# การวางแผนทั้งระบบในการเปิดหน้างานขุดเจาะโดยใช้วัตถุระเบิด


โดย

ดร. สง่า ตั้งชวาล



โครงการวิจัยเลขที่ 57G-MN-2543

ทุนงบประมาณแผ่นดิน

ปี 2543



สถาบันวิจัยและพัฒนาคณะวิศวกรรมศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรุงเทพฯ



พฤศจิกายน 2543

สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์ไม่รับผิดชอบต่อผลเสียใด ๆ อันอาจเกิดจากการนำความคิดเห็นในเอกสารฉบับนี้ไปใช้ ความคิดเห็นที่ปรากฏในเอกสารเป็นความคิดเห็นของผู้เขียนซึ่งไม่จำเป็นต้องเป็นความคิดเห็นของสถาบัน ฯ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# รายงานฉบับสมบูรณ์
# โครงการ เรื่อง "การวางแผนทั้งระบบในการเปิดหน้างานขุดเจาะโดยใช้วัตถุระเบิด"

# FINAL REPORT
# "MINE PLANNING SYSTEM FOR THE SITE EXCAVATION USING EXPLOSIVES"

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำนักบรรณสารสนเทศ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
มอบให้หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
8 มกราคม 2544

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# รายงานฉบับสมบูรณ์

# การวางแผนทั้งระบบในการเปิดหน้างานขุดเจาะโดยใช้วัตถุระเบิด

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# FINAL REPORT

# MINE PLANNING SYSTEM FOR THE SITE EXCAVATION USING EXPLOSIVES

โดย
รองศาสตราจารย์ ดร. สง่า ตั้งชวาล
วุฒิ Ph. D. (Mining Engineering)
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โครงการวิจัยเลขที่ 57 G – MN – 2543
ทุนส่งเสริมการวิจัยด้วยงบประมาณแผ่นดิน

สถาบันวิจัยและพัฒนาคณะวิศวกรรมศาสตร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
กรุงเทพมหานคร

พฤศจิกายน 2543

- 8 ส.ค. 2544
IA95CA627

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

624.152
ศ152ก

ชื่อโครงการ การวางแผนทั้งระบบในการเปิดหน้างานขุดเจาะโดยใช้วัตถุระเบิด

ชื่อผู้ดำเนินงาน รองศาสตราจารย์ ดร. สง่า ตั้งชวาล

เดือนและปี พฤศจิกายน 2543

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทคัดย่อ

การวางแผนใช้วัตถุระเบิดในงานขุดเจาะของแหล่งก่อสร้างได้มีการทบทวน จากนั้นนำข้อเด่นของผลลัพธ์ที่ได้มาประยุกต์กับงานภาคสนามของประเทศไทย ปัจจัยหลักของการวางแผนทั้งระบบ มี 3 ส่วนหลัก ได้แก่ ความปลอดภัยในการทำงาน การป้องกันเชิงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เศรษฐศาสตร์ของการขุดเจาะเชิงค่าใช้จ่ายของการปฏิบัติการ ข้อมูลดิบที่ใช้ในการวิเคราะห์ เป็นการศึกษาตรวจวัดค่าตัวแปรกับองค์ประกอบต่าง ๆ ในภาคสนามทั้งที่เป็นส่วนของโครงการนี้ กับเป็นส่วนการศึกษาที่ทีมงานวิจัยได้ทำการศึกษามาก่อนและเป็นข้อมูลที่มีความเกี่ยวข้องกับโครงการนี้ สารสนเทศต่าง ๆ ทั้งของในประเทศและต่างประเทศ ถูกรวบรวมมาเปรียบเทียบค้นหาค่าเหมาะที่สุดของงานขุดเจาะโดยใช้วัตถุระเบิด กรณีศึกษาที่ระบุไว้ในส่วนวิเคราะห์ผลโครงการนี้ ไม่ได้เน้นประเมินผลที่เหมืองเปิดเหมืองใดเหมืองหนึ่ง แต่ประเมินผลตามขนาดของการปฏิบัติการขุดเจาะ แบบแผนและวิธีการแก้ไขป้องกันได้มีการจำแนกแต่ละประเด็นหลัก สำหรับเรื่องความปลอดภัย ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และต้นทุนส่วนเพิ่มของการปฏิบัติการ จุดมุ่งหมายหวังว่าจะใช้เป็นต้นแบบของการเปิดหน้างานขุดเจาะโดยใช้วัตถุระเบิด

คำหลัก การวางแผน วัตถุระเบิด ความปลอดภัย ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เศรษฐศาสตร์ของการใช้วัตถุระเบิด ค่าเหมาะที่สุด

Project Title: Mine Planning System for the Site Excavation Using Explosives
Name of Investigator: Associate Professor Dr. Sanga Tangchawal
Month and Year: November 2000

# ABSTRACT

Site excavation planning using explosives were reviewed. Further, the distinguished results were applied for field works in Thailand. Important factors for system planning are divided into 3 main groups; these are, safety in workings, protection for impacts to environment, economics of excavation due to cost of operation. Data used in the analysis are either belong to this project or belong to associated works that the research team involved. Both sources of information from inside and outside this country are compared and searched for the optimum of excavation using explosives. Case studies in the discussion section do not intend to evaluate for any particular open pit mine, but evaluation based on the size of operation. Pattern and prevention methods are classified for each main category: for safety, impacts to environment, and marginal cost of operation. These expect to be a prototype for the site excavation using explosives.

Key Words: Planning, Explosives, Safety, Impacts to Environment, Economics of Explosives Used, Optimum

# คำนำ

รายงานฉบับสมบูรณ์นี้ เป็นงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาที่ต่อเนื่องมาจากงานวิจัยโครงการอื่นที่เกี่ยวเนื่องกับการออกแบบหน้าระเบิดและการควบคุมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื้อหาหลักของรายงานฉบับสมบูรณ์โครงการนี้ เป็นการนำเสนอสาระสำคัญของปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการเปิดหน้างานขุดเจาะโดยใช้วัตถุระเบิด ผู้วิจัยได้แยกการจัดระบบออกเป็นหลายขั้นตอน เริ่มตั้งแต่แบบแผนของการจัดการทั่วไป ระบบเชิงความปลอดภัย ระบบเชิงป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และระบบเชิงเศรษฐศาสตร์ของการใช้วัตถุระเบิด เพื่อให้สามารถนำผลงานวิจัยใช้ได้กับงานภาคสนาม กรณีศึกษาในหลายหน้างานขุดเจาะ ที่มีพื้นที่ครอบคลุมอยู่หลายจังหวัดภายในประเทศ ถูกนำมาวิเคราะห์ผล เพื่อแยกเป็นต้นแบบของการจัดการตามขนาดของเหมืองเปิด

ในการจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์นี้ มีการยกตัวอย่าง และแสดงค่าตัวเลขผลลัพธ์ที่ระบุไว้ในตาราง หรือรูปกราฟิก ผู้วิจัยไม่ได้เน้นประเมินผลที่เหมืองเปิดเหมืองใดเหมืองหนึ่งโดยเฉพาะแต่ข้อมูลส่วนใหญ่ได้จากเหมืองหินปูน ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากผลลัพธ์ของหลายเหมืองรวมกัน แต่ผู้อ่านสามารถทดลองนำไปใช้ได้กับสภาพของเหมืองเปิดจริงโดยอิงตามขนาดของการปฏิบัติการว่า เป็นเหมืองหินปูนขนาดใหญ่ หรือขนาดเล็กถึงปานกลาง

ผลสรุปของหลักการที่สำคัญในการวางแผนงานทั้งระบบ เชื่อว่าจะเป็นประโยชน์ในการปฏิบัติงานภาคสนามที่ต้องใช้วัตถุระเบิดเพื่อให้เกิดความมั่นใจในความปลอดภัย มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระดับต่ำ และมีผลกำไรจากการปฏิบัติงาน จุดมุ่งหมายสุดท้าย ก็คือการปฏิบัติงานที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดเนื่องจากมีการวางแผนทั้งระบบที่ดี

รองศาสตราจารย์ ดร. สง่า ตั้งชวาล

พฤศจิกายน 2543

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะกรรมการเงินทุนอุดหนุนการวิจัย ของสถาบันวิจัยและพัฒนา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความสนับสนุนทางด้านเงินทุนวิจัย และยังขอขอบคุณ คณะกรรมการตรวจสอบและประเมินผลงานที่กรุณาให้คำแนะนำที่ดีและเป็นประโยชน์หลายอย่าง และผู้วิจัยได้พยายามแก้ไขใหม่ให้สมบูรณ์ดียิ่งขึ้น

รายงานฉบับนี้เป็นรายงานฉบับสมบูรณ์ การนำเสนอส่วนใหญ่เป็นการสร้างต้นแบบในการวางแผนทั้งระบบ และผลงานจะเสร็จสมบูรณ์ได้ต้องมีทีมงานวิจัย องค์กรและบุคคลที่ให้ความสนับสนุนหลายส่วน

ผู้วิจัยขอขอบคุณต่อบุคคลเหล่านี้ ที่เป็นทั้งผู้ช่วยวิจัย และเป็นวิศวกรเหมืองแร่หรือวิศวกรโยธา ได้แก่

- นายสุบรรณ ผาเจริญ นายชุม รามศิริ นายประสงค์ เสริมศรีสุวรรณ นายณัฐพล พันธุ์โอภาส นายบวรวิทย์ อัครจันทโชติ ผู้ช่วยวิจัยด้านงานการตรวจวัดกับการบันทึกผลข้อมูลดิบภาคสนาม
- นายสุรชัย ลีฬหาเกียรติ นายจิรเดช เกตุปรีชาสวัสดิ์ นาย ปรารภ ผดุงไทย ผู้ช่วยวิจัยด้านการกำหนดเงื่อนไข การคำนวณค่าต่าง ๆ กับการวิเคราะห์ค่าผลลัพธ์เชิงสถิติของความเชื่อถือได้ ตลอดจนเขียนโปรแกรมแบบจำลองเพื่อรับข้อมูลเข้ามาวิเคราะห์และหาผลลัพธ์ของการประมาณค่านั้น

ผู้วิจัยขอขอบคุณอย่างจริงใจ สำหรับเจ้าหน้าที่กับวิศวกรของเหมืองหินหลายเหมืองที่อำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัยภาคสนาม โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับเหมืองหินในหลายพื้นที่ที่ยินยอมให้มีการสัมภาษณ์ ถ่ายรูป และให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการวิจัย ได้แก่

- ในเขตจังหวัดกาญจนบุรี: เหมืองศิลาสมบูรณ์ทรัพย์ ศิลาสินกาญจน์
- ในเขตจังหวัดราชบุรี: เหมืองศรีปฐมอุตสาหกรรม ปฐมศิลาสหมิตร
- ในเขตจังหวัดสระบุรี: เหมืองปูนซีเมนต์เอเชีย ปูนซิเมนต์ไทย (เขาวง และแก่งคอย) ปูนซีเมนต์นครหลวง
- ในเขตจังหวัดนครราชสีมา: เหมืองศิลาสากลพัฒนา

# สารบัญ

## การวางแผนทั้งระบบในการเปิดหน้างานขุดเจาะโดยใช้วัตถุระเบิด


| | | หน้า |
|---|---|---|
| ปกใน | | i |
| บทคัดย่อภาษาไทย | | ii |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | | iii |
| คำนำ | | iv |
| กิตติกรรมประกาศ | | v |
| สารบัญ | | vi |
| รายการตาราง | | xi |
| รายการรูป | | xiii |
| รายการแปลงหน่วย | | xix |
| บทที่ 1 | แนวทางกับขอบเขตของการวิจัย | 1 |
| | 1.1 สาระสำคัญและที่มาของปัญหาที่ต้องทำการวิจัย | 1 |
| | 1.2 ขอบเขตในการดำเนินงานศึกษาวิจัย | 2 |
| บทที่ 2 | การวางแผนทั่วไปของงานขุดเจาะโดยใช้วัตถุระเบิด | 5 |
| | 2.1 การจัดการและการวางแผนงานทั่วไปของการใช้วัตถุระเบิด | 5 |
| | 2.1.1 นโยบายและวิธีการในการจัดการวัตถุระเบิดในงานอุตสาหกรรม | 5 |
| | 2.1.2 หลักการสำคัญของการใช้วัตถุระเบิดสำหรับงานอุตสาหกรรม | 6 |
| | 2.2 แบบแผนของการจัดการระบบในการขุดเจาะโดยใช้วัตถุระเบิด | 7 |
| | 2.2.1 การตรวจสอบสภาพภูมิประเทศและธรณีวิทยาเบื้องต้น | 7 |

| | | หน้า |
|---|---|---|
| | 2.2.2 การศึกษาเสถียรภาพมวลสารในพื้นที่การขุดเจาะ | 14 |
| | 2.3 การออกแบบผังงานของการขุดเจาะทั้งบริเวณ | 24 |
| | 2.4 การจัดระบบเพื่อการใช้วัตถุระเบิดอย่างเหมาะสม | 27 |
| | 2.5 การจัดระบบเพื่อการใช้วัตถุระเบิดโดยคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม | 28 |
| | 2.6 การประเมินผลและการจัดระบบข้อมูล | 29 |
| | 2.7 แนวทางในการบริหารความเสี่ยงของโครงการ | 31 |
| บทที่ 3 | ระบบเชิงความปลอดภัยของการใช้วัตถุระเบิด | 33 |
| | 3.1 ข้อกำหนดเชิงความปลอดภัยในการใช้วัตถุระเบิด | 33 |
| | 3.1.1 ข้อกำหนดของกฎกระทรวงเชิงความปลอดภัยในการใช้วัตถุระเบิด | 33 |
| | 3.1.2 ข้อกำหนดของต่างประเทศเชิงความปลอดภัยของการใช้วัตถุระเบิด | 36 |
| | 3.2 การวางแผนจัดการเชิงความปลอดภัยของระบบการใช้วัตถุระเบิด | 37 |
| | 3.2.1 การวางแผนทั้งระบบสำหรับเปิดหน้างานด้วยวัตถุระเบิด | 37 |
| | 3.2.2 การออกแบบการเจาะหลุมของรูระเบิด | 41 |
| | 3.2.3 การออกแบบหน้างานระเบิด | 47 |
| | 3.2.4 การป้องกันอุบัติเหตุของการใช้วัตถุระเบิด | 54 |
| | 3.2.5 ขั้นตอนหลักเชิงความปลอดภัยในการปฏิบัติงานภาคสนาม | 56 |
| | 3.2.6 การระเบิดเพื่อควบคุมกับการเฝ้าสังเกตการณ์ | 59 |
| บทที่ 4 | ระบบเชิงป้องกันผลกระทบของการใช้วัตถุระเบิด | 66 |
| | 4.1 ข้อกำหนดเชิงผลกระทบในการใช้วัตถุระเบิด | 66 |
| | 4.1.1 มาตรฐานความสั่นสะเทือนจากการทำเหมืองหินในประเทศไทย | 67 |
| | 4.1.2 มาตรฐานความดังเสียงจากการทำเหมืองหินในประเทศไทย | 68 |

หน้า

4.2 ข้อกำหนดเชิงผลกระทบเพิ่มเติมในการใช้วัตถุระเบิด 69
4.2.1 มาตรฐานความสั่นสะเทือนของ OSM ประเทศสหรัฐอเมริกา 69
4.2.2 มาตรฐาน (เพิ่มเติม) ค่าความดังเสียงเกินระดับจากการระเบิด 70
4.2.3 ผลกระทบของหินที่ปลิวกระเด็น 70
4.2.4 ผลกระทบของก๊าซพิษจากสารผสมระเบิด 72
4.2.5 ผลกระทบของฝุ่นจากการระเบิดและขนย้ายหิน (สินแร่) 72
4.3 การจัดการเชิงป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้วัตถุระเบิด 73
4.3.1 การวางแผนป้องกันผลกระทบสำหรับวิธีการเบิดหน้างานด้วยวัตถุระเบิด 73
4.3.2 การจัดการของการเจาะหลุมระเบิด 75
4.3.3 การออกแบบผังระเบิดให้มีผลกระทบน้อยสุด 76
4.3.4 ขั้นตอนหลักในการวางแผนเชิงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการขุดเจาะ 84

