจุดที่อยู่ทั้งในเป้าหมายและวงกลมรัศมีการทำลายของหัวรบจรวด

รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างของการสุ่มจุดเพื่อคำนวณพื้นที่ โดยจุดสีดำคือจุดที่ไม่ได้อยู่ในพื้นที่เป้าหมายที่ถูกทำลาย จุดสีแดงคือจุดที่อยู่ในพื้นที่เป้าหมายที่ถูกทำลายซึ่งถูกนับรวมใน m_{dmg} สี่เหลี่ยมเส้นประคือสี่เหลี่ยมขอบเขต A

ในการพิสูจน์ว่าจุดแต่ละจุดอยู่ในพื้นที่ของเป้าหมายส่วนที่โดนทำลายหรือไม่ จะใช้ Crossing Number Algorithm [13,14] ซึ่งเป็นขั้นตอนวิธีที่ใช้ในการพิสูจน์ว่าจุดแต่ละจุดอยู่ในพื้นที่รูปทรงหลายเหลี่ยมหรือไม่ ร่วมกับวิธีพิสูจน์ว่าจุดนั้นอยู่ในวงกลมหรือไม่ ซึ่งสามารถทำได้ง่ายโดยการเช็คระยะห่างของจุดนั้นกับจุดศูนย์กลางวงกลมว่าน้อยกว่ารัศมีวงกลมหรือไม่ รูปที่ 4 สรุปขั้นตอนการคำนวณพื้นที่เป้าหมายที่เสียหาย



รูปที่ 3 การประมาณพื้นที่เป้าหมายที่ถูกทำลาย



รูปที่ 4 ขั้นตอนการคำนวณพื้นที่เป้าหมายที่ถูกทำลาย

2.4 จำนวนกรณีสุ่ม

ตามหลักสถิติในเอกสารอ้างอิง [9,15] จำนวนกรณีสุ่มที่ใช้ในการจำลอง มีผลต่อช่วงความเชื่อมั่น (Confidence Interval) ของค่าเฉลี่ยพื้นที่เป้าหมายที่ถูกทำลาย ($\overline{A_{dmg}}$) โดยช่วงความเชื่อมั่นของ $\overline{A_{dmg}}$ มีค่าเท่ากับ

$$\left(\overline{A_{dmg}} - z_{1-\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{N}}, \overline{A_{dmg}} + z_{1-\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \right)$$

เมื่อ α คือระดับนัยสำคัญ $z_{1-\alpha/2}$ คือค่า Z ของการแจกแจงปกติที่ระดับความเชื่อมั่น $1-\alpha/2$ และ σ_{dmg} คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ A_{dmg} จาก N กรณีสุ่ม

ตัวชี้วัดอีกอย่างหนึ่งที่นิยมใช้ได้แก่ ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Relative Error) [9] ซึ่งสามารถคำนวณได้ด้วยสมการ (3)

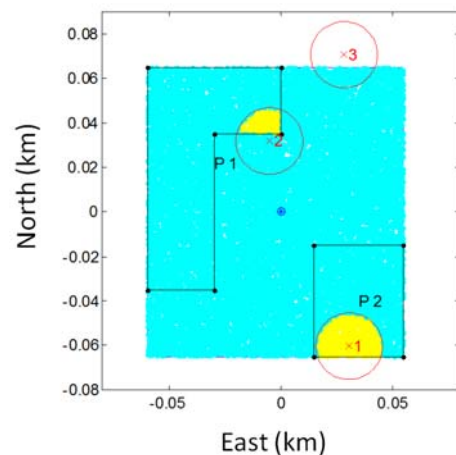
$$Relative\ Error = \frac{\sigma_{A_{dmg}}}{\overline{A_{dmg}} \sqrt{N}} \quad (3)$$

สำหรับจำนวนกรณีสุ่มที่เหมาะสมกับงานประเมินพื้นที่เป้าหมายที่ถูกทำลาย จะอธิบายพร้อมกับกรณีศึกษา ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อ 4. ของบทความนี้

