



การพัฒนาเทคนิคการระเบิดที่เกิดแรงสั่นสะเทือนต่ำสำหรับการระเบิดเปลือกดิน
ที่เหมืองแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

**Development of Low-vibration Blasting Technique for Blasting Overburden
at EGAT-Mae Moh mine**

จิรวรรณ ดำรงค์ฤทธิ

Jirawun Dumrongrit

วิทยานิพนธ์นี้สำหรับการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเหมืองแร่

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Fulfillment of the Requirements for the Degree of

Master of Engineering in Mining Engineering

Prince of Songkla University

2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



การพัฒนาเทคนิคการระเบิดที่เกิดแรงสั่นสะเทือนต่ำสำหรับการระเบิดเปลือกดิน
ที่เหมืองแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
**Development of Low-vibration Blasting Technique for Blasting Overburden
at EGAT-Mae Moh mine**

จิรวรรณ ดำรงค์ฤทธิ

Jirawun Dumrongrit

วิทยานิพนธ์นี้สำหรับการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเหมืองแร่
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Mining Engineering
Prince of Songkla University**

2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาเทคนิคการระเบิดที่เกิดแรงสั่นสะเทือนต่ำสำหรับการระเบิดเปลือก
ดินที่เหมืองแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

ผู้เขียน นางสาวจิราวรรณ คำรงค์ฤทธิ์

สาขาวิชา วิศวกรรมเหมืองแร่

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญ์ บุญนวล)

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนูญ มาศนิยม)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญ์ บุญนวล)

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิษณุ ราชเพ็ชร)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิษณุ ราชเพ็ชร)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ไพรัช จรุงพัฒนพงศ์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
สำหรับการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเหมืองแร่

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรพล ศรีชนะ)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญ์ บุญนวล)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(นางสาว จิราวรรณ ดำรงค์ฤทธิ์)

นักศึกษา

(4)

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นางสาว จิราวรรณ คำรงค์ฤทธิ์)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาเทคนิคการระเบิดที่เกิดแรงสั่นสะเทือนต่ำสำหรับการระเบิดเปลือกดินที่เหมืองแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
ผู้เขียน	นางสาวจิราวรรณ คำรงค์ฤทธิ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมเหมืองแร่
ปีการศึกษา	2559

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยในครั้งนี้คือ การศึกษาพัฒนาเทคนิคการระเบิดให้มีแรงสั่นสะเทือนต่ำที่เหมืองแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย จ.ลำปางในการศึกษานี้ จะเก็บข้อมูลแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากเทคนิคการระเบิดแบบต่างๆ ได้แก่ การระเบิดโดยการใช้กรวยอุดระเบิด การระเบิดโดยการเว้นช่องว่างอากาศ การระเบิดโดยการแบ่งอัดวัตถุระเบิดออกเป็นช่วง และการประยุกต์ใช้หลักการการสลายกันของพลังงาน มาเปรียบเทียบกับวิธีการระเบิดแบบเดิมที่เหมืองแม่เมาะในปัจจุบัน

แรงสั่นสะเทือนจากการระเบิดจะวัดในรูปความเร็วอนุภาคสูงสุด และทำการวัดที่ระยะ 300 และ 500 เมตร ทางด้านหลังหรือด้านข้างของหน้างาน นำค่าเฉลี่ยของข้อมูลมาเปรียบเทียบ ผลการศึกษาพบว่า การระเบิดโดยการใช้กรวยอุดระเบิดสามารถลดแรงสั่นสะเทือนได้ 11-45% การระเบิดโดยเว้นช่องว่างอากาศสามารถลดแรงสั่นสะเทือนได้ 34-54% การระเบิดโดยการแบ่งอัดวัตถุระเบิดออกเป็นช่วงสามารถลดแรงสั่นสะเทือนได้ 31-47% และการประยุกต์ใช้หลักการการสลายกันของพลังงานสามารถลดแรงสั่นสะเทือนได้ถึง 41-68% เมื่อเปรียบเทียบกับแรงสั่นสะเทือนที่ได้จากการระเบิดแบบเดิมที่เหมืองแม่เมาะในปัจจุบัน

Thesis Title	Development of low-vibration blasting technique for blasting overburden at EGAT-Mae Moh mine
Author	Miss. Jirawun Dumrongrit
Major Program	Mining Engineering
Academic Year	2016

ABSTRACT

This research aims to develop low-vibration blasting techniques that can apply to blast overburden at EGAT-Mae Moh mine, Lampang Province. The blast induced ground vibration data were collected from different blasting techniques such as stem plug blasting, air deck blasting, deck charged blasting and waveform interference blasting.

Ground vibration was measured in peak particle velocity, ppv, and collected at 300 and 500 meters behind or beside workface. Average of several data for each blasting techniques were used for comparison. The result showed that, in comparing to conventional blasting technique, stem plug blasting could reduce ground vibration by 11-45%. Thus air deck blasting could reduce by 34-54%. While deck charged blasting could reduce by 31-47% and finally waveform interference application blasting could reduce by 41-68%.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านเป็นอย่างสูง ซึ่งคอยให้ความช่วยเหลือไม่ว่าจะทั้งทางตรงและทางอ้อมที่ได้กล่าวถึงและไม่ได้กล่าวถึง

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนูญ มาศนิยม ประธานกรรมการสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. พิษณุ บุญนวล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพรัช จุฑาพัฒน์พงศ์ กรรมการสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิษณุ ราชเพ็ชร ที่คอยให้คำปรึกษาแนะนำและคอยดูแล ช่วยเหลือแก้ปัญหาในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความร่วมมือและให้คำปรึกษาต่างๆเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณคุณเฉลิมพงษ์ เกตุแก้ว หัวหน้าแผนกเจาะระเบิดเหมืองแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย คุณปิยพงษ์ คงแจ่ม และคุณนันทวัฒน์ เป็ดทอง ในการให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ และอำนวยความสะดวกสบายในการปฏิบัติงานภาคสนามที่เหมืองแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

ขอขอบพระคุณ ลุงปิ่น ลุงนิก ลุงต้อย ลุงแสง ลุงเทศต์ พี่ต้อม พี่นุ้ย พี่เจ็ง และพนักงานที่โรงผสมปุ๋ย ที่ช่วยเหลือในการเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ต่างๆ และการปฏิบัติงานภาคสนาม

ขอขอบพระคุณคุณกฤษณ์ สารทะวงษ์ และคุณวิสวัสดิ์ หลิวจิตร ที่คอยช่วยเหลือให้คำปรึกษาทั้งในเรื่องการเรียนและการทำงาน และให้การช่วยเหลือในการปฏิบัติงานภาคสนามตลอดมา

และขอขอบพระคุณคุณจิรานันท์ บัวชื่น และคุณนฤมล จันทผล ในการให้ความช่วยเหลือในทุกเรื่อง

ผู้วิจัยขออุทิศส่วนดีและประโยชน์อันพึงได้รับจากการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้แด่คุณพ่อสมบุรณ์ คำรงค์ฤทธิ์ คุณแม่สุมาลี แก้วดวง คุณตาเฟื่อง แก้วดวง คุณยายสาตี พลนุ้ย พี่สาวนางสาวกนกวรรณ คำรงค์ฤทธิ์ และน้องสาวดวงนภา แก้วดวง ที่คอยให้กำลังใจและอยู่เคียงข้างกันตลอดมาจนถึงวันนี้

จิรวรรณ คำรงค์ฤทธิ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	5
กิตติกรรมประกาศ	7
สารบัญ	8
รายการตาราง	10
รายการรูป	11
บทที่	
1 บทนำ	15
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	15
1.2 การตรวจเอกสารและรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	22
1.4 ขอบเขตการศึกษา	23
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	23
1.6 สถานที่วิจัย	23
2 วิธีการดำเนินงานวิจัย	24
2.1 พื้นที่ในการศึกษา	24
2.2 วัสดุและอุปกรณ์	24
2.3 วิธีการดำเนินการ	25
2.4 การเลือกพื้นที่ที่ใช้ในการทดลอง	26
2.5 การเตรียมพื้นที่สำหรับการทดลอง	27
2.6 การเลือกตำแหน่งสำหรับตั้งเครื่องวัดแรงสั่นสะเทือน	27
2.7 การประเมินผลการศึกษา	29
2.8 รูปแบบการระเบิด	29
2.8.1 การระเบิดแบบที่เหมือนแม่เมาะใช้ในปัจจุบัน	29
2.8.2 การระเบิดโดยใช้กรวยอุดระเบิด	31
2.8.3 การระเบิดโดยใช้ช่องว่างอากาศภายในรูเจาะ	36
2.8.4 การเตรียมอุปกรณ์สำหรับใช้เป็นช่องว่างในการระเบิดโดยใช้เทคนิคการเว้นช่องว่างอากาศภายในรูเจาะ	42
2.8.5 การระเบิดโดยการใช้เทคนิคการแบ่งวัตถุระเบิดออกเป็นช่วง	43

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8.6 การระเบิดโดยการประยุกต์ใช้หลักการ การสลายกันของพลังงาน	45
2.8.7 การออกแบบเวลาหน่วงสำหรับการระเบิดโดย การใช้หลักการการสลายกันของพลังงาน	49
3 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล	51
3.1 การระเบิดแบบปกติที่เหมืองแม่เมาะใช้ในปัจจุบัน	51
3.1.1 ผลการวัดแรงสั่นสะเทือน	51
3.1.2 ผลการแตกของดิน	51
3.2 การระเบิดโดยการใช้กรวยอุดระเบิด	53
3.2.1 ผลการวัดแรงสั่นสะเทือน	53
3.2.2 ผลการแตก	56
3.3 การระเบิดโดยใช้เทคนิคการเว้นช่องว่างอากาศภายในรูเจาะ	58
3.3.1 ผลการวัดแรงสั่นสะเทือน	58
3.3.2 ผลการแตก	63
3.4 การระเบิดโดยใช้เทคนิคการแบ่งอัดวัตถุระเบิดออกเป็นช่วง	65
3.4.1 ผลการวัดแรงสั่นสะเทือน	65
3.4.2 ผลการแตก	67
3.5 การระเบิดโดยการประยุกต์ใช้หลักการการสลายพลังงาน	69
3.5.1 ผลการวัดแรงสั่นสะเทือน	69
3.5.2 ผลการแตก	73
4 สรุปผลการศึกษา	76
4.1 สรุปผล	76
4.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	79
บรรณานุกรม	81
ประวัติผู้เขียน	83
ภาคผนวก	84

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แสดงร้อยละของการลดลงของแรงสั่นสะเทือนที่จังหวัดต่างๆ	21
2.1	การออกแบบการระเบิดโดยการประยุกต์ใช้หลักการการสลายกันของพลังงาน โดยใช้เก็บไฟฟ้าเบอร์เดียวกันทุกภูเขา	50
2.2	การออกแบบการระเบิดโดยการประยุกต์ใช้หลักการการสลายกันของพลังงาน โดยใช้เก็บไฟฟ้าหลายเบอร์	50
3.1	ผลการวัดแรงสั่นสะเทือนจากการระเบิดแบบที่เหมืองแม่มาะไออยู่ในปัจจุบันวัดที่ระยะ 300 เมตรและ 500 เมตร Explosive factor 0.3 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร และปริมาณวัตถุระเบิดสูงสุดต่อจังหวัด 50 กิโลกรัม	53
3.2	ผลการวัดแรงสั่นสะเทือนจากการระเบิดโดยใช้กรวยอุดรูระเบิดวัดที่ระยะ 300 เมตรและ 500 เมตร	54
3.3	ผลการวัดแรงสั่นสะเทือนจากการระเบิดโดยใช้เทคนิคการเว้นช่องว่างอากาศภายในภูเขา (Air-deck blasting) โดยทำการวัดที่ระยะ 300 เมตรและ 500 เมตร	60
3.4	การระเบิดโดยใช้เทคนิคการแบ่งบรรจุวัตถุระเบิดออกเป็นช่วงกรณีที่ 1 อัลดินอุดปากรูแบบ 1.5 เมตร ต่อ 2.5 เมตร	66
3.5	การระเบิดโดยใช้เทคนิคการแบ่งบรรจุวัตถุระเบิดออกเป็นช่วงกรณีที่ 2 อัลดินอุดปากรูแบบ 1.7 เมตร ต่อ 2.3 เมตร	66
3.6	ผลการวัดแรงสั่นสะเทือนจากการระเบิดโดยใช้หลักการการสลายพลังงาน (Waveform interference blasting) โดยทำการวัดที่ระยะ 500 เมตร	71
4.1	เปอร์เซ็นต์ของการลดลงของแรงสั่นสะเทือนที่ระยะ 300 เมตรและ 500 เมตรของการระเบิดโดยใช้กรวยอุดรูระเบิด	77
4.2	เปอร์เซ็นต์ของการลดลงของแรงสั่นสะเทือนที่ระยะ 300 เมตรและ 500 เมตรของการระเบิดโดยใช้เทคนิคการเว้นช่องว่างอากาศภายในภูเขา	78
4.3	เปอร์เซ็นต์ของการลดลงของแรงสั่นสะเทือนที่ระยะ 300 เมตรและ 500 เมตรของการระเบิดโดยใช้เทคนิคการแบ่งวัตถุระเบิดออกเป็นช่วง	78
4.4	เปอร์เซ็นต์ของการลดลงของแรงสั่นสะเทือนของแต่ละเวลาหนึ่ง	79

รายการรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แผนผังในการระเบิด	16
1.2	วิธีการทดลองลดแรงสั่นสะเทือน โดยการใช้ร่อง	17
1.3	ผลการลดแรงสั่นสะเทือน โดยการใช้ร่องไม่มีน้ำกั้น	18
1.4	ผลการลดความสั่นสะเทือน โดยการใช้ร่องมีน้ำกั้น	18
1.5	วิธีการทดลองลดคลื่นความสั่นสะเทือนด้านหลังร่อง	19
1.6	ผลการลดความสั่นสะเทือนด้านหลังร่องที่ระยะห่างต่างๆ	19
1.7	กราฟความเร็วอนุภาคที่เกิดขึ้นเมื่อหน่วงเวลาที่ค่าต่างๆ บริเวณที่ไม่มีรอยเลื่อนตัดผ่าน	22
1.8	กราฟความเร็วอนุภาคที่เกิดขึ้นเมื่อหน่วงเวลาที่ค่าต่างๆ บริเวณที่มีรอยเลื่อนตัดผ่าน	22
2.1	พื้นที่ที่ใช้ในการศึกษา	24
2.2	ลักษณะหน้างานที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลอง	26
2.3	การวางหน้างานระเบิด	27
2.4	ตำแหน่งในการตั้งเครื่องวัดแรงสั่นสะเทือน	28
2.5	ลักษณะการตั้งเครื่องวัดแรงสั่นสะเทือน	28
2.6	แบบจำลองภาพตัดขวางของรูระเบิดแบบปกติที่เหมือน แม่เมาะใ้ช้อยู่ในปัจจุบัน	30
2.7	แก้ป้ไฟฟ้าแบบหน่วงเวลาได้ชนิดไม่ใช้ไฟฟ้า	30
2.8	แผนผังของการระเบิดและเวลาหน่วงของการระเบิด โดยการใช้แก้ป้ไฟฟ้าแบบหน่วงเวลาได้ชนิดไม่ใช้ไฟฟ้า	31
2.9	กรวยอุดรูระเบิดขนาด 178 มิลลิเมตรที่ใช้ในการศึกษา	31
2.10	แบบจำลองภาพตัดขวางของรูระเบิดของการระเบิด โดยใช้กรวยอุดรูระเบิดแบบธรรมดา	32
2.11	รูปแบบการระเบิดโดยใช้กรวยอุดรูระเบิดแบบลด Explosive factor ก.แผนผังการระเบิด ข.แบบจำลองภาพตัดขวางของรูระเบิด	33
2.12	รูปแบบการระเบิดโดยใช้กรวยอุดรูระเบิดแบบเพิ่ม Explosive factor ก.แผนผังการระเบิด ข.แบบจำลองภาพตัดขวางของรูระเบิด	34

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.13	การเตรียมการทดลองสำหรับการระเบิดโดยใช้กรวยอุดรูระเบิด	35
2.14	แบบจำลองรูปตัดขวางของรูระเบิดโดยใช้เทคนิค Air deck ที่ 10%	36
2.15	ชุดอุปกรณ์สำหรับใช้เป็นช่องว่างในการทำ Air-deck ที่ 10%	37
2.16	แบบจำลองรูปตัดขวางของรูระเบิดโดยใช้เทคนิค Air deck ที่ 12.5%	38
2.17	ชุดอุปกรณ์สำหรับใช้เป็นช่องว่างในการทำ Air deck ที่ 12.5%	38
2.18	แบบจำลองรูปตัดขวางของรูระเบิดโดยใช้เทคนิค Air deck ที่ 15%	39
2.19	ชุดอุปกรณ์สำหรับใช้เป็นช่องว่างในการทำ Air-deck ที่ 15%	40
2.20	การชั่งน้ำหนัก ANFO สำหรับใช้ในการทดลอง	41
2.21	การเตรียมหน้างานสำหรับการระเบิดโดยใช้เทคนิค การเว้นช่องว่างอากาศภายในรูเจาะ	41
2.22	การจัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับใช้เป็นช่องว่างในการระเบิด	42
2.23	(ก) แบบจำลองรูปตัดขวางของรูระเบิดของการระเบิดโดยใช้เทคนิค Deck-Charge 1.5:2.5 และ(ข) แบบจำลองรูปตัดขวางของรูระเบิดของการระเบิดโดยใช้เทคนิค Deck-Charge 1.7:2.3	44
2.24	ลักษณะของการระเบิดโดยใช้เทคนิคการแบ่งวัตถุระเบิด ออกเป็นช่วง (Deck charge blasting)	45
2.25	(ก) ฟังการระเบิดหน่วงเวลาที่ 8 มิลลิวินาที (ข) ฟังการระเบิดหน่วงเวลาที่ 10 มิลลิวินาที (ค) ฟังการระเบิดหน่วงเวลาที่ 12 มิลลิวินาที (ง) ฟังการระเบิดหน่วงเวลาที่ 15 มิลลิวินาที (จ) ฟังการระเบิดหน่วงเวลาที่ 18 มิลลิวินาที (ฉ) ฟังการระเบิดหน่วงเวลาที่ 25 มิลลิวินาที (ซ) แบบจำลองรูปตัดขวางของรูระเบิด	48
2.26	เครื่องจุดระเบิดแบบหน่วงเวลา (Sequential blasting machine)	48
2.27	Terminal board	49
3.1	ขนาดการแตกของดินที่ได้จากการระเบิดแบบปกติที่เหมืองแม่เมาะในปัจจุบัน	52
3.2	การฟูของดิน	52

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.3	ขนาดของดินที่ได้จากการระเบิดของการระเบิดโดยใช้ กรวยอุดรูระเบิดแบบธรรมดา	56
3.4	ขนาดการแตกของดินที่ได้จากการระเบิดของการระเบิดแบบที่เหมือนแม่เมะใช้	57
3.5	ขนาดของดินจากการระเบิดโดยใช้กรวยอุดรูระเบิดแบบ ลด Explosive factor	57
3.6	ขนาดของดินที่ได้จากการระเบิดโดยใช้กรวยอุดรูระเบิดแบบ เพิ่ม Explosive factor	58
3.7	ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของช่องว่างภายในรูเจาะ (% Air deck) และแรงสั่นสะเทือนที่ระยะ 300 เมตร	59
3.8	ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของช่องว่างภายในรูเจาะ (% Air deck) และแรงสั่นสะเทือนที่ระยะ 500 เมตร	60
3.9	ขนาดของดินจากการระเบิดโดยใช้เทคนิค Air-deck 10 %	63
3.10	ขนาดของดินที่ได้จากการระเบิดโดยเทคนิค Air-deck 12.5 %	64
3.11	ขนาดของดินที่ได้จากการระเบิดโดยใช้เทคนิค Air-deck 15 %	64
3.12	การแตกของหินในบริเวณขอบหลุมระเบิดของการระเบิดโดยใช้ เทคนิคการแบ่งบรรจุวัตถุระเบิดออกเป็นช่วงกรณีที่ 1 แบบ 1.5 เมตร:2.5 เมตร	65
3.13	ขนาดของดินและการแตกที่หน้าออกของลูกบอลสเกลโดยใช้เทคนิค การแบ่งบรรจุวัตถุระเบิดออกเป็นช่วงกรณีที่ 1 แบบ 1.5 เมตร:2.5 เมตร	67
3.14	ขนาดของดินจากการระเบิดโดยใช้เทคนิคการแบ่งบรรจุวัตถุระเบิดออกเป็น ช่วงกรณีที่ 2 แบบ 1.7 เมตร:2.3 เมตร	68
3.15	ขนาดของดินและการแตกที่หน้าออกของลูกบอลสเกลโดยใช้เทคนิคการแบ่ง บรรจุวัตถุระเบิดออกเป็นช่วงกรณีที่ 2 แบบ 1.7 เมตร:2.3 เมตร	68
3.16	กราฟแสดงการลดลงของแรงสั่นสะเทือนแต่ละเวลาหนึ่ง	69
3.17	ผลการระเบิดโดยใช้หลักการ Wave form interference ถ่วงจังหวะที่ 10 มิลลิวินาที	70
3.18	ผลการระเบิดโดยใช้หลักการ Wave form interference ถ่วงจังหวะที่ 15 มิลลิวินาที	74

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.19	ผลการระเบิดโดยใช้หลักการWave form interference ถ่วงจังหวะที่ 18 มิลลิวินาที	74
3.20	ผลการระเบิดโดยใช้หลักการWave form interference ถ่วงจังหวะที่ 25 มิลลิวินาที	75
4.1	แผนภูมิแสดงการลดลงของแรงสั่นสะเทือนทุกเทคนิคที่ระยะ 500 เมตร	76
4.2	การพุ่งขึ้นด้านบนของดินของการระเบิดโดยการแบ่งวัตถุระเบิดออกเป็นช่วง	79

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของหัวข้อวิจัย

การระเบิดถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการทำเหมืองแบบเปิด (open pit) สำหรับเหมืองแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง การระเบิดเปลือกดินเพื่อให้ร่วนซุย จะช่วยให้ขุดตักได้ง่ายขึ้น เพิ่มอัตราการขุดตักและลดการสึกหรอของเครื่องจักรแต่อย่างไรก็ตามการระเบิดนั้นสามารถทำให้เกิดผลกระทบแรงสั่นสะเทือนซึ่งเหมืองแม่เมาะได้ให้ความสำคัญในเรื่องนี้เป็นอย่างมาก และได้มีความพยายามควบคุมให้แรงสั่นสะเทือนให้อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย โดยการควบคุมปริมาณวัตถุระเบิดสูงสุดต่อจังหวะถ่วงของแก็ปจุกระเบิด ตามโมเดลการประเมินแรงสั่นสะเทือนที่ได้มีการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา (พิชญ บุนนวลและคณะ 2554)

อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการระเบิดในพื้นที่ SE ซึ่งอยู่ในโซนที่ใกล้ขอบเขตประทานบัตรหรือชุมชนมากขึ้น โดยมีระยะทางน้อยกว่า 1 กิโลเมตร การระเบิดจะทำได้ยากขึ้นเนื่องจากต้องจำกัดปริมาณวัตถุระเบิดในปริมาณที่น้อยเกินกว่าที่จะใช้ระเบิดได้อย่างมีประสิทธิภาพการเปิดเปลือกดินบริเวณนี้จึงต้องใช้รถขุดขุดดินโดยตรง ไม่สามารถใช้การระเบิดให้แตกร่วนเพื่อง่ายในการขุดตักเหมือนก่อน ซึ่งทำให้ขุดได้ช้า การสึกหรอสูง ต้นทุนการเปิดเปลือกดินก็จะสูงตามขึ้นไปด้วย

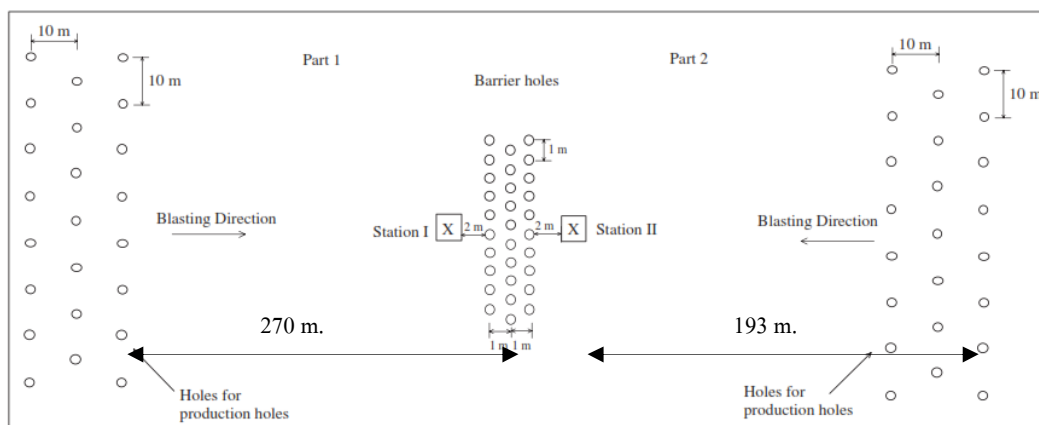
ดังนั้นการพัฒนาเทคนิคพิเศษที่จะสามารถลดแรงสั่นสะเทือนได้ก็น่าจะทำให้สามารถใช้วัตถุระเบิดในปริมาณที่สูงขึ้น ทำให้มีโอกาสที่จะใช้การระเบิดช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการขุดเปิดเปลือกดินได้เพื่อลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการเปิดเปลือกดินลงมาได้

1.2 การตรวจเอกสารและรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในอดีตที่ผ่านมาได้มีการศึกษาและรายงานทางวิชาการค่อนข้างหลากหลายที่เกี่ยวข้องกับการปรับเทคนิคการระเบิดที่จะก่อให้เกิดแรงสั่นสะเทือนในระดับที่ต่ำลงดังนี้

งานวิจัยแรกที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้คือ การศึกษาของ Nicholls, H.R. (2008) โดย Hakan และ Adnan ที่เหมืองหิน Supren ในรัฐ Eskisehir ประเทศตุรกีพบว่าลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่มีสภาพไม่ต่อเนื่อง เช่น มีช่องว่างในหิน รอยแตก และรอยเลื่อน จะมีผลให้ค่าความเร็วอนุภาคลดลง จากผลการศึกษาที่น่าจะสามารถประยุกต์การระเบิดแบบ pre-splitting ในการสร้างความไม่ต่อเนื่องดังกล่าวได้จากการศึกษาของ กฤษณ์ สารทวงษ์ และคณะ ในปีพ.ศ. 2554 ที่เหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง พบว่าสามารถสร้างร่นาบรอยแตกได้โดยการใช้เทคนิคการระเบิดหน้าเรียบล่วงหน้า (presplit blasting) จะต้องให้ระยะระหว่างรูเจาะห่างกันไม่เกิน 10.5 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะ

ส่วนการศึกษาของ U.Erarslan และคณะ (2008) ได้ทำการศึกษาผลของการทำรูว่าง (barrier hole) เพื่อลดแรงสั่นสะเทือน โดยในการศึกษาจะทำการศึกษาในพื้นที่ขนาด 1000 เมตร \times 100 เมตร และรูว่างจะอยู่ตรงกลางของพื้นที่ในการศึกษา ทำการเจาะเป็นแถวในแนวขนานทั้งหมด 30 รู แบ่งเป็นแถวแถวละ 10 รู โดยมีระยะห่างระหว่างแถว 1 เมตร และระยะห่างรูเจาะ 1 เมตร และรูว่างทั้ง 3 แถว ซึ่งรูว่างจะแบ่งพื้นที่ในการระเบิดแบ่ง (รูปที่ 1.1)

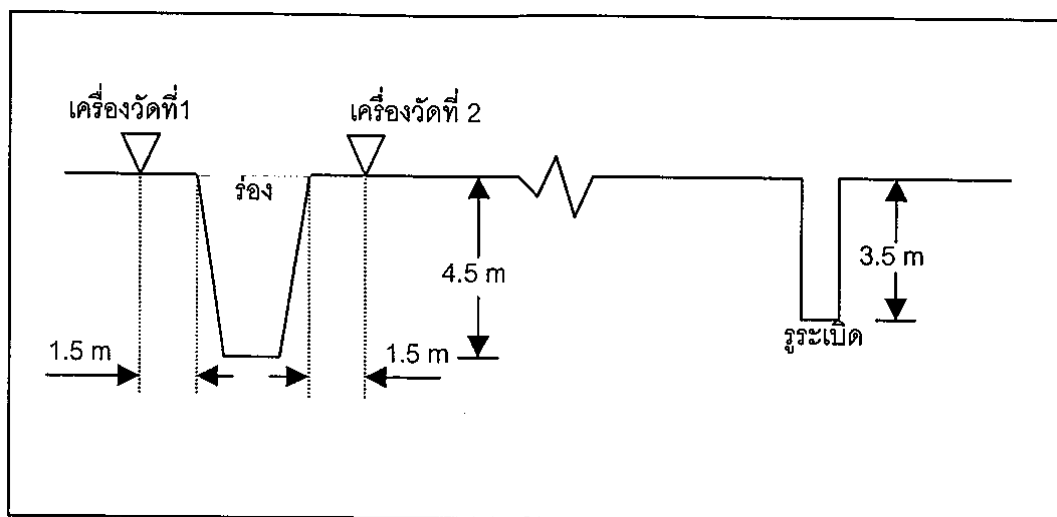


รูปที่ 1.1 แผนผังในการระเบิด (ที่มา : U.Erarslan et al (2008))

จากการศึกษาพบว่าแนวรูว่างสามารถลดแรงสั่นสะเทือน18% แต่ถ้ามีการเติมน้ำในรูดังกล่าวทำให้แรงสั่นสะเทือนลดลงได้เพียง9 % ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเติมน้ำในรูไม่ได้ช่วยลดแรงสั่นสะเทือนเมื่อเทียบกับรูว่าง

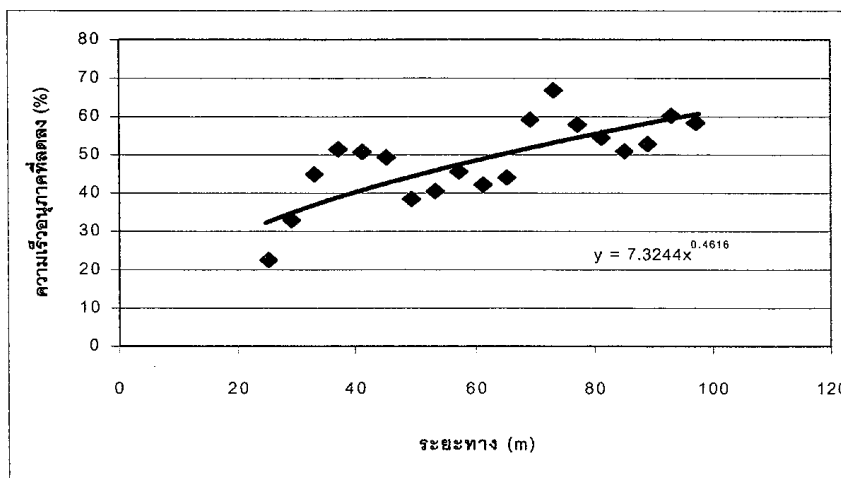
ซึ่งคล้ายกับการศึกษาของจิระพันธ์ ละงู (2002) โดยทำการศึกษาที่เหมืองแม่เมาะ จ. ลำปาง ทำการทดลองการใช้ร่องกันคลื่น ได้ทำการศึกษาใน 2 แนวทางด้วยกันคือ ตำแหน่งระเบิดอยู่ห่างจากเครื่องวัดที่ระยะทางต่างๆ เปรียบเทียบกับความสั่นสะเทือนที่ลดลง เมื่อคลื่นสั่นสะเทือนผ่านร่องมีน้ำ ร่องไม่มีน้ำ และตำแหน่งระเบิดที่อยู่ใกล้ร่องแล้วความสั่นสะเทือนด้านหลังร่องที่ระยะทางต่างๆลดลง เมื่อคลื่นสั่นสะเทือนผ่านร่องที่มีน้ำ ร่องที่ไม่มีน้ำ และกรณีที่มี 2 ตำแหน่งระเบิดที่อยู่ใกล้ร่องแล้วเปรียบเทียบแรงสั่นสะเทือนด้านหลังร่องที่ระยะทางต่างๆกัน

สำหรับกรณี ที่ 1 ซึ่งตำแหน่งระเบิดที่อยู่ห่างจากร่อง โดยร่องที่ใช้ในการศึกษามีขนาดลึกประมาณ 4.5 เมตร ยาวประมาณ 12 เมตร เจาะเป็นระยะทางห่างจากร่อง 85 เมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูเจาะ 7 นิ้ว จำนวน 1 รู การตั้งเครื่องวัดแรงสั่นสะเทือนจะตั้งที่จุดกึ่งกลางของร่อง ห่างจากร่องประมาณ 1.5 เมตร ทั้งด้านหน้าและด้านหลังของคลื่นสั่นสะเทือนที่เกิดจากรูระเบิด (รูปที่ 1.2) แล้วศึกษาเปรียบเทียบค่าแรงสั่นสะเทือนที่ลดลงจากการวัด 2 ตำแหน่งดังกล่าว

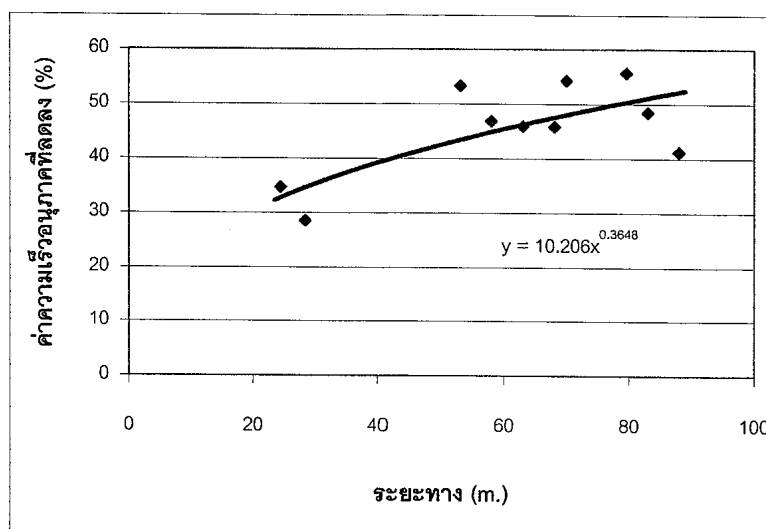


รูปที่ 1.2 วิธีการทดลองลดแรงสั่นสะเทือนโดยการใช้ร่อง (ที่มา : จิระพันธ์ ละงู (2545))

ผลการทดลองพบว่าการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากการระเบิดลดลงเมื่อใช้ร่องไม่มีน้ำกันลดลง 22.51-66.86 % แต่เมื่อเป็นร่องมีน้ำแล้วการลดลง 25.54-55.73 % ต่ำกว่าร่องที่ไม่มีน้ำกันประมาณ 3% (รูปที่ 1.3 และ 1.4 ตามลำดับ)

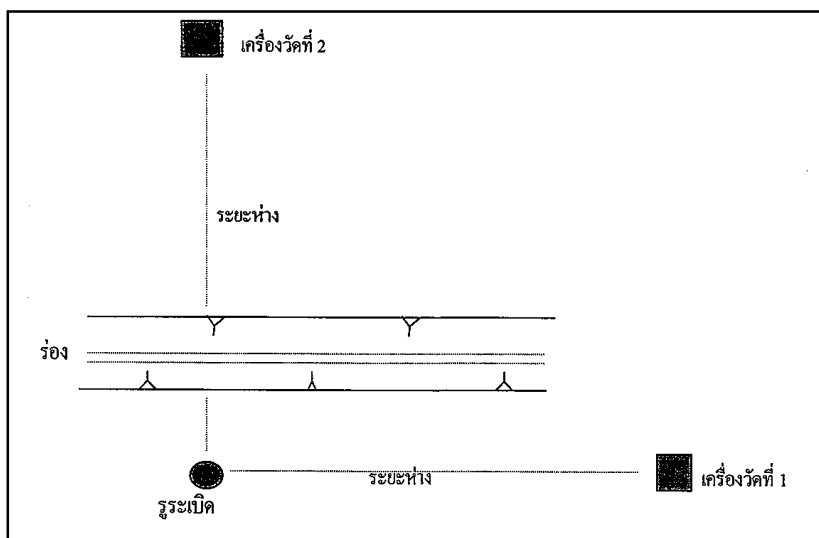


รูปที่ 1.3 ผลการลดแรงสั่นสะเทือนโดยการใช้ร่องไม่มีน้ำกั้น (ที่มา : จีระพันธ์ ละงู (2545))

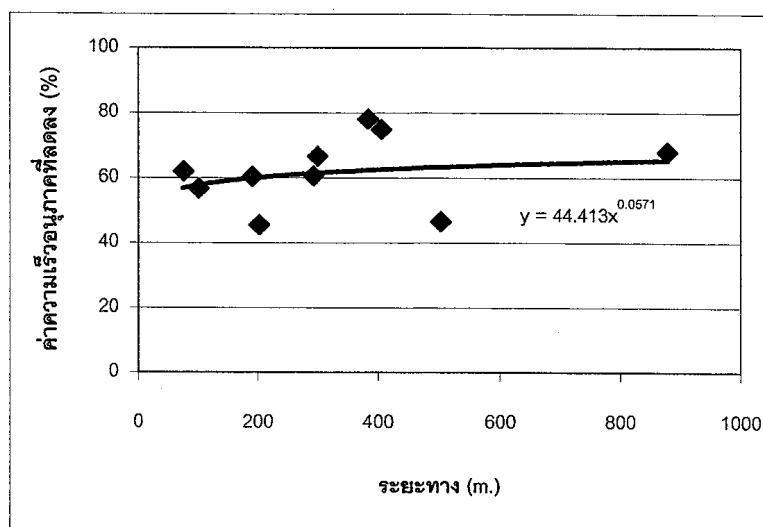


รูปที่ 1.4 ผลการลดความสั่นสะเทือนโดยการใช้ร่องมีน้ำกั้น (ที่มา : จีระพันธ์ ละงู (2545))

กรณีที่ 2 เมื่อตำแหน่งการระเบิดอยู่ใกล้ร่อง โดยร่องที่ใช้ในการศึกษามีขนาดลึกประมาณ 12 เมตร ยาวประมาณ 50 เมตร และเจาะรูระเบิดห่างจากร่องประมาณ 30 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางรูเจาะ 7 นิ้ว และมีลึก 10 เมตร จำนวน 1 รู (รูปที่ 1.5) จากการศึกษพบว่าสามารถลดการสั่นสะเทือนได้ 45.55% - 78.08%



รูปที่ 1.5 วิธีการทดลองลดแรงสั่นสะเทือนด้านหลังร่อง (ที่มา : จิระพันธ์ ละงู (2545))



รูปที่ 1.6 ผลการลดแรงสั่นสะเทือนด้านหลังร่องที่ระยะห่างต่างๆ (ที่มา : จิระพันธ์ ละงู (2545))

การลดแรงสั่นสะเทือนสามารถทำได้โดยมีอุปกรณ์ช่วย เช่น กรณีการศึกษาของ Lheewijit และคณะ (2012) ซึ่งได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการระเบิดแบบทั่วไปเปรียบเทียบกับ การระเบิดโดยใช้กรวยอุดรูระเบิด (Stem plug) ในเหมืองหิน โดยกรวยอุดรูระเบิดที่ใช้มีขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 76 มิลลิเมตร ระยะห่างจากหน้าอิสระ (burden) และระยะห่างระหว่างแถว (spacing) เท่ากับ 2.5 เมตร และระยะห่างระหว่างรูเจาะ 3 เมตร ตามลำดับ

การศึกษาจะเป็นการวัดแรงสั่นสะเทือนจากการระเบิดนั้นใช้เครื่องวัดแรงสั่นสะเทือน โดยจะเริ่มวัดห่างจากจุดระเบิด 50 เมตรขึ้นไป เมื่อนำเอาค่าแรงสั่นสะเทือนที่ได้พล็อตลงในโมเดลระยะสเกล (Scaled distance) เพื่อที่จะเปรียบเทียบแรงสั่นสะเทือนในระยะเวลาการวัดที่แตกต่างกันในเทอมของ Normalized vibration level (VL) ในสมการระยะสเกลดังนี้

$$ppv = k(SD)^m \quad : m=1 \quad (1)$$

$$VL = SD \times ppv \quad (2)$$

จากการศึกษาพบว่าแรงสั่นสะเทือนจากการระเบิดแบบทั่วไปสูงกว่าแรงสั่นสะเทือนจากการระเบิดโดยใช้กรวยอุดรูระเบิด เมื่อนำมาคิดในเทอมของ Normalized vibration (VL) ค่าเฉลี่ยแรงสั่นสะเทือนจากการระเบิดแบบทั่วไปเท่ากับ 195.9 ส่วนค่าเฉลี่ย VL ของการระเบิดโดยใช้กรวยอุดรูระเบิดเท่ากับ 131.1 และได้สรุปว่าแรงสั่นสะเทือนจากการระเบิดลดลง 33% เมื่อเปรียบเทียบกับการระเบิดแบบทั่วไป

การลดปริมาณวัตถุระเบิดลงก็สามารถลดแรงสั่นสะเทือนได้ เช่น กรณีการศึกษาของ Dohyun และ Seokwon (2010) ได้ทำการศึกษากการระเบิดโดยใช้เทคนิคการเว้นช่องว่างอากาศภายในรูเจาะ (air deck) ที่กั้นหลุมในการระเบิดอุโมงค์ โดยในการศึกษาจะใช้รูเจาะยาว 2.2 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 45 มิลลิเมตร ความยาวของระยะ air deck ที่ใช้ในการศึกษา 100, 200, 300, 400 และ 500 มิลลิเมตร โดยคิดเป็นอัตราส่วนของระยะ air deck 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 พบว่าที่อัตราส่วน air deck 50 % สามารถลดขนาดของคลื่นไซสมิกได้สูงสุด 35% ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Bunnault และคณะ (2012) ในการศึกษาการระเบิดในเหมืองหินปูน ซึ่งพบว่า การระเบิดแบบเว้นช่องอากาศ (air deck) สามารถลดแรงสั่นสะเทือนได้

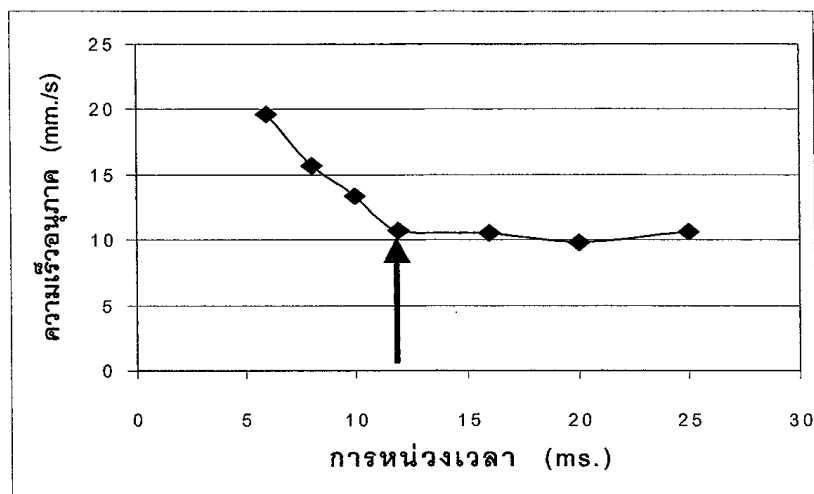
อีกเทคนิคหนึ่ง คือ การศึกษา Shi และ Chen (2011) โดยทำการศึกษาที่เหมือง XinQiao Mining Co Ltd. ประเทศจีน โดยใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรูเจาะ 250 มิลลิเมตร ระยะห่างจากหน้าอิสระ 5 เมตร ระยะห่างระหว่างรูเจาะ 6 เมตร ระยะห่างระหว่างแถว 5 เมตร ความยาวรูเจาะ 14 เมตร และใช้ปริมาณวัตถุระเบิดทั้งหมด 2,160 กิโลกรัมต่อจำนวนรูเจาะ 15 รูเจาะ แล้วใช้จังหวะถ่วงในการระเบิดที่แตกต่างกันคือ 15, 25, 30, 35 และ 45 มิลลิวนาทีเพื่อศึกษาการลดลงของแรงสั่นสะเทือนโดยอาศัยหลักการสลายพลังงานของคลื่น (Waveform interference)

และพบว่า ที่จังหวะถ่วง 15 มิลลิวนาทีจะให้อัตราส่วนในการลดลงสูงสุดคือ 24.5% (ตารางที่ 1.1) และอธิบายว่าการลดลงของแรงสั่นสะเทือนจากการใช้จังหวะถ่วงที่ต่างกันเป็นผลมาจากการสลายพลังงาน (waveform interference) ซึ่งการใช้จังหวะถ่วงที่เหมาะสมจะมีผลทำให้คลื่นเกิดการหักล้างกันและสลายไปได้ ส่งผลให้แรงสั่นสะเทือนจากการระเบิดลดลง