บทที่ 5 ระบบเชิงเศรษฐศาสตร์ของการใช้วัตถุระเบิด 89
5.1 ข้อกำหนดเชิงเศรษฐศาสตร์ในการใช้วัตถุระเบิด 89
5.1.1 ค่าใช้จ่ายในการเตรียมการเบื้องต้น 89
5.1.2 ค่าใช้จ่ายในการเจาะหลุมของรูระเบิด 90
5.1.3 ค่าใช้จ่ายในการใช้ระเบิดกับอุปกรณ์เสริม 91
5.2 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในเชิงประสิทธิภาพของงานขุดเจาะ 95
5.2.1 คุณสมบัติหลักของวัตถุระเบิด 95
5.2.2 การประเมินหาจุดเหมาะที่สุดของค่าใช้จ่ายในการพัฒนาเหมืองหิน 96
5.2.3 การประเมินความคุ้มทุนในงานเหมืองแร่ 101
5.3 ปัจจัยเชิงค่าใช้จ่ายในการขนย้ายมวลสารในงานเหมืองแร่กับงานโยธา 103
5.3.1 การเลือกเครื่องจักรกลให้เหมาะสมกับลักษณะกองมวลสาร 103
5.3.2 ค่าการขยายตัวของมวลสารเนื่องจากการโป่งพอง 105

| | | หน้า |
|---|---|---|
| | 5.4 ตลาดกับการซื้อขายหิน | 107 |
| | 5.5 ค่าใช้จ่ายเฉพาะกิจการ | 107 |
| บทที่ 6 | กรณีศึกษาของการขุดเจาะโดยใช้วัตถุระเบิด | 108 |
| | 6.1 เอกสารที่เกี่ยวข้องในการนำเสนอกรณีศึกษาจากการใช้วัตถุระเบิด | 108 |
| | 6.2 การศึกษาภาคสนามด้านประสิทธิภาพของการใช้วัตถุระเบิด | 109 |
| | 6.2.1 การปรับหน้างานระเบิดหินให้เป็นการตัดลาดแบบขั้นบันได | 109 |
| | 6.2.2 การเจาะระเบิดแบบขั้นบันไดกับการปรับปรุงหน้างานระเบิด | 110 |
| | 6.2.3 การเจาะระเบิดเพื่อผลิตสินแร่ ที่สายแร่วางตัวในแนวนอน | 113 |
| | 6.2.4 การเจาะระเบิดเพื่อผลิตสินแร่ ที่สายแร่วางตัวในแนวดิ่ง | 114 |
| | 6.2.5 การเจาะระเบิดหินเพื่อตัดไหล่ทาง | 115 |
| | 6.2.6 การบันทึกผลในภาคสนามเพื่อตรวจวัดประสิทธิภาพของการระเบิดหิน | 119 |
| | 6.2.7 ตารางผลสรุปขนาดการแตกหักกับปริมาณวัตถุระเบิดที่ใช้ | 122 |
| | 6.3 การศึกษาภาคสนามด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการใช้วัตถุระเบิด | 122 |
| | 6.3.1 ผลกระทบทางด้านการสั่นสะเทือนจากการระเบิดหิน | 122 |
| | 6.3.2 การทบทวนผลการวิเคราะห์ของตัวแปรการสั่นสะเทือน | 123 |
| | 6.3.3 ผลกระทบทางด้านความดังเสียงจากการระเบิด | 129 |
| | 6.3.4 การทบทวนผลการวิเคราะห์ระยะทางความปลอดภัยจากความดังเสียง | 131 |
| | 6.3.5 ผลกระทบทางด้านหินปลิวกระเด็นจากการระเบิด | 132 |
| | 6.3.6 การทบทวนผลการวิเคราะห์ระยะทางความปลอดภัยจากหินปลิว | 133 |

| | | หน้า |
|---|---|---|
| | 6.3.7 ผลกระทบทางฝุ่นจากการระเบิดและขนย้ายหิน | 134 |
| | 6.3.8 การทบทวนผลการวิเคราะห์ของฝุ่นในงานเหมืองแร่และเหมืองหิน | 135 |
| | 6.4 การศึกษาภาคสนามด้านค่าใช้จ่ายของการใช้วัตถุระเบิด | 137 |
| | 6.4.1 แนวทางในการเก็บข้อมูลคิบค่าใช้จ่ายในภาคสนาม | 137 |
| | 6.4.2 ตารางผลลัพธ์เชิงค่าใช้จ่ายในการเจาะระเบิดและขนย้ายลำเลียง | 138 |
| | 6.4.3 ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณค่าใช้จ่าย | 145 |
| | 6.4.4 ผลการประเมินเศรษฐศาสตร์เชิงค่าใช้จ่ายของการขุดเจาะ | 146 |
| | 6.4.5 ค่าใช้จ่ายที่เหมาะที่สุดในการเจาะระเบิดและขนย้ายลำเลียง | 147 |
| บทที่ 7 | บทสรุป แนวทางการจัดการของการขุดเจาะโดยใช้วัตถุระเบิด | 153 |
| | 7.1 ระบบการจัดการภายในองค์กรที่มีการใช้วัตถุระเบิด | 153 |
| | 7.2 หลักการวางแผนเชิงความปลอดภัยของการขุดเจาะ | 155 |
| | 7.2.1 การวางแผนเชิงความปลอดภัยในงานเจาะ | 155 |
| | 7.2.2 การวางแผนเชิงความปลอดภัยในงานระเบิด | 156 |
| | 7.2.3 การวางแผนเชิงความปลอดภัยในงานขุดตักขนย้ายหิน | 157 |
| | 7.3 หลักการสำคัญในการวางแผนเชิงผลกระทบของการขุดเจาะ | 158 |
| | 7.3.1 การลดผลกระทบหน้างานระเบิด | 158 |
| | 7.3.2 การลดผลกระทบในการขนส่ง | 159 |
| | 7.4 หลักการในการวางแผนเชิงเศรษฐศาสตร์ | 159 |
| | 7.4.1 ความคุ้มทุนในงานเหมืองแร่ | 159 |
| | 7.4.2 ความคุ้มทุนในการผลิตหินเชิงเหมืองแร่และโยธา | 160 |
| | 7.5 ผลสรุปของหลักการที่สำคัญในการวางแผนทั้งระบบ | 161 |
| บรรณานุกรม | | 162 |

# รายการตาราง


| | | หน้า |
|---|---|---|
| ตารางที่ 2.1 | การหาค่าผลรวมความเหมาะสมแหล่งดอยสะไง้ โดยการใช้ตัวประกอบย่อยทั้ง 3 กลุ่มหลัก ที่ระบุค่าตัวเลขตามเงื่อนไข | 13 |
| ตารางที่ 2.2 | ผลเฉลยของฟังก์ชันการพังทลายในกรณีที่ตัวแปรสุ่มมีการแจกแจงค่าตามรูปแบบของเส้นโค้งต่าง ๆ | 24 |
| ตารางที่ 4.1 | ขีดจำกัดของความเร็วอนุภาคกับค่าการขจัดที่ความถี่ระดับหนึ่ง | 67 |
| ตารางที่ 4.2 | ขีดจำกัดของระดับขั้นความดังเสียงจากการระเบิดและไม่หิน | 68 |
| ตารางที่ 4.3 | มาตรฐานความปลอดภัยของความเร็วอนุภาคที่ช่วงระยะทางต่างกัน | 69 |
| ตารางที่ 4.4 | มาตรฐานความปลอดภัยของการสเกลรากกำลังสองที่ช่วงระยะทางต่างกัน | 70 |
| ตารางที่ 5.1 | การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการเจาะเหมืองหินด้วยเครื่องเจาะ percussion ใช้เครื่องอัดอากาศ | 92 - 93 |
| ตารางที่ 5.2 | การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการใช้ระเบิดและอุปกรณ์เสริมในเหมืองหิน | 94 |
| ตารางที่ 5.3 | การแจกแจงค่าใช้จ่ายในการพัฒนาและดำเนินงานของเหมืองหิน | 96 |
| ตารางที่ 5.4 | ราคาซื้อขายหินในกลุ่มจังหวัด ที่มีการคมนาคมเชื่อมเป็นเครือข่ายเดียวกัน ราคาที่ระบุเป็นค่าเฉลี่ย (บาทต่อตัน) ตามชนิดของหินกับประเภทของหินในการใช้ในงานก่อสร้าง | 106 |
| ตารางที่ 6.1 | ค่าระยะมิติ กับอัตราส่วนของค่าอัตราส่วนกลับมุมความลาดเอียง ใช้กับรูปที่ 6.6 | 117 |
| ตารางที่ 6.2 | ความสัมพันธ์ของปริมาณการใช้วัตถุระเบิด กับขนาดของมวลหินที่แตกหัก สำหรับการระเบิดแบบขั้นบันไดของเหมืองหินขนาดใหญ่ | 121 |
| ตารางที่ 6.3 | ความสัมพันธ์ของปริมาณการใช้วัตถุระเบิด กับขนาดของมวลหินที่แตกหัก สำหรับการระเบิดแบบขั้นบันไดของเหมืองขนาดเล็กถึงปานกลาง | 121 |

| | | หน้า |
|---|---|---|
| ตารางที่ 6.4 | การเปรียบเทียบค่าความเร็วอนุภาคต่ำสุด โดยใช้วิธี Probability เพื่อหาเปอร์เซ็นต์โอกาสความน่าจะเป็น ที่ตำแหน่งอยู่นอกเหนือขอบต่ำความเชื่อมั่น (probability outside low limit) ที่ระดับ 5% | 127 |
| ตารางที่ 6.5 | การเปรียบเทียบ ค่าระยะทางความปลอดภัยที่ประเมินมาจากสองแนวทาง ระหว่างวิธีการหาค่าเฉลี่ยกับความแปรปรวน กับวิธีการหาค่าความน่าจะเป็นที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ | 132 |
| ตารางที่ 6.6 | การเปรียบเทียบ ค่าระยะทางความปลอดภัยที่ประเมินมาจากสองแนวทาง ระหว่างวิธีการหาค่าเฉลี่ยกับความแปรปรวน และการหาค่าความน่าจะเป็น ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ | 134 |
| ตารางที่ 6.7 | ผลการตรวจวัดระดับฝุ่นที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 10 ไมครอน ตรวจวัดโดยศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 2 สระบุรี ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย 24 ชม. หน่วยปริมาณอนุภาคฝุ่นในตารางเป็นไมโครกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร | 136 |
| ตารางที่ 6.8 | ผลการตรวจวัดระดับฝุ่นทุกขนาดอนุภาค ตรวจวัดโดยกรมทรัพยากรธรณี เป็นการตรวจวัดอย่างต่อเนื่อง สถานีตรวจวัดที่บ้านซับชะอม จ. สระบุรี หน่วยปริมาณอนุภาคฝุ่นในตารางเป็น ไมโครกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร | 136 |
| ตารางที่ 6.9 | ค่าใช้จ่ายจริงในการเจาะหลุมระเบิดในเหมืองหินเปิดขนาดใหญ่ | 139 |
| ตารางที่ 6.10 | ค่าใช้จ่ายจริงในระเบิดในเหมืองหินเปิดขนาดใหญ่ | 140 |
| ตารางที่ 6.11 | ค่าใช้จ่ายจริงในการขุดตักลำเลียงในเหมืองหินเปิดขนาดใหญ่ | 141 |
| ตารางที่ 6.12 | ค่าใช้จ่ายจริงในการเจาะหลุมระเบิดในเหมืองหินเปิดขนาดเล็กถึงปานกลาง | 142 |
| ตารางที่ 6.13 | ค่าใช้จ่ายจริงในการระเบิดในเหมืองหินเปิดขนาดใหญ่ | 143 |
| ตารางที่ 6.14 | ค่าใช้จ่ายจริงในการขุดตักลำเลียงในเหมืองหินเปิดขนาดเล็กถึงปานกลาง | 144 |

# รายการรูป


| | | หน้า |
|---|---|---|
| รูปที่ 1.1 | ตัวอย่างหน้างานขุดเจาะที่ใช้วัตถุระเบิด ส่วนใหญ่เป็นเหมืองเปิดหินปูนมีการผลิตหินส่งโรงโม่บดย่อย เพื่อนำมาใช้ในงานก่อสร้างกับทำซีเมนต์ | 3 |
| รูปที่ 2.1 | การระเบิดหินที่ดี กำหนดให้มวลหินที่แตกหักกองรวมกันในสภาพที่ใช้เครื่องจักรกลขนย้ายได้ง่าย กับชิ้นส่วนเหมาะสมที่จะผ่านปากโม่ | 6 |
| รูปที่ 2.2 | แผนที่แสดงที่ตั้งแหล่งหินกับลักษณะลุ่มน้ำในบริเวณของแหล่งดอยสะไง้ จังหวัดเชียงราย ในรูปนี้ดัดแปลงจากแผนที่ภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหาร ระวาง 5049 IV | 10 |
| รูปที่ 2.3 | แผนที่แสดงขอบเขตป่าในบริเวณที่ใกล้กับแหล่งดอยสะไง้ ในรูปนี้ดัดแปลงจากแผนที่ภูมิประเทศเลขที่ระวาง 5049 IV กับเอกสารกรมพัฒนาที่ดิน | 11 |
| รูปที่ 2.4 | สภาพทั่วไปของบริเวณแหล่งหินที่ดอยสะไง้ ถ่ายจากด้านทิศใต้ของแหล่ง | 12 |
| รูปที่ 2.5 | สภาพทั่วไปของบริเวณแหล่งหินที่ดอยสะไง้ ถ่ายจากด้านทิศตะวันออกของแหล่ง | 12 |
| รูปที่ 2.6 | รูปแบบการพังทลายที่เกิดบ่อยในการเปิดหน้าเหมืองแบบขั้นบันไดที่พบบ่อยมี 3 รูปแบบ เกิดได้ทั้งบนตะพักเดี่ยวหรือบนหลายตะพัก | 15 |
| รูปที่ 2.7 | ภาพเสก็ตช์การทำแผนที่ Joint Survey เพื่อหาค่าการวางตัวของระนาบความไม่ต่อเนื่อง ในพื้นที่ที่ตั้งเหมืองเปิด | 17 |
| รูปที่ 2.8 | ภาพถ่ายการตัดตะพักแบบขั้นบันได ในเหมืองเปิดหินปูนของบริษัทปูนซีเมนต์เอเซีย อำเภอพระพุทธบาท สระบุรี | 18 |
| รูปที่ 2.9 | การเลือกวิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงกำหนดของแบบจำลองที่แตกต่างกัน 3 แบบ ได้แก่ แนวทางปกติ แนวทางของ Bishop แนวทางเชิง 3 มิติ (3-D) ทำให้ได้ตัวเลขโอกาสการพังทลายมวลสารแตกต่างกัน | 20 |
| รูปที่ 2.10 | การตรวจวัดความเชื่อถือได้ของระบบทั่วไป | 22 |

| | | หน้า |
|---|---|---|
| รูปที่ 2.11 | รูปแบบของผังหน้างานขุดเจาะของบ่อเหมืองเปิด ในผังนี้เน้นเรื่องเสถียรภาพหน้างาน โดยมีการกำหนดค่ามุมความลาดเอียง หรือค่าสัดส่วนของระยะในแนวดิ่งต่อระยะในแนวราบ ไว้บนผังแต่ละส่วนของบ่อเหมืองเปิด | 25 |
| รูปที่ 2.12 | การออกแบบหน้างานขุดเจาะที่มีความสูงทั้งหมด 120 เมตร ค่ามุมของความลาดเอียงทั้งหมด 45° กำหนดให้มีจำนวนตะพักขั้นบันได 6 ตะพัก เป็นตะพักปกติ 4 ตะพัก ที่เหลือเป็นตะพักใช้งานปัจจุบันกับตะพักทางลาด | 26 |
| รูปที่ 2.13 | การออกวิเคราะห์เบื้องต้นในการหาขนาดหลุมเจาะที่เหมาะสม | 27 |
| รูปที่ 2.14 | การหาพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดความไม่ปลอดภัยเชิงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม | 29 |
| รูปที่ 2.15 | ผังภูมิแสดงขั้นตอนของการทำงานจัดเก็บข้อมูลดิบเป็นระบบเข้าไปในฐานข้อมูล การค้นคืนข้อมูล กับการวนซ้ำแผนการจัดการระบบ | 30 |
| รูปที่ 2.16 | การวางแผนในการจัดการความเสี่ยงสำหรับการวิเคราะห์ระบบ | 32 |
| รูปที่ 3.1 | การเปิดหน้างานขุดเจาะในอุดมคติ สำหรับผลิตสินแร่รูปร่างแบนยาวแบบ tabular ต้องทำการเปิดส่วนที่ไม่ใช่สินแร่ออกในผนังด้านใต้มวลสินแร่ (foot wall) กับมีการป้องกันมวลสารถล่มโดยการตัดขั้นบันไดเป็นคันทางกันไว้ทางผนังด้านบนมวลสินแร่ (hanging wall) | 39 |
| รูปที่ 3.2 | ส่วนขยายรูปร่างของมวลสินแร่ในรูป 3.1 โดยการวัดค่ามุมเอียงเทของตัวสินแร่ กับวัดค่าระดับความสูงแนวดิ่ง | 39 |
| รูปที่ 3.3 | การระเบิดที่มีการวางแผนไว้เหมาะสม แนวการเอียงเทชั้นหินหรือชั้นดินแข็งเป็นไปในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของมวลสารภายหลังการจุดระเบิด | 42 |
| รูปที่ 3.4 | การระเบิดที่วางแผนไว้ไม่ดี แนวการเอียงเทชั้นหินหรือชั้นดินแข็งด้านหรือสวนกับทิศทางการเคลื่อนที่ของมวลสารภายหลังการจุดระเบิด | 42 |
| รูปที่ 3.5 | แนวทางการใช้วิธีรังวัดช่วยในการตั้งมุมและแนวทิศการเจาะ | 45 |
| รูปที่ 3.6 | การใช้ท่อบังคับช่วยในการบรรจุอัดวัตถุระเบิดและป้องกันปากหลุมพัง | 45 |
| รูปที่ 3.7 | การผสมในอัตราส่วนที่เหมาะที่สุด ระหว่างแอมโมเนียมไนเตรตกับน้ำมันดีเซล | 48 |