3. โปรแกรมคอมพิวเตอร์

วิธีการประเมินโอกาสในการทำลายเป้าหมายดังที่ได้อธิบายมาแล้วถูกนำมาพัฒนาเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ใน MATLAB® โดยโปรแกรมสามารถรองรับเป้าหมายที่เป็นรูปวงกลมและรูปหลายเหลี่ยมได้ โดยโปรแกรมจะรับข้อมูลที่ใช้การคำนวณ ได้แก่ CEP ของระบบจรวด จำนวนนัดที่จะยิง จำนวนกรณีสุ่มที่ต้องการใช้ และข้อมูลรูปร่างของเป้าหมาย ผ่านทางไฟล์ *.txt จากนั้นจะทำการคำนวณแล้วบันทึกผลการคำนวณลงในไฟล์ *.txt

รูปที่ 5 แสดงตัวอย่างการสุ่มจุดเพื่อคำนวณพื้นที่เป้าหมายที่โดนทำลาย โดยในตัวอย่างนี้ใช้จำนวนจุดสุ่ม 20000 จุด เป้าหมายคือ อาคาร P1 รูปตัว L และอาคาร P2 รูปสี่เหลี่ยม วงกลม x1, x2, x3 คือบริเวณรัศมีการทำลาย จุดสีเหลืองคือจุดที่อยู่ในบริเวณเป้าหมายที่ถูกทำลาย และจุดสีฟ้าคือจุดที่อยู่นอกบริเวณเป้าหมายที่ถูกทำลาย



รูปที่ 5 ตัวอย่างการสุ่มจุดเพื่อคำนวณพื้นที่เป้าหมายที่ถูกทำลาย

4. การทดสอบโปรแกรมและผลลัพธ์

ก่อนที่จะนำโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นไปใช้งาน จำเป็นต้องตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมเสียก่อน ซึ่งทำได้โดยทดลองใช้โปรแกรมนี้กับปัญหาตัวอย่างที่สามารถใช้สูตรคำนวณประเมินได้ แล้วนำผลการคำนวณที่ได้จากโปรแกรมมาเปรียบเทียบกับค่าที่ทราบในกรณีศึกษาแรก จะเลือกเป้าหมายที่เป็นวงกลมซึ่งสามารถประเมินโอกาสในการทำลายเป้าหมายด้วยสูตรคำนวณในเอกสารอ้างอิง [1] จากนั้น จะทำการทดสอบโปรแกรมกับเป้าหมายที่มีรูปร่างซับซ้อนมากขึ้นในกรณีศึกษาที่ 2 และ 3 แต่จะไม่มีผลการคำนวณจากสูตรมาเปรียบเทียบ

โดยในแต่ละกรณีศึกษา จะทดลองคำนวณหลายครั้งโดยใช้จำนวนกรณีสุ่มตั้งแต่ 20 ถึง 10000 กรณี และทำซ้ำด้วยจำนวนกรณีสุ่มเดียวกันหลายๆครั้ง เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลคำนวณ แล้ววิเคราะห์หาจำนวนกรณีสุ่มที่ผลการคำนวณเริ่มลู่เข้า

เนื่องจากการบอกผลคำนวณเป็นสัดส่วน หรือเปอร์เซ็นต์พื้นที่เป้าหมายที่ถูกทำลายต่อพื้นที่เป้าหมายทั้งหมด (Expected Fractional Damage, E) จะเข้าใจง่ายและสะดวกต่อผู้ใช้งานมากกว่าการบอกผลเป็นตารางเมตรของพื้นที่เป้าหมายที่ถูกทำลาย ดังนั้นในกรณีศึกษาจะแสดงความเสียหายเป็นเปอร์เซ็นต์พื้นที่เป้าหมายที่ถูกทำลาย (E) ซึ่งมีค่าเท่ากับ A_{dmg}/A

4.1 กรณีศึกษาที่ 1: เป้าหมายเป็นวงกลม

เป้าหมายเป็นพื้นที่วงกลมรัศมี 300 m จุดศูนย์กลางอยู่ที่จุดศูนย์กลางของวงกลมดังแสดงในรูปที่ 6 และในการคำนวณมีรายละเอียดดังนี้

