

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์ขาดแคลนและวิถีกระสุนปืนสำหรับนิติวิทยาศาสตร์



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา ๒๕๕๐

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Wound and Bullet trajectory Analysis and Comparison in
Forensic Science**



Mr.Chokchai Kiratiphaisarl

Mr.Kittipong Limwichean

**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Bachelor
of Science**

Department of Applied Physics




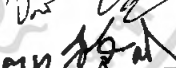


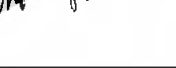
Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ **Academic Year 2007** อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การวิเคราะห์บาดแผลและวิถีกระสุนปืนสำหรับนิติวิทยาศาสตร์
นักศึกษา	นายกิตติพงษ์ ลิ้มวิเชียร นายโชคชัย กิรติไพศาล
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์ – เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.จิติ หนูแก้ว
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	พ.ต.ท.กิริติ แปลกบรรจง พ.ต.ท.ศุภฤกษ์ อภรณ์รัตน์ นางสาวมณฑิมา สายโสภา

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ			ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	รศ.ดร.วิษณุ เพชรภา		
กรรมการ	ดร.ปิติพร ถนอมงาม		
กรรมการ	อ.ทศิตาภรณ์ ทิววงศ์		
กรรมการที่ปรึกษา	รศ.ดร.จิติ หนูแก้ว		
กรรมการที่ปรึกษาร่วม	พ.ต.ท.กิริติ แปลกบรรจง		
กรรมการที่ปรึกษาร่วม	พ.ต.ท.ศุภฤกษ์ อภรณ์รัตน์		
กรรมการที่ปรึกษาร่วม	นางสาวมณฑิมา สายโสภา		



(รองศาสตราจารย์วิชาญ เตชะธีระ)

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรในหน่วยงานเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การวิเคราะห์บาดแผลและวิถีกระสุนปืนสำหรับนิติวิทยาศาสตร์
นักศึกษา	นายกิตติพงษ์ ลิ่มวิเชียร นายโชคชัย กิรติไพศาล
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	ฟิสิกส์-เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2550
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. จิตี หนูแก้ว
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	พ.ต.ท.กิริติ แปลกบรรจง พ.ต.ท.ศุภฤกษ์ อภรณ์รัตน์ นางสาวมัณฑิมา สายโสภา

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเรื่องการวิเคราะห์บาดแผลและวิถีกระสุนปืน โดยในขั้นตอนแรก ได้ทำการสร้างเครื่องมือวัดความเร็วต้นของกระสุนปืนแต่ละชนิด โดยใช้ โฟโดไดโอด 2 ตัว เป็นเซนเซอร์ที่จับความเร็วของกระสุนปืน วางห่างกัน 1 เมตร ซึ่งเมื่อทำการยิงกระสุนผ่านเซนเซอร์ จะทำให้เราทราบค่าเวลา และทำให้เราสามารถคำนวณหาความเร็วได้จากสมการ $v = s/t$ ในขั้นตอนต่อมาเราก็จะนำ 10% เจลลาติน มาทำเป็นบล็อกขนาด $6.25 \times 6.25 \times 16$ นิ้ว ที่อุณหภูมิ 4 องศา ซึ่งเป็นเจลาตินชนิดพิเศษที่ใช้ในการทดสอบการยิง โดยความหนาแน่นของเจลาตินชนิดนี้จะมีค่าใกล้เคียงกับความหนาแน่นของกล้ามเนื้อมนุษย์ ซึ่งเหมาะสำหรับการทดสอบปืนสั้น หลังจากนั้น เราก็จะทำการยิงกระสุนใส่บล็อกที่เตรียมไว้ ในลักษณะต่างๆ และทำการวิเคราะห์วิถีของกระสุนจากบาดแผลที่เกิดขึ้น และยังทำการ Simulation แรงที่ตกกระทบกับเจลาติน เพื่อเปรียบเทียบกับบาดแผลทางเข้าของกระสุนปืนขนาดต่างๆ จากนั้นเก็บเป็นฐานข้อมูลเพื่อใช้สำหรับสถาบันนิติวิทยาศาสตร์ต่อไป

Special Project Title	Wound and Bullet trajectory Analysis and Comparison in Forensic Science
Student	Mr.Kittipong Limwichea Mr.Chokchai Kiratiphaisarl
Department	Applied Physics Faculty of Science
Program	Applied Physics-Science and Industry Instrumentation
Academic Year	2007
Special Project Advisor	Assoc. Prof. Dr. Jiti Nukeaw
Co-Special Project Advisor	Pol.Lt.Col.Keerate Plaekbanjong Pol.Lt.Col.Subphareark Arpomrat Miss.Matchima Saysopa

ABSTRACT

This academic special project has studied the analysis of bullet trajectory and the resulted bullet wound. The bullet velocity of each bullet size is measured by photosensor and the resulted velocity is obtained by the equation of $v = s/t$. The 10 % gelatine at 4°C was prepared in a block of 6.25×6.25×16 inches as wound ballistic tissue stimulant. This kind of gelatine has a stimulant density close to the Human tissue density, which is suitable for pistol gunshot testing. The gunshot experiment was carried out by shooting a bullet into the gelatine block with different distance. The photograph resulted bullet wound and bullet trajectory were collected and the simulation of incident force on gelatine was done in order to compare to bullet inlet wound at different bullet size. All of this experimental database will be utilized in criminal investigation and forensic science.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องมาจากได้รับการสนับสนุน และ คำแนะนำที่ดีจาก รศ.ดร.จิติ หนูแก้ว ผู้ซึ่งให้คำแนะนำปรึกษาทางวิชาการด้วยดีตลอดมา พร้อมทั้ง ปลุกฝังสิ่งดีงามให้นักศึกษาทุกคนอย่างจริงจัง

ขอขอบคุณสถาบันนิติวิทยาศาสตร์และห้องปฏิบัติการวิจัยควอนตัมและสารกึ่งตัวนำทางแสง(QOS Lab) ที่มีเครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพ เพื่อให้นักศึกษาได้ใช้ในโครงการพิเศษ นี้ รวมถึงผู้มีความรู้ในห้องปฏิบัติการนี้ด้วย ไม่ว่าจะเป็น พี่ๆที่สถาบันนิติวิทยาศาสตร์ ที่คอยให้ คำแนะนำ และชี้แนะในทุกๆด้าน ขอขอบคุณพี่ๆ สำนักวิจัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง และเพื่อนๆ ที่คอยให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาด้วยดีมาโดยตลอด

สุดท้ายต้องขอขอบคุณบิดา มารดาที่คอยเป็นกำลังใจ ให้คำแนะนำและสนับสนุนในทุก ด้านด้วยดีเสมอมา

นางกิตติพงษ์ ลิ้มวิเชียร
นายโชคชัย กิรติไพศาล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ประวัติความเป็นมาและความสำคัญของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการพิเศษ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 อาวุธปืน (Firearms)	3
2.1.1 กลไกการทำงานของปืนกึ่งอัตโนมัติ (Semi-Automatic)	4
2.1.2 กระสุนปืน (Bullet)	7
2.2 หลักการหาความเร็วต้นของกระสุน (Muzzle Velocity Measurement)	8
2.3 โมเมนตัมการชนและการตล(Momentum and Impulse)	10
2.3.1. โมเมนตัม (Momentum)	10
2.3.2 การตล (Impulse)	10
2.4 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	11
2.4.1 สมการเชิงอนุพันธ์ย่อย	12
2.4.2 เงื่อนไขขอบเขตและเงื่อนไขเริ่มต้น	13
2.4.3 ขั้นตอนทั่วไปของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	15
บทที่ 3 วิธีขั้นตอนการดำเนินการโครงการพิเศษ	18
3.1 เครื่องวัดความเร็วต้นของกระสุนปืน	19
3.1.1 ส่วนประกอบของเครื่องวัดความเร็วต้น	20
3.1.2 ข้อควรระวังในการทำการวัดความเร็วต้น	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
3.2 เจลาติน (Gelatin)	21
3.2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับเจลาติน	22
3.2.2 วิธีการผสมใช้งานเจลาติน ขนาด 20 ปอนด์	22
3.2.3 วิธีการผสมเร็ว	23
3.3 การจำลองแบบด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม ANSYS	23
3.3.1 เป็นการตัดสินใจขั้นพื้นฐานก่อนเริ่มทำการวิเคราะห์ (Preliminary Decisions)	24
3.3.1.1 ทำไม เราต้องทำการวิเคราะห์รูปแบบของปัญหา	24
3.3.1.2 ทำไม เราจึงต้องวิเคราะห์ปัญหาของโครงสร้าง	24
3.3.1.3 ทำไม เราจึงต้องเลือกเอลิเมนต์ให้เหมาะสม	25
3.3.2 การจัดรูปแบบ (Preprocessing)	25
3.3.2.1 การกำหนดรูปแบบ และสิทธิในการเลือก (Define element type and option)	25
3.3.2.2 การกำหนดค่าขององค์ประกอบที่คงที่ (Define element real constants)	25
3.3.2.3 การกำหนดลักษณะของวัสดุ (Define material properties)	26
3.3.2.4 การสร้างแบบจำลองในรูปแบบของเรขาคณิต (Create model geometry)	27
3.3.2.5 การกำหนดและควบคุมการทำงานร่วมกัน (Define mesh controls)	27
3.3.2.6 การทำงานร่วมกันกับ โครงสร้างที่กำหนด (Mesh the object created)	28
3.3.3 วิธีการแก้ปัญหา (Solution)	29
3.3.3.1 การกำหนดการบรรจุเงื่อนไข (Define loads and conditions)	29
3.3.3.2 การแก้ปัญหาแบบสอดคล้อง (Solving to certain the solution)	29
3.3.4 ขั้นตอนสุดท้าย (Postprocessing)	30
3.3.4.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากไฟล์ผลลัพธ์ (Read result data from result file)	30
3.3.4.2 ผลลัพธ์ (Plot result)	30
3.3.4.3 การแสดงของผลลัพธ์ (List result)	31
3.4 ภาพกิจกรรมในการทำการทดลอง	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
4.5.2 การวัดขนาดบาดแผลจากการ Simulation	68
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	71
5.1 สรุปผลการวิจัย	71
5.1.1 การวัดความเร็วต้นของกระสุน	71
5.1.2 การตี้มเจลลาติน	71
5.1.3 การวิเคราะห์บาดแผลที่เกิดจากการ	71
5.1.4 Simulation	73
ข้อเสนอแนะ	73
เอกสารอ้างอิง	75
ภาคผนวก	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบ ความไวในการจับสัญญาณของเซนเซอร์	37
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าอ้างอิงความเร็วคั่นของกระสุนปืน	42
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าโมเมนตัมของกระสุนแต่ละขนาด	43
ตารางที่ 4.4 แสดงขนาดความกว้างของวงกระสุนในบาดแผลที่เกิดจากการยิง	61
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าที่ใช้ในการหาแรงที่ตกกระทบของหัวกระสุนขนาดต่างๆกับเจลลาติน	63
ตารางที่ 4.6 แสดงขนาดของปากบาดแผลทางเข้าของลูกกระสุนขนาดต่างๆ จาก Simulation	71



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของอาวุธปืน	3
รูปที่ 2.2 แสดงกลไกการทำงานของปืนในขั้นแรก	4
รูปที่ 2.3 แสดงกลไกการทำงานของปืนในขั้นที่สอง	4
รูปที่ 2.4 แสดงกลไกการทำงานของปืนในขั้นที่สาม	5
รูปที่ 2.5 แสดงกลไกการทำงานของปืนในขั้นที่สี่	5
รูปที่ 2.6 แสดงกลไกการทำงานของปืนในขั้นที่ห้า	6
รูปที่ 2.7 แสดงกลไกการทำงานของปืนโดยรวมจากภายนอก	6
รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างของกระสุนปืน	7
รูปที่ 2.9 แสดงหลักการวัดความเร็วต้น	8
รูปที่ 2.10 แสดงการวางเซ็นเซอร์ที่ถูกต้อง	10
รูปที่ 2.11 ผนวกเอาความรู้แขนงต่างๆ มาใช้การคำนวณเชิงตัวเลข	12
รูปที่ 2.12 แผ่นโลหะที่เป็นตัวอย่างปัญหาที่จะวิเคราะห์	13
รูปที่ 2.13 การจำลองแผ่นโลหะด้วยตารางสี่เหลี่ยมเพื่อกาวิเคราะห์ด้วย ระเบียบวิธีผลต่างสืบเนื่อง	14
รูปที่ 2.14 การจำลองแผ่นโลหะด้วยเอลิเมนต์เพื่อการวิเคราะห์ด้วย ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	14
รูปที่ 2.15 การแบ่งรูปร่างของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ขนาดเท่าๆ กัน	15
รูปที่ 2.16 เอลิเมนต์สามเหลี่ยมที่ประกอบด้วย 3 จุดต่อและตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อ	16
รูปที่ 3.1 โค้ดแกรมขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	18
รูปที่ 3.2 แสดงส่วนประกอบต่างๆของเครื่องวัดความเร็วต้น	19
รูปที่ 3.3 แสดงผงเจลาติน ก่อนตัม	21
รูปที่ 3.4 แสดง เจลาติน ที่ตัมเสร็จแล้ว	21
รูปที่ 3.5 แสดง เจลาติน ที่นำไปใช้เป็นเป้าในการยิง	21
รูปที่ 3.6 โปรแกรม ANSYS	23
รูปที่ 3.7 การจัดการของโปรแกรม ANSYS	24
รูปที่ 3.8 การระบุชนิดของเอลิเมนต์และทางเลือกต่างๆ	25
รูปที่ 3.9 การระบุปริมาณที่จำเพาะสำหรับเอลิเมนต์	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 3.10 การกำหนดคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ	26
รูปที่ 3.11 การสร้างแบบจำลอง	27
รูปที่ 3.12 การกำหนดคุณลักษณะของการ Meshing	28
รูปที่ 3.13 การให้โปรแกรม ANSYS ทำการคำนวณแก้ระบบสมการ	29
รูปที่ 3.14 โปรแกรม ANSYS เต็มเมื่อคำนวณเสร็จแล้ว	30
รูปที่ 3.15 การพล็อตการเสียรูป	30
รูปที่ 3.16 พล็อตการกระจายของปริมาณใดๆ	31
รูปที่ 3.17 การแสดงปริมาณใดๆ	32
รูปที่ 3.18 ผู้ร่วมปฏิบัติงานที่สนามยิงปืนอุทัยธานี	33
รูปที่ 3.19 บรรยากาศการเตรียมการทดลอง	33
รูปที่ 3.20 การฝึกการใช้อาวุธปืนเบื้องต้น	34
รูปที่ 3.21 แสดงวิธีการวัดความเร็วต้นโดยผู้เชี่ยวชาญ	35
รูปที่ 4.1 แสดงวงจรที่นำเซ็นเซอร์ไปต่อ	36
รูปที่ 4.2 แสดงการนำเซ็นเซอร์ไปทดสอบ	37
รูปที่ 4.3 แสดงการฉายแสงลงบนเซ็นเซอร์	37
รูปที่ 4.4 แสดงเอาท์พุทที่ได้จากการทดสอบ	37
รูปที่ 4.5 แสดงฟังก์ชันของ DAQ ในการเลือกอินพุทรับค่าสัญญาณจากภายนอก	38
รูปที่ 4.6 แสดงไดอะแกรม ของอินพุทที่รับค่า โดยแสดงผลเป็นกราฟ	39
รูปที่ 4.7 การแสดงผล โดยโปรแกรม Lab-View	39
รูปที่ 4.8 สัญญาณจากเซ็นเซอร์โดยหาค่าเวลาจากสัญญาณขาลงที่เข้ามา	40
รูปที่ 4.9 แสดงไดอะแกรม ของโปรแกรมทั้งหมด ซึ่งจะให้ค่าทั้งช่วงเวลา และความเร็ว	40
รูปที่ 4.10 เมื่อเริ่มโปรแกรม และทำการตัดสัญญาณที่เซ็นเซอร์	41
โปรแกรมก็จะคำนวณค่าออกมาให้	
รูปที่ 4.11 แสดงอุปกรณ์วัดความเร็วต้น	41
รูปที่ 4.12 แสดงกราฟแสดงค่าโมเมนตัมของกระสุนแต่ละขนาด	43
รูปที่ 4.13 แสดงอาวุธที่ใช้ในการทดลอง	44
รูปที่ 4.14 แสดงเจลลาตินที่คัมเสร็จแล้ว	45
รูปที่ 4.15 แสดงการยิงระยะประชิด	45

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 4.32 แผลด้านข้างที่ยิงด้วยปืน Browning ลูกกระสุนปืน ขนาด 9 mm. FMJ ในระยะ 1 เมตร	54
รูปที่ 4.33 แผลด้านข้างที่ยิงด้วยปืน Colt ลูกกระสุนปืนขนาด .38 super FMJ ในระยะประชิด	54
รูปที่ 4.34 แผลด้านข้างที่ยิงด้วยปืน Colt ลูกกระสุนปืนขนาด .38 super FMJ ในระยะ 1 เมตร	55
รูปที่ 4.35 แสดงบาดแผลที่ถูกยิงด้วยกระสุน .380 FMJ ในระยะประชิดที่จะนำมาทำการผ่า	56
รูปที่ 4.36 แสดงบาดแผลที่ถูกยิงด้วยกระสุน.380 FMJ ในระยะประชิด ที่ทำการผ่าตามแนว วิถีของกระสุน	56
รูปที่ 4.37 แสดงบาดแผลที่ถูกยิงด้วยลูก .380 Semi-Wadcutter FMJ ในระยะประชิด ก่อนที่จะทำการผ่า	57
รูปที่ 4.38 แสดงบาดแผลที่ถูกยิงด้วยลูก .380 Semi-Wadcutter FMJ ในระยะประชิด ก่อนที่จะทำการผ่าตามแนววิถีของกระสุน	57
รูปที่ 4.39 แสดงบาดแผลที่ถูกยิงด้วยกระสุน.380 FMJ ในระยะ 1 เมตร ก่อนที่จะทำการผ่า	58
รูปที่ 4.40 แสดงบาดแผลที่ยิงถูกด้วยกระสุน.380 FMJ ในระยะ 1 เมตร	58
รูปที่ 4.41 แสดงบาดแผลที่ถูกยิงด้วยลูก .380 FMJ Semi-Wadcutter ในระยะ 1 เมตร ก่อนที่จะทำการผ่า	59
รูปที่ 4.42 แสดงบาดแผลที่ถูกยิงด้วยลูก .380 FMJ Semi-Wadcutter ในระยะ 1 เมตร ก่อนที่ทำการผ่าตัดตามแนวของวิถีกระสุน.	59
รูปที่ 4.43 แสดงการผ่าตัดตามขวางแนวของวิถีกระสุน	60
รูปที่ 4.44 แสดงการสร้างแบบจำลองของเจลลาตินลงในโปรแกรม	62
รูปที่ 4.45 แสดงการแบ่งอิลิเมนต์ของแบบจำลอง	62
รูปที่ 4.46 แสดงการใส่แรงไปที่จุด Node ที่ต้องการ	63
รูปที่ 4.47 แสดงกราฟแสดงแรงที่กระทำกับเจลลาตินของกระสุนขนาดต่างๆ	64
รูปที่ 4.48 แสดง Displacement vector sum ของกระสุน .380 FMJ	64
รูปที่ 4.49 แสดง Stress intensity ของกระสุน .380 FMJ	65
รูปที่ 4.50 แสดง Displacement vector sum ของกระสุน .380 FMJ Semi Wadcutter	65
รูปที่ 4.51 แสดง Stress intensity ของกระสุน .380 FMJ Semi Wadcutter	66
รูปที่ 4.52 แสดง Displacement vector sum ของกระสุน .38 Super FMJ	66
รูปที่ 4.53 แสดง Stress intensity ของกระสุน .38 Super FMJ	67

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 4.54 แสดง Displacement vector sum ของกระสุน .45ACP FMJ	67
รูปที่ 4.55 แสดง Stress intensity ของกระสุน .45ACP FMJ	68
รูปที่ 4.56 แสดง Displacement vector sum ของกระสุน9mm FMJ	68
รูปที่ 4.57 แสดง Stress intensity ของกระสุน9mm FMJ	69
รูปที่ 4.58 แสดงการวัดขนาดปากบาดแผลทางเข้าจากการ Simulation	70



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ประวัติความเป็นมาและความสำคัญของโครงการพิเศษ

ปัจจุบันสถาบันนิติวิทยาศาสตร์ CIFS (Central Institute of Forensic Science Thailand) เป็นหน่วยงานหนึ่งของกระทรวงยุติธรรมที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากในปัจจุบันนี้ได้เกิดคดีอาชญากรรมต่างๆขึ้นเป็นจำนวนมากโดยบางคดีก็ง่ายต่อการสืบสวนสอบสวน บางคดีก็ยากแก่การสืบสวนสอบสวนในการนำตัวผู้กระทำผิดนั้นมาลงโทษ ทำให้ต้องอาศัยหลักการทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาช่วยในการสืบสวนสอบสวน ดังนั้นในระบบการตรวจสอบทางนิติวิทยาศาสตร์จึงจำเป็นต้องมีบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถเฉพาะทาง โดยเฉพาะเป็นองค์ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์เข้ามาช่วยในการสืบสวนสอบสวน

ในโครงการพิเศษนี้ได้ร่วมมือกับกลุ่มงานการตรวจสอบวัตถุพยาน ซึ่งเป็นหน่วยงานหนึ่งของสถาบันนิติวิทยาศาสตร์ โดยคดีส่วนใหญ่ที่สืบสวนสอบสวนจะเกี่ยวข้องกับอาวุธปืน ซึ่งถือเป็นอาวุธที่มีอนุภาพในการทำลายล้างสูงและยังมีมากมายหลายชนิด หลายยี่ห้อ ทำให้เมื่อเกิดคดีที่ใช้อาวุธปืนขึ้นนั้น มีความยากอย่างยิ่ง ในการสืบสวนสอบสวนคดี ไม่ว่าจะเป็นกระสุนที่ใช้ยังเป็นกระสุนชนิดไหน ผลลัพท์ไหน กระสุนนั้นถูกยิงออกมาในทิศทางใดหรือจะเป็นการเก็บเขม่าดินปืนจากผู้ต้องสงสัยและนำมาวิเคราะห์ ซึ่งกระบวนการสืบสวนสอบสวนต่างๆเหล่านี้จะนำไปสู่การนำตัวผู้กระทำผิดมาลงโทษ ซึ่งในโครงการพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาเรื่องของภาวะวิเคราะห้บาดแผลและวิถีของกระสุนที่ถูกยิงออกมาในลักษณะต่างๆ โดยอาศัยหลักการวิทยาศาสตร์ทางฟิสิกส์ในเรื่องต่าง ๆ มาช่วยทำการวิเคราะห์ ทั้ง การหาความเร็วต้นของกระสุนปืน โมเมนตัมการชนและการคลอ อีกทั้งการคำนวณในเรื่องของ Simulation การชน ซึ่งในโครงการพิเศษนี้ยังได้ใช้เจลาติน (Gelatine) ของบริษัทแอปเปิล ไซเอ็นทิฟิค จำกัด เป็นเจลาตินชนิดพิเศษที่ใช้ในการทดสอบการยิง โดยความหนาแน่นของเจลาตินชนิดนี้จะมีค่าใกล้เคียงกับความหนาแน่นของกล้ามเนื้อมนุษย์มาก จึงนำมาทำเป็นเป้าทดลองการยิงแทนมนุษย์

สำหรับโครงการพิเศษนี้ที่ได้ทำการศึกษาวิจัย ในเรื่องของบาดแผลและวิถีกระสุนปืนที่เกิดจากการยิงของอาวุธปืนในลักษณะต่างๆ เพื่อทำเป็นฐานข้อมูลสำหรับสถาบันนิติวิทยาศาสตร์ ซึ่งจะนำไปใช้ประโยชน์ โดยการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้ทำการตรวจวิเคราะห์จากบาดแผลของผู้ถูกยิงในคดีต่าง ๆ ซึ่งจะทำการสืบสวนสอบสวนมีความสะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

1. เพื่อศึกษาหลักการการทำงานรวมไปถึงกลไกต่างๆของอาวุธ ปืนชนิดต่างๆ
2. เพื่อศึกษาหาความเร็วต้น ของลูกกระสุนปืนที่ถูกยิงออกมา ว่ามีความเร็วเท่าใดเพื่อใช้ในการคำนวณต่อไปในโครงการพิเศษนี้
3. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ขนาดแผลที่เกิดจากการยิงในรูปแบบต่างๆได้ โดยใช้โปรแกรม Simulation ในการช่วยคำนวณและวิเคราะห์ให้ได้เป็นอย่างดี
4. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์วิถีของกระสุนปืนที่ยิงออกมาได้จากขนาดแผลที่เกิดขึ้น
5. เพื่อเป็นนำมาทำเป็นฐานข้อมูลให้กับสถาบันนิติวิทยาศาสตร์ ในการสืบสวนสอบสวนคดีหาตัวผู้กระทำผิด

1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

โครงการพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาในเรื่องการวิเคราะห์ขนาดแผล และวิถีกระสุนปืนที่เกิดจากการยิงของอาวุธปืน โดยใช้เจลาตินของบริษัทแอปเปิล ไซเอ็นทิฟิค จำกัด ที่มีคุณลักษณะความหนาแน่นใกล้เคียงกับความหนาแน่นของกล้ามเนื้อมนุษย์มาก มาจำลองเป็นเป้าหมายมนุษย์ในการยิงในลักษณะต่างๆกันออกไป ซึ่งในขั้นตอนแรกนั้นต้องทำการสร้างเครื่องมือวัดความเร็วต้นของกระสุนปืนขึ้นมา เพื่อหาความเร็วในการชนของกระสุนปืนและนำไปใช้ในการคำนวณในขั้นตอนต่อไป จากนั้นทำการยิงกระสุนขนาดต่างๆใส่เจลาตินที่เตรียมเอาไว้ และก็นำขนาดแผลที่เกิดจากการยิงนี้ นำมาวิเคราะห์ผลโดยการคำนวณ Simulation แล้วนำผลที่ได้จากการยิงของแต่ละลักษณะมาเปรียบเทียบกัน เพื่อทำเป็นฐานข้อมูล และนำไปใช้อ้างอิงกับคดีที่เกิดขึ้นทางสถาบันนิติวิทยาศาสตร์ต่อไป

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการพิเศษ

1. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับอาวุธปืนเป็นอย่างดี
2. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีต่างๆที่ใช้ในการคำนวณจากขนาดแผลได้เป็นอย่างดี
3. มีความรู้ความเข้าใจและสามารถเปรียบเทียบขนาดแผลที่พบเห็นว่าเป็นการยิงในลักษณะใดได้
4. นำไปเป็นฐานข้อมูลสำหรับการสืบสวนสอบสวนคดีที่ใช้อาวุธปืน และทำให้ในการสืบสวนสอบสวนมีรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้หน้าตัวผู้กระทำผิดมาลงโทษได้ง่ายขึ้น

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 อาวุธปืน (Firearms)

อาวุธปืนหมายความรวมถึง อาวุธทุกชนิดซึ่งใช้ส่งเครื่องกระสุนปืน โดยวิธีระเบิดหรือกำลังดันของแก๊สหรืออัดลมหรือเครื่องกลไกอย่างใด ซึ่งต้องอาศัยอำนาจของพลังงานและส่วนหนึ่งส่วนใดของอาวุธนั้นๆ ซึ่งรัฐมนตรีเห็นว่าสำคัญและได้ระบุไว้ในกฎกระทรวง โดยที่อาวุธปืนนั้นมีส่วนประกอบที่สำคัญ 5 ส่วนด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของอาวุธปืน

1. ลำกล้อง (Barrel) เป็นส่วนที่ลูกกระสุนปืนวิ่งผ่าน และกำหนดทิศทางของลูกกระสุนปืน
2. เครื่องลูกเลื่อน (Bolt) เป็นส่วนที่มีหน้าที่นำกระสุนปืนเข้าสู่รังเพลิงและดึงเอาปลอกกระสุนปืนออกจากรังเพลิง

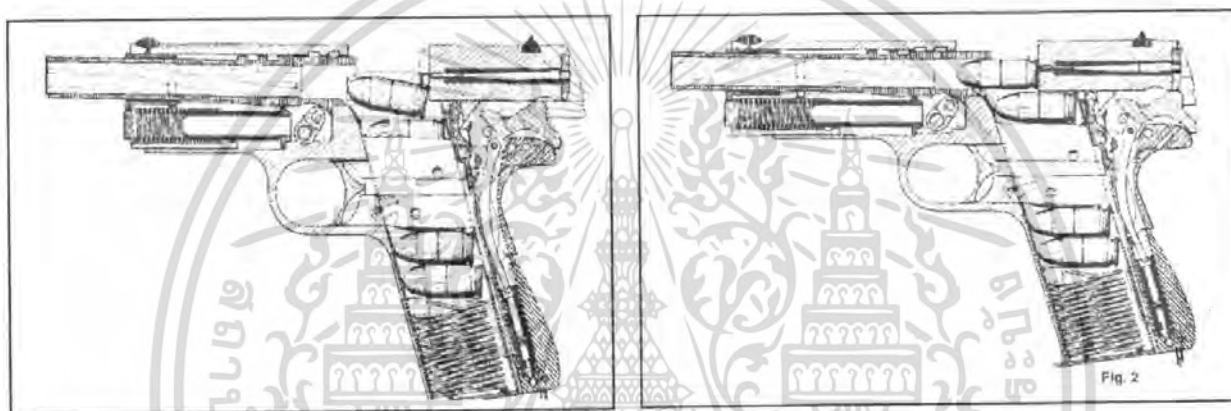
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ช่องกระสุนปืนหรือสายกระสุนปืน(Magazine, Belt)ทำหน้าที่ในการลำเลียง กระสุนปืนมาสู่เครื่องลูกเลื่อน

4. โครงปืน (Frame, Receiver) เป็นที่อยู่ของกลไกเครื่องลั่นไก

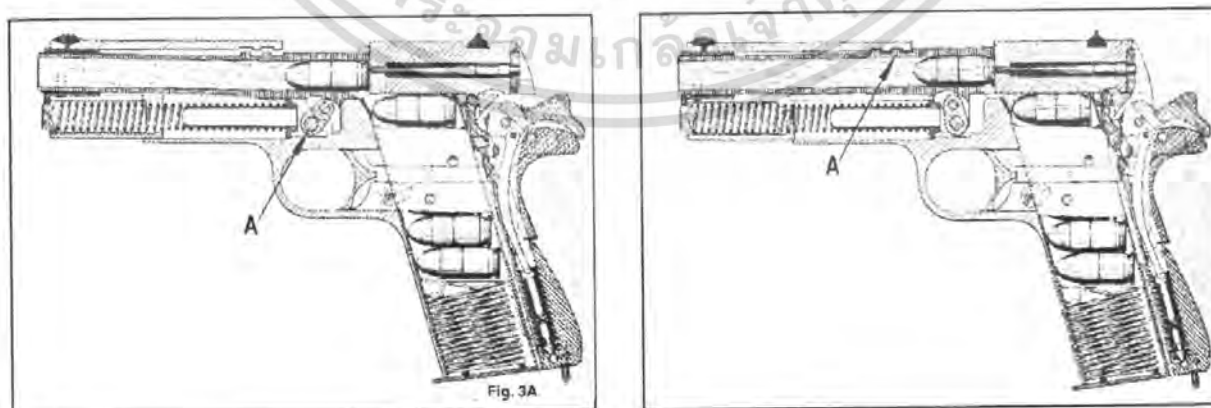
5. กลไกเครื่องลั่นไก(Firing Mechanism) ทำหน้าที่ยิงปืน โดยทำให้เข็มแทงชนวนไปกระทบชนวนท้ายกระสุนปืน

2.1.1 กลไกการทำงานของปืนกึ่งอัตโนมัติ (Semi-Automatic) มีขั้นตอนดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.2 แสดงกลไกการทำงานของปืนในขั้นแรก

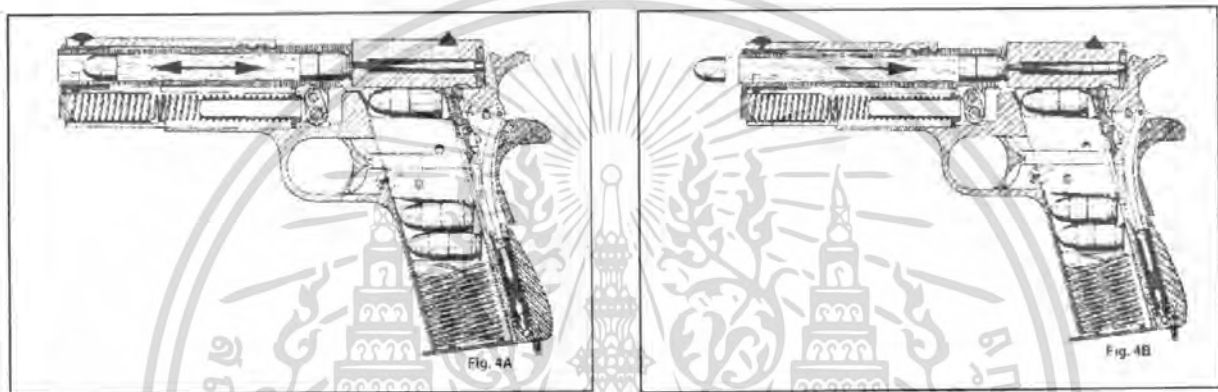
1. นำกระสุนปืนที่บรรจุอยู่ใน Magazine มาใส่ในตัวปืนแล้วดึง Slide ถอยหลังมาจนสุด กระสุนปืนที่อยู่ใน Magazine จะเลื่อนตัวขึ้นไปข้างบนจนสุด พอปล่อย Slide Slide จะเลื่อนไปข้างหน้าโดยแรงจาก Recoil Spring พร้อมกับนำกระสุนเข้าสู่รูเพลิงดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.3 แสดงกลไกการทำงานของปืนในขั้นที่สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

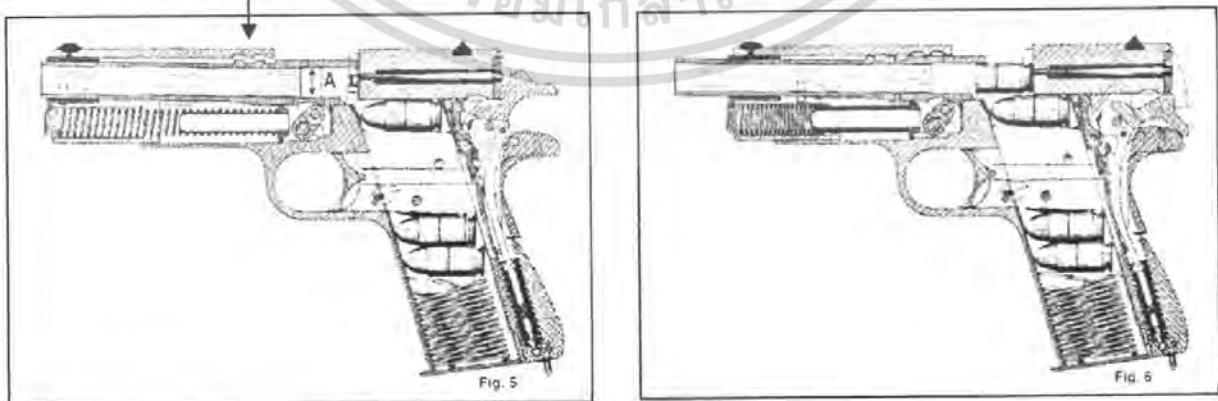
2. เมื่อ Slide เลื่อนไปจนสุดด้านหน้าจนสุดลำกล้องจะเลื่อนตัวขึ้นไปขัดกลอน(A) กับโครง Slide เมื่อถึงจุดนี้ปืนจะพร้อมยิงดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งการขัดกลอน (Obturations , Locking) ระหว่างหน้าลูกเลื่อนกับผนังห้องลูกเลื่อนเพื่อให้ลูกกระสุนปืนวิ่งพ้นปากลำกล้องไปก่อน แล้วจึงมีการปลดกลอนคัตปลดออกกระสุน (Extracting) ถ้าไม่มีการขัดกลอนหน่วงเวลา เมื่อเริ่มคัตปลดออกกระสุนจะขาดหรือแตกที่บริเวณ หรืองานทำย อาจเป็นอันตรายต่อคนยิง