หน้า


| | | |
|---|---|---|
| รูปที่ 3.8 | ผังภาพ (plan view) ของการออกแบบการระเบิดหลายแบบอย่าง แนวหัวลูกศรเป็นทิศทางการเคลื่อนที่ของมวลหินภายหลังการระเบิด | 52 |
| รูปที่ 3.9 | การเจาะสลอตของหลุมเจาะแบบเป็นแนวเส้นตรง ในรูปแสดงผังภาพของแนวการเจาะหลุมที่ชิดกัน และบริเวณหน้างานขุดเจาะที่มีผิวขรุขระ | 60 |
| รูปที่ 3.11 | แพดเทิร์นของการระเบิดให้แตกในแถว | 63 |
| รูปที่ 3.12 | ภาพถ่ายด้านหลังของบ่อเหมืองเปิด แสดงระนาบรอยแตกแยกที่เป็นผลจากแรงดึง ที่เกิดจากอิทธิพลของความดันคลื่นระเบิดที่สูงเกิน การเฝ้าสังเกตการณ์ผลการเคลื่อนตัวของระนาบ ใช้ก้านเหล็กงัดดึง 2 ฝั่งระนาบ | 64 |
| รูปที่ 4.1 | สมมุติฐานที่ใช้ในการประเมินผล ค่าระยะหินที่ปลิวกระเด็นจากการระเบิด เมื่อมีการระเบิดหินแบบเคร์เตอร์ | 71 |
| รูปที่ 4.2 | สมมุติฐานที่ใช้ในการประเมินผล ค่าระยะหินที่ปลิวกระเด็นจากการระเบิด เมื่อมีการระเบิดหินทำลาดขั้นบันได | 71 |
| รูปที่ 4.3 | ภาพถ่ายมุมกว้างของบ่อเหมืองเปิดที่ผลิตสินแร่ทองคำ ในประเทศออสเตรเลีย มีการตัดความลาดเป็นขั้นบันไดหลายตะพัก และมีทางลาดเชื่อมระหว่างตะพักขั้นบันไดหลายเส้น การปฏิบัติงานอยู่ที่ระดับใกล้ถึงพื้นบ่อเหมือง | 74 |
| รูปที่ 4.4 | ระยะเฉลี่ยที่เหมาะสมความหนาหน้าระเบิดแถวแรก สำหรับเหมืองหินแบบขั้นบันได | 80 |
| รูปที่ 4.5 | ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณวัตถุระเบิดที่ใช้กับคุณสมบัติของหินที่อยู่กับที่ | 82 |
| รูปที่ 4.6 | การหาค่ามุมของผิวขรุขระของระนาบรอยแตกในหิน | 83 |
| รูปที่ 4.7 | เครื่องตรวจวัดการสั่นสะเทือนและเสียงดังระบบดิจิตอล โดยใช้ Transducer และ Microphone แล้วบันทึกผลในกระดาษกราฟ | 85 |
| รูปที่ 5.1 | การประเมินหาขอบเขตที่เหมาะที่สุดสำหรับค่าใช้จ่ายโดยรวมที่พึงสังวรไว้ ในการวางแผนจัดการเพื่อพัฒนาหน้าเหมืองหิน | 97 |
| รูปที่ 5.2 | การหาค่าใช้จ่ายที่เหมาะที่สุดของการเจาะกับการระเบิดหิน | 100 |
| รูปที่ 5.3 | แนวทางการหาผลกำไรจากมูลค่าสินแร่กับค่าใช้จ่ายในการผลิตสินแร่ | 102 |

| | | หน้า |
|---|---|---|
| รูปที่ 5.4 | แนวทางการหาผลกำไรจากระยะเวลาการเปิดเหมืองกับค่าใช้จ่ายอื่น ๆ | 102 |
| รูปที่ 5.5 | ลักษณะการกองหินหน้างานระเบิดที่เหมาะกับรถขุดตักชนิดหนึ่ง | 104 |
| รูปที่ 5.6 | ลักษณะงานการตัดร่องแนวยาว (trench) กองวัสดุหน้างานค่อนข้างเตี้ย และพื้นที่ระดับฐานค่อนข้างแน่น เหมาะสำหรับเลือกใช้รถตักเสยแบบขุดลาก นิยมใช้ในเหมืองถ่านหิน | 104 |
| รูปที่ 6.1 ก. | ไดอะแกรมแสดงรูปแบบเชิงเรขาคณิตแบบง่ายของการเจาะระเบิดแบบขั้นบันได สำหรับการเจาะรูระเบิดในแนวดิ่ง | 111 |
| รูปที่ 6.1 ข. | หน้าระเบิดหินที่มีการระเบิดขนาดใหญ่เพื่อการผลิตร่วมกันกับการระเบิดให้แตกในแถว เพื่อปรับหน้างานในการระเบิดครั้งต่อไป | 111 |
| รูปที่ 6.1 ค. | หน้างานระเบิดหินเพื่อการผลิตร่วมกันกับการระเบิดตัดกลางพื้นที่ให้เหลือเป็นเนินหินเป็นเขตกันชน | 111 |
| รูปที่ 6.2 | การระเบิดเพื่อพัฒนาในงานผลิตสินแร่ สายแร่เป็นชั้นถ่านหินที่มีการวางตัวในแนวนอนขนานกับพื้นผิวดิน แยกการระเบิด 2 ครั้ง เป็นการระเบิดเพื่อปรับพื้นเหมือง กับการระเบิดให้รถตักเสยสามารถปฏิบัติงานแยกดิน หิน แร่ ใช้ dragline stripping | 113 |
| รูปที่ 6.3 | ภาพสเก็ตช์สินแร่ที่มีรูปทรงกระบอกวางตัวในแนวดิ่ง พจน์ r เป็นรัศมีของสินแร่ ส่วนพจน์ R เป็นรัศมีของขอบบ่อเหมือง และพจน์ h เป็นความลึกของบ่อเหมืองเปิด สมการด้านขวาของรูปเสก็ตช์ เป็นค่าเฉลี่ย stripping ratio (S.T.) ของแนวตัด A B ในรูป | 114 |
| รูปที่ 6.4 | ภาพแบบง่ายของการคำนวณแนวตัด เพื่อหาขอบเขตของเหมืองเปิดในรูปแสดงขอบเขตเหมืองเปิดไว้ 8 แนว เส้นในแนวนอนใต้รูปเป็นระดับพื้นเหมืองที่สมมุติ ตารางด้านล่างของรูปสเก็ตช์ เป็นตัวเลขค่าน้ำหนักเป็นต้น ที่คำนวณได้จากข้อมูลของเหมือง เพื่อหาความคุ้มทุน | 115 |
| รูปที่ 6.5 | การเปรียบเทียบการตัดไหล่เขา ทำถนนตามสภาวะของมวลสารกับรอยแตกแยก | 116 |
| รูปที่ 6.6 | การตัดลาดขั้นบันไดหลายชั้น พจน์ตัวแปรในรูปใช้กับตารางที่ 6.1 (ยกเว้นส่วนชั้นตะพักขั้นบันไดบนสุด ใช้การตัดความลาดให้ลดลงเพื่อเสริมเสถียรภาพ) | 117 |

| | | | หน้า |
|---|---|---|---|
| รูปที่ | 6.7 | ภาพถ่ายการแตกหักของหินปูนจากการระเบิดแบบขั้นบันได ถ่ายที่หน้าเหมืองของบริษัทปูนซีเมนต์นครหลวง อำเภอแก่งคอย สระบุรี | 121 |
| รูปที่ | 6.8 | เกณฑ์ที่เป็นข้อกำหนด ในการจัดระดับขั้นความเสี่ยงที่เกิดจากคลื่นระเบิดเดินทางผ่านพื้นผิวของฐานรากของสิ่งก่อสร้าง ตัวแปรที่ใช้ในการิเคราะห์ผลในรูปนี้มี 3 ชนิด ขอบเขตความเสียหายที่ระบุได้จึงขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ดังกล่าว | 124 |
| รูปที่ | 6.9 | การทดลองพล็อตตำแหน่งของจุดข้อมูลดิบที่ได้ตรวจวัดค่าตัวแปรของการสั่นสะเทือน จากการระเบิดหินในเหมืองเปิดขนาดใหญ่ภายในประเทศไทย กับค่าเส้นขีดจำกัดความเสียหาย ที่อิงตามผลการวิเคราะห์วิธี Mean and Variance ที่ระบุเส้นขีดจำกัดไว้ใน R.I. 8507 | 126 |
| รูปที่ | 6.10 | การทดลองพล็อตตำแหน่งของจุดข้อมูลดิบที่ได้ตรวจวัดค่าตัวแปรของการสั่นสะเทือน จากการระเบิดหินในเหมืองเปิดขนาดเล็กถึงปานกลางภายในประเทศไทย กับค่าเส้นขีดจำกัดความเสียหายที่อิงตามผลการวิเคราะห์วิธี Mean and Variance ที่ระบุเส้นขีดจำกัดไว้ใน R.I. 8507 | 126 |
| รูปที่ | 6.11 | ผลกระทบจากความเร็วอนุภาคในแนวรัศมี กับความดันเสียงเกินระดับที่เกิดจากการระเบิด | 131 |
| รูปที่ | 6.12 | ภาพถ่ายมุมกว้างแสดงเส้นทางขนส่งลำเลียงหินที่แตกหัก ภายหลังการระเบิด ระหว่างหน้าเหมืองหินไปยังโรงโม่บดย่อย ที่เหมืองศรีปฐมอุตสาหกรรม อ. จอมบึง จ. ราชบุรี | 138 |
| รูปที่ | 6.13 | การหาค่าที่เหมาะที่สุด ในการวางแผนสำหรับผังหน้าระเบิดเหมืองหินปูนขนาดใหญ่ ตัวเลขแนวตั้งคือค่าเจาะกับค่าระเบิด ส่วนตัวเลขแนวนอน คือ รูปแบบผังหน้าตัด กับค่าเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของงาน จุดที่มีวงกลมล้อมรอบเป็นค่าใช้จ่ายจริง | 150 |
| รูปที่ | 6.14 | การหาค่าที่เหมาะที่สุด ในการวางแผนสำหรับผังหน้าระเบิดเหมืองหินปูนขนาดใหญ่ ใช้แนวทางเดียวกับรูปบน แต่มีค่าการขนส่งรวมอยู่ด้วย จุดที่มีวงกลมล้อมรอบเป็นค่าใช้จ่ายจริง | 150 |
| รูปที่ | 6.15 | การหาค่าที่เหมาะที่สุด ในการวางแผนสำหรับผังหน้าระเบิดเหมืองหินปูนขนาดเล็ก ตัวเลขแนวตั้งคือค่าเจาะกับค่าระเบิด ส่วนตัวเลขแนวนอน คือ รูปแบบผังหน้าตัด กับค่าเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของงาน จุดที่มีวงกลมล้อมรอบเป็นค่าใช้จ่ายจริง | 151 |

| | | หน้า |
|---|---|---|
| รูปที่ 6.16 | การหาค่าที่เหมาะที่สุด ในการวางแผนสำหรับผังหน้าระเบิดเหมืองหินปูนขนาดเล็ก ใช้แนวทางเดียวกับรูปบน แต่มีค่าการขนส่งรวมอยู่ด้วย จุดที่มีวงกลมล้อมรอบเป็นค่าใช้จ่ายจริง | 151 |
| รูปที่ 7.1 | ผังภูมิการบริหารงานเพื่อจัดการวางแผนในแต่ละหน่วยหลักทั้ง 4 หน่วย ในกรอบสี่เหลี่ยมเล็กเป็นกิจกรรมของการทำงาน | 154 |
| รูปที่ 7.2 | การออกแบบระเบิดหน้างานในเหมืองหินปูนขนาดใหญ่ ที่มีการใช้แก๊ปไฟฟ้าจังหวะถ่วง เพื่อให้การระเบิดแต่ละแถวไม่พร้อมกัน | 156 |
| รูปที่ 7.3 | การเปิดหน้าเหมืองโดยให้มีระดับลดต่ำลงจากพื้นผิว เพื่อช่วยให้เกิดทัศนียภาพของการมองดีขึ้น และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ถ่ายที่หน้าเหมืองบริษัทปูนซีเมนต์นครหลวง | 158 |


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# รายการแปลงหน่วย

## รายการแปลงหน่วยนี้ แปลงจากระบบ S.I. เป็น Imperial หรือกลับกัน

| | S.I. | Equal to Imperial | Imperial | Equal to S.I. |
|---|---|---|---|---|
| Length | 1 km. | 0.6214 mile | 1 mile | 1.609 km. |
| | 1 m. | 3.2808 ft. | 1 ft. | 0.3048 m. |
| | 1 mm. | 0.0394 in. | 1 in. | 25.4 mm. |
| Area | 1 $km.^2$ | 0.3861 $mile^2$ | 1 $mile^2$ | 2.59 $km.^2$ |
| | 1 $m.^2$ | 0.0002 acre | 1 acre | 4046.9 $m.^2$ |
| | 1 $m.^2$ | 10.7639 $ft.^2$ | 1 $ft.^2$ | 0.0929 $m.^2$ |
| | 1 $mm.^2$ | 15.50 $in.^2$ | 1 $in.^2$ | 645.16 $mm.^2$ |
| Volume | 1 $m.^3$ | 1.3079 $yd.^3$ | 1 $yd.^3$ | 0.7646 $m.^3$ |
| | 1 $m.^3$ | 35.3147 $ft.^3$ | 1 $ft.^3$ | 0.0283 $m.^3$ |
| | 1 $mm.^3$ | $2.2 \times 10^{-7}$ Imperial gallon | 1 Imperial gallon | $4.546 \times 10^{6}$ $mm.^3$ |
| | 1 $mm.^3$ | $2.6 \times 10^{-7}$ U.S. gallon | 1 U.S. gallon | $3.785 \times 10^{6}$ $mm.^3$ |
| | 1 $mm.^3$ | $6.10 \times 10^{-5}$ $in.^3$ | 1 $in.^3$ | $1.639 \times 10^{4}$ $mm.^3$ |
| Mass | 1 ton.(metric) | 0.9842 ton. (long) | 1 ton. (long) | 1.016 ton.(metric) |
| | 1 kg. | 2.2046 lb. | 1 lb. | 0.4536 kg. |
| | 1 gm. | 0.0353 oz. | 1 oz. | 28.349 gm. |
| Density | 1 $kg/m.^3$ | 0.0624 $lb/ft.^3$ | 1 $lb/ft.^3$ | 16.018 $kg/m.^3$ |
| Unit Weight | 1 $kN/m.^3$ | 6.3654 lb $f/ft.^3$ | 1 lb $f/ft.^3$ | 0.1571 $kN/m.^3$ |
| Force | 1 kN. | 0.1004 ton f. (long) | 1 ton f. (long) | 9.964 kN. |
| | 1 N. | 0.2248 lb f. | 1 lb f. | 4.448 N. |
| Pressure or | 1 Mpa. | 0.0648 ton $f/in.^2$ | 1 ton $f/in.^2$ | 15.44 MPa. |
| Stress | 1 kPa. | 0.0093 ton $f/ft.^2$ | 1 ton $f/ft.^2$ | 107.3 kPa. |
| | 1 kPa. | 0.1450 lb $f/in.^2$ | 1 lb $f/in.^2$ | 6.895 kPa. |
| | 1 kPa. | 20.8854 lb $f/ft.^2$ | 1 lb $f/ft.^2$ | 0.04788 kPa. |
| | 1 kPa. | 0.0102 standard atmosphere | 1 standard atmosphere | 98.07 kPa. |
| | 1 bar (0.987 atm.) | 14.5038 lb $f/in.^2$ | 1 lb $f/in.^2$ | 0.06895 bar |
| | 1 kPa. | 0.3346 ft. water | 1 ft. water | 2.989 kPa. |
| | 1 kPa. | 0.2953 in. mercury | 1 in. mercury | 3.386 kPa. |
| Square root scaling | 1 $m/kg.^{1/2}$ | 2.2096 $ft/lb.^{1/2}$ | 1 $ft/lb.^{1/2}$ | 0.4526 $m/kg.^{1/2}$ |
| Cube root scaling | 1 $m/kg.^{1/3}$ | 2.5208 $ft/lb.^{1/3}$ | 1 $ft/lb.^{1/3}$ | 0.3957 $m/kg.^{1/3}$ |
| Moment | 1 Nm. | 0.7376 lbf ft. | 1 lbf ft. | 1.3558 Nm. |
| Energy | 1 J. | 0.7376 ft lbf. | 1 ft lbf. | 1.3558 J. |
| Frequency | 1 Hz. | 1 cycle/sec. | 1 cycle/sec. | 1 Hz. |