รัศมีการทำลายของหัวรบ	300	m
จำนวนจรวด	1	นัด
CEP	353	m

ทั้งนี้ รัศมีการทำลายของหัวรบ 300 m อาจสูงเกินจริงแต่ถูกเลือกใช้เพื่อให้สะดวกในการเทียบกับข้อมูลจากเอกสารอ้างอิง [1] ซึ่งอธิบายการคำนวณด้วยสมการ (4)

$$E\left(\frac{R_t}{\sigma}, \frac{R_k}{\sigma}\right) = \frac{1}{R_t^2} \iint_A P\left(\frac{R_t}{\sigma}, \frac{r_t}{\sigma}\right) dx dy \quad (4)$$

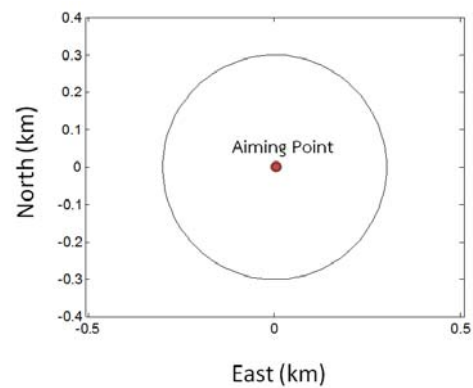
- เมื่อ E = % พื้นที่ของเป้าหมายที่ถูกทำลาย
- P = ความน่าจะเป็นของการถูกทำลาย
- A = พื้นที่ของเป้าหมาย
- R_t = รัศมีของเป้าหมาย
- R_k = รัศมีการทำลายของหัวรบ
- r_t = ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางวงกลม
- σ = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจุดตก

จากกราฟแสดงแสดงผลการคำนวณด้วยสมการ (4) ในเอกสารอ้างอิง [1] ในกรณีที่ $\sigma = CEP/1.1774 = 300$ m, $R_t/\sigma = 1.0$, $R_k/\sigma = 1.0$ จะได้ E มีค่าประมาณ 0.37

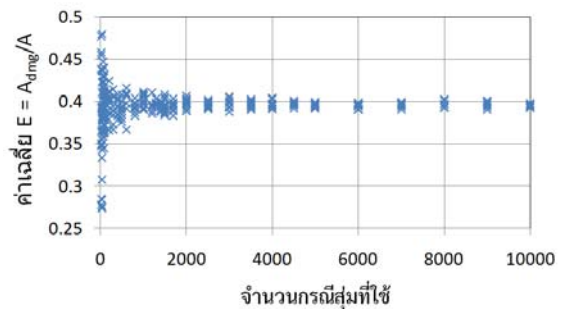
ทำการคำนวณด้วยโปรแกรมโดยใช้จำนวนกรณีสุ่มต่างๆตั้งแต่ 20 ถึง 10000 กรณี และทำซ้ำที่กรณีสุ่มเดียวกันหลายๆครั้ง ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 7 และ 8 ซึ่งพบว่าผลการคำนวณที่ได้แต่ละครั้งไม่เท่ากันถึงแม้จะใช้จำนวนกรณีสุ่มเท่ากันก็ตาม แต่ผลการคำนวณจะผันผวนน้อยลงเมื่อใช้จำนวนกรณีสุ่มมากขึ้นและมีค่าประมาณ

0.4 ซึ่งต่างจากผลการคำนวณด้วยสูตรในเอกสารอ้างอิง [1] ประมาณ 10% นอกจากนั้น Relative Error มีค่าเท่ากับ 2.1%, 1.2%, 0.9%, 0.7% เมื่อใช้กรณีสุ่ม 1000, 3000, 6000, 10000 ตามลำดับ

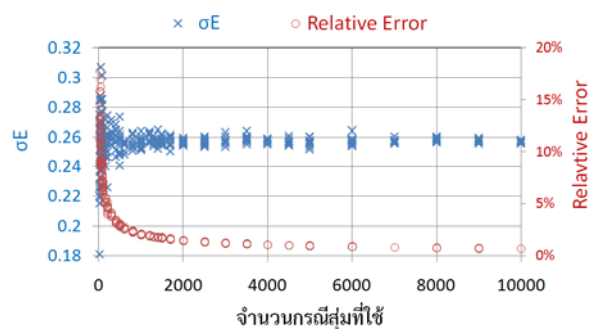
ทำการคำนวณและเปรียบเทียบแบบเดียวกันซ้ำ โดยเปลี่ยนรัศมีของวงกลมเป้าหมายเป็น 600 m ($R_t/\sigma = 2.0$, $R_k/\sigma = 1.0$) และ 900 m ($R_t/\sigma = 3.0$, $R_k/\sigma = 1.0$) โดยใช้จำนวนกรณีสุ่มตั้งแต่ 2000 ขึ้นไป ได้ค่า E ประมาณ 0.21 และ 0.11 ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับผลการคำนวณ [1] คือ 0.2 และ 0.1 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าผลคำนวณโดยใช้โปรแกรมนี้มีความน่าเชื่อถือ



