เอกสารประกอบการเรียน

สาขา การอาวุธ ๕๐๓ - ๑

วิชา หัวรบ

หลักสูตรโรงเรียนสรรพาวุธ กองศึกษาและวิจัย

กรมสรรพาวุธทหารเรือ

พิมพ์ครั้งที่ ๒

มกราคม ๔๓

สารบัญ

หัวรบ

กล่าวโดยทั่วไป	๑
ส่วนประกอบหัวรบ	๑
การทำลายเป้า	๓
วัตถุระเบิด	๖
ส่วนบรรจุ	๑๔
หลักการของหัวรบสังหาร	๓๕
หลักการของหัวรับเชฟชาร์ท	๓๕
หัวรบกิจการพิเศษ	๔๐
ชนวน	๔๑

หัวรบ (WARHEAD)

กล่าวโดยทั่วไป

มนุษย์มีความต้องการใช้เครื่องมือ เพื่อทำลายขีดความสามารถของข้าศึกในการทำสงคราม และเพื่ออำนาจการทำลายให้มากขึ้นเรื่อย ๆ เพิ่มความยุ่งยาก และเพิ่มแรงแห่งการทำลายของอาวุธในคลังแสงของฝ่ายตน ในยุคมนุษย์หินใช้ก้อนหินขว้างกัน จนถึงเข้ายุคจรวดนำวิถีในปัจจุบันก็เหมือนกับสมัยมนุษย์หิน หน้าที่ขั้นมูลฐานของอาวุธ คือการส่งแรงแห่งการทำลายไปยังพื้นที่ข้าศึก

หัวรบ ของอาวุธ คือส่วนที่บรรจุสิ่งทำลาย (destructive agent) ในสงครามปัจจุบันมีการวิจัยให้ก้าวหน้ายิ่งขึ้น และพัฒนาการออกแบบหัวรบ ตลอดจนมีการทดลอง

เป้า ในปัจจุบัน รวมถึงฐานทัพ (military bases) โรงงานที่ตั้งฐานยิงจรวด สนามบิน กองทัพ ราวรถ สะพาน เรือ ฯลฯ และรวมถึงเรือค้าน้ำที่ติดตั้งอาวุธปล่อย ดาวเทียมที่โคจรรอบโลก และเครื่องคำนวนควบคุมนำวิถีจรวดที่ไม่มีคนบังคับ จะเห็นว่าเป้าดังกล่าว แต่ละแบบจะมีปัญหาทางยุทธวิธีต่าง ๆ กัน หัวรบจึงต้องแบ่งแยกออกมาพัฒนาให้ใช้บังคับเป้าแต่ละแบบอย่างได้ผลที่สุด

.. ส่วนประกอบหัวรบ

จุดระเบิดที่เวลาสุดยอด (OPTIMUM TIME)

ป้องกันการจุดระเบิดขณะที่หัวรบจะถูกปล่อยออกไป พ้นระยะอันตราย (เป็นเครื่องกั้นระหว่างชนวนกับส่วนบรรจุ)

สิ่งที่บรรจุเพื่อทำลายเป้า

ได้โดย ธรรมชาติของเป้ากับการหาทางเรขาคณิต ชนวนที่ดีจะต้องเริ่มจุดระเบิดที่เวลาสุดยอด (Optimum time)

การจุดระเบิดบางวิธีต้องการข้อมูลที่จำเป็นบางอย่าง ข้อมูลที่ได้จากพลังส่งออก หรือได้จากอิทธิพลของเป้า จากอัตราเร่ง การเคลื่อนที่ของอาวุธ

ชนวนอาจทำงานโดยข้อมูลหลายข้อมูล ทำหน้าที่อิสสระ หรือส่งข้อมูลบังคับการจุดระเบิดตามต้องการโดยระบบศูนย์รวบรวม ที่ส่งข้อมูลต่าง ๆ ไปยังส่วนประกอบของอาวุธ เช่นอาวุธนำวิถี ระบบนำวิถี อาจส่งคำการควบคุมเวลา การจุดระเบิดส่วนบรรจุให้ระเบิดขึ้น

๑.๓ <u>ส่วนเครื่องป้องกันอันตราย</u> (Safety and Arming Devices)

เครื่องป้องกันอันตรายทำหน้าที่ดังนี้

๑.๓.๑ ทำหน้าที่ป้องกันอุบัติเหตุจากการระเบิดก่อนกำหนดของหัวรบ (ลักษณะปลอดภัย) โดยมีเครื่องกั้นทางระเบิดระหว่างชนวนกับส่วนบรรจุวัตถุระเบิด จนกว่าจะแน่ว่าไม่เป็นอันตรายกับฝ่ายเรา

๑.๓.๒ ทำให้เครื่องกั้นทางระเบิดเปิดทางกั้นระหว่างชนวนกับส่วนบรรจุ (ลักษณะพร้อม) หลังจากเครื่องป้องกันอันตรายทำหน้าที่เรียบร้อยแล้ว เครื่องปลดห้ามจะปลดเครื่องกั้นออก

เครื่องป้องกันอันตราย (S & A Device) ทำหน้าที่คล้ายสวิตช์เปิดจนกว่าจะปลอดภัยแล้วก็จะปิด วิธีนี้ทำการป้องกันอันตรายโดยมีเครื่องกั้นระหว่างชนวนและส่วนบรรจุ

เครื่องป้องกันอันตราย บางกรณีทำหน้าที่ ทำลายอาวุธที่ยิงไปไม่ถูกเป้าและอาจเป็นอันตรายกับฝ่ายเดียวกัน

เครื่องป้องกันอันตราย อาจทำให้หน่วงเวลาพร้อมระเบิด (delay arming) จนถึงเวลาจุดยอดของการจุดระเบิดจึงจะทำงาน ทั้งนี้เพื่อป้องกันอุบัติเหตุการระเบิด อันเนื่องจากการทำงานผิดพลาดของชนวน โดยเหตุนี้ข้าศึกส่งมาตรการรบกวน ฯลฯ

๒. <u>การทำลายเป้า</u> (Target kill)

๒.๑ พลังคูควบ (Energy Coupling) คือการถ่ายพลังงานจากหัวรบไปยังเป้า รูปของพลังงานที่ปล่อยออก เมื่อส่วนบรรจุระเบิดขึ้นนั้น จะให้พลังงานความร้อน พลังงานจลย์ พลังงานเคมี และพลังงานนิวเคลียร์ ทำให้เกิดความดัน หรือคลื่นกระแทก (Shock waves) เกิดจากผลของแรงระเบิด (blast)

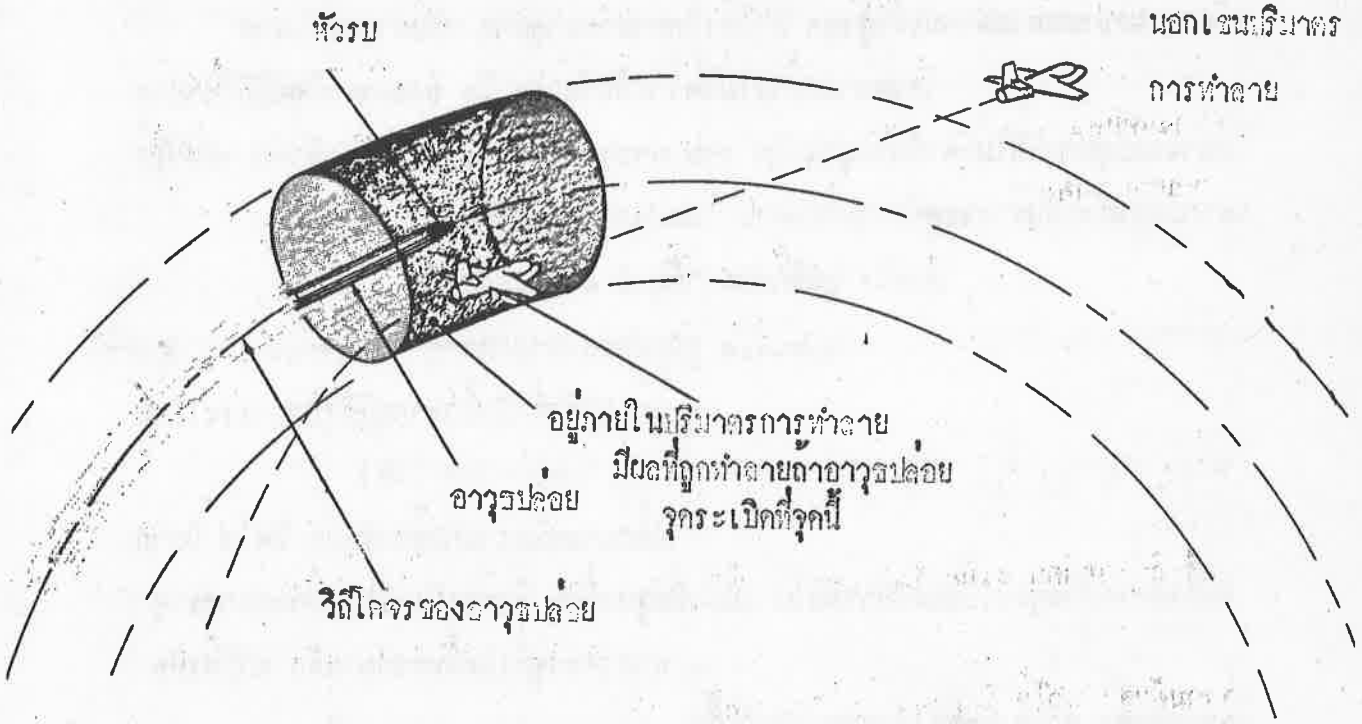
อย่างไรก็ตามส่วนบรรจุที่เป็นวัตถุระเบิด จะมีผลการทำลายดีกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงเทียบกัน น้ำหนักต่อน้ำหนักการใช้เชื้อเพลิงจะต้องมีจำนวนมากพอที่จะทำลายเป้าซึ่งเป็นการลำบากในการบรรจุเข้าหัวรบ

ถ้าเป้าบางและอาวุธปล่อยวิ่งด้วยความเร็วสูง มีพลังงานจลย์มากพอที่จะทำลายเป้า แต่อาวุธปล่อยอาจจะวิ่งทะลุผ่านเป้าเป็นช่องมีความโตเท่าที่ตัวอาวุธปล่อยที่วิ่งผ่านทะลุไป จึงไม่มีพลังงานพอที่จะทำลายเป้าได้

ถ้าหัวรบที่บรรจุวัตถุระเบิดจำนวนมาก พลังงานระเบิดปล่อยออกจำนวนมาก ขณะที่อาวุธปล่อยทะลุเป้าพลังงานระเบิดจะเพิ่มบริมาตรการทำลายมากขึ้น

การเพิ่มปริมาตรการทำลาย ทำให้เพิ่มพลังงานถูกควบไปยังเป้าให้สูงขึ้น ปริมาตรการทำลายจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มส่วนบรรจุ และจะสามารถทำลายเป้าได้ โดยที่หัวรบอาวุธปล่อยไม่ต้องถูกเป้าเลย

ปริมาตร การทำลาย



- เกิดความร้อน
- กำลังดันเกิดจากอากาศขยายตัวขึ้นอยู่กับปริมาตรของอากาศธาตุและอุณหภูมิ
- กำลังดันสูงสุด และอำนาจการระเบิดขึ้นอยู่กับความเร็วของปฏิกิริยา

๓.๒.๑.๒ การแผ่ความร้อน

- ปฏิกิริยาการระเบิดให้ความร้อนอย่างฉับพลัน
- จำนวนความร้อนเป็นเครื่องแสดงพลังงานของวัตถุระเบิดที่นำไปใช้

๓.๒.๑.๓ ความเร็วปฏิกิริยา

- ปฏิกิริยาการระเบิดต่างจากการเผาไหม้ธรรมดาในเรื่องความเร็วของปฏิกิริยา
- ใช้เทียบความแตกต่างชนิดของวัตถุระเบิด
- อัตราเร็วในการเผาไหม้ขึ้นอยู่กับ ชนิดของวัตถุระเบิด และสภาวะทางฟิสิกส์
- อัตราเร็วในการเผาไหม้ของดินชับในเมื่อกำลังดันภายในลำกล้องอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง ประมาณ ๒๔ ซม.
- อัตราความเร็วในการเผาไหม้ของวัตถุระเบิดแรงสูง ๒๐๐๐ - ๘๕๐๐ ม./ว.

