

การเปรียบเทียบผลการประเมินโอกาสในการทำลายเป้าหมายของ
ระบบจรวดหลายลำกล้องโดยใช้ฟังก์ชันความเสียหายที่แตกต่างกัน

**A Comparison of Target Damage Estimation using Different Damage Functions for
Multiple Launch Rocket Systems**

ปวัฒน์ ชูศิลป์^{1*}, เจษฎา ศิริรัฐนิคม² และ วีรวุฒิ จารุพันธุ์¹

¹ สถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (องค์การมหาชน) กระทรวงกลาโหม, 47/433 ถ.แจ้งวัฒนะ ต.บ้านใหม่ อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี 11120

² ศูนย์วิจัยพัฒนาวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีการบินและอวกาศกองทัพอากาศ, 171 ถ.เดชะตุงคะ แขวงสีกัน เขตดอนเมือง กทม. 10210

*ติดต่อ: อีเมลล์ pawat.c@dti.or.th, โทร 02-980-6200

บทคัดย่อ

บทความนี้เปรียบเทียบผลการประเมินโอกาสในการทำลายเป้าหมายของระบบจรวดหลายลำกล้องแบบไม่นำวิถีด้วยการจำลองแบบมอนติคาร์โล โดยใช้ฟังก์ชันความเสียหายที่แตกต่างกัน ซึ่งฟังก์ชันความเสียหายที่นำมาเปรียบเทียบในกรณีศึกษา ได้แก่ ฟังก์ชันแบบ Cookie cutter, Exponential, Incline step, Log normal และลักษณะพื้นที่เป้าหมายในกรณีศึกษามีสามแบบ ได้แก่ แบบพื้นที่วงกลม แบบพื้นที่รูปตัวแอล แบบพื้นที่รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าสามแห่งที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกัน จากการเปรียบเทียบผลลัพธ์ในทุกกรณีศึกษาพบว่า หากทำการจำลองโดยกำหนดรัศมีการทำลายและรัศมีปลอดภัยของหัวรบเท่ากัน แต่ใช้ฟังก์ชันความเสียหายต่างกัน จะได้ผลลัพธ์ไม่เท่ากัน นอกจากนี้ หากทำการจำลองโดยกำหนดรัศมีการทำลายและรัศมีปลอดภัยที่ส่งผลให้ฟังก์ชันแต่ละแบบมีพื้นที่การทำลายเท่ากันแล้ว จะได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกัน ยกเว้นฟังก์ชันแบบ Exponential เท่านั้นที่ยังคงให้ผลลัพธ์แตกต่างกัน

คำหลัก: การประเมินโอกาสในการทำลายเป้าหมาย, ฟังก์ชันความเสียหาย, ระบบจรวดหลายลำกล้อง, การจำลองแบบมอนติคาร์โล

Abstract

This paper presents a comparative study on the results of Monte Carlo simulations that employ different damage functions to calculate the expected target damage caused by a salvo of a multiple launch rocket system. Four commonly used damage functions, i.e. cookies cutter, exponential, incline step, and log normal, were investigated. Three selected case problems with different type of targets showed that there was significant difference in the simulation results when using these damage functions with the same sure kill radius and sure safe radius. On the other hand, there was small difference in the results when using these damage functions, except the exponential function, with the sure kill radius and sure safe radius that results in equal lethal area.

Keywords: Expected target damage, Damage function, Multiple-launch rocket systems, Monte Carlo simulation,

1. บทนำ

จรวดหลายลำกล้องแบบไม่นำวิถี (Unguided multiple-launch rocket system) เป็นอาวุธที่ใช้ทำลายเป้าหมายที่มีลักษณะเป็นพื้นที่ขนาดใหญ่ เนื่องจากการกระจายตัวของจุดตกจรวด ผู้ใช้งานอาวุธชนิดนี้ จำเป็นต้องประเมินโอกาสในการทำลายเป้าหมายเพื่อวางแผนปฏิบัติการ กำหนดจำนวนจรวด และเลือกจุดเล็งให้เหมาะสม และประเมินโอกาสที่จะเกิดความเสียหายข้างเคียง

ในอดีต การประเมินโอกาสในการทำลายเป้าหมายของอาวุธวิถีโค้ง เช่น ปืนใหญ่ และจรวดหลายลำกล้อง ทำโดยใช้สูตรคำนวณดังตัวอย่างงานวิจัยในเอกสารอ้างอิง [1-9] ซึ่งสามารถทำได้สะดวกในกรณีที่รูปร่างเป้าหมายไม่ซับซ้อน เช่น สี่เหลี่ยม วงกลม แต่ในกรณีที่เป้าหมายมีความซับซ้อนมากขึ้น เช่น พื้นที่ของเป้าหมายไม่ใช่รูปทรงเรขาคณิตพื้นฐาน หรือ มีเป้าหมายมากกว่าหนึ่งแห่ง ตั้งอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกัน การคำนวณโดยใช้สูตรอาจทำได้ยากหรือไม่สามารถทำได้เลย

เมื่อวิทยาการคอมพิวเตอร์ก้าวหน้ามากขึ้น คอมพิวเตอร์ได้ถูกนำมาใช้ในการคำนวณโอกาสในการทำลายเป้าหมาย วิธีหนึ่งที่ได้สะดวกด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และมีข้อจำกัดน้อยกว่าการใช้สูตร คือ การจำลองแบบมอนติคาร์โล (Monte Carlo simulation) [10,11] ซึ่งทำได้โดยทำการสุ่มจุดตกของจรวดทุกนัด แล้วคำนวณความเสียหายของเป้าหมายที่เกิดขึ้น โดยทำซ้ำหลายพันครั้ง เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำและเชื่อถือได้ จากนั้นคำนวณค่าทางสถิติ เช่น ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและช่วงความเชื่อมั่นจากกรณีจำลองทั้งหมด

ในการคำนวณความเสียหายของเป้าหมายในแต่ละการจำลอง หากผู้ทำการจำลองไม่ทราบรายละเอียดลักษณะพื้นที่การทำลาย หรือการกระจายตัวของสะเก็ดระเบิดซึ่งบ่งบอกอำนาจการทำลายเป้าหมายที่ระยะทางและทิศทางต่างๆจากจุดตกกระทบ แต่ทราบเพียงรัศมีการทำลายของหัวรบชนิดนั้น ผู้ทำการจำลองก็จำเป็นต้องสมมติลักษณะพื้นที่การทำลายของ