รูปที่ 6 เป้าหมายในกรณีศึกษาที่ 1



รูปที่ 7 ค่าเฉลี่ยของผลการคำนวณ



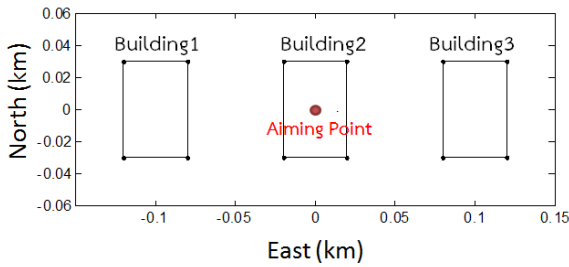
รูปที่ 8 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการคำนวณ

4.2 กรณีศึกษาที่ 2: เป้าหมายเป็นอาคารสามหลังตั้งอยู่ใกล้เคียงกัน

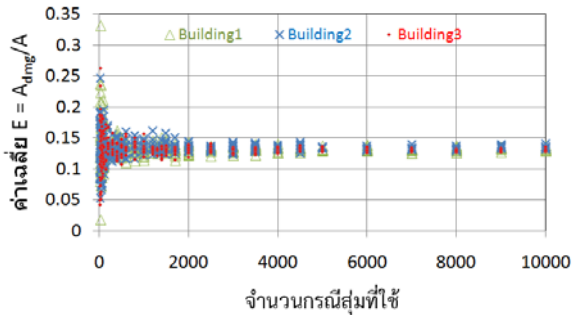
ในกรณีศึกษาที่ 2 นี้ รูปร่างเป้าหมายเป็นอาคารสี่เหลี่ยม 3 หลังตั้งอยู่เรียงกัน และจุดเล็งอยู่ที่จุดกึ่งกลางของอาคารกลางดังแสดงในรูปที่ 9 และมีรายละเอียดในการคำนวณดังนี้

รัศมีการทำลายของหัวรบ	40	m
จำนวนจรวด	30	นัด
CEP	480	m

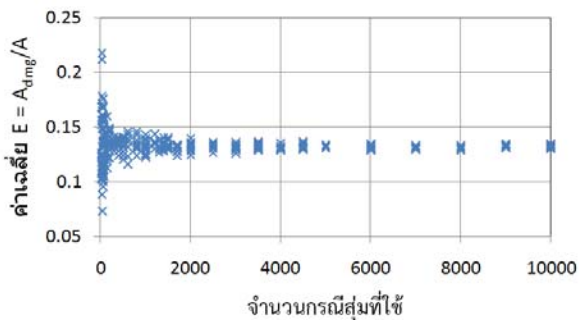
รูปที่ 10-12 แสดงผลการคำนวณโดยใช้กรณีสุ่มต่างๆกันและทำซ้ำหลายๆครั้ง โดยมีค่าเฉลี่ย E ของทุกอาคารเท่ากับ 0.13 และ Relative Error เท่ากับ 3.2%, 1.8%, 1.3%, 1.0% เมื่อใช้กรณีสุ่ม 1000, 3000, 6000, 10000 ตามลำดับ



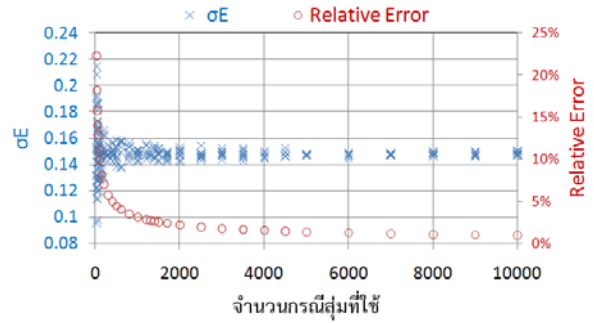
รูปที่ 9 เป้าหมายในกรณีศึกษาที่ 2



รูปที่ 10 ค่าเฉลี่ยของผลการคำนวณ (แต่ละอาคาร)