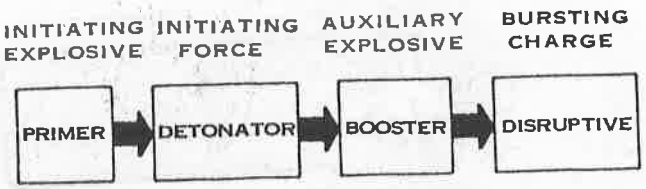
๓.๒.๑.๔ เริ่มปฏิกิริยาโดยแรงกระแทกหรือความร้อน

- วัตถุระเบิดแรงสูงเริ่มปฏิกิริยาโดยแรงกระแทกหรือความร้อนมากพอ
- วัตถุระเบิดแรงต่ำเริ่มปฏิกิริยาโดยความร้อน

๓.๒.๒ การแบ่งประเภทของวัตถุระเบิดเคมี

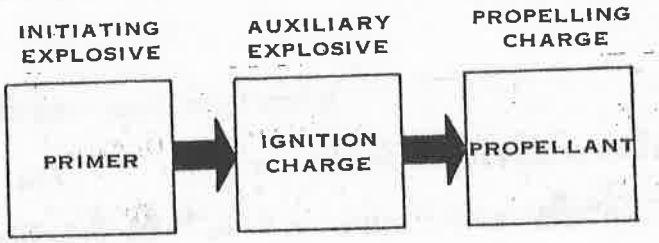
๓.๒.๒.๑ วัตถุระเบิดแรงต่ำ (Low Explosive)

วัตถุระเบิดแรงต่ำ คือ วัตถุระเบิดซึ่งการสลายตัวเป็นไปโดยการลุกไหม้ อย่างรวดเร็วฉับพลัน การลุกไหม้ถูกจำกัดด้วยเนื้อที่ผิว เป็นการลุกไหม้ลามจากจุดหนึ่งไปจุดหนึ่ง เป็นธาตุที่ไหม้ไฟได้ตั้งแต่ ๑ ธาตุขึ้นไปรวมกับออกซิเจน จึงไม่ต้อง



๓.๒.๓.๒ ขบวนวัตถุระเบิดแรงต่ำ (Low explosive train)

- Primer
- Ignition charge
- Propellant



๓.๒.๔ กลไกการจุดระเบิด (The mechanics of detonation)

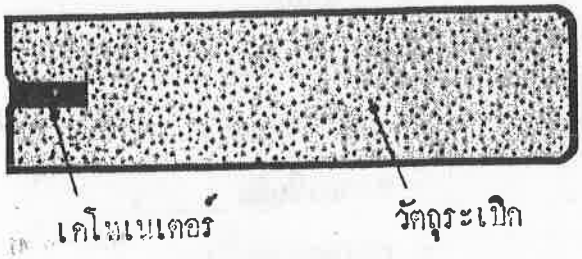
๓.๒.๔.๑ การจุดระเบิดขั้นแรก

การจุดให้เกิดการระเบิดต้องใช้พลังงานเพียงพอ โดยปกติจุดด้วยความร้อน หรือแรงกระแทก กระทำกับวัตถุระเบิด

พลังงานทำให้เกิดแรงไปทำลายโมเลกุลให้แตกออกจากการจับตัวกัน ทำให้อะตอมจัดตัวใหม่ ทำให้เกิดการปล่อยพลังงานออกมา พลังงานจะทำงานโมเลกุลข้างเคียง ทำให้วัตถุระเบิดทั้งก้อนระเบิดขึ้น

๓.๒.๔.๒ การจุดระเบิดขั้นสอง

เป็นการเปลี่ยนรูปและการขยายตัวของโมเลกุลของอากาศธาตุ เมื่อโมเลกุลแรกสลายตัว อะตอมของคาร์บอนและไฮโดรเจนเติมออกซิเจนโดยความร้อนของคลื่นการจุดระเบิด และปริมาตรจะขยายตัวเพิ่มขึ้นเกิดการจุดระเบิดขึ้นพร้อมกัน



๓.๒.๕.๑ หาง่ายราคาถูก

- วัตถุระเบิดที่ต้องใช้ในสงครามเป็นจำนวนมากต้องผลิตจากวัสดุราคาถูก หาได้ง่ายจำนวนมาก การผลิตง่าย ถูก และปลอดภัย

๓.๒.๕.๒ ความไว

- จุดให้เกิดระเบิดง่าย ต่อการจุดด้วยความร้อน, เสียดสีหรือแรงกระแทก

- ความไวเป็นการพิจารณาที่สำคัญในการเลือกใช้วัตถุระเบิด

๓.๒.๕.๓ ความคงตัว

- การจัดเก็บไม่เกิดระเบิดได้ง่าย

<u>ปัจจัยที่มีผลต่อความคงทน</u>

ก. องค์ประกอบทางเคมี (Chemical constitution)

ข. อุณหภูมิในการจัดเก็บ (Temperature of storage)

ค. - การสลายตัวของดินระเบิดที่เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

- มีความคงตัวระหว่าง ๕๔° - ๗๗° F.

ง. สิ่งแปลกปลอม (Present Impurities)

- สิ่งแปลกปลอม ทำให้ไม่คงตัว

จ. การแตกแดด (Exposure to sun)

สลายตัวเร็วเมื่อถูกแดดโดยตรง เพราะของแสงอาทิตย์ ทำให้ ไนโตร สลายตัว

๓.๒.๕.๔ ความแรง

หมายถึงความสามารถในการทำงานของวัตถุระเบิดที่ส่งพลังงานออกเมื่อวัตถุระเบิดถูกจุดระเบิดขึ้น

- อะตอมที่ประกอบด้วยผลึกของวัตถุระเบิด และการจัดตัวให้จำนวนพลังงานที่มีการจุดระเบิดเกิดขึ้น

- อัตราการสลายตัว ปริมาณอากาศธาตุที่ขยายตัวออกตามองศาแห่งการจัดตัวใหม่ หาจำนวน "Work done" โดยวัตถุระเบิด

๓.๒.๕.๕ กำลัง

คืออัตราที่วัตถุระเบิดทำงาน หรือปล่อยพลังงานและเท่ากับผลิตความแรงของวัตถุระเบิด และความเร็วของการจุดระเบิด

พลังงานปรมาณู เป็นผลที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิคส์ของส่วนประกอบของปรมาณู ปรมาณูไม่เพียงแต่รวมกันใหม่ หรือจัดตัวใหม่ แต่โครงสร้างภายในตัวปรมาณูจะเปลี่ยนแปลงใหม่หมด การเปลี่ยนแปลงนี้จะเกิดธาตุใหม่ขึ้น

๓.๓.๑ คำจำกัดความ

ปรมาณูมีโคลงสร้างอันเปรียบได้กับสุริยะจักรวาฬ มีแกนกลางซึ่งเรียกว่า นิวเคลียส และรอบ ๆ นิวเคลียสมีอีเลคตรอน ๑ ตัว หรือมากกว่าวิ่งอยู่เป็นวงเหมือนดาวพระเคราะห์ที่หมุนรอบดวงอาทิตย์ บริเวณระหว่างนิวเคลียสกับอีเลคตรอนเป็นที่ว่างเปล่า จำนวนอีเลคตรอนที่วิ่งอยู่รอบนิวเคลียส มีตั้งแต่ ๑ - ๙๘ ทั้งนี้แล้วแต่ชนิดของธาตุ (ธาตุต่าง ๆ ที่รู้จักลักษณะของปรมาณูของมันแล้ว ๙๒ ธาตุ) เพราะว่าคุณลักษณะทางเคมีของธาตุนี้ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของอีเลคตรอนที่อยู่รอบ ๆ โดยเฉพาะไม่เกี่ยวกับนิวเคลียส นิวเคลียสอันเป็นแกนกลางของปรมาณูประกอบด้วย โปรตรอนและนิวตรอน โปรตรอนมีประจุไฟบวก และยึดโยงอีเลคตรอนซึ่งมีประจุไฟฟ้าลบวิ่งให้หลุดออกนอกวงจร จำนวนโปรตรอนที่มีอยู่ในนิวเคลียสมีเท่ากับจำนวนอีเลคตรอนที่วิ่งอยู่รอบ ๆ นิวตรอนไม่มีประจุไฟฟ้า บวก หรือลบ และเป็นตัวสำคัญที่เกิดพลังงานปรมาณู

๓.๓.๒ ปฏิกิริยาวัตถุระเบิดปรมาณู

การระเบิด คือปฏิกิริยาทางเคมีที่ใช้ความร้อนหรือแรงกระแทกเป็นตัวทำให้วัตถุระเบิดสลายตัวในทันทีทันใด ปล่อยพลังงานความร้อนหรืออากาศธาตุ

เมื่อวัตถุระเบิดปรมาณูระเบิดขึ้นจะมีลักษณะเพิ่มแรงระเบิดหรือคลื่นการกระแทกอย่างมหาศาล (เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักวัตถุระเบิดเท่า ๆ กัน) กระจายพลังงานความร้อน (Thermal energy) จำนวนมากในพื้นที่ ปริมาตรทำลายยิ่งกว่านั้นทิศทางพุ่งไปทำลายของแรงระเบิดปรมาณู ยังกระจายรังสีจำนวนมาก ได้แก่ Gamma radiation, Alpha, beta particle,

การกระจายรังสีต่าง ๆ จะปล่อยไปในบรรยากาศ ทำให้บรรยากาศเป็นพิษ

ตามรูปแสดงให้เห็นว่าวัตถุระเบิดปรมาณูปล่อยพลังงานอะไรบ้าง

แบบของพลังงานที่แยกให้เห็นสำหรับการระเบิดอากาศระดับต่ำ

- ประมาณ ๘๖ % ของพลังงานทั้งหมดที่ปรากฏครั้งแรกคือความร้อน ชั่วระยะเวลาอันรวดเร็วส่วนของความร้อนแปลงเป็นพลังงานในรูปของคลื่นแรงระเบิด และคลื่นแรงกระแทก (blast and shock waves)