หัวรบ ว่าเป็นไปตามฟังก์ชันความเสียหาย (Damage function) ซึ่งมีหลายแบบให้เลือกใช้ โดยฟังก์ชันแต่ละแบบอาจให้ผลการคำนวณที่แตกต่างกัน [12] ดังนั้น ผู้ใช้จึงต้องเลือกใช้ด้วยความระมัดระวัง

ตัวอย่างสำคัญของงานวิจัยในปัจจุบันที่เกี่ยวข้องกับการประเมินโอกาสในการทำลายเป้าหมายของอาวุธวิถีโค้ง ได้แก่ Joint Munitions Effectiveness Manuals (JMEMs) [13] ซึ่งถูกพัฒนาโดยหน่วยงาน Joint Technical Coordinating Group for Munitions Effectiveness Program Office ในประเทศสหรัฐอเมริกา งานวิจัยนี้ใช้วิธีการคำนวณดังที่กล่าวมาแล้วรวมกับเทคนิคคำนวณอื่นๆที่ทำให้การคำนวณมีความสมจริงมากขึ้นเพื่อประเมินโอกาสในการทำลายเป้าหมายของอาวุธชนิดต่างๆ อย่างไรก็ตามข้อมูลส่วนใหญ่ของงานวิจัยนี้ไม่ได้เผยแพร่สู่สาธารณชน ดังนั้น ในการพัฒนาจรวดหลายลำกล้องของประเทศไทย จึงจำเป็นต้องศึกษาวิธีการประเมินโอกาสในการทำลายเป้าหมายและเลือกใช้ฟังก์ชันความเสียหายให้เหมาะสมกับหัวรบจรวดที่มีอยู่เอง

บทความนี้นำเสนอการศึกษาการใช้ฟังก์ชันความเสียหายทั้งหมด 4 แบบในจำลองแบบมอนติคาร์โลเพื่อประเมินโอกาสในการทำลายเป้าหมายด้วยการยิงขีปนาวุธของระบบจรวดหลายลำกล้อง โดยส่วนที่ 2 กล่าวถึงโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ทำการจำลอง ส่วนที่ 3 อธิบายคุณลักษณะของฟังก์ชันความเสียหายแต่ละแบบที่ศึกษาในบทความนี้ ส่วนที่ 4 กล่าวถึงกรณีศึกษาและคุณลักษณะของเป้าหมายทั้ง 3 แบบในกรณีศึกษา ส่วนที่ 5 เปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลการจำลองโดยใช้ฟังก์ชันความเสียหายแต่ละแบบในกรณีศึกษา และส่วนที่ 6 สรุปผลการศึกษา

2. โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับประเมินโอกาสในการทำลายเป้าหมายของจรวดหลายลำกล้อง

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับประเมินโอกาสในการทำลายเป้าหมายของระบบจรวดหลายลำกล้องที่ใช้ในบทความนี้ถูกพัฒนาและใช้ในงานของสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (องค์การมหาชน)

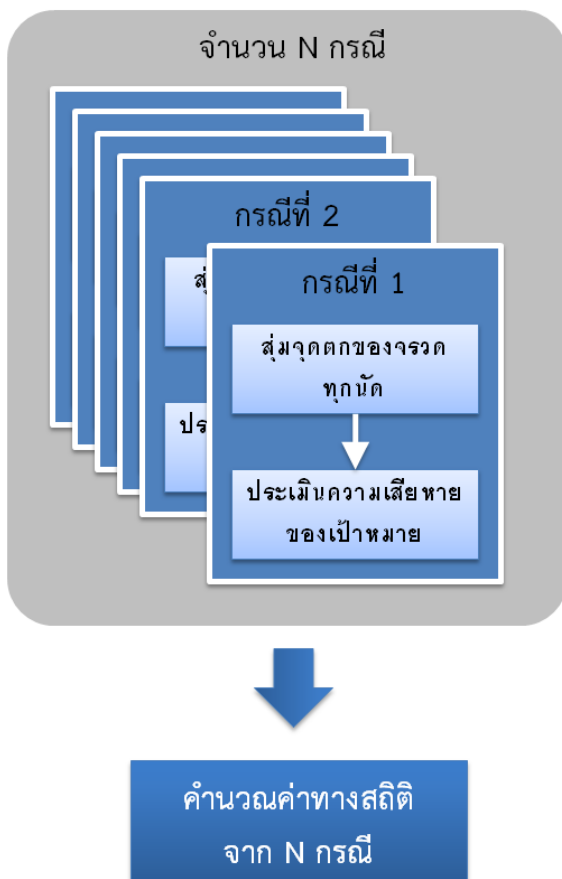
กระทรวงกลาโหม [14] การคำนวณของโปรแกรมตั้งอยู่บนสมมติฐานต่อไปนี้

1) เป้าหมายมีลักษณะเป็นพื้นที่หรืออาคาร ไม่เคลื่อนไหวและไม่มีระบบป้องกันภัย (Passive target) เช่น ระบบต่อต้านขีปนาวุธ

2) ระยะห่างระหว่างจุดปานกลางมณฑล (Mean point of impact) กับจุดเล็ง (Aiming point) มีค่าน้อยมาก ซึ่งในทางปฏิบัติ สามารถลดระยะนี้ได้ด้วยการปรับมุมยิง

3) การกระจายของตำแหน่งกระสุนตกของลูกจรวดเป็นไปตามค่า Circular error probable (CEP) ที่ทางผู้ผลิตระบบจรวดกำหนด

4) ความเสียหายของเป้าหมายจากการระเบิดของหัวรบจรวดเป็นไปตามฟังก์ชันความเสียหายที่เลือกใช้ในการจำลอง



รูปที่ 1 การประเมินโอกาสในการทำลายเป้าหมายด้วยการจำลองแบบมอนติคาร์โล [14]

3. ฟังก์ชันความเสียหาย

ฟังก์ชันความเสียหาย (Damage function) ที่ใช้ในการประเมินโอกาสในการทำลายเป้าหมายมีหลายแบบ โดยบทความนี้เปรียบเทียบผลการจำลองด้วยฟังก์ชันความเสียหายจำนวน 4 แบบจากเอกสารอ้างอิง [1,2,15,16] ได้แก่ ฟังก์ชันแบบ Cookie cutter, Exponential, Incline step และ Log normal