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

# บทนำ
# แนวทางกับขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาวิจัยโครงการนี้ ได้รับการสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการวิจัยจากเงินอุดหนุนการวิจัยด้วยงบประมาณแผ่นดิน ปี 2543 หัวข้อการวิจัยโครงการนี้คือ เรื่อง "การวางแผนทั้งระบบในการเปิดงานขุดเจาะโดยใช้วัตถุระเบิด" เป็นการวิจัยที่เน้นผลของการศึกษาเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ ความปลอดภัยของการปฏิบัติงาน การป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และความคุ้มทุนของการปฏิบัติงานในการขุดเจาะ สถานที่ที่ใช้ในการศึกษาสำหรับโครงการวิจัยนี้ จะเป็นหน้างานการขุดเจาะของเหมืองเปิดที่ผลิตหินนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมก่อสร้างกับอุตสาหกรรมซีเมนต์ แต่ผลการวิจัยก็นำไปประยุกต์กับเหมืองแร่ภายในประเทศที่มีการระเบิดหินในบางส่วน หรือใช้กับงานตัดถนน ที่มีการพัฒนาหน้างานบางส่วนเพื่อระเบิดหินแข็งที่เป็นอุปสรรคต่อการสร้างทางหลวง

## 1.1 สาระสำคัญและที่มาของปัญหาที่ต้องการทำการวิจัย

การพัฒนาทางเศรษฐกิจของประเทศ ในหลายโครงการมีการนำเอาวัตถุดิบที่เป็นหินมาใช้ประโยชน์ในหลายรูปแบบ เช่น การทำถนน ทำเขื่อนคอนกรีต ทำคอนกรีตในอาคารบ้านเรือน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการขุดเจาะโดยใช้วัตถุระเบิดเพื่อผลิตหิน งานระเบิดหลักเหล่านี้ ได้แก่ การระเบิดในเหมืองเปิดเพื่อผลิตหินนำมาใช้ในงานก่อสร้างกับนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการทำซีเมนต์

เหมืองแร่ในบางแหล่ง แร่ในพื้นที่มีความอุดมสมบูรณ์เหมาะที่จะทำการลงทุน แต่มีความจำเป็นต้องทำการระเบิดหินที่ปิดขวางสายแร่ออกไปก่อนจึงจะทำการขุดตักแร่ได้ และในบางกรณีงานวิศวกรรมโยธามีการใช้วัตถุระเบิดใน เช่นการตัดไหล่เขาให้เรียบในการทำถนนหลวง การระเบิดหินเพื่อปรับพื้นให้เรียบในการทำฐานราก

ปัญหาหลักที่เป็นสาระสำคัญของงานวิจัย ที่เกี่ยวเนื่องกับการใช้วัตถุระเบิดเปิดหน้างานขุดเจาะ มีดังต่อไปนี้

ก. การวางแผนสำหรับบุคลากร การวางแผนใช้วัตถุระเบิดกับเครื่องมือที่จำเป็นในการผลิตหิน หรือการแก้ไขหน้างานเพื่อเบิดหน้าหิน ดินแข็ง ที่ปิดขวางสายแร่ อันก่อให้เกิดอุปสรรคในการผลิตแร่ หรือการแก้ไขเพื่อระเบิดหินที่ขวางเป็นอุปสรรคในการดำเนินงานการก่อสร้างชนิดอื่น

ทั้งนี้ในการดำเนินงานจำเป็นต้องมีการศึกษาสภาพภูมิประเทศ กับสภาพธรณีวิทยาของหน้างานเหมืองเบิด เพื่อกำหนดหน้างานระเบิดที่เหมาะสม มีความเสี่ยงน้อยที่จะเกิดการพังทลายในระหว่างการระเบิดหิน หรือภายหลังการระเบิดหินเสร็จสิ้นแล้ว

ข. การวางแผนออกแบบผังหน้างานระเบิดให้มีความปลอดภัยสูงสุด ประสิทธิภาพของงานระเบิดดี ผลการระเบิดมีขนาดของชิ้นส่วนมวลหินที่ต้องการให้เกิดการแตกหักตามที่ต้องการ และมีการใช้วัตถุระเบิดในเกณฑ์ที่เหมาะสม สามารถควบคุมค่าใช้จ่ายในการเจาะหลุม หรือการระเบิดให้อยู่ในเกณฑ์ที่คุ้มทุน และไม่เป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในการบดอัดย่อยของโรงโม่หิน เพราะขนาดของหินที่แตกหักมีขนาดไม่เหมาะสม (ใหญ่หรือเล็กเกินไป)

ค. การวางแผนเพื่อป้องกันผลกระทบที่เกิดจากการระเบิดหิน ที่อาจก่อให้เกิดความรำคาญ เป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานหรือชุมชนใกล้เคียง หรือเป็นอันตรายต่ออุปกรณ์เครื่องมือในภาคสนาม

ง. การวางแผนให้หน้างานระเบิด มีความสอดคล้องกับการใช้อุปกรณ์และเครื่องจักรกลที่ตักหรือขนย้ายมวลหินที่แตกหัก และไม่ขัดขวางการปฏิบัติงานภาคสนามในเรื่องอื่น

จ. การตรวจสอบปริมาณที่ต้องการใช้และการเบิกจ่ายวัตถุระเบิด และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องอย่างมีระบบ นอกจากนี้ยังต้องกำหนดสถานที่เก็บรักษาที่เหมาะสมและปลอดภัย

ฉ. กำหนดแนวทางการตรวจสอบค่าใช้จ่ายของการเจาะหลุม การระเบิด กับการตักขนย้ายหินไปยังปากโม่ ที่สัมพันธ์กับผังหน้าระเบิด โดยสามารถปรับปรุงแก้ไขในส่วนของการปฏิบัติงานที่บกพร่อง เพื่อให้เสียค่าใช้จ่ายโดยรวมเหมาะสมที่สุด

ช. การวางแผนจัดเก็บและบันทึกข้อมูลดิบในรูปแบบที่ทันสมัยให้สามารถที่ตรวจสอบและแก้ไขได้

## 1.2 <u>ขอบเขตในการดำเนินงานศึกษาวิจัย</u>

ขอบเขตการศึกษาวิจัย นอกจากมีการทบทวนความเป็นมาในโครงการนี้ที่มีการศึกษาในประเทศที่พัฒนาแล้ว ยังมีการเก็บข้อมูลดิบหรือจัดระบบการบันทึกข้อมูลดิบภาคสนาม ออกกฎเกณฑ์หรือจัดขั้นตอนในการปฏิบัติงานจริง วิเคราะห์ผลในเชิงเสถียรภาพหรือวิเคราะห์ผลเชิงความเสี่ยงในการลงทุนดำเนินงานขุดเจาะ ทั้งนี้เน้นเฉพาะในส่วนที่เป็นเหมืองเบิดหรือการระเบิดเพื่อพัฒนาหน้างานขุดเจาะบนพื้นผิวดิน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลลัพธ์ที่ได้จากการดำเนินการข้างต้นดังกล่าว จะถูกนำมาจัดลำดับเพื่อวางแผนหรือออกแบบในการปฏิบัติงานจริงภาคสนามในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการใช้วัตถุระเบิด 3 ส่วนหลัก ได้แก่ การกำหนดตำแหน่งหลุมเจาะ การออกแบบผังหน้าระเบิด กับการตักและขนย้ายหินที่แตกหัก โดยมีเป้าหมายให้ได้การปฏิบัติงานมีความปลอดภัยกับประสิทธิภาพสูง กับเกิดความคุ้มทุนในการผลิตหินหรือแร่

รูปที่ 1.1 ตัวอย่างหน้างานขุดเจาะที่ใช้วัตถุระเบิด ส่วนใหญ่เป็นเหมืองเปิดหินปูน มีการผลิตหินส่งโรงโม่บดย่อย เพื่อนำมาใช้ในงานก่อสร้างกับทำซีเมนต์

กรณีศึกษาของโครงการนี้เป็นเหมืองหินที่มีการขุดเจาะโดยใช้วัตถุระเบิด โดยมีการจำแนกประเภทตามขนาดของหน้าเหมือง เป็นเหมืองเปิดขนาดใหญ่ซึ่งผลิตหินเป็นวัตถุดิบในการทำซีเมนต์ กับเหมืองเปิดขนาดปานกลางหรือขนาดเล็กที่ผลิตหินส่งโรงโม่บดย่อยเพื่อใช้ในงานสร้างทางหรือผสมคอนกรีตทำอาคารบ้านเรือน

เนื้อหาในรายงานฉบับแรกซึ่งได้มีการจัดทำไปแล้วในเดือนกุมภาพันธ์ 2543 เป็นการกำหนดแนวทางหลักของการวางแผนทั้งระบบ ทั้งนี้มีการศึกษาในส่วนของการวางแผนกับการจัดการทั่วไป มีการศึกษาถึงระบบของความปลอดภัยในการใช้วัตถุระเบิด ระบบการป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แนวทางการคำนวณค่าใช้จ่ายสำหรับการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ของงานการขุดเจาะ และมีการเสนอแนะ แผนการจัดการสำหรับการปฏิบัติงานภาคสนามโดยการใช้วัตถุระเบิด โดยคำนึงถึงความเสี่ยงที่เกิดจากตัวแปรอื่นในระบบ

ส่วนรายงานการศึกษาฉบับนี้เป็นรายงานฉบับสมบูรณ์ โดยมีการปรับปรุงแก้ไขกับได้เพิ่มเติมในส่วนที่บกพร่องของรายงานฉบับแรก เช่นมีการเสนอแนะการวิเคราะห์ ในเรื่องเสถียรภาพหน้างานที่สัมพันธ์กับธรณีวิทยาของบริเวณ รวมทั้งมีการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการบันทึกผลในภาคสนามเพิ่มเติม ทั้งในส่วนของการวางแผนการเจาะหลุม การระเบิดและการตักขนย้ายวัสดุ นอกจากนี้ยังมีการเปรียบเทียบผลลัพธ์การออกแบบหน้าเหมืองเปิดเพื่อหาจุดผลลัพธ์เป็นค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งค่าที่เหมาะสมที่สุดนี้ต้องมีความสัมพันธ์กับการปฏิบัติงานทั้งระบบ ตลอดจนมีข้อเสนอแนะการวางแผนงานทั้งระบบในเชิงเสถียรภาพกับในเชิงเศรษฐศาสตร์ เพื่อป้องกันความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมที่อาจจะเกิดขึ้นในการดำเนินงานขุดเจาะโดยใช้วัตถุระเบิด กับก่อให้เกิดความมั่นใจต่อผู้ปฏิบัติงาน และเป็นที่ยอมรับของชุมชนที่อาศัยอยู่ใกล้กับแหล่งระเบิดหิน

กรณีศึกษาของงานภาคสนามที่ระบุไว้ในรายงานฉบับสมบูรณ์นี้ เป็นผลการบันทึกภาคสนามที่ได้จากการสอบถามกับการสัมภาษณ์ผู้เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงานการขุดเจาะ รวมทั้งได้จากการบันทึกผลของทีมงานวิจัยก่อนการระเบิดหินและภายหลังการระเบิดหิน ข้อมูลในบางส่วนที่ทางผู้ปฏิบัติงานหรือองค์กรที่ให้ข้อมูลนั้นไม่ต้องการให้มีการเปิดเผยหรือระบุข้อมูลโดยตรง จะใช้การเลี่ยงไม่ระบุชื่อผู้ปฏิบัติงานหรือชื่อองค์กรนั้น โดยใช้คำแทนที่เป็นกลาง แต่ในแบบบันทึกผลภาคสนามจะมีการระบุข้อมูลจริงไว้ โดยทีมงานผู้วิจัยเก็บรักษาไว้เพื่อใช้ประกอบเป็นเอกสารอ้างอิง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



# บทที่ 2

# การวางแผนทั่วไปของงานขุดเจาะโดยใช้วัตถุระเบิด

ระบบการจัดการเบิดหน้างานโดยใช้วัตถุระเบิด มีความเกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงานภาคสนามเชิงวิศวกรรมหลายสาขา เริ่มตั้งแต่การวางแผนระบบที่สัมพันธ์กับการจัดการด้านงานเชิงวิศวกรรมทั่วไป การปฏิบัติงานด้านการตรวจสอบเสถียรภาพกับธรณีวิทยามีความสัมพันธ์กับสาขางานเชิงวิศวกรรมธรณี งานการระเบิดหินกับการขนย้ายมวลสารที่แตกหักมีความสัมพันธ์กับสาขางานเชิงวิศวกรรมเหมืองแร่และโยธา การป้องกันผลกระทบของการใช้วัตถุระเบิดมีความสัมพันธ์กับสาขางานเชิงวิศวกรรมเหมืองแร่กับสิ่งแวดล้อมและการจัดการหรือวางแผนระบบความปลอดภัยในการปฏิบัติงานภาคสนาม มีความสัมพันธ์กับสาขางานเชิงวิศวกรรมความปลอดภัย

## 2.1 การจัดการและการวางแผนงานทั่วไปของการใช้วัตถุระเบิด

การจัดการและการวางแผนที่ดี ก่อนมีการดำเนินงานใด ๆ จำเป็นต้องมีความมั่นใจว่า บุคลากรที่เกี่ยวข้องในสาขานั้นทั้งระดับผู้บริหารกับระดับผู้ปฏิบัติการมีความเข้าใจถึงแผนงานที่จะปฏิบัติการกับได้มีการศึกษาปัญหาโดยรวม ทั้งนี้มีวิธีการป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้นก่อนการปฏิบัติงาน ระหว่างการปฏิบัติงาน และภายหลังการปฏิบัติงาน

### 2.1.1 นโยบายและวิธีการในการจัดการวัตถุระเบิดสำหรับงานอุตสาหกรรม

ในงานจัดการระดับประเทศ กองบังคับการทะเบียนและอาวุธปืน สำนักงานตำรวจแห่งชาติ เป็นแหล่งออกใบอนุญาตและควบคุมปริมาณการครอบครองวัตถุระเบิดที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม ส่วนกระทรวงพาณิชย์กับกรมศุลกากร เป็นแหล่งที่ควบคุมการนำเข้าและเสียภาษีวัตถุระเบิด กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม เป็นแหล่งที่ควบคุมกับอนุญาตให้มีการดำเนินการใช้วัตถุระเบิดในเหมืองหินและเหมืองแร่ ส่วนการมีหรือครอบครองวัตถุระเบิดเพื่อใช้ในกิจการอื่นเจ้าหน้าที่ที่ถูกแต่งตั้งในระดับจังหวัดของกระทรวงมหาดไทยเป็นผู้ควบคุมและอนุญาต

กรณีของการจัดการเปิดเหมืองกับการป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม หน่วยงานที่เป็นคณะกรรมการร่วม โดยมีกรมทรัพยากรธรณีเป็นหน่วยงานหลัก ทำหน้าที่พิจารณาร่วมกับหน่วยงานอื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม กรมที่ดิน กรมป่าไม้ ทำหน้าที่ออกนโยบายการจัดการร่วมกัน สำหรับการพิจารณาออกใบอนุญาตประทานบัตรการทำเหมืองหินหรือเหมืองแร่อุตสาหกรรม ส่วนการดำเนินงานกับการจัดการหรือการวางแผนการใช้วัตถุระเบิดในภาคสนามสำหรับเหมืองหินหรือเหมืองแร่ กองการเหมืองแร่ร่วมกับพนักงานที่ถูกแต่งตั้งจากสำนักงานทรัพยากรธรณีประจำจังหวัด หรือสำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัด กระทรวงอุตสาหกรรม มีหน้าที่ในการควบคุมกับอนุญาต ให้มีการระเบิดหิน