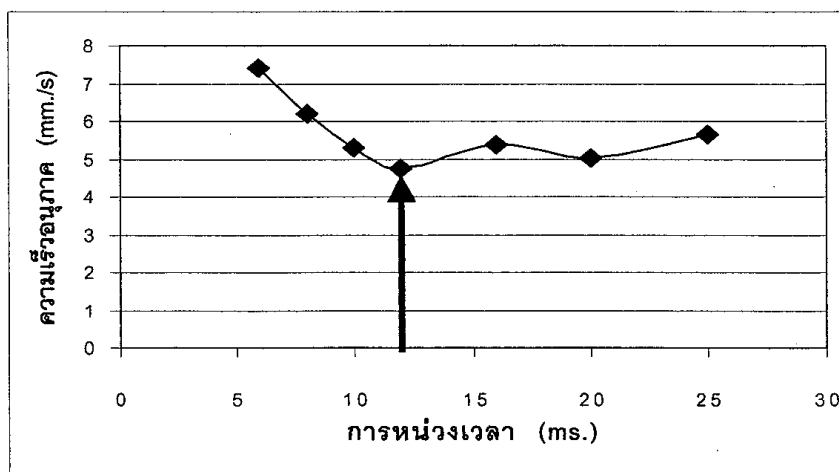
ตารางที่ 1.1 แสดงร้อยละของการลดลงของแรงสั่นสะเทือนที่จังหวัดต่าง ๆ (ที่มา : Shi and Chen (2011))

Delay time (ms)	Reduction ratio (%)	Success ratio (%)
15	24.5	77.6
25	-23.7	49.0
30	-34.3	50.0
35	12.1	70.5
40	21.4	74.6

ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวก็ได้ผลในการทำงานเกี่ยวกับการศึกษาของจิระพันธ์ ละงู (2002) โดยทำการศึกษาที่เหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ทำการศึกษาทดลองการหาค่าเวลาการหน่วงเวลาระเบิดที่เหมาะสม ทำการทดลองเปรียบเทียบใน 2 พื้นที่คือ บริเวณที่ไม่มีรอยเลื่อนตัดผ่านและพื้นที่ที่มีรอยเลื่อนตัดผ่าน โดยในการศึกษาจะทำการควบคุมปริมาณวัตถุระเบิดครั้งเดียวกันต้องมีน้ำหนักเท่ากัน ทำการเจาะระเบิดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7 นิ้ว ความลึกประมาณ 10 เมตร เจาะทั้งหมดสองแถว แถวละ 7 รู ในการทดลองเริ่มจากการใช้หน่วงเวลา 6, 8, 10, 12, 16, 20 และ 25 มิลลิวินาที โดยในการจุดระเบิดจะใช้เครื่องจุดระเบิดแบบหน่วงเวลา (sequential blasting machine) ระยะห่างจากพื้นที่ที่ระเบิดถึงเครื่องวัดแรงสั่นสะเทือนต้องมีระยะมากกว่า 100 เมตรขึ้นไปพบว่า เมื่อเพิ่มค่าการหน่วงเวลาให้เพิ่มขึ้นมากกว่า 6 มิลลิวินาที แรงสั่นสะเทือนที่วัดได้จะลดลงทั้งบริเวณพื้นที่ที่ไม่มีรอยเลื่อนตัดผ่านและพื้นที่ที่มีรอยเลื่อนตัดผ่าน ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงที่มีแรงสั่นสะเทือนลดลงรวดเร็วเป็นช่วง 6-12 มิลลิวินาที โดยดินที่ไม่มีรอยเลื่อนตัดผ่านมีแรงสั่นสะเทือนลดลง 45.7% ดินที่มีรอยเลื่อนตัดผ่านลดลง 36.1% และช่วง 12-25 มิลลิวินาที ดินที่ไม่มีรอยเลื่อนตัดผ่านมีแรงสั่นสะเทือนลดลง 0.9% ดินที่มีรอยเลื่อนตัดผ่านแรงสั่นสะเทือนต่ำสุดที่ 12 มิลลิวินาที หลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นและลดลงในช่วง 12-25 มิลลิวินาที (รูปที่ 1.7 และ 1.8) ดังนั้นค่าการหน่วงเวลาที่เหมาะสมคือที่ 12 มิลลิวินาทีสำหรับทั้ง 2 กรณี



รูปที่ 1.7 กราฟแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นเมื่อหน่วงเวลาที่ค่าต่างๆ บริเวณที่ไม่มีรอยเลื่อนตัดผ่าน
(ที่มา : จิระพันธ์ ละงู (2545))



รูปที่ 1.8 กราฟแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นเมื่อหน่วงเวลาที่ค่าต่างๆ บริเวณที่มีรอยเลื่อนตัดผ่าน
(ที่มา : จิระพันธ์ ละงู (2545))

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อพัฒนาเทคนิคการระเบิดที่ก่อให้เกิดแรงสั่นสะเทือนต่ำเพื่อให้สามารถนำไปใช้ระเบิดเปลือกดินในพื้นที่ที่ใกล้ชุมชนมากขึ้น

1.4 ขอบเขตการศึกษา

ศึกษาการระเบิดชั้นเปลือกดิน (ดินแดง) เหมือนแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ในพื้นที่บ่อ C และพื้นที่บ่อ SE โดยไม่คำนึงถึงลักษณะทางธรณีวิทยาของพื้นที่ที่ทำการศึกษา ทดลองด้วยเทคนิคต่างๆ ได้แก่ การลดปริมาณวัตถุระเบิดพร้อมๆ กัน โดยการลดขนาดรูเจาะหรือการใช้เก็บช่วงเวลาหลายเบอร์ในรูเดียวกัน การใช้เทคนิคการระเบิดใหม่ๆ และการประยุกต์หลักการของคลื่นระเบิดในช่วงการหน่วงเวลาที่พอดีก่อให้เกิดการสลายกันของพลังงานในการศึกษาจะใช้ขนาดความลึกของรูเจาะ 6.5 เมตร และประเมินด้วยการวัดแรงสั่นสะเทือนที่พื้นเปรียบเทียบผลกับการระเบิดแบบที่เหมือนแม่เมาะใช้ในปัจจุบัน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้เทคนิคการระเบิดที่ก่อให้เกิดแรงสั่นสะเทือนต่ำเพื่อให้นำไปใช้ระเบิดเปลือกดินในพื้นที่ที่ใกล้ชุมชนมากขึ้น

1.6 สถานที่ทำการวิจัย

- 1) ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตำบลคอหงส์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
- 2) เหมือนแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

บทที่ 2

วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 พื้นที่ในการศึกษา

ศึกษาทดลองระเบิดบริเวณหน้างานดินแดง (red bed) พื้นที่ C และด้านเหนือของพื้นที่ SE ที่เหมืองแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง (รูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 พื้นที่ที่ใช้ในการศึกษา

2.2 วัสดุและอุปกรณ์ (materials and equipment)

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติงานประกอบไปด้วย

- 1) กรวยอุดระเบิดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7 นิ้ว และ 7 3/8 นิ้ว
- 2) ชุดแท่งกรวยสำหรับทำ air-deck
- 3) เครื่องจุดระเบิดแบบหน่วงเวลา (sequential blasting machine)
- 4) เครื่องวัดพิกัด Garmin รุ่น GPS map 78s

5) ตลับเมตร

6) กล้องถ่ายรูป

7) วัตถุระเบิด

ก. ปุ๋ยแอมโมเนียมไนเตรดผสมกับน้ำมันดีเซล (ANFO)

ข. วัตถุระเบิดแรงสูง (high explosive)

ค. แก๊ปชนิดไฟฟ้า (electric detonator)

ง. แก๊ปที่จุดระเบิดโดยไม่ใช้ไฟฟ้า (non-electric detonator)

8) เครื่องวัดแรงสั่นสะเทือนจากการระเบิด Instante!รุ่น Blast mate series III และ

Mini mate plus

9) เครื่องชั่งสำหรับชั่งน้ำหนักขนาด 60 กิโลกรัม

2.3 วิธีดำเนินการ (research methods)

ขั้นตอนในการดำเนินงานประกอบไปด้วยการศึกษาดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาเชิงเอกสาร

ศึกษาค้นคว้างานวิจัยและเทคนิคที่เกี่ยวข้องจากเอกสารทั้งในรูปวารสารและหนังสือ ตลอดจนคู่มือต่างๆ และสรุปแนวทางที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบการระเบิดที่ให้มีความรุนแรงสั่นสะเทือนต่ำกว่าการระเบิดแบบปกติที่เหมืองแม่เมาะให้อยู่ในปัจจุบัน

ขั้นตอนที่ 2 การเตรียมการก่อนการทดลองภาคสนาม

1) ออกแบบการวางระเบิดสำหรับขั้นตอนและเทคนิคต่างๆ

2) จัดเตรียมพื้นที่ทดลองการระเบิดซึ่งพื้นที่ที่ใช้ในการทดลองคือ พื้นที่ดินแดง

ของบ่อ c และ ด้านเหนือของบ่อ se

3) จัดเตรียมวัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือประกอบการทดลองภาคสนาม

ขั้นตอนที่ 3 การศึกษาแบบการระเบิดภาคสนาม ช่วงที่ 1

1) ศึกษาการระเบิดของการใช้เทคนิคการระเบิดโดยการเว้นช่องว่างอากาศภายในรูเจาะ (air-deck blasting)

2) ศึกษาการระเบิดของการระเบิดโดยใช้เทคนิคกรวยอุดระเบิด

3) วิเคราะห์ผลและสรุปผลของแรงสั่นสะเทือนของการศึกษาช่วงที่ 1

ขั้นตอนที่ 4 การศึกษาแบบการระเบิดภาคสนามช่วงที่ 2

กิจกรรมนี้เป็นการศึกษาแรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากแบบการระเบิดหรือเทคนิครายการต่อเนื่องจากขั้นตอนที่ 3 ดังนี้

1) ศึกษาการระเบิดแบบที่อควัดระเบิดและอัดดิน (stemming) สลับกันเป็นช่วงที่เรียกว่า deck charged และใช้แก๊ปถ่วงจังหวะหลายเบอร์ในรูระเบิดเดียวกัน

2) ศึกษาการระเบิดโดยประยุกต์ใช้หลักการ waveform interference โดยใช้เครื่องจุดระเบิดแบบหน่วงเวลาได้ (sequential blasting machine) และปรับช่วงการถ่วงจังหวะ ตั้งแต่ 10-25 มิลลิวินาที

3) วิเคราะห์ผลและสรุปผลของแรงสั่นสะเทือนของการศึกษาช่วงที่ 2

ขั้นตอนที่ 5 การสรุปผลและเขียนรายงาน

สรุปผลการศึกษาและเขียนรายงาน

2.4 การเลือกพื้นที่ที่ใช้ในการทดลอง

พื้นที่ที่ใช้ในการศึกษาต้องเป็น ดินแดง (red bed) เท่านั้นเพื่อให้ใกล้เคียงกับพื้นที่ที่จะนำไปใช้จริงบริเวณพื้นที่ se โดยลักษณะของหน้างานที่ใช้ในการทดลองต้องมีหน้าอิสระ ความสูงของหน้างาน (bench height) 5.7 เมตร-6.0 เมตร เพื่อรองรับความลึกรูเจาะ 6.5 เมตรตลอดการศึกษา (รูปที่ 2.2)



รูปที่ 2.2 ลักษณะหน้างานที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลอง

2.5 การเตรียมพื้นที่สำหรับการทดลอง

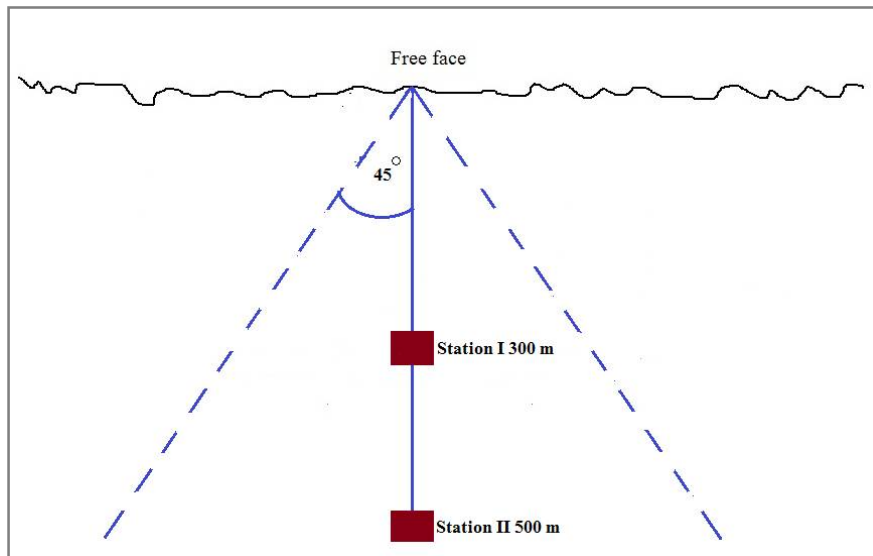
การเตรียมพื้นที่ที่ใช้ในการทดลองนั้นใช้รถเจาะ reed sk 420 ในการเจาะ ขนาดดอกเจาะ 178 มิลลิเมตรตลอดการทดลอง โดยในการทดลองนั้นจะใช้แถวในการระเบิดทั้งหมด 2 แถว แถวละ 6 รู โดยใช้ระยะห่างจากหน้าอิสระ (burden) 5 เมตร และระยะห่างระหว่างรูเจาะ (spacing) 5.5 เมตร การวางตำแหน่งรูเจาะแถวหลังจะต้องเยื้องกับแถวหน้าตลอดการศึกษาจากนั้นนำไม้พร้อมกระดาษมาปักไว้เพื่อเป็นสัญลักษณ์ให้รถเจาะสามารถเข้าเจาะได้ตรงตามรูปแบบที่ได้วางไว้ (รูปที่ 2.3)



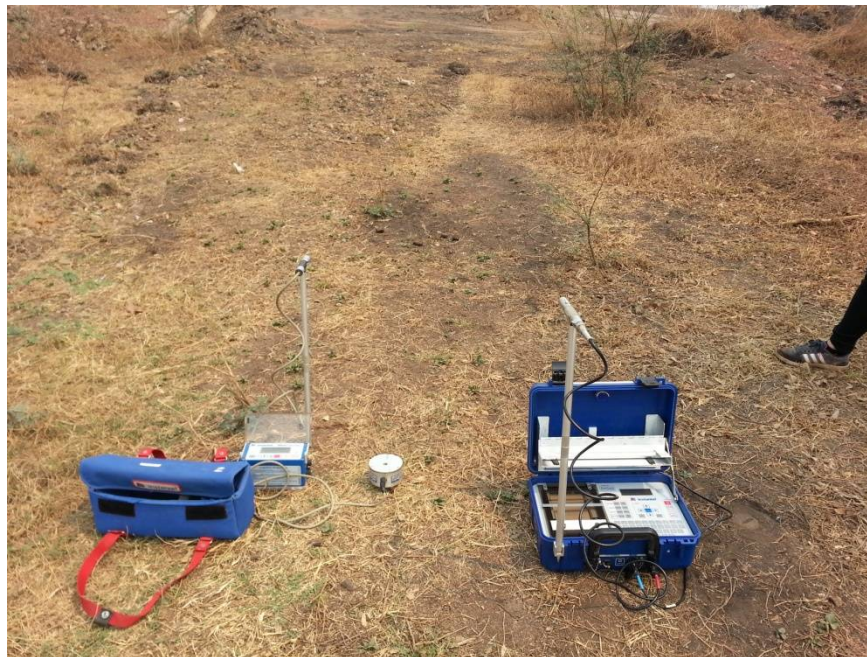
รูปที่ 2.3 การวางหน้างานระเบิด

2.6 การเลือกตำแหน่งสำหรับตั้งเครื่องวัดแรงสั่นสะเทือน

การวัดแรงสั่นสะเทือนจากการระเบิดวัดด้านหลังของพื้นที่ทำการทดลอง โดยวัดตั้งฉากกับหน้างานหรือวัดเฉียงจากหน้างานทำมุมไม่เกิน 45 องศา (รูปที่ 2.4) ซึ่งทิศทางของการตั้งเครื่องวัดแรงสั่นสะเทือนแต่ละครั้งนั้นจะขึ้นกับลักษณะหน้างานทำการทดลอง ระยะห่างที่ใช้ในการวัดแรงสั่นสะเทือนคือ 300 เมตร และ 500 เมตรตลอดการศึกษา เครื่องวัดแรงสั่นสะเทือนที่ใช้ในการศึกษานี้คือรุ่น blast mate series iii และรุ่น mini mate plus (รูปที่ 2.5) โดยใช้เครื่องวัดพิกัด GPSmap 78s ในการระบุตำแหน่งที่ตั้งของเครื่องวัดแรงสั่นสะเทือนและวัดจากหน้าอิสระของหน้างาน ไปจนถึงระยะ 300 เมตรและ 500 เมตร



รูปที่ 2.4 ตำแหน่งในการตั้งเครื่องวัดแรงสั่นสะเทือน



รูปที่ 2.5 ลักษณะการตั้งเครื่องวัดแรงสั่นสะเทือน

2.7 การประเมินผลการศึกษา

2.7.1 การเก็บข้อมูลแรงสั่นสะเทือน การวัดแรงสั่นสะเทือนจากการระเบิดนั้นจะทำการเก็บข้อมูลที่ระยะ 300 เมตร และ 500 เมตร โดยใช้เครื่องวัดแรงสั่นสะเทือนรุ่น mini mate iii และ blast mate plus โดยข้อมูลที่น่ามาใช้ในการวิเคราะห์คือ ความเร็วอนุภาคสูงสุด (peak particle velocity : ppv)

2.7.2 การวิเคราะห์ผลการศึกษา จะนำเอาข้อมูลแรงสั่นสะเทือนที่ได้จากการวัดของแต่ละเทคนิคมาเปรียบเทียบกับการระเบิดแบบปกติที่เหมืองแม่เมาะใช้อยู่ในปัจจุบัน เพื่อที่จะประเมินว่าเทคนิคใดสามารถลดแรงสั่นสะเทือนได้สูงสุด

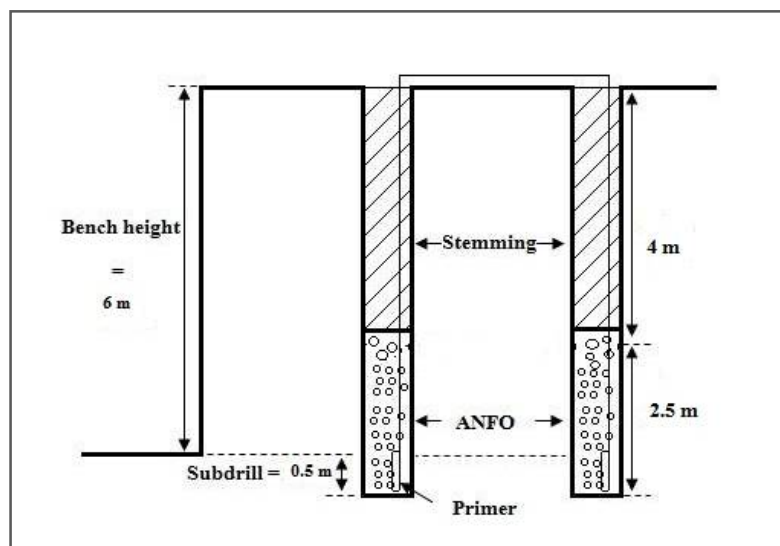
2.8 รูปแบบการระเบิด

2.8.1 การระเบิดแบบที่เหมืองแม่เมาะใช้ในปัจจุบัน

สำหรับการระเบิดแบบธรรมดาที่ใช้ที่เหมืองแม่เมาะปฏิบัติใช้ขนาดรูเจาะ 178 มิลลิเมตร ระยะห่างจากหน้าอสิระ (burden) 5 เมตร ระยะห่างระหว่างรูเจาะ (spacing) 5.5 เมตร ความลึกรูเจาะ 6.5 เมตร ระยะปิดอัดปากรู (stemming) 4 เมตร ปริมาณวัตถุระเบิดสูงสุดต่อจังหวะถ่วง 50 กิโลกรัมตลอดการศึกษา (รูปที่ 2.6) โดยข้อมูลแรงสั่นสะเทือนที่ได้จากการระเบิดแบบที่เหมืองแม่เมาะใช้นำมาเป็นข้อมูลพื้นฐานในการเปรียบเทียบกับแต่ละเทคนิค โดยเทคนิคที่จะนำมาใช้ในการเปรียบเทียบได้แก่ การระเบิดโดยใช้เทคนิคการเว้นช่องว่างอากาศภายในรูเจาะ การระเบิดโดยใช้กรวยอุดรูระเบิด การระเบิดโดยใช้เทคนิคการบรรจุวัตถุระเบิดออกเป็นช่วง และการประยุกต์ใช้หลักการการสลายกันของพลังงาน

สำหรับการบรรจุวัตถุระเบิดของการระเบิดแบบที่เหมืองแม่เมาะใช้อยู่ในปัจจุบันทำการหย่อนวัตถุระเบิดที่ถูกผูกติดกับแก็ปแบบห่วงเวลาชนิดไม่ใช่ไฟฟ้า (NONEL) ลงไปจนถึงก้นหลุมเจาะแล้ว เท ANFO ลงไปในหลุมเจาะให้มีความสูง 2.5 เมตร มีน้ำหนักเท่ากับ 50 กิโลกรัม จากนั้นกลบด้วยเศษดินที่ได้จากการเจาะเป็นระยะ 4 เมตร พร้อมกระทุ้งดินให้แน่นเพื่อเป็นระยะปิดอัดวัตถุระเบิด ซึ่งในการระเบิดการให้เวลาห่วงของแก็ปแบบห่วงเวลาชนิดไม่ใช่ไฟฟ้า(รูปที่ 2.7) แบ่งออกเป็น surface line 25 มิลลิวินาที และเวลาห่วงของ down line (ภายในรูเจาะ) 500 มิลลิวินาทีซึ่งจะได้จังหวะถ่วงของแก็ปแบบห่วงเวลาได้ชนิดไม่ใช่ไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 2.8 ซึ่งจะนำมาใช้กับการทดลองทุกเทคนิคเพื่อเปรียบเทียบกับการระเบิดแบบที่

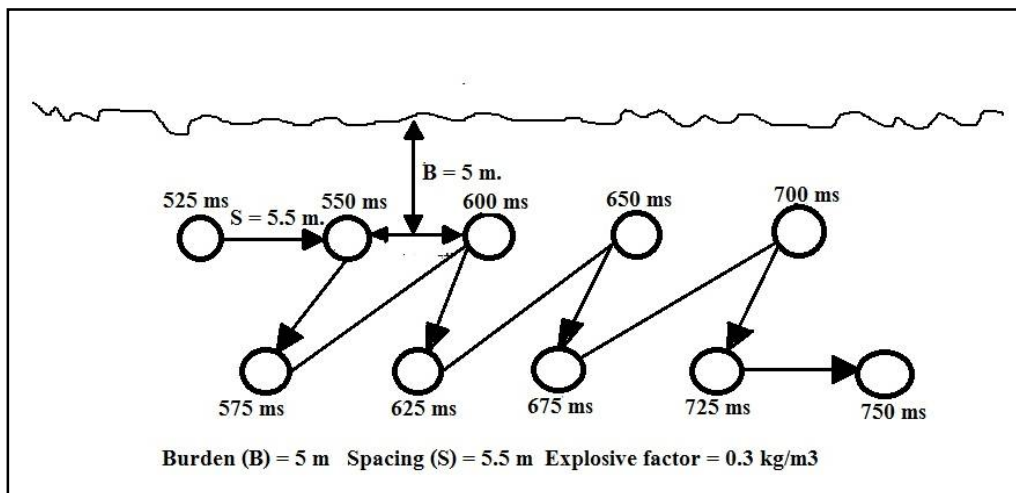
เหมืองแม่เมาะใช้ ยกเว้นการระเบิด โดยการประยุกต์ใช้หลักการสลายกันของพลังงานซึ่งใช้เก็บไฟฟ้าในการระเบิด