3.1 ฟังก์ชันความเสียหายแบบ Cookie cutter

ฟังก์ชันแบบ Cookie cutter เป็นหนึ่งในฟังก์ชันความเสียหายที่ซับซ้อนน้อยที่สุด ฟังก์ชันแบบนี้ตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่า พื้นที่เป้าหมายส่วนที่อยู่ภายในรัศมีการทำลายของหัวรบจะถูกทำลายโดยสิ้น และพื้นที่เป้าหมายส่วนที่อยู่นอกรัศมีการทำลายของหัวรบจะไม่ได้รับความเสียหายเลย ดังแสดงในสมการ (1)

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

เมื่อ $d(r)$ = ค่าความเสียหายของเป้าหมาย

R_k = รัศมีการทำลายของหัวรบ

r = ระยะห่างจากจุดตกกระทบ

$d(r)$ มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อเป้าหมายส่วนนั้นถูกทำลายโดยสิ้น และมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อเป้าหมายส่วนนั้นไม่ได้รับความเสียหายเลย ฟังก์ชันความเสียหายแบบ Cookie cutter ไม่ซับซ้อนทำให้ใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่าฟังก์ชันอื่น

รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างของฟังก์ชันแบบ Cookie cutter ที่สำหรับหัวรบที่มี $R_k = 30$ m

3.2 ฟังก์ชันความเสียหายแบบ Exponential

ฟังก์ชันความเสียหายแบบนี้ตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่าอำนาจการทำลายของหัวรบลดลงตามระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของวงกลมแบบ Exponential ซึ่งน่าจะมีคามสมจริงมากกว่าฟังก์ชันความเสียหายแบบ Cookie cutter ที่กำหนดให้ความเสียหายภายในรัศมีการทำลายของหัวรบเท่ากันหมด

ค่าความเสียหายของฟังก์ชันแบบ Exponential ที่ระยะห่างจากจุดตกกระทบเป็นไปตามสมการ (2)

$$d(r) = \exp\left(-b \frac{r}{R_k}\right) \quad (2)$$

เมื่อ b = ค่าคงที่

รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างของฟังก์ชันความเสียหายแบบนี้เมื่อ $b = 1.0$ และ $R_k = 30$ m

3.3 ฟังก์ชันความเสียหายแบบ Incline step

ฟังก์ชันแบบ Incline step ตั้งอยู่บนสมมติฐานว่าอำนาจการทำลายของหัวรบลดลงตามระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของวงกลมแบบคงที่ โดยค่าความเสียหายที่ระยะห่างจากจุดตกกระทบเป็นไปตามสมการ (3)

$$d(r) = \begin{cases} 1, & 0 < r \leq R_{sk} \\ \frac{R_{ss} - r}{R_{ss} - R_{sk}}, & R_{sk} < r \leq R_{ss} \\ 0, & r > R_{ss} \end{cases} \quad (3)$$

เมื่อ R_{sk} = Sure kill radius

R_{ss} = Sure safe radius

รูปที่ 4 แสดงตัวอย่างของฟังก์ชันความเสียหายสำหรับหัวรบที่มี $R_{sk} = 30$ m และ $R_{ss} = 80$ m

3.4 ฟังก์ชันความเสียหายแบบ Log normal

ฟังก์ชันแบบ Log normal มีความสมจริงของอัตราการลดลงของค่าความเสียหายที่ระยะห่างจากจุดตกกระทบมากกว่าฟังก์ชันแบบอื่นที่ได้กล่าวมาแล้ว [1] โดยอำนาจการทำลายของหัวรบที่ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางเป็นไปตามสมการ (4)

$$d(r) = \frac{1}{2} \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{\ln \frac{r}{\alpha}}{\sqrt{2}\beta} \right) \right) \quad (4)$$

เมื่อ α และ β เป็นค่าคงที่และคำนวณได้จากสมการ (5,6)

$$\alpha = (R_{sk} R_{ss})^{0.5} \quad (5)$$

$$\beta = \frac{1}{2Z_{ss}\sqrt{2}} \ln \left(\frac{R_{ss}}{R_{sk}} \right) \quad (6)$$

และ Z_{ss} = ค่าคงที่

ทั้งนี้ คำจำกัดความของ R_k ในสมการ (1,2) และ R_{sk} และ R_{ss} ในสมการ (3,4) อาจแตกต่างกัน

เอกสารอ้างอิง โดยในบทความนี้ กำหนดให้ R_k เท่ากับ R_{sk} เพื่อความสะดวก

รูปที่ 5 แสดงตัวอย่างฟังก์ชันแบบ Log normal เมื่อกำหนดให้ $Z_{ss} = 1.4522$ ตาม Bridgeman [16] และหัวรบมี $R_{sk} = 30$ m และ $R_{ss} = 80$ m

3.5 การคำนวณความเสียหายรวมของเป้าหมาย

สัดส่วนความเสียหายโดยรวมของเป้าหมายในแต่ละการจำลองสามารถคำนวณได้จากสมการ (7)

$$\%d_{\text{target}} = \frac{\int_0^\infty \int_0^\infty d(N, E) dN dE}{A_{\text{target}}} \quad (7)$$

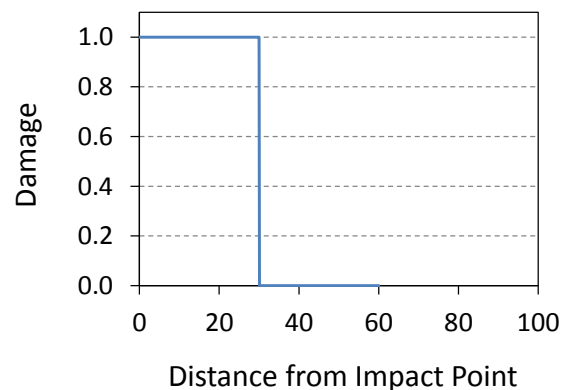
เมื่อ $\%d_{\text{target}}$ = สัดส่วนของความเสียหายโดยรวมของเป้าหมาย มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1