15

อะตอม (Atoms)

อะตอม หรือปรมาณู คือส่วนที่เล็กที่สุดของธาตุซึ่งมีคุณลักษณะทางเคมีของธาตุนั้น อะตอมแยกออกเป็น electrons, protons, nuetrons

นิวเคลียส (Nucleus)

- โปรตรอน และนิวตรอนเป็นส่วนใจกลางของอะตอม มี electron วิ่งเป็นวงรอบแกนกลาง แกนกลางของอะตอมเรียกว่า "นิวเคลียส"
- น้ำหนักอะตอม คือน้ำหนักของนิวเคลียส

น้ำหนักอะตอม (Atomic weight)

เนื่องจากอะตอมเล็กมาก จึงยากที่จะวัดมวลของอะตอมได้ เพราะหน่วยวัดมวลสารนั้นใหญ่มาก จึงกำหนดหน่วยวัดใหม่ขึ้น เป็น Atomic Mass Unit (a m u)

ตามข้อตกลงใน ค.ศ.๑๙๖๐ International Union of pure and Applied Chemistry ได้กำหนดให้ Carbon = 12 atomic mass units มวลของอะตอมอื่น หาค่าได้โดยการเปรียบเทียบกับคาร์บอน ๑๒

ตัวอย่างเช่น ยูเรเนียม ๒๓๕ กำหนด

= 235.04312 a mu.

amu = $\frac{1}{2}$ ของมวลอะตอมของคาร์บอน

1 AMU $1.66 + 10^{-24}$ กรัม

อีเลคตรอนโวลท์ เป็นหน่วยวัดพลังงานของระบบอะตอมหรือระบบนิวเคลียร์ ย่อว่า ev. คือพลังงานที่อีเลคตรอนวิ่งด้วยอัตราเร่งผ่านสนามไฟฟ้าที่มีความต่างศักดิ์ ๑ โวลท์

$1 \text{ ev.} = 1.6 + 10^{-12}$

ใช้หน่วย Mev (million electron volts)

$\therefore$ $1 \text{ Mev} = 1.6 + 10^{-6}$ drgs

$1 \text{ amu} = 1.66 + 10^{-24}$ grams

สูตรการเปลี่ยนแปลงเป็นค่าพลังงานคือ $E = Mc^2$

= 931 Mev.

อะตอมมิคนัมเบอร์ (Atomic Number)

หมายถึงลำดับที่ของอะตอมโดยเริ่มตั้งแต่ธาตุที่เบาที่สุด หรือเรียงลำดับจำนวนโปรตรอน หรืออีเลคตรอน เช่น Atomic number ของ H = 1, He = 2 Li = 3 - - - - - U = 92 เป็นต้น

ไอโซโทป (Isotopes)

ไอโซโทป คืออะตอมที่มี Atomic number (จำนวนโปรตรอน) เดียวกันแต่มีจำนวนนิวตรอนในนิวเคลียสต่างกัน ไอโซโทปคือรูปลักษณะต่าง ๆ ของธาตุ ซึ่งนิวเคลียสของมันมีจำนวนนิวตรอนต่างกัน

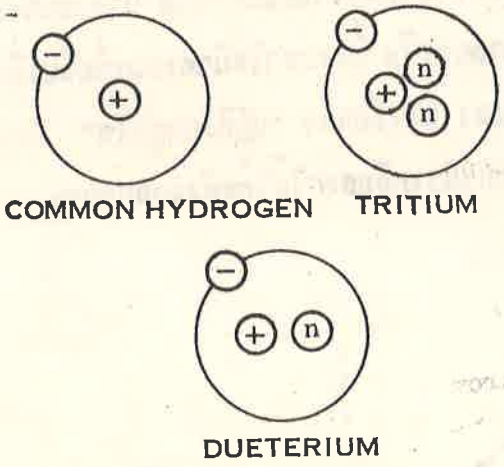
- อะตอม ๒ ตัว มีอิเลคตรอนเหมือนกัน แต่นิวเคลียสต่างกันเรียกว่าเป็นไอโซโทปของธาตุเดียวกัน

- เราทราบว่าจำนวนและการจัดเรียงอะตอมของธาตุเป็นการกำหนดคุณสมบัติของธาตุ

- ไอโซโทปต่างชนิดกันของธาตุหนึ่ง ๆ ส่วนมากไม่ได้กำหนดชื่อไว้โดยเฉพาะ แต่กำหนดให้แตกต่างกันโดยใช้ตัวเลขซึ่งเป็นผลบวกของโปรตรอนและนิวตรอน (ยกเว้นธาตุบางชนิดที่ไอโซโทปของมันมีชื่อโดยเฉพาะ)

ตัวอย่างเช่น อะตอมของยูเรเนียม $_{92}U^{234}$ และ $_{92}U^{238}$ ต่างกันหรือเป็น Isotope ต่าง ๆ ของธาตุยูเรเนียมเดียวกัน

ธาตุ ไฮโดรเยน มี ๓ ไอโซเทป ดังแสดงในรูป



" ไอโซโทปของไฮโดรเจน "

สัญญลักษณ์ (Symbols)

นักเคมีได้คิดการเขียนสัญญลักษณ์แทนธาตุต่าง ๆ แทนที่จะเขียนชื่อเต็มของธาตุ

สัญญลักษณ์ ของไฮโดรเยน เขียนย่อว่า H

" " " ฮีเรียม " " He

∴ 3 Isotopes ของไฮโดรเจน เขียนดังนี้

ขนาดวิกฤต (Critical size)

ปฏิกิริยาลูกโซ่จะไม่เกิดขึ้นเสมอไปแม้ว่าจะเป็นไดโซโทปชนิดที่แตกตัวได้ จนกว่าจะอยู่ในสภาพสมบูรณ์ตามเกณฑ์ที่กำหนดเงื่อนไขอันหนึ่งก็คือสารที่ใช้ต้องมีขนาดใหญ่กว่าเกณฑ์ที่น้อยที่สุดอันหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า "ขนาดวิกฤต" ถ้าขนาดของสารเล็กกว่าขนาดวิกฤต นิวตรอนที่ปล่อยออกมาจะหลุดออกจากมวลสารนั้นก่อนที่จะไปหาและแยกนิวเคลียสอันอื่น ถ้าเป็นลักษณะนี้ปฏิกิริยาลูกโซ่จะไม่เกิดขึ้น

ดังนั้นวัตถุระเบิดปรมาณูจึงต่างกับวัตถุระเบิดธรรมดา (เช่น ที เอ็น ที) ตรงที่วัตถุระเบิดธรรมดา แม้ว่าจะมีขนาดเล็กก็ให้อำนาจการระเบิดเพียงเล็กน้อย และขนาดใหญ่ให้การระเบิดมาก แต่วัตถุระเบิดชนิดแตกตัวได้ ถ้ามีขนาดเล็กกว่าขนาดวิกฤตแล้ว ไม่สามารถทำให้เกิดการระเบิดได้

Fusion เป็นปฏิกิริยาหลอมตัวทางนิวเคลียสที่ทำให้เกิดพลังงานมหาศาล โดยการหลอมตัวของนิวเคลียสของธาตุเบา ๒ ชนิด เข้าด้วยกันด้วยอุณหภูมิสูงมากจะทำให้เกิดนิวเคลียสใหม่ ปฏิกิริยาเช่นนี้ทำให้มวลสูญหายกลายเป็นพลังงาน เป็นหลักของ Thermo neuclear weapon

มวลวิกฤต (Critical mass)

มวลวิกฤต คือมวลของวัตถุที่สามารถแตกตัวได้แบ่งออกเป็น ๓ สภาพคือ

๑. Sub critical mass ไม่ทำให้เกิด Chain reaction

๒. Critical mass ทำให้เกิด Chain reaction

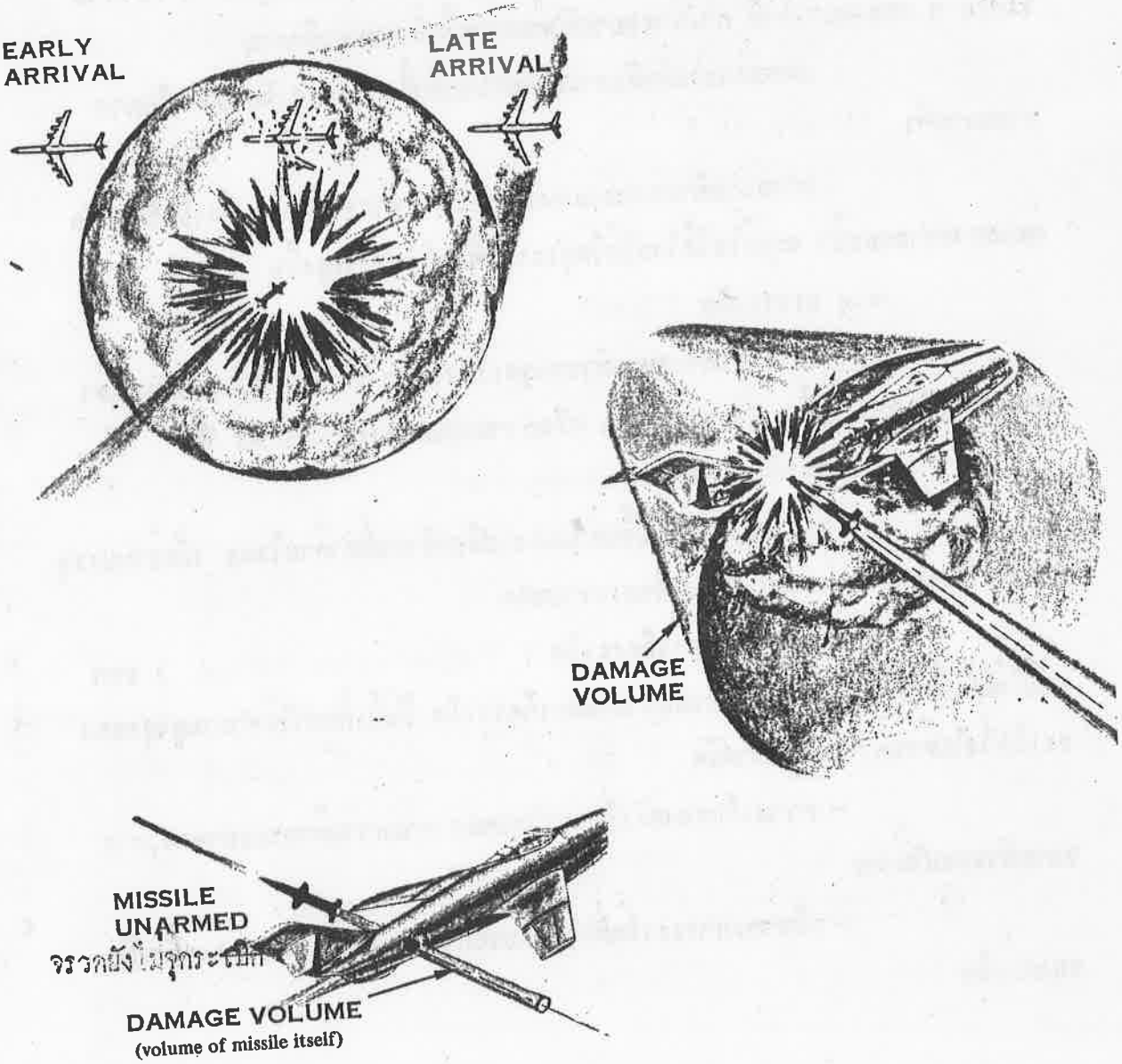
๓. Super cutical mass เพิ่ม Chain reaction