2.1.2 <u>หลักการสำคัญของการใช้วัตถุระเบิดสำหรับงานอุตสาหกรรม</u>

การดำเนินงานเพื่อเปิดหน้างานขุดเจาะโดยใช้วัตถุระเบิด ทั้งในงานทางวิศวกรรมโยธาหรือในงานทางวิศวกรรมเหมืองแร่ วิศวกรหรือผู้ปฏิบัติงานต้องหาวิธีการเพื่อให้มีการวางแผนที่เหมาะสมปฏิบัติงานภาคสนาม เช่น ไม่ควรมีการใช้วัตถุระเบิดเกินขีดจำกัดนอกจากเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายแล้ว ยังอาจทำให้มวลหินเกิดการแตกหักไม่เป็นไปตามทิศทางที่วางแผนแนวการขุดเจาะไว้ มวลหินที่แตกหักมากเกินไปหรือเป็นฝุ่นเป็นผงขนาดเล็กมาก หรือมีผลกระทบก่อให้เกิดความเสียหายต่อทรัพย์สินหรือโครงสร้างสิ่งก่อสร้างใกล้เคียง อาจถูกฟ้องร้องเรียกค่าเสียหายได้

รูปที่ 2.1 การระเบิดหินที่ดี กำหนดให้มวลหินที่แตกหักกองรวมกันในสภาพที่ใช้เครื่องจักรกลขนย้ายได้ง่ายกับควบคุมขนาดชิ้นส่วนหินที่จะผ่านปากไม่

ในทางตรงกันข้าม เมื่อมีการใช้วัตถุระเบิดเป็นจำนวนน้อยกว่าค่าประมาณที่เป็นจริง การแตกหักอาจไม่สมบูรณ์หรือเกิดเพียงแต่มีรอยแตกร้าวเล็ก ๆ ที่มวลหินยังไม่แตกเป็นชิ้นส่วนหินขนาดที่เหมาะกับขนาดของปุ้งกี๋รถตักในการตักขนย้ายได้ อาจจำเป็นต้องทำการระเบิดซ้ำ หรือใช้ breaker กระแทกหินก้อนใหญ่ทำให้หินแตกมีขนาดเล็กลงจนได้ขนาดหินที่จะสามารถผ่านปากไม่ได้ ก่อให้เกิดความล่าช้าในการดำเนินงานและเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสูงขึ้นกว่าปกติ

## 2.2 แบบแผนของการจัดการระบบในการขุดเจาะโดยใช้วัตถุระเบิด

จุดประสงค์หลักในการศึกษาวิจัยโครงการนี้ เพื่อให้เกิดความมั่นใจปลอดภัยของการใช้วัตถุระเบิดในงานการขุดเจาะ เกิดความคุ้มทุนต่อค่าใช้จ่ายที่เสียไปในการดำเนินงาน จึงต้องมีการวางแผนจัดการหลายขั้นตอน ตั้งแต่หาความเหมาะสมของสถานที่ วิเคราะห์ความปลอดภัยในการดำเนินงาน การจัดระบบแบบแผนของวัตถุระเบิดกับอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องให้เหมาะสมในหลายด้าน การจัดการด้านความเสี่ยงในระบบโดยมีการควบคุมกระบวนการต่าง ๆ หลายขั้นตอน

### 2.2.1 การตรวจสอบสภาพภูมิประเทศและธรณีวิทยาเบื้องต้น

สิ่งจำเป็นอันดับแรกก่อนมีการดำเนินการใด ๆ ต้องมีการศึกษาตรวจสอบภูมิประเทศเบื้องต้น โดยหาความเหมาะสมของสถานที่ตั้งแหล่งหินหรือแหล่งแร่ในบริเวณ เช่นตำแหน่งของหน้าเหมืองอยู่ในเขตหวงห้ามของทางการหรือไม่ เป็นแหล่งต้นน้ำลำธารหรือไม่ ชนิดของลุ่มน้ำ (ลุ่มน้ำ 1A, 1B เป็นต้น) สภาพพื้นที่ป่าในบริเวณเป็นป่าประเภทไหน (ป่าเสื่อมโทรม, ป่าอนุรักษ์) ที่ตั้งชุมชน (ใกล้หรือไกลกับแหล่งระเบิด) การใช้ประโยชน์ที่ดินในบริเวณใกล้เคียงกับแหล่งระเบิดหิน

การศึกษาเชิงธรณีวิทยาของแหล่งก็ต้องทำควบคู่กันไป ได้แก่ การศึกษาลักษณะของโครงสร้างหินในบริเวณ การบันทึกข้อมูลดิบที่มีผลต่อเสถียรภาพของหน้างาน [ความไม่ต่อเนื่องในหิน: รอยแตกแยก, ระนาบชั้นหิน, รอยเลื่อน] ชนิดของหิน (แร่) คุณภาพของหิน (แร่) ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงวิศวกรรม หรือผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์แร่

#### 1. วิธีการวิเคราะห์ผลลัพธ์หาค่าความเหมาะสมเชิงตัวเลข

กรณีศึกษาภาคสนามเบื้องต้นของภูมิประเทศกับธรณีวิทยา ที่มีจุดประสงค์ใช้วิเคราะห์ความเหมาะสมของการกำหนดแหล่งหินอุตสาหกรรมเพื่อการก่อสร้าง ได้มีการนำเสนอวิธีการวิเคราะห์หาผลลัพธ์ความเหมาะสมของแหล่งหินแนวทางใหม่ โดยใช้ค่าผลลัพธ์ที่ระบุใน

เชิงตัวเลข (สง่า ตั้งชวาล และคณะ, 2543) แนวทางที่ทางคณะผู้ศึกษาวิจัยในหัวข้อ "โครงการจัดทำแผนการจัดการผลิต และใช้หินอุตสาหกรรมเพื่อการก่อสร้าง" ใช้ในการตรวจสอบผลลัพธ์ค่าความเหมาะสมเบื้องต้น เป็นการวิเคราะห์ค่าตัวแปรภาคสนามหลายค่าแล้วระบุค่าของแต่ละตัวแปรย่อยเป็นตัวเลขความเหมาะสมในเชิงธรณีวิทยา การทำเหมืองรูปแบบการป้องกันผลกระทบ และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ดังนั้นค่าผลรวมของตัวเลขความเหมาะสมแต่ละตัวแปรย่อยสามารถเทียบกันได้โดยตรง ทำให้ผู้วิเคราะห์มีความมั่นใจในระดับเบื้องต้นได้

ข้อดีของวิธีการใช้ค่าตัวเลขความเหมาะสมนี้ เป็นการประหยัดเวลา หาค่าผลลัพธ์ได้รวดเร็ว และมีเกณฑ์ในการระบุผลที่ค่อนข้างแน่นอน ช่วยลดความเสี่ยงในระบบได้ในระดับหนึ่ง ข้อเสียก็คือ ผู้วิเคราะห์ทำได้เพียงระบุผลเบื้องต้น ในระดับของรายละเอียดยังต้องมีการปฏิบัติงานภาคสนามเพิ่มเติม และค่าผลรวมของตัวเลขความเหมาะสมไม่ใช่เป็นสิ่งยืนยันเสมอไปว่า แหล่งหินหรือเหมืองแร่แห่งหนึ่งที่มีค่าผลรวมตัวเลขความเหมาะสมดีกว่าแหล่งหินอีกแห่งหนึ่งจะได้รับอนุญาตให้เปิดดำเนินการผลิตหินได้ เพราะยังมีตัวแปรบางตัวที่มีอิทธิพล (ผลกระทบ) ต่อการตัดสินใจสูง เช่น แนวทางการป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและปัญหาการต่อต้านจากมวลชน เป็นต้น ทำให้เกิดความแปรปรวนในระบบของการวิเคราะห์ผลเชิงตัวเลข

2. <u>ตัวประกอบหลักของวิธีการวิเคราะห์ผลค่าความเหมาะสมเชิงตัวเลข</u>

การหาความเหมาะสมของแหล่งในบริเวณที่ทำการสำรวจ เพื่อระเบิดเปิดเหมืองหินประกอบการตั้งโรงไม่เพื่อบดย่อยหิน หรือการผลิตแร่โดยการทำเหมืองเปิด ต้องใช้ตัวประกอบ (factor) หลายค่าและมีการกำหนดเงื่อนไขไว้หลายระดับขั้นในการหาความเหมาะสม ดังนี้

ก. <u>ชนิดของกลุ่มตัวประกอบที่ใช้ในการพิจารณา</u>

ตัวประกอบที่ตั้งไว้เป็นต้นแบบเพื่อใช้พิจารณาหาความเหมาะสมในการเลือกแหล่งหินสำหรับการผลิตหินอุตสาหกรรม หรือในการทำเหมืองแร่เปิด แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลักและในแต่ละกลุ่มหลักยังมีตัวประกอบย่อย ดังนี้

<u>กลุ่มที่หนึ่ง</u> เป็นตัวประกอบทางด้านทรัพยากรของพื้นที่ ซึ่งกลุ่มตัวประกอบเหล่านี้ได้แก่ ทรัพยากรด้านกายภาพ ทรัพยากรด้านชีวภาพ และการใช้ประโยชน์ของพื้นที่

<u>กลุ่มที่สอง</u> เป็นตัวประกอบสภาพทั่วไปของแหล่งหิน (แหล่งแร่) และโรงไม่หิน กลุ่มตัวประกอบเหล่านี้ ได้แก่ สภาพทั่วไปของแหล่งหิน (แร่) ประเภทของหิน (แร่) เชิงการใช้งาน ประเภทของหิน (แร่) เชิงเศรษฐศาสตร์ ปริมาณสำรองหิน (แร่) ในแหล่ง สถานที่ตั้งและสภาวะเชิงเศรษฐศาสตร์ของโรงไม่หิน (โรงแยกแร่)

กลุ่มที่สาม เป็นตัวประกอบลักษณะเฉพาะของพื้นที่ ตัวประกอบในกลุ่มเหล่านี้เป็นตัวประกอบที่มีเอกลักษณ์เฉพาะในบริเวณพื้นที่เช่นรูปแบบการทำเหมือง รูปแบบการผลิตหินของโรงโม่ (หรือรูปแบบการแยกแร่) การป้องกันผลกระทบที่เกิดจากการทำเหมืองและโม่บดย่อยหิน (หรือลอยแร่) เป็นต้น

ข. ตัวเลขของการหาค่าระดับขั้นความเหมาะสม

แนวทางที่ใช้หาความเหมาะสมนี้ ใช้เป็นตัวเลขระบุค่าความเหมาะสมของตัวประกอบย่อยแต่ละชนิดที่ถูกเลือกมาพิจารณาระดับขั้น (degree) ของความเหมาะสม

สำหรับค่าตัวเลขความเหมาะสมของตัวประกอบย่อย ซึ่งเป็นตัวแปรที่ถูกเลือกมาทำการวิเคราะห์ มีการระบุเป็นหมายเลข 4 ตัว ตามสภาพความเหมาะสมที่แตกต่างกันดังนี้

- หมายเลข 1 หมายถึง ความเหมาะสมของตัวประกอบ ที่ระบุต่ำ
- หมายเลข 2 หมายถึง ความเหมาะสมของตัวประกอบ ที่ระบุปานกลาง
- หมายเลข 3 หมายถึง ความเหมาะสมของตัวประกอบ ที่ระบุปานกลางถึงสูง
- หมายเลข 4 หมายถึง ความเหมาะสมของตัวประกอบ (ย่อย) ที่ระบุสูง

ค. เงื่อนไขในการกำหนดค่าตัวเลขความเหมาะสมของตัวประกอบย่อย

ตามแนวทางที่กล่าวมา ตัวประกอบในภาคสนามจะสามารถระบุระดับขั้นความเหมาะสมได้ ต้องมีเงื่อนไขสำหรับตัวเลขแต่ละค่า อนึ่งเงื่อนไขที่อธิบายต่อไปนี้ไม่ใช่ข้อกำหนดทางกฎหมาย แต่เป็นแนวทางที่ให้ผู้สำรวจภาคสนามสามารถใช้ประกอบเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจเท่านั้น หรือในบางครั้งผู้สำรวจก็ต้องดัดแปลงเองถ้าเงื่อนไขที่กำหนดต่อไปนี้ยังครอบคลุมไม่หมด รายละเอียดของเงื่อนไขสำหรับตัวประกอบย่อยแต่ละชนิดในกลุ่มหลักของตัวประกอบ มีระบุไว้ในรายงานหลักฉบับสมบูรณ์ "โครงการจัดทำแผนการจัดการผลิต และใช้หินอุตสาหกรรมเพื่อการก่อสร้าง" หน้า 132 – 140

ง. ตัวอย่างการประเมินผลเฉพาะแหล่ง

ตัวอย่างที่มีการประเมินผลจริงในภาคสนาม เป็นแหล่งหินที่ทางกองการเหมืองแร่ กรมทรัพยากรธรณี ร่วมกับคณะผู้วิจัย (สง่า ตั้งชวาล และคณะ, 2543) ได้คัดเลือกไว้เป็นกรณีศึกษา (case study) หาความเหมาะสมเบื้องต้นของสถานที่ตั้งแหล่ง และใช้เป็นตัวอย่างของการวางแผนงานโครงการนี้ ได้แก่ ดอยสะไง้ จังหวัดเชียงราย

แหล่งหินนี้มีสถานที่ตั้งอยู่ในเขตตำบลศรีดอนมูล อำเภอเชียงแสน จังหวัดเชียงราย ตำแหน่งของแหล่งหินและรายละเอียดของลุ่มน้ำระบุไว้ในแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน (เดิม) เท่ากับ 1: 50,000 ระวาง 5049 IV (รูปที่ 2.2 หน้าถัดไป) และแสดง

รูปที่ 2.2 แผนที่แสดงสถานที่ตั้งแหล่งหินกับลักษณะลุ่มน้ำในบริเวณของแหล่งถอยสะไง จังหวัดเชียงราย ในรูปนี้ดัดแปลงจากแผนที่ภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหาร เลขที่ระวาง 5049 IV (ปลายหัวลูกศรที่แสดงข้างบน เป็นตำแหน่งที่ทำการถ่ายภาพ และแสดงภาพถ่ายของบริเวณไว้ในรูปที่ 2.4 และ 2.5)

รูปที่ 2.3 แผนที่แสดงขอบเขตป่าในบริเวณที่ใกล้กับแหล่งถอยสะไง้ ในรูปนี้ดัดแปลงจากแผนที่ภูมิประเทศเลขที่ระวาง 5049 IV กับเอกสารกรมพัฒนาที่ดิน เรื่อง "รายงานการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อปลูกพืชเศรษฐกิจ จ.เชียงราย"

รูปที่ 2.4 สภาพทั่วไปของบริเวณแหล่งหินที่ถอยสะไว้ ถ่ายจากด้านทิศใต้ของแหล่ง

รูปที่ 2.5 สภาพทั่วไปของบริเวณแหล่งหินที่ถอยสะไว้ ถ่ายจากด้านทิศตะวันออกของแหล่ง

ขอบเขตของการใช้ประโยชน์พื้นที่ป่าในรูปที่ 2.3 หน้า 11 สภาพทั่วไปเป็นบริเวณที่ยังไม่เคยทำการระเบิดหินมาก่อน (รูปที่ 2.4 กับ 2.5 หน้า 12) บางส่วนเนินคอยอยู่ในเขตป่าอนุรักษ์ เขามีความสูงชันไม่มาก บางพื้นที่มีการทำไร่เลื่อนลอยเป็นนาข้าวกับสวนผลไม้

หินในบริเวณเป็นหินอัคนีภูเขาไฟ ชื่อหินแอนดีไซต์ ยุคไทรแอสซิก หินค่อนข้างแกร่ง มีการผุพังในบางส่วน ปริมาณสำรองของแหล่งหินประมาณ 130 ล้านตัน ผลการตรวจสอบคุณสมบัติเชิงกลศาสตร์ ได้ค่ากำลังวัสดุกดเป็นจุด (point load strength) เท่ากับ 81 กิโลกรัมต่อตร.ซม. ความทนทานต่อการขัดถูหรือสึกหรอ (abrasion) เป็น 24.8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าเหล่านี้มีระดับสูงกว่าหินปูน ค่าของการดูดซึม (absorption) ของหินแอนดีไซต์น้อยเพียง 1.47 เปอร์เซ็นต์ และค่าความคงตัว (soundness) สูงได้ค่าเปอร์เซ็นต์ที่มวลหินสูญเสียไประหว่างการทดสอบเพียง 0.10 เปอร์เซ็นต์