รูปที่ 2.6 แบบจำลองภาพตัดขวางของรูระเบิดแบบที่เหมืองแม่เมาะใช้อยู่ในปัจจุบัน



รูปที่ 2.7 เก็บไฟฟ้าแบบหน่วงเวลาได้ชนิดไม่ใช่ไฟฟ้า



รูปที่ 2.8 แผนผังของการระเบิดและเวลาหน่วงของการระเบิดโดยการใช้เก็บไฟฟ้าแบบหน่วงเวลา
ได้ชนิดไม่ใช้ไฟฟ้า

2.8.2 การระเบิดโดยใช้กรวยอุดระเบิด (stem-plug blasting)

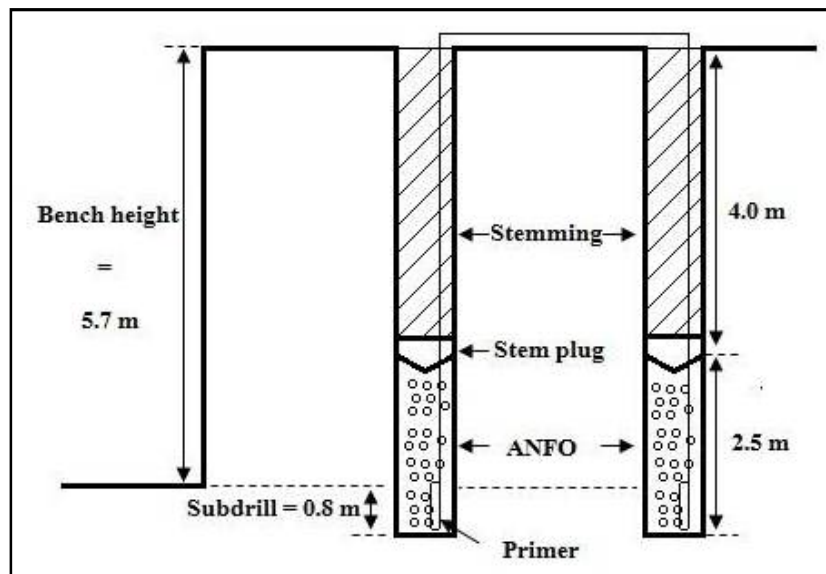
การศึกษการระเบิดโดยใช้กรวยอุดระเบิด (stem plug blasting) จะทำการศึกษาด้วยกันทั้งหมด 3 รูปแบบได้แก่ แบบธรรมดา แบบลด explosive factor และแบบเพิ่ม explosive factor ซึ่งในการระเบิดนั้นนำเอากรวยอุดระเบิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 178 มิลลิเมตร (รูปที่ 2.9) ใต้ลงไปในรูเจาะก่อนบรรจุ stemming เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการระเบิดและลดแรงสั่นสะเทือน



รูปที่ 2.9 กรวยอุดระเบิดขนาด 178 มิลลิเมตรที่ใช้ในการศึกษา

รูปแบบที่ 1 การระเบิดโดยใช้กรวยอุดระเบิดแบบธรรมดา

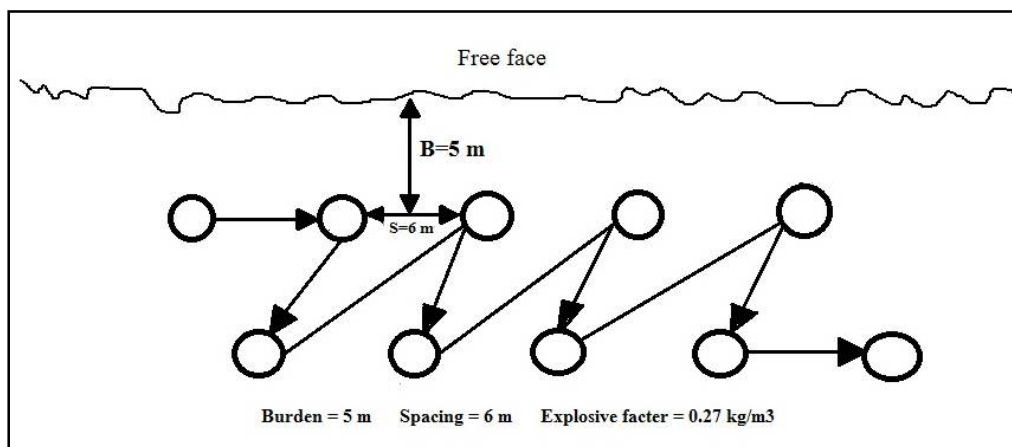
ใช้รูปแบบการระเบิดแบบเดียวกับการระเบิดแบบธรรมดา แต่มีการใส่กรวยอุดระเบิดไว้ก่อนที่จะบรรจุ stemming ลงไป โดยใช้ระยะห่างจากหน้าอิสรระ 5 เมตร ระยะห่างระหว่างรูเจาะ 5.5 เมตร ระยะบรรจุวัตถุระเบิด 2.5 เมตร ระยะปิดอัดวัตถุระเบิด 4 เมตร (รูปที่ 2.10) ปริมาณวัตถุระเบิดสูงสุดต่อจังหวะถ่วง 50 กิโลกรัม และ explosive factor เท่ากับ 0.3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



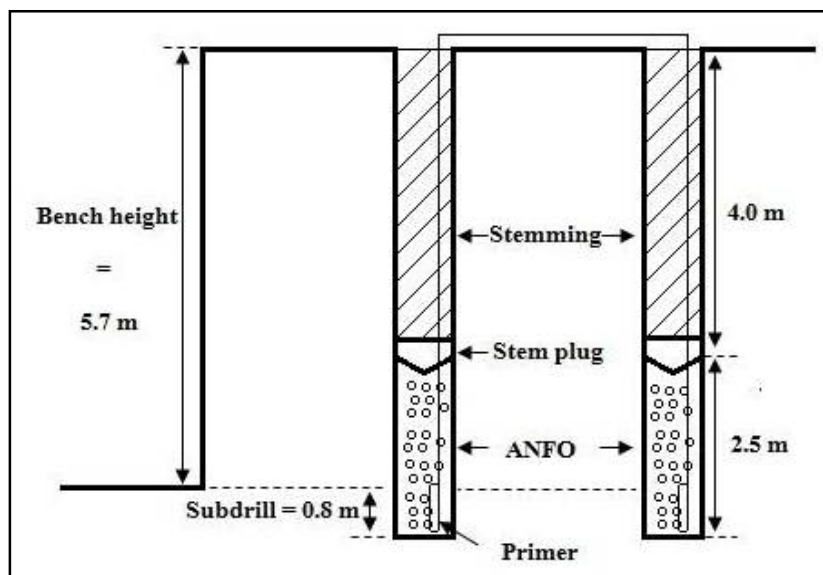
รูปที่ 2.10 แบบจำลองภาพตัดขวางของรูระเบิดของการระเบิดโดยใช้กรวยอุดระเบิดแบบธรรมดา

รูปแบบที่ 2 การระเบิดโดยใช้กรวยอุดระเบิดแบบลด explosive factor

ลด explosive factor ด้วยการขยายระยะห่างระหว่างรูเจาะจาก 5.5 เมตรเป็น 6 เมตร ระยะห่างจากหน้าอิสรระ 5 เมตร ระยะบรรจุวัตถุระเบิด 2.5 เมตร ระยะปิดอัดวัตถุระเบิด 4 เมตร (รูปที่ 2.11) ปริมาณวัตถุระเบิดสูงสุดต่อจังหวะถ่วง 50 กิโลกรัม และ explosive factor เท่ากับ 0.27 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



(ก)



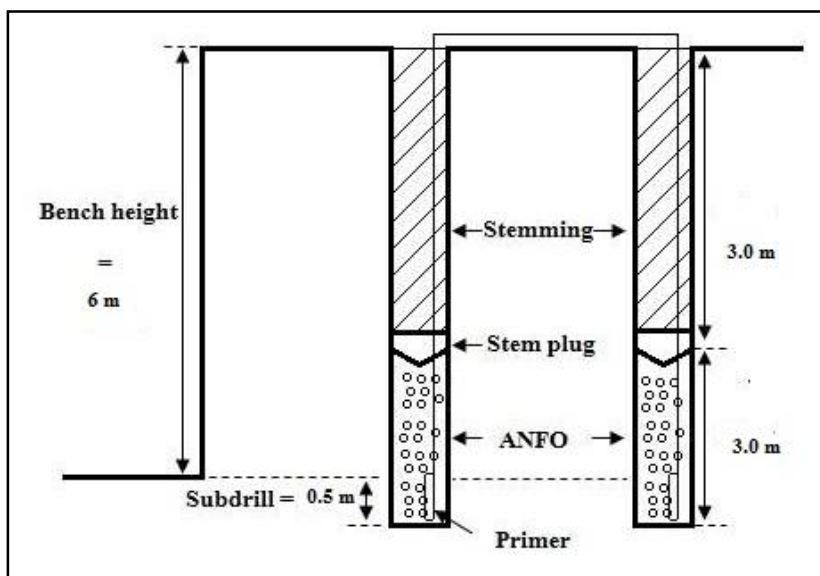
(ข)

รูปที่ 2.11 รูปแบบการระเบิดโดยใช้กรวยอุดระเบิดแบบลด explosive factor

ก.แผนผังการระเบิด ข.แบบจำลองภาพตัดขวางของรูระเบิด

รูปแบบที่ 3 การระเบิดโดยใช้กรวยอุดระเบิดแบบเพิ่ม explosive factor

เพิ่ม explosive factor โดยการเพิ่มปริมาณวัตถุระเบิดจาก 50 กิโลกรัมเป็น 60 กิโลกรัม ทำให้ระยะบรรจุวัตถุระเบิดสูงขึ้นจาก 2.5 เมตรเป็น 3 เมตรใช้ระยะห่างจากหน้าอิสระ 5 เมตร ระยะห่างระหว่างแถว 5.5 เมตร ระยะปิดอัดวัตถุระเบิด 3.5 เมตร (รูปที่ 2.12) และ explosive factor เท่ากับ 0.33 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



รูปที่ 2.12 แบบจำลองภาพตัดขวางของรูระเบิดของการระเบิดโดยใช้กรวยอุดระเบิดแบบเพิ่ม explosive factor

สำหรับการบรรจุวัตถุระเบิดนั้นต้องทำการวัดความลึกของรูเจาะให้ได้ 6.5 เมตร แล้วจึงทำการบรรจุวัตถุระเบิดลงไป สำหรับการบรรจุวัตถุระเบิดในหลุมเจาะใส่วัตถุระเบิดแรงสูง ที่ผูกติดอยู่กับแถบแบบช่วงเวลาได้ชนิดไม่ใช้ไฟฟ้า (NONEL) ลงไปจนถึงก้นหลุม ใส่ ANFO ตามปริมาณที่ได้ออกแบบเอาไว้สำหรับแต่ละการศึกษาลงไป ก่อนทำการใส่กรวยอุดระเบิดต้องใส่ดินให้มีความสูงประมาณ 20 เซนติเมตร หลังจากนั้นก็จะใส่กรวยอุดระเบิดโดยต้องหงายขึ้น และทำการกลบดินที่ได้จากการเจาะลงไปพร้อมกับการกระทุ้งให้แน่น (รูปที่ 2.13)



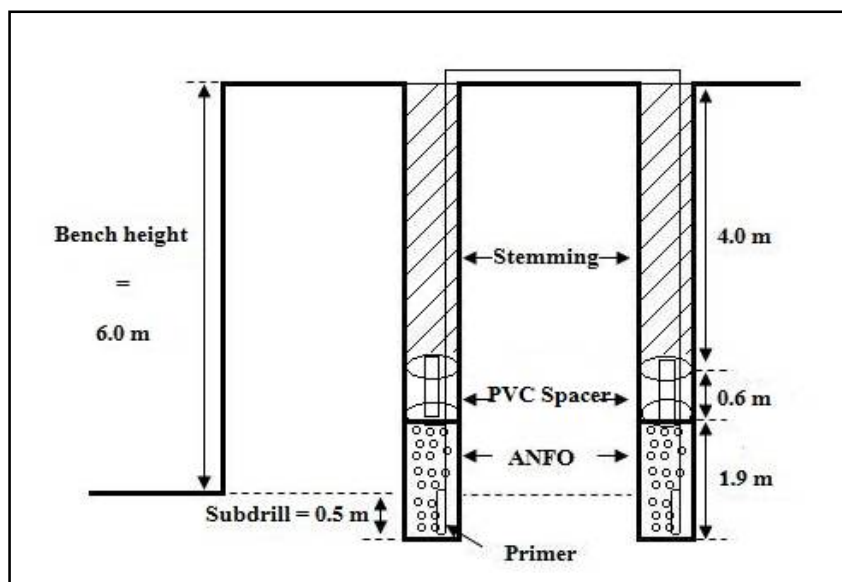
รูปที่ 2.13 การเตรียมการทดลองสำหรับการระเบิด โดยใช้กรวยอุดรูระเบิด

2.8.3 การระเบิดโดยใช้ช่องว่างอากาศภายในรูเจาะ

การศึกษาระเบิดเพื่อลดแรงสั่นสะเทือนโดยใช้เทคนิคการเว้นช่องว่างอากาศภายในรูเจาะ (air-deck blasting) โดยวางท่อพีวีซีที่มีฝาปิดทั้งสองด้านใช้เป็นช่องว่างวางไว้ตรงกลางของรูเจาะ หลังจากบรรจุ primer และ ANFO เรียบร้อยแล้ว สำหรับการคำนวณร้อยละของช่องว่างอากาศ (air-deck length) เมื่อเทียบกับความสูงของหน้าระเบิดทำการศึกษาทั้งหมด 3 ตัวแปร คือ ระยะช่องว่างอากาศ 10 %, 12.5 % และ 15 %

รูปแบบที่ 1 การศึกษาระเบิดโดยใช้เทคนิคการเว้นช่องว่างอากาศที่ระยะ air-deck ที่ 10%

การศึกษาเทคนิค air-deck ที่ 10 % ทำการศึกษาที่ความสูงหน้าระเบิด 6 เมตร ตลอดการศึกษา ระยะห่างจากหน้าอิสระ (burden) 5 เมตร ระยะห่างระหว่างรูเจาะ (spacing) 5.5 เมตร ระยะปิดอัดวัตถุระเบิด (stemming) 4 เมตร ความลึกรูเจาะ 6.5 เมตร ระยะช่องว่างอากาศ 0.6 เมตร ปริมาณวัตถุระเบิดสูงสุดต่อจังหวะถ่วง 40 กิโลกรัม explosive factor 0.24 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (รูปที่ 2.14 และ 2.15)



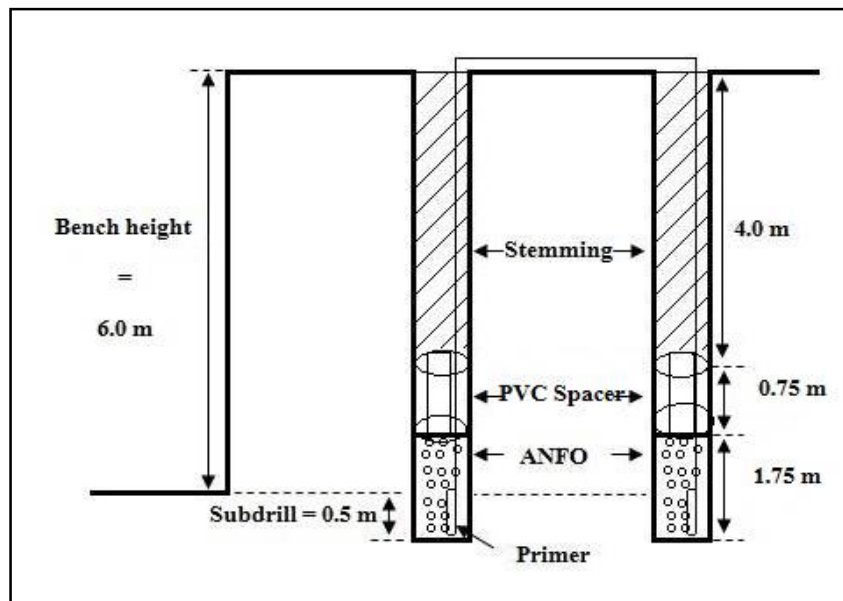
รูปที่ 2.14 แบบจำลองรูปตัดขวางของรูระเบิดโดยใช้เทคนิค air-deck ที่ 10%



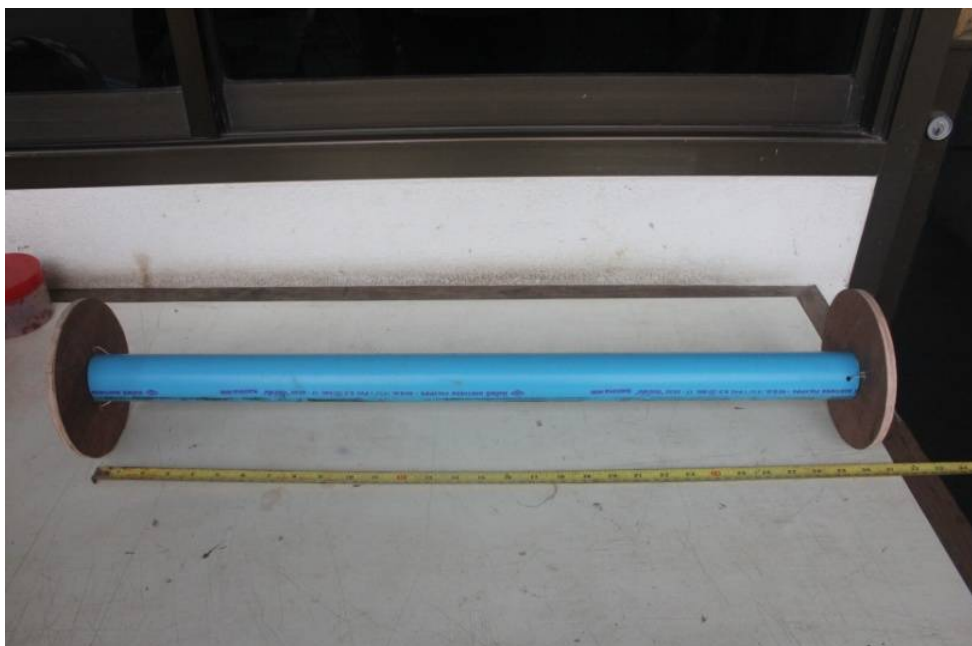
รูปที่ 2.15 ชุดอุปกรณ์สำหรับใช้เป็นช่องว่างในการทำ air-deck ที่ 10 %

รูปแบบที่ 2 การศึกษาการระเบิดโดยใช้เทคนิคการเว้นช่องว่างอากาศที่ระยะ air-deck ที่ 12.5 %

การศึกษาเทคนิค air-deck ที่ 12.5 % ทำการศึกษาที่ความสูงน้ำระเบิด 6 เมตร ตลอดชุดการศึกษา ระยะห่างจากหน้าอิสระ (burden) 5 เมตร ระยะห่างระหว่างรูเจาะ (spacing) 5.5 เมตร ระยะปิดอัดวัตถุระเบิด (stemming) 4 เมตร ความลึกรูเจาะ 6.5 เมตร ระยะ air-deck 12.5 % คือ 0.75 เมตร ปริมาณวัตถุระเบิดสูงสุดต่อจังหวะถ่วง 37 กิโลกรัม explosive factor 0.22 กิโลกรัม ต่อลูกบาศก์เมตร (รูปที่ 2.16 และ 2.17)



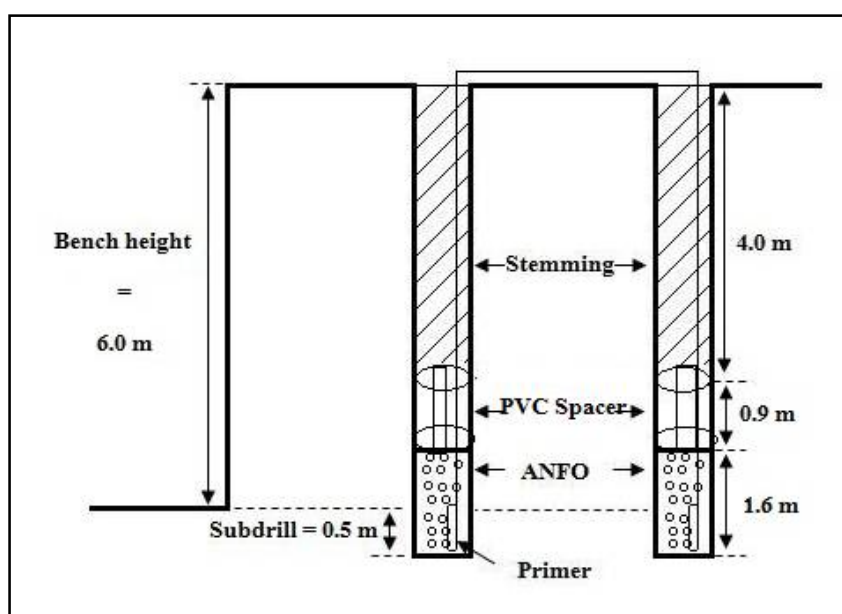
รูปที่ 2.16 แบบจำลองรูปตัดขวางของรูระเบิดโดยใช้เทคนิค air-deck ที่ 12.5%



รูปที่ 2.17 ชุดอุปกรณ์สำหรับใช้เป็นช่องว่างในการทำ air-deck ที่ 12.5%

รูปแบบที่ 3 การศึกษาการระเบิดโดยใช้เทคนิคการเว้นช่องว่างอากาศที่ระยะ air-deck ที่ 15 %

การศึกษาเทคนิค air-deck ที่ 15 % ทำการศึกษาที่ความสูงหน้าระเบิด 6 เมตร ตลอดชุดการศึกษา ระยะห่างจากหน้าอิสระ (burden) 5 เมตร ระยะห่างระหว่างรูเจาะ (spacing) 5.5 เมตร ระยะปิดอัดวัตถุระเบิด (stemming) 4 เมตร ความลึกรูเจาะ 6.5 เมตร ระยะช่องว่างอากาศ 0.9 เมตร ปริมาณวัตถุระเบิดสูงสุดต่อจังหวะถ่วง 33.6 กิโลกรัม explosive factor 0.20 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (รูปที่ 2.17 และ 2.19)