ส่วนบรรจุ (Payload)

ส่วนบรรจุ คือส่วนแรกของหัวรบเป็นวัตถุทำลายหรือวัตถุที่บรรจุไว้เพื่อจุดมุ่งหมายอื่น ๆ ส่วนบรรจุที่เป็นวัตถุเพื่อจุดประสงค์ในการทำลายได้แก่ วัตถุระเบิดเคมี (Chemical Explosive), วัตถุระเบิดปรมาณู หรือวัตถุระเบิดนิวเคลียส (Nuclear Explosive) ส่วนบรรจุที่ใช้ในวัตถุประสงค์อื่น ๆ เช่น ดาวเทียมที่ส่งไปโคจรรอบโลก โดยบรรจุเข้าไปในหัวรบแล้วส่งออกไปในวงโคจร ทางการทหารได้แก่ ระเบิดเพลิง ไบปลิว แฟร (flare)

๑. ส่วนบอกค่าความเสียหายที่เกิดจากส่วนบรรจุมีอยู่ ๗ อย่าง คือ

- ปริมาตรการทำลาย (Damage Volume)
- การสลายตัว (Attenuation)



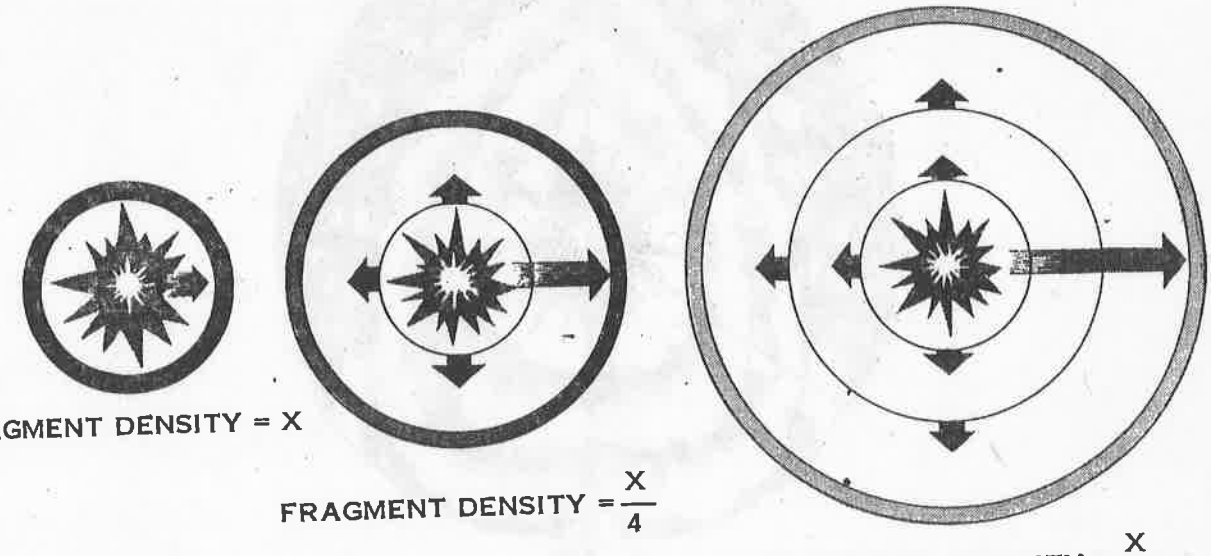
ปริมาตรการทำลาย (ปริมาตรเท่ากับตัวจรวด)

๑.๒ การสลายตัว (Attenuation)

การสลายตัว คือการลดพลังงาน ของอำนาจการทำลายลง นับจากจุดต้นกำเนิดพลัง ซึ่งเริ่มแพร่พลังออก และลดลงตามระยะทางที่กระจายตัวออก

แรงกระแทกและสะเก็ดระเบิดจะกระจายจากจุดเริ่มระเบิด แล้วอำนาจการทำลายลดลงต่อหน่วยพื้นที่ที่เกิดขึ้น

- ความแน่นอากาศ
- ความดันของน้ำ
- อุณหภูมิ
- อื่น ๆ



attenuation of blast payload and fragmentation payload at similar times

<u>ความหนาแน่นของสะเก็ดระเบิด</u> (Fragmentdensity)

– ความหนาแน่นของสะเก็ดระเบิดเป็นข้อพิจารณาที่สำคัญของผลการทำลาย

– Isotropicfragmentation warhead หัวรบสะเก็ดระเบิดกระจายรอบทิศสร้างเปลือกกระสุนให้กระจายสะเก็ดออกเป็นรูปทรงกลม สะเก็ดระเบิดเป็นลิ้นเล็ก ๆ มีความหนาเท่ากัน

ความหนาแน่นของสะเก็ดระเบิด $\propto \frac{1}{d^2}$ (d = ระยะทาง)

– หัวรบระเบิดกับหัวรบสะเก็ดระเบิดเมื่อเปรียบเทียบกันแล้ว หัวรบสะเก็ดระเบิดหวังผลการทำลายมากกว่าหัวรบสะเก็ดระเบิดหวังผลการทำลายมากกว่าหัวรบระเบิด

๑.๕ การแพร่กระจาย (Propagation)

การแพร่กระจายคือลักษณะของพลังงานและวัตถุที่กระจายออก เมื่อหัวรบระเบิด พลังงานและวัตถุกระจายออกผ่านมัชฌิม รวมถึงความเร็ว ทิศทางช่วงเวลาฯลฯ ของพลังงานและวัตถุที่กระจายออกด้วย

การแพร่กระจายมี ๒ ชนิด คือ

– การกระจายรอบทิศ (Isotropic payload)

– การแพร่กระจายพุ่งไปข้างหน้า (Nonisotropic payload)

Iso payload $P \propto \frac{1}{4/3 \pi r^3}$

$$P \propto \frac{1}{4/3 \pi r^3}$$

$$R = R \sqrt[3]{\frac{W}{W}}$$

ถ้าความดันของวัตถุระเบิด W_1 ปอนด์ $= P_1$ lb/m^2 ที่ระยะทาง R_1

วัตถุระเบิดหนัก W_2 lbs ความดัน P_2 lb/m^2 ระยะทาง R_2

๑.๖ ค่าของหัวรบ (Warhead again)

– ค่าของหัวรบเป็นเครื่องพิจารณาเปรียบเทียบค่าอาการกระจาย ระหว่าง non isotrpic warhead เหนือกว่า isotropic warhead เมื่อน้ำหนักส่วนบรรจุเท่ากัน

– Gain คืออัตราส่วนของค่าสูงสุดอาการกระจายกับค่าอาการกระจายรอบทิศ

– ค่าอาการกระจาย เปรียบเทียบจากการทำงานโดย ค่าความดันของวัตถุระเบิดความแน่นของสะเก็ดระเบิด ซึ่งกระจายออก ผลการทำลายต่อเป้าที่กำหนด

๑.๗ แบบของหัวรบ (Warhead patterns)

แบบต่าง ๆ ของหัวรบ เป็นการแบ่งประเภทหัวรบที่ใช้ตามความต้องการต่าง ๆ ในการระเบิดหรือการทำลาย เช่น ต้องการทำลายด้วย พลังงาน–ความแน่น (energy-density), ทำลาย–เอาผล (damage-effect), สะเก็ด–ความแน่น (material - density)

– แบบของหัวรบที่จะใช้อาการกระจายของส่วนบรรจุชนิดสะเก็ดระเบิดจะต้องใช้ส่วนบรรจุแบบใด

– แบบของหัวรบ ที่พิจารณาใช้อาการกระจายของส่วนบรรจุชนิดสะเก็ดระเบิดจะใช้ส่วนบรรจุแบบใด

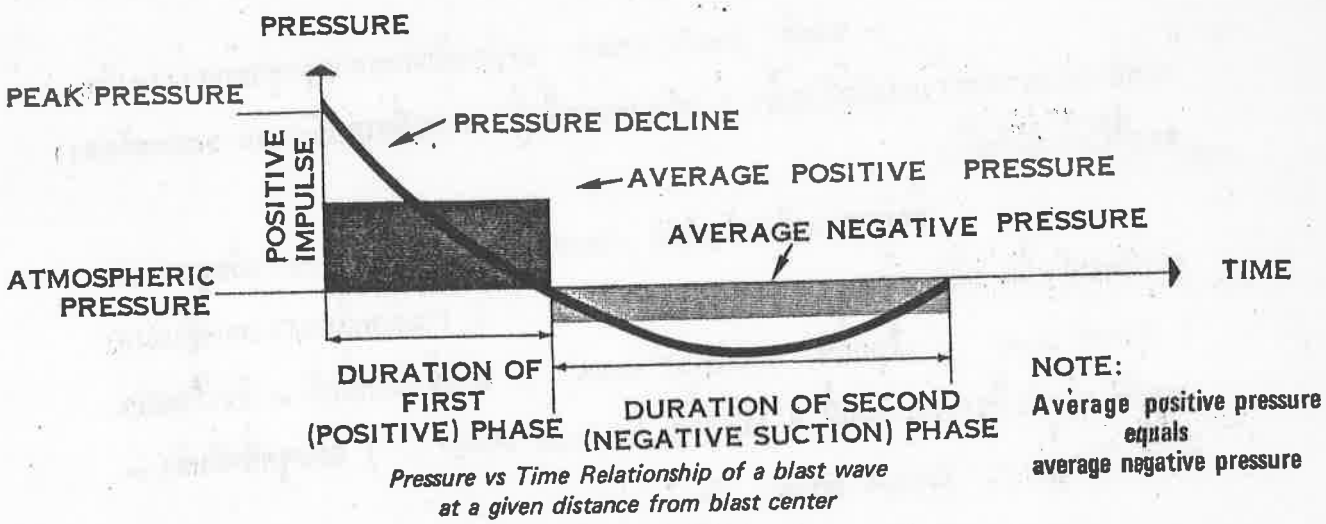
– แบบของหัวรบ อาจใช้ระบบกันได้ เช่น หัวรบประจำที่ หัวรบยิงผ่านอากาศหรือผ่านอากาศด้วยความเร็ว Supersonic, หรือหัวรบยิงผ่านจากใต้น้ำ ความเร็วต่อ

– แบบของหัวรบ ช่วยในการพิจารณาพื้นที่บริเวณที่มีเป้า เพื่อกำหนดให้ขนวนจุดระเบิดส่วนบรรจุเวลากำหนดที่ดีที่สุด