N = ตำแหน่งในทิศเหนือ-ใต้

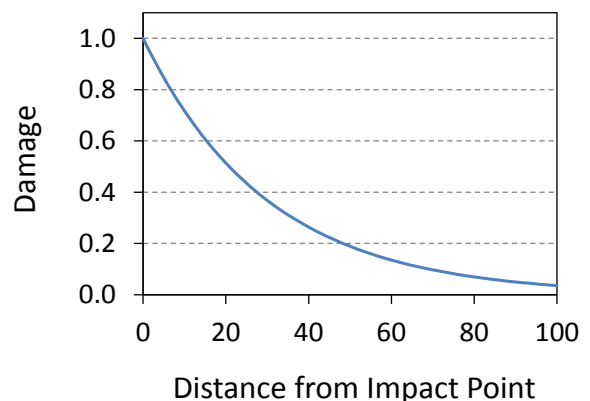
E = ตำแหน่งในทิศตะวันออก-ตะวันตก

$d(N, E)$ = ความเสียหาย ณ ตำแหน่ง N, E

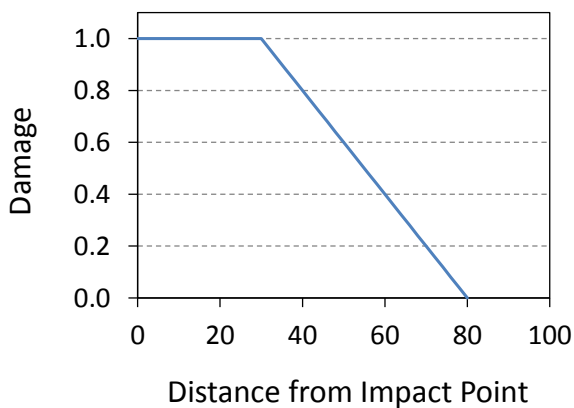
A_{target} = ขนาดพื้นที่ของเป้าหมาย



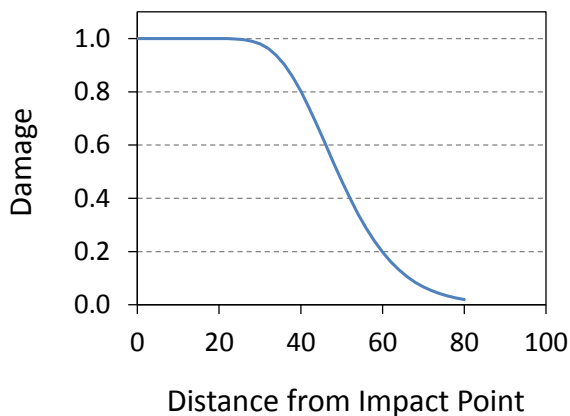
รูปที่ 2 ตัวอย่างฟังก์ชันแบบ Cookie cutter



รูปที่ 3 ตัวอย่างฟังก์ชันแบบ Exponential



รูปที่ 4 ตัวอย่างฟังก์ชันแบบ Incline step



รูปที่ 5 ตัวอย่างฟังก์ชันแบบ Log normal

4. กรณีศึกษา

ฟังก์ชันความเสียหายทั้ง 4 แบบตามที่ได้กล่าวมาแล้วถูกนำมาใช้ในการคำนวณความเสียหายของเป้าหมายในกรณีศึกษาจำนวน 3 กรณี เพื่อศึกษาว่าผลลัพธ์โดยใช้ฟังก์ชันแต่ละแบบแตกต่างกันอย่างไร โดยในการจำลองแบบมอนติคาร์โล ใช้จำนวนการจำลองไม่น้อยกว่า 2000 ครั้งเพื่อให้ได้ผลการจำลองที่เชื่อถือได้ [14]

4.1 เหตุการณ์สมมติ

เหตุการณ์สมมติในกรณีศึกษาของเป้าหมายทั้ง 3 แบบเป็นการยิงจรวดหลายลำกล้องแบบไม่นำวิถี จำนวน 36 นัดเพื่อทำลายเป้าหมาย โดยสมมติให้ระบบจรวดมี CEP 300 m สำหรับระยะทำการยิง

4.2 คุณสมบัติของเป้าหมาย

เป้าหมายในกรณีศึกษาที่ 1 มีลักษณะเป็นพื้นทึบวงกลม รัศมี 80 m ดังแสดงในรูปที่ 6 เป้าหมายในกรณีศึกษาที่ 2 เป็นสิ่งก่อสร้างรูปตัวแอล(L) ขนาดกว้าง 60 m ยาว 90 m ดังแสดงในรูปที่ 7 เป้าหมายในกรณีศึกษาที่ 3 เป็นสิ่งก่อสร้างขนาดกว้าง 30 m ยาว 60 m จำนวน 3 แห่ง ตั้งอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 8 นอกจากนั้น กำหนดให้จุดเล็งอยู่ที่พิกัด 0,0 สมมติให้จุดปานกลางมณฑลอยู่ที่เดียวกันกับจุดเล็งในทุกกรณีศึกษา

4.3 รัศมีการทำลายของหัวรบ

การจำลองในทุกกรณีศึกษาจะแบ่งออกเป็นสองชุด โดยการจำลองชุดที่ 1 ทำเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์เมื่อใช้ R_k , R_{sk} , R_{ss} ในฟังก์ชันทุกแบบเท่ากัน โดยกำหนดให้ $R_k = R_{sk} = 30$ m และ $R_{ss} = 80$ m

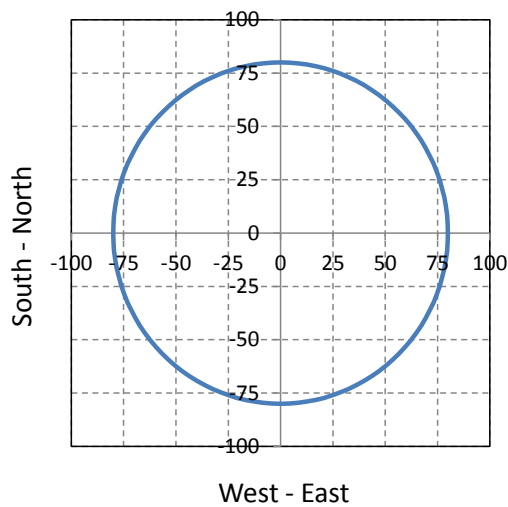
การจำลองชุดที่ 2 ทำเพื่อเปรียบเทียบผลการจำลองเมื่อใช้ค่า R_k , R_{sk} , R_{ss} และค่าคงที่อื่นๆที่ทำให้พื้นที่การทำลายของหัวรบ (Lethal area) ของฟังก์ชันแต่ละแบบเท่ากัน [2,15] ซึ่งพื้นที่การทำลายของหัวรบมีค่าเท่ากับ อินทิกรัลของพื้นที่ใต้กราฟ