รูปที่ 2.4 แสดงกลไกการทำงานของปืนในขั้นที่สาม

3. เมื่อทำการเหนี่ยวไก นกปืนจะไปตีที่ท้ายเข็มแทงชนวน เข็มแทงชนวนจะไปกระทบกับแก๊ปปืน จากนั้นกระสุนปืนจะระเบิดเกิดแรงดันขึ้น ทำให้ลูกกระสุนปืนหลุดออกจากปลอกกระสุนปืนและจะวิ่งไปตามลำกล้องปืนพร้อมกับ Slide จะถอยหลังตามกันเมื่อลูกกระสุนปืนพ้น ลำกล้อง ดังแสดงในรูปที่ 2.4

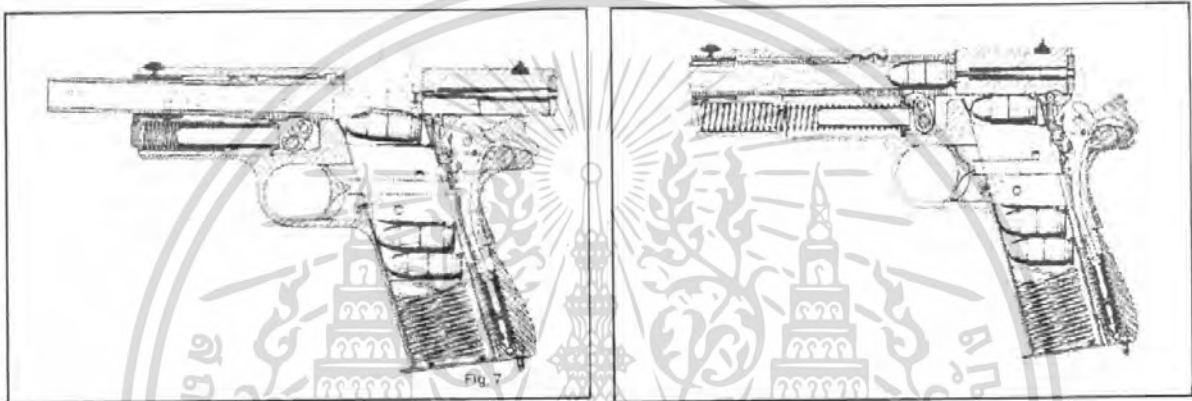
รอยขัดกลอนระหว่างลำกล้องกับ Slide



รูปที่ 2.5 แสดงกลไกการทำงานของปืนในขั้นที่สี่

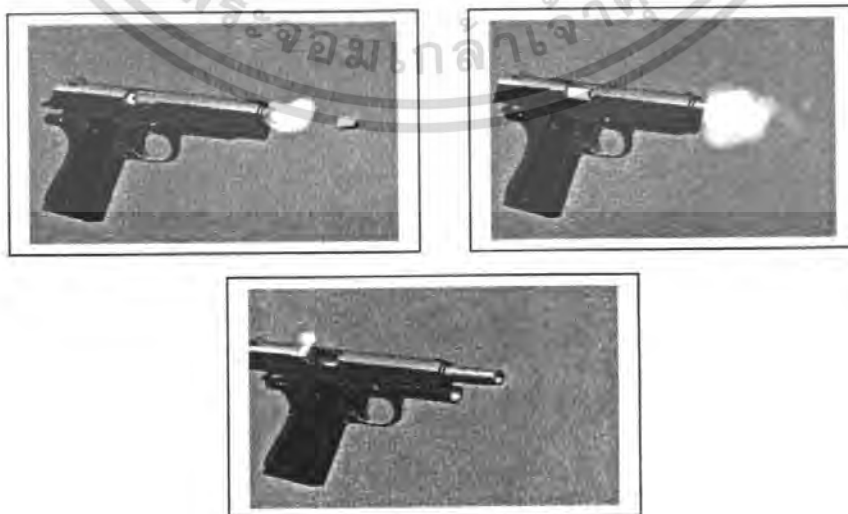
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. จากนั้นลำกล้องจะหยุดเคลื่อนที่ และลำกล้องจะลดตัวลงกลอนระหว่างลำกล้องกับ Slide และจะปลดกลอนออกจากกัน Slide ก็ยังถอยหลังต่อไปดังแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งเราเรียกกระบวนการนี้ว่า การปลดกลอน(Unlock) จะกระทำเมื่อลูกกระสุนเคลื่อนที่พ้นลำกล้องหรือใกล้จะพ้นปากลำกล้อง เพื่อให้แรงดันในลำกล้องลดลงจนปลอดภัย พอที่จะไม่เกิดอันตราย ซึ่งการปลดกลอนเหมือนการขັดกลอน แต่เกิดในทางตรงกันข้าม



รูปที่ 2.6 แสดงกลไกการทำงานของปืนในขั้นที่ห้า

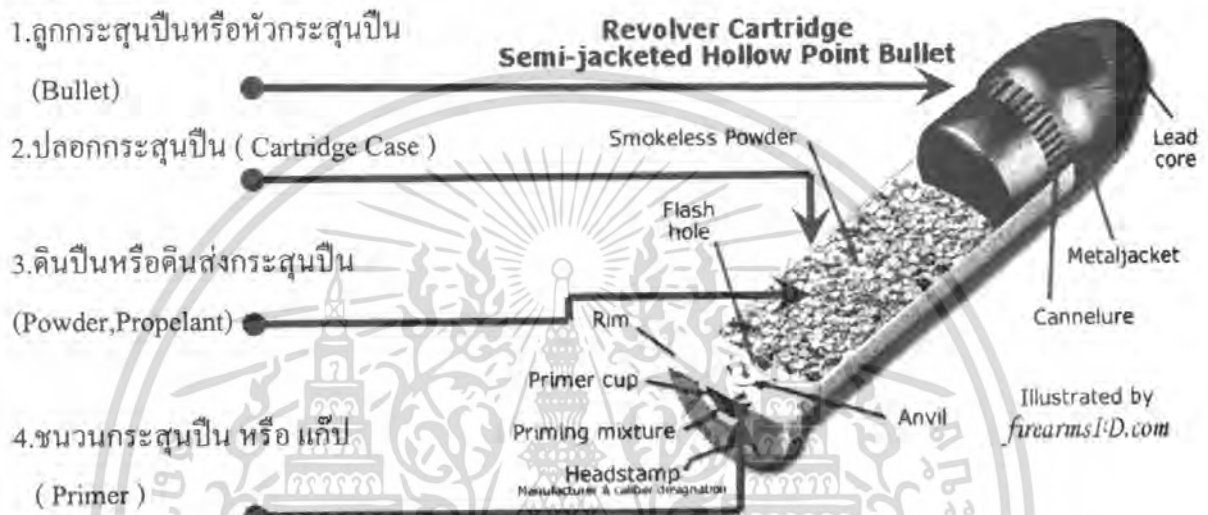
5. ในขณะที่ถอยหลังนั้นขอร้งปลอก (Extracting) จะเกี่ยวเอาปลอกกระสุนปืนออกจากรังเพลิง เมื่อ Slide ถอยหลังไปจนสุดปลอกกระสุนจะถูกเตะออกไปโดยเหล็กค้ำปลอก(Ejecting) จากนั้นกระสุนนัดต่อไปจะเคลื่อนขึ้นมา Slide จะเลื่อนไปด้านหน้าโดยแรงดันของ Recoil Spring พร้อมกับนำกระสุนนัดต่อไปเข้าสู่รังเพลิงปืนก็พร้อมจะยิงกระสุนนัดต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 2.6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.7 แสดงกลไกการทำงานของปืนโดยรวมจากภายนอก
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 กระสุนปืน (Bullet)

กระสุนปืนที่ใช้ในปัจจุบันส่วนมากเป็นกระสุนปืน ที่ใช้กับปืนที่บรรจุกระสุนทางท้าย ลากล่องและเป็นกระสุนปืนที่ประกอบสำเร็จรูปเป็นนัด มีส่วนประกอบ 4 ส่วนด้วยกัน ดังแสดง ในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างของกระสุนปืน

1. ลูกกระสุนปืนหรือหัวกระสุนปืน (Bullet) ลูกกระสุนปืนหรือหัวกระสุนปืนส่วนมาก ทำด้วยตะกั่ว,ทองแดง หุ้มตะกั่ว,ทองแดงแกนเหล็ก สาเหตุที่ทำด้วยตะกั่วเพราะว่าตะกั่วมีความ ถ่วงจำเพาะสูงเมื่อทำเป็นลูกกระสุนปืน ในขนาดเดียวกันจะมีน้ำหนักมากเมื่อวิ่งด้วยความเร็วเท่ากัน จะให้แรงปะทะสูงกว่าโลหะอื่นแต่ราคาสูงกว่าจึงนำโลหะมาทดแทน

2. ปลอกกระสุนปืน (Cartridge Case) ปลอกกระสุนปืนในปัจจุบันทำด้วยโลหะ ซึ่งโลหะ ที่นิยมนำมาทำปลอกกระสุนปืนคือทองเหลือง เนื่องจากทองเหลือง เป็นโลหะที่ไม่แข็งมากนัก สามารถขึ้นรูปได้ง่ายไม่ฝุ่ร่อน และไม่เป็สนิม เมื่อกระสุนปืนลั่นแรงดันของแก๊สที่เกิดจากการ เผาไหม้ของดินปืน ปลอกกระสุนปืนที่ทำจากทองเหลืองสามารถยึดตัวแนบกับผนังรังเพลิงทำให้ แก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ของดินปืน ไม่สามารถรั่วออกทางรังเพลิงได้และหดตัวกลับสู่สภาพ เดิม เมื่อความดันในรังเพลิงลดลง ทำให้ การคัดปลอกกระสุน ออก สามารถเป็นไปได้อย่าง อีกรั้งยังสามารถ นำกลับมาใช้ใหม่(Reload)ได้อีกหลายครั้ง แต่มีราคาแพงกว่าปลอกกระสุนปืนที่ ทำมาจากโลหะอื่น ซึ่งโลหะอื่นๆ ที่นิยมนำมาใช้ทำปลอกกระสุนปืนได้แก่ เหล็กมีข้อดีคือราคาถูก แต่เป็นโลหะที่แข็งขึ้นรูปได้ยากเมื่อขยายตัวแล้ว จะหดตัวได้แต่จะไม่เข้าสู่สภาพเดิม ไม่สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์
นำกลับมาใช้ใหม่ได้(Reload) และเป็นสนิมฝุ่ร่อนต้องนำไปชุบโลหะที่ไม่เป็นสนิม เช่น ทองแดง
ไมวารณินใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือสี โลหะอีกชนิดที่นิยมนำมาทำเป็นปลอกกระสุนปืนคือลูมิเนียมเป็นโลหะที่มีน้ำหนักและขึ้นรูปได้ง่ายแต่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Reload) และเป็นสนิมผุกร่อนจึงต้องนำไปชุบสี

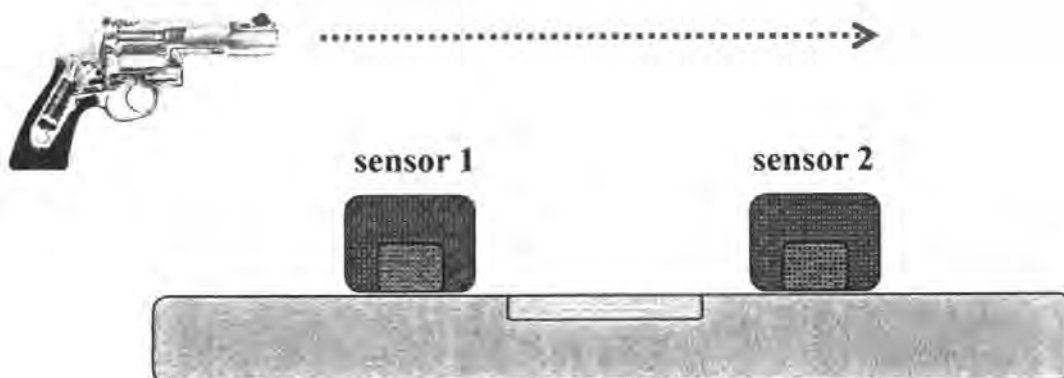
3. ดินปืนหรือ ดินส่งกระสุนปืน (Gun Powder ,Propellant) ดินปืนพบครั้งแรกโดยชาวจีนในราวปี ค.ศ. 1130 ซึ่งชาวจีน รู้จักการเล่นประทัดและดอกไม้ไฟมาตั้งแต่สมัยโบราณ ต่อมาชาวสเปนที่มาติดต่อกับชาวจีนได้นำไปแพร่หลายในยุโรป โดยบันทึกในยุโรปปรากฏว่า Roger Bacon พระชาวแองโกลแซกซัน ได้เขียนสูตรไว้ ว่ามีส่วนประกอบดินประสิว 78% ถ่าน 4% กำมะถัน 18 %

4. ชนวนกระสุนปืนหรือ แก๊ปปืน (Primer) ชนวนกระสุนปืน หรือ แก๊ปปืนจะอาศัยโดยคุณสมบัติของตัวมันเองเป็นวัตถุระเบิด เมื่อถูกกระแทกก็จะระเบิดให้เปลวไฟเมื่อดินปืน ถูกเปลวไฟ ก็จะลุกไหม้ กลายเป็นแก๊สจำนวนมากเพื่อดันลูกปืนออกไป ชนวนกระสุนในปัจจุบันใช้ตะกั่วสตีปเนต (Lead Stypnate) ซึ่งมีคุณสมบัติใช้เป็นแก๊ปปืนได้ดี คือไม่ทำให้เกิดสนิมและไม่มีผลกระทบต่อตัวปืนและปลอกกระสุนปืน โดยมีการนำมาบรรจุใส่ในจอกชนวนเรียกว่า Cap จึงเรียกว่าแก๊ปปืนไปด้วย

2.2 หลักการหาความเร็วต้นของกระสุน (Muzzle Velocity Measurement)

ในการหาความเร็วต้นของกระสุนปืน จะทำได้โดยการที่เราจะวาง เซนเซอร์ 2 ตัว วางห่างกันเป็นระยะหนึ่ง เมื่อกระสุนตัดผ่าน เซนเซอร์ 2 ตัวนี้ เราก็จะได้ค่าเวลามาค่าหนึ่งโดยเซนเซอร์ที่เราใช้ในการหาความเร็วต้นคือ Photodiode sensor ดังนั้นเมื่อเรารู้ระยะทาง และเวลาที่ใช้ เราก็จะสามารถหาค่าความเร็วต้นของกระสุนได้จากเราจะหาได้จากสมการที่ 2.1

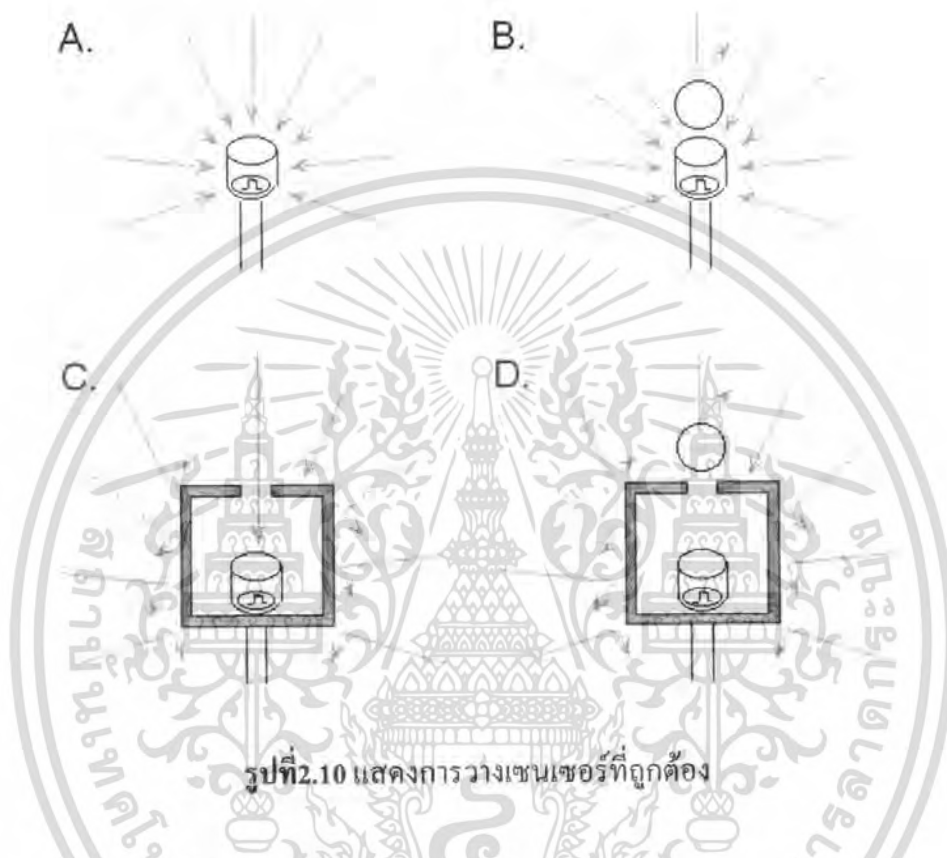
$$v = \frac{s}{t} \quad (2.1)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.9 แสดงหลักการวัดความเร็วต้น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการวาง ตำแหน่งของเซนเซอร์และเลนส์กล้องนั้นจะต้องวางให้ถูกต้องดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงการวางเซนเซอร์ที่ถูกต้อง

จากรูปที่ 2.10 เป็นรูปที่แสดงการวางเซนเซอร์ที่ถูกต้อง โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

- ในรูปที่ 2.10 A เป็นรูปของ Photodiode sensor ที่ตรวจจับแสง โดยที่มีทิศทางของพุ่งถูกลงหาเซนเซอร์คือ ทิศทางของแสงที่ตกกระทบเซนเซอร์

- ในรูปที่ 2.10 B เป็นรูปที่แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีลูกกระสุนปืนวิ่งผ่านตัวเซนเซอร์ก็จะทำให้ไม่มีแสงที่ตกกระทบกับเซนเซอร์ในบริเวณนั้น แต่จากรูปจะพบว่ายังมีแสงมาตกกระทบตัวเซนเซอร์อยู่ ซึ่งจะยังทำให้ไม่สามารถทำการวัดได้

- ในรูปที่ 2.10 C เป็นรูปที่แสดงให้เห็นว่า เมื่อเราทำการนำตัวเลนส์กล้องที่สามารถปรับขนาดของรูรับแสงได้ว่ามาครอบ Photodiode sensor ซึ่งการวางตัวเลนส์กล้องนั้นจะต้องวางให้อยู่บริเวณกึ่งกลางพอดี คือให้ตัวเซนเซอร์ และรูรับแสงตรงกัน และจากรูปจะเห็นได้ว่าการนำตัวเลนส์กล้องมาวางครอบเซนเซอร์ยังจะทำให้แสงที่ผ่านเข้ามาได้บริเวณเดียวเท่านั้น เมื่อกระสุนที่ยังมาวิ่งตัดรูรับแสงก็จะทำให้เซนเซอร์สามารถวัดค่าได้ ดังรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 โมเมนตัมการชนและการคด (Momentum and Impulse)

2.3.1 โมเมนตัม (Momentum)

เราทราบแล้วว่า แรงสามารถทำให้วัตถุที่หยุดนิ่งเคลื่อนที่ หรือทำให้วัตถุที่กำลังเคลื่อนที่หยุดนิ่ง การเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ ของวัตถุด้วยแรงนี้จะยากหรือง่ายขึ้นอยู่กับมวลและความเร็วของวัตถุวัตถุที่มีมวลมากและความเร็วสูงย่อมทำให้หยุดได้ยากกว่าวัตถุที่มีมวลน้อยและความเร็วต่ำ จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (2.2)$$

$$\vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (2.3)$$

$$\vec{F} = \frac{d}{dt}(m\vec{v})$$

แสดงว่าแรงกระทำ \vec{F} มีค่าเท่ากับอัตราการเปลี่ยน $m\vec{v}$ ดังนั้นปริมาณของมวลคูณกับความเร็วจึงน่าจะเป็นปริมาณที่กำหนดสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุได้ เรียกปริมาณนี้ว่า โมเมนตัมเชิงเส้น เขียนแทนด้วย \vec{p}

$$\vec{p} = m\vec{v} \quad (2.4)$$

โมเมนตัมเป็นปริมาณเวกเตอร์ ที่มีทิศเดียวกับความเร็ว และเป็นปริมาณสำคัญที่บอกค่าของแรงในการที่จะทำให้อนุภาคมีการเคลื่อนที่ โดยแทนค่าจากสมการ (2.4) ลงในสมการ (2.3) จะได้

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad (2.5)$$

สมการ (2.5) แสดงว่า แรงในกฎข้อ 2 ของนิวตัน คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของวัตถุนั่นเอง

2.3.2 การคด (Impulse)

จากสมการที่ (2.5) อาจกล่าวได้ว่า แรงทำให้โมเมนตัมของวัตถุเปลี่ยน ถ้าแรงกระทำบนวัตถุเป็นเวลานาน โมเมนตัมก็เปลี่ยนมาก เราสามารถเขียนสมการโมเมนตัมในเวลา dt ได้ดังนี้

$$d\vec{p} = \vec{F}dt \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

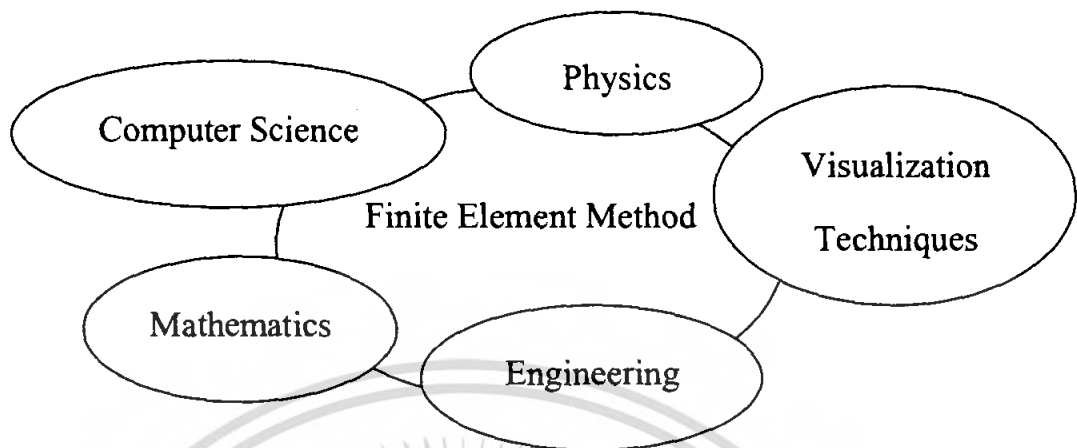
ปัญหาทางวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่ ล้วนประกอบด้วยสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย ในรูปแบบต่างๆ กัน ที่สอดคล้องกับลักษณะชนิดของปัญหานั้นๆ สมการเชิงอนุพันธ์ใดๆ จะถูกเรียกว่าเป็นสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย หากสมการนั้นประกอบด้วยจำนวนจำนวนตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป เช่น

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0 \quad (2.7)$$

โดยในที่นี้ x และ y คือตัวแปรต้น และ u คือตัวแปรตาม สมการข้างต้นนี้เรียกว่าเป็นสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยอันดับสอง ซึ่งการจัดอันดับนั้นวัดจากอันดับที่สูงที่สุดของตัวอนุพันธ์ในสมการนั้น สมการเชิงอนุพันธ์ย่อยของปัญหาทางวิศวกรรมศาสตร์โดยทั่วไปแล้วจะมีอันดับจากหนึ่งไปจนถึงอันดับสี่ จำนวนตัวแปรต้นก็เช่นเดียวกันอาจจะมีจำนวนหลายตัว เช่น x, y, z ซึ่งแทนโคออร์ดิเนตใน 3 มิติ และ t แทนเวลา เป็นต้น

การแก้ปัญหสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยเหล่านี้ปกติแล้วจะกระทำโดย

1. การใช้ระเบียบวิธีทางคณิตศาสตร์ขั้นสูง (Advance Mathematics) เพื่อหาผลเฉลยแม่นยำ (Exact Solution)
2. การใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเพื่อหาผลเฉลยโดยประมาณ (Approximate Solution) ประโยชน์จากการใช้คณิตศาสตร์ขั้นสูงจะก่อให้เกิดผลเฉลยแม่นยำที่ถูกต้องเที่ยงตรงตามตำแหน่งใดๆ ที่ต้องการ แต่โดยปกติสำหรับปัญหาต่างๆ ไปแล้ว ผลเฉลยแม่นยำจะไม่สามารถหาได้ โดยเฉพาะปัญหาทางปฏิบัติในปัจจุบันที่เงื่อนไขขอบเขตและลักษณะรูปแบบของปัญหานั้นมีความซับซ้อน ทำให้ต้องใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขที่สามารถแก้ปัญหามีความซับซ้อนได้เป็นอย่างดี แต่ในขณะเดียวกันจะให้ผลเฉลยโดยประมาณที่ตำแหน่งบางตำแหน่งเท่านั้น ซึ่งวิธีการคำนวณเชิงตัวเลข (Numerical Method) แบบนี้ จึงจำเป็นต้องมีการผนวกเอาความรู้แขนงต่างๆ มาใช้งานร่วมกันดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ผนวกเอาความรู้แขนงต่างๆ มาใช้การคำนวณเชิงตัวเลข

2.4.1 สมการเชิงอนุพันธ์ย่อย

เราจะศึกษาสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยอันดับที่สองที่อยู่ในรูปแบบดังนี้

$$a \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + b \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} + c \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = f \quad (2.8)$$

โดย a, b, c อาจเป็นค่าคงที่หรือฟังก์ชันของ x และ y ส่วน f อาจเป็นค่าคงที่หรือเป็นฟังก์ชันของ $x, y, u, \frac{\partial u}{\partial x}$ และ $\frac{\partial u}{\partial y}$ เราสามารถจำแนกสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยออกเป็นชนิดต่างๆ กัน ดังต่อไปนี้

1. สมการเอลลิปติก (Elliptic Equation) หาก $b^2 - 4ac < 0$ ตัวอย่างของสมการในกรณีนี้ได้แก่ สมการของลาปลาซ (Laplace's Equation) ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0 \quad (2.9)$$

2. สมการพาราโบลิก (Parabolic Equation) หาก $b^2 - 4ac = 0$ ตัวอย่างของสมการในกรณีนี้ได้แก่ สมการการถ่ายเทความร้อน ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

$$k \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{\partial u}{\partial t} \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สมการไฮเพอร์โบลิก (Hyperbolic Equation) หาก $b^2 - 4ac > 0$ ตัวอย่างของสมการในกรณีนี้ได้แก่ สมการการสั่นของเส้นลวดที่ขึงปลายทั้งสองข้าง ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

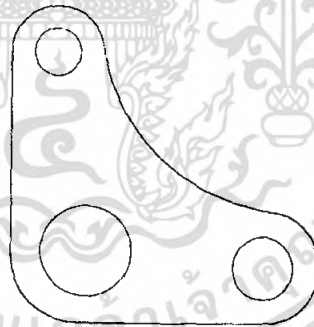
$$k^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (2.11)$$

2.4.2 เงื่อนไขขอบเขตและเงื่อนไขเริ่มต้น

เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition) หมายถึง เงื่อนไขที่กำหนดให้ที่ขอบเขตของปัญหานั้น โดยทั่วไปในทางปฏิบัติแล้ว เงื่อนไขขอบเขตสามารถจำแนกได้เป็น 2 แบบ คือ

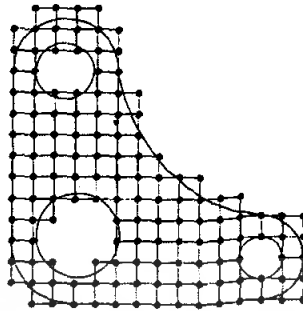
- เงื่อนไขแบบดิริคเลต (Dirichlet Condition) เป็นเงื่อนไขของการกำหนดตัวแปรตาม u ที่ขอบเขต เช่น การกำหนดอุณหภูมิที่ปลายแท่งโลหะ เป็นต้น
- เงื่อนไขแบบนอยมันน์ (Neumann Condition) เป็นเงื่อนไขของการกำหนดค่าอนุพันธ์อันดับหนึ่งของตัวแปรตาม u ที่ขอบเขตนั้น นั่นคือ กำหนด $\frac{\partial u}{\partial x}$

ส่วนเงื่อนไขเริ่มต้น (Initial Condition) หมายถึงเงื่อนไขที่กำหนดให้ในตอนเริ่มต้นของการแก้ปัญหา นั่นคือ เงื่อนไขที่เวลา $t = 0$

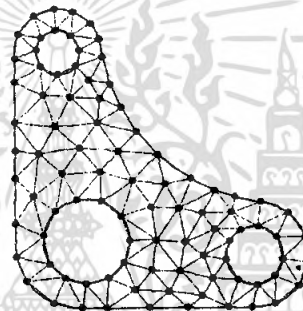


รูปที่ 2.12 แผ่นโลหะที่เป็นตัวอย่างปัญหาที่จะวิเคราะห์

โดยทั่วไปแล้ว สมการเชิงอนุพันธ์ย่อยเหล่านี้ต่างอยู่ในรูปแบบที่แตกต่างกัน และจำเป็นต้องแก้ด้วยระเบียบวิธีที่ต่างกัน ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขที่ใช้แก้สมการเชิงอนุพันธ์ย่อย อาจแบ่งได้เป็น 2 ระเบียบวิธีใหญ่ๆ คือ ระเบียบวิธีผลต่างสืบเนื่อง (Finite Difference Method) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.5 และระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) ซึ่งแสดงดังรูป 2.6



รูปที่ 2.13 การจำลองแผ่นโลหะด้วยตารางสี่เหลี่ยมเพื่อวิเคราะห์ด้วย
ระเบียบวิธีผลต่างสืบเนื่อง



รูปที่ 2.14 การจำลองแผ่นโลหะด้วยเอลิเมนต์เพื่อการวิเคราะห์ด้วย
ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ในการแก้ปัญหาใดปัญหาหนึ่ง โดยปกติแล้วปัญหานั้นจะประกอบด้วยสมการเชิงอนุพันธ์ที่สอดคล้องกัน รวมทั้งเงื่อนไขขอบเขตและเงื่อนไขเริ่มต้นที่เหมาะสม ค่าของผลเฉลยแม่นยำซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่แท้จริงของปัญหาดังกล่าว จะประกอบด้วยค่าของตัวแปรที่มีขนาดต่างๆ กันและเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งต่างๆ ของรูปร่างปัญหานั้นหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ค่าผลเฉลยแม่นยำจะประกอบด้วยค่าต่างๆ ทั้งหมดนับจำนวนอนันต์ค่า แทนที่จะทำการหาค่าแม่นยำที่ประกอบด้วยค่าจำนวนต่างๆ ดังกล่าวซึ่งสำหรับปัญหาในทางปฏิบัติจะทำได้ หลักการก็คือทำการเปลี่ยนค่าแม่นยำทั้งหมดที่มีจำนวนอนันต์ค่านี้มาเป็นค่าโดยประมาณที่มีจำนวนที่นับได้ (Finite) ด้วยการแบ่งรูปร่างลักษณะของปัญหานั้นออกเป็นเอลิเมนต์ (Element) ซึ่งมีขนาดต่างๆ กัน เรียกว่า ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

วิธีการดังกล่าวนี้บอกเป็นนัยว่า ผลเฉลยโดยประมาณของแต่ละเอลิเมนต์นั้นจำเป็นต้องสอดคล้อง (Satisfy) กับสมการเชิงอนุพันธ์เงื่อนไขต่างๆ ที่กำหนดมาให้สำหรับปัญหานั้นๆ ซึ่งหมายความว่า หลักการของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะเริ่มต้นจากการพิจารณาแต่ละเอลิเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

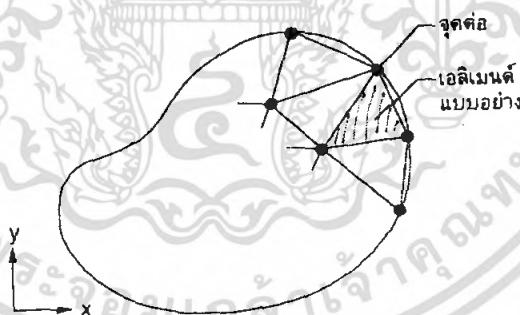
แล้วทำการสร้างสมการสำหรับแต่ละเอลิเมนต์ โดยสมการที่สร้างขึ้นมานั้นจำเป็นต้องสอดคล้องกับสมการเชิงอนุพันธ์ของปัญหาที่พิจารณาอยู่นั้น จากนั้นจึงนำสมการของแต่ละเอลิเมนต์ที่สร้างขึ้นมาได้นี้มาประกอบกันเข้า ก่อให้เกิดระบบสมการชุดใหญ่ ซึ่งความหมายทางกายภาพของการทำเช่นนี้ ก็คล้ายกับการนำทุกๆ เอลิเมนต์มาประกอบรวมกันเข้า ก่อให้เกิดรูปร่างลักษณะของปัญหาทั้งหมด จากนั้นจึงทำการประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดมาให้มันลงในระบบสมการชุดใหญ่ แล้วจึงทำการแก้ระบบสมการทั้งหมด ก่อให้เกิดผลเฉลยโดยประมาณที่ต้องการตามตำแหน่งต่างๆ ของรูปร่างปัญหานั้น

จะเห็นได้ว่า ความเที่ยงตรงของผลเฉลยโดยประมาณที่คำนวณมาได้นั้น จะขึ้นอยู่กับขนาดและจำนวนเอลิเมนต์ที่ใช้ในการแก้ปัญหานั้น

2.4.3 ขั้นตอนทั่วไปของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ประกอบด้วยขั้นตอนใหญ่ๆ ทั้งหมด 6 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

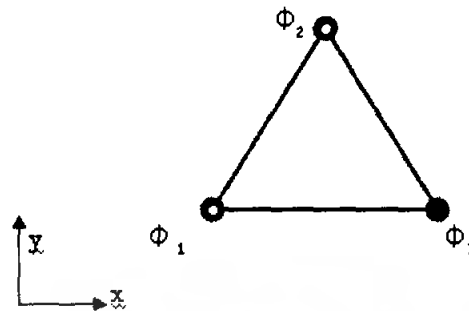
1. การแบ่งรูปร่างของปัญหาที่ต้องการหาผลลัพธ์ออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ ขอบเขตดังกล่าวอาจเป็นขอบเขตของปัญหาชนิดต่างๆ กัน เช่น ปัญหาการเสียดรูปและความเค้นที่เกิดขึ้นในของแข็ง ปัญหาการถ่ายเทความร้อนในของแข็งหรือของเหลว หรือปัญหาของการไหลของของเหลว เป็นต้น



รูปที่ 2.15 การแบ่งรูปร่างของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ขนาดเท่าๆ กัน

2. การเลือกฟังก์ชันการประมาณภายในเอลิเมนต์ (Element Interpolation Functions) เช่น เอลิเมนต์แบบสามเหลี่ยมในสองมิติ เอลิเมนต์ดังกล่าวประกอบด้วย 3 จุดต่อที่มีหมายเลข 1, 2 และ 3 ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 เอลิเมนต์สามเหลี่ยมที่ประกอบด้วย 3 จุดต่อและตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อ

โดยจุดต่อเหล่านี้ เป็นตำแหน่งของตัวไม่รู้ค่า (Nodal Unknown) ซึ่งก็คือ ϕ_1 , ϕ_2 และ ϕ_3 ตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อเหล่านี้ อาจแทนขนาดของการเสียดรูป แทนค่าของอุณหภูมิ หรือแทนค่าของความเร็วของของเหลว เป็นต้น ลักษณะการกระจายของตัวไม่รู้ค่าบนเอลิเมนต์นี้สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันการประมาณภายในและตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อได้ดังนี้

$$\phi(x, y) = N_1(x, y)\phi_1 + N_2(x, y)\phi_2 + N_3(x, y)\phi_3 \quad (2.12)$$

(2.13)

โดยที่ $N_i(x, y)$, $i = 1, 2, 3$ แทนฟังก์ชันการประมาณภายในเอลิเมนต์ สมการ (6) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\phi(x, y) = \begin{bmatrix} N_1 & N_2 & N_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} N \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi \end{Bmatrix} \quad (2.13)$$

(1x3) (3x1)

โดยที่ $[N]$ แทนเมตริกซ์แนวนอน (Row Matrix) ของฟังก์ชันการประมาณภายในเอลิเมนต์และ $\{\phi\}$ แทนเวกเตอร์เมตริกซ์หรือเมตริกซ์แนวตั้ง (Column Matrix) ที่ประกอบด้วยตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อของเอลิเมนต์นั้น