รูปที่ 2.18 แบบจำลองรูปตัดขวางของรูระเบิดโดยใช้เทคนิค air-deck ที่ 15%



รูปที่ 2.19 ชุดอุปกรณ์สำหรับใช้เป็นช่องว่างในการทำ air-deck ที่ 15 %

สำหรับการบรรจุวัตถุระเบิดในการทดลองนั้นจะทำการชั่งน้ำหนัก ANFO เอาไว้ (รูปที่ 2.20) เพราะแต่ละรูปแบบของการศึกษานั้นใช้ปริมาณ ANFO ไม่เท่ากัน ดังนั้นการชั่งน้ำหนักจะให้ความแม่นยำมากกว่าการใช้ไม้วัดระยะเพื่อระยะของ ANFO ในรูเจาะซึ่งอาจจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ ส่งผลให้ปริมาณวัตถุระเบิดสูงสุดต่อจังหวะถ่วงเปลี่ยนแปลงไปจากที่คำนวณเอาไว้ เมื่อใส่ ANFO เรียบร้อยแล้วจะทำการหย่อนอุปกรณ์ที่ใช้ทำเป็นช่องว่างลงไป แล้วจึงใช้ไม้วัดเพื่อให้ได้ระยะที่จะอัด stemming กลบดินลงไปพร้อมกับการกระทุ้งดินให้แน่น(รูปที่ 2.21)



รูปที่ 2.20 การชั่งน้ำหนัก ANFO สำหรับการทดลอง



รูปที่ 2.21 การเตรียมหน้างานสำหรับการระเบิดโดยใช้เทคนิคการเว้นช่องว่างอากาศภายในรูเจาะ

2.8.4 การเตรียมอุปกรณ์สำหรับใช้เป็นช่องว่างในการระเบิดโดยใช้เทคนิคการเว้นช่องว่างอากาศภายในรูเจาะ

สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาการระเบิดโดยใช้เทคนิคการเว้นช่องว่างอากาศภายในรูเจาะ อุปกรณ์ที่ใช้เตรียมจากท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้วและแผ่นไม้กระดานอัดขนาดความหนา 1 เซนติเมตร ขั้นตอนในการเตรียมอุปกรณ์มีดังต่อไปนี้ (รูปที่ 2.22)

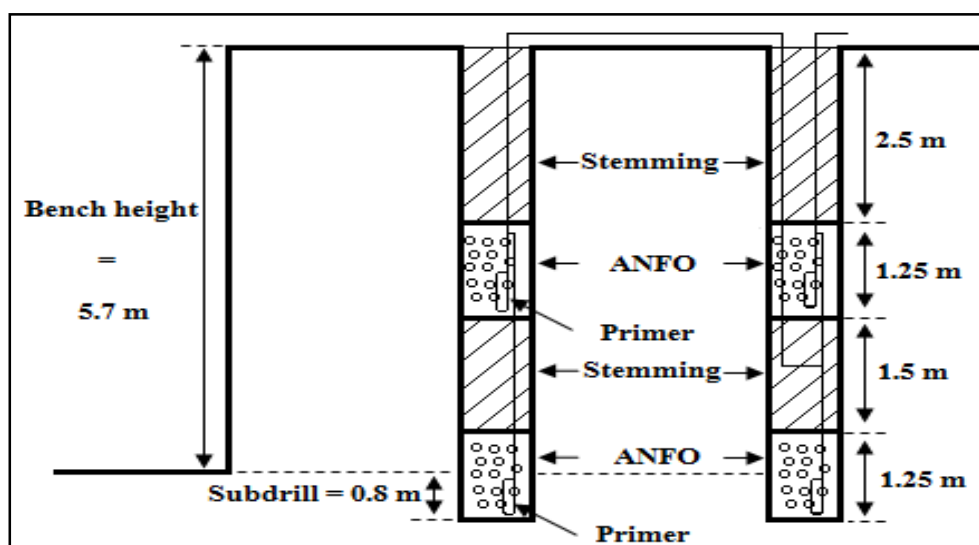
1. กางวงเวียนรัศมี 3.25 นิ้ว เพื่อให้ได้เส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 6.5 นิ้ว
2. ใช้เลื่อยตัดไม้กระดานให้เป็นวงกลมตามที่วาดเอาไว้
3. ตัดท่อพีวีซีให้ได้ความยาวตามระยะช่องว่างที่ได้คำนวณเอาไว้แล้ว 0.6, 0.75 และ 0.9 เมตรตามลำดับ
4. ทำการเจาะรูที่ปลายทั้งสองด้านของท่อพีวีซีและเจาะรูที่แผ่นกระดานอัด
5. จากนั้นเอาไม้กระดานอัดมาปิดหัวท้ายทั้งสองด้านของท่อพีวีซี และใช้ลวดมัดแผ่นไม้กระดานอัดให้แน่น



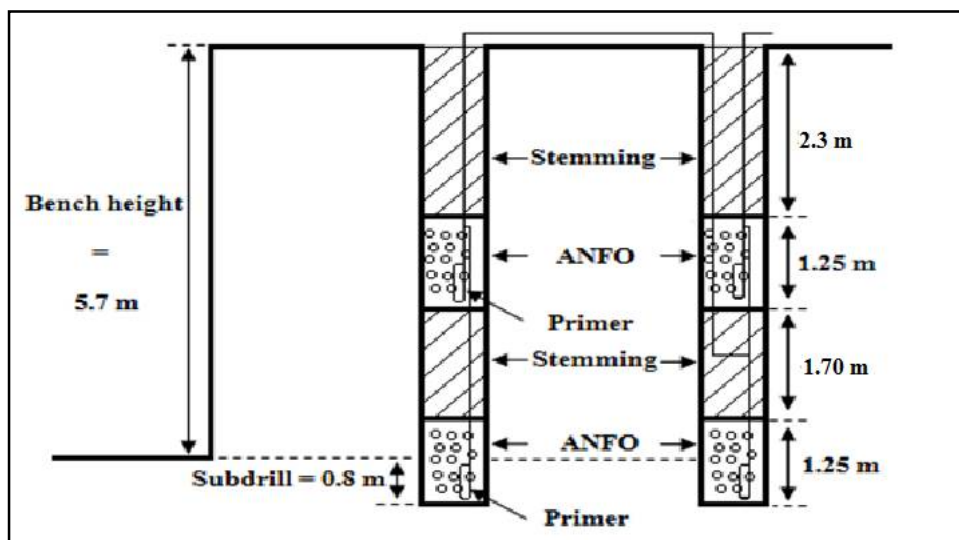
รูปที่ 2.22 การจัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับใช้เป็นช่องว่างในการระเบิด

2.8.5 การระเบิดโดยใช้เทคนิคการแบ่งวัตถุระเบิดออกเป็นช่วง (deck-charge blasting)

รูปแบบของการระเบิดที่ใช้ในการศึกษาดังนี้ ระยะห่างจากหน้าอิสรระ 5 เมตร ระยะห่างระหว่างรูเจาะ 5.5 เมตร ความสูงหน้างาน 5.7 เมตรตลอดการศึกษา แบ่งวัตถุระเบิดออกเป็น 2 ช่วง ช่วงละ 25 กิโลกรัม ระยะในการอัด stemming แบ่งออกเป็น 2 แบบคือ แบบที่ 1 อัดดินอุดปากรูแบบ 1.5 เมตร ต่อ 2.5 เมตร และแบบที่ 2 อัดดินอุดปากรูแบบ 1.7 เมตร ต่อ 2.3 เมตร (รูปที่ 2.23) โดย explosive factor เท่ากับ 0.30 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จุดระเบิดโดยใช้แท่งที่จุดระเบิดโดยไม่ใช้ไฟฟ้า (NONEL) โดยเวลาหน่วงของแต่ละช่วงห่างกัน 25 มิลลิวินาทีเวลาหน่วงระหว่างช่วงที่ 1 และช่วงที่ 2 จะต้องมีมัตระวังไม่ให้เกิดการระเบิดถึงกันก่อนที่ช่วงที่ 2 จะทำการระเบิด และต้องทำให้ช่วงที่ 2 ต้องยกตัวอยู่ก่อน เพื่อที่จะทำให้เกิดเป็นการระเบิดโดยใช้เทคนิคการแบ่งอัดวัตถุระเบิดเป็นช่วง (deck-charge blasting)



(ก)



(ข)

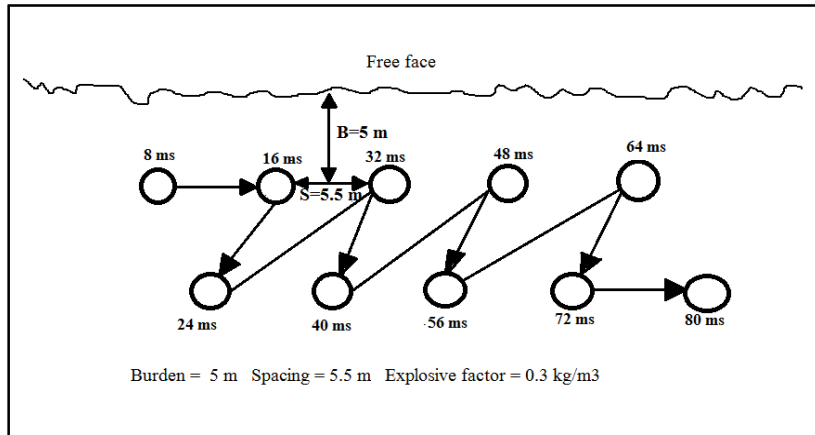
รูปที่ 2.23 (ก) แบบจำลองรูปตัดขวางของรูระเบิดของการระเบิดโดยใช้เทคนิค deck-charge 1.5:2.5 และ(ข) แบบจำลองรูปตัดขวางของรูระเบิดของการระเบิดโดยใช้เทคนิค deck-charge 1.7:2.3

สำหรับขั้นตอนในการบรรจุวัตถุระเบิดนั้นทำการชั่งน้ำหนัก ANFO 25 กิโลกรัม ใช้แก้วแบบห้วงเวลาชนิดไม่ใช่ไฟฟ้า (NONEL) เป็นตัวกระตุ้นวัตถุระเบิดหลัก โดยใช้ขนาดสายยาว 14 เมตรและ 16 เมตร และในการบรรจุวัตถุระเบิดภายในรูเจาะเมื่อใส่ ANFO ช่วงที่ 1 ลงไปใช้จอบโกยเศษดินที่ได้จากการเจาะลงไปเพื่ออัดเป็น stemming ช่วงที่ 1 และใช้ไม้ไฟที่ได้ทำการวัดระยะเอาไว้แล้วมาทำการวัดความลึกของรูเจาะ เพื่อที่บรรจุ ANFO ช่วงที่ 2 และกลบดินลงไปจนเต็มรูเจาะพร้อมกระทุ้งให้แน่น

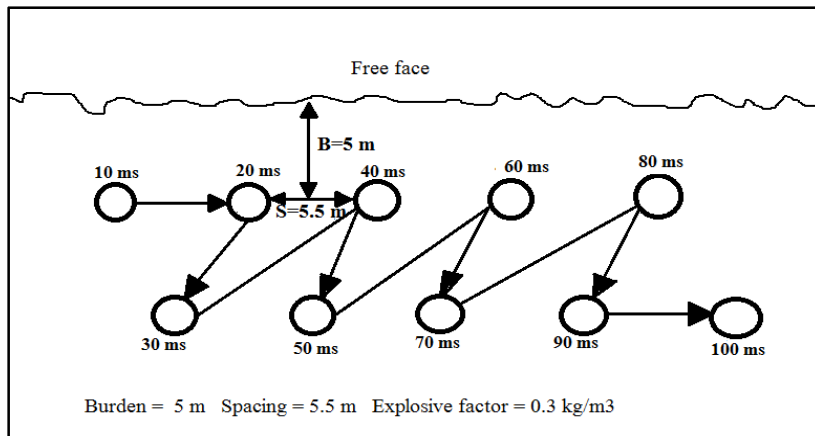
2.8.6 การระเบิดโดยการประยุกต์ใช้หลักการการสลายกันของพลังงานระเบิด (waveform interference)

การศึกษาการระเบิดโดยใช้หลักการการสลายกันของพลังงานระเบิด (waveform interference) พื้นที่ที่ใช้ในการศึกษาเป็นพื้นที่ดินแดง สัญญา 6 บ่อ se ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา คือ การตั้งเวลาหน่วงโดยเริ่มตั้งแต่ 8 10 12 15 18 และ 25 มิลลิวินาทีตามลำดับ โดยจะทำการทดลองที่ ความสูงของหน้างาน 6 เมตรตลอดการศึกษา ความลึกรูเจาะ 6.5 เมตร ใช้ระยะห่างจากหน้าอิสระ 5 เมตร ระยะห่างระหว่างรูเจาะ 5.5 เมตร ระยะปิดอัดวัตถุระเบิด 4 เมตร ปริมาณวัตถุระเบิดสูงสุดต่อ จังหวะถ่วง 50 กิโลกรัม explosive factor 0.30 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และใช้เก็บไฟฟ้าเบอร์ เดียวกันทุกรูเจาะ (รูปที่ 2.25)

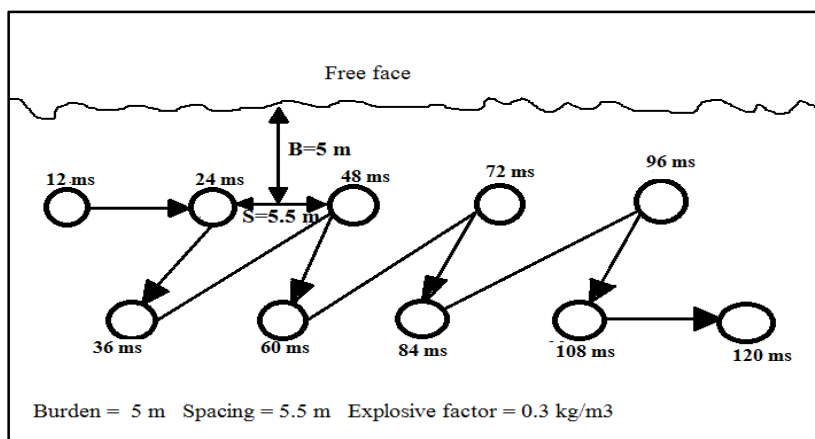
สำหรับการบรรจุวัตถุระเบิดต้องทำการวัดความลึกของรูเจาะให้ได้ 6.5 เมตร บรรจุวัตถุระเบิดโดยการหย่อนวัตถุระเบิดแรงสูงที่ผูกติดกับเก็บไฟฟ้าลงไปจนถึงก้นหลุมเจาะ ใส่ ANFO จำนวน 50 กิโลกรัม กลบเศษดินที่ได้จากการเจาะลงไปและกระทุ้งให้แน่น ในการทดลอง ใช้เก็บเบอร์เดียวกันทุกรูเจาะ หนึ่งรูเจาะเท่ากับหนึ่งวงจร และจากนั้นดึงสายไฟของแต่ละวงจรมา ต่อเข้ากับ terminal board (รูปที่ 2.27) ทำการจุดระเบิดโดยใช้เครื่องจุดระเบิดแบบหน่วงเวลาได้ (รูปที่ 2.26)



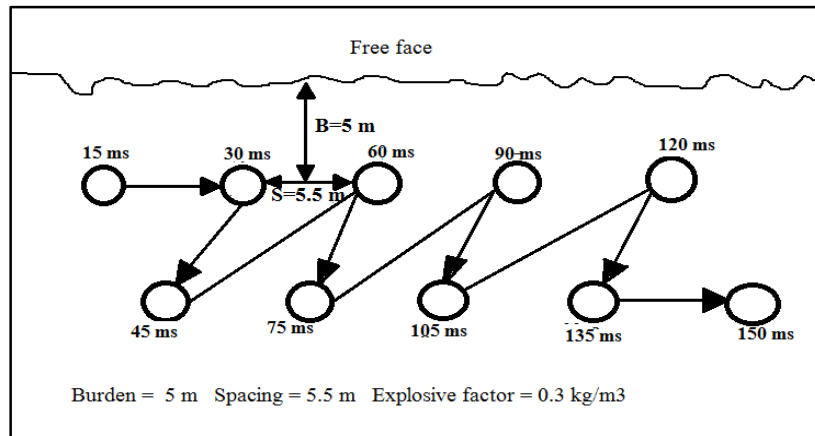
(ñ)



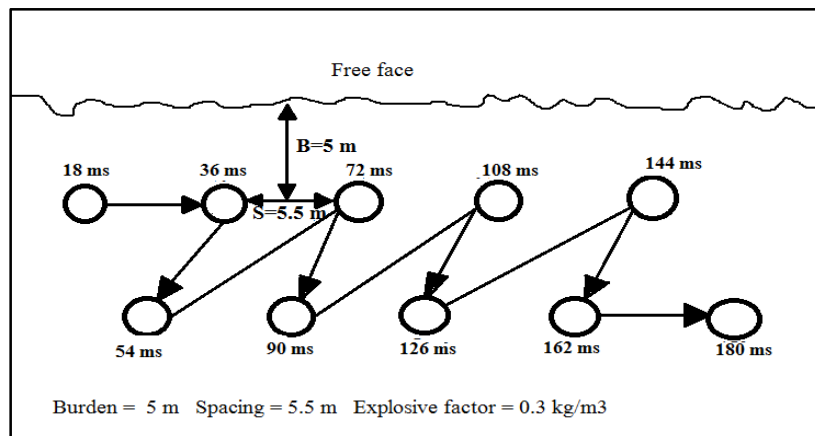
(ñ)



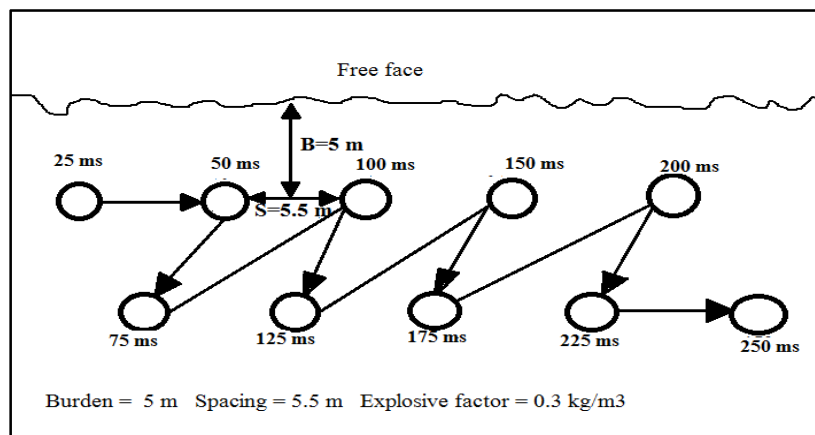
(ñ)



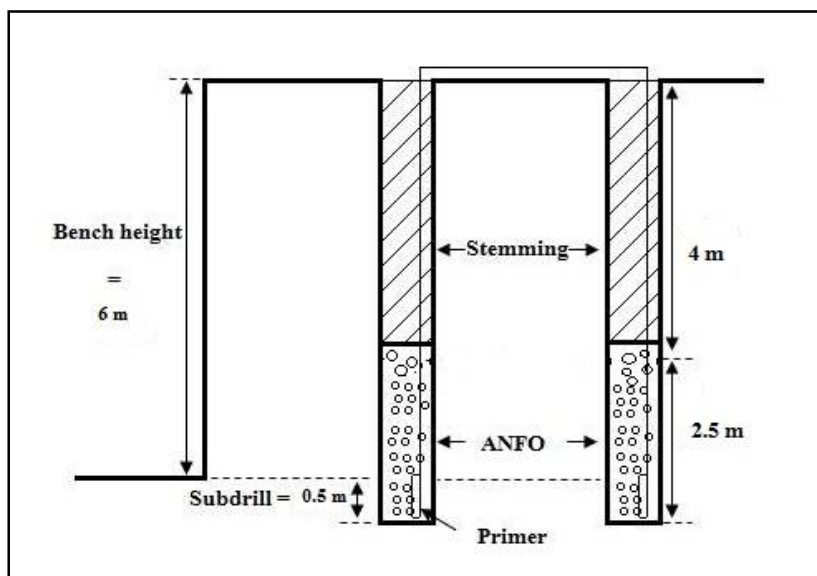
(j)



(i)

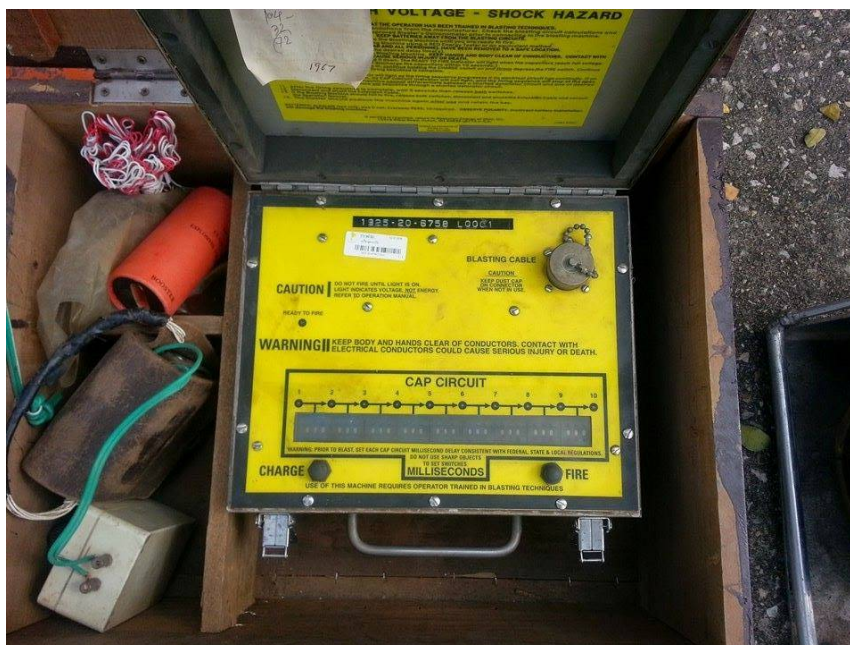


(h)



(ข)

รูปที่ 2.25 (ก) ฟังก์ชันระเบิดหน่วงเวลาที่ 8 มิลลิวินาที (ข) ฟังก์ชันระเบิดหน่วงเวลาที่ 10 มิลลิวินาที (ค) ฟังก์ชันระเบิดหน่วงเวลาที่ 12 มิลลิวินาที (ง) ฟังก์ชันระเบิดหน่วงเวลาที่ 15 มิลลิวินาที (จ) ฟังก์ชันระเบิดหน่วงเวลาที่ 18 มิลลิวินาที (ฉ) ฟังก์ชันระเบิดหน่วงเวลาที่ 25 มิลลิวินาที (ช) แบบจำลองรูปตัดขวางของรูระเบิด



รูปที่ 2.26 เครื่องจุดระเบิดแบบหน่วงเวลา (sequential blasting machine)