$$\iint_A d(N,E) dN dE \text{ ในพิกัด North(N), East(E)}$$

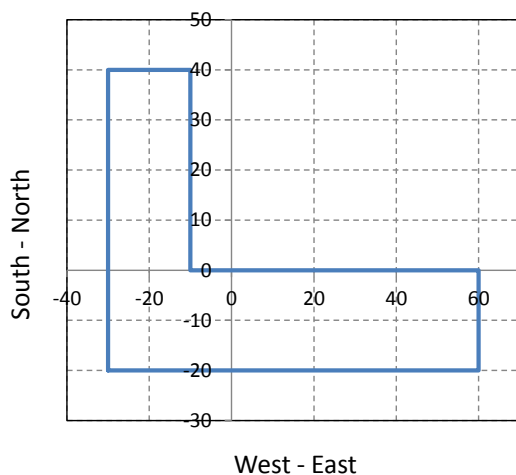
$$\text{หรือ } 2\pi \int_0^\infty r d(r) dr \text{ ในพิกัด Radial (r) ซึ่งอาจ}$$

เปรียบเทียบกันกำหนดให้ฟังก์ชันความเสียหายแต่ละแบบสมมติพลังงานในการทำลายเป้าหมายเท่ากัน เพียงแต่มีการกระจายของพลังงานแตกต่างกันตามสมมติฐานของฟังก์ชันนั้น โดยกำหนดให้ $R_k = 50$ m สำหรับฟังก์ชันแบบ Cookie cutter และ $R_k = 30$ m , $b = 0.58$ สำหรับฟังก์ชันแบบ Exponential และ $R_{sk} = 30$ m , $R_{ss} = 70$ m สำหรับฟังก์ชันแบบ Incline step และ $R_{sk} = 30$ m , $R_{ss} = 80$ m สำหรับฟังก์ชันแบบ Log normal

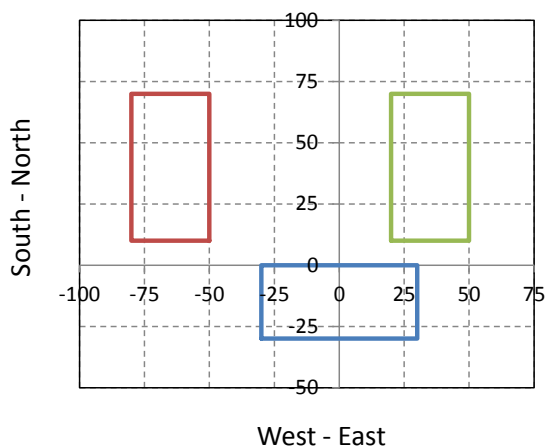
รูปที่ 9 แสดงลักษณะกราฟของฟังก์ชันความเสียหายที่ใช้ในการจำลองชุดที่ 2 โดยฟังก์ชันแต่ละแบบมีรูปร่างกราฟแตกต่างกัน และมีค่า R_k , R_{sk} , R_{ss} ไม่เท่ากัน แต่มีพื้นที่ใต้กราฟเท่ากัน



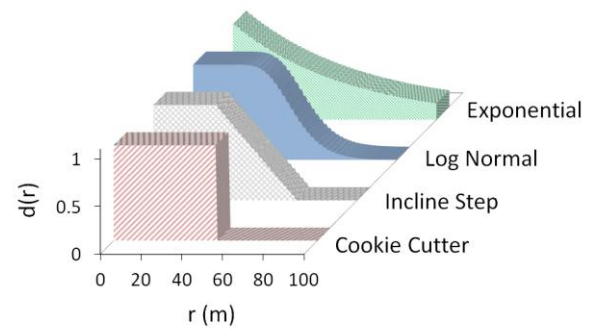
รูปที่ 6 เป้าหมายในกรณีศึกษาที่ 1



รูปที่ 7 เป้าหมายในกรณีศึกษาที่ 2



รูปที่ 8 เป้าหมายในกรณีศึกษาที่ 3



รูปที่ 9 แสดงพื้นที่ใต้กราฟของฟังก์ชันความเสียหายที่ใช้ในการจำลองชุดที่ 2

5. ผลการจำลอง

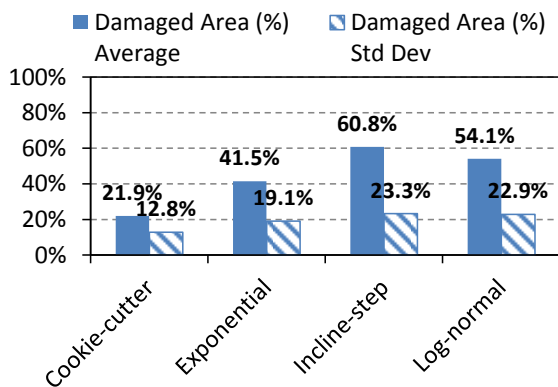
5.1 ผลการจำลองชุดที่ 1

รูปที่ 10-12 เปรียบเทียบผลการจำลองชุดที่ 1 ในกรณีศึกษาทั้งสาม โดยแสดงค่าเฉลี่ยของสัดส่วนความเสียหาย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการจำลองแบบมอนติคาร์โลจำนวน 2000 ครั้ง