3. การสร้างสมการของเอลิเมนต์ (Element Equations) เช่น สมการของเอลิเมนต์สามเหลี่ยมดังนี้

$$\begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{Bmatrix} \quad (2.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเขียนย่อได้เป็น

$$[K]_e \{\phi\}_e = \{F\}_e \quad (2.15)$$

โดยครรชนีล่าง e แสดงถึงเมตริกซ์ต่างๆ นั้นเป็นเมตริกซ์ระดับเอลิเมนต์ สำหรับขั้นตอนนี้อาจถือได้ว่าเป็นหัวใจของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งสมการของเอลิเมนต์ดังกล่าว จำเป็นต้องถูกสร้างขึ้นมาให้สอดคล้องกับสมการเชิงอนุพันธ์ของปัญหานั้นๆ ซึ่งพบว่า สมการของเอลิเมนต์นี้สามารถประดิษฐ์ได้โดยตรงจากสมการเชิงอนุพันธ์ โดยการประยุกต์ระเบียบวิธีการถ่วงน้ำหนักเศษตกค้าง (Method of Weighted Residuals) ซึ่งถูกจัดได้ว่าเป็นระเบียบวิธีที่นิยมใช้ในการประยุกต์กับปัญหาต่างๆ ในปัจจุบัน

4. การนำสมการที่ประดิษฐ์ขึ้นได้จากทุกๆ เอลิเมนต์มาประกอบรวมกันเข้าก่อให้เกิดระบบสมการ (System of Equations) ขนาดใหญ่ขึ้น ดังนี้

$$\sum (Element Eq) \Rightarrow [K]_{sys} \{\phi\}_{sys} = \{F\}_{sys} \quad (2.16)$$

โดยตัวห้อย sys บ่งบอกถึงเมตริกซ์นั้นๆ เป็นเมตริกซ์ของระบบสมการรวม

5. การประยุกต์เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions) ลงในระบบสมการ จากนั้นจึงแก้ระบบสมการนี้เพื่อหา $\{\phi\}_{sys}$ อันประกอบด้วยตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อ

6. การคำนวณค่าที่ต่อเนื่องอื่นๆ หลังจากคำนวณค่าที่จุดต่อจากขั้นตอนที่ 5 ออกมาได้แล้ว เช่น หลังจากที่เราทราบการเคลื่อนตัวของการเสวยรูปในของแข็งก็สามารถคำนวณค่าความเครียดและความเค้นได้ เป็นต้น

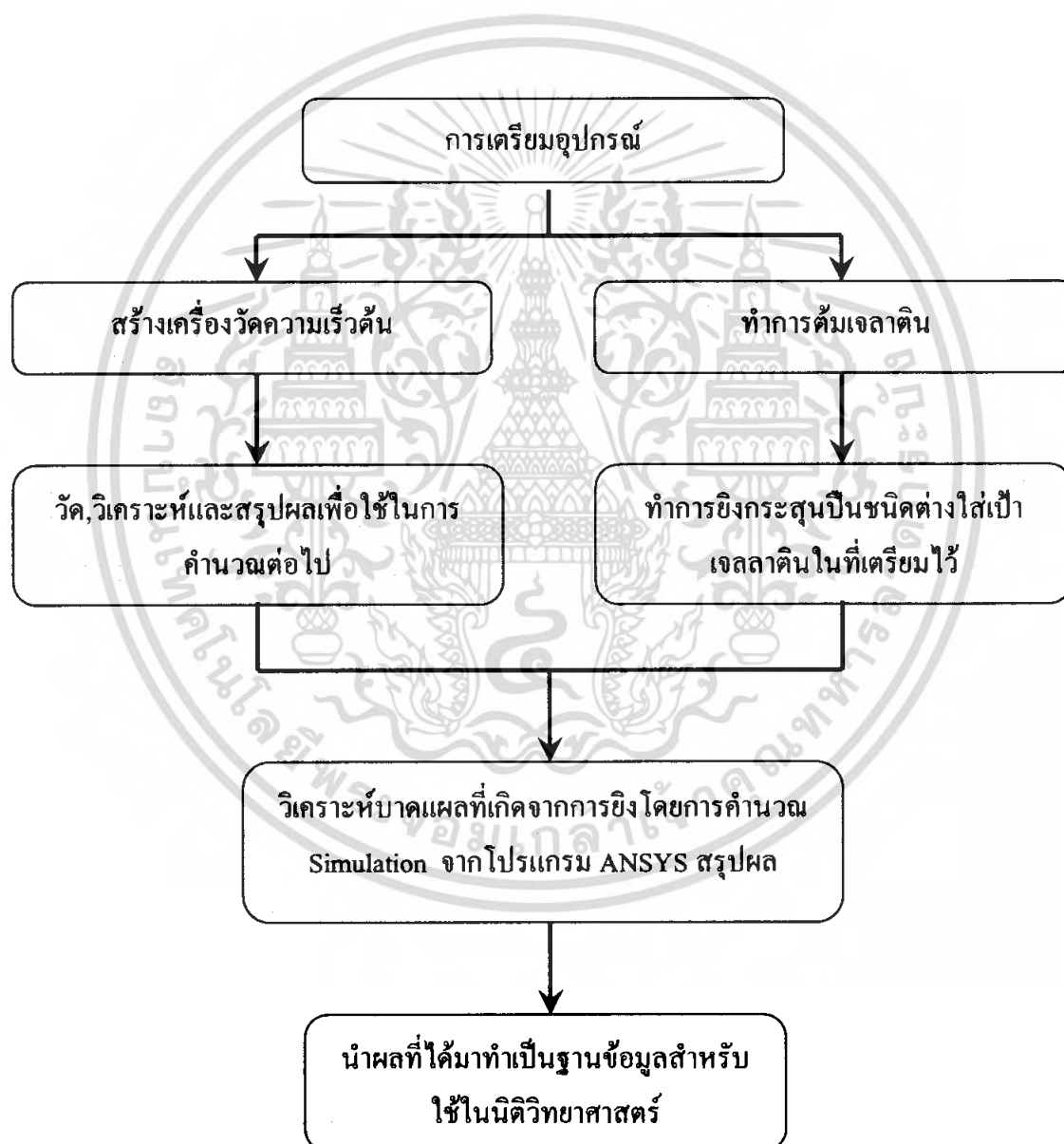
จากขั้นตอนทั้ง 6 ขั้นตอนนี้ จะเห็นได้ว่า ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นระเบียบวิธีที่มีแบบแผนเป็นขั้นเป็นตอน โดยมีหัวใจที่สำคัญคือการสร้างสมการของเอลิเมนต์ (ขั้นตอนที่ 3) ให้สอดคล้องกับสมการเชิงอนุพันธ์ของปัญหาที่กำหนดมาให้

81592

บทที่ 3

วิธีขั้นตอนการดำเนินโครงการพิเศษ

ขั้นตอนการดำเนินโครงการพิเศษการวิเคราะห์บาดแผลและวิถีกระสุนสำหรับนิติวิทยาศาสตร์สามารถสรุปขั้นตอนทั้งหมดเป็นไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 3.1



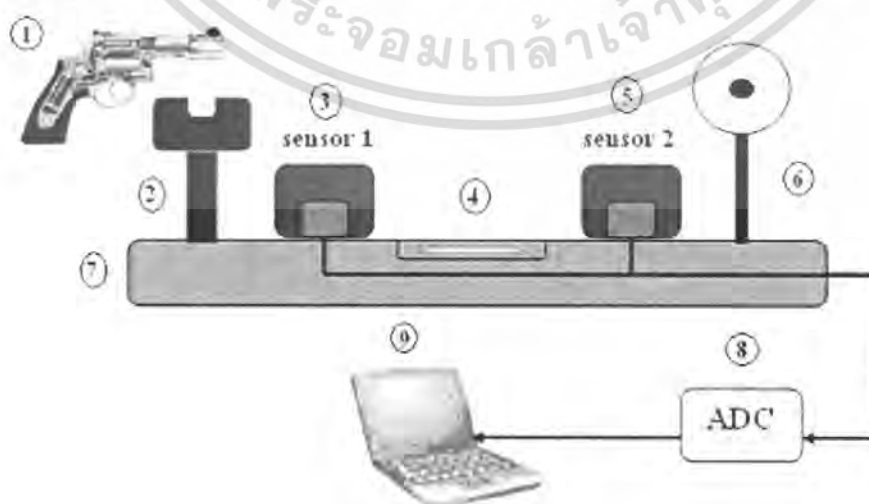
รูปที่ 3.1 ไดอะแกรมขั้นตอนการดำเนินโครงการพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการนำเนินโครงการพิเศษเริ่มจากการเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำเครื่องวัดความเร็วต้นและการทำการดัดเจลาตินเมื่อทำการเตรียมอุปกรณ์เสร็จแล้ว ในขั้นตอนแรกเราจะทำการสร้างเครื่องวัดความเร็วต้น เพื่อหาความเร็วของกระสุนปืนที่ใช้ยิงในงานวิจัยนี้ จากนั้นทำการดัดเจลาติน(Gelatin) ของบริษัทแอปเปิล ไซเอ็นทิฟิค จำกัด เป็นเจลาตินชนิดพิเศษที่ใช้ในการทดสอบการยิง โดยความหนาแน่นของเจลาตินชนิดนี้ จะมีค่าใกล้เคียงกับความหนาแน่นของกล้ามเนื้อมนุษย์มากและหลังจากดัดเจลาตินเสร็จตามขั้นตอนต่างๆแล้ว นำเจลาตินนี้มาเป่าการยิงในลักษณะต่างๆ หลังจากนั้นนำขนาดแผลที่เกิดจากการยิงในลักษณะต่างๆมาทำการวิเคราะห์และคำนวณ Simulation จากโปรแกรม ANSYS และสรุปผลเพื่อนำมาทำเป็นฐานข้อมูลสำหรับนิติวิทยาศาสตร์ไว้ใช้ประโยชน์ต่อไป

3.1 เครื่องวัดความเร็วต้นของกระสุนปืน

การทำโครงการพิเศษการวิเคราะห์ขนาดแผลและวิถีกระสุนสำหรับนิติวิทยาศาสตร์ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบความเร็วต้นของกระสุนปืนที่ถูกยิงออกมา เพื่อนำความเร็วที่ได้จากกระสุนนั้นไปคำนวณในสมการที่ 2.1 ซึ่งมีหลักการหาความเร็วต้นดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยเราจะทำการยิงกระสุนปืนที่ต้องการทราบความเร็วผ่านไปยังเซนเซอร์ ทั้ง 2 ตัว ซึ่งในการยิงนั้นผู้ที่ทำการยิงจะต้องมีความแม่นยำสูงอย่างมาก เพื่อให้กระสุนที่ยิงวิ่งตัดผ่านเซนเซอร์ทั้ง 2 ตัว และอ่านค่าออกมา จากนั้นก็จะทำการแปลงสัญญาณที่ได้มาจากเซนเซอร์ ทั้ง 2 ตัว โดยใช้ ADC เป็นตัวแปลงสัญญาณและส่งสัญญาณที่ผ่านการแปลงสัญญาณแล้วเข้าสู่คอมพิวเตอร์ เพื่อทำการคำนวณหาความเร็วต้นของกระสุนปืน โดยใช้โปรแกรม Lab-View และประมวลผลที่ได้ออกมา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.2 แสดงส่วนประกอบต่างๆของเครื่องวัดความเร็วต้น
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 ส่วนประกอบของเครื่องวัดความเร็วต้น

1. อาวุธปืน ซึ่งอาวุธปืนที่ใช้ในการยิงนั้นจะต้องอยู่ในสภาพที่ดี
2. แท่นสำหรับวางปืน มีไว้สำหรับทำให้ในการวัดหาความเร็วต้นของกระสุนปืนแต่ละครั้ง มีจุดยิงที่ตำแหน่งเดียวกัน และยังเพิ่มความแม่นยำในการยิงกระสุนปืนผ่านเซ็นเซอร์ทั้ง 2 ตัวอีกด้วย
3. เซ็นเซอร์ตัวที่ 1 ที่ใช้ในการวัดความเร็วต้นของกระสุนปืน เป็นโฟโต้ไดโอดเซ็นเซอร์ ซึ่งต้องมีความเร็วในการอ่านค่าสูงมาก และมีเลนส์ของกล้องถ่ายรูปที่สามารถปรับขนาดของรูรับแสงได้ ตั้งครอบไว้บนเซ็นเซอร์ซึ่งจะต้องตั้งเลนส์กล้องให้อยู่ตรงกลางของเซ็นเซอร์พอดีเพื่อความแม่นยำในการวัดความเร็วของกระสุนปืน โดยในงานวิจัยนี้ใช้เซ็นเซอร์ Photodiode Sensor FDS100
4. เครื่องวัดระดับน้ำ มีไว้เพื่อวัดระดับในพื้นที่ต่าง ๆ กัน ที่เรานำอุปกรณ์ไปตั้งเพื่อทำการวัด ซึ่งจะต้องตั้งในพื้นที่ที่มีความเรียบมากๆ และเท่ากันทุกที่ที่ทำการวัด เพื่อทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการวัดน้อยที่สุด
5. เซ็นเซอร์ตัวที่ 2 ใช้ในการวัดความเร็วต้นของกระสุนปืน เป็น Photodiode Sensor เหมือนกับตัวแรกที่ได้อธิบายไปในข้อที่ 2
6. เป้าที่ใช้ในการยิง มีไว้เพื่อความแม่นยำในการยิงและลดข้อผิดพลาดจากการวัดให้มีค่าน้อยที่สุด
7. ฐานที่ใช้ในการวางอุปกรณ์ ซึ่งต้องมีความเรียบ และความแข็งแรงสูง เพื่อให้ในการวางอุปกรณ์นั้นมีความเรียบสูง
8. ADC analog to digital เป็นเครื่องแปลงสัญญาณที่ได้จากเซ็นเซอร์ทั้ง 2 ตัวและ ส่งสัญญาณที่ได้จากการแปลงแล้วไปยังคอมพิวเตอร์ โดยในงานวิจัยนี้ใช้เครื่อง DAQ USB-6229 เป็น ADC
9. คอมพิวเตอร์ทำหน้าที่เป็นเครื่องประมวลผลโดยการคำนวณหาค่าความเร็วของกระสุนปืน โดยใช้โปรแกรม Lab-view และแสดงผลที่ได้ออกมา

3.1.2 ข้อควรระวังในการทำการวัดความเร็วต้น

1. ในการทำการวัดความเร็วต้นนั้น บริเวณที่ทำการวัดจะต้องมีแสงสว่างที่เพียงพอ
2. ในการวางตำแหน่งอุปกรณ์ต่างๆบนฐานนั้น ต้องวางให้ตรงที่สุด เพื่อลดข้อผิดพลาด
3. ในขณะที่ทำการวัดห้ามทำให้เกิดการสั่นสะเทือนของเครื่องมือ เนื่องจากจะทำให้เกิดการผิดพลาดเกิดขึ้นในการทดลอง
4. อาวุธปืนและ กระสุนที่นำมาทำการทดลองต้องอยู่ในสภาพที่เก็บรักษาไว้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เจลาติน (Gelatin)

เจลาติน ของบริษัทแอปเปิล ไซเอ็นทิฟิค จำกัด เป็นเจลาตินชนิดพิเศษที่ใช้ในการทดสอบการยิง โดยความหนาแน่นของเจลาตินชนิดนี้จะมีค่าใกล้เคียงกับความหนาแน่นของกล้ามเนื้อมนุษย์ โดยทั่วไปเจลาตินยี่ห้ออื่น ๆ ในท้องตลาดจะเป็นเจลาตินในลักษณะของอาหารเป็นส่วนมาก แต่เมื่อไม่กี่สัปดาห์ที่ผ่านมา เราได้ทำการศึกษาถึงเจลาตินที่ใช้ทำอาหารเหล่านั้นว่าสามารถที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับงานทางด้านวิทยาศาสตร์ได้ โดยมีค่า Viscosity เป็นค่าที่ใช้ในการวัดเวลาแข็งตัวและการหลอมตัวของเจลาติน สำหรับเจลาตินที่ใช้ในการทดสอบยิงจะมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 46 mps. สำหรับเจลาตินที่การทำอาหารมีอยู่ที่ 42 บวกลบ 4 mps. ซึ่งเจลาตินที่มีค่า 42 นี้ไม่สามารถที่จะนำมาใช้ในการทดสอบได้

จากการทดสอบ โดยการนำเจลาตินออกจากช่องแช่แข็งมาวางไว้ภายนอกที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 20 นาที และทดสอบโดยการนำมาวางไว้ในห้องเดิมแต่ทำการปรับอุณหภูมิให้ลดต่ำลง ผลปรากฏว่าค่าแคลิเบรทของเจลาตินมีความแข็งตัวที่ดีกว่าการวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าความร้อนของสภาพอุณหภูมิแวดล้อมมีผลต่อการใช้เจลาตินในการทดสอบ ดังนั้นข้อควรปฏิบัติเมื่อจะทำการทดสอบ การที่จะทำการทดสอบในห้องทดสอบที่มีการควบคุมอุณหภูมิ เพื่อให้เจลาตินที่ใช้ทดสอบมีค่าแคลิเบรทที่ถูกต้อง เพราะไม่เช่นนั้นแล้วอาจทำให้เกิดความผิดพลาดได้



รูปที่ 3.3 แสดงผงเจลาติน ก่อนตัด



รูปที่ 3.4 แสดง เจลาติน ที่ตัดเสร็จแล้ว



รูปที่ 3.5 แสดง เจลาติน ที่นำไปใช้เป็นเป้าในการยิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้เห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับเจลลาติน

- สภาพอากาศโดยรอบอาจจะทำให้เกิดฟองในเจลลาตินในขณะที่ทำการผสม
- ความแข็งของเจลลาตินจะลดลงเมื่อตั้งอยู่ในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน
- เจลลาตินสามารถวางในหม้อแล้วคัมในความร้อน
- เจลลาตินจะละลายในน้ำด้วยอุณหภูมิ 113 องศาฟาเรนไฮต์
- เจลลาตินจะมีสีเหลืองอำพันเมื่อละลายแล้ว

3.2.2 วิธีการผสมใช้งานเจลลาติน ขนาด 20 ปอนด์

1. ใ้ เจลลาติน จำนวน 2 ปอนด์ใส่ลงไปลงในถุงแบบที่มีซิปล็อกขนาด 1 แกลลอน (ประมาณ 5 ลิตร)
2. ใ้ น้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จำนวน 4 ปอนด์ (ประมาณ 1.8144 กก.) ลงไปแล้วคนให้ละลาย
3. ทำการปิดปากถุงทันทีเพื่อป้องกันไม่ให้อากาศเข้า เนื่องจากหากโดนอากาศจะทำให้ เจลลาติน แข็งตัวภายใน 10 นาที (หากยังไม่ใช้งานภายใน 2 ชั่วโมง ใ้ นำ เจลลาติน ที่ผสมแล้ว นั้นเก็บไว้ในช่องแช่แข็ง อายุการใช้งานของ เจลลาติน ที่ผสมแล้วและเก็บไว้ในช่องแช่แข็ง จะเก็บได้ประมาณ 72 ชั่วโมง)
4. คัม น้ำร้อนจำนวน 15 ปอนด์ (ประมาณ 6.8040 กก.) เพื่อเตรียมไว้ใช้ในขั้นตอนต่อไป
5. เตรียมถังขนาด 5 แกลลอน (ประมาณ 25 ลิตร) แบบมีฝาปิด เพื่อใ้ผสม เจลลาติน กับน้ำ ร้อน
6. นำถัง (ยกเว้นฝา) ไปชั่งน้ำหนักแล้วจดบันทึกน้ำหนักของถังไว้
7. นำ เจลลาติน ที่ผสมไว้แล้วจากขั้นตอนที่ 2 เทลงในถังที่เตรียมไว้
8. เติม de-foamer จำนวน 2.5 มิลลิลิตร ลงในถังในขั้นตอนที่ 7
9. นำถังไปชั่งและเติมน้ำร้อนที่เตรียมไว้ในขั้นตอนที่ 4 อย่างระมัดระวัง โดยเทลงไป ประมาณ 14 ปอนด์ (ประมาณ 6.3504 กก.) จนกระทั่งได้น้ำหนักรวมของ เจลลาติน ที่ 20 ปอนด์ (ประมาณ 9.0720 กก.) (อย่าลืมบวกน้ำหนักของถังเข้าไปด้วย)
10. คนช้าๆ ประมาณ 30 วินาที ปิดฝา ทำการคนซ้ำอีกเป็นเวลา 30 วินาที ทุกๆ 15 นาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็นอีกประมาณ 4 ชั่วโมง
11. หลังจากตั้งทิ้งไว้ 4 ชั่วโมงจน เจลลาติน เย็นตัวแล้ว ค่อยๆเทลงแบบพิมพ์ช้าๆเสร็จแล้ว นำเข้าช่องแช่แข็ง ในกรณีที่ใ้ช่องแช่แข็งของผู้เย็นที่ใ้ตามบ้าน เจลลาติน จะใ้เวลาในการ เซตตัวประมาณ 72 ชั่วโมง จึงจะสามารถใ้ใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตใ้นำไปใ้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิใ้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใ้

ในระหว่างการแช่เจลาติน ในช่องแช่แข็งนั้นไม่ควรที่จะเปิดปิดตู้เย็นบ่อยครั้ง เพราะจะทำให้อุณหภูมิในช่องแช่แข็งไม่เย็นพอที่จะทำให้เจลาติน เซตตัว ถ้าหากต้องการให้เจลาติน ใช้ระยะเวลาในการเซตตัวน้อยลง อาจจำเป็นที่จะต้องใช้ตู้แช่แบบพิเศษที่สามารถทำความเย็นได้ดีกว่าช่องแช่แข็งของตู้เย็นตามบ้าน โดยตู้แช่แบบพิเศษนี้จะใช้เวลา 36 ชั่วโมง ในการทำให้เจลาติน เซตตัว (ถ้าหากขนาดของเจลาติน มีขนาดใหญ่ขึ้นเวลาที่ใช้ในการเซตตัวก็จะนานขึ้น เช่น เจลาติน ขนาด 80 ปอนด์ (ประมาณ 36.2880 กก.) จะใช้เวลาในการเซตตัวประมาณ 96 ชั่วโมง)

3.2.3 วิธีการผสมเร็ว

ในขั้นตอนที่ 8 ให้เติมน้ำร้อนลงไปจนถึง 13 ปอนด์ (ประมาณ 5.8968 กก.) แล้วคนให้เข้ากันทันที จนเจลาติน ละลาย ทำตามขั้นตอนที่ 10 และ 11 จนครบเวลา 1 ชั่วโมง จะได้เจลาติน ที่ละลายเข้ากันดีแล้วหลังจากนั้นเติมเกร็ดน้ำแข็งลงไป 1 ปอนด์ คนจนกระทั่งน้ำแข็งละลายแล้วเทลงบนแบบพิมพ์และนำเข้าช่องแช่แข็งตามขั้นตอนที่ 12

3.3 การจำลองแบบด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม ANSYS

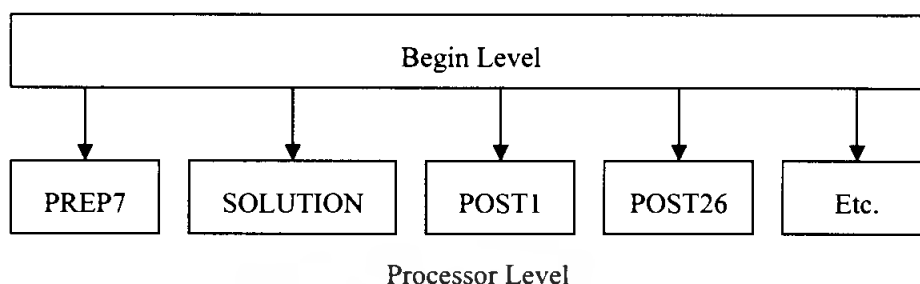
ANSYS เป็นโปรแกรมวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สามารถใช้งานได้แทบทุกสาขาในงานทางด้านวิศวกรรม ทั้งการวิเคราะห์โครงสร้าง การส่งผ่านความร้อน การวิเคราะห์ของไหล และปัญหาทางไฟฟ้าแม่เหล็ก เป็นต้น นอกจากงานทางด้านวิศวกรรมแล้ว โปรแกรม ANSYS ยังถูกนำไปประยุกต์ใช้กับงานอื่นอีกหลากหลาย เช่น อุตสาหกรรมอวกาศ อุตสาหกรรมยานยนต์ Biomedicals อุตสาหกรรมเครื่องมือหนัก ระบบเครื่องกลไฟฟ้าอุตสาหกรรม รวมถึงอุปกรณ์กีฬา เป็นต้น



รูปที่ 3.6 โปรแกรม ANSYS

โปรแกรม ANSYS สามารถแบ่งออกเป็น 2 ระดับอย่างง่าย ๆ ได้แก่ Begin Level และ Processor Level เมื่อเปิดโปรแกรมมาจะอยู่ที่ Begin level ซึ่งที่ระดับนี้สามารถทำการจัดการกับฐานข้อมูลและไฟล์ของระบบได้ อีกทั้งสามารถเข้าถึง ANSYS Processor ใดๆ ได้ Processor คือ ส่วนที่รวบรวม Functions และ Routines ที่ใช้ในการแก้ปัญหาที่จำเพาะเจาะจงใดๆ ดังรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 การจัดการของโปรแกรม ANSYS

โดยทั่วไปแล้ว ขั้นตอนในการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม ANSYS จะแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนใหญ่ๆ ดังนี้

3.3.1 เป็นการตัดสินใจขั้นพื้นฐานก่อนเริ่มทำการวิเคราะห์ (Preliminary Decisions)

3.3.1.1 การวิเคราะห์รูปแบบของปัญหา

ก่อนเริ่มทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้น เราจะต้องรู้ก่อนว่าปัญหาที่เราจะทำการวิเคราะห์นั้นเป็นปัญหาชนิดใด ซึ่งโปรแกรม ANSYS นั้นได้ทำการแบ่งปัญหาที่สามารถทำการวิเคราะห์ออกเป็น 5 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่

- Structure เป็นการวิเคราะห์ปัญหาทางโครงสร้าง ซึ่งเกี่ยวกับการเสถียรภาพ ความเค้น ความเครียด
- Thermal เป็นการวิเคราะห์ปัญหาทางความร้อน ซึ่งเกี่ยวกับการส่งผ่านความร้อนและการกระจายอุณหภูมิ
- Electromagnetic เป็นการวิเคราะห์ปัญหาทางด้านไฟฟ้าและแม่เหล็ก ซึ่งเกี่ยวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และความต่างศักย์
- Fluid เป็นการวิเคราะห์ปัญหาทางของไหล ซึ่งเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของทั้งอากาศและของเหลว
- Coupled field เป็นการวิเคราะห์ปัญหาหลายๆ ชนิดข้างต้นร่วมกัน

3.3.1.2 การวิเคราะห์ปัญหาของโครงสร้าง

ก่อนที่จะเริ่มต้นทำการวิเคราะห์ปัญหาจริงๆ นั้น เราจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์โครงสร้างที่จะทำการวิเคราะห์ว่ามีลักษณะสมมาตรหรือไม่ การที่โครงสร้างที่จะวิเคราะห์มีลักษณะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมาตรแล้ว เราสามารถทำการวิเคราะห์เฉพาะส่วนที่เป็นสมมาตรนั้น เพื่อให้ได้โครงสร้างของปัญหาที่จะทำการจำลองง่ายที่สุด

3.3.1.3 การเลือกเอลิเมนต์ที่เหมาะสม

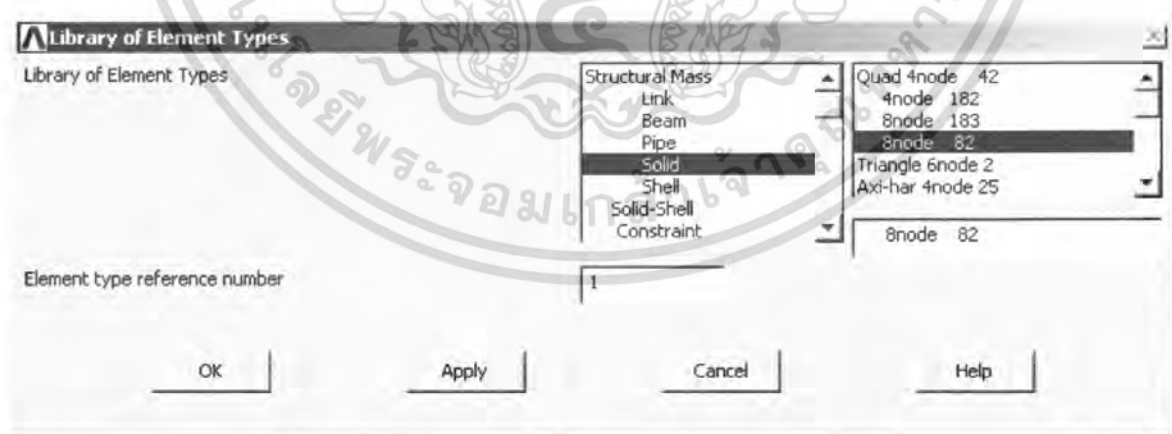
อีกขั้นตอนหนึ่งก่อนการทำการวิเคราะห์นั้น จำเป็นที่จะต้องเลือกชนิดของเอลิเมนต์ให้เหมาะสมกับปัญหานั้นๆ โดยเอลิเมนต์แต่ละชนิดนั้น ก็มีความยืดหยุ่นที่แตกต่างกันออกไป

3.3.2 การจัดรูปแบบ (Preprocessing) ประกอบด้วยคำสั่งที่จำเป็นสำหรับการสร้างแบบจำลอง

3.3.2.1 การกำหนดรูปแบบ และสิทธิในการเลือก (Define element type and option)

เป็นการระบุชนิดของเอลิเมนต์และทางเลือกต่างๆ ที่จะใช้ในการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 3.8 โดยโปรแกรม ANSYS ได้จัดเตรียมเอลิเมนต์ไว้มากกว่า 150 ชนิด ไว้เพื่อการวิเคราะห์ปัญหาต่างๆ การเลือกชนิดของเอลิเมนต์ที่ถูกต้องเป็นส่วนสำคัญในกระบวนการวิเคราะห์ ในโปรแกรม ANSYS แต่ละชนิดของเอลิเมนต์จะถูกระบุด้วย category name ตามด้วย number หลายๆ เอลิเมนต์ใน ANSYS จะมีทางเลือกที่อนุญาตให้แก้ไขข้อมูลเพิ่มเติมได้ในการวิเคราะห์ ซึ่งเรียกว่า keyoptions ซึ่งการกำหนดชนิดของเอลิเมนต์และทางเลือกต่างๆ ได้จาก

Main menu: **Preprocessor > Element Type > Add/Edit/Delete**



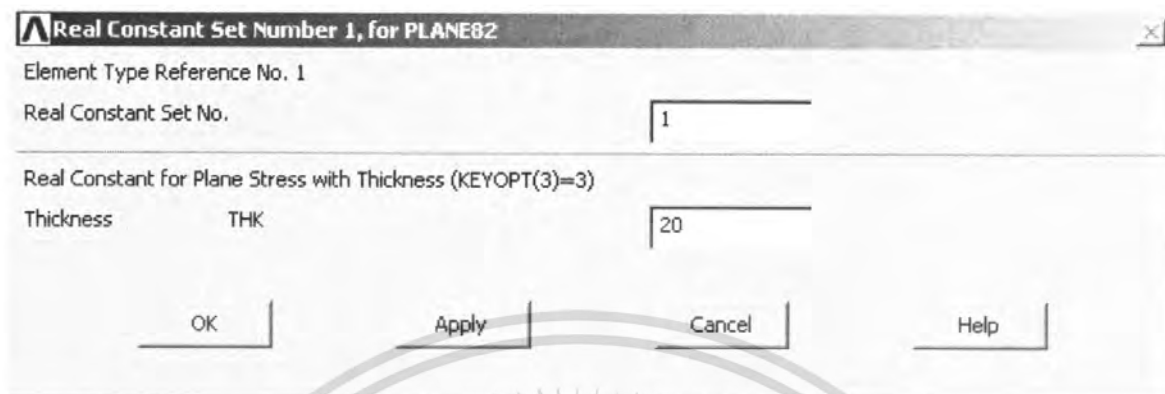
รูปที่ 3.8 การระบุชนิดของเอลิเมนต์และทางเลือกต่างๆ

3.3.2.2 การกำหนดค่าขององค์ประกอบที่คงที่ (Define element real constants)

เป็นการระบุปริมาณที่จำเพาะสำหรับเอลิเมนต์ แต่ไม่ทุกเอลิเมนต์ที่ต้องการค่า real constant โดยค่า real constant นั้นสามารถกำหนดด้วยคำสั่ง

Main menu: **Preprocessor > Real Constant > Add/Edit/Delete**

ไม่ว่าการมีได้... (The text is partially obscured and difficult to read, but it appears to be a continuation of the text from the previous block.)