– คลื่นเสียง เกิดจากอากาศอัดตัวกับคลื่นกระแทกวิ่งผ่านอากาศล้อมรอบผ่านมัชฌิม

– คลื่นกระแทก (Shock wave) รวมอัดตัวแน่นเป็นแนวปะทะที่เรียกว่า Shock Front ซึ่งมีความแน่นไม่สม่ำเสมอ

– ความดันที่ Shock Front จะเพิ่มสูงในอย่างรวดเร็วจนถึงความดันสูงสุด (peak pressure) แล้วลดลงถึงความดันบรรยากาศ



Pressure vs Time Relationship of a blast wave at a given distance from blast center

ขั้นตอนนี้เป็น Positive Phase หรือ Pressure Phase ของคลื่นกระแทก

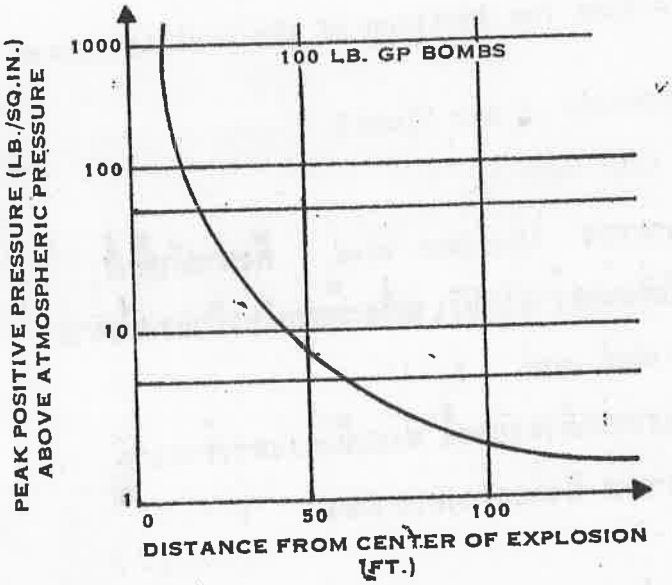
– ความดันลดลงต่อไปอีกจนต่ำกว่าความดันบรรยากาศ แล้วกลับสู่ความดันปกติ เฟสที่ ๒ นี้เรียกว่า Negative Phase หรือ Suction Phase Negatiue Phase ของคลื่นกระแทกเป็นผลที่เกิดจากอากาศและอากาศธาตุที่ขยายตัวออก ตามหลัง Shock Front เกิดลมแรง ขณะที่ความดันที่จุดศูนย์กลางการระเบิดลงลง อากาศและอากาศธาตุลดความเร็วลงอย่างรวดเร็ว อากาศบางตัวลงแล้ว positive phase

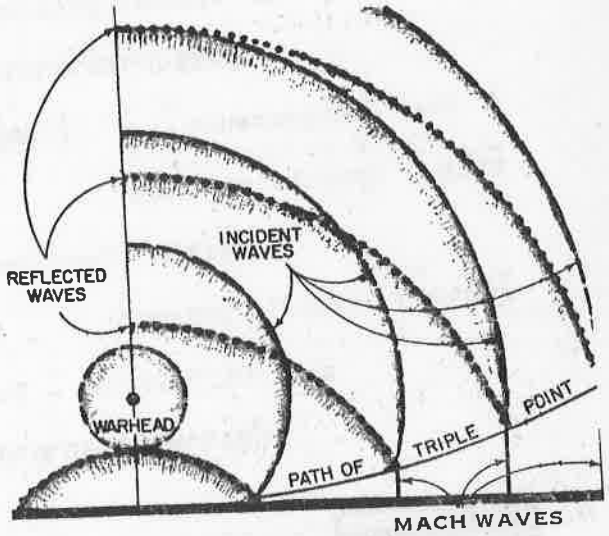
– เมื่อ Negative phase ผ่านไป ลมจะพัดกลับทิศโดยพัดตรงกลับเข้าหาจุดเริ่มต้นการระเบิด จนกระทั่งความเร็วลมลดลงขณะที่ความดันลดลงถึงเกณฑ์ปกติ

๓.๑ คลื่นกระแทก (Shock wave)

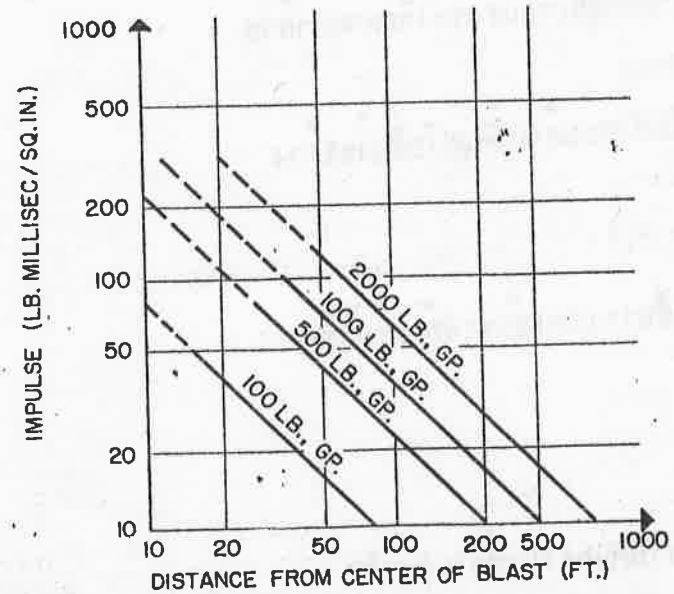
– คุณลักษณะทางฟิสิคส์ ของ Shock wave วัดได้จาก peak over pressure และแรงกระแทก (impulse) ใน positive phase ตามระยะต่าง ๆ นับจากจุดระเบิด

จุดเริ่มต้นของ Triple point และทางเดินของจุดขึ้นกับ ขนาด
ของวัตถุระเบิดสูงของการจุดระเบิดเหนือพื้น
ที่จุด Triple point, incident wave รวมกำลังโดย
reflected wave
Peak pressure และแรงกระแทก impulse ทั้งสองจะมีค่าสูงสุด

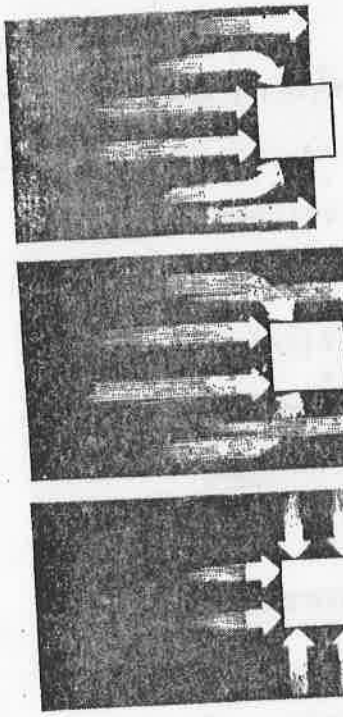




formation of mach wave and triple point



impulse vs distance from center of blast (tnt loading)
tnt loaded general purpose bombs



ความดันเลี้ยวมากระทำตามด้านหน้าตึก

ความดันกระทำรอบด้านหน้าและหลัง คลื่นระเบิดอ้อมมากระทำด้านหลัง

ความดันกระทำเท่ากันทุกด้าน

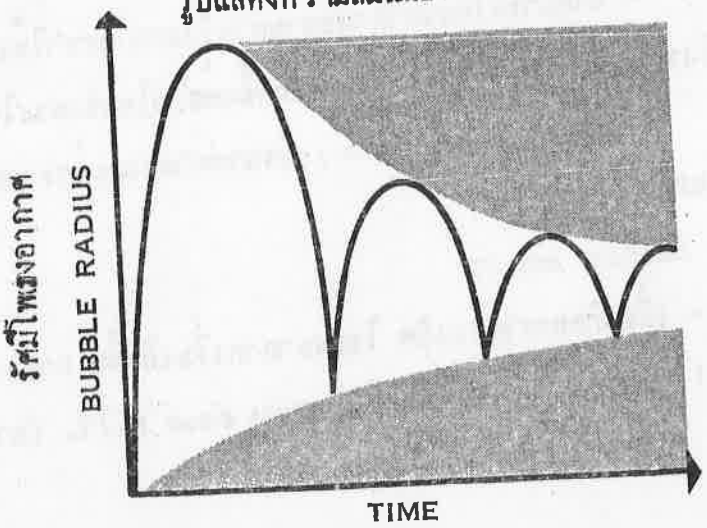
Diffraction Loading of a Structure by Blast

๕. <u>การระเบิดใต้น้ำ</u> (Underwater Blast)

๕.๑ รูปแบบและลักษณะโพรงอากาศ (Gas buble formation and characteristic)

การระเบิดใต้น้ำ อากาศธาตุความดันสูง จะดันน้ำให้ขยายออกทางรัศมี ขนะแรงกดของน้ำ ทำให้เกิดโพรงอากาศ ความร้อนทำให้น้ำกลายเป็นไอ ทำให้เพิ่มโพรงอากาศขยายโตขึ้น พลังงานที่เกิดจากแรงระเบิดดันน้ำให้ขยายตัวจนเต็มที่ แล้วน้ำจะอัดตัวกระแทกกลับ อัดอากาศและขยายตัวต่อไป แล้วอัดตัวกระแทกกลับอีก เกิดเป็นวัฏจักร์ (Cycle) ซ้ำกัน ดูรูป

รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีโพรงอากาศกับเวลา



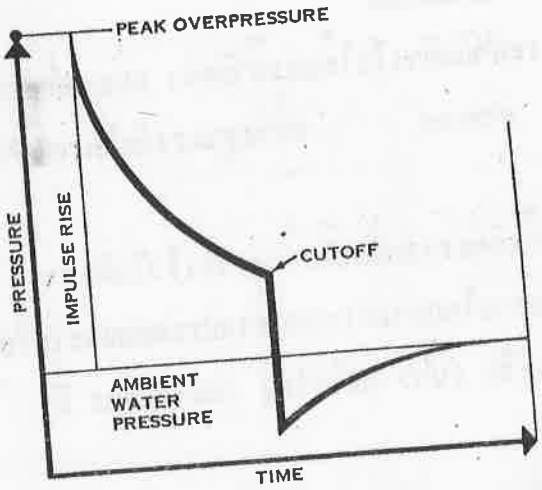
– บริเวณด้านบนการระเบิด Shock wave จะแผ่กระจายออกด้วยความเร็ว ปะทะกับของแข็ง ส่วนที่จมอยู่ในน้ำ เช่น ท้องเรือจะเกิดการสะท้อนกลับเหมือนการระเบิดในอากาศ incident และ reflected waves รวมเป็น fuze (mach wave) ทำให้เกิด shock front เป็นการเพิ่มกำลังดันให้สูงขึ้น

– บริเวณด้านล่างการระเบิด คลื่นกระแทกของน้ำ (Water shock wave) กระทบพื้นท้องทะเล เกิดการสะท้อนดังกล่าว