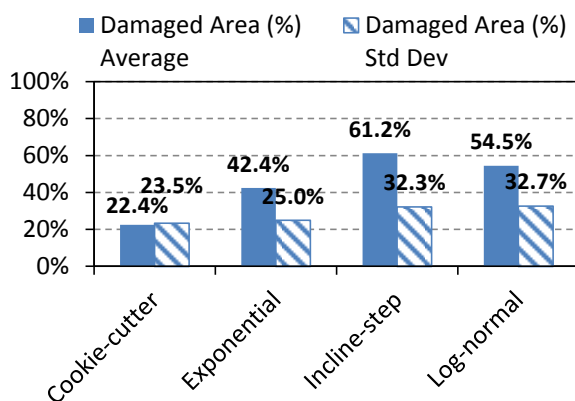
จากทุกกรณีศึกษา พบว่าความเสียหายของเป้าหมายน้อยที่สุดเมื่อใช้ฟังก์ชันแบบ Cookie cutter และสูงขึ้นเมื่อใช้ฟังก์ชันแบบ Exponential, Log normal, Incline step ตามลำดับ ซึ่งหากพิจารณาพื้นที่การทำลายของฟังก์ชันแต่ละแบบเมื่อกำหนดให้ $R_k = R_{sk} = 30 \text{ m}$, $R_{ss} = 80 \text{ m}$ จะพบว่าพื้นที่การทำลายของฟังก์ชันแบบ Cookie cutter, Exponential, Log normal, Incline step มีค่าเท่ากับ 30, 29, 55, 50 m^2 ตามลำดับ ซึ่งเปรียบเทียบเหมือนการสมมติผลการทำลายของหวัรปในแต่ละฟังก์ชันไม่เท่ากัน ส่งผลให้ผลการจำลองด้วยฟังก์ชันแต่ละแบบไม่เท่ากันไปด้วย ดังนั้น การที่ผลการจำลองด้วยฟังก์ชันแบบ Incline step และ Log normal มีค่าสูงสุด อาจมีสาเหตุจากพื้นที่การทำลายของฟังก์ชันสองแบบนี้มีค่ามากที่สุด

สำหรับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการจำลองรูปที่ 10-12 แสดงให้เห็นว่าผลการจำลองด้วยฟังก์ชันแบบ Cookie cutter มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุดในทุกกรณีศึกษา และฟังก์ชันแบบ Incline step และ Log normal มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงที่สุด

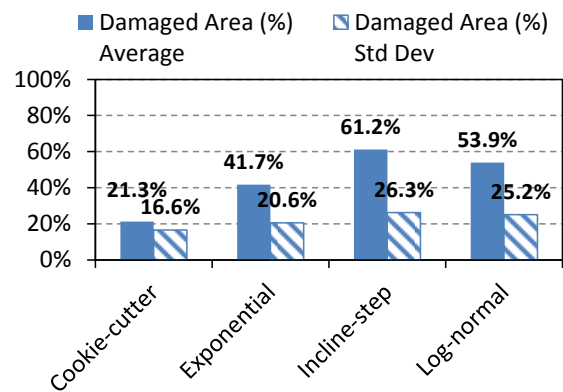
รูปที่ 13-15 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการคำนวณ โดยแสดงเป็นจำนวนเท่าของเวลาที่ใช้สำหรับฟังก์ชันความเสียหายแบบ Cookie cutter ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่เรียบง่ายและใช้เวลาในการคำนวณน้อยที่สุด จากรูปพบว่าฟังก์ชันแบบ Log normal ใช้เวลาในการคำนวณมากที่สุด ในขณะที่ฟังก์ชันแบบอื่นใช้เวลาในการคำนวณไม่แตกต่างกันมากนัก ทั้งนี้ อาจเนื่องจากการคำนวณของฟังก์ชันแบบ Log normal มีการเรียกใช้ฟังก์ชัน erf (Error function) ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่มีการคำนวณซับซ้อนจึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ฟังก์ชันความเสียหายแบบ Log normal ใช้เวลาในการคำนวณมากกว่าฟังก์ชันความเสียหายแบบอื่น



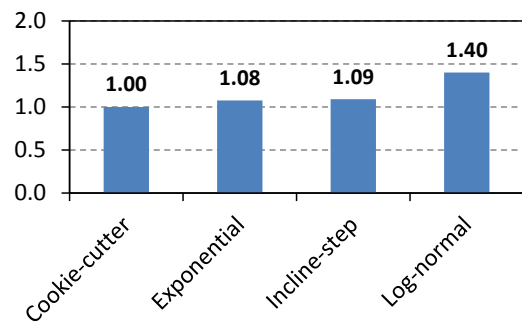
รูปที่ 10 ผลการจำลองชุดที่ 1 กรณีศึกษาที่ 1



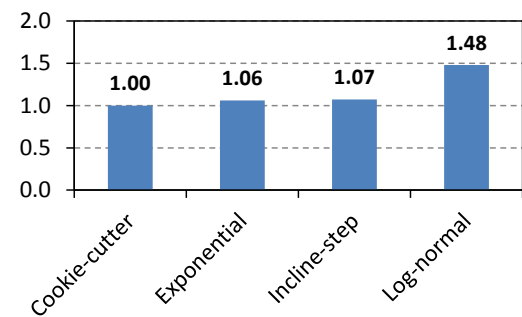
รูปที่ 11 ผลการจำลองชุดที่ 1 กรณีศึกษาที่ 2



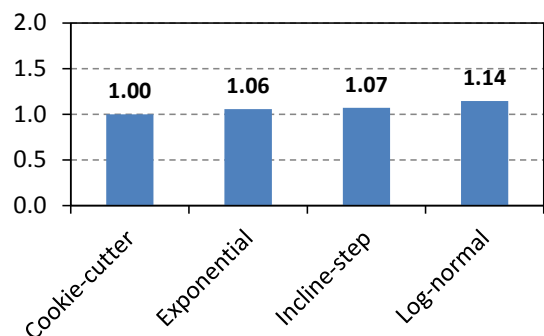
รูปที่ 12 ผลการจำลองชุดที่ 1 กรณีศึกษาที่ 3



รูปที่ 13 เวลาในการจำลองชุดที่ 1 กรณีศึกษาที่ 1



รูปที่ 14 เวลาในการจำลองชุดที่ 1 กรณีศึกษาที่ 2



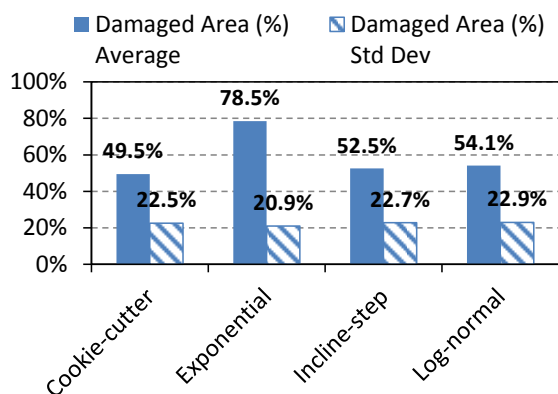
รูปที่ 15 เวลาในการจำลองชุดที่ 1 กรณีศึกษาที่ 3