โรงไม่หินควรตั้งอยู่ใกล้เชิงเขา และไม่ห่างจากแหล่งหน้าระเบิดหินมากนัก โดยใช้การตัดหน้าเหมืองแบบขั้นบันไดและใช้การจุดระเบิดถ่วงเวลา การลำเลียงหินควรเริ่มจากการตัดถนนวนอ้อมเชิงเขา และขนส่งจำหน่ายจากโรงไม่หินผ่านเส้นทางเชียงแสน-เชียงราย ผิวจราจรบางส่วนที่ผ่านชุมชนควรฉีดน้ำพรมผิวทางเพื่อช่วยลดฝุ่น บริเวณใกล้กับโรงไม่หินควรปลูกต้นไม้ยืนต้นที่โตเร็วเป็นแนวกันฝุ่นและเสียง

จ. <u>ผลลัพธ์การประเมินค่าความเหมาะสมเชิงตัวเลข</u>

เมื่อทำการประเมินผลในภาคสนาม เพื่อหาค่าความเหมาะสมของแหล่ง โดยใช้ตัวประกอบหลักทั้ง 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ ตัวประกอบด้านทรัพยากรของพื้นที่ ตัวประกอบสภาพทั่วไปของสถานที่ตั้งแหล่ง ตัวประกอบที่มีเอกลักษณ์เฉพาะในพื้นที่ ทำให้ค่าความเหมาะสมของแหล่งเป็นผลรวมตัวเลข ดังระบุในตารางที่ 2.1 เท่ากับ 39 ซึ่งเป็นค่าตัวเลขความเหมาะสมที่สูง แต่ก็ยังมีตัวแปรอื่นที่อาจมีผลกระทบได้ (นอกเหนือจากปัญหามวลชน) เช่น ความต้องการใช้หินย่อยในบริเวณและราคาการซื้อขายหินย่อยในระยะยาว เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 การหาค่าผลรวมความเหมาะสมแหล่งดอยสะไง้ โดยการใช้ตัวประกอบย่อยทั้ง 3 กลุ่มหลัก ที่ระบุค่าตัวเลขตามเงื่อนไข (ตัวเลขการประเมินอิงจาก สง่า ตั้งชวาลและคณะ, 2543)

| ชื่อแหล่งหิน | กลุ่มทรัพยากรของพื้นที่ | | | กลุ่มสภาพทั่วไป | | | | | | กลุ่มลักษณะเฉพาะ | | | เลขผลรวมค่าความเหมาะสม |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ด้านกายภาพ | ด้านชีวภาพ | การใช้ประโยชน์ | แหล่งหิน | การใช้งานหิน | เศรษฐศาสตร์ชนิดหิน | ปริมาณสำรอง | ที่ตั้งโรงโม่ | เศรษฐศาสตร์โรงโม่ | รูปแบบเหมือง | รูปแบบโรงโม่ | การป้องกันผลกระทบ | |
| ดอยสะไง้ | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 4 | 3 | 2 | 4 | 3 | 3 | 39 |

2.2.2 การศึกษาเสถียรภาพมวลสารในพื้นที่การขุดเจาะ

ภายหลังจากการศึกษาตรวจสอบภูมิประเทศ เพื่อหาความเหมาะสมของสถานที่ตั้งแหล่งในบริเวณแล้ว ยังต้องมีการศึกษาทางด้านเสถียรภาพมวลสารของหน้างานขุดเจาะกับเสถียรภาพของพื้นที่ในแหล่ง โดยอาศัยข้อมูลทางธรณีวิทยาทั่วไป กับการตรวจวัดและทำการวิเคราะห์ผลจากตัวแปรที่มีโอกาสก่อให้เกิดการพังทลาย เช่น รอยเลื่อน รอยแตกแยกในมวลหิน เป็นต้น ทำให้ช่วยในการวางแผนหาแนวทางที่เหมาะสมในการเปิดหน้างานระเบิด ในการวางแนวทางขนส่งลำเลียง หิน (แร่) ภายหลังจากการระเบิด ด้วยความมั่นใจว่าจะไม่เกิดอุบัติเหตุหรืออันตรายใด ๆ ในระหว่างการปฏิบัติงานภาคสนาม

1. การศึกษาตัวประกอบที่ก่อให้เกิดความไม่มีเสถียรภาพ

เหมืองเปิดทั้งที่เป็นมวลหินเกือบทั้งหมด หรือเป็นชั้นดินหนาคลุมชั้นหิน มีโอกาสเกิดการพังทลายจากความลาดเอียง (slope) อันเป็นผลจากอิทธิพลของตัวประกอบหลักหลายชนิดในการก่อให้เกิดความไม่มีเสถียรภาพ ดังต่อไปนี้

ก. โครงสร้างทางธรณีวิทยาของมวลหินหน้าเหมือง

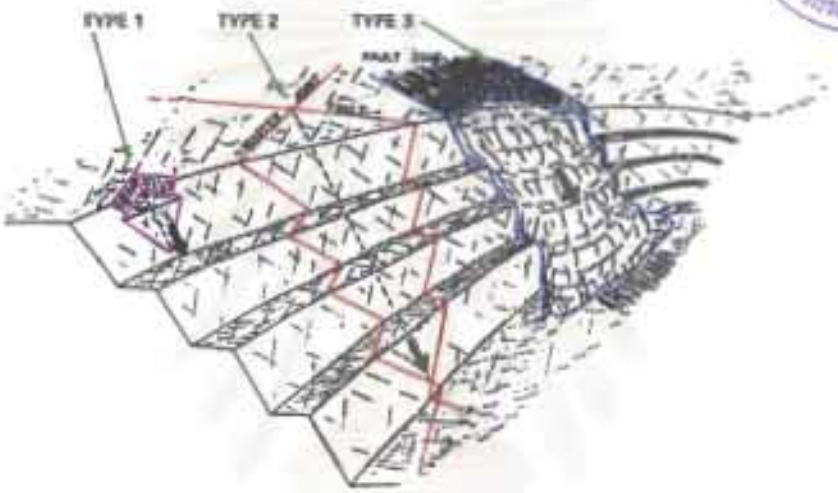
ถ้าหากมวลหินหน้างานระเบิดมีเนื้อแน่น (massive) โอกาสของการพังทลายจะมีสาเหตุมาจากการตัดหน้าเหมืองให้มุมลาดเอียง (slope angle) สูงชันเกินกว่าค่ามุมเสียดทานภายในของมวลสารเองเกิดความไม่สมดุลต่อมวลความลาดเอียงหน้าเหมือง มีผลทำให้เกิดการพังทลายได้จากน้ำหนักของมวลความลาดเอียงเอง

แต่ถ้าหากมีระนาบของรอยแตกแยกเกิดขึ้นในความลาดเอียง เช่น ระนาบรอยต่อระหว่างชั้นหิน (bedding plane) รอยแตกแยกตามธรรมชาติ (joint) รอยเลื่อน (fault) เป็นต้น โอกาสที่จะเกิดการพังทลายตามระนาบความไม่ต่อเนื่องในมวลหินเหล่านี้เป็นไปได้สูง หรือบางทีระนาบความไม่ต่อเนื่องตั้งแต่ 2 ระนาบตัดกัน ทำให้มวลหินมีการไถลเลื่อนตามแนวเส้นที่เกิดจากระนาบตัดกัน (line of intersection)

แนวทิศทางที่มีโอกาสเกิดการพังทลายนี้ มีชื่อเรียกหลายแบบ เช่นเรียกเป็นเขตเปราะบาง (weak zone) หรือพบเป็นแนวที่โผล่หรือปรากฏออกมา (daylights) ที่หน้าพื้นที่ลาดเอียง ดังภาพสเก็ตช์ในรูปที่ 2.6 หน้าถัดไปที่แสดงโอกาสของการพังทลายที่พบบ่อยในหน้าเหมืองเปิด เป็น 3 รูปแบบ

1) การพังทลายเฉพาะที่ ลักษณะของการพังทลายมักเกิดเฉพาะในการตัดตะพัก (bench) เดี่ยว การพังทลายอาจเกิดจากระนาบเปราะบางระนาบเดียว เช่น single joint plane หรือหลายระนาบรวมกัน (joint plane and tension crack) เมื่อมีแรงหรือโมเมนต์ที่เกิดจากมวลสารบนระนาบเปราะบางที่ก่อให้เกิดการเลื่อนไถลสูงกว่าแรงหรือโมเมนต์ที่ต้านการเลื่อนไถล ทำให้เกิดความไม่สมดุล และเกิด

การพังทลายเฉพาะที่ กรณีที่เกิดการพังทลายบนพื้นผิวระนาบเชิงเส้น เรียกว่า **plane failure** แต่ถ้าเกิดการพังทลายบนพื้นผิวระนาบเชิงวงกลม เรียกว่า **circular failure** หรือถ้าเกิดการพังทลายตามแนวเส้นที่เกิดจากระนาบตัดกัน ก็ได้มวลสารที่เกิดการพังทลายเป็นรูปลิ่ม เรียกว่า **wedge failure**




**รูปที่** 2.6 รูปแบบการพังทลายที่เกิดบ่อยในการเปิดหน้าเหมืองแบบขั้นบันได ที่พบบ่อยมี 3 รูปแบบ เกิดได้ทั้งบนตะพักเดี่ยวหรือบนหลายตะพัก

2) <u>การพังทลายขนาดใหญ่</u> ลักษณะของการพังทลายมักเกิดจากผลของระนาบความไม่ต่อเนื่องที่ตัดผ่านขั้นขั้นบันไดหลายตะพัก และในสภาวะที่เหมาะสม แนวระนาบของความไม่ต่อเนื่องที่มีตั้งแต่ 1 แนวขึ้นไปตัดกันเข้าไปมวลหินหน้างานขุดเจาะ ทำให้มวลหินมีโอกาสเกิดการพังทลายแบบรูปลิ่มไถลเลื่อนไถลตามเส้นที่เกิดจากระนาบตัดกัน ปกติการพังทลายขนาดใหญ่ มักตรวจสอบได้จากการวิเคราะห์ผลในอริเวณที่ครอบคลุมพื้นที่ค่อนข้างกว้างขวาง ทั้งนี้ในการตรวจสอบภาคสนามเฉพาะแหล่งไม่สามารถสังเกตได้ง่ายนัก

3) <u>การพังทลายตามเขตเปราะบาง</u> ลักษณะของการพังทลายมักเกิดตามแนวเขตที่มีเสถียรภาพต่ำ เช่น แนวรอยเลื่อน แนวเขตเปราะบางเป็นรอยแตกแยกชั้นหินมีการผุพังสูง

หรือแนวรอยร้าวด้านหลังเหมืองเปิดที่เป็นผลจากการระเบิดหินหน้างานไม่ดี การพังทลายแบบนี้เกิดบ่อยภายหลังที่เกิดฝนตกหนัก ระดับน้ำใต้ดินสูง มวลหินอิ่มตัวเลื่อนไถลได้ง่าย

ข) ตัวประกอบอื่นที่มีผลต่อเสถียรภาพ

น้ำกับความชื้นเป็นตัวประกอบหลักที่มีผลต่อเสถียรภาพของงานการขุดเจาะ เนื้อหินหรือเนื้อดินจะมีค่าคุณสมบัติเชิงกลศาสตร์แตกต่างกันอย่างมาก ระหว่าง หินที่แห้งและสด (dry fresh rock) กับหินที่มีของเหลว (น้ำ) ขัง หรือระหว่างหินที่สดกับหินที่ผ่านกระบวนการผุพังมาแล้ว

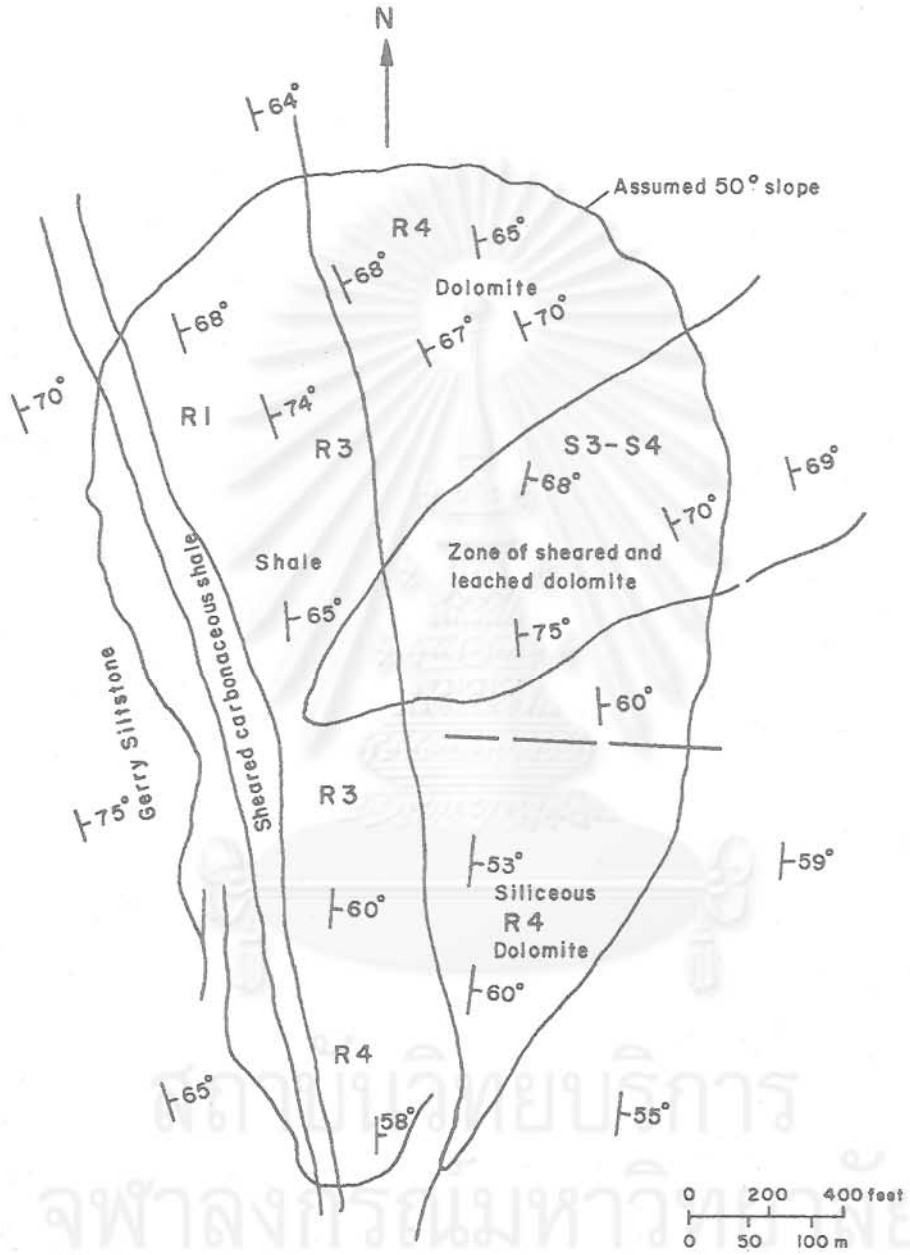
คุณสมบัติเชิงกลศาสตร์ที่มีผลต่อกำลังวัสดุและเสถียรภาพของมวลสาร ถ้าเป็นมวลดิน ได้แก่ ค่าโคฮีชัน (cohesion) กับมุมเสียดทานภายใน (angle of internal friction) แต่ถ้าเป็นมวลหิน ได้แก่ ค่ามุมเสียดทานภายใน โคฮีชัน กับกำลังวัสดุอัดแกนเดียว (uniaxial compressive strength)

2. แนวทางการบันทึกผลกับการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงธรณีวิทยาในพื้นที่

นอกจากมีการศึกษาสภาพภูมิประเทศกับเสถียรภาพหน้างานแล้ว การที่จะสามารถกำหนดแนวทางการวางแผนเปิดหน้างานขุดเจาะในพื้นที่ ในรูปแบบของ pit layout ได้จำเป็นต้องมีการบันทึกผลข้อมูลกับการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงธรณีวิทยาได้อย่างมีระบบ แล้วนำมาวิเคราะห์ผลลัพธ์เชิง 3 มิติ จนระบุหรือแยกบริเวณหน้างานขุดเจาะที่ต้องให้ความระมัดระวังหรือแก้ไข เช่น บริเวณเสี่ยงสูงที่ควรตัดมุมความลาดเอียงหน้างานให้มีความชันต่ำ หรือหลีกเลี่ยงบริเวณหน้างานขุดเจาะที่อาจเกิดอันตราย เมื่อมีการขนย้ายมวลหิน (แร่) ผ่านบริเวณนั้น เป็นต้น