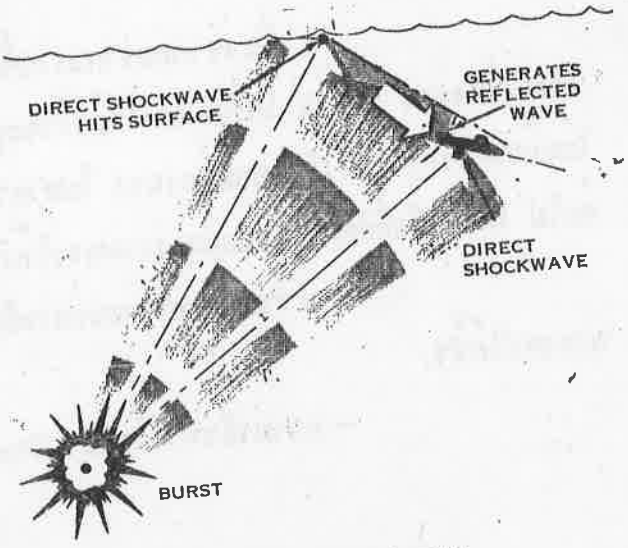
– เมื่อคลื่นกระแทกของน้ำ (Water shock wave) ถึงผิวพื้นน้ำจะสะท้อนกลับ

– ผิวน้ำระหว่างน้ำกับอากาศ Shock wave ที่เคลื่อนตัวปะทะผิวที่มีค่าต้านทานน้อย คืออากาศ ทำให้ผิวยกสูงขึ้นรวดเร็ว ทำให้เกิดคลื่นแรงดูด (Suction wave)

– ที่จุด ๓ หนึ่งใต้ผิวน้ำ จุดรวม reflected suction wave กับ direct incident wave ทำให้เกิดจุดลด Shock pressure จุดนี้คือ "Surface cutoff"



pressure vs time for underwater explosion



direct and reflected waves reaching an underwater target

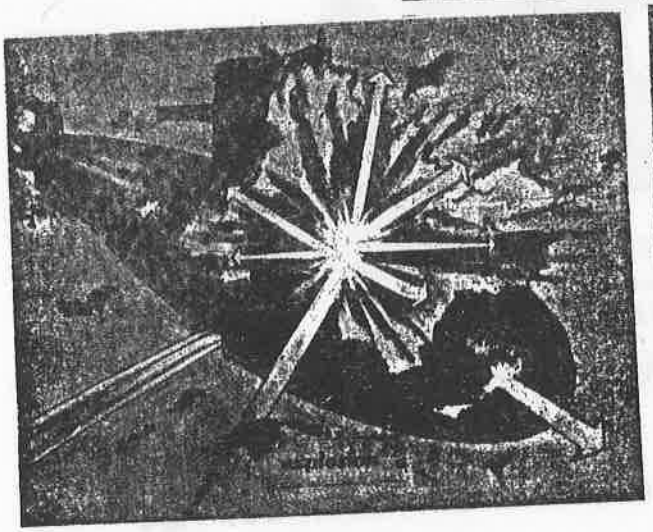
- impulse ขึ้นกับระยะเวลาของคลื่นกระแทก (Shock wave) เช่นเดียวกันความดัน

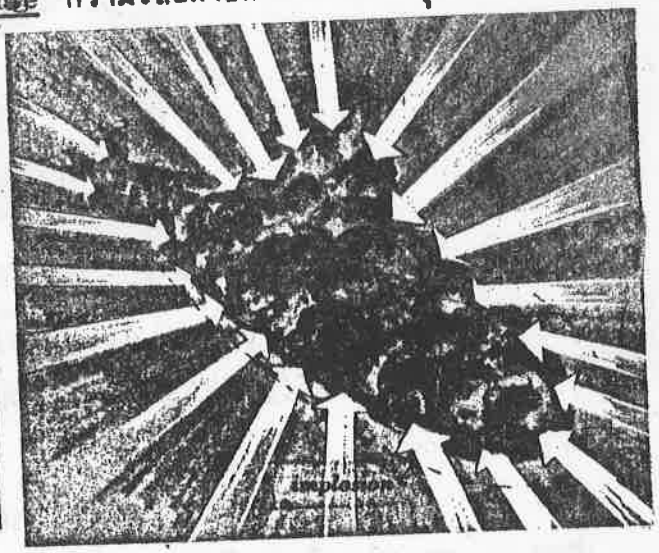
Explosive and Implosive Damage

ผลการเสียหายที่เกิดจากการระเบิดภายในและภายนอก

Explosive damage ความเสียหายที่เกิดจากการระเบิดภายใน โดยบังคับหัวระเบิดเข้าไปในโครงสร้างแล้วจุดระเบิด

Implosive damage ความเสียหายที่เกิดจากการจุดระเบิดภายนอก





หลักการของหัวรบสังหาร (Fundamentals of fragmentation warheads)

- เมื่อวัตถุระเบิดแรงสูงระเบิดภายในภาชนะบรรจุ (container) ภาชนะจะแตกตัวเป็นสะเก็ดระเบิด กระจายออกด้วยความเร็วสูง สะเก็ดนั้นเปรียบเสมือนกับกระสุนจำนวนมากที่ไปทำความเสียหายกับเป้า ค่าความเสียหายที่เกิดความเสียหายนั้นขึ้นกับขนาด ความเร็ว และการกระจายของสะเก็ดระเบิด

- การลอกแบบหัวรบมีความจำเป็นต้องพิจารณาการแพร่กระจายของสะเก็ดระเบิด

- ขีปนะวิธีตอนปลาย เป็นการศึกษาถึงการหาญ หรือสภาวะต่าง ๆ ความเร็ว และการกระจายของสะเก็ดระเบิด รวมทั้งขนาดและรูปร่างของสะเก็ดด้วย และนอกจากนั้นยังศึกษาเกี่ยวกับ ผลการระเบิดของภาชนะบรรจุแบบต่าง ๆ ลักษณะการเสียหายที่เกิดขึ้นจากการระเบิดของดินระเบิดแบบหัวรบสังหาร

- ประโยชน์ของหัวรบสังหาร ตามหลักการแล้วใช้ทำลายเป้าอากาศเป็นหลักและสังหารองค์บุคคล, ต่อต้านทำลายเครื่องสรรพาวุธ ยุทโธปกรณ์ขนาดเบา

(๒) คุณลักษณะของวัตถุระเบิดที่บรรจุ คือแรงกระโชก และกำลังการระเบิด สมมติว่าดินระเบิดบรรจุในภาชนะรูปทรงกระบอกมีความหนาเฉลี่ยเท่ากับความเร็วต้นของสะเก็ด อาจใช้ค่าของสมการเกอร์นี่ (Gurney equation)

$$Vo = \sqrt{2E}\sqrt{\frac{C/M}{1 + C/2M}}$$

เมื่อ Vo = ความเร็วต้นของสะเก็ด (ฟ/ว)

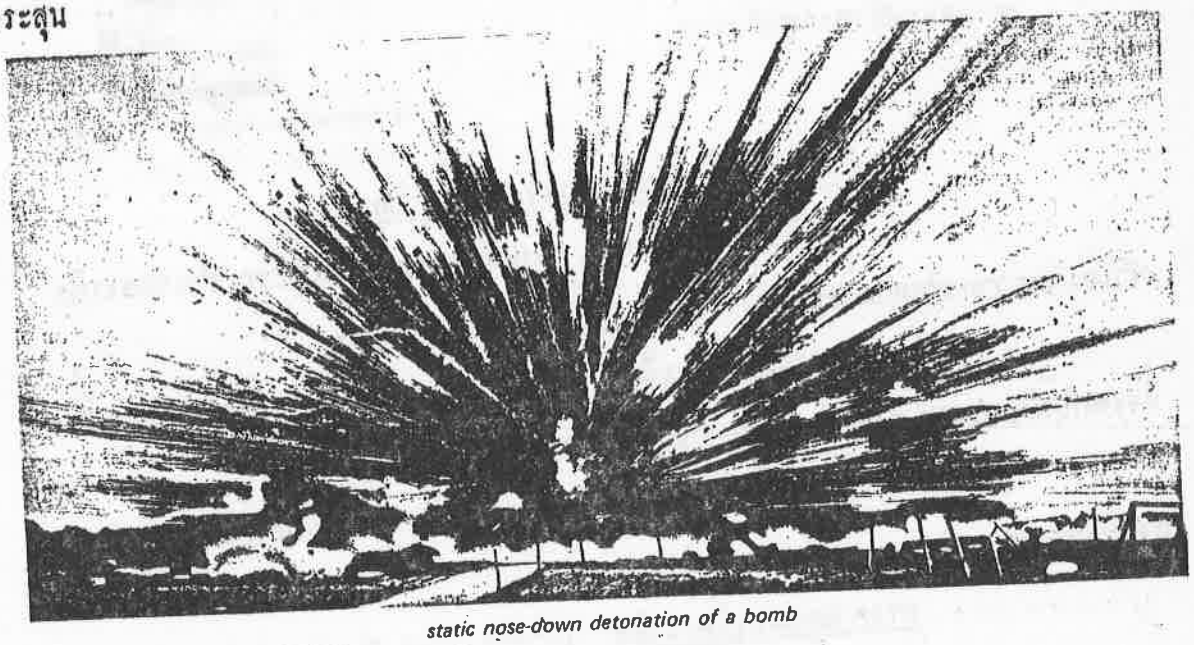
$\sqrt{2E}$ = ค่าคงที่ของพลังงานวัตถุระเบิดของเกอร์นี่ (ฟ/ว)

C = น้ำหนักดินระเบิด (กรัม)

M = น้ำหนักโลหะ (กรัม)

<u>วิถีโคจรสะเก็ดระเบิด</u> (Fragment flight)

สะเก็ดระเบิดตามปกติจะกระจายออกในทิศทางตั้งฉากกับผิวของเปลือกระสุน

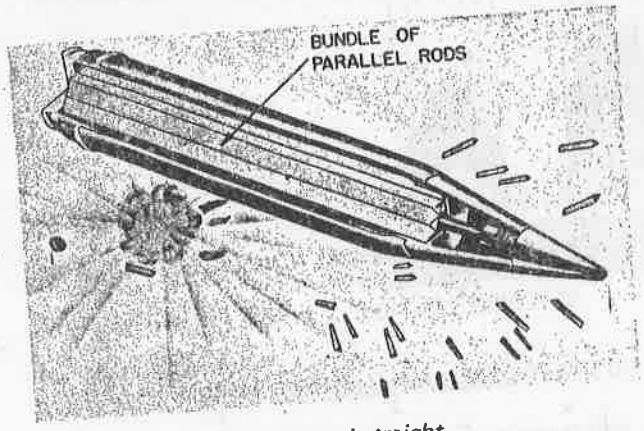


static nose-down detonation of a bomb

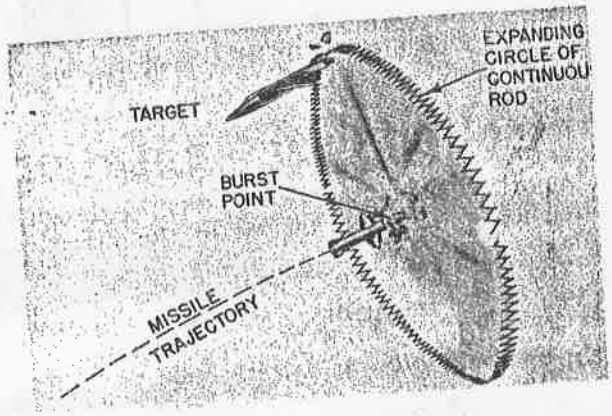
การระเบิดของลูกระเบิดขนาดใหญ่ ในรูปจะเห็นว่าประมาณ ๗ ฟุต จากพื้น จะเห็นทางวิ่งของสะเก็ด มีแสงช่วงโชติโดยความร้อนของสะเก็ด