5.2 ผลการจำลองชุดที่สอง

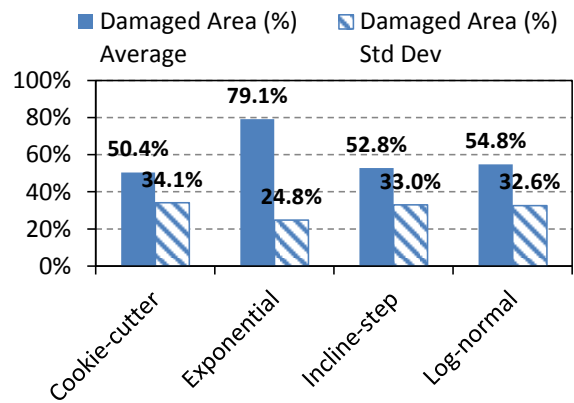
จากการเปรียบเทียบผลการจำลองชุดที่สองในทุกกรณีศึกษาดังแสดงในรูปที่ 16-18 พบว่าฟังก์ชันแบบ Cookie cutter, Incline step และ Log normal ให้ผลการจำลองที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย โดยผลการจำลองด้วยฟังก์ชันแบบ Cookie cutter มีค่าต่ำที่สุด นอกจากนั้น พบว่าผลการจำลองด้วยฟังก์ชันแบบ Exponential มีสัดส่วนความเสียหายของเป้าหมายที่สูงกว่าผลการจำลองโดยใช้ฟังก์ชันแบบอื่นมาก ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากรูปร่างกราฟของฟังก์ชันแบบ Exponential มีลักษณะแผ่กว้างกว่าฟังก์ชันแบบอื่นตามที่แสดงในรูปที่ 9 ดังนั้นจึงมีโอกาสมากกว่าที่พื้นที่การทำลายของหัวรบจะครอบคลุมพื้นที่ของเป้าหมาย และทำให้ค่าเฉลี่ยของความเสียหายของเป้าหมายสูงกว่าผลการจำลองด้วยฟังก์ชันแบบอื่น

นอกจากนั้น จากรูปที่ 16-18 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการจำลองด้วยฟังก์ชันความเสียหายแต่ละแบบไม่แตกต่างกันมากนัก

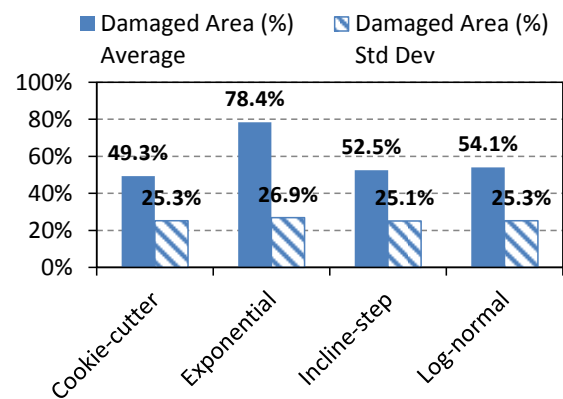
รูปที่ 19-21 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการคำนวณ โดยแสดงเป็นจำนวนเท่าของเวลาที่ใช้สำหรับฟังก์ชันความเสียหายแบบ Cookie cutter ซึ่งได้ผลคล้ายคลึงกับผลการจำลองชุดที่หนึ่ง



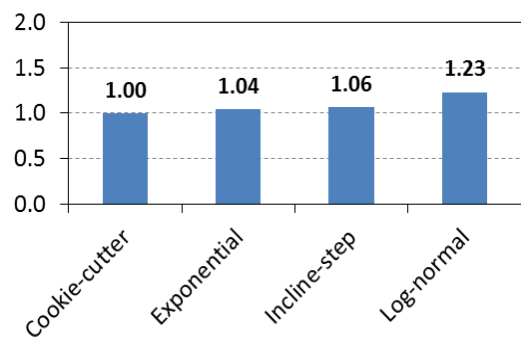
รูปที่ 16 ผลการจำลองชุดที่ 2 กรณีศึกษาที่ 1



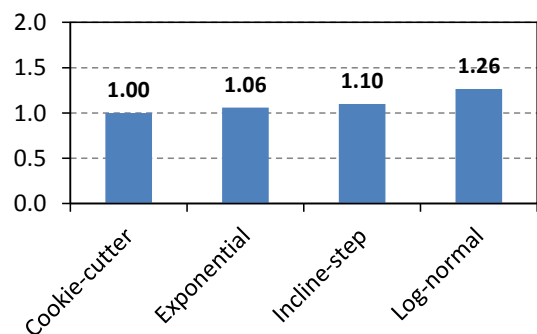
รูปที่ 17 ผลการจำลองชุดที่ 2 กรณีศึกษาที่ 2



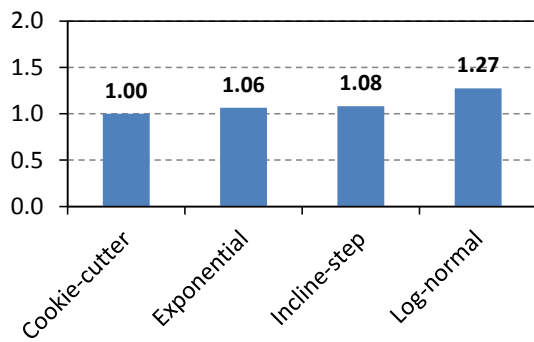
รูปที่ 18 ผลการจำลองชุดที่ 2 กรณีศึกษาที่ 3



รูปที่ 19 เวลาในการจำลองชุดที่ 2 กรณีศึกษาที่ 1



รูปที่ 20 เวลาในการจำลองชุดที่ 2 กรณีศึกษาที่ 2



รูปที่ 21 เวลาในการจำลองชุดที่ 2 กรณีศึกษาที่ 3

5.3 วิเคราะห์การเลือกใช้ฟังก์ชันความเสียหาย

ในการเลือกใช้ฟังก์ชันความเสียหาย ควรพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะของเป้าหมายกับคุณลักษณะของหัวรบ (Warhead effect) จริงที่ทำการศึกษา เช่น ความดันอากาศจากการระเบิด (Blast pressure) ลดลงตามกำลัง 3 ของระยะ, ความหนาแน่นสะเก็ดระเบิด (Fragment density) ลดลงตามกำลัง 2 ของระยะ และความเร็วของสะเก็ดระเบิด (Fragment velocity) ลดลงเป็นฟังก์ชัน Exponential กับระยะห่างจากจุดตก หากเป้าหมายเป็นสิ่งก่อสร้างและหวังผลการทำลายจากความดันอากาศ ก็ควรเลือกใช้ฟังก์ชันความเสียหายแบบที่เหมาะสมกับคุณลักษณะดังกล่าวด้วย