ก. การตรวจวัดและบันทึกผลระนาบความไม่ต่อเนื่อง

ปกติการเปิดหน้าเหมือง มีการทำแผนที่ธรณีวิทยาเพื่อแสดงชนิดหินและโครงสร้างหินในพื้นที่อยู่แล้ว ตลอดจนการสำรวจในภาพรวมถึงระนาบรอยแตกแยกทั่วไปในบริเวณ ซึ่งมีชื่อเรียกว่า joint survey ตัวอย่างในรูปที่ 2.7 หน้าถัดไปเป็นภาพสเก็ตช์ที่คัดลอกมาจากหน้า 31 ของ Pit Slope Manual: Chapter 2 Structural Geology ที่จัดทำโดย Canada Centre for Mineral and Energy Technology (1977) ในรูปมีการแสดงการบันทึกผลค่าระนาบความไม่ต่อเนื่องไว้บนแผนที่ และยังได้แสดงขอบเขตหรือชนิดของหินในบริเวณ ข้อกำหนดเบื้องต้นของเหมืองเปิดแบบ pit นี้ ให้มุมลาดเอียงเท่ากับ 50 องศา แต่ปรับเปลี่ยนได้ แต่ในขั้นรายละเอียดจำเป็นต้องมีการทำการสำรวจแนวและมุมเอียงเทของระนาบความไม่ต่อเนื่องในหินใหม่อีก การสำรวจชนิดนี้ใช้ชื่อว่า discontinuity survey ซึ่งเป็นการตรวจวัดค่าระนาบความไม่ต่อเนื่องในพื้นที่ ที่ระบุ




รูปที่ 2.7 ภาพสเก็ตช์การทำแผนที่ Joint Survey เพื่อหาค่าการวางตัวของระนาบความไม่ต่อเนื่อง ในพื้นที่ที่ตั้งเหมืองหินเปิด

แนวตรงกำหนดเส้นสุ่มตัวอย่าง (sampling line) เพื่อวัดค่าการปรับเปลี่ยนของระนาบรอยแตกแยกในหินในแนวเส้นที่กำหนด

ข. <u>การวิเคราะห์ข้อมูลความไม่ต่อเนื่องในหิน</u>

การวิเคราะห์ข้อมูลความไม่ต่อเนื่องมีหลายแนวทาง เช่น ใช้วิธีการเชิงตัวเลข (numerical method) การสร้างเส้นชั้นความหนาแน่นของกลุ่มข้อมูล (contouring method) หรือการจัดกลุ่มข้อมูลตรวจวัดที่มีการกระจัดกระจายโดยการฉายภาพบนตรงกลม (spherical projection) ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกวิธีการหลังเป็นแนวทางวิเคราะห์ผลลัพธ์

หลักการวิเคราะห์กลุ่มข้อมูลที่เป็นค่าความไม่ต่อเนื่องในหินโดยการฉายภาพตรงกลมหรือมีชื่อเรียกกลุ่มข้อมูลชุดความไม่ต่อเนื่อง นี้ว่า cluster จุดประสงค์การวิเคราะห์เพื่อหาโอกาสความน่าจะเป็นของค่าการตรวจวัดระนาบที่มีค่าใกล้เคียงกัน ให้ถูกจัดให้อยู่ในเซตของระนาบความไม่ต่อเนื่องเดียวกัน จนสามารถระบุค่าเฉลี่ยของการปรับเปลี่ยนทิศทางการวางตัวของระนาบ (mean orientation of plane)

รูปที่ 2.8 ภาพถ่ายการตัดตะพักแบบขั้นบันได ในเหมืองเปิดหินปูนของบริษัทปูนซีเมนต์เอเชีย อำเภอพระพุทธบาท สระบุรี แสดงระนาบของ joints ที่ปรากฏ สัญลักษณ์ในภาพ / = set normal, $\lambda_s$ = assumed sampling line, $\delta$ = acute angle

รูปที่ 2.8 แสดงหน้าเหมืองเปิดหินปูนของบริษัทปูนซีเมนต์เอเชีย จำกัด (มหาชน) ในเขตอำเภอพระพุทธบาท สระบุรี ที่มีการกำหนดเส้นสุ่มตัวอย่าง (sampling line) กับแนวเส้นตั้งฉากของเซตกลุ่มตัวอย่าง (set normal) ขึ้น มุมระหว่างเส้นสุ่มตัวอย่างกับเส้นตั้งฉากของเซต เรียกว่า acute angle ซึ่งใช้ในการคำนวณค่าเฉลี่ยของระนาบความไม่ต่อเนื่องในเซต จากภาพถ่ายจะเห็นได้ว่า ไม่มีระนาบของ joint ใดในหน้าเหมืองหินปูนนี้ ที่มีค่าการวางตัวเหมือนกัน

ดังนั้นจึงต้องทำการประมาณค่าความไม่ต่อเนื่องหลายค่าในหนึ่งเซต เป็นค่าทิศทางที่อยู่ในเดียว (single direction) ซึ่งแนวทางที่ใช้ในการวิเคราะห์มีพื้นฐานมาจากงานวิจัยของ Fisher (1953), Watson (1966), Priest (1985, 1992) ส่วนรายละเอียดแนวทางการวิเคราะห์กับการหาค่าผลลัพธ์ มีระบุไว้ในรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ เรื่อง "ผลกระทบความไม่ต่อเนื่องในหิน ที่มีต่อการระเบิดและการสั่นสะเทือน" หน้า 20 - 53 (สง่า ตั้งชวาล และ ฉดับ ปัทมสูต, 2539)

ค. <u>การวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดเอียงในพื้นที่</u>

การวิเคราะห์เสถียรภาพมวลความลาดเอียงมีหลายแนวทางเช่นเดียวกัน ปัจจุบันนิยมใช้ 2 วิธีการ คือ วิธีการเชิงกำหนด (deterministic method) กับวิธีการเชิงความน่าจะเป็น (probabilistic method)

1) <u>วิธีการเชิงกำหนด</u>

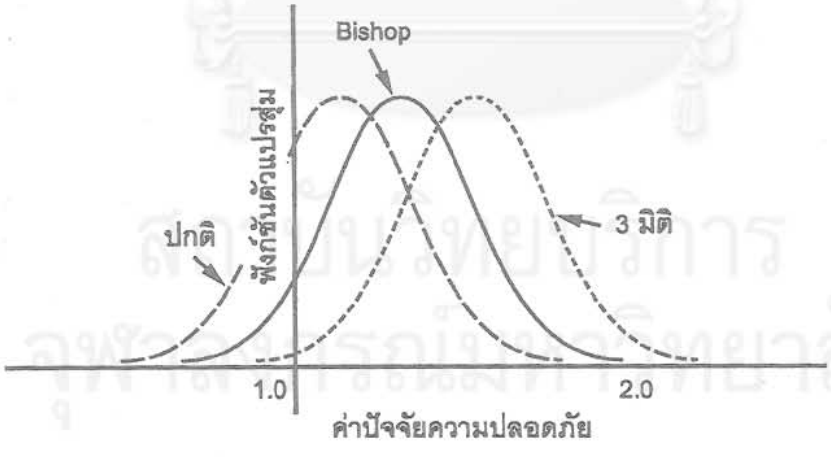
วิธีการนี้ใช้การหาค่าความสมดุลของแรงหรือโมเมนต์ ที่กระทำต่อมวลสารที่อยู่บนระนาบเปราะบางที่อาจเกิดการเคลื่อนตัว เนื่องจากแรงหรือโมเมนต์ของน้ำหนักมวลสารในส่วนที่ก่อให้เกิดเลื่อนไถลมีมากกว่าส่วนที่ต้านการเลื่อนไถล ค่าตัวเลขเชิงเสถียรภาพมีชื่อเรียกเฉพาะว่า ค่าปัจจัยของความปลอดภัย (factor of safety, FS) ปกติค่านี้เป็นค่าที่หาได้จากการคำนวณเทียบกับกำลังวัสดุ (เฉือน) ในมวลสาร เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างแรงหรือโมเมนต์ที่ต้านการพังทลาย ต่อ แรงหรือโมเมนต์ที่ก่อให้เกิดการพังทลาย

ความยากของการวิเคราะห์ของการหาค่าเสถียรภาพเชิงกำหนด ก็คือ ถ้าหากระนาบของพื้นผิวการพังทลายไม่ได้เป็นเส้นตรง แต่เป็นเส้นโค้งหรือเป็นเส้นหยัก แนวของการไถลเลื่อนตามระนาบจะถูกกำหนดมาอย่างสุ่ม อาจไม่ใช้พื้นผิวระนาบวิกฤตที่แท้จริง นอกจากนี้ค่าคุณสมบัติเชิงกลศาสตร์ของมวลหิน (ดิน) มีการระบุค่าคุณสมบัติแบบจุดเดียว (one point property) ซึ่งในภาคสนามยังมีความแปรผันสูงเพราะข้อมูลดิบบางค่าไม่สามารถหาค่าเฉลี่ยแบบสถิติธรรมดาได้ เช่น ระนาบเปราะบางหรือระนาบรอยเลื่อนต้องทำการหาค่ามุมกับแนวทิศทางของระนาบในเชิง 3 มิติ ตัวอย่างรูปที่ 2.9 หน้า 20 เป็นการแสดงผลลัพธ์การวิเคราะห์มวลความลาดเอียงที่เป็นมวลดิน ถ้าให้การพื้นผิวการ

พังทลายเป็นแบบวงกลม เมื่อเลือกแบบจำลองเชิงกำหนดของการวิเคราะห์ 3 แบบ ถึงแม้จะตั้งสมมุติฐานให้ข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์มีการแจกแจงค่าแบบปกติเหมือนกัน แต่จากการที่เลือกวิธีการวิเคราะห์ตามแนวทางที่แตกต่างกัน เมื่อนำค่าโอกาสการพังทลายที่เป็นตัวเลขเชิงเสถียรภาพ (ค่าปัจจัยความปลอดภัย) มาพล็อตเปรียบเทียบกัน จะได้เส้นโค้งความน่าจะเป็นที่แตกต่างกัน

การวิเคราะห์เสถียรภาพตามรูปแบบพื้นผิวของการพังทลาย ถ้าให้มวลความลาดเอียงเป็นดินที่มีค่าไคฮีชัน และรูปแบบการพังทลายคล้ายอาร์กวงกลม จากนั้นทดสอบใช้สูตรเชิงประสบการณ์ของการหาค่าปัจจัยความปลอดภัยตามข้อเสนอของแต่ละวิธี

ถ้าการวิเคราะห์เสถียรภาพใช้วิธีแบ่งส่วนแบบปกติ ค่า FS หาได้เท่ากับ 1.1 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.2 มีค่าโอกาสการพังทลาย 30 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อใช้วิธี Bishop ได้ค่า F.S. สูงขึ้นเป็น 1.3 แต่ค่าเชิงสถิติอื่นใกล้เคียงกัน โดยมีค่าโอกาสการพังทลายลดเหลือเพียง 7 เปอร์เซ็นต์ ทั้ง 2 วิธีดังกล่าว เป็นการหาค่าที่จุดสมดุลเชิง 2 มิติ ดังนั้นถ้าหากเลือกใช้แบบจำลองเชิง 3 มิติ ค่า F.S. จะสูงขึ้นถึง 1.6 ถึงแม้ว่าค่าเชิงสถิติอื่นใกล้เคียงกัน แต่ค่าโอกาสการพังทลายลดต่ำมาก แค่ 0.1 เปอร์เซ็นต์




รูปที่ 2.9 การเลือกวิธีวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงกำหนด ที่แตกต่างกัน 3 แบบ ได้แก่แนวทางปกติ แนวทางของ Bishop แนวทาง 3 มิติ (3-D) ทำให้ได้ค่าตัวเลขโอกาสการพังทลาย แตกต่างกันไป 3 รูปแบบ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



2) วิธีการเชิงความน่าจะเป็น

วิธีการนี้ใช้การศึกษาเชิงสถิติ จากข้อมูลภาคสนามกับความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ เพื่อหาค่าความน่าจะเป็นของการพังทลาย (probability of failure) ที่มีโอกาสจะเกิดขึ้น ดังนั้นเพื่อให้มีความมั่นใจในระบบจึงต้องมีการตรวจวัดความเชื่อได้ (reliability) ในระบบ ดังต่อไปนี้

ก) การตรวจวัดความเชื่อถือได้เชิงสถิติ

สิ่งแรกที่จะก่อให้เกิดความแน่ใจว่าระบบโครงสร้างมวลสารมีเสถียรภาพสูงเพียงพอ ได้แก่ การตรวจวัดความเชื่อถือได้ (measure of reliability) ซึ่งเป็นการหาค่าปัจจัยความปลอดภัยของระบบ กำหนดให้ FS เป็นค่าปัจจัยความปลอดภัยในเชิงอนุรักษ์ ค่า R เป็นค่าระบุ (nominal value) ความเค้นสูงสุดในมวลสารที่ต้านการพังทลาย ส่วนค่า Q เป็นความเค้นระบุที่เกิดเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก (load) ที่กระทำมีผลให้เกิดการพังทลาย จะได้ความสัมพันธ์คือ

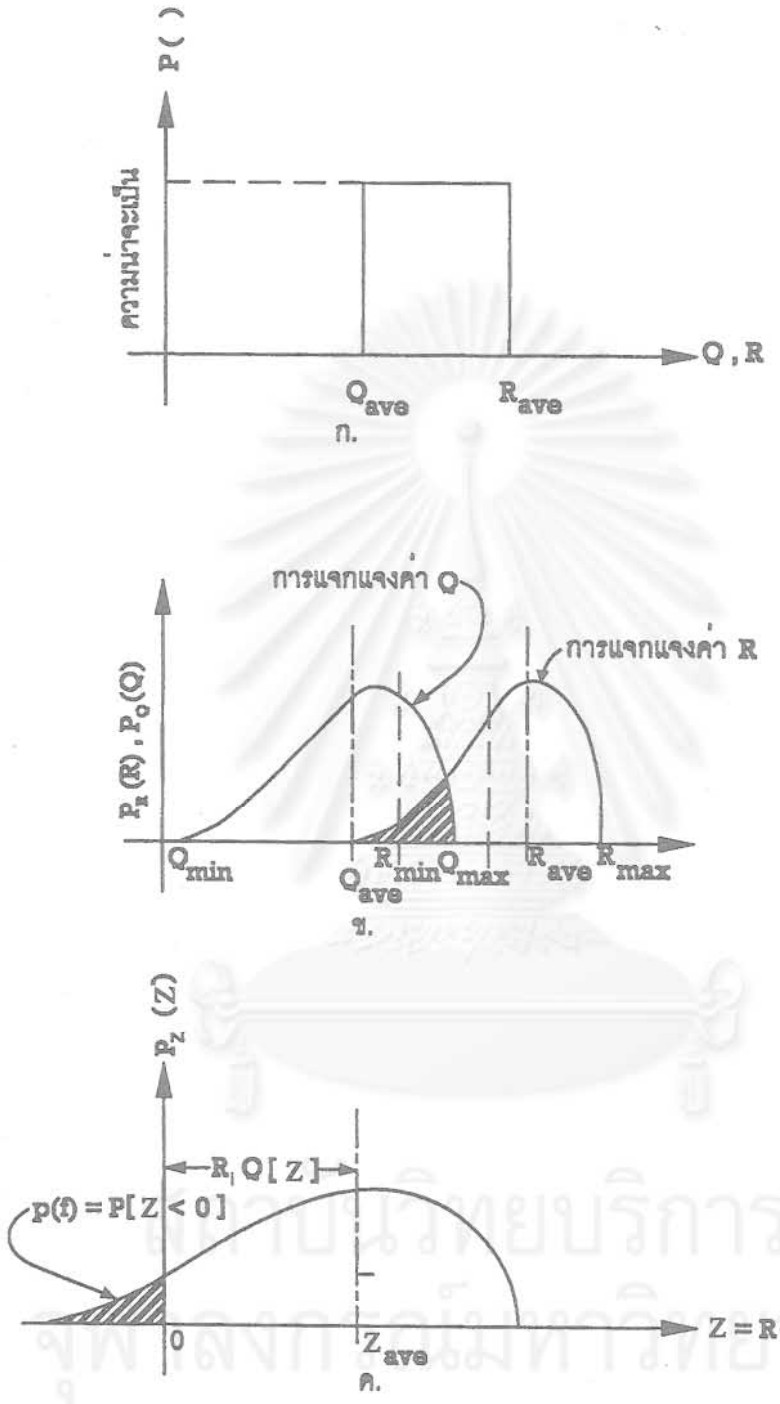
$$FS = \frac{R}{Q} \qquad (2.1)$$

สมมุติให้ค่า R เป็นความเค้นที่ต้านการพังทลาย 400 เมกะพาสคัล และค่า Q เป็นความเค้นที่ก่อให้เกิดการพังทลาย 250 เมกะพาสคัล ซึ่งจะคำนวณได้ค่าปัจจัยความปลอดภัยเชิงอนุรักษ์จะได้ค่า เท่ากับ 1.6 ค่าตัวเลขนี้อาจก่อให้เกิดปัญหาว่าสมควรจะทำการคำนวณใหม่อีก เนื่องจากผู้ออกแบบมีประสบการณ์ว่าเป็นตัวเลขดังกล่าวค่อนข้างสูงเกินไปในเชิงปฏิบัติงานจริง (Hoek and Bray, 1981 เสนอแนะให้ FS ประมาณ 1.3)