- บริเวณที่เป็นสีดำคือส่วนของดินระเบิดที่ไม่ติดไฟ รูปกรวยระเบิดกระจายออก ๔๕° และเริ่มกระจายจากส่วนท้ายของเปลือกลูกระเบิดรูปทรงกระบอก
- สะเก็ดส่วนใหญ่จะกระจายขนานไปกับพื้นดิน ซึ่งเป็นการกระจายทางตั้งของลูกระเบิด
- การระเบิดอากาศของลูกระเบิดหรือกระสุน การกระจายทางหัวจะพุ่งไปข้างหน้าเล็กน้อย เนื่องจากความเร็วทางรัศมีของสะเก็ดและความเร็วทางหน้าของลูกระเบิดหรือกระสุน

– ความเร็วสะเก็ด ความเร็วต้นของสะเก็ดขึ้นกับ นน.วัตถุระเบิด โดยตรง โดยการควบคุมจำนวน ขนาด และรูปร่างของสะเก็ด ทำให้ได้ผลดีในการกระจาย ทำได้โดยเชาะร่องเท่า ๆ กัน โดยการบวกหรือทำเป็นเกลียวที่เปลือกหัวรบเพื่อควบคุมขนาด และน้ำหนักตามต้องการ



unconnected straight rod warhead



expansion of continuous rod warhead

– Continuous rod warhead ใช้กับหัวรบ สอ. หัวรบแบบนี้ใช้พลังงานขยายด้านโลหะคลื่อออกในทางรัศมี ทำให้มีความยาวและขยายรัศมีเพิ่มให้กว้างขึ้น

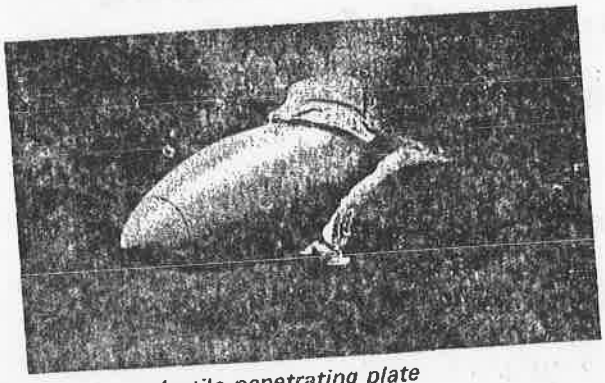
– Continuous rod warhead เป็นแบบ nonisotropic

– ความแน่นของโลหะ และผลการทำลายลดลงเป็นอัตราส่วนกลับกับระยะจากจุดระเบิด

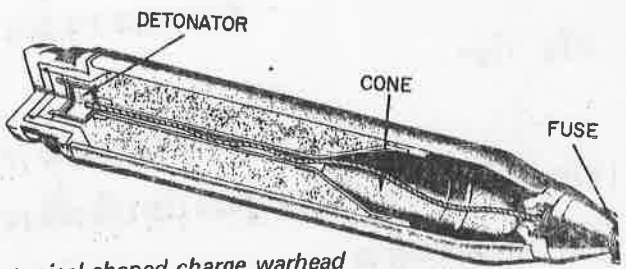
<u>หลักการของหัวรบเชปชาร์ท</u> (Fundamentals of shaped charge warheads)

– หัวรบเชปชาร์ทออกแบบ เพื่อเจาะเกราะ ต่างจากหัวรบเจาะ–เกราะในหลักการทำลาย

– หัวรบแบบเจาะเกราะ (Armor - piercing warheads) ออกแบบให้หัวรบพุ่งเข้าชนทะลุไปในเป้า แล้วใช้ดินระเบิดทำลายดังแสดงในรูป



projectile penetrating plate



typical shaped charge warhead

๒. <u>แบบกัมมันตภาพ</u> (Radiation)

บรรจุวัตถุแพร่รังสี วัตถุกัมมันตภาพรังสี

๓. <u>แบบส่องสว่าง</u> (Illuminating)

บรรจุ พลุส่องสว่าง ใช้ส่องสว่างเป้า มีในกระสุนปืน, จรวด, ลูกระเบิด

๔. <u>แบบชีวะวิทยา (เชื้อโรค) และเคมี</u> (Biological and Chemical)

หัวรบเชื้อโรค ใช้แบคทีเรีย หรือเชื้อโรคบรรจุ เพื่อจุดมุ่งหมายให้เกิดการเจ็บป่วยหรือตาย เป็นยุทธศาสตร์ชั้นสูงที่สำคัญ เพราะสามารถทำลายชีวิต โดยไม่ทำลายสิ่งก่อสร้าง หรือวัตถุใด ๆ

๕. <u>แบบจิตวิทยา</u> (Psychological)

- บรรจุในใบปลิวโฆษณาชวนเชื่อ สิ่งทำลายขวัญ ตัวอย่างเช่น หัวซ้อมยิง หรือหัวฝึกหัด

- หัวรบแบบนี้รวมถึงหัวรบแบบลวง เช่น window ที่ทำให้รบกวนเรดาร์ และ noise maker ทำการรบกวนเจ้าหน้าที่โซนาร์

<u>ชนวน</u> (FUZES)

ชนวนคือส่วนประกอบของหัวรบที่ทำหน้าที่เริ่มจุดระเบิดส่วนบรรจุ ชนวนทำหน้าที่ขณะหัวรบโคจรไปยังเป้า หรือทำลายเมื่อชนเป้า จะต้องมีเครื่องกระตุ้นให้ชนวนเริ่มทำงาน ชนวนเป็นส่วนประกอบส่วนหนึ่งของระบบอาวุธที่สมบูรณ์ ถ้าส่วนใดไม่ทำงาน ระบบอาวุธจะไม่สามารถทำลายเป้าได้

/คุณสมบัติขั้นต้นในการออกแบบชนวน /

๑. การออกแบบสร้างง่าย

๒. รูปร่างเรียวทำให้ขีปนะวิธีดี

๓. ราคาถูก

๔. มีลักษณะที่ง่ายต่อการจัดเก็บ และลำเลียง

๕. ง่ายต่อการบรรจุหรือประกอบ

๖. ปลอดภัยในการลำเลียงและการใช้

๗. ไม่เสื่อมง่ายต่อการจัดเก็บ

๘. คงทนต่อแรงที่มากระทำ เช่นแรงที่เกิดจากการยิง ทิ้ง ปล่อย

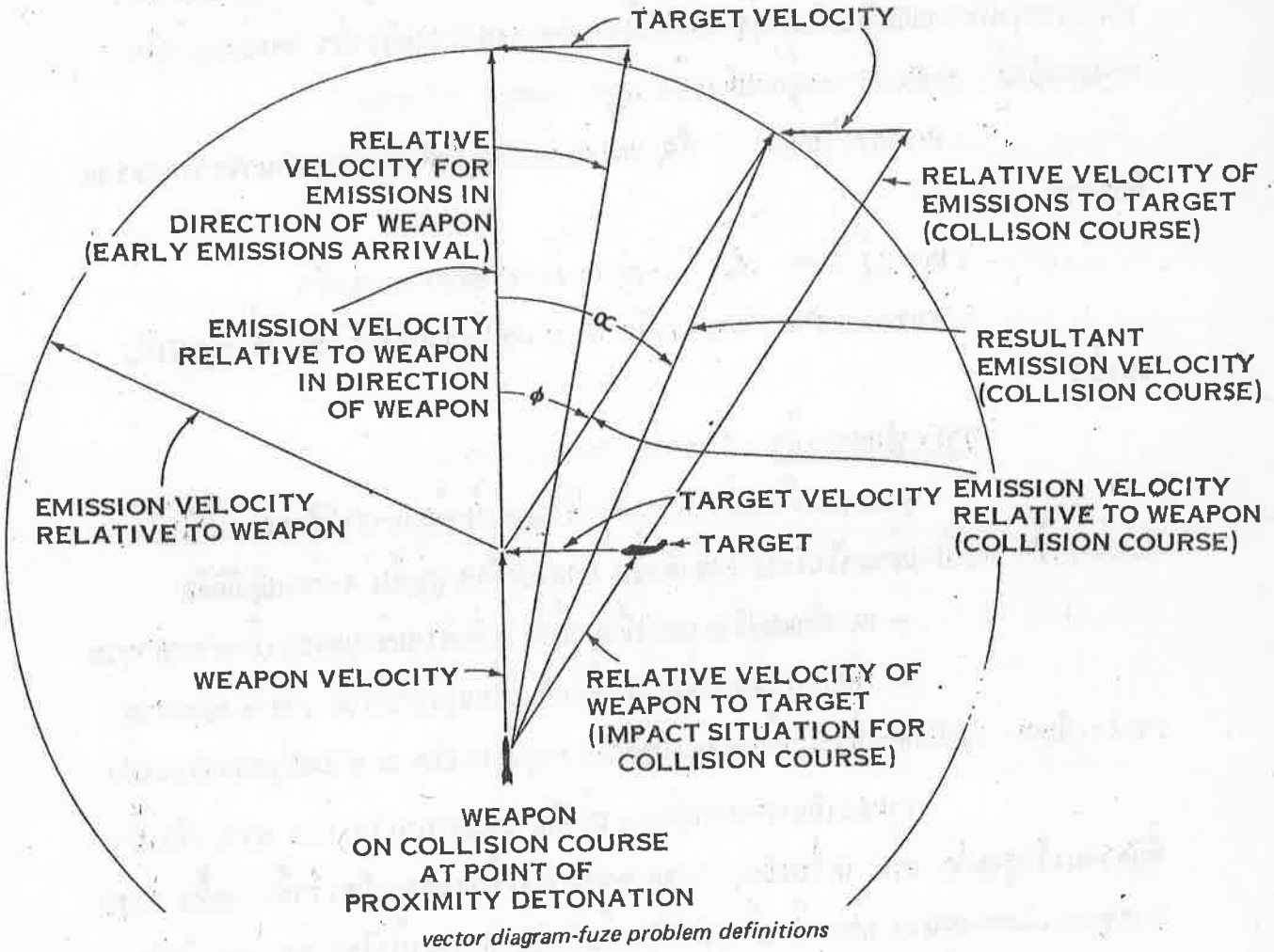
๙. ทำงานแน่นอน

– เวคเตอร์ค่าการทำลายสูงสุด (Lethal radius vector of maximum damage) ทางรัศมี และเวลาการจุดระเบิดที่ดีที่สุด (Optimum Time of burst) เป็นฟังชั่นของวิถีโคจรจรวด และจะเปลี่ยนแปลงไปตามแบบของเป้า