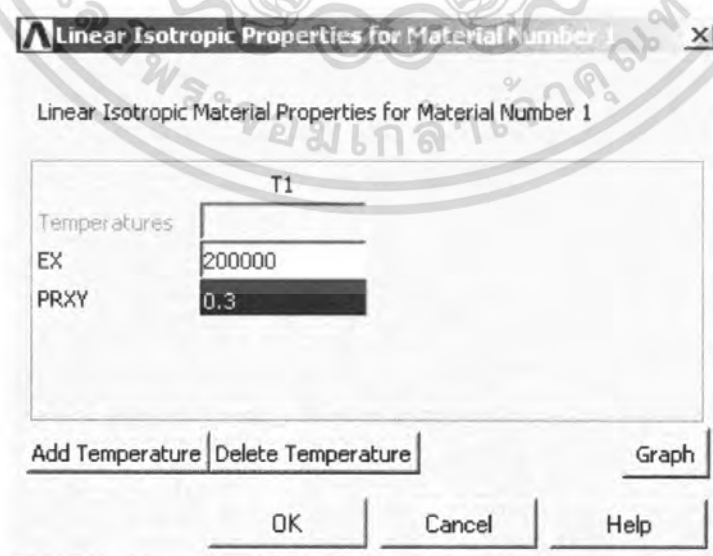


รูปที่ 3.9 การระบุปริมาณที่จำเพาะสำหรับเอลิเมนต์

3.3.2.3 การกำหนดลักษณะของวัสดุ (Define material properties)

เป็นการกำหนดคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุดังรูปที่ 3.10 ยกตัวอย่างเช่น สำหรับปัญหาโครงสร้างของแข็ง จะต้องทำการกำหนดค่า modulus of elasticity, Poisson's ratio, ความหนาแน่นของวัสดุ, ค่าความนำไฟฟ้าและค่าความร้อนจำเพาะ ซึ่งการกำหนดคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ นั้นสามารถกำหนดด้วยคำสั่ง

Main menu: **Preprocessor** > **Material Props** > **Material Models**



รูปที่ 3.10 การกำหนดคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.4 การสร้างแบบจำลองในรูปแบบของเรขาคณิต (Create model geometry)

ในการสร้างแบบจำลองหนึ่งๆ จะประกอบไปด้วยส่วนประกอบเล็กๆดังรูปที่3.11 อันได้แก่ keypoint, เส้น, พื้นที่ และปริมาตร โดยปริมาตรจะมีนัยสำคัญสูงสุดโดยปริมาตรเกิดขึ้นจากการปิดล้อมของพื้นที่ พื้นที่เกิดจากการปิดล้อมของเส้น และเส้นเกิดจาก Keypoint โดย Keypoint จะมีนัยสำคัญ ค่ำที่สุด

Main menu: **Preprocessor > Modeling**



รูปที่ 3.11 การสร้างแบบจำลอง

3.3.2.5 การกำหนดและควบคุมการทำงานร่วมกัน (Define mesh controls)

หลังจากที่เราทำการสร้างโครงสร้างของปัญหานั้นๆ เสร็จแล้ว ขั้นตอนต่อมาที่จะเริ่มทำการแบ่งโครงสร้างออกเป็นจุดและเอลิเมนต์ โดยกระบวนการนี้เรียกว่า Meshing โดยที่เราสามารถกำหนดคุณลักษณะของการ Meshing ดังรูปที่3.12 อันได้แก่

- องศาแห่งความอิสระ Degree of freedom (DOF) ได้แก่ การกระจัด, อุณหภูมิ, แรง
- รูปร่างของเอลิเมนต์ ได้แก่สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม บล็อก Tetrahedral เป็นต้น
- Dimensionary : 2D, 3D, line, shell

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเราสามารถกำหนดคุณลักษณะของเอลิเมนต์ได้จากคำสั่ง

Main menu: **Preprocessor > Meshing > Meshtool**



รูปที่ 3.12 การกำหนดคุณลักษณะของการ Meshing

3.3.2.6 การทำงานร่วมกันกับโครงสร้างที่กำหนด (Mesh the object created)

หลังจากที่เราได้กำหนดคุณลักษณะของการ Meshing ไว้แล้ว ขั้นตอนต่อมาก็คือการแบ่งโครงสร้างจริงๆ โดยที่โปรแกรม ANSYS สามารถทำการสร้างจุดและเอลิเมนต์อย่างง่ายได้เองโดยใช้คำสั่ง

Main menu: **Preprocessor > Meshing > Mesh > Areas > Free** ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 วิธีการแก้ปัญหา (Solution) ประกอบด้วย คำสั่งที่ใช้ในการใส่เงื่อนไขขอบเขตและโหลด และการคำนวณให้ได้มาซึ่ง nodal solutions

3.3.3.1 การกำหนดการบรรจุเงื่อนไข (Define loads and conditions)

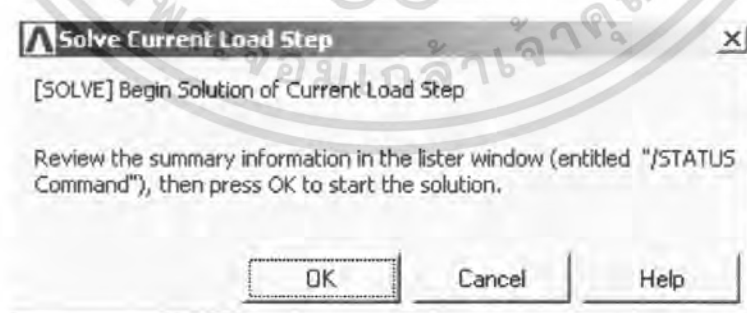
ขั้นตอนถัดมาของการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ก็คือการใส่โหลดหรือเงื่อนไขต่างๆ โดยสามารถใส่โหลดเข้าไปที่โครงสร้าง (จุด เส้นหรือพื้นที่) หรือใส่โหลดเข้าไปโดยตรงที่จุดหรือเอลิเมนต์ก็ได้ โดยโปรแกรม ANSYS ได้แบ่งโหลดและเงื่อนไขต่างๆ ออกเป็น 5 ชนิด ดังนี้

- DOF (Degree of Freedom) Constraints เป็น โหลดคงที่ที่ใช้ในการวิเคราะห์
- Concentrate loads เป็น โหลดที่มีค่าคงที่แน่นอนและกระทำไปที่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง
- Surface loads เป็น โหลดที่มีลักษณะกระจายไปทั่วทั้งพื้นผิว
- Body loads เป็น โหลดที่เกี่ยวกับทางปริมาตร เช่น Internal heat generation
- Inertia Loads เป็น โหลดที่เกิดจากมวลอยู่ในสภาพเฉื่อย เช่น การเคลื่อนที่แบบหมุน

3.3.3.2 การแก้ปัญหาแบบสอดคล้อง (Solving to certain the solution)

หลังจากที่ทำการกำหนดเงื่อนไขและโหลดให้กับโครงสร้างแล้ว ขั้นตอนต่อมาคือ การให้โปรแกรม ANSYS ทำการคำนวณแก้ระบบสมการที่สอดคล้องกับปัญหานั้นๆ ดังรูปที่ 3.13 และ 3.14 โดยใช้คำสั่ง

Main menu: **Solution > Solve > Current LS**



รูปที่ 3.13 การให้โปรแกรม ANSYS ทำการคำนวณแก้ระบบสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 โปรแกรม ANSYS เตือนเมื่อคำนวณเสร็จแล้ว

3.3.4 ขั้นตอนสุดท้าย (Postprocessing) ประกอบด้วยคำสั่งที่ใช้สำหรับแสดงผลของการวิเคราะห์

3.3.4.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากไฟล์ผลลัพธ์ (Read result data from result file)

หลังจากที่โปรแกรมทำการคำนวณเพื่อแก้ระบบสมการที่สอดคล้องกับปัญหานั้นๆ แล้ว ยังไม่ได้แสดงผลการคำนวณออกมาทันทีแต่จะถูกนำไปเก็บไว้ในไฟล์ผลลัพธ์ ดังนั้นหากเราต้องการดูผลจากการวิเคราะห์จะต้องทำการสั่งให้โปรแกรม ANSYS อ่านไฟล์ผลลัพธ์นั้น โดยใช้คำสั่ง

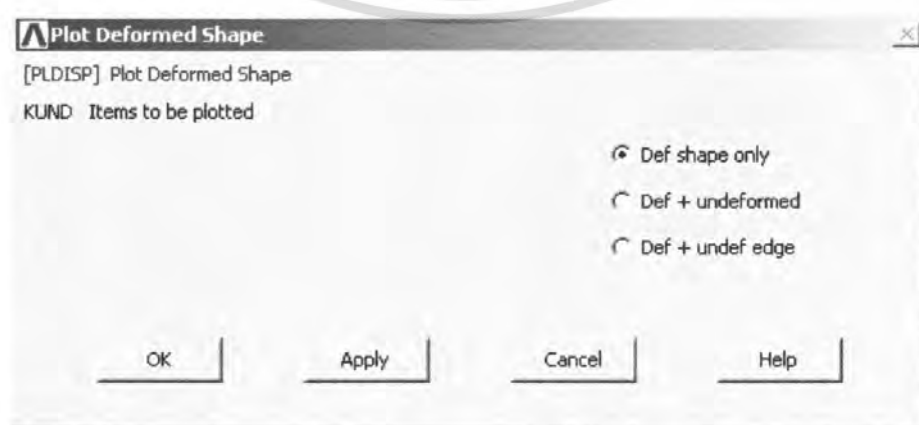
Main menu: **General Postproc > Read Results**

3.3.4.2 ผลลัพธ์ (Plot result)

ขั้นตอนนี้เป็นการแสดงผลที่เกิดขึ้นจากเงื่อนไขและโหลดที่ใส่เข้าไปให้กับโครงสร้าง โดยที่เราสามารถนำผลที่ได้จากการคำนวณมาทำการพล็อตออกมาเป็นรูปภาพเทียบกับโครงสร้างก่อนการใส่โหลดได้ โดยการพล็อตผลลัพธ์นี้สามารถทำได้ทั้งพล็อตการเสียรูปและพล็อตการกระจายของปริมาณใดๆ ในโครงสร้างก็ได้ ดังรูปที่ 3.15 และ 3.16 โดยใช้คำสั่ง

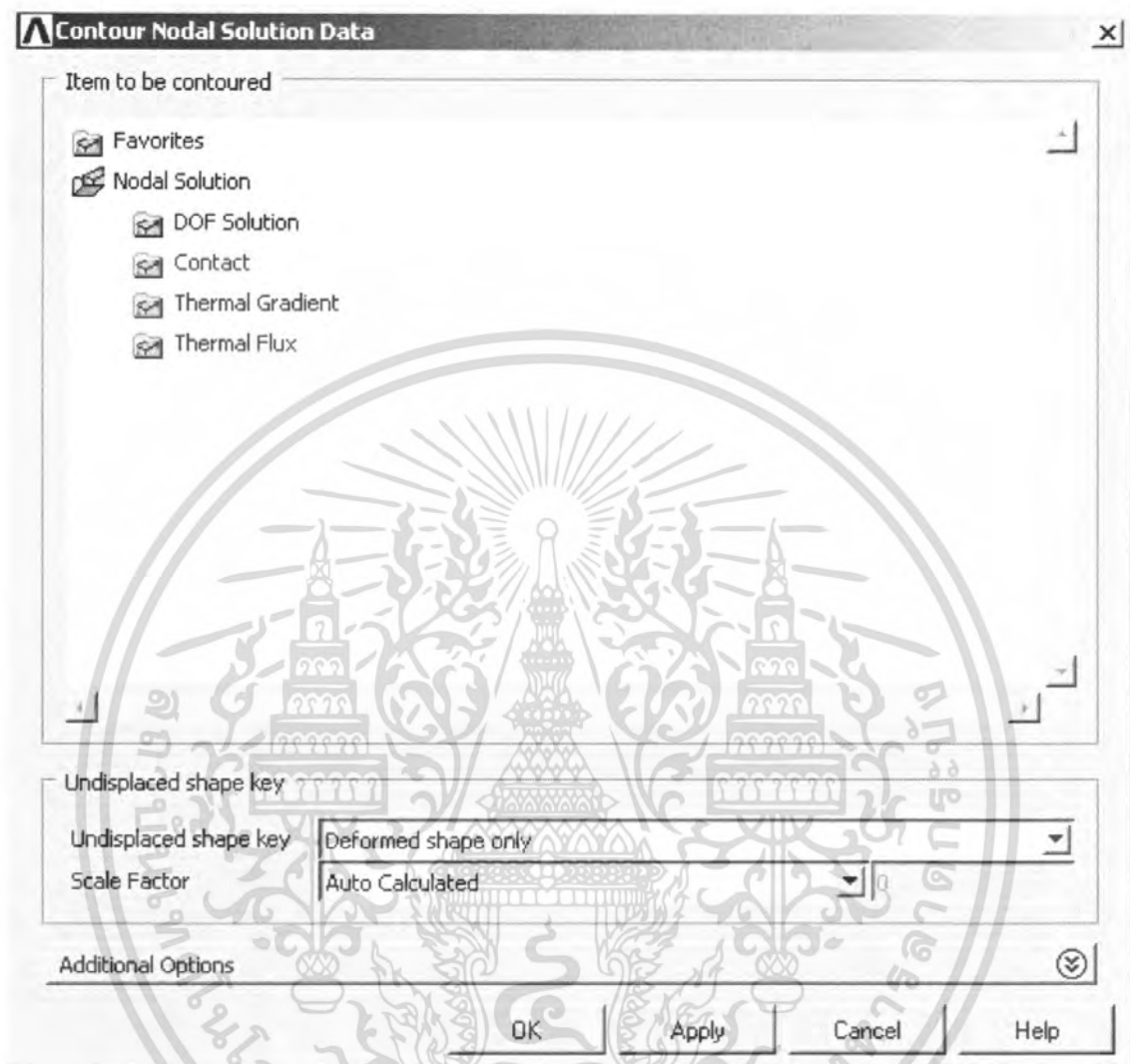
Main menu: **General Postproc > Plot Results > Deformed Shape**

Main menu: **General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Nodal Solution**



รูปที่ 3.15 การพล็อตการเสียรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 พล็อตการกระจายของปริมาณใดๆ

3.3.4.3 การแสดงของผลลัพธ์ (List result)

นอกจากการนำผลลัพธ์ที่ได้มาทำการพล็อตแล้วนั้น เรายังสามารถสั่งให้โปรแกรมทำการแสดงปริมาณใดๆ ออกมาในรูปแบบตัวอักษรและซึ่งมีการเรียงเป็นตาราง ดังรูปที่3.17 โดยใช้คำสั่ง

Main menu: General Postproc > List Results

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

PRNSOL Command
File

PRINT U  NODAL SOLUTION PER NODE

***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****

LOAD STEP= 1  SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000  LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN GLOBAL COORDINATES