รูปที่ 11 ค่าเฉลี่ยของผลการคำนวณ (รวมทุกอาคาร)



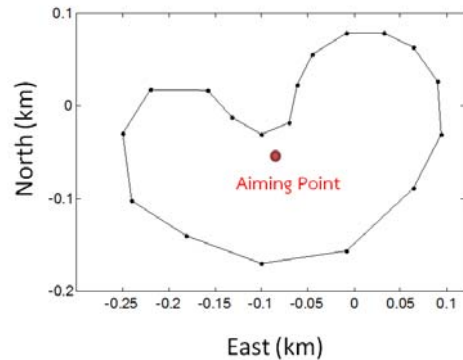
รูปที่ 12 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลคำนวณ (รวม)

4.3 กรณีศึกษาที่ 3: เป้าหมายไม่ใช่รูปทรงเรขาคณิต

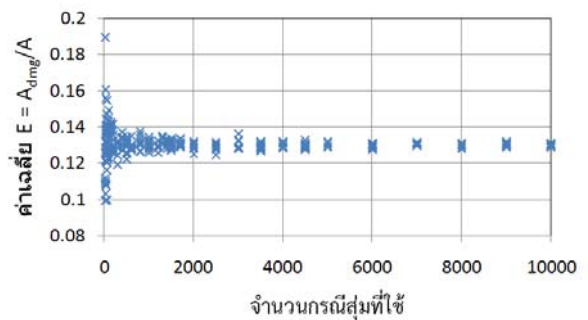
พื้นที่เป้าหมายไม่ใช่รูปทรงเรขาคณิตและแทนด้วยรูปหลายเหลี่ยมดังแสดงในรูปที่ 13 และมีรายละเอียดในการคำนวณดังนี้

รัศมีการทำลายของหัวรบ	40	m
จำนวนจรวด	40	นัด
CEP	480	m

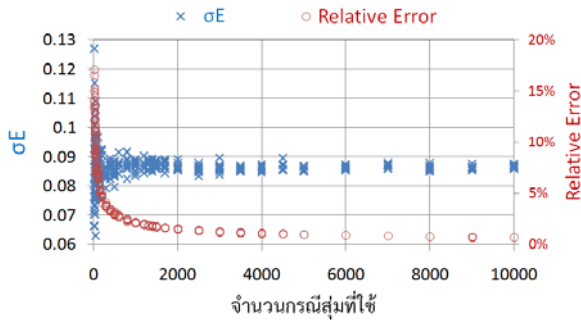
รูปที่ 14 และ 15 แสดงผลการคำนวณโดยมีค่าเฉลี่ย E เท่ากับ 0.13 และ Relative Error เท่ากับ 2.0%, 1.2%, 0.9%, 0.7% เมื่อใช้กรณีสุ่ม 1000, 3000, 6000, 10000 ตามลำดับ



รูปที่ 13 เป้าหมายในกรณีศึกษาที่ 3



รูปที่ 14 ค่าเฉลี่ยของผลการคำนวณ



รูปที่ 15 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการคำนวณ

5. บทสรุปและข้อเสนอแนะ

บทความนี้แนะนำเสนอการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับประเมินความเสียหายของเป้าหมายอันเกิดจากการใช้ระบบจรวดหลายลำกล้องด้วยวิธีการจำลองแบบมอนติคาร์โล และทดสอบการใช้งานโปรแกรมในกรณีศึกษาเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของผลการคำนวณและศึกษาจำนวนกรณีสุ่มที่จำเป็นต้องใช้การคำนวณ

จากกรณีศึกษาทั้งสาม พบว่าการคำนวณแต่ละครั้งได้ผลแตกต่างกันถึงแม้จะใช้จำนวนกรณีสุ่มเท่ากัน แต่เมื่อใช้กรณีสุ่มมากจนถึงจำนวนหนึ่งแล้ว ค่าที่ได้จากการคำนวณจะค่อนข้างคงที่ซึ่งเป็นไปตามหลักสถิติ สำหรับกรณีศึกษาในเอกสารวิจัยนี้หรือปัญหาอื่นที่มีความคล้ายคลึงกัน หากให้ใช้จำนวนกรณีสุ่มประมาณ 3000 กรณี ก็น่าจะเพียงพอต่อการคำนวณให้ได้ผลที่น่าเชื่อถือและมีค่า Relative Error ไม่เกิน 3%