รูปที่ 2.27 terminal board

2.8.7 การออกแบบเวลาหน่วงสำหรับการระเบิดโดยการประยุกต์ใช้หลักการสลายกันของพลังงาน

จากรูปที่ 2.25 เวลาหน่วงที่แสดงไว้เป็นเวลาที่ตั้งค่าไว้กับเครื่องจุดระเบิดแบบ หน่วงเวลาได้ (sequential blasting machine) แต่เวลาของการระเบิดจริงนั้นจะต้องบวกเวลาหน่วงของแก๊ปไฟฟ้าด้วย ในการทดลองเป็นการระเบิดโดยใช้แก๊ปไฟฟ้าเบอร์เดียวกันทุกรูเจาะ ซึ่งในการระเบิดแต่ละครั้งมี 10 วงจร โดย 1 รูเจาะเท่ากับ 1 วงจร ดังนั้นเมื่อระเบิดโดยใช้แก๊ปไฟฟ้าเบอร์ 2 ที่มีเวลาหน่วงเท่ากับ 50 มิลลิวินาทีสามารถคำนวณดังตารางที่ 2.1

สำหรับจำนวนรูเจาะต่อ 1 วงจรสามารถมีได้มากกว่า 1 รูเจาะซึ่งขึ้นอยู่กับ การออกแบบของผู้ปฏิบัติงาน ตัวอย่างเช่น จำนวนรูเจาะ 3 รูเจาะต่อ 1 วงจร โดยใช้แก๊ปไฟฟ้าเบอร์ 2, 4 และ 6 เวลาหน่วงเท่ากับ 50, 100 และ 150 มิลลิวินาที ให้เวลาหน่วงแต่ละวงจรเท่ากับ 15 มิลลิวินาที เวลาในการระเบิดเป็นดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 การออกแบบการระเบิดโดยการประยุกต์ใช้หลักการการสลายกันของพลังงานโดยใช้
แก๊ปไฟฟ้าเบอร์เดียวกันทุกระยะ

ลำดับที่	วงจร									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เวลาหน่วงของแก๊ปไฟฟ้า (มิลลิวินาที)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
เวลาหน่วงของเครื่องจุดระเบิด (มิลลิวินาที)	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
เวลาที่ระเบิดจริงของแต่ละวงจร (มิลลิวินาที)	65	80	95	110	125	140	155	170	185	200

ตารางที่ 2.2 การออกแบบการระเบิดโดยการประยุกต์ใช้หลักการการสลายกันของพลังงานพันธะ
โดยใช้แก๊ปไฟฟ้าหลายเบอร์

ลำดับที่	วงจร								
	1			2			3		
เวลาหน่วงของแก๊ปไฟฟ้า (มิลลิวินาที)	50	100	150	50	100	150	50	100	150
เวลาหน่วงของเครื่องจุดระเบิด (มิลลิวินาที)	15	15	15	30	30	30	45	45	45
เวลาที่ระเบิดจริงของแต่ละวงจร (มิลลิวินาที)	65	115	165	80	130	180	95	145	195

บทที่ 3

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล

ผลการวิจัยนี้ประกอบด้วยการวัดแรงสั่นสะเทือนที่พื้นและผลการแตกของดินของการระเบิดแบบที่เหมืองแม่เมาะใช้อยู่ในปัจจุบันเปรียบเทียบกับการระเบิดโดยใช้กรวยอุดระเบิด การระเบิดโดยใช้เทคนิคการเว้นช่องว่างอากาศภายในรูเจาะ การระเบิดโดยการใส่การบรรจุวัตถุระเบิดเป็นช่วง และการระเบิดโดยการประยุกต์ใช้หลักการการสลายกันของพลังงาน

3.1 การระเบิดแบบที่เหมืองแม่เมาะใช้ในปัจจุบัน

3.1.1 ผลการวัดแรงสั่นสะเทือน

การเก็บข้อมูลแรงสั่นสะเทือนของการระเบิดแบบปกติที่เหมืองแม่เมาะใช้อยู่ในปัจจุบันทำการทดลองในพื้นที่ของบ่อ C วัดแรงสั่นสะเทือนด้านหลังหรือด้านข้างของหน้างาน ขึ้นอยู่กับลักษณะหน้างานที่ทำการทดลอง โดยวัดที่ระยะ 300 เมตรและ 500 เมตรใช้เครื่องวัดแรงสั่นสะเทือนรุ่น Blast mate series III และ Mini mate plus ผลการวัดแรงสั่นสะเทือนได้ผลดังตารางที่ 3.1 พบว่าค่าเฉลี่ยของแรงสั่นสะเทือนที่ระยะ 300 เมตรและ 500 เมตรมีค่าดังนี้ 7.78 มิลลิเมตร/วินาทีและ 4.48 มิลลิเมตร/วินาที ตามลำดับ โดยผลการวัดแรงสั่นสะเทือนของการระเบิดแบบที่เหมืองแม่เมาะใช้ในปัจจุบันนำมาเป็นข้อมูลพื้นฐานในการเปรียบเทียบกับแต่ละเทคนิค

3.1.2 ผลการแตกของดิน

จากการระเบิดแบบที่เหมืองแม่เมาะใช้ในปัจจุบัน พบว่าการแตกของดินมีทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็กดังรูปที่ 3.1 และเมื่อมองจากด้านบนจะพบว่าการเกิดการฟูของดิน และดินแตกเป็นแผ่นดังรูปที่ 3.2 ซึ่งจะนำไปเปรียบเทียบกับเทคนิคต่างๆ



รูปที่ 3.1 ขนาดการแตกของดินที่ได้จากการระเบิดแบบที่เหมืองแม่เมาะใช้ในปัจจุบัน



รูปที่ 3.2 การฟุ้งของดิน

ตารางที่ 3.1 ผลการวัดแรงสั่นสะเทือนจากการระเบิดแบบที่เหมืองแม่เมาะใช้อยู่ในปัจจุบันวัดที่ระยะ 300 เมตรและ 500 เมตร Explosive factor 0.3 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตรและปริมาณวัตถุระเบิดสูงสุดต่อจังหวะถ่วง 50 กิโลกรัม

วันที่ทำการทดลอง	ระยะทาง (เมตร)	ppv		Air blast		หมายเหตุ
		mm/s	Hz	dB(L)	Hz	
12/12/2556	300	8.59	8.5	114.6	7.1	Red bed/Gray bed
12/12/2556	300	8.16	7.2	138.6	<1.0	Red bed/Gray bed
16/12/2556	300	6.59	8.5	115	9.1	Red bed
12/12/2556	500	5.1	11	105.5	7.8	Red bed/Gray bed
16/12/2556	500	4.51	10	107.5	5.2	Red bed
16/12/2556	500	4.64	9.1	136.4	N/A	Red bed
19/7/2556	500	3.1	6.6	107.5	5.1	Red bed/Gray bed
13/8/2556	500	4.19	6	108	15	Red bed
13/8/2556	500	5.33	9.1	138.1	N/A	Red bed
	ค่าเฉลี่ยที่ระยะ 300 เมตร	7.78		122.73		
	ค่าเฉลี่ยที่ระยะ 500 เมตร	4.48		117.17		

3.2 การระเบิดโดยใช้กรวยอุดระเบิด

3.2.1 ผลการวัดแรงสั่นสะเทือน

การเก็บข้อมูลแรงสั่นสะเทือนของการระเบิดโดยใช้กรวยอุดระเบิดทำการทดลองในพื้นที่ของบ่อ C และบ่อ SE วัดแรงสั่นสะเทือนด้านหลังหรือด้านข้างของหน้างานโดยวัดที่ระยะ 300 เมตรและ 500 เมตรใช้เครื่องวัดแรงสั่นสะเทือนรุ่น Blast Mate Series III และ Mini Mate Plus ผลการวัดแรงสั่นสะเทือนของแต่ละชุดการศึกษาได้ผลดังตารางที่ 3.2

การระเบิดโดยใช้กรวยอุดระเบิดแบบธรรมดา มีค่าแรงสั่นสะเทือนเฉลี่ยที่ระยะ 300 เมตรและ 500 เมตรเท่ากับ 6.12 มิลลิเมตร/วินาที และ 2.47 มิลลิเมตร/วินาทีตามลำดับเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ การระเบิดแบบที่เหมืองแม่เมาะใช้สามารถลดแรงสั่นสะเทือนที่ระยะ 300 เมตรและ 500 เมตรเท่ากับ 21.38 % และ 44.78 % ตามลำดับการระเบิดโดยใช้กรวยอุดระเบิดแบบลด

Explosive factor เป็นการลดอัตราการใช้วัตถุระเบิดต่อหน่วยดินลงมาเป็น 0.28 kg/m^3 แรงสั่นสะเทือนเฉลี่ยของการวัดที่ระยะ 300 เมตรและ 500 เมตรเท่ากับ 6.69 มิลลิเมตร/วินาทีและ 3.27 มิลลิเมตร/วินาทีนำมาเปรียบเทียบกับการระเบิดแบบที่เหมืองแม่เมาะใช้สามารถลดแรงสั่นสะเทือนที่ระยะ 300 เมตรและ 500 เมตรเท่ากับ 14.01 % และ 27.12 % ตามลำดับ และสำหรับการเพิ่ม Explosive factor โดยการเพิ่มประมาณวัตถุระเบิดจาก 50 กิโลกรัมเป็น 60 กิโลกรัม ซึ่งทำให้ explosive factor เพิ่มขึ้นและแรงสั่นสะเทือนก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่เมื่อนำเปรียบเทียบกับ การระเบิดที่เหมืองแม่เมาะใช้กลับพบว่า ที่ระยะ 500 เมตรสามารถลดแรงสั่นสะเทือนได้ถึงร้อยละ 11.31 ซึ่งพิสูจน์ได้ว่าการใช้กรวยอุดระเบิดภายในรูเจาะ สามารถลดแรงสั่นสะเทือนได้และเพิ่ม ประสิทธิภาพของการแตกของดิน

ตารางที่ 3.2 ผลการวัดแรงสั่นสะเทือนจากการระเบิดโดยใช้กรวยอุดระเบิดวัดที่ระยะ 300 เมตร และ 500 เมตร

ก.การระเบิดโดยใช้กรวยอุดระเบิดแบบธรรมดา Explosive factor 0.3 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร และ ปริมาณวัตถุระเบิดสูงสุดต่อจังหวะถ่วง 50 กิโลกรัม

วันที่ทำการทดลอง	ระยะทาง (เมตร)	ppv		Air blast		หมายเหตุ
		mm/s	Hz	dB(L)	Hz	
12/11/2556	300	7.92	8.4	113.1	13	Red bed
15/11/2556	300	5.25	13.00	114.6	8	Red bed
15/11/2556	300	5.18	7.50	139	<10	Red bed
12/11/2556	500	2.40	8.5	135.2	<10	Red bed
12/11/2556	500	2.46	10	118.8	<16	Red bed
15/11/2556	500	2.05	5.1	110.9	10	Red bed
2/2/2558	500	2.75	3.7	111.8	7.6	Red bed
5/2/2557	500	2.71	6.9	113.8	5.7	Red bed
	ค่าเฉลี่ยที่ระยะ 300 เมตร	6.12		122.23		
	ค่าเฉลี่ยที่ระยะ 500 เมตร	2.47		118.10		

ข. การระเบิดโดยใช้กรวยอุดระเบิดแบบลด Explosive factor Explosive factor 0.28 กิโลกรัม/
ลูกบาศก์เมตร และปริมาณวัตถุระเบิดสูงสุดต่อจังหวะถ่วง 50 กิโลกรัม

วันที่ทำการทดลอง	ระยะทาง (เมตร)	ppv		Air blast		หมายเหตุ
		mm/s	Hz	dB(L)	Hz	
18/11/2556	300	6.6	9.8	113.3	9.1	Red bed/Gray bed
19/11/2556	300	6.78	6.4	116.1	7.6	Red bed
18/11/2556	500	3.37	9	108.4	16	Red bed/Gray bed
19/11/2556	500	3.16	6.1	109.5	9	Red bed
	ค่าเฉลี่ยที่ระยะ 300 เมตร	6.69		114.7		
	ค่าเฉลี่ยที่ระยะ 500 เมตร	3.26		108.95		

ค. การระเบิดโดยใช้กรวยอุดระเบิดแบบเพิ่ม Explosive factor Explosive factor 0.36 กิโลกรัม/
ลูกบาศก์เมตร และปริมาณวัตถุระเบิดสูงสุดต่อจังหวะถ่วง 60 กิโลกรัม

วันที่ทำการทดลอง	ระยะทาง (เมตร)	ppv		Air blast		หมายเหตุ
		mm/s	Hz	dB(L)	Hz	
28/1/2557	300	9.81	7.5	115	8	Red bed/Gray bed
29/1/2557	300	12.3	7.9	115.4	6.6	Red bed
30/1/2557	300	11.8	12	117.4	5	Red bed
28/1/2557	500	4.3	11	5.25	3.5	Red bed/Gray bed
29/1/2557	500	5	11	6.25	10	Red bed
30/1/2557	500	2.62	5.8	6.5	3.4	Red bed
	ค่าเฉลี่ยที่ระยะ 300 เมตร	11.30		115.93		
	ค่าเฉลี่ยที่ระยะ 500 เมตร	3.97		6.00		

3.2.2 ผลการแตกของดิน

สำหรับการแตกของดินที่ได้จากการระเบิดโดยใช้กรวยอุดระเบิดแบบธรรมดา ขนาดของดินที่ได้มีขนาดใกล้เคียงกัน และมีขนาดเล็กกว่าลูกบอลสเกลเล็กน้อย และหากนำมาเปรียบเทียบกับระเบิดแบบที่เหมือนแม่เมะใช้ พบว่าการระเบิดโดยใช้กรวยอุดระเบิดให้ดินที่มีขนาดเล็ก การกระจายขนาดของดินดีกว่า (รูปที่ 3.3 และรูปที่ 3.4)

ผลการแตกของการระเบิดแบบลด Explosive factor พบว่า ขนาดของดินที่แตกออก ส่วนใหญ่มีขนาดใหญ่กว่าลูกบอลสเกลเล็กน้อยและมีขนาดใกล้เคียงกัน (รูปที่ 3.5) ดินก้อนขนาดใหญ่มากมีเพียงเล็กน้อยที่บริเวณขอบหลุม ส่วนด้านล่างของรูระเบิดดินจะมีขนาดเล็กและมีขนาดใกล้เคียงกัน

และผลการแตกของการระเบิดแบบเพิ่ม Explosive factor พบว่า ขนาดของดินที่แตกออกมาจะขนาดก้อนที่ใหญ่กว่าลูกบอลสเกลประมาณสองเท่า (รูปที่ 3.6) แตกสม่ำเสมอ และมีความใกล้เคียงกัน



รูปที่ 3.3 ขนาดของดินที่ได้จากการระเบิดของการระเบิด โดยใช้กรวยอุดระเบิดแบบธรรมดา



รูปที่ 3.4 ขนาดการแตกของดินที่ได้จากการระเบิดของการระเบิดแบบที่เหมืองแม่เมาะใช้



รูปที่ 3.5 ขนาดของดินจากการระเบิด โดยใช้กรวยอุดระเบิดแบบลด Explosive factor



รูปที่ 3.6 ขนาดของดินที่ได้จากการระเบิด โดยใช้กรวยอุดระเบิดแบบเพิ่ม Explosive factor

3.3 การระเบิดโดยใช้เทคนิคการเว้นช่องว่างอากาศภายในรูเจาะ

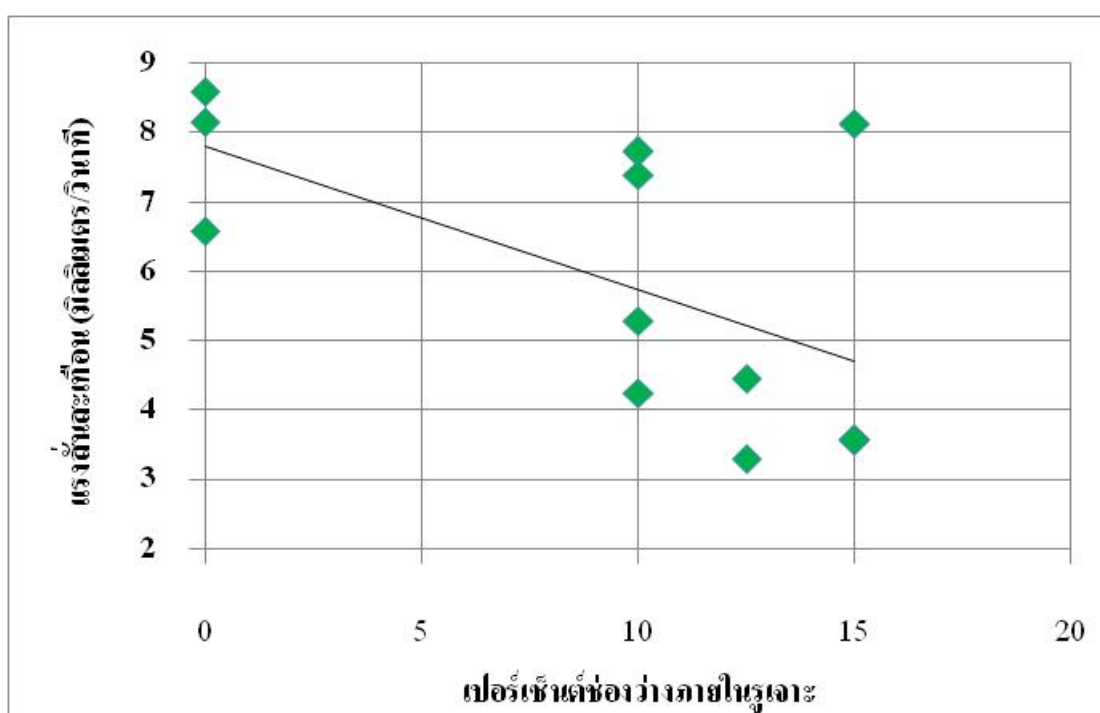
3.3.1 ผลการวัดแรงสั่นสะเทือน

การศึกษาการระเบิดโดยใช้เทคนิคการเว้นช่องว่างอากาศภายในรูเจาะ (air deck blasting) ทำการศึกษาที่ 10% 12.5% และ 15% และวัดแรงสั่นสะเทือนที่ระยะ 300 และ 500 เมตร การทดลองทำในพื้นที่ดินแดงของพื้นที่บ่อ C โดยใช้เครื่องวัดแรงสั่นสะเทือนรุ่น Blast mate series III และ Mini mate plus การวัดแรงสั่นสะเทือนวัดด้านหลังหรือด้านข้างโดยขึ้นอยู่กับลักษณะของหน้างาน ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 3.3

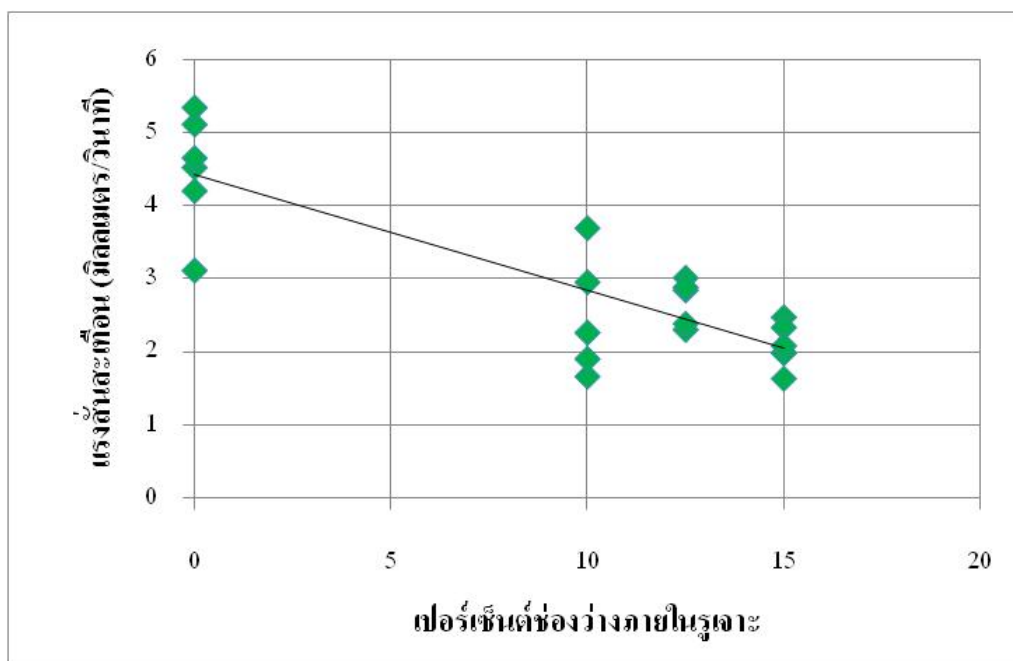
การระเบิดโดยใช้ช่องว่างภายในรูเจาะที่ 10% ของความสูงของหน้างาน แรงสั่นสะเทือนเฉลี่ยที่ระยะ 300 เมตรและ 500 เมตรมีค่าเท่ากับ 6.17 มิลลิเมตร/วินาที และ 2.94 มิลลิเมตร/วินาที นำมาเปรียบเทียบกับการระเบิดแบบที่เหมืองแม่เมาะใช้สามารถลดแรงสั่นสะเทือนที่ระยะ 300 เมตรและ 500 เมตรเท่ากับ 20.73 % และ 34.42 % ตามลำดับ แรงสั่นสะเทือนที่ระยะ 300 เมตรนั้นมีการแกว่งของข้อมูลค่อนข้างมาก

การระเบิดโดยใช้ช่องว่างภายในรูเจาะที่ 12.5% ของความสูงของหน้างาน แรงสั่นสะเทือนเฉลี่ยที่ระยะ 300 เมตรและ 500 เมตรมีค่าเท่ากับ 3.88 มิลลิเมตร/วินาที และ 2.87 มิลลิเมตร/วินาทีตามลำดับ นำมาเปรียบเทียบกับการระเบิดแบบที่เหมืองแม่เมาะใช้สามารถลด

แรงสั่นสะเทือนที่ระยะ 300 เมตรและ 500 เมตรเท่ากับ 50.13 % และ 35.89 % ตามลำดับและสำหรับการระเบิดโดยใช้ช่องว่างภายในรูเจาะ 15% ของความสูงของหน้างาน พบว่าแรงสั่นสะเทือนเฉลี่ยที่ระยะ 300 เมตรและ 500 เมตรเท่ากับ 5.09 มิลลิเมตร/วินาทีและ 2.07 มิลลิเมตร/วินาทีสามารถลดแรงสั่นสะเทือนได้สูงสุด 34.62 % และ 53.79 % ตามลำดับ นำข้อมูลแรงสั่นสะเทือนที่ระยะ 300 เมตรและ 500 เมตรมาพล็อตเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %Air-deck ดังรูปที่ 3.7และ 3.8แรงสั่นสะเทือนจะลดลงเมื่อช่องว่างภายในรูเจาะเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ปริมาณวัสดุระเบิดสูงสุดต่อจังหวะถ่วงมีผลต่อแรงสั่นสะเทือน



รูปที่ 3.7ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของช่องว่างภายในรูเจาะ (% Air deck)และแรงสั่นสะเทือนที่ระยะ 300 เมตร



รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของช่องว่างภายในรูเจาะ (% Air deck) และแรงสั่นสะเทือนที่ระยะ 500 เมตร

ตารางที่ 3.3 ผลการวัดแรงสั่นสะเทือนจากการระเบิดโดยใช้เทคนิคการเว้นช่องว่างอากาศภายในรูเจาะ (Air-deck blasting) โดยทำการวัดที่ระยะ 300 เมตรและ 500 เมตร

ก. การระเบิดโดยใช้เทคนิคการเว้นช่องว่างอากาศที่ 10 % Explosive factor 0.24 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตรและปริมาณวัตถุระเบิดสูงสุดต่อจังหวะถ่วง 40 กิโลกรัม

วันที่ทำการทดลอง	ระยะทาง (เมตร)	ppv		Air blast		หมายเหตุ
		mm/s	Hz	dB(L)	Hz	
20/12/2556	300	5.29	8.5	111	13	Red bed/Gray bed
20/12/2556	500	1.65	5.2	105.5	9.7	Red bed/Gray bed
20/12/2556	500	1.89	10	137.2	N/A	Red bed
26/2/2557	300	4.25	4.8	112.3	12	Red bed
26/2/2557	500	3.68	8.7	106.5	9.3	Red bed

วันที่ทำการทดลอง	ระยะทาง (เมตร)	ppv		Air blast		หมายเหตุ
		mm/s	Hz	dB(L)	Hz	
26/3/2557	300	7.73	7.8	115.2	13	Red bed
28/3/2557	300	7.4	14	98.8	18	Red bed/Gray bed
28/3/2557	500	2.25	22	137.3	N/a	Red bed/Gray bed
	ค่าเฉลี่ยที่ระยะ 300 เมตร	6.17		109.33		
	ค่าเฉลี่ยที่ระยะ 500 เมตร	2.94		118.98		

ข. การระเบิดโดยใช้เทคนิคการเว้นช่องว่างอากาศที่ 12.5 % Explosive factor 0.22 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตรและปริมาณวัตถุระเบิดสูงสุดต่อจังหวะถ่วง 37 กิโลกรัม

วันที่ทำการทดลอง	ระยะทาง (เมตร)	ppv		Air blast		หมายเหตุ
		mm/s	Hz	dB(L)	Hz	
24/02/2557	300	4.46	6.8	110.2	6.2	Red bed
24/02/2557	300	3.3	8.5	107.5	6.2	Red bed
24/02/2557	500	3	6.6	137.1	<1.0	Red bed
24/02/2557	500	2.29	5.6	136.8	N/A	Red bed
31/3/2557	500	3.87	8.1	107	6.2	Red bed
22/4/2557	500	2.37	9.8	108.8	9.8	Red bed
22/4/2557	500	2.83	9.8	135.1	<1.0	Red bed
	ค่าเฉลี่ยที่ระยะ 300 เมตร	3.88		108.85		
	ค่าเฉลี่ยที่ระยะ 500 เมตร	2.87		127.02		

ค.การระเบิดโดยใช้เทคนิคการเว้นช่องว่างอากาศที่ 15% Explosive factor 0.20 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตรและปริมาณวัตถุระเบิดสูงสุดต่อจังหวะถ่วง 33.6 กิโลกรัม

วัน/เดือน/ปี	ระยะทาง (เมตร)	ppv		Air blast		หมายเหตุ
		mm/s	Hz	dB(L)	Hz	
20/12/2556	300	8.13	9	117.8	14	Red bed
24/3/2557	300	3.56	>100	110.2	28	Red bed/Gray bed
24/3/2557	300	3.57	7.3	106	5.4	Red bed/Gray bed
20/12/2556	500	1.98	8	110.9	8.5	Red bed
20/12/2556	500	1.97	8.3	137.1	N/A	Red bed
24/3/2557	500	2.46	10	43.3 Pa(L)	73	Red bed/Gray bed
24/3/2557	500	1.62	7.1	43.3 Pa(L)	73	Red bed/Gray bed
2/4/2557	500	2.32	10	100	5.3	Red bed
	ค่าเฉลี่ยที่ระยะ 300 เมตร	5.09		111.33		
	ค่าเฉลี่ยที่ระยะ 500 เมตร	2.07		116		

3.3.2 ผลการแตก

การระเบิดโดยใช้ช่องว่างภายในรูเจาะที่ 10% ได้ดินที่มีขนาดเล็กกว่าลูกบอลสเกล เป็นส่วนใหญ่และมีขนาดใกล้เคียงกันทั้งบริเวณปากรูระเบิด (รูปที่ 3.9)เมื่อเปรียบเทียบกับ การระเบิดแบบที่เหมืองแม่เมาะใช้ การระเบิดโดยใช้ช่องว่างภายในรูเจาะ 10 % จะได้การแตกของดิน ดีกว่าเล็กน้อย ส่วนการระเบิดโดยใช้การเว้นช่องว่างภายในรูเจาะที่ 12.5 % ได้ผลการแตกที่ไม่ค่อย ดีนัก โดยดินจะแตกออกมาเป็นก้อนที่ค่อนข้างโตมองจากด้านหน้าของหน้างานจะเห็นได้อย่าง ชัดเจน (รูปที่ 3.10)และสำหรับการระเบิดที่ 15% ผลการแตกของดินไม่ดี ดินจะแตกเป็นแผ่นขนาดใหญ่ซึ่งสามารถมองได้จากด้านบน (รูปที่ 3.11)ซึ่งผลการแตกของดินที่ไม่ดีเป็นผลมาจากค่า explosive factor ที่ลดลง



รูปที่ 3.9 ขนาดของดินจากการระเบิดโดยใช้เทคนิค Air-deck 10%



รูปที่ 3.10 ขนาดของดินที่ได้จากการระเบิดโดยเทคนิค Air-deck 12.5%



รูปที่ 3.11ขนาดของดินที่ได้จากการระเบิดโดยใช้เทคนิค Air-deck 15%

3.4 การระเบิดโดยใช้เทคนิคการแบ่งบรรจุวัตถุระเบิดออกเป็นช่วง

3.4.1 ผลการวัดแรงสั่นสะเทือน

การทดลองทำในพื้นที่ดินแดงของบ่อ C ทำการวัดแรงสั่นสะเทือนที่ระยะ 300 เมตรและ 500 เมตร โดยใช้เครื่องวัดแรงสั่นสะเทือนรุ่น Blast mate series III และ Mini mate plus การวัดแรงสั่นสะเทือนวัดด้านหลังหรือด้านข้างของหน้างาน โดยขึ้นอยู่กับลักษณะของหน้างาน ได้ผลการทดลองของทั้งสองกรณีตามตารางที่ 3.4และตารางที่ 3.5สำหรับแบบที่ 1 แรงสั่นสะเทือนเฉลี่ยที่ระยะ 300 เมตรและ 500 เมตรเท่ากับ 5.85 มิลลิเมตร/วินาทีและ 2.39 มิลลิเมตร/วินาทีตามลำดับ แบบที่ 2 แรงสั่นสะเทือนเฉลี่ยที่ระยะ 300 เมตรและ 500 เมตรเท่ากับ 4.55มิลลิเมตร/วินาทีและ 3.07 มิลลิเมตร/วินาทีเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการระเบิดแบบที่เหมืองแม่เมาะใช้พบว่าแรงสั่นสะเทือนลดลง 24.80 % และ 46.65 % ตามลำดับสำหรับแบบที่ 1 และลดลง 41.51 % และ 31.47 % ตามลำดับสำหรับแบบที่ 2

ตารางที่ 3.4 การระเบิดโดยใช้เทคนิคการแบ่งบรรจุวัตถุระเบิดออกเป็นช่วงกรณีที่ 1 อัดดินอุดปากกรู
แบบ 1.5 เมตร ต่อ 2.5 เมตร

วันที่ทำการทดลอง	ระยะทาง(เมตร)	ppv		Air blast		หมายเหตุ
		mm/s	Hz	dB(L)	Hz	
16/8/2556	300	6.05	6	112	6.3	Red bed/Gray bed
19/8/2556	297	5.65	13	112.3	11	Red bed/Gray bed
16/8/2556	500	2.54	37	139.4	N/A	Red bed/Gray bed
19/8/2556	483	2.24	7.6	Mic off	-	Red bed/Gray bed
	ค่าเฉลี่ยที่ระยะ 300 เมตร	5.85		112.77		
	ค่าเฉลี่ยที่ระยะ 500 เมตร	2.39		139.4		

ตารางที่ 3.5 การระเบิดโดยใช้เทคนิคการแบ่งบรรจุวัตถุระเบิดออกเป็นช่วงกรณีที่ 2 อัดดินอุดปากกรู
แบบ 1.7 เมตร ต่อ 2.3 เมตร

วันที่ทำการทดลอง	ระยะทาง (เมตร)	ppv		Air blast		หมายเหตุ
		mm/s	Hz	dB(L)	Hz	
3/12/2556	300	3.65	6.1	112.8	7.2	Red bed
3/12/2556	300	3.84	6.1	137.7	<1.0	Red bed
11/12/2556	300	4.75	8.4	117.4	9.1	Red bed/Gray bed
11/12/2556	300	4.32	8.7	138.9	<1.0	Red bed/Gray bed
12/12/2556	300	6.19	7.8	117.4	8.1	Red bed
3/12/2556	500	2.57	8.4	107.5	17	Red bed
12/12/2556	500	3.56	9.8	108.4	6	Red bed
	ค่าเฉลี่ยที่ระยะ 300 เมตร	4.55		124.84		
	ค่าเฉลี่ยที่ระยะ 500 เมตร	3.07		108.10		

3.4.2 ผลการแตกของดิน

ผลการแตกของการระเบิดโดยใช้การบรรจุวัตถุระเบิดเป็นช่วงแบบกรณีที่ 1 แบบ 1.5 เมตร : 2.5 เมตร ดินที่ได้จะมีขนาดใหญ่กว่าลูกบอลสเกลในบริเวณขอบหลุม แต่โดยรวมแล้วที่ดินที่ได้ก็มีขนาดใกล้เคียงกัน (รูปที่ 3.12) และส่วนตรงกลางของหลุมระเบิดจะได้ขนาดเล็กกว่าลูกบอลสเกล (รูปที่ 3.13) ซึ่งเมื่อมาพิจารณาหน้าออกก็พบว่าดินส่วนใหญ่มีขนาดเล็กใกล้เคียงกันทำให้ง่ายต่อการตักและการขุด

ส่วนกรณีที่ 2 แบบ 1.7 เมตร : 2.3 เมตร ขณะทำการระเบิดการพุ่งขึ้นของดินแดง และมีดินปลิวกว่าแบบที่ 1 และจะยกตัวขึ้นเป็นรูปวงกลมที่ค่อนข้างสมมาตรและกระจายตัวไปรอบๆ ดินที่ได้จะมีขนาดใหญ่กว่าลูกบอลสเกล (รูปที่ 3.14) และมีขนาดใกล้เคียงกันโดยเฉพาะบริเวณขอบหลุมระเบิดจะมีขนาดใหญ่กว่าบริเวณหลุมระเบิด (รูปที่ 3.15)



รูปที่ 3.12 การแตกของหินในบริเวณขอบหลุมระเบิดของการระเบิดโดยใช้เทคนิคการแบ่งบรรจุวัตถุระเบิดออกเป็นช่วงกรณีที่ 1 แบบ 1.5 เมตร : 2.5 เมตร



รูปที่ 3.13ขนาดของดินและการแตกที่หน้าออกของลูกบอลสเกลโดยใช้เทคนิคการแบ่งบรรจุวัตถุระเบิดออกเป็นช่วงกรณีที่ 1 แบบ 1.5 เมตร:2.5 เมตร



รูปที่ 3.14ขนาดของดินจากการระเบิดโดยใช้เทคนิคการแบ่งบรรจุวัตถุระเบิดออกเป็นช่วงกรณีที่ 2 แบบ 1.7 เมตร:2.3 เมตร



รูปที่ 3.15 ขนาดของดินและการแตกที่หน้าออกของลูกบอลลสเกลโดยใช้เทคนิคการแบ่งบรรจุวัตถุระเบิดออกเป็นช่วงกรณีที่ 2 แบบ 1.7 เมตร:2.3 เมตร

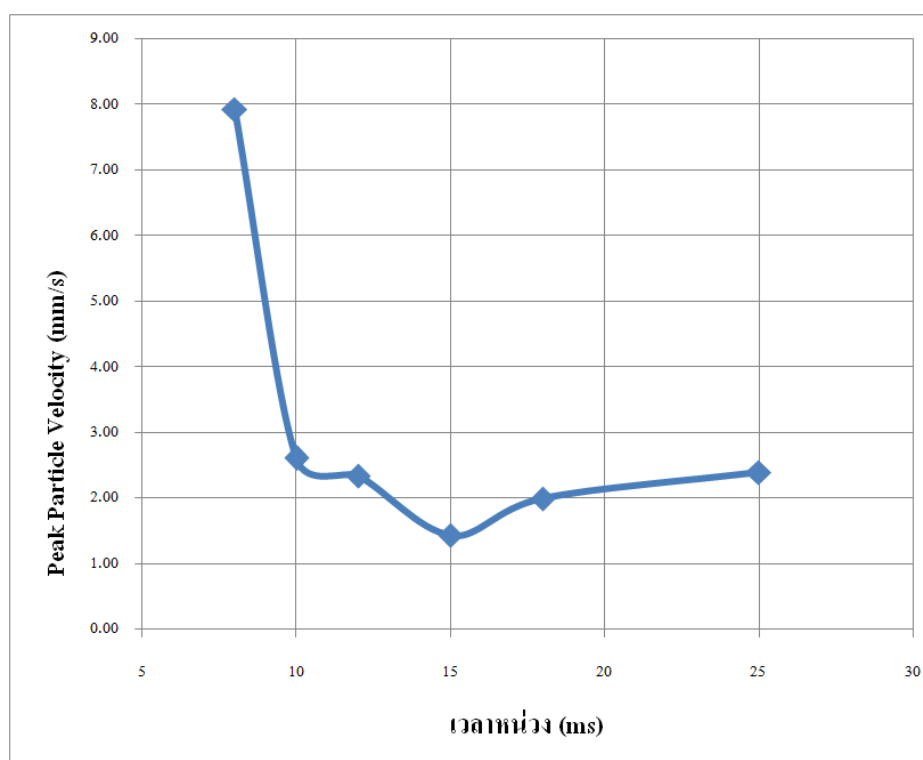
3.5 การระเบิดโดยการประยุกต์ใช้หลักการการสลายกันของพลังงาน

3.5.1 ผลการวัดแรงสั่นสะเทือน

จากการศึกษาการระเบิด โดยใช้หลักการการสลายกันของพลังงาน (Waveform interference) โดยทำการศึกษาที่เวลาหน่วงตั้งแต่ 8 ,10 ,12 ,15 ,18 และ 25 มิลลิวินาที ทดลองที่พื้นที่ดินแดงสัญญา 6 บ่อ SE ซึ่งบางพื้นที่ทำการทดลองนั้นมีดินเหนียวสีเทาแทรกอยู่ และตรวจวัดแรงสั่นสะเทือนที่ระยะ 500 เมตร วัดด้านหลังหรือด้านข้างของหน้างาน โดยใช้เครื่องวัดแรงสั่นสะเทือนรุ่น Blast Mate Series III ผลการทดลองตามตารางที่ 3.6 พบว่าแรงสั่นสะเทือนเฉลี่ยของเวลาหน่วง 8 ,10 ,12 ,15 ,18 และ 25 มิลลิวินาที มีค่าเท่ากับ 7.93 มิลลิเมตร/วินาที 2.61 มิลลิเมตร/วินาที 2.34 มิลลิเมตร/วินาที 1.43 มิลลิเมตร/วินาที 1.99 มิลลิเมตร/วินาที และ 2.39 มิลลิเมตร/วินาทีตามลำดับ

เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการระเบิดแบบปกติแรงสั่นสะเทือนเฉลี่ยที่ระยะ 500 เมตรเท่ากับ 4.48 มิลลิเมตร/วินาที พบว่าการหน่วงเวลาที่ 8 มิลลิวินาทีทำให้แรงสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้นสูง 76.90 % เป็นผลมาจากเวลาหน่วงใกล้เคียงกันมากเกินไปจนอาจทำให้เกิดการระเบิดพร้อมกัน เวลาหน่วงที่ 10 ,12 ,15 ,18 และ 25 มิลลิวินาทีสามารถลดแรงสั่นสะเทือนได้ 41.85 % , 47.69 % , 68.08 % , 55.52 % และ 46.71 % ตามลำดับ

จากรูปที่ 3.16 พบว่าเวลาหน่วงที่ 8-15 มิลลิวินาที แรงสั่นสะเทือนจะเริ่มลดลงและเวลาหน่วงที่ 15-25 มิลลิวินาที แรงสั่นสะเทือนจะเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่เวลาหน่วง 15 มิลลิวินาที สามารถลดแรงสั่นสะเทือนได้สูงสุด สามารถอธิบายได้ว่า การลดลงของแรงสั่นสะเทือนเป็นผลมาจากการแทรกสอดแบบหักล้างกันของคลื่น ส่วนแรงสั่นสะเทือนที่เพิ่มขึ้นนั้นเป็นผลมาจากการแทรกสอดแบบเสริมกัน ดังนั้นที่เวลาหน่วง 15 มิลลิวินาทีทำให้เกิดการหักล้างกันของคลื่นมากที่สุด



รูปที่ 3.16 กราฟแสดงการลดลงของแรงสั่นสะเทือนแต่ละเวลาหน่วง

ตารางที่ 3.6 ผลการวัดแรงสั่นสะเทือนจากการระเบิดโดยใช้หลักการการสลายพลังงาน (Waveform interference blasting) โดยทำการวัดที่ระยะ 500 เมตร

ก. การระเบิดโดยใช้หลักการการสลายกันของพลังงาน: เวลาหน่วงที่ 8 มิลลิวินาที

วันที่ทำการทดลอง	ระยะทาง (เมตร)	ppv		Air blast		หมายเหตุ
		mm/s	Hz	dB(L)	Hz	
4/7/2557	500	7.29	6.9	133.7	N/A	Red bed/Gray bed
4/7/2557	500	7.32	7	44	64	Red bed/Gray bed
4/7/2557	500	8.52	7.5	134.6	N/A	Red bed/Gray bed
4/7/2557	500	8.57	7.6	42	64	Red bed/Gray bed
	ค่าเฉลี่ยที่ระยะ 500 เมตร	7.93		88.58		

ข. การระเบิดโดยใช้หลักการการสลายกันของพลังงาน: เวลาหน่วงที่ 10 มิลลิวินาที

วันที่ทำการทดลอง	ระยะทาง (เมตร)	ppv		Air blast		หมายเหตุ
		mm/s	Hz	dB(L)	Hz	
9/10/2557	500	2.35	8.8	107	6.8	Red bed
9/10/2557	500	1.68	6.7	108.8	11	Red bed
26/11/2557	500	3.17	43	108	8.5	Red bed/Gray bed
26/11/2557	500	3.22	39	108	9.1	Red bed/Gray bed
	ค่าเฉลี่ยที่ระยะ 500 เมตร	2.61		107.95		

ค. การระเบิดโดยใช้หลักการการสลายกันของพลังงาน: เวลาหน่วงที่ 12 มิลลิวินาที

วันที่ทำการทดลอง	ระยะทาง (เมตร)	ppv		Air blast		หมายเหตุ
		mm/s	Hz	dB(L)	Hz	
14/1/2558	500	1.84	34	106.5	8.4	Red bed/Gray bed
19/1/2558	500	2.19	6.1	110.6	6.9	Red bed/Gray bed
27/1/2558	500	3.00	7.9	110.6	10	Red bed
	ค่าเฉลี่ยที่ระยะ 500 เมตร	2.34		109.23		

ง. การระเบิดโดยใช้หลักการการสลายกันของพลังงาน: เวลาหน่วงที่ 15 มิลลิวินาที

วันที่ทำการทดลอง	ระยะทาง (เมตร)	ppv		Air blast		หมายเหตุ
		mm/s	Hz	dB(L)	Hz	
10/10/2557	500	1.97	10	103.5	8	Red bed
10/10/2557	500	0.89	8.8	105.5	4.2	Red bed
	ค่าเฉลี่ยที่ระยะ 500 เมตร	1.43		104.5		

จ. การระเบิดโดยใช้หลักการการสลายกันของพลังงาน: เวลาหน่วงที่ 18 มิลลิวินาที

วันที่ทำการทดลอง	ระยะทาง (เมตร)	ppv		Air blast		หมายเหตุ
		mm/s	Hz	dB(L)	Hz	
3/11/2557	500	1.79	11	106	11	Red bed/Gray bed
6/11/2557	500	2.21	10	106	5.2	Red bed/Gray bed
21/11/2557	500	1.95	8.8	105.5	5.2	Red bed/Gray bed
21/11/2557	500	2.02	27	106	11	Red bed/Gray bed
	ค่าเฉลี่ยที่ระยะ 500 เมตร	1.99		105.9		

ฉ. การระเบิดโดยใช้หลักการการสลายกันของพลังงาน: เวลาหน่วงที่ 25 มิลลิวินาที

วันที่ทำการทดลอง	ระยะทาง(เมตร)	ppv		Air blast		หมายเหตุ
		mm/s	Hz	dB(L)	Hz	
4/11/2557	500	3.14	11	104	10	Red bed/Gray bed
6/11/2557	500	1.9	51	115	5.7	Red bed
20/11/2557	500	2.08	7.2	108	14	Red bed/Gray bed
20/11/2557	500	2.43	11	105	8.8	Red bed
	ค่าเฉลี่ยที่ระยะ 500 เมตร	2.39		108		

3.5.2 ผลการแตกของดิน

จากรูปที่ 3.17-3.21 จะเห็นว่าเมื่อมองจากด้านบนของพื้นที่สภาพการแตกของดิน เมื่อถ่วงจังหวะที่ 10 มิลลิวินาทีและ 15 มิลลิวินาที ค่อนข้างแตกพอใช้ได้ แต่ไม่ค่อยดีนัก และเมื่อถ่วงจังหวะที่สูงขึ้นนั้นพบว่าสภาพการแตกของดินไม่ดีแตกเป็นแผ่นใหญ่ ในขณะที่เมื่อมองภาพถ่ายด้านหน้าที่เห็นภาพในแนวตั้งได้ จะพบว่าที่การถ่วงจังหวะ 10 มิลลิวินาทีดินแตกเป็นก้อนค่อนข้างโต (รูปที่ 3.17) และที่ 15 มิลลิวินาที ดินจะแตกได้ก้อนเล็กกว่าที่ 10 มิลลิวินาที โดยที่การถ่วงจังหวะที่ 18 มิลลิวินาทีและ 25 มิลลิวินาที ดินจะแตกเป็นก้อนโต แต่มีบางส่วนที่แตกเป็นก้อนเล็กด้วย