  NODE      UX      UY      UZ      USUM
   1  0.0000  0.0000  0.0000  0.0000
   2 -0.24179E-01-0.10418E-02  0.0000  0.24201E-01
   3 -0.68230E-03-0.41305E-03  0.0000  0.79759E-03
   4 -0.12842E-02-0.64389E-03  0.0000  0.14366E-02
   5 -0.18093E-02-0.81397E-03  0.0000  0.19840E-02
   6 -0.23242E-02-0.91055E-03  0.0000  0.24962E-02
   7 -0.28695E-02-0.98862E-03  0.0000  0.30350E-02
   8 -0.34335E-02-0.10528E-02  0.0000  0.35913E-02
   9 -0.40194E-02-0.11111E-02  0.0000  0.41701E-02
  10 -0.46314E-02-0.11745E-02  0.0000  0.47780E-02
  11 -0.52769E-02-0.12549E-02  0.0000  0.54241E-02
  12 -0.59527E-02-0.13645E-02  0.0000  0.61071E-02
  13 -0.66617E-02-0.15150E-02  0.0000  0.68318E-02
  14 -0.73918E-02-0.17189E-02  0.0000  0.75890E-02
  15 -0.81405E-02-0.19853E-02  0.0000  0.83791E-02
  16 -0.88821E-02-0.23186E-02  0.0000  0.91797E-02
  17 -0.96012E-02-0.27075E-02  0.0000  0.99756E-02
  18 -0.10269E-01-0.31367E-02  0.0000  0.10738E-01
  19 -0.10858E-01-0.35539E-02  0.0000  0.11425E-01
  20 -0.11383E-01-0.39151E-02  0.0000  0.12038E-01
  21 -0.11818E-01-0.41627E-02  0.0000  0.12530E-01
  22 -0.12224E-01-0.42485E-02  0.0000  0.12941E-01
  23 -0.12631E-01-0.41627E-02  0.0000  0.13299E-01
  24 -0.13067E-01-0.39208E-02  0.0000  0.13642E-01
  25  0.13534E-01  0.29543E-02  0.0000  0.14048E-01
  26  0.13931E-01  0.29543E-02  0.0000  0.14418E-01
  27  0.14358E-01  0.29543E-02  0.0000  0.14752E-01
  28  0.14815E-01  0.29543E-02  0.0000  0.15050E-01
  29  0.15302E-01  0.29543E-02  0.0000  0.15312E-01
  30  0.15819E-01  0.29543E-02  0.0000  0.15538E-01
  31  0.16366E-01  0.29543E-02  0.0000  0.15728E-01
  32  0.16943E-01  0.29543E-02  0.0000  0.15882E-01
  33  0.17550E-01  0.29543E-02  0.0000  0.16000E-01
  34  0.18187E-01  0.29543E-02  0.0000  0.16082E-01
  35  0.18854E-01  0.29543E-02  0.0000  0.16128E-01
  36  0.19551E-01  0.29543E-02  0.0000  0.16138E-01
  37  0.20278E-01  0.29543E-02  0.0000  0.16102E-01
  38  0.21035E-01  0.29543E-02  0.0000  0.16020E-01
  39  0.21822E-01  0.29543E-02  0.0000  0.15892E-01
  40  0.22639E-01  0.29543E-02  0.0000  0.15718E-01
  41  0.23476E-01  0.29543E-02  0.0000  0.15498E-01
  42  0.24333E-01  0.29543E-02  0.0000  0.15232E-01
  43  0.25210E-01  0.29543E-02  0.0000  0.14920E-01
  44  0.26107E-01  0.29543E-02  0.0000  0.14562E-01
  45  0.27024E-01  0.29543E-02  0.0000  0.14158E-01
  46  0.27961E-01  0.29543E-02  0.0000  0.13708E-01
  47  0.28918E-01  0.29543E-02  0.0000  0.13212E-01
  48  0.29895E-01  0.29543E-02  0.0000  0.12670E-01
  49  0.30892E-01  0.29543E-02  0.0000  0.12082E-01
  50  0.31909E-01  0.29543E-02  0.0000  0.11448E-01
  51  0.32946E-01  0.29543E-02  0.0000  0.10768E-01
  52  0.34003E-01  0.29543E-02  0.0000  0.10042E-01
  53  0.35080E-01  0.29543E-02  0.0000  0.92700E-02
  54  0.36177E-01  0.29543E-02  0.0000  8.4492E-03
  55  0.37294E-01  0.29543E-02  0.0000  7.5792E-03
  56  0.38431E-01  0.29543E-02  0.0000  6.6582E-03
  57  0.39588E-01  0.29543E-02  0.0000  5.6862E-03
  58  0.40765E-01  0.29543E-02  0.0000  4.6642E-03
  59  0.41962E-01  0.29543E-02  0.0000  3.5922E-03
  60  0.43179E-01  0.29543E-02  0.0000  2.4702E-03
  61  0.44416E-01  0.29543E-02  0.0000  1.3082E-03
  62  0.45673E-01  0.29543E-02  0.0000  1.1062E-03
  63  0.46950E-01  0.29543E-02  0.0000  8.542E-04
  64  0.48247E-01  0.29543E-02  0.0000  5.522E-04
  65  0.49564E-01  0.29543E-02  0.0000  2.002E-04
  66  0.50891E-01  0.29543E-02  0.0000  0.0000E+00
  67  0.52238E-01  0.29543E-02  0.0000  0.0000E+00
  68  0.53605E-01  0.29543E-02  0.0000  0.0000E+00
  69  0.54992E-01  0.29543E-02  0.0000  0.0000E+00
  70  0.56409E-01  0.29543E-02  0.0000  0.0000E+00
  71  0.57946E-01  0.29543E-02  0.0000  0.0000E+00
  72  0.59503E-01  0.29543E-02  0.0000  0.0000E+00
  73  0.61080E-01  0.29543E-02  0.0000  0.0000E+00
  74  0.62677E-01  0.29543E-02  0.0000  0.0000E+00
  75  0.64294E-01  0.29543E-02  0.0000  0.0000E+00
  76  0.65931E-01  0.29543E-02  0.0000  0.0000E+00
  77  0.67588E-01  0.29543E-02  0.0000  0.0000E+00
  78  0.69265E-01  0.29543E-02  0.0000  0.0000E+00
  79  0.70962E-01  0.29543E-02  0.0000  0.0000E+00
  80  0.72679E-01  0.29543E-02  0.0000  0.0000E+00
  81  0.74416E-01  0.29543E-02  0.0000  0.0000E+00
  82  0.76173E-01  0.29543E-02  0.0000  0.0000E+00
  83  0.77950E-01  0.29543E-02  0.0000  0.0000E+00
  84  0.79747E-01  0.29543E-02  0.0000  0.0000E+00
  85  0.81564E-01  0.29543E-02  0.0000  0.0000E+00
  86  0.83391E-01  0.29543E-02  0.0000  0.0000E+00
  87  0.85238E-01  0.29543E-02  0.0000  0.0000E+00
  88  0.87105E-01  0.29543E-02  0.0000  0.0000E+00
  89  0.89092E-01  0.29543E-02  0.0000  0.0000E+00
  90  0.91099E-01  0.29543E-02  0.0000  0.0000E+00
  91  0.93126E-01  0.29543E-02  0.0000  0.0000E+00
  92  0.95173E-01  0.29543E-02  0.0000  0.0000E+00
  93  0.97240E-01  0.29543E-02  0.0000  0.0000E+00
  94  0.99327E-01  0.29543E-02  0.0000  0.0000E+00
  95  1.01434E-01  0.29543E-02  0.0000  0.0000E+00
  96  1.03561E-01  0.29543E-02  0.0000  0.0000E+00
  97  1.05708E-01  0.29543E-02  0.0000  0.0000E+00
  98  1.07875E-01  0.29543E-02  0.0000  0.0000E+00
  99  1.10062E-01  0.29543E-02  0.0000  0.0000E+00
 100 1.12269E-01  0.29543E-02  0.0000  0.0000E+00
  
```

รูปที่ 3.17 การแสดงปริมาณใดๆ

ออกมาในรูปแบบตัวอักษร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ภาพกิจกรรมในการทำการทดลอง

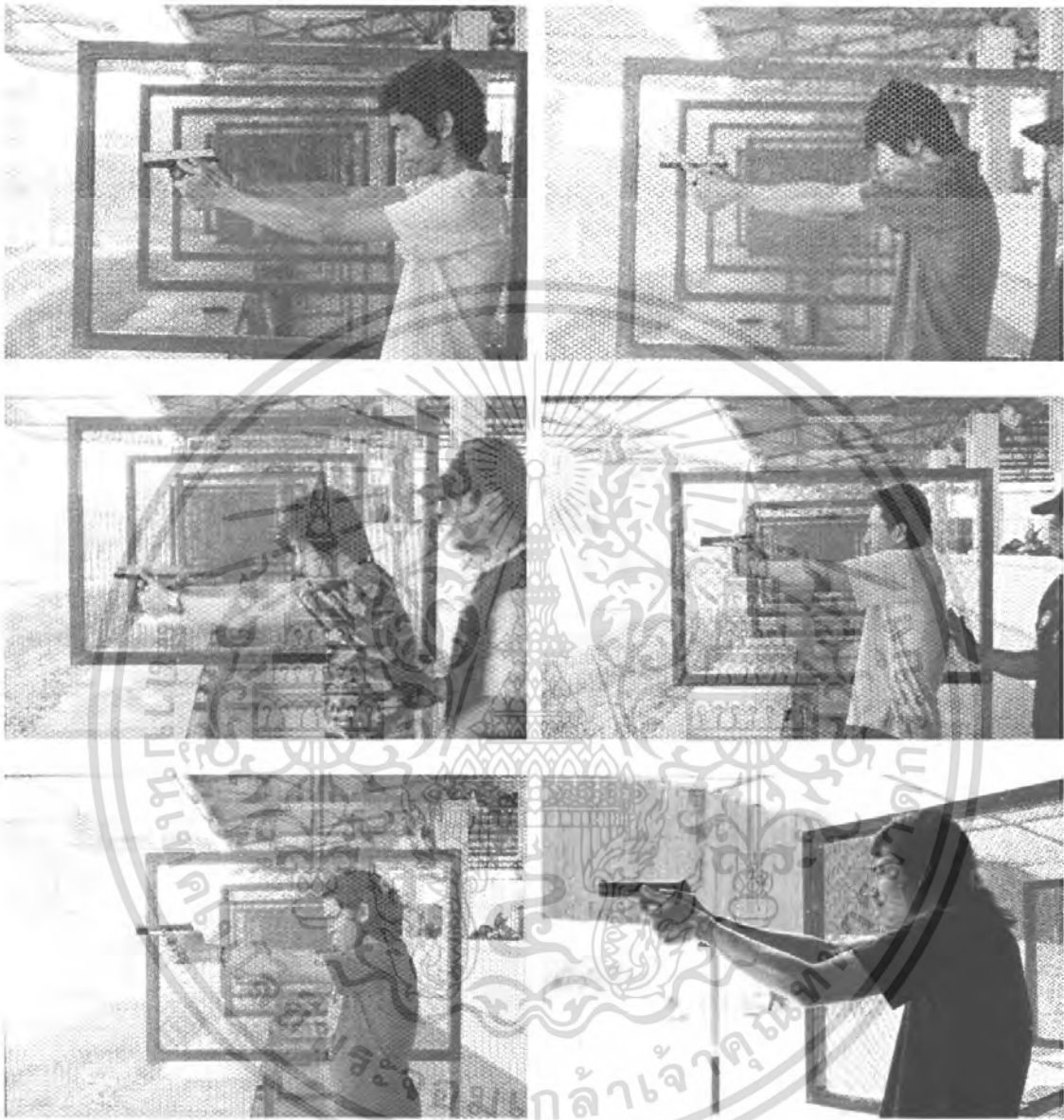


รูปที่ 3.18 ผู้ร่วมปฏิบัติงานที่สนามยิงปืนอุทัยธานี



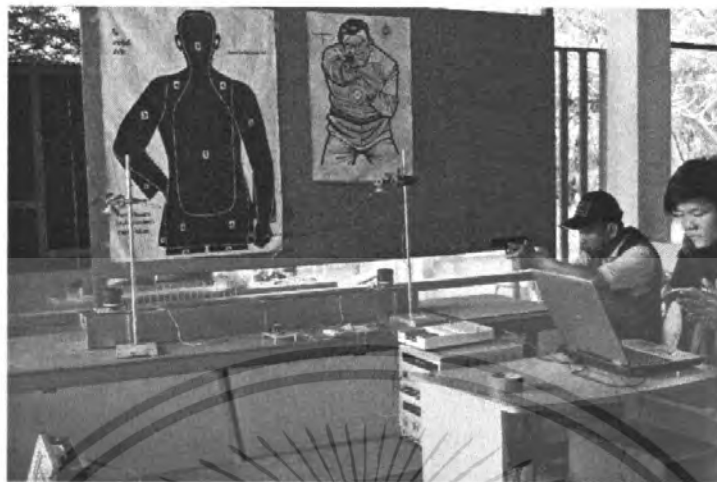
รูปที่ 3.19 บรรยากาศการเตรียมการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 การฝึกการใช้อาวุธปืนเบื้องต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก

รูปที่ 3.21 แสดงวิธีการวัดความเร็วเดินโดยผู้เชี่ยวชาญ

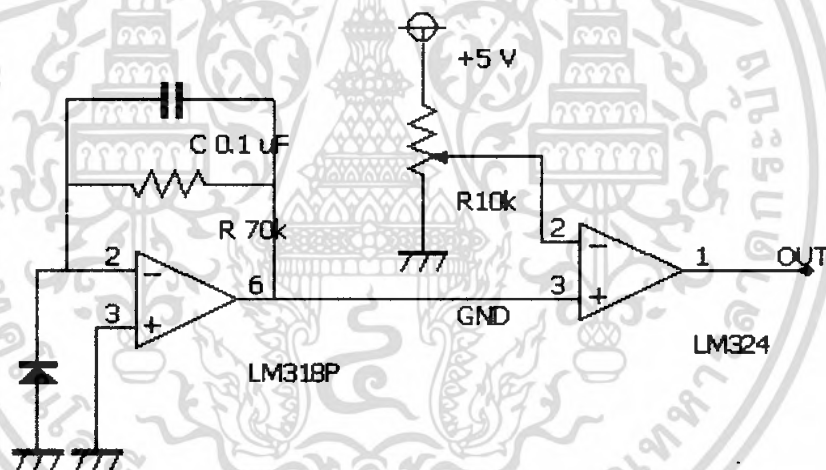
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การวัดความเร็วต้น

จากการที่ได้สร้างเครื่องวัดความเร็วต้นของกระสุนปืนขึ้นและทำการวัด โดยในขั้นต้นก่อนนำไปวัดความเร็วของกระสุนนั้น ได้มีการทดสอบว่าเครื่องมือที่สร้างขึ้นนั้นสามารถที่จะวัดความเร็วได้เร็วที่สุดเท่าไร มีความเร็วพอที่จะนำไปวัดความเร็วของกระสุนได้รีเปล่า และวงจรที่นำเซนเซอร์ มาต่อนั้นใช้ได้รีเปล่า ซึ่งเราได้นำเซนเซอร์ ไปต่อกับวงจรดังรูปที่ 4.1 เพื่อให้เซนเซอร์ ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น



รูปที่ 4.1 แสดงวงจรที่นำเซนเซอร์ไปต่อ

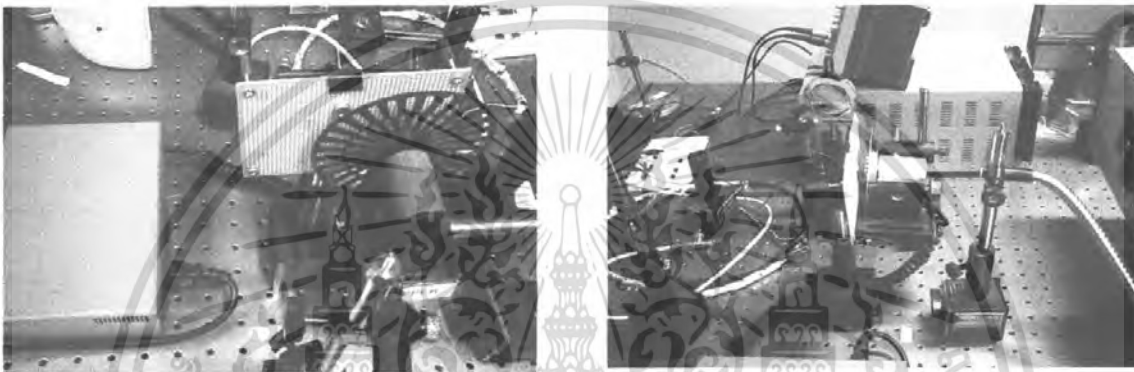
หลักการของวงจรมีดังนี้

1. เมื่อ Photodiode Sensor FDS 100 ได้รับแสง จะให้แรงดันไฟฟ้าออกมาค่าหนึ่ง
2. แรงดันไฟฟ้าที่ได้จะผ่าน Op-Amp LM318P เพื่อขยายสัญญาณ
3. สัญญาณที่ได้รับการขยายแล้วจะผ่าน Buffer LM324 เพื่อทำการเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันไฟฟ้า กับค่าที่เราได้ตั้งไว้ ถ้าสูงกว่า จะให้สัญญาณเป็น High ถ้าต่ำกว่าจะให้สัญญาณเป็น Low

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 การทดสอบ ความไวในการจับสัญญาณของ Photodiode Sensor FDS100

การทดสอบเซนเซอร์ นี้ ถือว่ามีความสำคัญมาก เพราะจะทำให้เราทราบว่าเซนเซอร์ ที่นำมาวัดความเร็วต้นของกระสุน มีความไวในการจับสัญญาณพอที่จะทำการวัดความเร็วต้นหรือเปล่า โดยทำการฉายแสงผ่านสลิตที่หมุนได้ลงบนเซนเซอร์ แล้วทำการปรับสลิตให้หมุนที่ความถี่ต่างๆ โดยไล่จากความถี่น้อยไปความถี่มาก เพื่อหาค่าความเร็วสูงสุดที่เซนเซอร์ จะสามารถจับสัญญาณได้ดังรูป



รูปที่ 4.2 แสดงการนำเซนเซอร์ไปทดสอบ

รูปที่ 4.3 แสดงการฉายแสงลงบนเซนเซอร์



รูปที่ 4.4 แสดงเอาต์พุตที่ได้จากการทดสอบ

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบ ความไวในการจับสัญญาณของ Photodiode Sensor FDS100

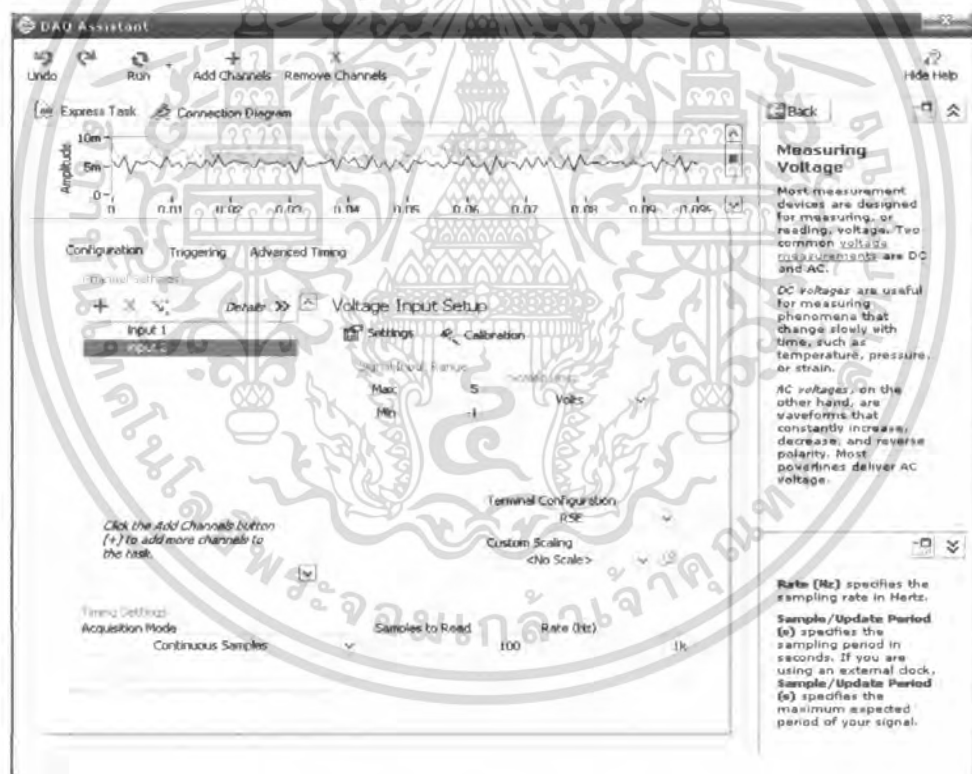
ความถี่ของสลิต (kHz)	Output ของ Sensor (kHz)	แปลงเป็นคาบเวลา 1/f (ms)	ความเร็วที่ได้ (m/s)
0.5	0.5	1/500	500
1.0	1.0	1/1000	1000
1.5	1.5	1/1500	1500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลอ้างอิง กระจกปืนมีความเร็วประมาณ 200 m/s - 500 m/s นั่นแปลว่าที่ 1 เมตร จะมีความเร็ว 1/500 s เมื่อหาค่าความถี่ออกมาจึงได้ $f = 1/t$ คือ 1 kHz เราจึงได้ทดลองกับเซนเซอร์ที่ความถี่ของสลิทที่หมุนเท่ากับ 0.5 kHz 1 kHz 1.5 kHz และผลที่ได้พบว่าเซนเซอร์ สามารถตอบสนองกับช่วงความถี่ดังกล่าวได้ ซึ่งเป็นความเร็วที่เพียงพอต่อการนำไปวัดความเร็วต้นของกระจกปืนขนาดต่างๆแล้ว

4.12 การประยุกต์ใช้โปรแกรม Lab-View

ในการวัดความเร็วต้นของกระจกปืน เราจะใช้ DAQ USB-6229 คู่กับ โปรแกรม Lab-View ในการรับค่าและประมวลผลออกความเร็วของกระจกออกมา



รูปที่ 4.5 แสดงฟังก์ชัน ของ DAQ ในการเลือกอินพุตรับค่าสัญญาณจากภายนอก

ในการรับค่าอินพุต เราจะต่อสัญญาณจากอุปกรณ์วัดความเร็วเข้ากับ DAQ ที่ Port Ai0 และ Ai1 โดยต่อ GND ร่วมเข้ากับวงจร จากรูปที่ 4.5 เป็นการเลือกสัญญาณเข้ามา 2 สัญญาณ และตั้งค่าช่วงของสัญญาณอินพุตที่เข้ามา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงไดอะแกรม ของอินพุตที่รับค่า โดยแสดงผลเป็นกราฟ

รูปที่ 4.7 การแสดงผลโดยโปรแกรม Lab-View

เส้นสีขาวคือสัญญาณของเซนเซอร์ ที่ 1 เส้นสีแดงเป็นสัญญาณของเซนเซอร์ตัวที่ 2

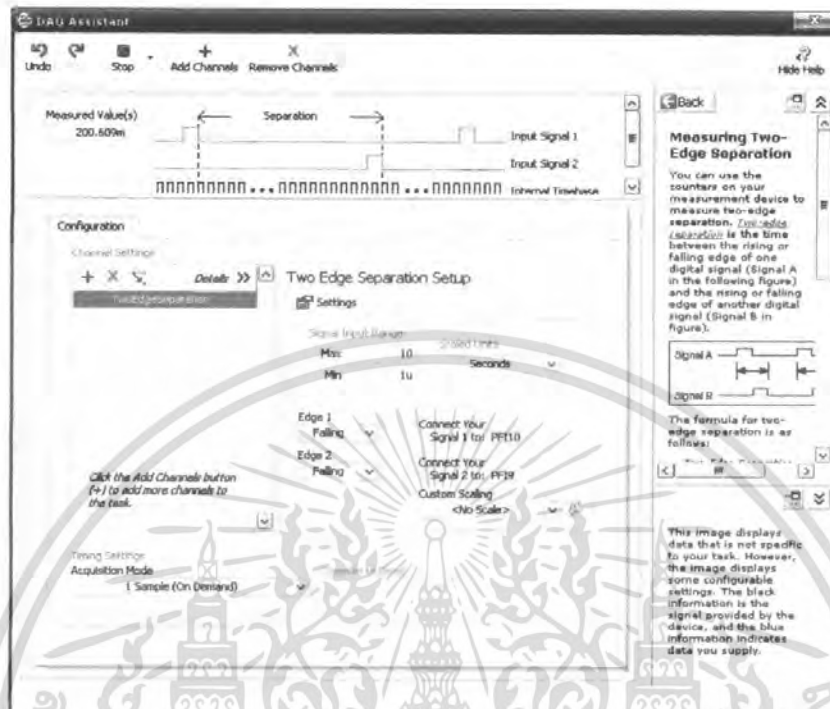
การหาค่าช่วงเวลาของกระสุนปืน เราจะให้ Counter ในโปรแกรม Lab-View ซึ่งใช้

ฟังก์ชัน ของ DAQ ในการตรวจจับ โดย DAQ จะรับสัญญาณจากเซนเซอร์ทั้ง 2 ตัว และทำการ

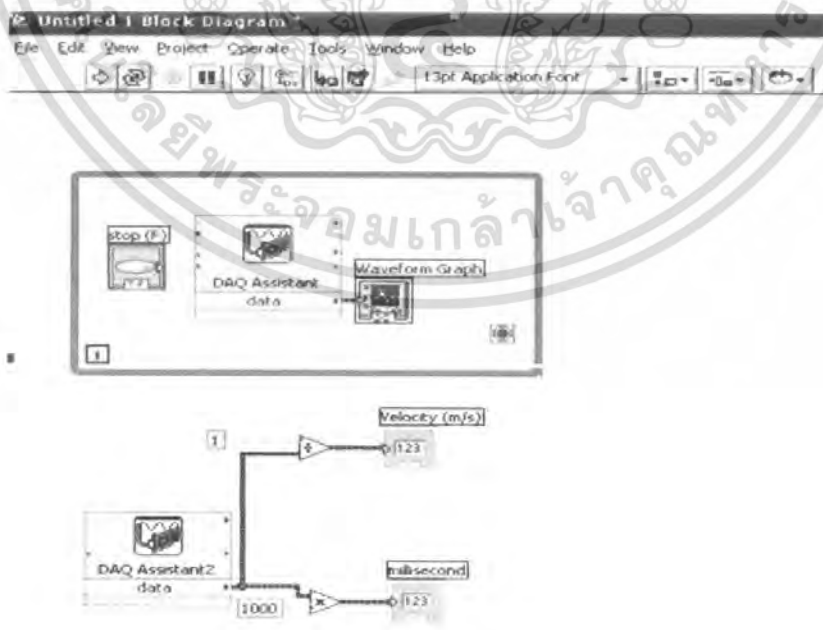
ประมวลผลออกมาเป็นเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

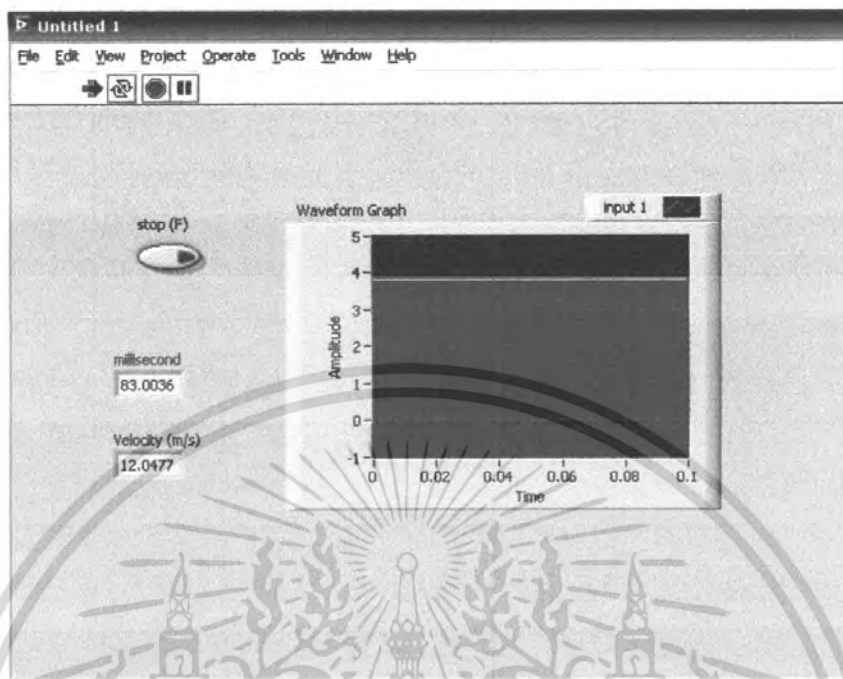
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เมื่อเราได้ค่าเวลาของสัญญาณจากเซนเซอร์ทั้ง 2 ตัวแล้ว เราก็สามารถหาความเร็วได้จากสมการที่ 2.1 โดยเราจะตั้งให้ Lab-View คำนวณ โดยเราจะสร้างฟังก์ชัน ดังรูปที่ 4.9 ซึ่งโปรแกรมจะคำนวณค่าออกมาให้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.9 แสดง โค้ดแกรม ของ โปรแกรมทั้งหมด ซึ่งจะ ให้ค่าทั้งช่วงเวลา และความเร็ว
 ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และตองอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 เมื่อเริ่ม โปรแกรม และทำการตัดสัญญาณที่เซนเซอร์ โปรแกรมก็จะคำนวณค่าออกมาให้

4.13 ผลการวัดความเร็วต้น

จากการทำการทดสอบในขั้นต้นเพื่อดูความไวในการจับสัญญาณของเซนเซอร์ ซึ่งผลการทดสอบที่ได้ ปรากฏว่า เราสามารถนำอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นนี้ ไปวัดความเร็วต้นของกระสุนได้



รูปที่ 4.11 แสดงอุปกรณ์วัดความเร็วต้น

แต่จากการนำอุปกรณ์ไปทดลองจริง ผลปรากฏยังไม่สามารถหาค่าความเร็วของกระสุนได้

เนื่องจาก ความผิดพลาดของอุปกรณ์ เช่น สายไฟ ขั้วต่อของเซนเซอร์กับวงจร การสั้นสะพานขั้ว
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งหามิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการยิง อุปกรณ์ต่างๆ ไม่มั่นคง และปริมาณความเข้ดแสงที่ไม่คงที่ ทำให้ค่าความเร็วต้นของกระสุนที่ได้มีความผิดพลาด ดังนั้นจึงได้นำค่าความเร็วต้นของกระสุนปืน จากเอกสารอ้างอิงอื่นๆ มาเสนอ เพื่อใช้ในการคำนวณในขั้นต่อไป

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าอ้างอิงความเร็วต้นของกระสุนปืน

รูป	ขนาด	ยี่ห้อ	น้ำหนัก		ความเร็วต้น	
			Grains	Grams	fps	m/s
	.380 FMJ	Bullet Master	95	6.156	955	291.084
	.380 Semi-Wadcutter FMJ	Winchester	94	6.0912	950	280.111
	.38 Super FMJ	Bullet Master	130	8.424	1250	381
	.45 ACP FMJ	Thai Arms	230	14.904	850	259.08
	9mm FMJ	Thai Arms	124	8.035	1150	342.9

จากตารางที่ 4.2 เป็นการแสดง ขนาดและค่าต่างๆ ของกระสุนที่ใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งค่าน้ำหนักของกระสุน โดยส่วนใหญ่แล้วจะบอกเป็นหน่วยของ Grains ซึ่งเราสามารถแปลงเป็นหน่วย

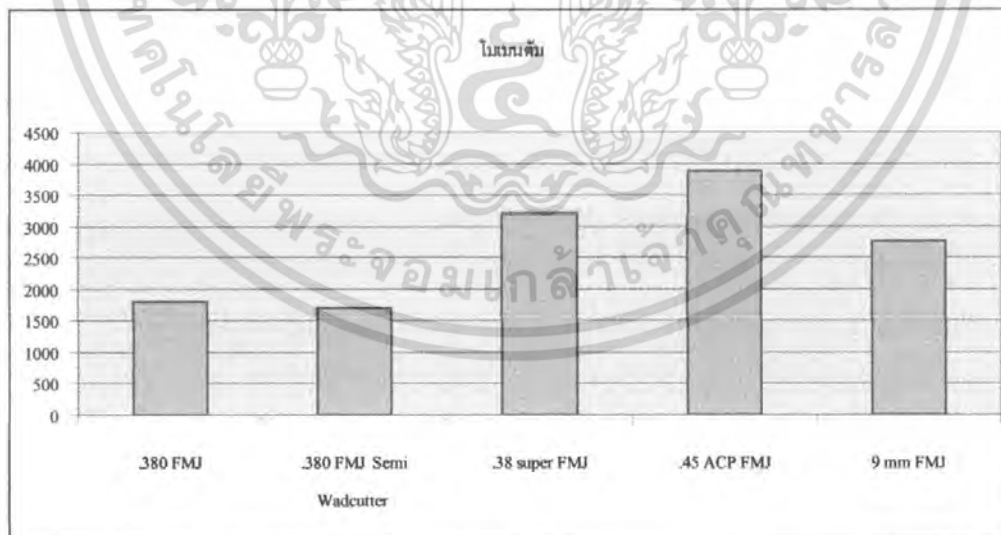
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของ Grams ได้โดย 1 Grains = 0.0648 Grams และค่าความเร็วต้นของกระสุนจะอยู่ในหน่วยของ fps ซึ่งเราสามารถแปลงเป็นหน่วยของ m/s ได้โดย 1fps = 0.3048 m/s ได้เช่นกัน

ดังนั้นเมื่อเราทราบถึงความเร็ว และมวลของกระสุนปืนแล้ว ทำให้เราสามารถคำนวณหา ค่าโมเมนตัมการชนของกระสุนแต่ละขนาดได้ จากสมการ $P = mv$

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าโมเมนตัมของกระสุนแต่ละขนาด

ลูกกระสุนปืน	โมเมนตัม (Kg m /s)
.380 FMJ	1.792
.380 Semi Wadcutter FMJ	1.706
.38 super FMJ	3.210
.45 ACP FMJ	3.869
9 mm FMJ	2.755



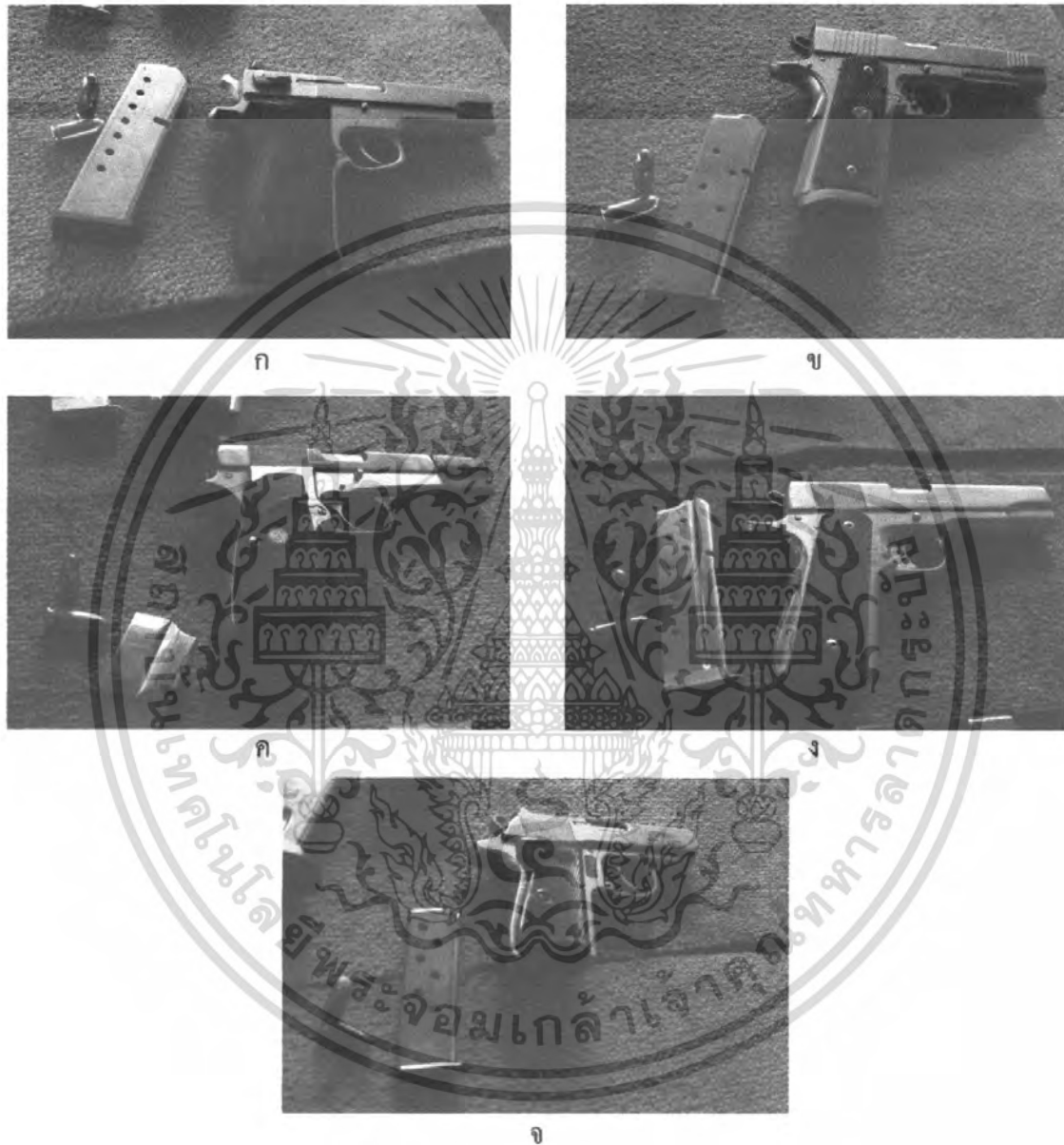
รูปที่ 4.12 แสดงกราฟแสดงค่าโมเมนตัมของกระสุนแต่ละขนาด

จากการคำนวณพบว่าลูกกระสุนขนาด .45 FMJ จะมีค่าโมเมนตัมมากที่สุด และลูกกระสุน

ขนาด .380 Semi Wadcutter FMJ จะมีค่าโมเมนตัมน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 อาวุธปืนที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.13 แสดงอาวุธที่ใช้ในการทดลอง

- ก. ปืน Smith & Wesson ลูกกระสุนปืน .45 ACP FMJ
- ข. ปืน Kimber ลูกกระสุนปืน .45ACP FMJ
- ค. ปืน Browning ลูกกระสุนปืน 9 mm FMJ
- ง. ปืน Colt ลูกกระสุนปืน .38 Super FMJ
- จ. ปืน Smith & Wesson รุ่น Walther ลูกกระสุนปืน .380 Auto FMJ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้และ 1380 Auto FMJ Semi-Wadcutter ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การต้มเจลลาติน

ในกระบวนการต้มเจลลาตินตามวิธีการในบทที่ 3 ผลที่ได้ก็จะปรากฏดังรูปที่ 4.13 และในกระบวนการต้มนั้นทำให้ทราบว่า การควบคุมอุณหภูมิในระหว่างการต้มนั้น มีความสำคัญมาก เพราะอาจทำให้การต้มครั้งนั้นล้มเหลวลงได้เลย ซึ่งจะทำให้เสียเวลามากเพราะว่ากว่าจะรู้ผลว่าการต้มนั้นได้ผลหรือไม่ ก็ต้องรอให้เจลลาตินเซตตัวประมาณ 72 ชั่วโมง ให้เสร็จเสียก่อน ดังนั้นต้องควบคุมอุณหภูมิให้ดีในระหว่างการต้ม และทำตามขั้นตอนในการต้มได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 4.14 แสดงเจลลาตินที่ต้มเสร็จแล้ว

4.4 การวิเคราะห์ห่าดแผล

ในขั้นตอนการทดลองนี้ เป็นการยิงกระสุนปืนชนิดต่างๆ ใส่เจลขนาด $6.25 \times 6.25 \times 15$ นิ้ว ที่เตรียมไว้เป็นจำนวน 4 นัด ในระยะประชิด และในระยะ 1 เมตร โดยทำการแบ่งครึ่งพื้นที่หน้าตัดของเจลลาติน และยิงด้านละ 2 นัด ซึ่งลูกแรกจะอยู่ด้านบน และลูกที่ 2 จะอยู่ด้านล่าง จากนั้นก็จะทำการวิเคราะห์ห่าดแผลที่เกิดขึ้นจากการยิงด้วยกระสุนขนาดต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.15 แสดงการยิงระยะประชิด



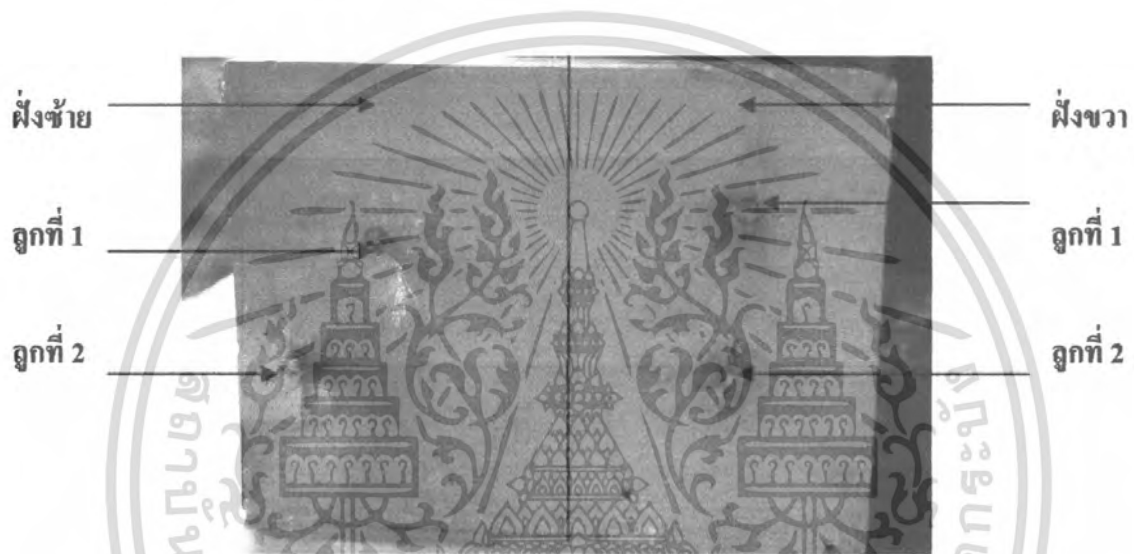
รูปที่ 4.16 แสดงการยิงระยะ 1 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นค่าเห็นว่าการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1 วิเคราะห์บาดแผลเข้าของกระสุนปืน

4.4.1.1 ผลของเจดลาดินที่ยิงด้วยลูกกระสุนปืนขนาด .45 ACP FMJ

ในการยิงด้วยลูกกระสุนปืนขนาด .45 ACP FMJ เข้าใส่เป้าเจดลาดิน โดยทางขวามือยิงด้วยปืน Smith & Wesson และทางซ้ายมือยิงด้วยปืน Kimber ในระยะประชิด ดังแสดงในรูปที่ 4.17 และในระยะ 1 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.17 ยิงด้วยลูกกระสุนปืนขนาด .45 ACP FMJ ในระยะประชิด

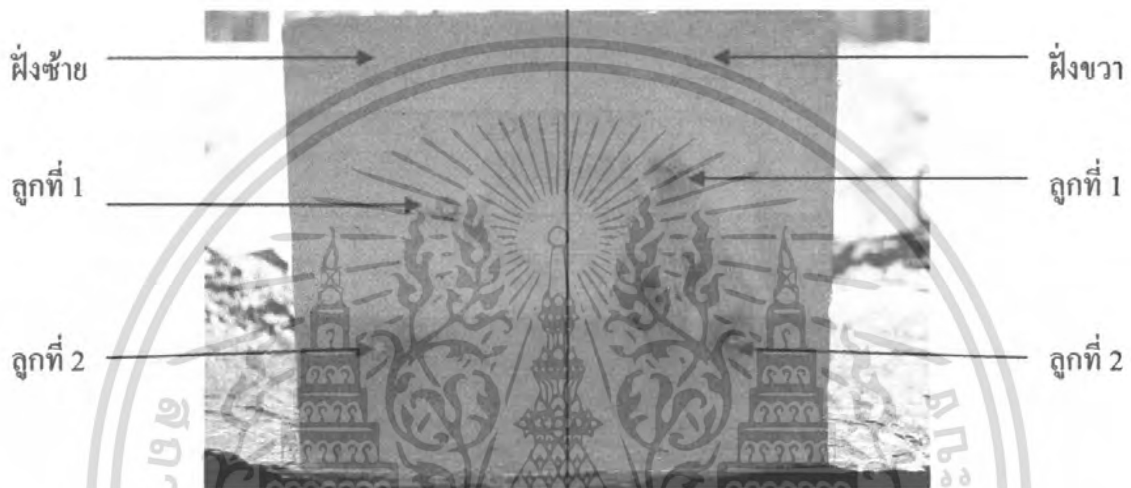


รูปที่ 4.18 ยิงด้วยลูกกระสุนปืนขนาด .45 ACP FMJ ในระยะ 1 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.2 ผลของเจลาตินที่ยิงด้วยกระสุน .380 FMJ และ .380 Semi-Wadcutter FMJ

ในการยิงด้วยปืน Smith & Wesson รุ่น Walther ทางขวายิงด้วยกระสุน .380 FMJ ทางซ้ายยิงด้วยกระสุน .380 Semi-Wadcutter FMJ ในระยะประชิด ดังแสดงในรูปที่4.19 และในระยะ 1 เมตร ดังแสดงในรูปที่4.20



รูปที่4.19 ยิงด้วยลูกกระสุนปืนขนาด .380 FMJ และ .380 Semi-Wadcutter FMJ ในระยะประชิด

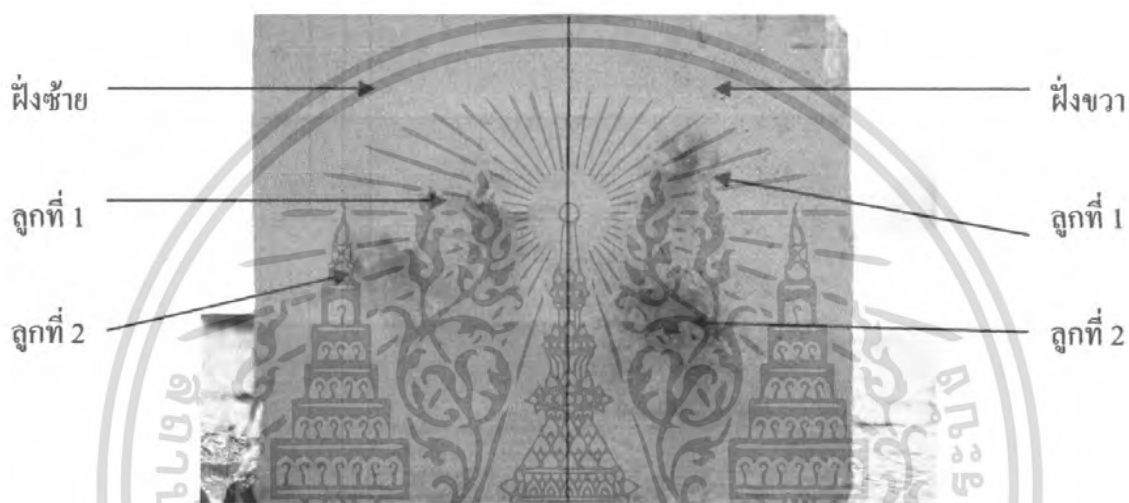


รูปที่4.20 ยิงด้วยลูกกระสุนปืนขนาด .380 FMJ และ .380 Semi-Wadcutter FMJ ในระยะ 1 เมตร

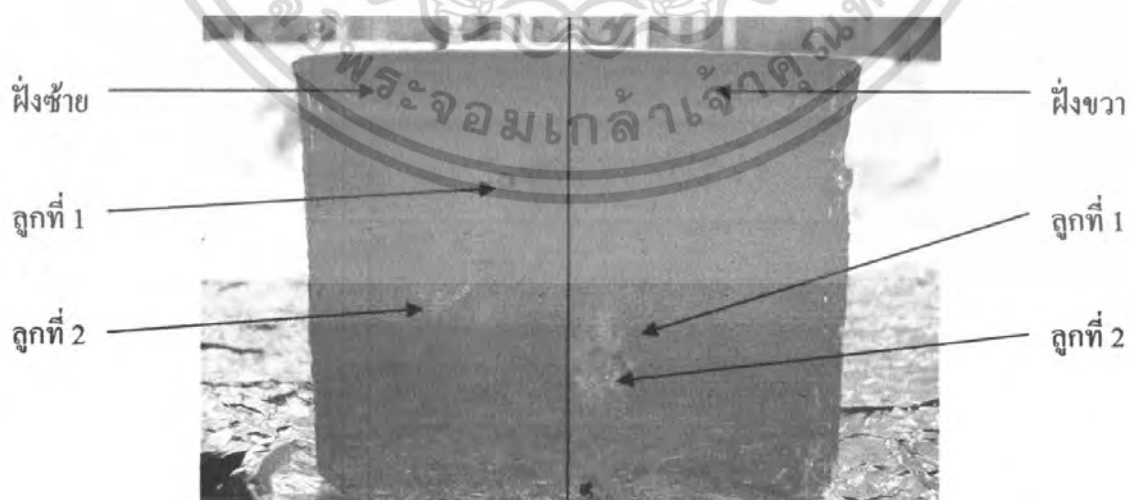
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.3 ผลของเจลลาตินที่ยิงด้วยกระสุนขนาด .38 Super FMJ และ 9 mm. FMJ

โดยในการยิงทางขวามือยิงด้วยปืน Browning กระสุนปืน ขนาด 9 mm. FMJ และทางซ้ายมือยิงด้วยปืน Colt กระสุนปืนขนาด .38 super หัวทองแดง ในระยะประชิด ดังแสดงในรูปที่ 4.21 และในระยะ 1 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.21 ยิงด้วยลูกกระสุนปืนขนาด .38 Super FMJ และ 9 mm. FMJ ในระยะประชิด