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถนำไปใช้ประเมินโอกาสในการทำลายเป้าหมายของอาวุธอื่นๆ ที่มีลักษณะการใช้งานและการกระจายของจุดตกคล้ายคลึงกันได้ เช่น ปืนใหญ่ เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถใช้ประเมินความเสียหายข้างเคียงที่อาจเกิดขึ้นได้ด้วย ประเด็นที่ควรพัฒนาต่อไปของงานวิจัยนี้ ได้แก่ การปรับปรุงวิธีการคำนวณเพื่อให้สามารถใช้ Damage Function อื่นๆที่มีความเสมือนจริงมากกว่า Cookie Cutter Function ที่ใช้อยู่ และพัฒนา Graphical User Interface ให้สะดวกต่อการใช้งานมากขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้แต่งขอขอบคุณ ดร.พูนศักดิ์ โสฬ์สุนทร สำหรับคำแนะนำเกี่ยวกับการจำลองแบบมอนติคาร์โลและวิธีการทางสถิติ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Przemieniecki, J.S. (2000). *Mathematical Methods in Defense Analyses*, 3rd edition, AIAA Education Series.
- [2] Design of Aerodynamically Stabilized Free Rockets, Military Handbook, MIL-HDBK-762(MI), US Army Missile Command, USA, 1990.
- [3] Guenther, W.C. (1964). A Generalization of the Integral of the Circular Coverage Function, *American Mathematical Monthly*, vol. 71, 1964, pp. 278-283.
- [4] Jarnagin Jr., M.P. and DiDonato, A. R. (1966). Damage to a Circular Target by a Gaussian Distributed Warhead with Uniformly Distributed Bomblets, *Operations Research*, Vol. 14(6), 1966, pp. 1014-1023.
- [5] Grubbs, F.E. (1968). Expected Target Damage for a Salvo of Rounds with Elliptical Normal Delivery and Damage Functions, *Operations Research*, vol. 16(5), Sep-Oct 1968, pp. 1021-1026.
- [6] Denney, S.H. (1970). A Review of Literature on the Theory of Hit and Kill Probabilities, Master Thesis, Naval Postgraduate School, USA.
- [7] Eckler, A.R. and Burr, S.A. (1972). Mathematical Models of Target Coverage and Missile Allocation, DTIC: AD-A953517, Military Operations Research Society, Alexandria, VA, USA.
- [8] Anderson, H.L. (1986). Metropolis, Monte Carlo and the MANIAC, *Los Alamos Science*, vol. 14, pp. 96-108, 1986.
- [9] Rubinstein, R.Y. and Kroese, D.P. (2008). *Simulation and the Monte Carlo Method*, 2nd edition, John Wiley & Sons, Hoboken.
- [10] Kim, J.W., Lee, C., and Cho, B.R. (2002). Using a Rayleigh-Based Circular Lethality Coverage for Naval Surface Fire Support, Industrial Engineering Research Conference, May 19-21, 2002, Orlando, FL, USA.

- [11] Area Estimates by Monte Carlo Simulation, URL: <http://mathdemos.org/mathdemos/MCArea/MCArea.html>, accessed on 21/05/2012.
- [12] Pi Approximation Computer Simulation Monte Carlo Method, URL: <http://www.tinafad.com>, accessed on 21/05/2012.
- [13] Foley, J.D., van Dam, A., Feiner, S.K. , and Hughes, J.F. (1990). *Computer Graphics: Principles and Practice*, Addison-Wesley.
- [14] Sedgewick, R. and Wayne, K., Geometric Algorithm, Lecture Notes, Princeton University, URL: <http://www.cs.princeton.edu/~rs/AlgsDS07>, accessed on 27/05/2012.
- [15] Levin, J. and Fox, J.A. (2000). *Elementary Statistics in Social Research*, 8th edition, Allyn and Bacon.