รูปที่ 3.17 ผลการระเบิดโดยใช้หลักการ Waveform interference ถ่วงจังหวะที่ 10 มิลลิวินาที



รูปที่ 3.18 ผลการระเบิดโดยใช้หลักการ Waveform interference ถ่วงจังหวะที่ 15 มิลลิวินาที



รูปที่ 3.19 ผลการระเบิดโดยใช้หลักการ Waveform interference ถ่วงจังหวะที่ 18 มิลลิวินาที



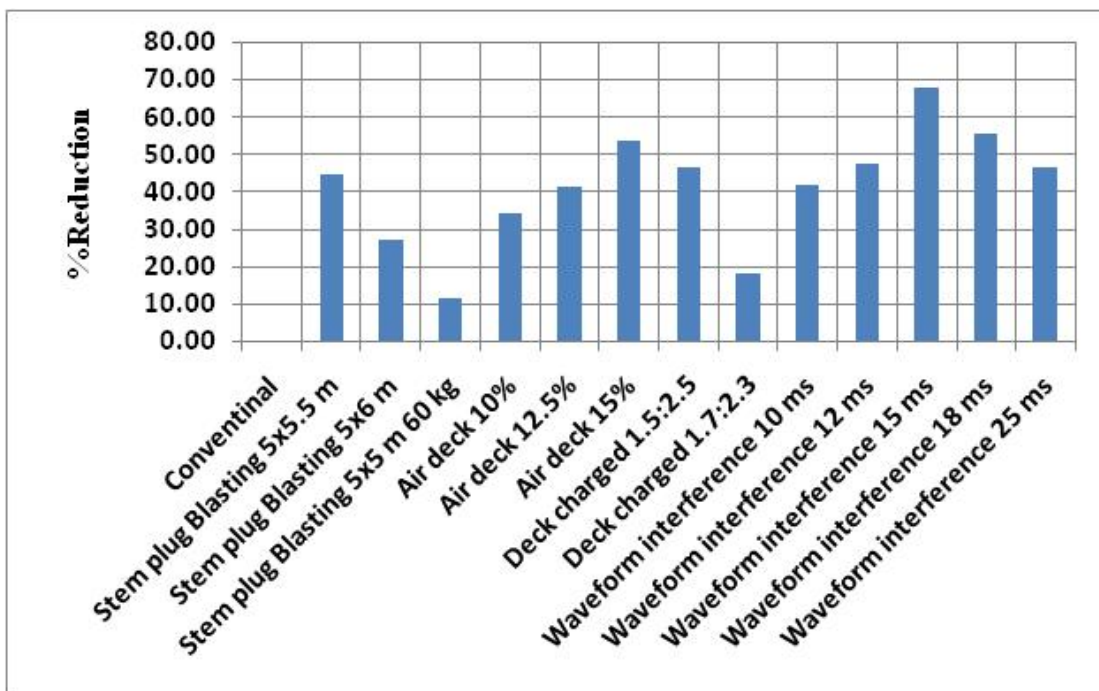
รูปที่ 3.20 ผลการระเบิดโดยใช้หลักการ Wave form interference ถ่วงจังหวะที่ 25 มิลลิวินาที

บทที่ 4

สรุปผลการศึกษา

4.1 สรุปผล

จากการศึกษาการพัฒนาเทคนิคการระเบิดเพื่อลดแรงสั่นสะเทือนจากการระเบิดที่เหมืองแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง โดยเปรียบเทียบผลการวัดแรงสั่นสะเทือนและผลการแตกของดินกับการระเบิดแบบที่เหมืองแม่เมาะ ใช้อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งวัดแรงสั่นสะเทือนที่ระยะ 300 เมตรและ 500 เมตร และสามารถสรุปการลดลงแรงสั่นสะเทือนที่ระยะ 500 เมตร ได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แผนภูมิแสดงการลดลงของแรงสั่นสะเทือนทุกเทคนิคที่ระยะ 500 เมตร

การระเบิดโดยใช้กรวยอุดระเบิดประกอบไปด้วย การระเบิดแบบธรรมดาแบบลด Explosive factor และแบบเพิ่ม Explosive factor สามารถสรุปการลดลงของแรงสั่นสะเทือนได้ดังตารางที่ 4.1 พบว่าการระเบิดโดยใช้รูปแบบการระเบิดแบบธรรมดาสามารถลดแรงสั่นสะเทือนได้สูงสุด 44.78% และให้การกระจายขนาดของดินที่ดี ขนาดของดินที่ระเบิดออกมามีขนาดสม่ำเสมอ และไม่มีก้อนโต

ตารางที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์ของการลดลงของแรงสั่นสะเทือนที่ระยะ 300 เมตรและ 500 เมตร ของการระเบิดโดยใช้กรวยอุดระเบิด

ประเภทของการระเบิด	PPV (mm/s) ที่ระยะ 300 เมตร	เปอร์เซ็นต์ของการลดลง	PPV (mm/s) ที่ระยะ 500 เมตร	เปอร์เซ็นต์ของการลดลง
การระเบิดแบบที่เหมืองแม่เมาะใช้	7.78		4.48	
การระเบิดโดยใช้กรวยอุดระเบิดแบบธรรมดา	6.12	21.38	2.47	44.78
การระเบิดโดยใช้กรวยอุดระเบิดแบบลด Explosive factor	6.69	14.01	3.265	27.12
การระเบิดโดยใช้กรวยอุดระเบิดแบบเพิ่ม Explosive factor	11.30	-45.29	3.97	11.31

การระเบิดโดยใช้เทคนิคการเว้นช่องว่างอากาศภายในรูเจาะ ประกอบด้วยการใช้ช่องว่าง 10% 12.5% และ 15% ของความสูงของหน้างาน สรุปการลดลงของแรงสั่นสะเทือนได้ดังตารางที่ 4.2 พบว่า การระเบิดโดยใช้ช่องว่างอากาศภายในรูเจาะที่ 15% สามารถลดแรงสั่นสะเทือนได้สูงสุด 53.79% แต่ดินที่ได้จะมีขนาดใหญ่กว่าการระเบิดแบบที่เหมืองแม่เมาะใช้
อยู่ในปัจจุบัน

ตารางที่ 4.2 เปอร์เซ็นต์ของการลดลงของแรงสั่นสะเทือนที่ระยะ 300 เมตรและ 500 เมตร ของการระเบิดโยการใช้เทคนิคการเว้นช่องว่างอากาศภายในรูเจาะ

ประเภทของการระเบิด	PPV (mm/s) ที่ระยะ 300 เมตร	เปอร์เซ็นต์ของการลดลง	PPV (mm/s) ที่ระยะ 500 เมตร	เปอร์เซ็นต์ของการลดลง
การระเบิดแบบที่เหมือนแม่เกาะใช้	7.78		4.48	
การระเบิดโดยการใช้ช่องว่างอากาศภายในรูเจาะ 10%	6.17	20.73	2.94	34.42
การระเบิดโดยการใช้ช่องว่างอากาศภายในรูเจาะ 12.5%	3.88	50.13	2.87	35.89
การระเบิดโดยการใช้ช่องว่างอากาศภายในรูเจาะ 15%	5.09	34.62	2.07	53.79

การระเบิดโดยการใช้เทคนิคการแบ่งอัดวัตถุระเบิดออกเป็นช่วงสลับกับดินแบบ 1.5 เมตร : 2.5 เมตร และแบบ 1.7 เมตร : 2.3 เมตร สามารถสรุปการลดลงของแรงสั่นสะเทือนได้ดังตารางที่ 4.3 โดยการใช้วัตถุระเบิดสลับเป็นช่วงกับดินแบบ 1.5 เมตร : 2.5 เมตร สามารถลดแรงสั่นสะเทือนได้สูง 46.65% ดินที่ได้มีขนาดใกล้เคียงกัน แต่การระเบิดโดยการใช้เทคนิคแบ่งอัดวัตถุระเบิดออกเป็นช่วงสลับกับดินจะทำให้เกิดการพุ่งขึ้นด้านบนดังรูปที่ 4.2 เกิดหินปลิวซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายขึ้นได้

ตารางที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์ของการลดลงของแรงสั่นสะเทือนที่ระยะ 300 เมตรและ 500 เมตร ของการระเบิดโดยการใช้เทคนิคการแบ่งวัตถุระเบิดออกเป็นช่วง

ประเภทของการระเบิด	PPV (mm/s) ที่ระยะ 300 เมตร	เปอร์เซ็นต์ของการลดลง	PPV (mm/s) ที่ระยะ 500 เมตร	เปอร์เซ็นต์ของการลดลง
การระเบิดแบบที่เหมือนแม่เกาะใช้	7.78		4.48	
Deck charged blasting 1.5 : 2.5	5.85	24.80	2.39	46.65
Deck charged blasting 1.7 : 2.3	4.55	41.51	3.07	31.47



รูปที่ 4.2 การพุ่งขึ้นด้านบนของดินของการระเบิดโดยการแบ่งวัตถุระเบิดออกเป็นช่วง

และการระเบิดโดยการประยุกต์ใช้หลักการการสลายกันของพลังงาน โดยใช้เวลานั่งนี้ 8 10 12 15 18 และ 25 มิลลิวินาที จุระเบิดโดยใช้เครื่องจุระเบิดแบบช่วงเวลาได้ (sequential blasting machine) สามารถสรุปแรงสั่นสะเทือนได้ดังตารางที่ 4.4 พบว่าการนั่งเวลาที่ 15 มิลลิวินาทีสามารถลดแรงสั่นสะเทือนได้สูงสุด ซึ่งจังหวะที่คลื่นเกิดการหักล้างกันมากที่สุด ตารางที่ 4.4 เปอร์เซ็นต์ของการลดลงของแรงสั่นสะเทือนของแต่ละเวลาหน้าง

จังหวะถ่วง (มิลลิวินาที)	แรงสั่นสะเทือนเฉลี่ยที่ระยะ 500 เมตร	เปอร์เซ็นต์ของการลดลง
การระเบิดแบบที่เหมืองแม่เมาะ ใช้	4.48	
8	7.93	-76.90
10	2.61	41.85
12	2.34	47.69
15	1.43	68.08
18	1.99	55.52
25	2.39	46.71

หมายเหตุ ค่าที่เป็นลบ หมายความว่า แรงสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้น

4.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

4.2.1 การพัฒนาเทคนิคการระเบิดเพื่อลดแรงสั่นสะเทือนต่ำ มีปัญหาเรื่องพื้นที่ที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งมีพื้นที่ที่มีไม่เพียงพอในการระเบิด ส่งผลให้การศึกษาล่าช้า และในการศึกษาครั้งนี้เป็นการระเบิดในพื้นที่ที่เป็นดินแดง ดังนั้นจึงมีข้อจำกัดในฤดูฝนที่ไม่สามารถปฏิบัติงานได้เนื่องจากดินแดงลื่น อาจทำให้เกิดอันตรายแก่ผู้ปฏิบัติงานได้

4.2.2 ความยากง่ายของการปฏิบัติงานของแต่ละเทคนิค

4.2.1 การระเบิดโดยการใช้ช่องว่างอากาศภายในรูจั้น จะมีความยุ่งยากในการเตรียมอุปกรณ์ในการทำเป็นช่องว่าง หรือหากเปลี่ยนมาใช้ลูกบอลก็จะมีปัญหาในเรื่องของการที่ลูกบอลไม่สามารถรับน้ำหนักดินและลื่นลงจากระยะที่คำนวณ หรือลูกบอลอาจเกิดแตกได้ และเมื่อระเบิดแล้วดินที่ได้มีก้อนโตมาก ซึ่งจะส่งผลต่อการขุดตัดได้

4.2.2 การระเบิดโดยการแบ่งวัตถุระเบิดออกเป็นช่วง ปัญหาที่เกิดขึ้นคือการวัดระยะของดินที่อัดหลังจากบรรจุวัตถุระเบิดนั้น ส่งผลให้การทำงานล่าช้า เพราะต้องมีความแม่นยำ และเนื่องจากในการระเบิดมีการแบ่งวัตถุระเบิดออกเป็น 2 ช่วงทำให้ต้องใช้เก็บ 2 อันในการระเบิดต่อ 1 รูเจาะ ส่งผลให้ต้นทุนการระเบิดเพิ่มขึ้น และดินที่ได้ก็มีขนาดก้อนโต แตกไม่สม่ำเสมอ

4.2.3 การระเบิดโดยการใช้หลักการการสลายกันของพลังงาน ปัญหาที่เกิดขึ้น คือ ความเบี่ยงเบนของเก็บไฟฟ้า ที่อาจทำให้เกิดการระเบิดที่ทับกัน ส่งผลให้แรงสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้น

4.2.4 การระเบิดโดยการใช้กรวยอุดระเบิด ใช้งานง่าย เนื่องจากมีรูปแบบการระเบิดเหมือนกับการระเบิดแบบที่เหมืองแม่เมาะใช้ เพียงแต่ใส่กรวยอุดระเบิดเพิ่มเข้าไปภายในรูเจาะ ถึงแม้ต้นทุนการระเบิดจะสูงขึ้น แต่แรงสั่นสะเทือนลดลง การแตกของดินดี ไม่มีก้อนโต และสามารถเพิ่มอัตราการโม่ของเครื่องโม่ และลดเวลาการทำงานของรถตัดลงได้ ซึ่ง Lheewijit และคณะ (2012) ได้ทำการศึกษาไว้ที่เหมืองหิน บริษัทผาทอง อ.ทุ่งสง จ. นครศรีธรรมราช

บรรณานุกรม

1. ฉดับ ปัทมสุด. วัตถุระเบิด.
2. จีราพันธ์ ละคร. การลดความสั่นสะเทือนของพื้นจากการระเบิดที่เหมืองแม่เมาะ. 2545
3. กฤษณ์ สารทวงษ์, พิษณุ บุญนวลและ วิษณุ ราชเพ็ชร. 2554. “การพัฒนาเทคนิคการระเบิดเปลือกดินที่ไม่มีหน้าอิสระ”. ในการประชุมวิชาการด้านเหมืองแร่โลหการและปิโตรเลียม ครั้งที่ 9, เรื่องการสำรวจและการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรณีเพื่อสิ่งแวดล้อมที่ดี. จัดโดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วันที่ 13-14 มกราคม 2554 ณ โรงแรมมณเฑียร ริเวอร์ไซด์ กรุงเทพมหานคร.
4. Park, D. and Jeon, S. 2010. Reduction of blast-induced vibration in the direction of tunneling using an air-deck at the bottom of a blasthole. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 47.752–761
5. Ak, H. and Konuk, A. 2008. The effect of discontinuity frequency on ground vibrations produced from bench blasting: A case study. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 28.686–694
6. Shi, X.Z. and Chen, Sh.R. 2011. Delay time optimization in blasting operations for mitigating the vibration-effects on final pit walls’ stability. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 31.1154–1158
7. Uysal, O.; Erarslan, K.; Akif Cebi, M. and Akcakoca, H. 2008. Effect of barrier holes on blast induced vibration. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 45.712–719
8. Lheewijit, W.; Bunnaul, P. and Rachpech, V. 2012. “A Comparison Study on Conventional Blasting and Stem Plug Blasting Technique” The 10th International Conference on Mining, Materials and Petroleum Engineering The 6th International Conference on Earth Resources Technology, Organized by Prince of Songkla University, Hat Yai, Thailand on 9-11 May 2012.
9. Bunnaul, P. and Naewbunthud, S. 2012. “A Study on Air-deck Blasting Applied for Limestone Quarries” The 10th International Conference on Mining, Materials and Petroleum Engineering The 6th International Conference on Earth Resources Technology, Organized by Prince of Songkla University, Hat Yai, Thailand on 9-11 May 2012.
10. Bunnaul, P.; Walthongtanawat, T.; Rachpech, V. and Katekaew, C. 2011. “Local ground parameters of blasting vibration models in the SE Pit-Hang direction at Mae Moh lignite mine.”

5th IWCERT International Workshop And Conference On Earth Resources Technology,
Organized by the University of Science Malaysia at Heritage Hotel, Ipoh, Perak. Malaysia on 10-
12 May 2011. (pp 115-118)

ภาคผนวก

รูป ก
ภาพวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการระเบิด



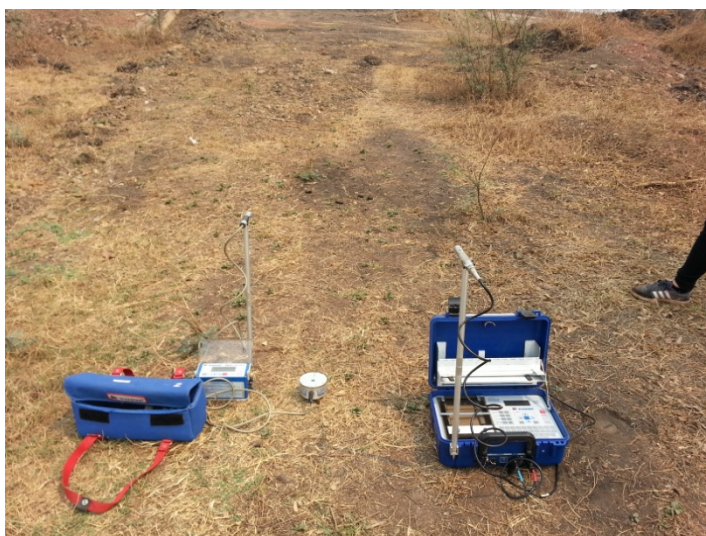
รูปที่ ก-1 รถเจาะสำหรับใช้ในการทดลอง REED SK 40



รูปที่ ก-2 เครื่องชั่งน้ำหนักสำหรับชั่ง ANFO



รูปที่ ก-3 แก๊ปชนิดไม่ใช่ไฟฟ้า NONEL



รูปที่ ก-4 อุปกรณ์วัดแรงสั่นสะเทือน Blast mate series III และ Mini mate plus



รูปที่ ก-5 แก๊ปไฟฟ้า

รูปที่ ข

ภาพการระเบิดแบบปกติที่เหมืองแม่เมาะใช้ในปัจจุบัน



รูปที่ ข-1 ผลการระเบิดวันที่ 12 เดือนธันวาคม พ.ศ.2556



รูปที่ ข-2 ผลการระเบิดวันที่ 16 เดือนธันวาคม พ.ศ.2556



รูปที่ ข-3 ผลการระเบิดวันที่ 19 เดือนกรกฎาคม พ.ศ.2556

รูปที่ ค

ภาพการระเบิดโดยการใช้กรวยอุดระเบิดภายในรูเจาะ



รูปที่ ค-1 ผลการระเบิดวันที่ 12 เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2556 แบบธรรมดา



รูปที่ ค-2 ผลการระเบิดวันที่ 18 เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2556 แบบขยายระยะห่างระหว่าง
รูเจาะ



รูปที่ ค-3 ผลการระเบิดวันที่ 19 เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2556 แบบขยายระยะห่างระหว่าง
รูเจาะ



รูปที่ ค-4 ผลการระเบิดวันที่ 28 เดือนมกราคม พ.ศ.2557 แบบเพิ่มปริมาณวัตถุระเบิด



รูปที่ ค-5 ผลการระเบิดวันที่ 29 เดือนมกราคม พ.ศ.2557 แบบเพิ่มปริมาณวัสดุระเบิด



รูปที่ ค-6 ผลการระเบิดวันที่ 30 เดือนมกราคม พ.ศ.2557 แบบเพิ่มปริมาณวัสดุระเบิด

รูปที่ ๑

ภาพการระเบิดโดยใช้เทคนิคการเว้นช่องว่างอากาศภายในรูเจาะ



รูปที่ ง-1 ผลการระเบิดวันที่ 20 เดือนธันวาคม พ.ศ.2556 air deck 10%



รูปที่ ง-2 ผลการระเบิดวันที่ 26 เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2557 air deck 10%



รูปที่ ง-3 ผลการระเบิดวันที่ 28 เดือนมีนาคม พ.ศ.2556 air deck 10%



รูปที่ ง-4 ผลการระเบิดวันที่ 24 เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2557 air deck 12.5%



รูปที่ ง-5 ผลการระเบิดวันที่ 24 เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2557 air deck 12.5%



รูปที่ ง-6 ผลการระเบิดวันที่ 22 เดือนเมษายน พ.ศ.2557 air deck 12.5%



รูปที่ ง-7 ผลการระเบิดวันที่ 20 เดือนธันวาคม พ.ศ.2556 air deck 15%



รูปที่ ง-8 ผลการระเบิดวันที่ 24 เดือนมีนาคม พ.ศ.2557 air deck 15%



รูปที่ ง-9 ผลการระเบิดวันที่ 2 เดือนเมษายน พ.ศ.2557 air deck 15%

รูปที่ จ

ภาพการระเบิดโดยการใช้เทคนิคการแบ่งอัดวัตถุระเบิดออกเป็นช่วง



รูปที่ จ-1 ผลการระเบิดวันที่ 16 เดือนสิงหาคม พ.ศ.2556 แบบ 1.5 เมตร : 2.5 เมตร



รูปที่ จ-2 ผลการระเบิดวันที่ 19 เดือนสิงหาคม พ.ศ.2556 แบบ 1.5 เมตร : 2.5 เมตร



รูปที่ จ-3 ผลการระเบิดวันที่ 3 เดือนธันวาคม พ.ศ.2556 แบบ 1.7 เมตร : 2.3 เมตร



รูปที่ จ-4 ผลการระเบิดวันที่ 11 เดือนธันวาคม พ.ศ.2556 แบบ 1.7 เมตร : 2.3 เมตร



รูปที่ จ-5 ผลการระเบิดวันที่ 12 เดือนธันวาคม พ.ศ.2556 แบบ 1.7 เมตร : 2.3 เมตร

รูปที่ จ

ภาพการระเบิดโดยการประยุกต์ใช้หลักการการสลายกันของพลังงาน



รูปที่ ฉ-1 ผลการระเบิดวันที่ 4 เดือนกรกฎาคม พ.ศ.2557 ที่ 8 มิลลิวินาที



รูปที่ ฉ-2 ผลการระเบิดวันที่ 14 เดือนมกราคม พ.ศ.2557 ที่ 12 มิลลิวินาที



รูปที่ ฉ-3 ผลการระเบิดวันที่ 19 เดือนมกราคม พ.ศ.2557 ที่ 12 มิลลิวินาที



รูปที่ ฉ-4 ผลการระเบิดวันที่ 27 เดือนมกราคม พ.ศ.2557 ที่ 12 มิลลิวินาที



รูปที่ ฅ-5 ผลการระเบิดวันที่ 10 เดือนตุลาคม พ.ศ.2557 ที่ 15 มิลลิวินาที



รูปที่ ฅ-6 ผลการระเบิดวันที่ 6 เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557 ที่ 18 มิลลิวินาที



รูปที่ ฉ-7 ผลการระเบิดวันที่ 21 เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557 ที่ 18 มิลลิวินาที



รูปที่ ฉ-8 ผลการระเบิดวันที่ 4 เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557 ที่ 25 มิลลิวินาที



รูปที่ ฉ-9 ผลการระเบิดวันที่ 10 เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2557 ที่ 25 มิลลิวินาที