นอกจากนั้น จากเอกสารอ้างอิง[1] ฟังก์ชันความเสียหายแบบ Log normal อาจจะมีค่าสมจริงมากที่สุดในการตีทั่วไป ดังนั้น ผู้ทำการจำลองอาจเลือกใช้ฟังก์ชันแบบนี้ในกรณีที่ไม่มีทราบข้อมูลของเป้าหมายหรือคุณลักษณะของหัวรบ ถึงแม้จะใช้เวลาในการคำนวณมากที่สุด อย่างไรก็ตาม ผลการจำลองในกรณีศึกษาของบทความนี้ชี้ให้เห็นว่าการใช้ฟังก์ชันแบบ Incline step ซึ่งใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่าสามารถให้ผลการจำลองใกล้เคียงกับการจำลองด้วยฟังก์ชันแบบ Log normal เมื่อกำหนด R_{sk} และ R_{ss} ที่ทำให้พื้นที่การทำลายของหัวรบมีค่าเท่ากัน ดังนั้น ฟังก์ชันแบบ Incline step จึงน่าจะเหมาะสมกับการใช้งานในกรณีที่ต้องการประหยัดเวลาในการคำนวณ

ผลการจำลองทั้งสองชุดยังแสดงให้เห็นว่า การใช้ฟังก์ชันแบบ Cookie cutter ประเมินโอกาสในการ

ทำลายเป้าหมายจะได้ผลลัพธ์ต่ำกว่าฟังก์ชันแบบอื่น ดังนั้นการใช้ฟังก์ชันแบบ Cookie cutter เพื่อประเมินโอกาสในการทำลายเป้าหมายจะได้ผลลัพธ์ที่ไม่เกินจริง ในทางตรงกันข้าม หากใช้ฟังก์ชันแบบนี้ประเมินโอกาสที่จะเกิดความเสียหายข้างเคียง จะได้ผลการจำลองที่ปลอดภัยเกินจริง

6. บทสรุป

บทความนี้ศึกษาผลการใช้ฟังก์ชันความเสียหาย 4 แบบ ได้แก่ Cookie cutter, Exponential, Incline step และ Log normal ต่อผลการจำลองแบบมอนติคาร์โลเพื่อประเมินความเสียหายของเป้าหมายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจากการยิงแบบซัลโวของระบบจรวดหลายลำกล้องแบบไม่นำวิถี

จากการวิเคราะห์ผลการจำลองในกรณีศึกษาจำนวน 3 กรณี พบว่าเมื่อใช้รัศมีการทำลายและรัศมีปลอดภัยของหัวรบเหมือนกันในการจำลอง ฟังก์ชันความเสียหายทั้ง 4 แบบให้ผลการจำลองที่ต่างกัน และเมื่อใช้รัศมีการทำลายและรัศมีปลอดภัยของหัวรบของฟังก์ชันแต่ละแบบที่ทำให้พื้นที่การทำลายของหัวรบมีค่าเท่ากัน พบว่าผลการจำลองด้วยฟังก์ชันแบบ Incline step และ Log normal มีค่าใกล้เคียงกัน ในขณะที่ฟังก์ชันแบบ Exponential ที่ให้ผลการจำลองที่ประเมินความเสียหายสูงกว่าจากฟังก์ชันแบบอื่นมาก นอกจากนี้พบว่าฟังก์ชันแบบ Cookie cutter ให้ผลการจำลองที่มีค่าน้อยกว่าฟังก์ชันแบบอื่น

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Przemieniecki, J.S. (2000). Mathematical Methods in Defense Analyses, 3rd edition, AIAA Education Series, AIAA, VA, USA.
- [2] Washburn, A. and Kress, M. (2009). Combat Modeling, International Series in Operations Research & Management Science, Book 134, Springer, NY, USA.
- [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), 1968, pp. 1021-1026.

[6] Denney, S.H. (1970). A Review of Literature on the Theory of Hit and Kill Probabilities, Master's Thesis, Naval Postgraduate School, CA, 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, VA, USA.

[8] Koon, Y.G. (1993). An Analytical Approach to Assessing the Vulnerability of Bomb Shelters to Aerial Bombing and Artillery Attack, Master's Thesis, Naval Postgraduate School, CA, USA.

[9] Bressel, C.N. (1971). Expected Target Damage for Pattern Firing, Operations Research, vol. 19(3), 1971, pp. 655-667.

[10] Anderson, H.L. (1986). Metropolis, Monte Carlo and the MANIAC, Los Alamos Science, vol. 14, pp. 96-108, 1986, Los Alamos National Laboratory, NM, USA.

[11] Rubinstein, R.Y. and Kroese, D.P. (2008). Simulation and the Monte Carlo Method, 2nd edition, John Wiley & Sons, Hoboken.

[12] Klopčič, J.T. (1990). A comparison of damage functions for use in artillery effectiveness codes, BRL-MR-3823, Ballistic Research Laboratory, MD, USA.

[13] Joint Technical Coordinating Group for Munitions Effectiveness Program Office, URL: <http://web.amsaa.army.mil/JTCGMEPO.html>, accessed on 31/08/2013

[14] Chusilp, P., Kiriratnikom, C., and Nilubon, O. (2012). A Development of Computer Program for Estimating Probability of Target Damage for Multiple Launch Rocket Systems," 26th Conference on the Mechanical Engineering Network of Thailand (ME-NETT), Oct 24-27, 2012, Chiang Rai, Thailand.

[15] 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, FL, USA.

[16] Bridgeman, C.J. (1980). "The use of weapon radius in nuclear survivability calculations," AIAA 6th Mini Symposium on Science and Engineering Applications for Space Systems, Air Force Institute of Technology, OH, USA.