รูปที่ 4.22 ยิงด้วยลูกกระสุนปืนขนาด .38 Super FMJ และ 9 mm. FMJ ในระยะ 1 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการวิเคราะห์รอยบาดแผลทางเข้า พบว่ารอยบาดแผลที่ยิงจากระยะประชิดของ เจลลาตินแต่ละก้อน จะเห็นรอยแตกของบาดแผลอย่างชัดเจน และคราบเขม่าดินปืนจำนวนมาก บริเวณรอบบาดแผล ส่วนในการยิงที่ระยะ 1 เมตร พบว่าปากทางเข้าของบาดแผลจะเกิดรอยแตก เล็กน้อย รูทางเข้าของบาดแผลค่อนข้างกลม และพบคราบเขม่าดินปืนเพียงเล็กน้อยบริเวณรอบปาก บาดแผล และยังพบอีกด้วยว่าการยิงกระสุนขนาด .380 Semi-Wadcutter FMJ ซึ่งเป็นกระสุนชนิด หัวตัด จะทำให้เกิดบาดแผลทางเข้าที่ใหญ่และกลมกว่าชนิดอื่นๆ ค่อนข้างชัดเจน

4.4.2 การวิเคราะห์วิถีของกระสุนจากบาดแผลด้านข้างที่เกิดจากการยิง

4.4.2.1 วิถีของกระสุนที่เกิดจากการยิงด้วยลูกกระสุน .45Auto FMJ

ผลการยิงปืน Smith & Wesson และปืน Kimber ด้วยลูกกระสุนปืนขนาด .45Auto FMJ ในระยะประชิด และระยะ 1 เมตร



รูปที่ 4.23 แผลด้านข้างที่ยิงด้วยลูกกระสุนปืน ปืน Kimber ด้วยลูกกระสุนปืนขนาด .45ACP FMJ ในระยะประชิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.24 แพลดด้านข้างที่ยิงด้วยลูกกระสุนปืน ปืน kimber ด้วยลูกกระสุนปืนขนาด .45ACP FMJ ในระยะเมตร



รูปที่4.25 แพลดด้านข้างที่ยิงด้วยลูกกระสุนปืน ปืน Smith & Wesson ด้วยลูกกระสุนปืนขนาด .45ACP FMJ ในระยะประชิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 แผลด้านข้างที่ยิงด้วยปืน Smith & Wesson ด้วยลูกกระสุนปืนขนาด .45ACP FMJ ในระยะ 1 เมตร

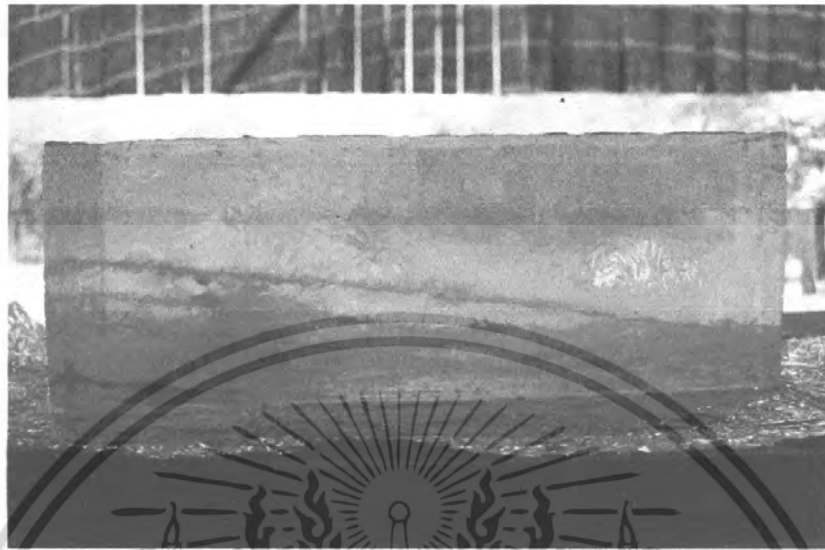
4.4.2.2 วิธีของกระสุนที่เกิดจากการยิงด้วยลูกกระสุน.380 FMJ และ.380 FMJ Semi-Wadcutter

ผลการยิงปืน Smith & Wesson รุ่น Walther ด้วยลูกกระสุนปืนขนาด .380 FMJ และ.380 Semi-Wadcutter FMJ ในระยะประชิด และระยะ 1 เมตร



รูปที่ 4.27 แผลด้านข้างที่ยิงด้วย ปืน Smith & Wesson รุ่น Walther ด้วยลูกกระสุนปืนขนาด .380

FMJ ในระยะประชิด เอกสารฉบับนี้เผยแพร่ขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.28 แผลด้านข้างที่ยิงด้วย ปืน Smith & Wesson รุ่น Walther ด้วยลูกกระสุนปืนขนาด .380 FMJ ในระยะ 1 เมตร



รูปที่4.29 แผลด้านข้างที่ยิงด้วย ปืน Smith & Wesson รุ่น Walther ด้วยลูกกระสุนปืนขนาด.380 Semi-Wadcutter FMJ ในระยะประชิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

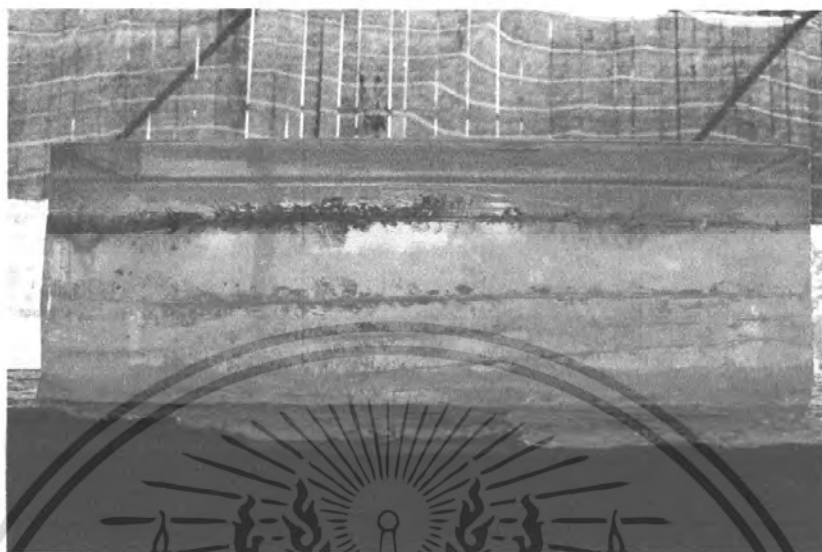


รูปที่4.30 แผลด้านข้างที่ยิงด้วย ปืน Smith & Wesson รุ่น Walther ด้วยลูกกระสุนปืนขนาด.380 Semi-Wadcutter FMJ ในระยะ 1 เมตร

4.4.2.3 วิธีของกระสุนที่เกิดจากการยิงด้วยลูกกระสุน9 mm FMJ และ .38 super FMJ ผลการยิงปืน Browning ลูกกระสุนปืน ขนาด 9 mm.FMJ และ ปืน Colt ลูกกระสุนปืน ขนาด .38 super.FMJ ในระยะประชิด และระยะ 1 เมตร



รูปที่4.31 แผลด้านข้างที่ยิงด้วยปืน Browning ลูกกระสุนปืน ขนาด 9 mm. FMJ ในระยะประชิด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.32 แผลด้านข้างที่ยิงด้วยปืน Browning ลูกกระสุนปืน ขนาด 9 mm. FMJ ในระยะ 1 เมตร



รูปที่4.33 แผลด้านข้างที่ยิงด้วยปืน Colt ลูกกระสุนปืนขนาด .38 super FMJ ในระยะประชิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.34 แผลด้านข้างที่ยิงด้วยปืน Colt ลูกกระสุนปืนขนาด .38 super FMJ ในระยะ 1 เมตร

จากการวิเคราะห์วิถีของกระสุนแต่ละขนาดจากบาดแผลด้านข้างของเจลาติน พบว่าบาดแผลจะแตกบานออกและบิดเป็นเกลียวไม่เท่ากัน ซึ่งขนาดและความเร็วของกระสุนแต่ละชนิดมีผลต่อบาดแผลตามกฎของโมเมนตัม $P = mv$ และบาดแผลที่บิดเป็นเกลียวนี้เกิดจากวิถีของกระสุนที่วิ่งผ่านลำกล้องปืนและพุ่งเข้าชนเจลาติน ซึ่งเกลียวที่เกิดขึ้นที่บาดแผลนี้สามารถนำไปใช้ในการอ้างอิงบอกลักษณะของปากลำกล้องของปืนที่ยิงได้ว่า ปืนที่ใช้ยิงเป็นเกลียวหมุนทวนเข็มนาฬิกา หรือตามเข็มนาฬิกาได้

4.4.3 ผลการผ่าวิเคราะห์บาดแผล

ในการทดลองนี้เป็นการผ่าวิเคราะห์บาดแผลที่เกิดจากการยิงโดยเลือกบาดแผลที่ยิงด้วยปืน Smith & Wesson รุ่น Walther ด้วยลูกกระสุนปืนขนาด .380 FMJ และ .380 FMJ Semi-Wadcutter ในระยะประชิด และระยะ 1 เมตร เนื่องจากบาดแผลที่เกิดจากการยิงไม่ติดกันมากและบาดแผลค่อนข้างกลมทำให้กระบวนการผ่าวิเคราะห์ง่ายที่สุด โดยในกระบวนการผ่าได้ทำการผ่า 2 วิธีด้วยกัน คือ ผ่าตามแนววิถีกระสุน และผ่าตัดขวางแนววิถีของกระสุนปืน

4.4.3.1 การผ่าวิเคราะห์ตามแนววิถีกระสุนของ

ในการผ่าวิเคราะห์บาดแผล จะต้องทำการเลือกผ่าบาดแผลที่ยาวที่สุด โดยส่วนมากแล้ว แผลที่เป็นบาดแผลที่ยิงทะลุออกด้านหลังของเจลาตินเสียก่อน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.35 แสดงบาดแผลที่ถูกยิงด้วยกระสุน .380 FMJ ในระยะประชิดที่จะนำมาทำการผ่า

รูปที่ 4.36 แสดงบาดแผลที่ถูกยิงด้วยกระสุน .380 FMJ ในระยะประชิด ที่ทำการผ่าตามแนววิถีของกระสุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากที่ได้ทำการวิเคราะห์บาดแผลที่ถูกยิงด้วยกระสุน.380 FMJ ในระยะประชิด ดังรูปที่ 4.27 พบว่า บาดแผลด้านบนมีความยาว 37.2 ซม. ส่วนบาดแผลด้านล่างมีความยาว 30.5 ซม. ดังนั้นจึงใช้บาดแผลด้านบนในการผ่าวิเคราะห์



รูปที่ 4.37 แสดงบาดแผลที่ถูกยิงด้วยลูก .380 Semi-Wadcutter FMJ ในระยะประชิด ที่จะทำการผ่า



รูปที่ 4.38 แสดงบาดแผลที่ถูกยิงด้วยลูก .380 Semi-Wadcutter FMJ ในระยะประชิด ที่จะทำการผ่า

ตามแนววิถีของกระสุน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากที่ได้ทำการวิเคราะห์บาดแผลที่ยิงด้วยลูก . 380 Semi-Wadcutter ในระยะประชิดดังรูปที่ 4.29 พบว่า บาดแผลด้านบนมีความยาว 37.4 เซนติเมตรและพบเศษไม้ในแผลที่มีความยาว 30.1 เซนติเมตร ส่วนบาดแผลด้านล่างมีความยาว 31.5 เซนติเมตรและยังพบว่า และมีเศษไม้ติดอยู่ที่บาดแผลอีกด้วย ดังนั้นจึงใช้บาดแผลด้านบนในการผ่าวิเคราะห์



รูปที่ 4.39 แสดงบาดแผลที่ถูกยิงด้วยกระสุน.380 FMJ ในระยะ 1 เมตร ที่จะทำการผ่า

รูปที่ 4.40 แสดงบาดแผลที่ยิงถูกด้วยกระสุน.380 FMJ ในระยะ 1 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากที่ได้ทำการวิเคราะห์บาดแผลที่ยิงด้วยลูก .38 FMJ ในระยะ 1 เมตร ดังรูปที่ 4.28 พบว่า บาดแผลด้านบนมีความยาว 38.7 เซนติเมตร และบาดแผลด้านล่างมีความยาว 38 เซนติเมตร ดังนั้นจึงใช้บาดแผลด้านบนในการผ่าวิเคราะห์



รูปที่ 4.41 แสดงบาดแผลที่ถูกยิงด้วยลูก .380 FMJ Semi-Wadcutter ในระยะ 1 เมตร ที่จะทำการผ่า



รูปที่ 4.42 แสดงบาดแผลที่ถูกยิงด้วยลูก .380 FMJ Semi-Wadcutter ในระยะ 1 เมตร ที่ทำการผ่าตัดตามแนวของวิถีกระสุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากที่ได้ทำการวิเคราะห์บาดแผลที่ยิงด้วยลูก.380 FMJ Semi-Wadcutter ในระยะ 1 เมตร ดังรูปที่ 4.29 พบว่า บาดแผลด้านบนมีความยาว 31.7 เซนติเมตรเนื่องจากกระสุนนั้นเลี้ยวออกทางด้านข้าง ส่วนบาดแผลด้านล่างมีความยาว 36.8 เซนติเมตรดังนั้นจึงใช้บาดแผลด้านล่างในการผ่าวิเคราะห์

4.4.3.2 การผ่าวิเคราะห์ตัดตามขวางของแนววิถีกระสุนปืน

ซึ่งมีหลักการเลือกแผลที่จะมาทำการผ่าวิเคราะห์ คล้ายกับการผ่าตัดตามแนวของวิถีกระสุน โดยจะผ่าทั้งหมด 8 ชิ้นด้วยกันดังแสดงในรูปที่ 4.43 โดยที่ 1 ชิ้น จะยาวเท่ากับ 4.75 ซม.



รูปที่ 4.43 แสดงการผ่าตัดตามขวางแนวของวิถีกระสุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงขนาดความกว้างของวงกระสุนในบาดแผลที่เกิดจากการยิง

ชั้นส่วนที่ทำ การผ่าตามขวาง ของแนววิถี กระสุน (cm)	ขนาดความกว้างของวงบาดแผลที่เกิดจากการยิง (mm)			
	ปืนวอลเทอร์ ลูก กระสุน.38 FMJ Bullet Master (หัวเต็ม) ประชิด	ปืนวอลเทอร์ ลูก กระสุน.38 FMJ Winchester (หัว ตัด) ประชิด	ปืนวอลเทอร์ ลูก กระสุน.38 FMJ Bullet Master (หัว เต็ม) 1 เมตร	ปืนวอลเทอร์ ลูก กระสุน.38 FMJ Winchester (หัว ตัด) 1 เมตร
0	6.0(4.0)	6.5(4.5)	4.0(2.0)	5.0 (3.0)
4.75	4.0	4.0	3.0	4.7
9.50	3.0	3.7	2.0	4.5
14.25	2.7	3.5	2.0	4.0
19.00	2.5	3.0	1.7	3.7
23.75	2.0	2.5	1.5	3.5
28.50	1.5	2.0	1.0	3.0
33.25	1.0	1.5	0.7	2.0

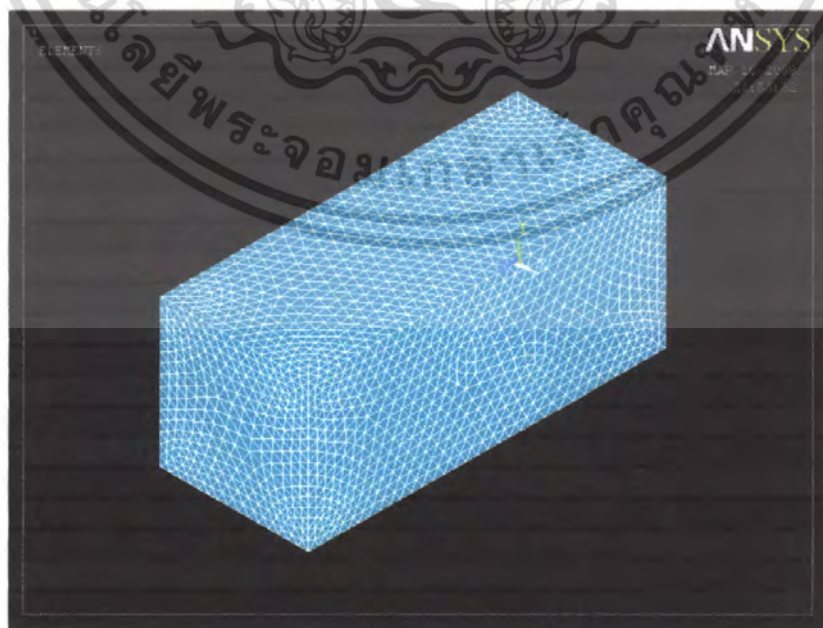
จากตารางที่ 4.4 หมายเหตุ ...(...) หมายความว่า มีวงกลม 2 วง ซ้อนกันอยู่ โดยที่ในวงเล็ก หมายถึง วงในและนอกวงเล็กหมายถึงวงนอก และจากการทำการผ่าเจลาติน ตามขวางแนวของ วิถีกระสุน ซึ่งการผ่าขวางแนววิถีกระสุนนี้ จะทำให้เราทราบถึง ขนาดความกว้างของวงกระสุนที่ ทำลายเนื้อเยื่อ ที่ความลึกต่างๆ ได้ดังแสดงในตาราง

4.5 Simulation เจลลาติน

เป็นการศึกษาและคำนวณผลของแรงที่ตกกระทบกับเจลลาติน โดยการ Simulation และสั่งให้โปรแกรมคำนวณวิเคราะห์ค่า Stress intensity และ Displacement vector ของเจลลาตินที่ถูกแรงของหัวกระสุนตกกระทบของกระสุนแต่ละขนาด

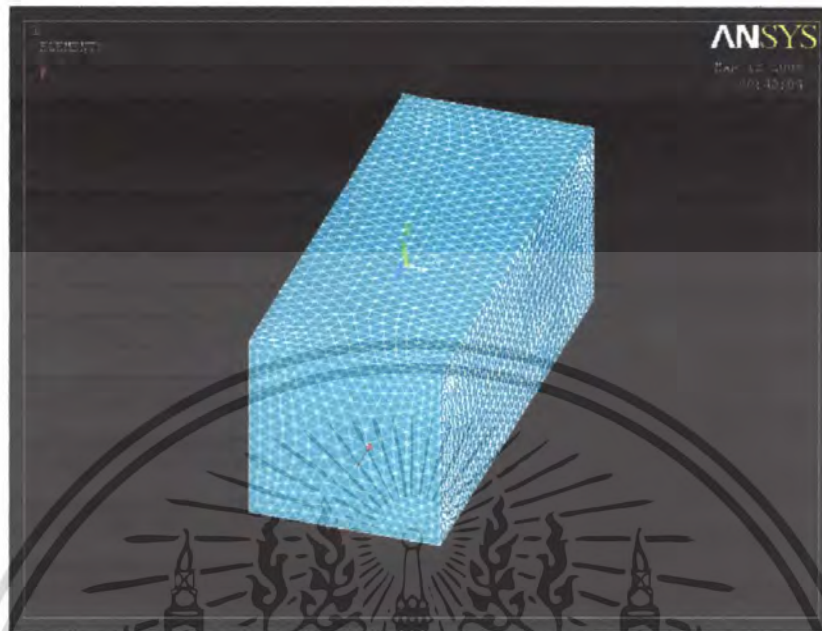


รูปที่ 4.44 แสดงการสร้างแบบจำลองของเจลลาตินลงใน โปรแกรม



รูป 4.45 แสดงการแบ่งอิเลเมนต์ของแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.46 แสดงการใส่แรงไปที่จุด Node ที่ต้องการ

4.5.1 การคำนวณหาแรงที่กระทำกับเจลลาติน

ในการ กระบวน Simulation เราจะต้องใส่ค่าโหดของตัวเจลลาติน และแรงที่ตกกระทบ โดยค่าโหดของเจลลาติน Elastic Modulus = 11 Mpa Poisson's Ratio = 0.4 Density 1,600 Kg/m³ ในส่วนของแรงหัวกระสุนที่ตกกระทบสามารถหาได้จากสมการที่ 2.5

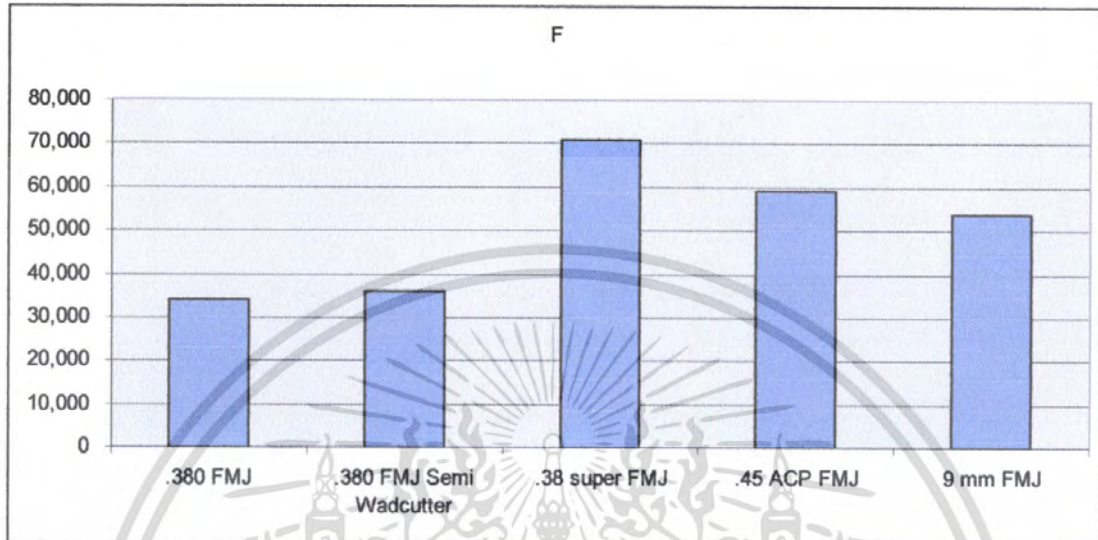
$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

$$t = \frac{s}{v} \quad ; \quad S = \text{Bullet Length}$$

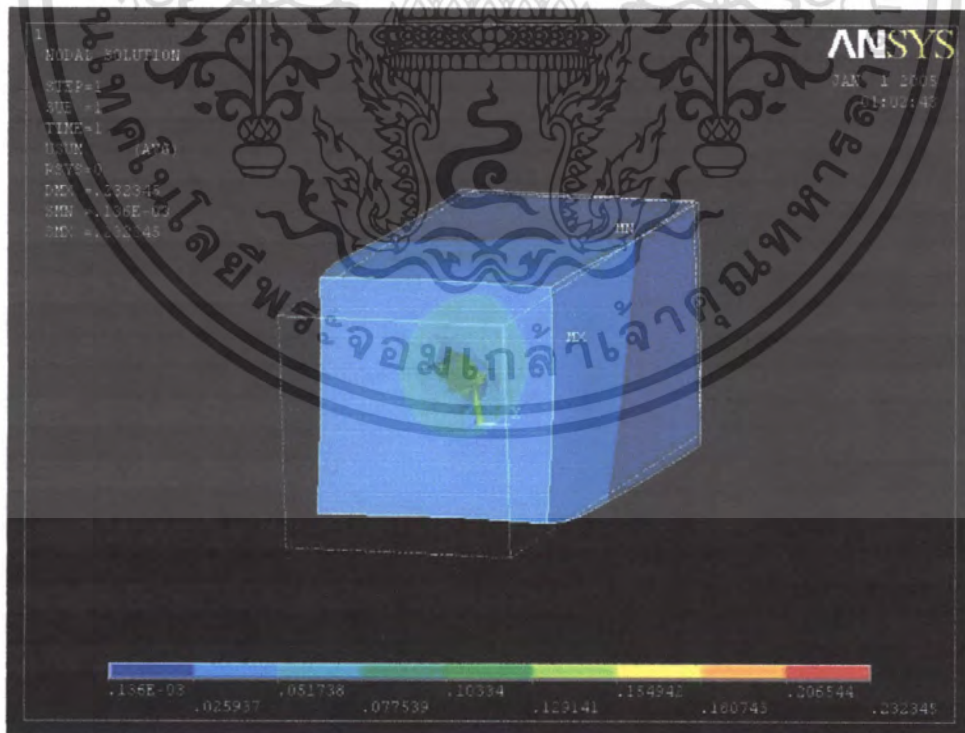
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าที่ใช้ในการหาแรงที่ตกกระทบของหัวกระสุนขนาดต่างๆกับเจลลาติน

ลูกกระสุนปืน	v (m/s)	m (Kg)	F (N)	Bullet Length (m)
.380 FMJ	291.084	0.006156	34055.26	0.0153162
.380 Semi Wadcutter FMJ	280.111	0.006091	35889.60	0.0133162
.38 super FMJ	381.000	0.008424	70903.03	0.0172466
.45 ACP FMJ	259.580	0.014904	59276.93	0.0169418
9 mm FMJ	342.900	0.008305	53844.67	0.0181356

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานที่จริงเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เพื่อการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

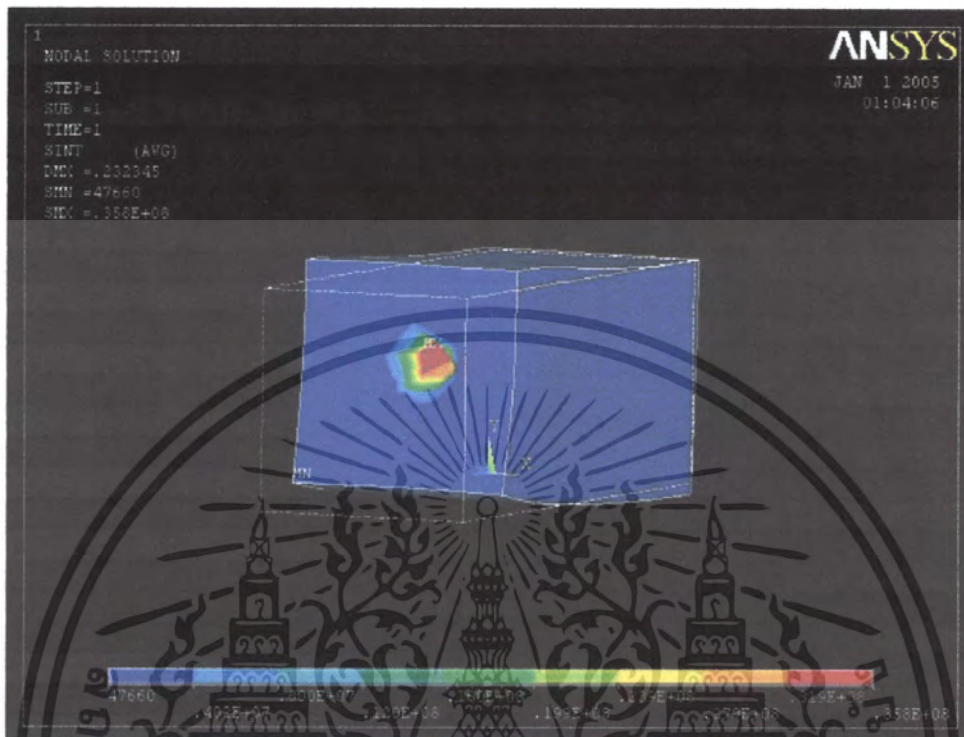


รูปที่ 4.47 แสดงกราฟแสดงแรงที่กระทำกับเจลลาตินของกระสุนขนาดต่างๆ

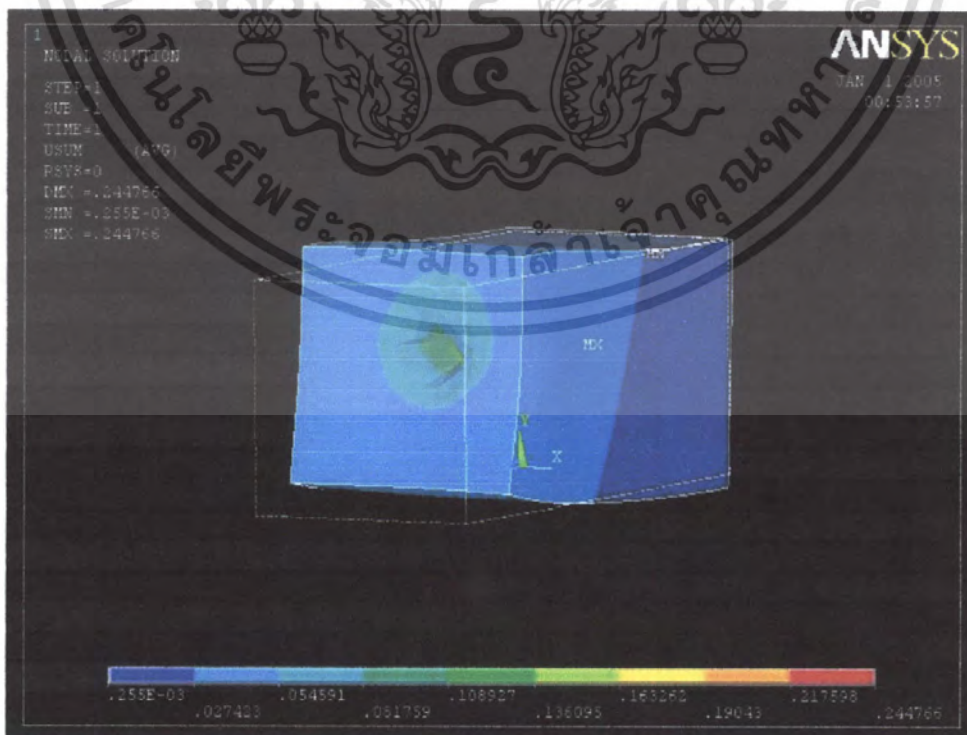


รูปที่ 4.48 แสดง Displacement vector sum ของกระสุน .380 FMJ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

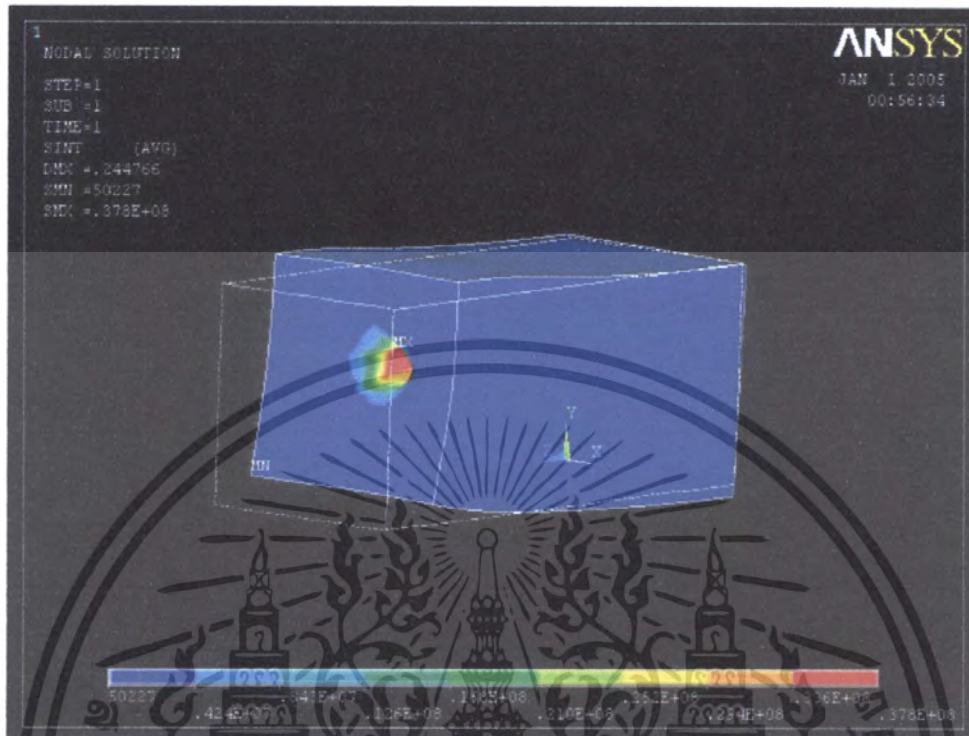


รูปที่ 4.49 แสดง Stress intensity ของกระสุน .380 FMJ

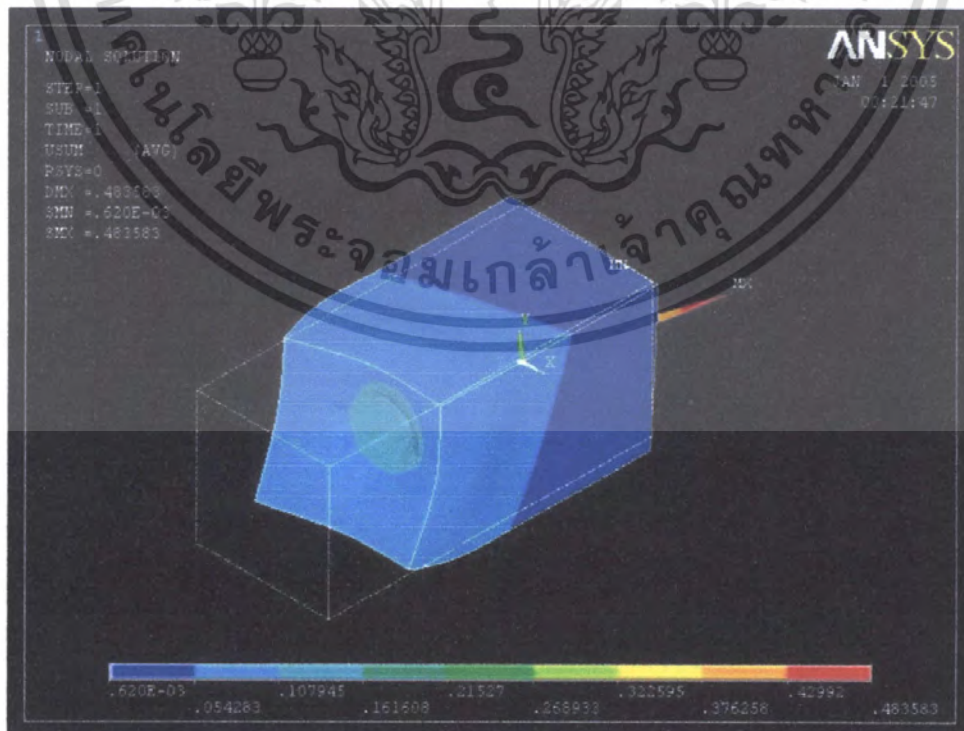


รูปที่ 4.50 แสดง Displacement vector sum ของกระสุน .380 FMJ Semi Wadcutter

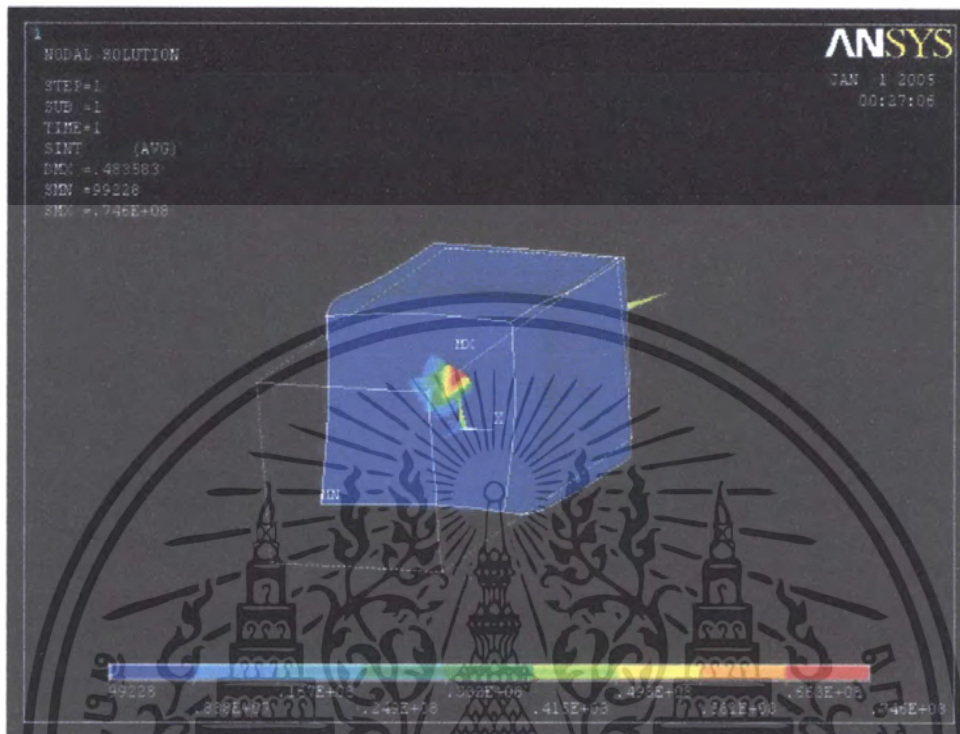
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



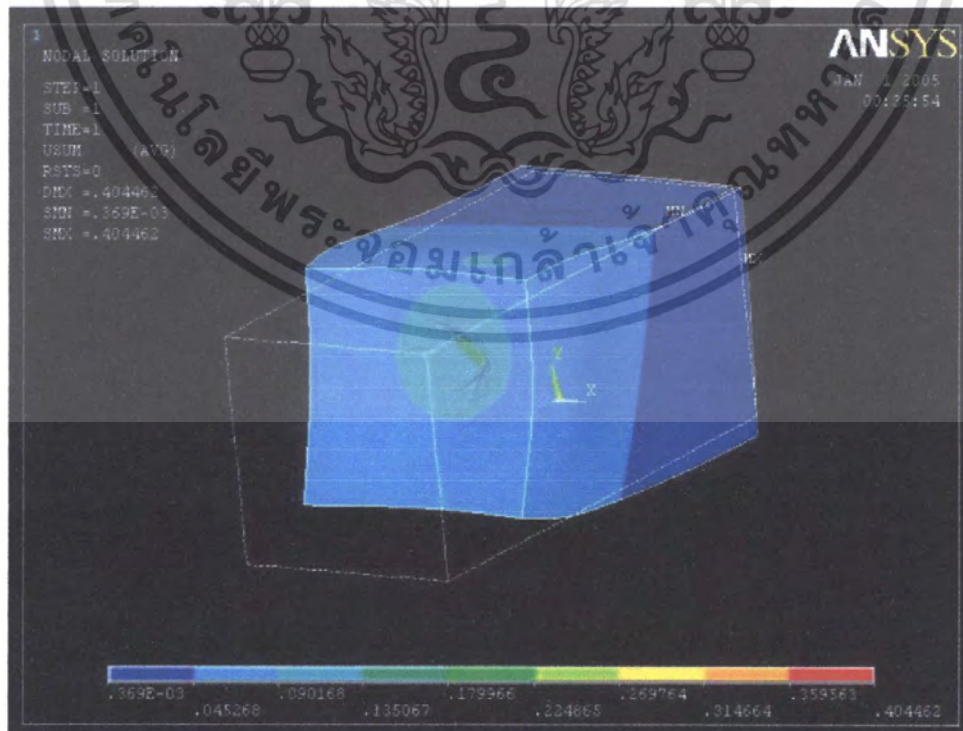
รูปที่ 4.51 แสดง Stress intensity ของกระสุน .380 FMJ Semi Wadcutter



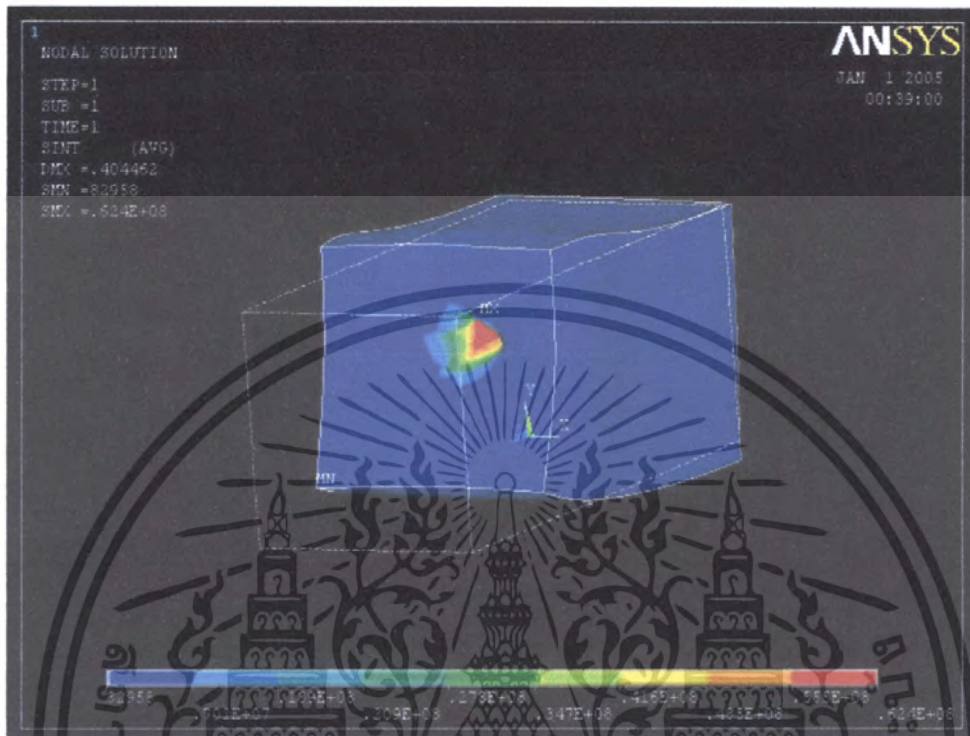
เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.52 แสดง Displacement vector sum ของกระสุน .38 Super FMJ โดยโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



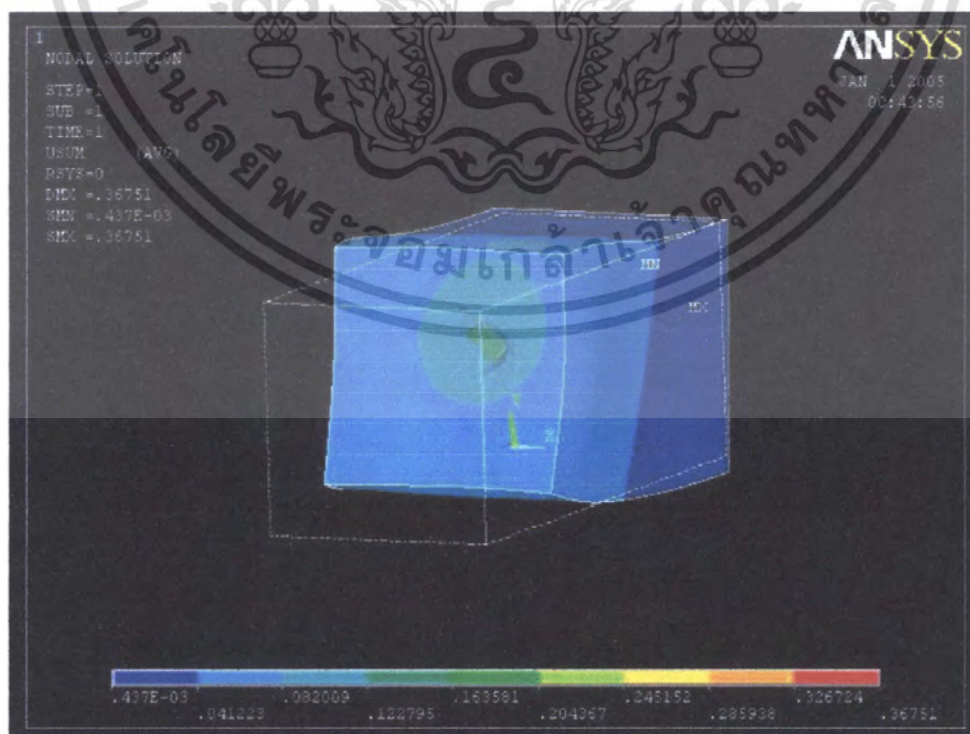
รูปที่ 4.53 แสดง Stress intensity ของกระสุน .38 Super FMJ



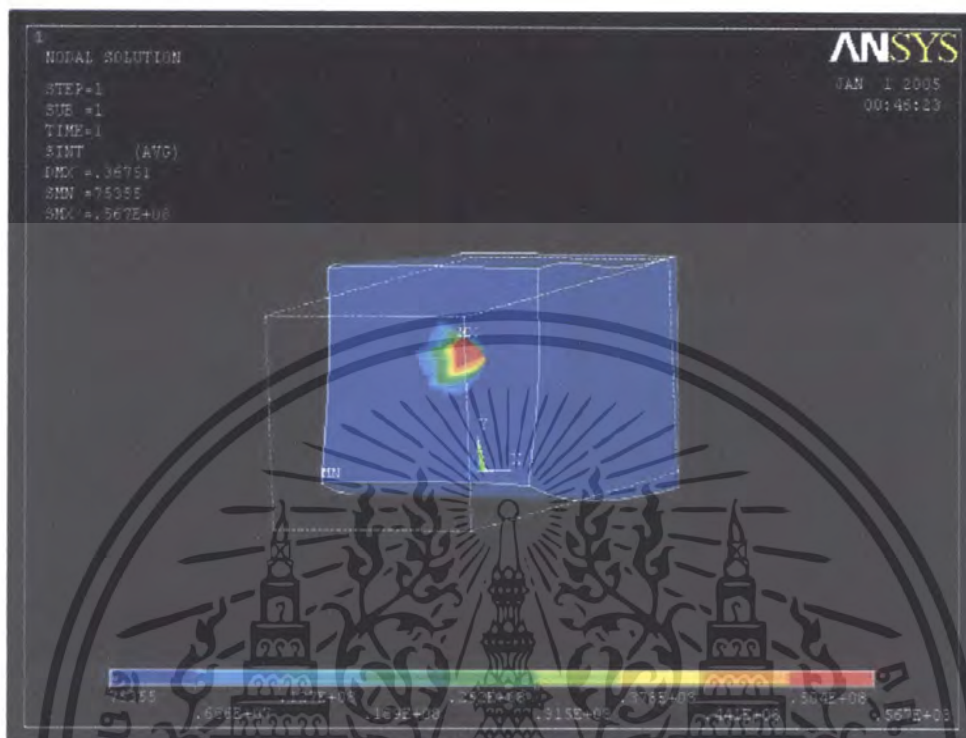
เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.54 แสดง Displacement vector sum ของกระสุน .45ACP FMJ ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.55 แสดง Stress intensity ของกระสุน .45ACP FMJ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่งานวิจัยของโรงเรียนเพื่อจรรีของทำขึ้น ไม่ควรเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.56 แสดง Displacement vector sum ของกระสุน 9mm FMJ
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



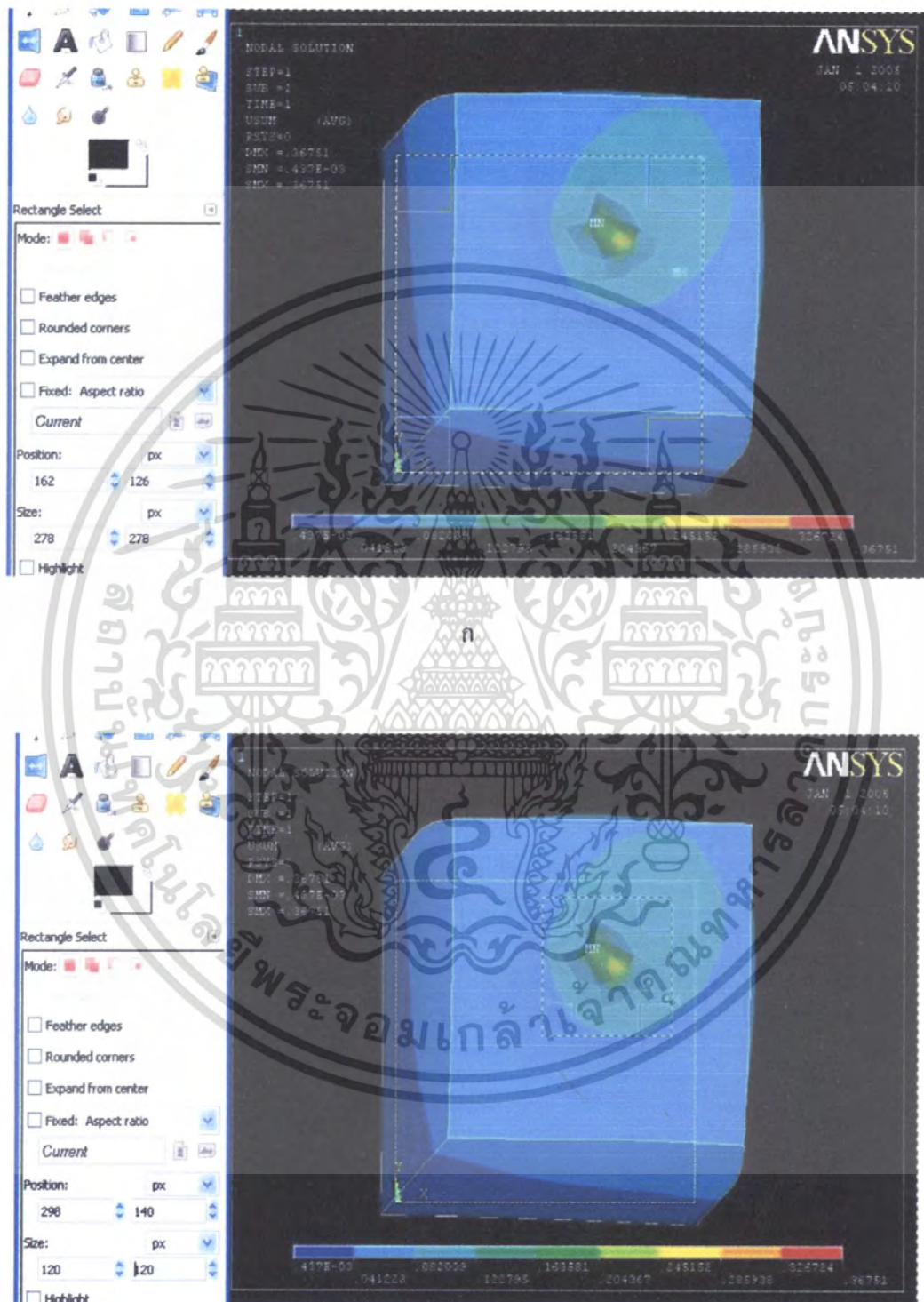
รูปที่ 4.57 แสดง Stress intensity ของกระสุน 9mm FMJ

จากรูปเป็นการ Simulation แรงที่ตกกระทบบกับเจลลาตินของกระสุนขนาดต่างๆ เพื่อจะศึกษาวิเคราะห์ค่า Stress intensity และ Displacement vector ที่เปลี่ยนไป โดยเส้นปะที่เห็นในภาพเป็นแนวเดิมของเจลลาตินก่อน โคนแรงของหัวกระสุนมาตกกระทบบ และในการ Simulation นี้เป็นเพียง ณ เวลา ที่แรงตกกระทบบกับเจลลาตินเท่านั้น ไม่ได้คำนวณ ณ เวลาที่กระสุนตกกระทบบแล้วทะลุผ่านเข้าไปในเจลลาติน เนื่องจากในการคำนวณมีความยุ่งยากมากและใช้เวลาในการศึกษานาน ดังนั้น จึงทำให้เจลลาตินยังไม่ได้คืนรูปเดิม ดังภาพที่แสดง ซึ่งในการ Simulation ในโครงการพิเศษนี้เป็นเพียงการเริ่มต้นของการศึกษาเท่านั้น ส่วนในอนาคตก็จะพัฒนาต่อและนำเทอมของเวลามาคิดต่อไป

4.5.2 การวัดขนาดบาดแผลจากการ Simulation

ในการวัดขนาดบาดแผลจากการ Simulation เป็นการวัดขนาดแผลทางเข้าที่เกิดจากแรงตกกระทบบของลูกกระสุนขนาดต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบกับบาดแผลที่เกิดขึ้นจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ข

รูปที่ 4.58 แสดงการวัดขนาดปากขาดแผลทางเข้าจากการ Simulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป เป็นการวัดขนาดของปากบาดแผลทางเข้า เมื่อมีแรงมาตกกระทบ โดยวัดจาก พิกเซล ของภาพจากการ Simulation ซึ่งในโปรแกรม ANSYS เราได้กำหนดขนาดหน้าตัดของ เจลาตินไว้ที่ 15.785 x 15.785 ซม ดังนั้นเมื่อเราวัดขนาดหน้าตัดของภาพโดยใช้โปรแกรม GIMP จะได้ 278x278 พิกเซล ดังรูปที่ 4.58 ก หลังจากนั้นนำขนาดจริงคั่งหารด้วยขนาดพิกเซล เราก็จะได้ ความยาวในหน่วยเซ็นติเมตรต่อ 1 หน่วยพิกเซล หลังจากนั้นนำค่าที่ได้ไปคูณกับค่าหน้าตัดของ ปากบาดแผลที่วัดได้ดังรูป 4.58 ข ก็จะได้ขนาดของปากบาดแผลในหน่วยเซ็นติเมตรออกมา

ตารางที่ 4.6 แสดงขนาดของปากบาดแผลทางเข้าของลูกกระสุนขนาดต่างๆ จาก Simulation

ชนิดของลูกกระสุนปืน	ขนาดของปากบาดแผล (cm)
.380 FMJ	4.890
.380 FMJ Semi-Wadcutter	4.983
.38 Super FMJ	6.765
9 mm FMJ	6.863
.45 ACP FMJ	6.899

จากผลการวัดขนาดของปากบาดแผลทางเข้าของลูกกระสุนขนาดต่างๆ จากการ Simulation เมื่อเวลาที่มีแรงมาตกกระทบ พบว่ารอยบาดแผลมีขนาดใกล้เคียงกันมาก โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่มด้วยกันดังแสดงในตารางที่ 4.6 และยังพบอีกว่าผลที่ได้ไม่ค่อยตรงกับแรงตกกระทบที่คำนวณ ได้ และผลการทดลองที่ยิงเจลาตินจริง ทั้งนี้เนื่องจากการแบ่งเอลิเมนต์ก่อนการ Simulation อาจจะยังไม่ละเอียดพอ และยังเป็น การ Simulation ที่ยังไม่ได้นำเทอมของเวลามาคำนวณด้วย ทำให้ผลที่ได้คลาดเคลื่อนไป

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษางานวิจัยเรื่องการวิเคราะห์บาดแผลและวิถีของกระสุนสำหรับนิติวิทยาศาสตร์ พบว่า ในกระบวนการศึกษาวิจัยนี้มีขั้นตอนหลักๆ อยู่ 4 หัวข้อด้วยกัน เริ่มตั้งแต่การสร้างอุปกรณ์วัดความเร็วต้นของกระสุน การดัมเจลดัติน การวิเคราะห์บาดแผลที่เกิดจากการยิงในลักษณะต่างๆ และการ Simulation ซึ่งผลการศึกษาและทดสอบเป็นดังต่อไปนี้

5.1.1 การวัดความเร็วต้นของกระสุน จากการทดลอง พบว่าไม่สามารถหาค่าความเร็วของกระสุนได้เนื่องจากในกระบวนการเชื่อมต่ออุปกรณ์นั้นมีความสำคัญมาก ความผิดพลาดของอุปกรณ์ที่เกิดขึ้น เช่น สายไฟ ขั้วต่อของเซ็นเซอร์ กับบังจร การสั้นสะพานขณะทำการยิง อุปกรณ์ต่างๆ ไม่มั่นคง และปริมาณความเข้มของแสงที่ไม่คงที่ ทำให้ต้องหาค่าเพื่อนำมาอ้างอิงและใช้ในการคำนวณขั้นต่อไป ซึ่งความเร็วต้นของกระสุนที่วัดได้ มีผลต่อการคาดเดาว่าอาวุธปืนที่ใช้ยิงมีขนาดเท่าไร ยิงจากระยะใด และปากแผลจะเป็นเช่นไร ได้จากการวิเคราะห์บาดแผลในขั้นตอนต่อไป ซึ่งในการสืบสวนสอบสวน ถ้าเรารู้ปัจจัยเหล่านี้ ก็จะทำให้บ่งบวงจำกัดข้อสงสัยลงไปได้ และเป็นแนวทางในการตรวจหาอาวุธปืน ว่าเป็นอาวุธปืนในคดีนั้นๆ หรือไม่ อีกทั้งความเร็วต้นยังใช้ในการตรวจสอบอาวุธปืนอีกว่า อาวุธปืนกะบอกนั้น มีความแม่นยำและระยะหวังผลแค่ไหนเท่าเดิมหรือไม่

5.1.2 การดัมเจลดัติน และเมื่อทำการดัมเจลดัตินตามขั้นตอนต่างๆ แล้ว ควรจะเก็บรักษาอุณหภูมิของเจลดัตินให้อยู่ที่ 4 องศาหรือต่ำกว่า และในขั้นตอนที่ทำการยิงควรจะต้องดำเนินการไปด้วยความรวดเร็ว และเมื่อยิงเสร็จ ควรรีบนำเจลดัตินไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศา เพราะถ้าทิ้งไว้นานอุณหภูมิสูงขึ้นและจะทำให้ความหนาแน่นลดน้อยลง และทำให้เจลดัตินเสียรูปไป

5.1.3 การวิเคราะห์บาดแผลที่เกิดจากการยิง จากการศึกษาทดลอง พบว่าสามารถวิเคราะห์บาดแผลได้ 5 รูปแบบด้วยกัน ดังนี้

1. การวิเคราะห์บาดแผลเข้าและออกได้ โดยดูได้จากบาดแผลทางเข้าและทางออกของหัวกระสุน ซึ่งจะสังเกตว่า ตรงบริเวณปากทางเข้าของบาดแผล จะไม่มีเนื้อเจลดมากระจุกที่บาดแผลและบาดแผลทางเข้าจะมีลักษณะค่อนข้างกลม ส่วนตรงทางออกของหัวกระสุน จะสังเกตได้ว่าบาดแผลจะเกิดการฉีกขาดและมีเนื้อเจลดกระจุกตรงปากทางออกของบาดแผล

2. การวิเคราะห์เขม่าดินปืนบริเวณปากทางเข้าของกระสุน จะพบว่าในกรณีที่ยิงระยะประชิด จะสังเกตเห็นเขม่าดินปืนติดอยู่อย่างชัดเจนโดยรอบของปากบาดแผล ส่วนในกรณีการยิงที่ระยะ 1 เมตร จะสังเกตว่า พบเขม่าเพียงเล็กน้อยกระจายทั่วปากบาดแผล

3. การวิเคราะห์วิถีกระสุนจากบาดแผลทางด้านข้าง ซึ่งจากบาดแผลทำให้ทราบว่า วิถีกระสุนส่วนใหญ่ จะมีแนววิถีการยิงพุ่งลง ซึ่งคู่ได้จากทางออกของบาดแผล จะอยู่ต่ำกว่าทางเข้าของบาดแผลเสมอ ในกรณีที่ยิงค้ำรูปที่แสดงระยะของการยิง และยังพบอีกว่าบาดแผลภายในเจลาตินจะแตกบานออกและบิดเป็นเกลียวอย่างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากกระสุนที่ยิงมานั้นมีการหมุน ซึ่งการหมุนนี้เกิดจากเกลียวลำกล้องของปืน เพื่อให้กระสุนมีวิถีที่ตรงและแม่นยำ ทำให้รอยบาดแผลมีการแตกและบิดเป็นเกลียว ซึ่งทำให้เราสามารถสันนิษฐานได้ว่า เกลียวของลำกล้องปืนที่ยิงลักษณะ หมุนตามเข็มนาฬิกา หรือหมุนทวนเข็มนาฬิกา ได้ โดยดูจากความเสี้ยวของบาดแผล

4. การวิเคราะห์รอยบาดแผลที่แตกบานออกภายในเนื้อเจลาติน พบว่าเป็นไปตามกฎของโมเมนตัม $P = mv$ ซึ่งขนาดของบาดแผลที่เกิดขึ้นสามารถเรียงจากใหญ่ไปเล็กได้ดังนี้