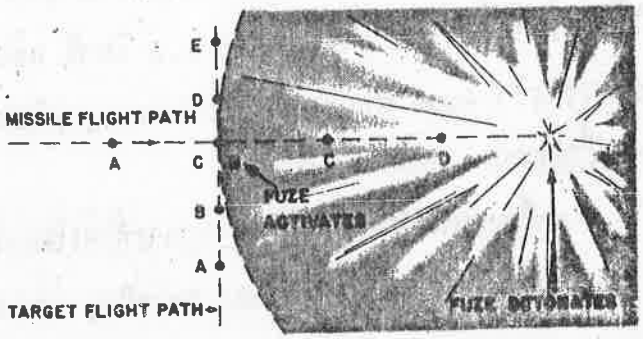
– ชนวนที่ดี จะต้องมีจุดเริ่มการระเบิดที่ดีที่สุด ไม่ใช่เลือกวิถีโคจรที่ดีที่สุด

– ชนวนจะเริ่มจุดระเบิดหัวรบที่ตำบลที่ ๆ ดีที่สุด และขยายผลการทำลายให้ไพลคลอบคลุมเป้าได้มาก

– ชนวนต้องไม่จุดระเบิดเมื่อเป้าอยู่ภายนอกเขตทำลาย (ดูรูป)



vector diagram-fuze problem definitions



กลไก Ambient อาทิเช่น Cosmic ray distribution และ barometric or hydrostatic pressure distribution

๑. <u>ชนวนเวลา</u> (Time fuze)

ชนวนเวลาจุดระเบิดส่วนบรรจุตามเวลาที่ตั้งไว้ โดยใช้เครื่องเวลาบางชนิดเป็นอุปกรณ์ในการจุดระเบิด เครื่องประกอบนี้เป็นกลไกนาฬิกา ทำงานโดยสัญญาณจากการควบคุมการยิง หรือระบบนำวิถี ซึ่งแสดงเวลาโคจรของอาวุธที่โคจรถึงตำบลที่เป้า ในกรณีต่าง ๆ เวลาโคจรจะตั้งล่วงหน้าไว้ กลไกเวลานาฬิกาจะจุดระเบิดส่วนบรรจุในขณะที่คาดว่าเป้าจะต้องถูกทำลาย ค่าเวลาจะต้องตั้งไว้ก่อน เครื่องกลไกนาฬิกาหรือชนวนฝักแคเวลาจะเริ่มเดินเวลาจนถึงเวลาที่ตั้งไว้ แล้วจุดระเบิดทันที ชนวนนี้เรียกว่า ชนวนเวลา และแบ่งเป็น ๒ ประเภท คือ

๑.๑ ชนวนกลไกเวลา (Mechanical Time Fuze)

ชนวนกลไกเวลาประกอบด้วย

- หมู่เฟือง (gear train)
- คุมขับเคลื่อนลานนาฬิกา (escapement mechanism driven by weight) คุมขับเคลื่อนจะหมุนออกนอกจุดศูนย์กลาง ลานจะเริ่มเดินทันทีที่อาวุธถูกยิง เมื่อถึงเวลาที่ตั้งไว้เข็มยิงจะจุดระเบิดส่วนบรรจุทันที

๑.๒ ชนวนเวลาฝักแค (Powder train Time Fuze)

ชนวนเวลาฝักแค เครื่องเวลาประกอบด้วยเส้นดินดำอัด การไหม้ของดินดำ หาค่าเวลาแห่งการไหม้ได้ทุกจุด จึงใช้เวลาแห่งการไหม้ดินดำนี้ ทำเป็นเครื่องจุดระเบิดส่วนบรรจุตามเวลาที่ตั้งไว้ตามต้องการ

๒. <u>ชนวนกระทบแตก</u> (Impact Fuzes)

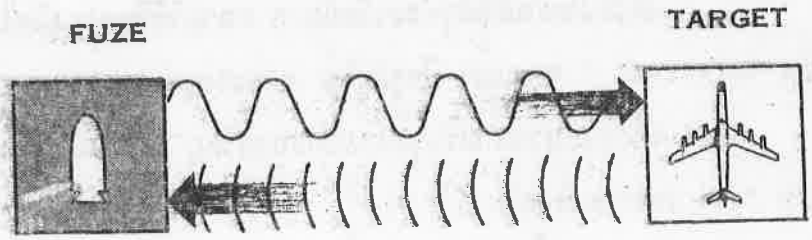
ชนวนกระทบแตกจุดระเบิดส่วนบรรจุเมื่อกระทบเป้า การจุดระเบิดสามารถให้ระเบิดภายนอกหรือภายในเป้า ขึ้นอยู่กับการออกแบบชนวน ชนวนกระทบแตกมี ๒ แบบ

๒.๑ กระทบแตกไว (Super Quick) ต้องการจุดระเบิดทันทีเมื่อกระทบเป้า เป็นการระเบิดภายนอกเป้า

๒.๒ กระทบแตกหน่วงเวลา (Delay) ต้องการเจาะทะลุเป้าภายในเวลาจำกัด จึงจะระเบิดภายในเป้า

ชนวนแบ่งประเภท ตามตำบลที่ติดตั้ง มี ๒ ประเภท คือ

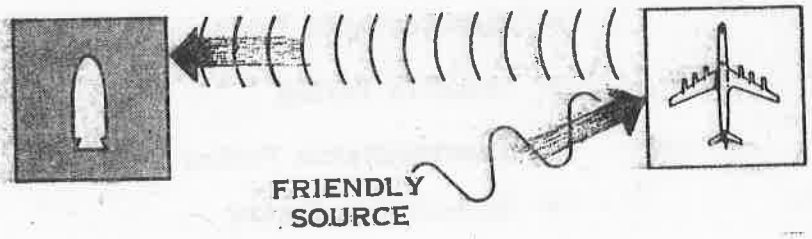
- ชนวนหัว (Point detonator fuze) เป้าบาง
- ชนวนฐาน (Base detonator fuze) เป้าหนาหรือหุ้มเกราะ



๓.๒.๒ Semi – active fuze

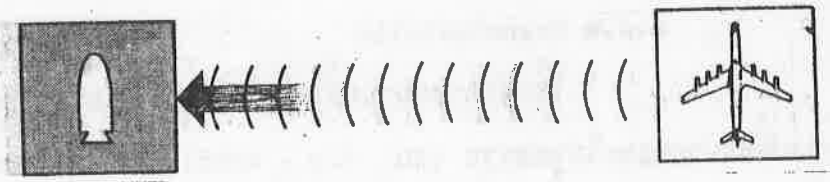
ชนวนรับพลังงานสะท้อนจากเป้า ซึ่งเป้าได้รับจากแหล่งส่ง

ฝ่ายเรา



๓.๒.๓ Passive fuze

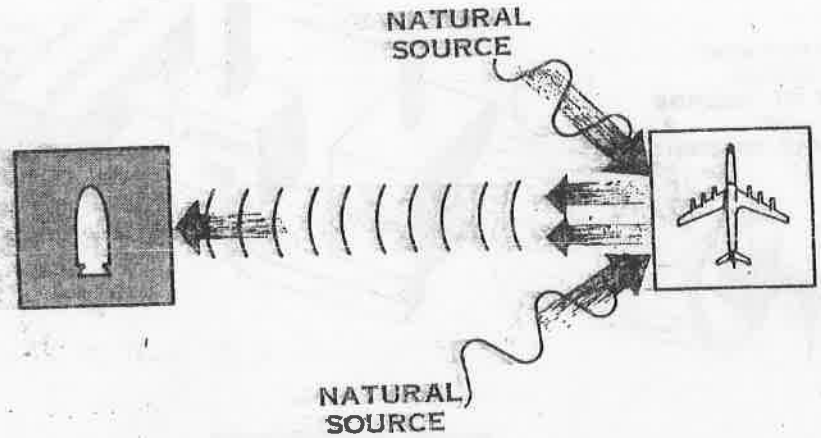
รับพลังงานแพร่ออกจากตัวเป้าเอง



๓.๒.๔ Semi – passive fuze

รับพลังงานสะท้อนจากเป้า ซึ่งเป้าได้รับการแพร่ออกจากแหล่ง

ธรรมชาติภายนอก



Acoustic ใช้หลักการของเสียงที่เกิดขึ้นรบกวน เช่น เสียงใบจักร เสียงเครื่องยนต์ หรือความสั่นของตัวเรือ ความเข้ม หรือความแรงของคลื่นเสียง

๓.๔.๔ Electrostatic fuzing

ชนวนจุดด้วยไฟฟ้าสถิต ใช้ในระยะทางใกล้มาก ชนวนแบบนี้ใช้กับแบบการทำงานของชนวนได้ทุกแบบ active, Semi - active, passive, semi-passive

๓.๔.๕ Hydrostatic fuzing

เรือแล่นไปในน้ำทำให้เกิดแรงกดในอัตราจำกัด และเกิดการเปลี่ยนแรงความดันเรือแล่นในน่านน้ำจำกัด (คลอง, แม่น้ำ และอ่าว) จะมีแรงกดมาก แต่แล่นในทะเลเปิดต้องพิจารณาเรื่องความลึก ความดันเปลี่ยนนี้เรียก

ความดันเป็นฟังชั่นของความเร็ว และระวางขับน้ำ และความลึกของน้ำ

เครื่องป้องกันอันตรายการระเบิดก่อนกำหนดโดยไม่ระเบิด เนื่องจากความกดของตัวเครื่องยิงด้วยความกดดันของน้ำ จะออกแบบป้องกันการจุดระเบิด

๓.๕ ส่วนประกอบชนวนวิทยุแบบ electromanetic มี ๔ ส่วนดังนี้

๓.๕.๑ เครื่องส่ง เครื่องรับ (A transmitter - receiver)

ประกอบด้วยหลอดศูนยากาศขนาดเล็กมาก หรือทรานซิสเตอร์ ซึ่งสามารถส่งกำลังที่ต้องส่งและความไวพอที่จะรับสัญญาณสะท้อนกลับ

๓.๕.๒ วงจรเครื่องขยายกำลัง (Amplifying circuitry)

ขยายสัญญาณสะท้อนกลับมากระตุ้นวงจรไฟยิงและจุดระเบิด เคโทเนเตอร์ วงจรเครื่องรับและ Amplifier circuits กำหนดให้เลือกสัญญาณได้ตามต้องการ

๓.๕.๓ เครื่องป้องกันอันตราย (Electrical safety devics)

เพื่อป้องกันอันตรายจากการระเบิดก่อนกำหนด น้ำเกิดอัตราผิดขึ้นมีเครื่องมือต่าง ๆ ของเครื่องมือนี้ทำลานป้องกันไว้

๓.๕.๔ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Power supply)

ผลิตและจ่ายไฟฟ้าให้ชนวนเพื่อทำงานส่งสัญญาณแบบเรดาร์ นับเวลาจากการออกและวันกลับ ทราบระยะห่างเป้ากับจรวด Range gate circuit ตั้งค่าระยะทางที่กำหนดให้สัญญาณไปจุดระเบิดส่วนบรรจุ