- ลูกกระสุน .45 จะให้รอยบาดแผลแตกภายในกว้างเขอะที่สุดเนื่องจากมีโมเมนตัมมาก โดยคิดจากน้ำหนักของหัวกระสุนมากที่สุดในการทดสอบ ถึงจะมีความเร็วต่ำกว่าลูกกระสุนขนาดอื่นแตเมื่อนำมาคูณกันพบว่าให้ค่าโมเมนตัมมากที่สุด

- ลูกกระสุน .38 Super ให้รอยบาดแผลแตกภายในกว้างเป็นอันดับ 2 โดยคิดจากโมเมนตัม ถึงจะมีมวลของหัวกระสุนน้อยแต่มีความเร็วที่สูงมากจึงทำให้มีค่าโมเมนตัมมาก

- ลูกกระสุน 9 มม ให้รอยบาดแผลแตกกว้างเป็นอันดับ 3 เนื่องจากมีมวลใกล้เคียงกับ .38 Super แต่ความเร็วต่ำกว่า จึงทำให้โมเมนตัมน้อยกว่า

- ลูกกระสุน .380 หัวตัด ให้รอยบาดแผลแตกเป็นอันดับที่ 4 ถึงความเร็วจะมากกว่า .45 แต่ยังไม่ถึง .38 Super และมีมวลที่น้อย ทำให้โมเมนตัมน้อย แต่เนื่องจากเป็นลักษณะหัวตัดจะทำให้รอยบาดแผลยังคงกว้าง

- ลูกกระสุน .380 หัวเต็ม ให้รอยบาดแผลแตกกว้างเป็นอันดับสุดท้าย ถึงจะมีขนาดและความเร็วใกล้เคียงกับ .380 หัวตัด แต่เนื่องจากเป็นกระสุนลักษณะหัวเต็มจึงมีรอยบาดแผลที่เล็กกว่า

5. ในส่วนของการผ่าวิเคราะห์บาดแผลแบ่งได้ออกเป็น 2 แบบ

- ผ่าตามแนววิถีกระสุน เพื่อจะศึกษาว่า มีเขม่าดินปืนติดอยู่ที่เนื้อเจลาตินหรือไม่ และเนื้อเจลาตินมีการเสี้ยวรูปอย่างไร และจากการทดลองพบว่า เนื้อเจลาตินภายในจะฉีกขาดและ

จะแตกบานออกเป็นเกลียวรอบวงของบาดแผล ตามเข็มนาฬิกา ซึ่งทำให้สันนิษฐานได้ว่า ปืนที่ใช้ยิงเป็นปืนที่มีเกลียวลำกล้องเวียนขวา

- ผ่าตัดขวางแนววิถีกระสุน เพื่อจะศึกษาการสูญเสียของเนื้อเยื่อในแนวตัดขวาง และจากการทดลองพบว่า ขนาดความกว้างของวงบาดแผลที่เกิดขึ้น จะเล็กลงเรื่อยๆตาม ความลึกของบาดแผล ดังแสดงในตารางที่ 4.4

5.1.4 Simulation เป็นการศึกษาและคำนวณผลของแรงที่ตกกระทบกับเจลลาตินโดยการ Simulation และสั่งให้โปรแกรมวิเคราะห์คำนวณ Stress intensity และ Displacement vector ที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากผลกระทบของแรงออกมาได้ และสุดท้ายทำการวัดขนาดบาดแผลที่เกิดจากการ Simulation ได้ดังนี้

- Stress intensity เป็นการคำนวณหาความเค้นที่ผิวเจลลาตินมีถูกแรงตกกระทบ เมื่อ กระสุนตกกระทบกับเจลแล้วจุดที่ตกกระทบนั้นจะทำให้เกิดการทะลุเข้าไปในเนื้อเจล ทำให้บริเวณ รอบจุดทะลุที่ใกล้ที่สุดจะมีความเค้นมากที่สุด

- Displacement vector เป็นการคูทิศทางของเจลลาตินที่เปลี่ยนไปเนื่องจากแรงที่ตกกระทบ ซึ่งจากจุดที่แรงตกกระทบจะเป็นจุดที่มีทิศทางเปลี่ยนแปลงมากที่สุด

- การวัดขนาดของบาดแผลทางเข้าจากการ Simulation พบว่าผลที่ได้ไม่ตรงกับ การคำนวณแรงที่ตกกระทบและบาดแผลที่เกิดขึ้นจริง ทั้งนี้เนื่องจากการแบ่งเอลิเมนต์ก่อนการ Simulation ยังไม่ละเอียดพอและไม่ได้นำเทอมของเวลามาคิดด้วย ทำให้ผลที่ได้คลาดเคลื่อนไป ซึ่ง ในการ Simulation ใน โครงการพิเศษนี้เป็นเพียงการเริ่มต้นของการศึกษาเท่านั้น ส่วนในอนาคตก็ จะพัฒนาต่อและนำเทอมของเวลามาคิดต่อไป

ข้อเสนอแนะ

ในการทำงานวิจัยเรื่องการวิเคราะห์บาดแผลและวิถีของกระสุนสำหรับนิติวิทยาศาสตร์นั้น มีข้อผิดพลาดในการทดลองต่างๆดังนี้

-เครื่องวัดความเร็วกระสุน ควรจะออกแบบให้มีการใช้สายไฟน้อยที่สุด คือการออกแบบ ลายวงจรรวมที่สมบูรณ์ อุปกรณ์ทุกชิ้นต้องมีฐานยึดให้มั่นคง และควรมีอุปกรณ์ป้องกันกระสุนที่ อาจจะยังผิดพลาดมาที่อุปกรณ์วัดความเร็ว

-การวิเคราะห์บาดแผล ควรจะกำหนดจุดยิงที่แน่นอน วิธีการยิงที่เหมือนกันคือเป็นแนว ขนาดกับพื้น และควรจะวางเจลลาติน 2 ก้อนติดกัน เพื่อให้ลูกกระสุนที่ยิงออกมาฝังอยู่ภายในเจล เพื่อศึกษาดูว่า ในกรณีที่กระสุนติดค้างอยู่ภายในลักษณะบาดแผลเป็นอย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ในกระบวนการนำเจลลาตินมาเป็นเป่าในการยิงนั้นควรจะทำด้วยความรวดเร็ว เพื่อให้เจลลาตินมีผลต่ออุณหภูมิที่น้อยที่สุด และยังคงมีคุณสมบัติที่คล้ายกับกล้ามเนื้อมนุษย์อยู่
- ในขั้นตอนการวิเคราะห์ภาคผลควรจะทำหลังจากการยิงไม่นาน เพราะภาคผลอาจเปลี่ยนไปจากรูปเดิมในกรณีที่เกิดขึ้นไว้นาน เนื่องจากความยืดหยุ่นของเจลลาติน
- ในขั้นตอนของการ Simulation ควรแบ่งอิเลเมนต์ให้ละเอียดกว่านี้ และควรนำเทอมของเวลามาคำนวณด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

Saeed Moaveni. **Finite Element Analysis: Theory and Application with ANSYS**, 2nd ed. , NJ: Pearson Education, 2003

ปราโมทย์ เคชะอำไพ. **ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม** , จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพ, 2537

ANSYS Tutorials

<http://www.whog.org/ppk/ammun.htm>

http://en.wikipedia.org/wiki/Browning_Hi-Power

<http://www.winchester.com>

<http://www.epinions.com/otdr-review-E04-3A0C7138-3A51FF9C-prod5>

http://en.wikipedia.org/wiki/Specifications_for_World_War_II_infantry_weapons

<http://www.huahinshooting.com/thaiarm.htm>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FDS100 Si Photodiode

High Speed
Large Active Area

The FDS100 is a high-speed silicon photodiode with a spectral response from 350nm to over 1100nm. This photodiode has a PIN structure that provides fast rise and fall times with a bias of 20V.

Electrical Characteristics

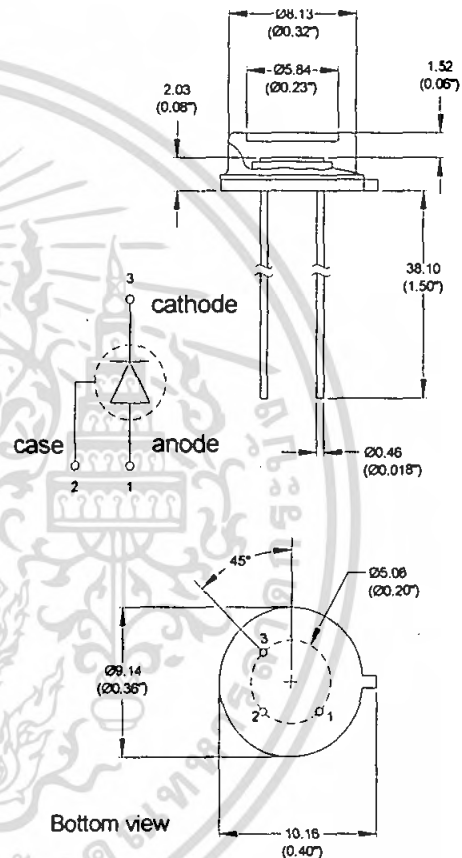
Spectral Response:	350-1100nm
Active Area:	13.0mm ²
Rise Time (RL=50Ω):	10ns (20V bias)
Fall Time (RL=50Ω):	10ns (20V bias)
NEP@900nm:	1.2 x 10 ⁻¹⁴ W/√Hz (@20V bias)
Dark Current:	20nA max (20V)
Package:	T05, 0.36" can

Maximum Ratings

Damage Threshold CW:	100 mW/cm ²
Damage 10ns Pulse:	500mJ/cm ²
Max Bias Voltage:	25V

Pin Description

1. Detector anode
2. Detector case
3. Detector cathode



The Thorlabs FDS100 photodiode is ideal for measuring both pulsed and CW light sources, by converting the optical power to an electrical current. The Si detector is housed in a T05 can, with an anode, cathode and case connection. The photodiode anode produces a current, which is a function of the incident light power and the wavelength. The responsivity $\mathfrak{R}(\lambda)$, can be read from Figure 1 to estimate the amount of photocurrent to expect. This can be converted to a voltage by placing a load resistor (R_{LOAD}) from the photodiode anode to the circuit ground. The output voltage is derived as:

$$V_O = P * \mathfrak{R}(\lambda) * R_{LOAD}$$

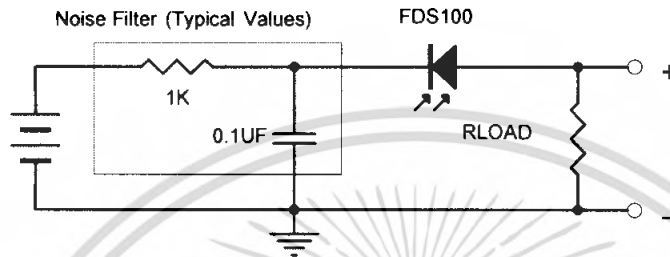
The bandwidth, f_{BW} , and the rise time response, t_r , are determined from the diode capacitance, C_J , and the load resistance, R_{LOAD} , as shown below. Placing a bias voltage from the photo diode cathode to the circuit ground can lower the photo diode capacitance.

$$f_{BW} = 1/(2\pi * R_{LOAD} * C_J), t_r = 0.35/f_{BW}$$

0637-S01 Rev E 6/19/06

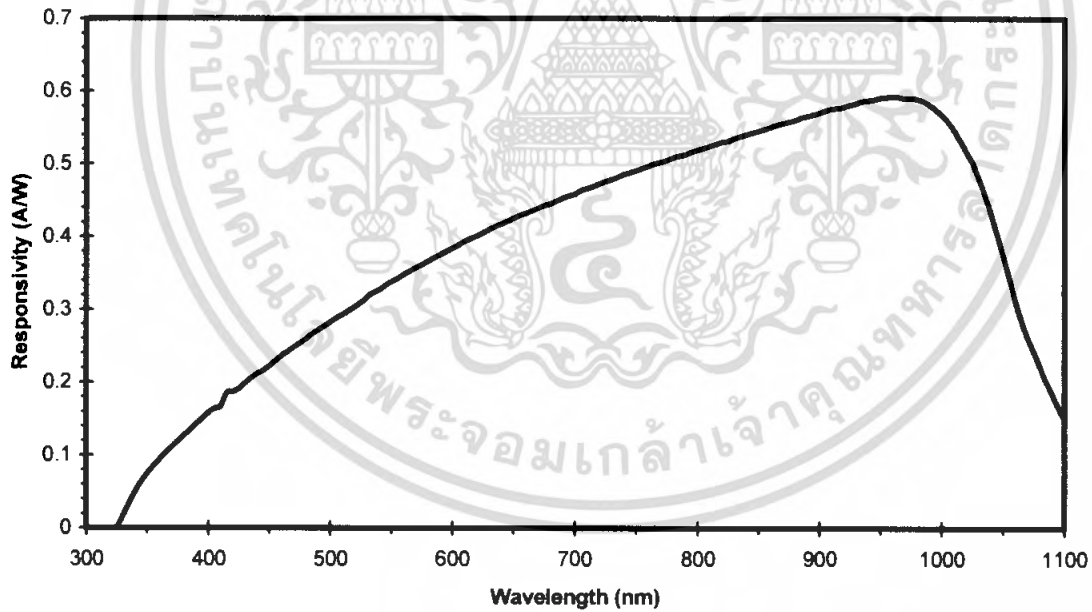
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Circuit Diagram



Typical Plots

Figure 1 - FDS100 Spectral Responsivity Curve



Typical Responsivity Curve using Thorlabs calibration services.

0637-S01 Rev E 6/19/06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

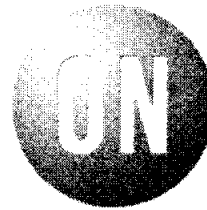
LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

Single Supply Quad Operational Amplifiers

The LM324 series are low-cost, quad operational amplifiers with true differential inputs. They have several distinct advantages over standard operational amplifier types in single supply applications. The quad amplifier can operate at supply voltages as low as 3.0 V or as high as 32 V with quiescent currents about one-fifth of those associated with the MC1741 (on a per amplifier basis). The common mode input range includes the negative supply, thereby eliminating the necessity for external biasing components in many applications. The output voltage range also includes the negative power supply voltage.

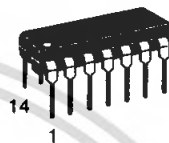
Features

- Short Circuited Protected Outputs
- True Differential Input Stage
- Single Supply Operation: 3.0 V to 32 V
- Low Input Bias Currents: 100 nA Maximum (LM324A)
- Four Amplifiers Per Package
- Internally Compensated
- Common Mode Range Extends to Negative Supply
- Industry Standard Pinouts
- ESD Clamps on the Inputs Increase Ruggedness without Affecting Device Operation
- NCV Prefix for Automotive and Other Applications Requiring Site and Control Changes
- Pb-Free Packages are Available



ON Semiconductor®

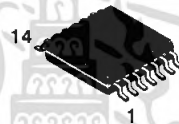
<http://onsemi.com>



**PDP-14
N SUFFIX
CASE 646**

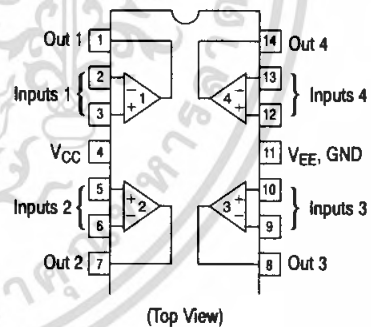


**SOIC-14
D SUFFIX
CASE 751A**



**TSSOP-14
DTB SUFFIX
CASE 948G**

PIN CONNECTIONS



ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 10 of this data sheet.

DEVICE MARKING INFORMATION

See general marking information in the device marking section on page 12 of this data sheet.

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

MAXIMUM RATINGS ($T_A = +25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Rating	Symbol	Value	Unit
Power Supply Voltages Single Supply Split Supplies	V_{CC} V_{CC}, V_{EE}	32 ± 16	Vdc
Input Differential Voltage Range (Note 1)	V_{IDR}	± 32	Vdc
Input Common Mode Voltage Range	V_{ICR}	-0.3 to 32	Vdc
Output Short Circuit Duration	t_{SC}	Continuous	
Junction Temperature (Note 2)	T_J	150	$^\circ\text{C}$
Thermal Resistance, Junction-to-Air (Note 3)	$R_{\theta JA}$	Case 646 Case 751A Case 948G	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Storage Temperature Range	T_{stg}	-65 to +150	$^\circ\text{C}$
ESD Protection at any Pin Human Body Model Machine Model	V_{esd}	2000 200	V
Operating Ambient Temperature Range	T_A	LM224 LM324, 324A LM2902 LM2902V, NCV2902 (Note 4)	$^\circ\text{C}$

Stresses exceeding Maximum Ratings may damage the device. Maximum Ratings are stress ratings only. Functional operation above the Recommended Operating Conditions is not implied. Extended exposure to stresses above the Recommended Operating Conditions may affect device reliability.

1. Split Power Supplies.
2. For supply voltages less than 32 V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.
3. All $R_{\theta JA}$ measurements made on evaluation board with 1 oz. copper traces of minimum pad size. All device outputs were active.
4. NCV2902 is qualified for automotive use.

<http://onsemi.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $V_{EE} = \text{GND}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Characteristics	Symbol	LM224			LM324A			LM324			LM2902			LM2902V/NCV2902			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage $V_{CC} = 5.0\text{ V}$ to 30 V $V_{ICR} = 0\text{ V}$ to $V_{CC} - 1.7\text{ V}$, $V_O = 1.4\text{ V}$, $R_S = 0\ \Omega$ $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{\text{high}}$ (Note 5) $T_A = T_{\text{low}}$ (Note 5)	V_{IO}	-	2.0	5.0	-	2.0	3.0	-	2.0	7.0	-	2.0	7.0	-	2.0	7.0	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Notes 5 and 7)	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	-	7.0	-	-	7.0	30	-	7.0	-	-	7.0	-	-	7.0	-	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 5)	I_{IO}	-	3.0	30	-	5.0	30	-	5.0	50	-	5.0	50	-	5.0	50	nA
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Notes 5 and 7)	$\Delta I_{IO}/\Delta T$	-	10	-	-	10	300	-	10	-	-	10	-	-	10	-	$\text{pA}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 5)	I_{IB}	-	-90	-150	-	-45	-100	-	-90	-250	-	-90	-250	-	-90	-250	nA
Input Common Mode Voltage Range (Note 6) $V_{CC} = 30\text{ V}$ $T_A = +25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 5)	V_{ICR}	0	-	28.3	0	-	28.3	0	-	28.3	0	-	24.3	0	-	24.3	V
Differential Input Voltage Range	V_{IDR}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	V
Large Signal Open Loop Voltage Gain $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$, $V_{CC} = 15\text{ V}$, for Large V_O Swing $T_A = T_{\text{high}}$ to T_{low} (Note 5)	A_{VOL}	50	100	-	25	100	-	25	100	-	25	100	-	25	100	-	V/mV
Channel Separation $10\text{ kHz} \leq f \leq 20\text{ kHz}$, Input Referenced	CS	-	-120	-	-	-120	-	-	-120	-	-	-120	-	-	-120	-	dB
Common Mode Rejection, $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$	CMR	70	85	-	65	70	-	65	70	-	50	70	-	50	70	-	dB
Power Supply Rejection	PSR	65	100	-	65	100	-	65	100	-	50	100	-	50	100	-	dB

5. LM224: $T_{\text{low}} = -25^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +85^\circ\text{C}$
 LM324/LM324A: $T_{\text{low}} = 0^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +70^\circ\text{C}$
 LM2902: $T_{\text{low}} = -40^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +105^\circ\text{C}$
 LM2902V & NCV2902: $T_{\text{low}} = -40^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +125^\circ\text{C}$
 NCV2902 is qualified for automotive use.

6. The input common mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V. The upper end of the common mode voltage range is $V_{CC} - 1.7\text{ V}$, but either or both inputs can go to $+32\text{ V}$ without damage, independent of the magnitude of V_{CC} .
7. Guaranteed by design.

<http://onsemi.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ 3 ารศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $V_{EE} = \text{GND}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.)

Characteristics	Symbol	LM224			LM324A			LM324			LM2902			LM2902V/NCV2902			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Voltage - High Limit ($T_A = T_{\text{high to low}}$) (Note 8) $V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_{CC} = 30\text{ V}$ $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$ $V_{CC} = 30\text{ V}$ $R_L = 10\text{ k}\Omega$	V_{OH}	3.3	3.5	-	3.3	3.5	-	3.3	3.5	-	3.3	3.5	-	3.3	3.5	-	V
Output Voltage - Low Limit, $V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$, $T_A = T_{\text{high to low}}$ (Note 8)	V_{OL}	-	5.0	20	-	5.0	20	-	5.0	20	-	5.0	100	-	5.0	100	mV
Output Source Current ($V_{ID} = +1.0\text{ V}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$) $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{\text{high to low}}$ (Note 8)	I_{O+}	20	40	-	20	40	-	20	40	-	20	40	-	20	40	-	mA
Output Sink Current ($V_{ID} = -1.0\text{ V}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$) $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = T_{\text{high to low}}$ (Note 8)	I_{O-}	10	20	-	10	20	-	10	20	-	10	20	-	10	20	-	mA
($V_{ID} = -1.0\text{ V}$, $V_O = 200\text{ mV}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$)		5.0	8.0	-	5.0	8.0	-	5.0	8.0	-	5.0	8.0	-	5.0	8.0	-	μA
Output Short Circuit to Ground (Note 9)	I_{SC}	-	40	60	-	40	60	-	40	60	-	40	60	-	40	60	mA
Power Supply Current ($T_A = T_{\text{high to low}}$) (Note 8) $V_{CC} = 30\text{ V}$ $V_O = 0\text{ V}$, $R_L = \infty$ $V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $V_O = 0\text{ V}$, $R_L = \infty$	I_{CC}	-	-	3.0	-	1.4	3.0	-	-	3.0	-	-	3.0	-	-	3.0	mA
		-	-	1.2	-	0.7	1.2	-	-	1.2	-	-	1.2	-	-	1.2	

8. LM224: $T_{\text{low}} = -25^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +85^\circ\text{C}$
 LM324/LM324A: $T_{\text{low}} = 0^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +70^\circ\text{C}$
 LM2902: $T_{\text{low}} = -40^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +105^\circ\text{C}$
 LM2902V & NCV2902: $T_{\text{low}} = -40^\circ\text{C}$, $T_{\text{high}} = +125^\circ\text{C}$
 NCV2902 is qualified for automotive use.

9. The input common mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V. The upper end of the common mode voltage range is $V_{CC} - 1.7\text{ V}$, but either or both inputs can go to +32 V without damage, independent of the magnitude of V_{CC} .

<http://onsemi.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

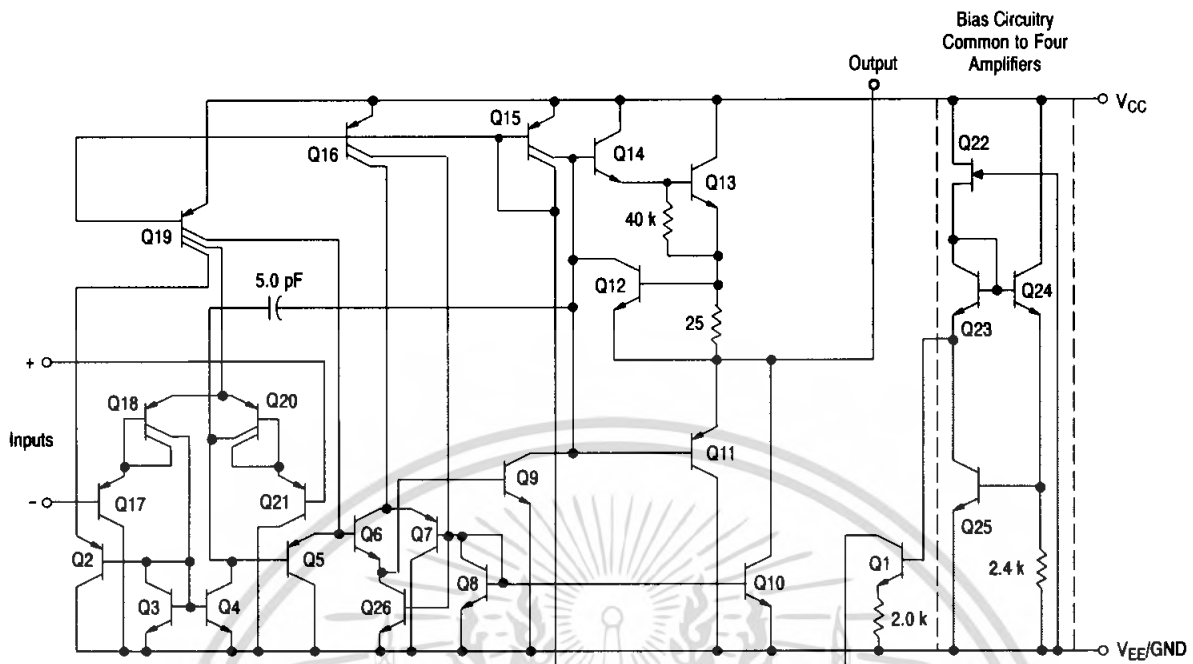
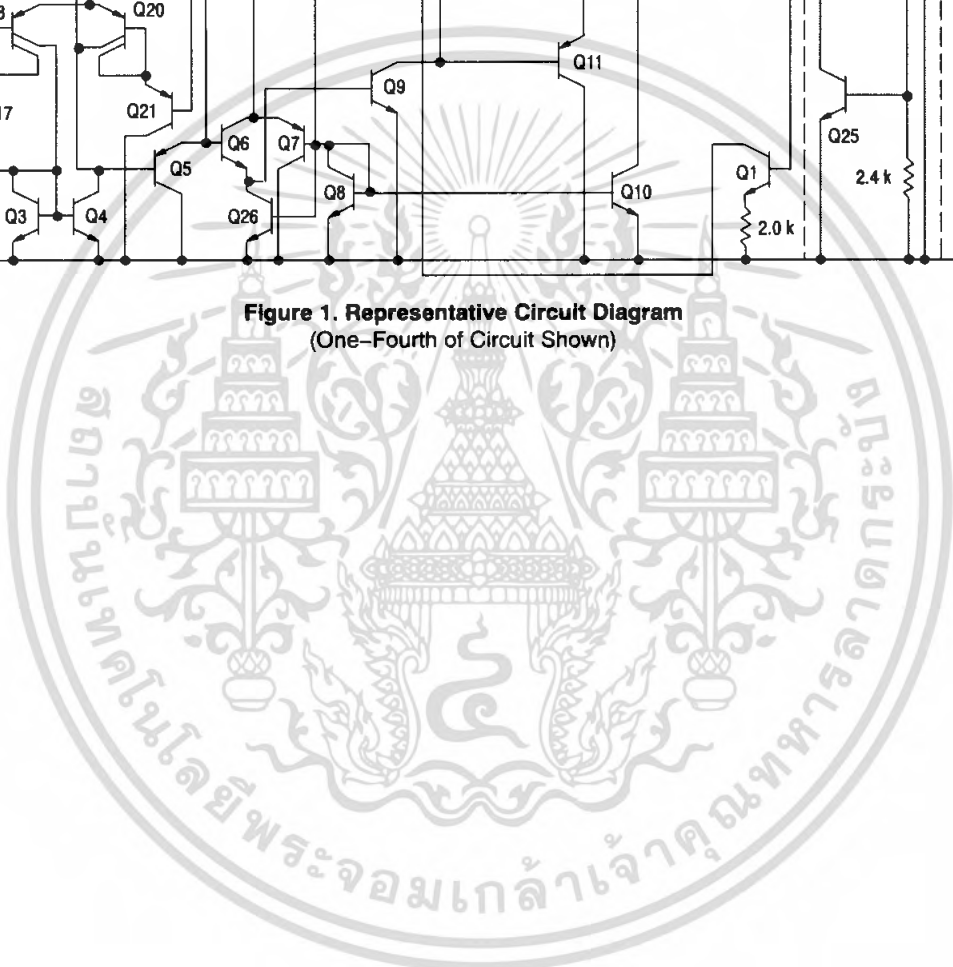


Figure 1. Representative Circuit Diagram (One-Fourth of Circuit Shown)



<http://onsemi.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

CIRCUIT DESCRIPTION

The LM324 series is made using four internally compensated, two-stage operational amplifiers. The first stage of each consists of differential input devices Q20 and Q18 with input buffer transistors Q21 and Q17 and the differential to single ended converter Q3 and Q4. The first stage performs not only the first stage gain function but also performs the level shifting and transconductance reduction functions. By reducing the transconductance, a smaller compensation capacitor (only 5.0 pF) can be employed, thus saving chip area. The transconductance reduction is accomplished by splitting the collectors of Q20 and Q18. Another feature of this input stage is that the input common mode range can include the negative supply or ground, in single supply operation, without saturating either the input devices or the differential to single-ended converter. The second stage consists of a standard current source load amplifier stage.

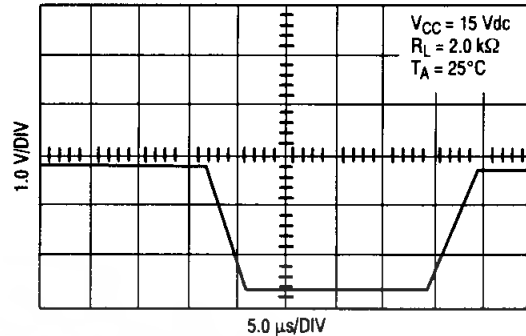


Figure 2. Large Signal Voltage Follower Response

Each amplifier is biased from an internal-voltage regulator which has a low temperature coefficient thus giving each amplifier good temperature characteristics as well as excellent power supply rejection.



Figure 3.

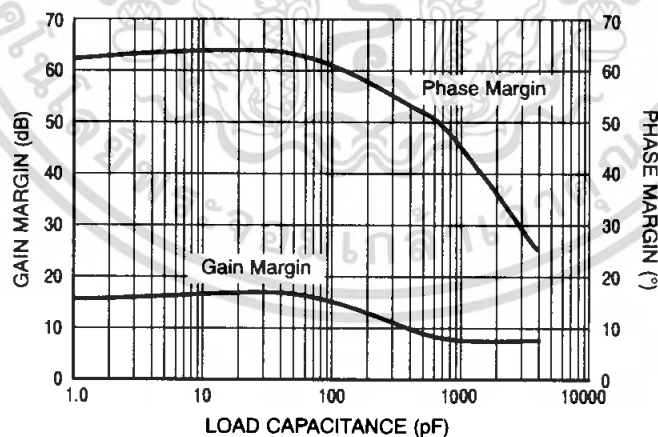


Figure 4. Gain and Phase Margin

<http://onsemi.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

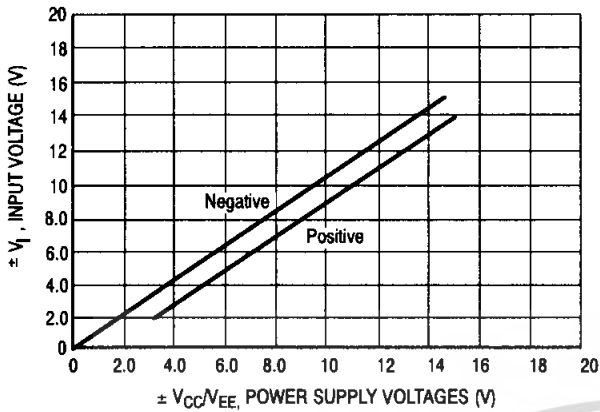


Figure 5. Input Voltage Range

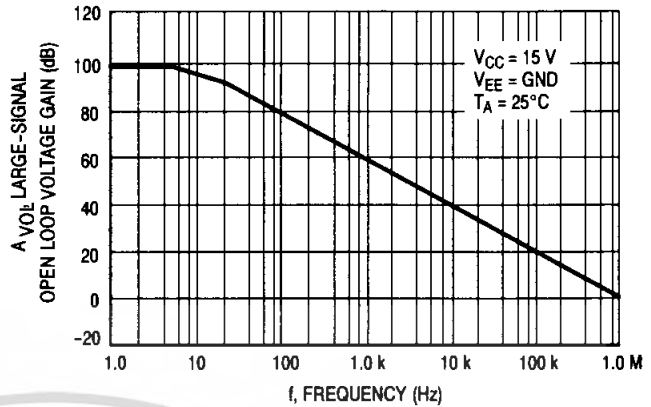


Figure 6. Open Loop Frequency

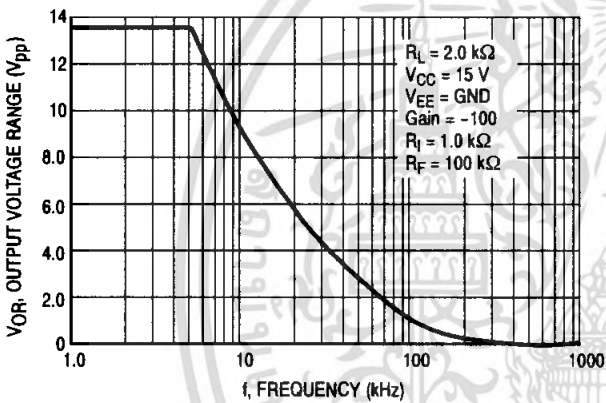


Figure 7. Large-Signal Frequency Response

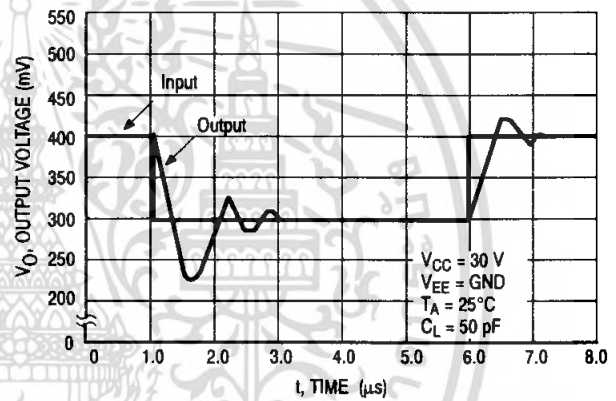


Figure 8. Small-Signal Voltage Follower Pulse Response (Noninverting)

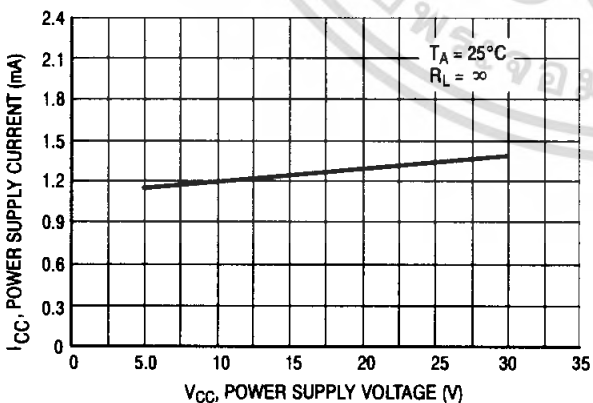


Figure 9. Power Supply Current versus Power Supply Voltage

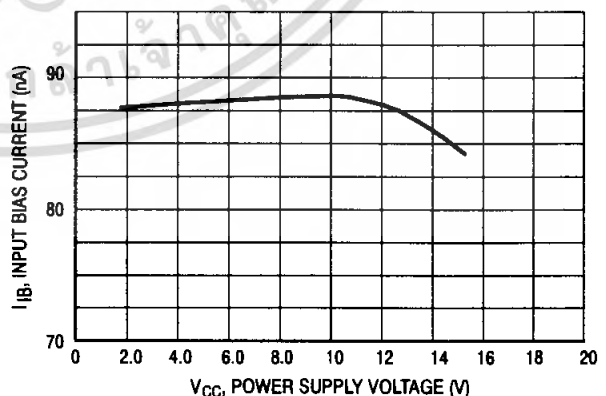


Figure 10. Input Bias Current versus Power Supply Voltage

<http://onsemi.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

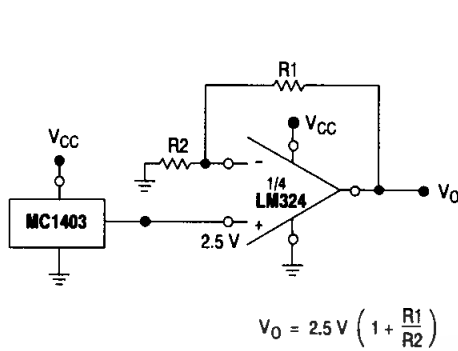


Figure 11. Voltage Reference

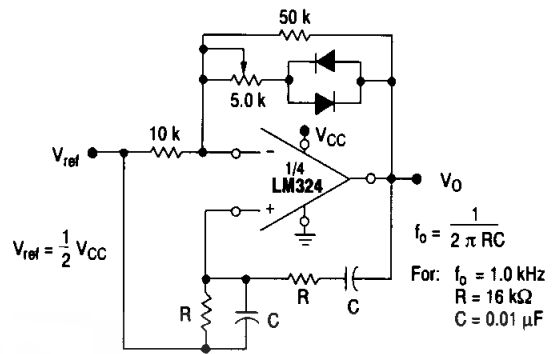


Figure 12. Wien Bridge Oscillator

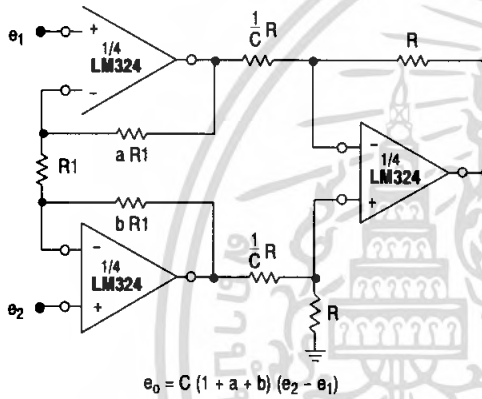


Figure 13. High Impedance Differential Amplifier

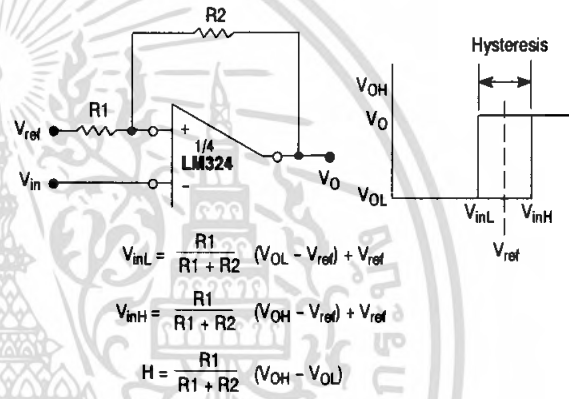


Figure 14. Comparator with Hysteresis

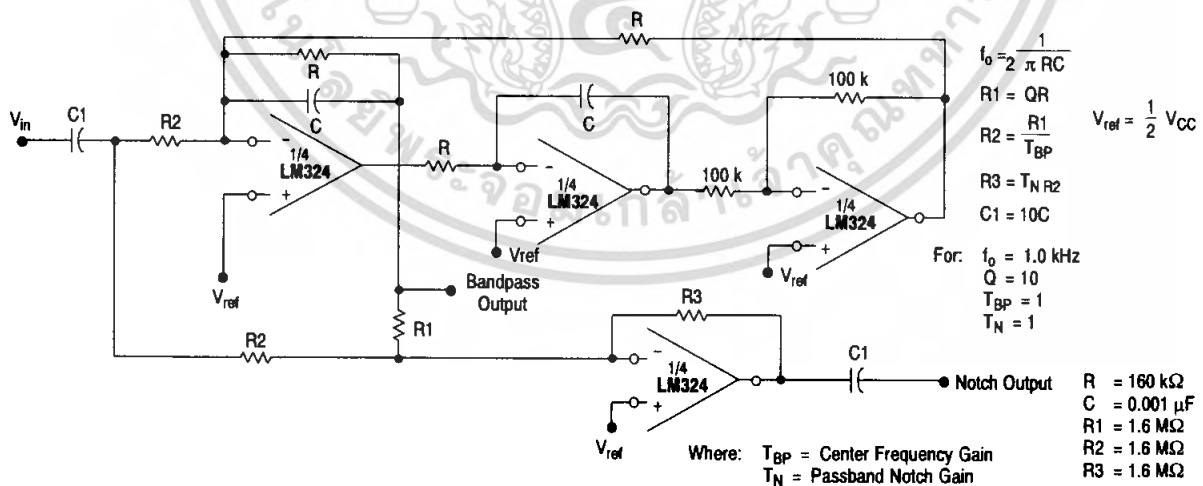


Figure 15. Bi-Quad Filter

<http://onsemi.com>
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM324, LM324A, LM224, LM2902, LM2902V, NCV2902

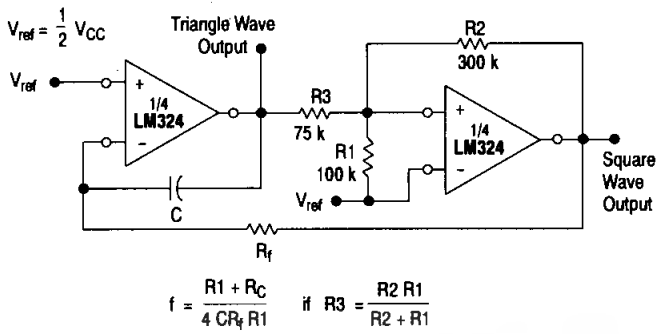


Figure 16. Function Generator

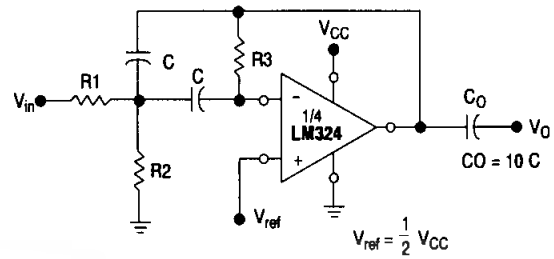


Figure 17. Multiple Feedback Bandpass Filter

Given: f_0 = center frequency

$A(f_0)$ = gain at center frequency

Choose value f_0, C

Then: $R3 = \frac{Q}{\pi f_0 C}$

$R1 = \frac{R3}{2 A(f_0)}$

$R2 = \frac{R1 R3}{4Q^2 R1 - R3}$

For less than 10% error from operational amplifier, $\frac{Q_0 f_0}{BW} < 0.1$

where f_0 and BW are expressed in Hz.

If source impedance varies, filter may be preceded with voltage follower buffer to stabilize filter parameters.

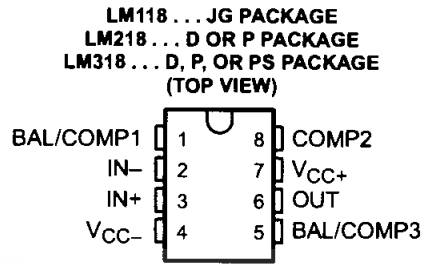


LM118, LM218, LM318 FAST GENERAL-PURPOSE OPERATIONAL AMPLIFIERS

The LM118 and LM218 are obsolete and are no longer supplied.

SLOS063B – JUNE 1976 – REVISED DECEMBER 2002

- Small Signal Bandwidth . . . 15 MHz Typ
- Slew Rate . . . 50 V/μs Min
- Bias Current . . . 250 nA Max (LM118, LM218)
- Supply Voltage Range . . . ±5 V to ±20 V
- Internal Frequency Compensation
- Input and Output Overload Protection
- Same Pin Assignments as General-Purpose Operational Amplifiers

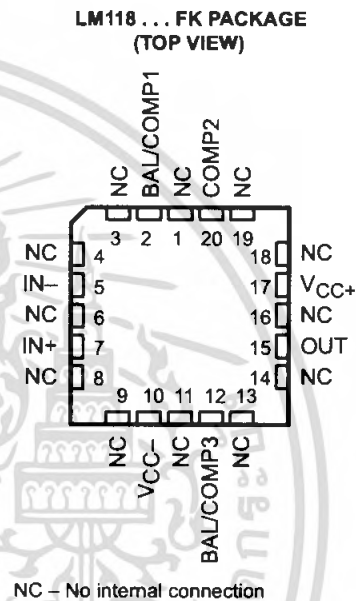


description/ordering information

The LM118, LM218, and LM318 are precision, fast operational amplifiers designed for applications requiring wide bandwidth and high slew rate. They feature a factor-of-ten increase in speed over general-purpose devices without sacrificing dc performance.

These operational amplifiers have internal unity-gain frequency compensation. This considerably simplifies their application because no external components are necessary for operation. However, unlike most internally compensated amplifiers, external frequency compensation may be added for optimum performance. For inverting applications, feed-forward compensation boosts the slew rate to over 150 V/μs and almost double the bandwidth. Overcompensation can be used with the amplifier for greater stability when maximum bandwidth is not needed. Further, a single capacitor can be added to reduce the settling time for 0.1% error band to under 1 μs.

The high speed and fast settling time of these operational amplifiers make them useful in A/D converters, oscillators, active filters, sample-and-hold circuits, and general-purpose amplifiers.



ORDERING INFORMATION

TA	V _{IO} max AT 25°C	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
0°C to 70°C	10 mV	PDIP (P)	Tube of 50	LM318P	LM318P
		SOIC (D)	Tube of 75	LM318D	LM318
			Reel of 2500	LM318DR	
		SOP (PS)	Reel of 2000	LM318PSR	LM18

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at www.ti.com/sc/package.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

 **TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 2002, Texas Instruments Incorporated

On products compliant to MIL-PRF-38535, all parameters are tested unless otherwise noted. On all other products, production processing does not necessarily include testing of all parameters.

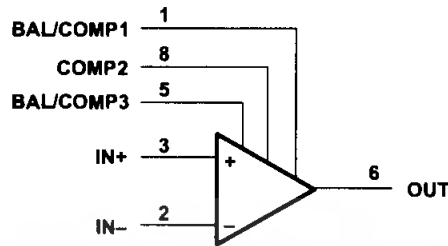
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับวงจรที่ได้อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM118, LM218, LM318 FAST GENERAL-PURPOSE OPERATIONAL AMPLIFIERS

The LM118 and LM218 are obsolete and are no longer supplied.

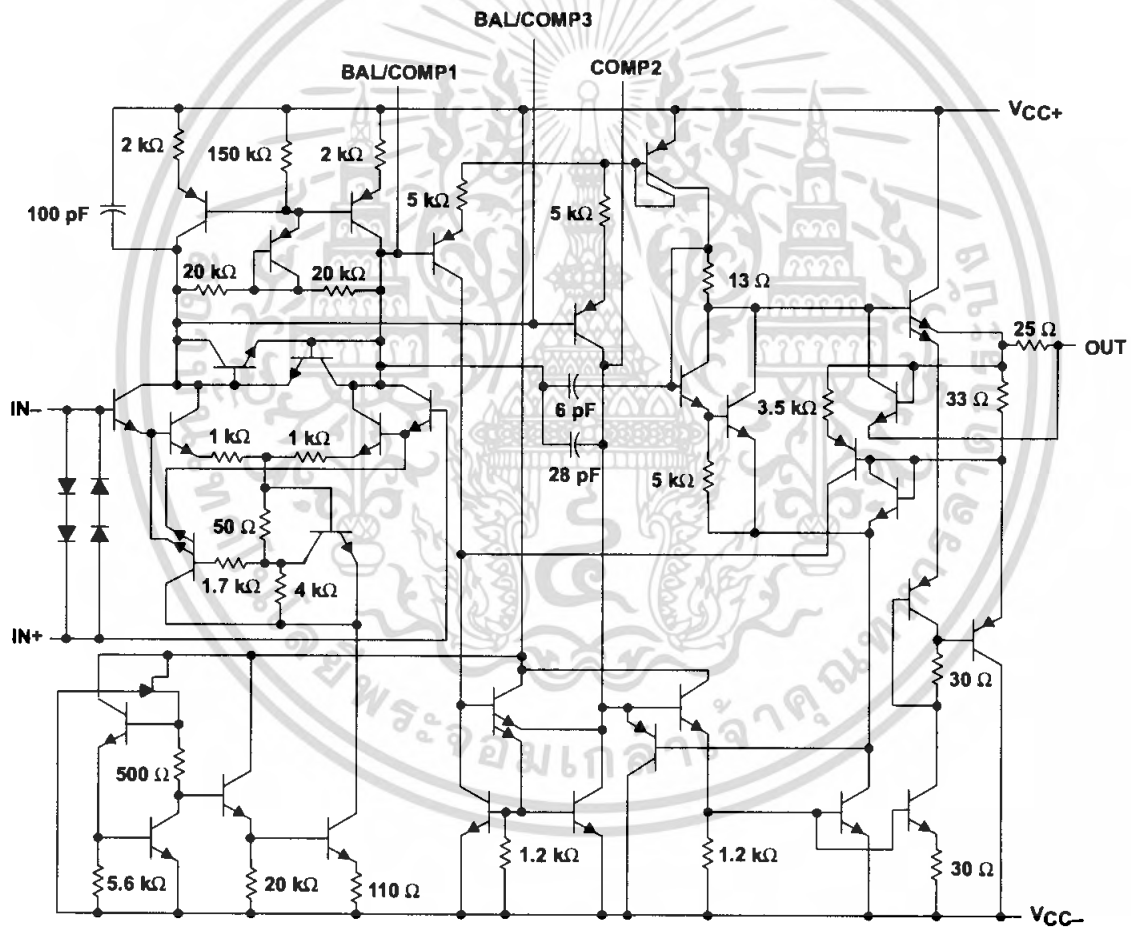
SLOS063B - JUNE 1976 - REVISED DECEMBER 2002

symbol



Pin numbers shown are for the D, JG, P, and PS packages.

schematic



Component values shown are nominal.



The LM118 and LM218 are obsolete and are no longer supplied.

SLOS063B – JUNE 1976 – REVISED DECEMBER 2002

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

Supply voltage: V_{CC+} (see Note 1)	20 V
V_{CC-} (see Note 1)	-20 V
Input voltage, V_I (either input, see Notes 1 and 2)	± 15 V
Differential input current, V_{ID} (see Note 3)	± 10 V
Duration of output short circuit (see Note 4)	Unlimited
Operating virtual junction temperature, T_J	150°C
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Notes 5 and 6): D package	97°C/W
P package	85°C/W
PS package	95°C/W
Package thermal impedance, θ_{JC} (see Notes 7 and 8): FK package	5.61°C/W
JG package	14.5°C/W
Case temperature for 60 seconds: FK package	260°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds: JG package	300°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 60 seconds: D, P, PS, or PW package	260°C
Storage temperature range, T_{stg}	-65°C to 150°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

- NOTES:
1. All voltage values, unless otherwise noted, are with respect to the midpoint between V_{CC+} and V_{CC-} .
 2. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 V, whichever is less.
 3. The inputs are shunted with two opposite-facing base-emitter diodes for overvoltage protection. Therefore, excessive current flows if a different input voltage in excess of approximately 1 V is applied between the inputs unless some limiting resistance is used.
 4. The output can be shorted to ground or either power supply. For the LM118 and LM218 only, the unlimited duration of the short circuit applies at (or below) 85°C case temperature or 75°C free-air temperature.
 5. Maximum power dissipation is a function of $T_J(\max)$, θ_{JA} , and T_A . The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is $P_D = (T_J(\max) - T_A) / \theta_{JA}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can affect reliability.
 6. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.
 7. Maximum power dissipation is a function of $T_J(\max)$, θ_{JC} , and T_C . The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is $P_D = (T_J(\max) - T_C) / \theta_{JC}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can affect reliability.
 8. The package thermal impedance is calculated in accordance with MIL-STD-883.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับจอร์เจีย POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า 3

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM118, LM218, LM318 FAST GENERAL-PURPOSE OPERATIONAL AMPLIFIERS

The LM118 and LM218 are
obsolete and are no longer supplied.

SLOS063B - JUNE 1976 - REVISED DECEMBER 2002

electrical characteristics at specified free-air temperature (see Note 5)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	T _A ‡	LM118, LM218			LM318			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V _{IO} Input offset voltage	V _O = 0	25°C		2	4		4	10	mV
		Full range			6			15	
I _{IO} Input offset current	V _O = 0	25°C		6	50		30	200	nA
		Full range			100			300	
I _{IB} Input bias current	V _O = 0	25°C		120	250		150	500	nA
		Full range			500			750	
V _{ICR} Common-mode input voltage range	V _{CC±} = ±15 V	Full range	±11.5			±11.5			V
V _{OM} Maximum peak output voltage swing	V _{CC±} = ±15 V, R _L = 2 kΩ	Full range	±12	±13		±12	±13		V
A _{VD} Large-signal differential voltage amplification	V _{CC±} = ±15 V, V _O = ±10 V, R _L ≥ 2 kΩ	25°C	50	200		25	200		V/mV
		Full range	25			20			
B _f Unity-gain bandwidth	V _{CC±} = ±15 V	25°C		15			15		MHz
r _i Input resistance		25°C	1*	3		0.5	3		MΩ
CMRR Common-mode rejection ratio	V _{IC} = V _{ICRmin}	Full range	80	100		70	100		dB
k _{SVR} Supply-voltage rejection ratio (ΔV _{CC} /ΔV _{IO})		Full range	70	80		65	80		dB
I _{CC} Supply current	V _O = 0, No load	25°C		5			10		mA

* On products compliant to MIL-STD-883, Class B, this parameter is not production tested.

† All characteristics are measured under open-loop conditions with common-mode input voltage, unless otherwise specified.

‡ Full range for LM118 is -55°C to 125°C, full range for LM218 is -25°C to 85°C, and full range for LM318 is 0°C to 70°C.

NOTE 9: Unless otherwise noted, V_{CC±} = ±5 V to ±20 V. All typical values are at V_{CC±} = ±15 V and T_A = 25°C.

operating characteristics, V_{CC±} = ±15 V, T_A = 25°C

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
SR Slew rate at unity gain	ΔV _I = 10 V, C _L = 100 pF, See Figure 1	50*	70		V/μs

* On products compliant to MIL-STD-883, Class B, this parameter is not production tested.

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

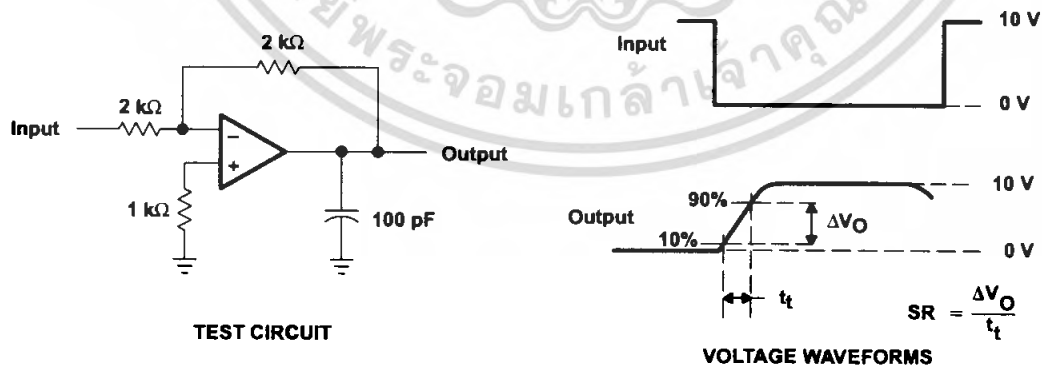


Figure 1. Slew Rate



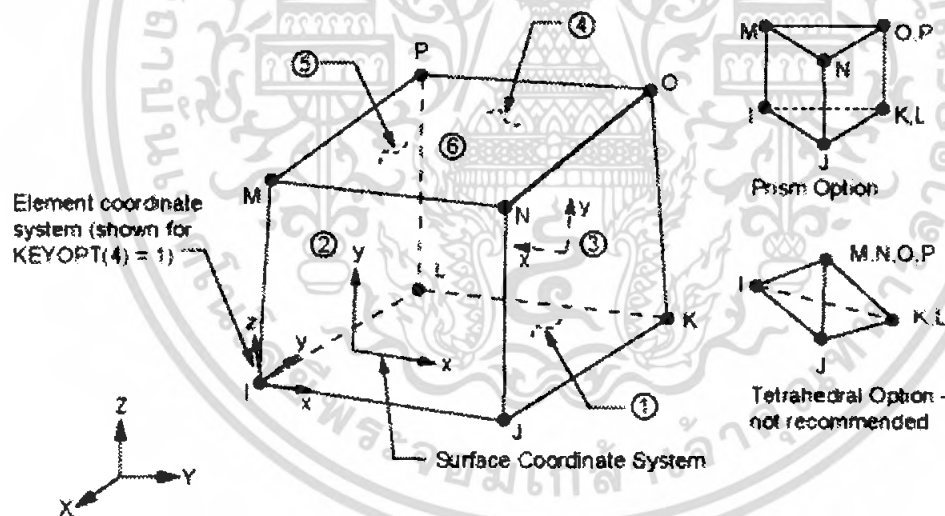
3-D Structural Solid

SOLID45 Element Description

SOLID45 is used for the 3-D modeling of solid structures. The element is defined by eight nodes having three degrees of freedom at each node: translations in the nodal x, y, and z directions.

The element has plasticity, creep, swelling, stress stiffening, large deflection, and large strain capabilities. A reduced integration option with hourglass control is available. See SOLID45 in the ANSYS, Inc. Theory Reference for more details about this element. A similar element with anisotropic properties is SOLID64. A higher-order version of the SOLID45 element is SOLID95.

Figure 45.1 SOLID45 Geometry



SOLID45 Input Data

The geometry, node locations, and the coordinate system for this element are shown in Figure 45.1: "SOLID45 Geometry". The element is defined by eight nodes and the orthotropic material properties. Orthotropic material directions correspond to the element coordinate directions. The element coordinate system orientation is as described in Coordinate Systems.

Element loads are described in Node and Element Loads. Pressures may be input as surface loads on the element faces as shown by the circled numbers on Figure 45.1:

"SOLID45 Geometry". Positive pressures act into the element. Temperatures and

fluences may be input as element body loads at the nodes. The node I temperature T(I) defaults to TUNIF. If all other temperatures are unspecified, they default to T(I). For any other input temperature pattern, unspecified temperatures default to TUNIF. Similar defaults occurs for fluence except that zero is used instead of TUNIF.

KEYOPT(1) is used to include or suppress the extra displacement shapes. KEYOPT(5) and KEYOPT(6) provide various element printout options (see Element Solution).

This element also supports uniform reduced (1 point) integration with hourglass control when KEYOPT(2) = 1. Using uniform reduced integration provides the following advantages when running a nonlinear analysis:

Less cpu time is required for element stiffness formation and stress/strain calculations to achieve a comparable accuracy to the FULL integration option.

The length of the element history saved record (.ESAV and .OSAV) is about 1/7th as much as when the full integration (2 X 2 X 2) is used for the same number of elements.

Nonlinear convergence characteristic of the option is generally far superior to the default full integration with extra displacement shape; that is, KEYOPT(1) = 0, KEYOPT(2) = 0.

The analysis will not suffer from volumetric locking which can be caused by plasticity or other incompressible material properties.

An analysis using uniform reduced integration can have the following disadvantages:

The analysis is not as accurate as the full integration method, which is apparent in the linear analysis for the same mesh.

The analysis cannot capture the bending behavior with a single layer of elements; for example, in the case of a fixed-end cantilever with a lateral point load, modeled by one layer of elements laterally. Instead, four elements are usually recommended.

When the uniform reduced integration option is used (KEYOPT(2) = 1 - this option is the same as SOLID185 with KEYOPT(2) = 1), you can check the accuracy of the solution by comparing the total energy (SENE label in ETABLE) and the artificial energy (AENE label in ETABLE) introduced by hourglass control. If the ratio of artificial energy to total energy is less than 5%, the solution is generally acceptable. If the ratio exceeds 5%, refine the mesh. The total energy and artificial energy can also

be monitored by using the `OUTPR, VENG` command in the solution phase. For more details, see the ANSYS, Inc. Theory Reference.

You can apply an initial stress state to this element through the `ISTRESS` or `ISFILE` command. For more information, see Initial Stress Loading in the ANSYS Basic Analysis Guide. Alternately, you can set `KEYOPT(9) = 1` to read initial stresses from the user subroutine `USTRESS`. For details on user subroutines, see the Guide to ANSYS User Programmable Features.

You can include the effects of pressure load stiffness in a geometric nonlinear analysis using `SOLCONTROL,,,INCP`. Pressure load stiffness effects are included in linear eigenvalue buckling automatically. If an unsymmetric matrix is needed for pressure load stiffness effects, use `NROPT, UNSYM`.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้