ฟังก์ชันที่ก่อให้เกิดความไม่มีเสถียรภาพของระบบมีองค์ประกอบหลายสาเหตุ เช่น อาจเกิดจากความเร่งเนื่องจากแผ่นดินไหว ระดับของน้ำบาดาล แรงบรรทุกเชิงพลศาสตร์ สิ่งที่ยกตัวอย่างมานี้เป็นสาเหตุเนื่องจากอิทธิพลภายนอก ยังมีสาเหตุเนื่องจากองค์ประกอบภายในอีก เช่น การแปรปรวนของค่าคุณสมบัติ การเกิดระนาบความไม่ต่อเนื่องในมวลสาร ความคลาดเคลื่อนในระหว่างการทดสอบวัสดุ เป็นต้น

ในสภาพที่แท้จริงแบบจำลองที่ให้ความน่าเชื่อถือ (หรือความไว้ใจได้) เกิน 99 % เป็นสิ่งที่กระทำได้ยากมากเพราะต้องการใช้การเฝ้าสังเกตการณ์สมรรถนะของโครงสร้างที่มีรูปแบบคล้ายคลึงกัน ตั้งแต่ 100 ตัวอย่างหรือมากกว่า

รูปที่ 2.10 หน้าที่ 22 เป็นภาพสเก็ตช์ที่แสดงรูปแบบความสัมพันธ์ของฟังก์ชันการแจกแจงค่าเชิงความน่าจะเป็น (probability distribution) ในรูปที่ 2.10 ก. เป็นการแสดงสมมุติฐานของการคำนวณค่าปัจจัยความปลอดภัยเชิงอนุรักษ์ ต่อมาในรูปที่ 2.10 ข. แสดงแบบจำลองอัตราส่วนของน้ำหนักบรรทุก (load) ที่ก่อให้เกิดการพังทลาย




รูปที่ 2.10 การตรวจวัดความเชื่อถือได้ของระบบทั่วไป

ก. ค่าความปลอดภัยเชิงอนุรักษ์

ข. แบบจำลองของ ความต้านทาน / น้ำหนักบรรทุก

ค. ขอบความปลอดภัยกับดัชนีความน่าเชื่อถือ

กับกำลังความสามารถในมวลหรือความต้านทาน (resistance) ซึ่งเป็นในรูปแบบฟังก์ชันความน่าจะเป็น ส่วนในรูปที่ 2.10 ค. เป็นการแสดงความสัมพันธ์เชิงความน่าจะเป็นระหว่างค่าฟังก์ชันขอบของความปลอดภัย (safety margin) กับค่าดัชนีความน่าเชื่อถือ (reliability index)

วิธีการที่สะดวกในการประเมินโอกาสของความน่าจะเป็นก็คือ การหาค่าของความแตกต่างระหว่างฟังก์ชันของความต้านทานหรือ resistance กับฟังก์ชันของน้ำหนักบรรทุกหรือ load

$$SM = R - Q \qquad (2.2)$$

ค่า SM เป็นขอบความปลอดภัย (safety margin) และค่า R และ Q เป็นตัวแปรสุ่มของความต้านทานกับน้ำหนักบรรทุกตามลำดับ ในเชิงสถิติการเกิดการพังทลายจะเป็นไปได้เมื่อค่าของ SM น้อยกว่า 0 (ศูนย์)

ข) <u>ดัชนีความเชื่อถือได้และสัมประสิทธิ์การแปรผัน</u>

การตรวจสอบอีกวิธีหนึ่งได้แก่ การหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ (reliability index) หรือใช้พจน์ตัวแปรเป็น $R_i$ กำหนดให้ $SM_{ave}$ เป็นค่าเฉลี่ยของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับ $\sigma[SM]$ เป็นจำนวนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขอบความปลอดภัย

$$R_i = \frac{SM_{ave}}{\sigma[SM]} \qquad (2.3)$$

ค่าตัวเลขดัชนีความเชื่อถือได้นี้ เป็นส่วนกลับของค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของขอบความปลอดภัย หรือใช้สัญลักษณ์เป็น $V[SM]$ เขียนเป็นสมการ

$$R_i = \frac{1}{V[SM]} \qquad (2.4)$$

ค) <u>การหาค่าของความน่าจะเป็นเพื่อหาโอกาสการพังทลาย</u>

ถ้าให้ $p(f)$ เป็นฟังก์ชันของการพังทลาย และ P เป็นโอกาสของความน่าจะเป็นสามารถเขียนความสัมพันธ์เป็น

$$p(f) = P[(R - Q) \leq 0] = P[SM \leq 0] \qquad (2.5)$$

จากรูปที่ 2.10 ข. กับรูปที่ 2.10 ค. ถ้าหากฟังก์ชันที่หาค่าความน่าจะเป็น คือ เส้นโค้งการแจกแจงปกติ ค่าของฟังก์ชันการพังทลาย [p (f)] เป็น

$$p(f) = 1 - F\left[R_{ave} - Q_{ave}\right] / \left[\{\sigma_R\}^2 + \{\sigma_Q\}^2\right]^{1/2} \quad (2.6)$$

ค่า $\sigma_R$ กับ $\sigma_Q$ เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ resistance กับ load ตามลำดับ เมื่อสมมุติให้ฟังก์ชันของตัวแปรสุ่มเป็นแบบเส้นโค้งการแจกแจงปกติ ส่วนค่า F ( ) เป็นฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (cumulative distribution function) การที่จะหาค่า p (f) นี้ขึ้นอยู่กับชนิดรูปร่างของเส้นโค้งของตัวแปรสุ่ม ดังตาราง 2.2 ข้างล่าง ที่คัดลอกจาก หน้าที่ 86 ตำราของ Lee et al. (1983)

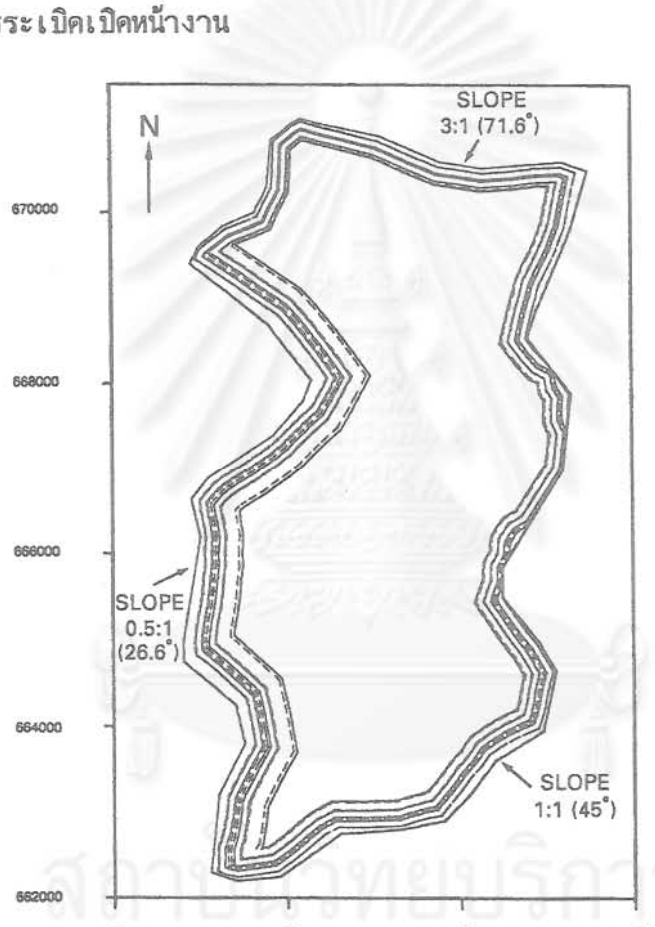
ตารางที่ 2.2 ผลเฉลยของฟังก์ชันการพังทลายในกรณีที่ตัวแปรสุ่มมีการแจกแจงค่าตามรูปแบบของเส้นโค้งต่าง ๆ

| รูปแบบการแจกแจงความน่าจะเป็น | โอกาสการพังทลาย p(f) |
|---|---|
| เอกรูป (uniform) | $\frac{1}{2}\left[\frac{Q_{max} - 2R_{min} + Q_{min}}{R_{max} - R_{min}}\right]$ |
| ปกติ (normal) | $1 - F\left(\frac{R_{ave} - Q_{ave}}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_Q^2}}\right)$ |
| ลอการิทึมปกติ (log-normal) | $1 - F\left(\frac{\ln\left[\left(\frac{R_{ave}}{Q_{ave}}\right)\sqrt{\frac{1+V_Q^2}{1+V_R^2}}\right]}{\sqrt{\ln(1+V_Q^2)(1+V_R^2)}}\right)$ |
| เลขชี้กำลัง (exponential) | $\frac{\alpha_Q}{\alpha_R - \alpha_Q}$ |
| เบตา (Beta) | $\int_{Q_{min}}^{Q_{max}}\left[\int_{R_{min}}^{Q}[g_R(Q)dQ]\right][g_Q(Q)]\,dQ$ |

<u>หมายเหตุ</u> การหาค่าฟังก์ชันของ $\beta$ (เบตา) จำเป็นต้องการหาปริพันธ์เชิงตัวเลข (numerical integration)

## 2.3 การออกแบบผังงานสำหรับการขุดเจาะทั้งบริเวณ

เมื่อทำการสำรวจเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ผล (exploration) จนได้ข้อมูลเพียงพอทั้งด้านธรณีเทคนิค ธรณีวิทยาของแหล่งหินหรือแหล่งแร่ ปริมาณน้ำบนพื้นผิวและระดับน้ำบาดาล และอัตราส่วนปริมาตรของ ดิน (หิน) ต่อ สินแร่ (stripping ratio) ก็ทำให้สามารถออกแบบขอบเขตจำกัดของบ่อเหมืองเปิด (pit limit) สำหรับพื้นที่งานขุดเจาะทั้งในส่วนที่ทำการตักขุดมวลสารได้ด้วยเครื่องจักรกล หรือในส่วนที่เป็นหินแข็งหรือที่ต้องทำการระเบิดเปิดหน้างาน

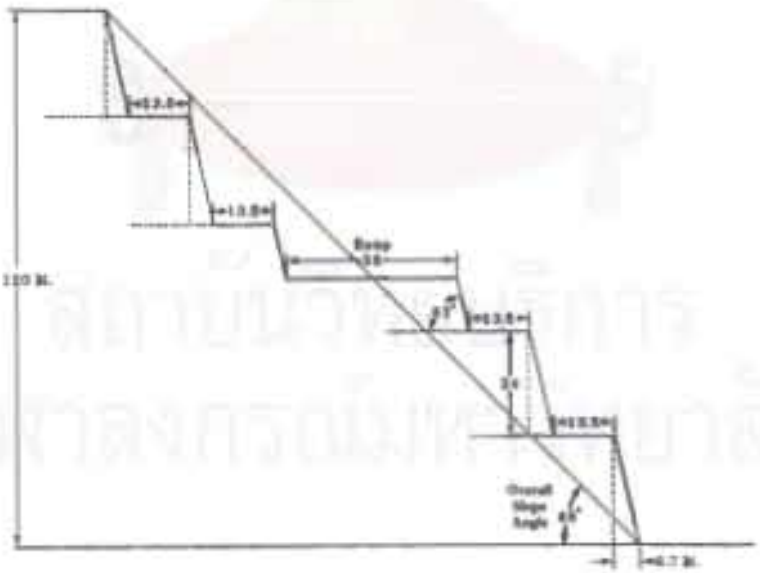



รูปที่ 2.11 รูปแบบของผังหน้างานขุดเจาะของบ่อเหมืองเปิด ในผังนี้เน้นเรื่องเสถียรภาพหน้างาน โดยมีการกำหนดค่ามุมของความลาดเอียง หรือค่าสัดส่วนของระยะในแนวดิ่งต่อระยะในแนวราบ ไว้บนผังแต่ละส่วนของบ่อเหมืองเปิด [คัดลอกจาก หน้า 613, Vol. 1.1, SME Mining Engineering Handbook: 2nd Edition (1992)]

ในกรณีที่เป็นเหมืองเปิดเพื่อผลิตแร่ ลักษณะของรูปร่างหรือขอบเขตของมวลสินแร่ (ore body) ควรมีระบุขอบเขตไว้บนแผนที่ผังของบ่อเหมืองเปิดด้วย

ตัวอย่างการออกแบบผังบ่อเหมืองเหมืองเปิด ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.11 หน้า 25 ซึ่งเป็นผังบ่อเหมืองเปิดสุดท้าย (final pit layout) โดยที่การออกแบบเน้นเรื่องเสถียรภาพหน้างาน กับความคุ้มทุนในการตัดความลาดแต่ละตะพักของขั้นบันได ค่ามุมที่ระบุบนส่วนย่อยของผังบ่อเหมืองเปิดแสดงในรูปที่ 2.11 เป็นค่ามุมความลาดเอียงโดยรวม (overall slope angle) ดังนั้นในการปฏิบัติงานจริงก็จำเป็นต้องปรับ ตัดหรือ ระเบิดมวลหิน (ดิน) หน้างานเพื่อการทำลาดแบบขั้นบันได ให้ได้ค่ามุมลาดเอียงแต่ละหน้างาน (slope face angle) ในตะพักย่อยของเหมืองเปิดแบบขั้นบันได ค่าระยะของความกว้างตะพักขั้นบันได (bench width) กับค่าระยะความกว้างคันทาง (berm width) ในตะพักย่อย ให้มีความสัมพันธ์กันทั้งจำนวนตะพักย่อย เส้นทางลาด (ramp) ที่เชื่อมต่อขั้นขั้นบันได และระดับความลึกในแนวดิ่งของหน้างานที่ต้องการขุดเจาะในบริเวณนั้น

ตัวอย่างข้างล่างนี้ เป็นผลลัพธ์จากการคำนวณ เมื่อกำหนดค่ามุมของความลาดเอียงทั้งหมด เท่ากับ 45° (slope 1:1) แสดงการตัดเหมืองเปิดแบบขั้นบันไดออกได้เป็น 6 ตะพัก (ตะพักขั้นบันไดปกติ 4 ตะพัก และมีตะพักขั้นบันไดที่ใช้งานปัจจุบันหรือ working bench 1 ตะพัก มีทางลาดหรือ ramp 1 เส้น) กำหนดความสูงในแนวดิ่งทั้งหมดของหน้างานขุดเจาะบ่อเหมืองเปิด เท่ากับ 120 เมตร

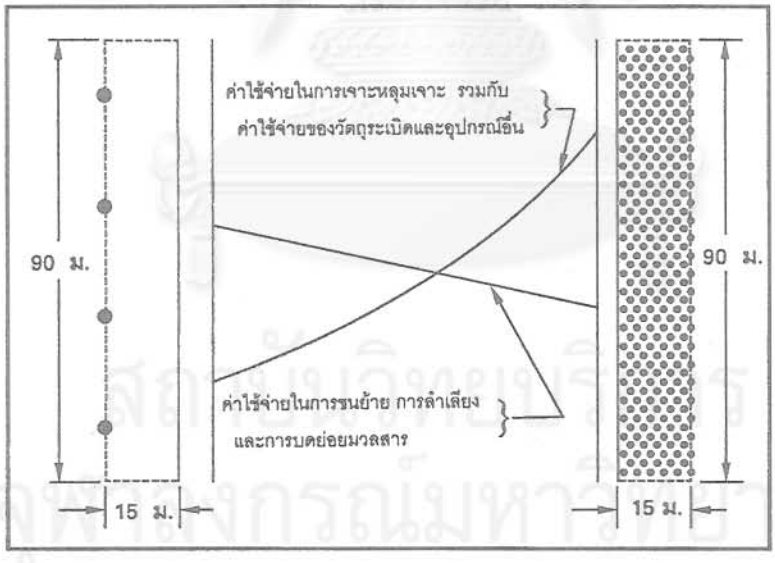


รูปที่ 2.12 การออกแบบหน้างานขุดเจาะที่มีความสูงทั้งหมด 120 เมตร ค่ามุมของความลาดเอียงทั้งหมด 45° กำหนดให้มีจำนวนตะพักขั้นบันได 6 ตะพัก เป็นตะพักปกติ 4 ตะพัก ที่เหลือเป็นตะพักที่ใช้งานปัจจุบันกับตะพักทางลาด

## 2.4 การจัดระบบเพื่อการใช้วัตถุระเบิดอย่างเหมาะสม

การดำเนินงานเปิดหน้างานโดยการระเบิดหิน การใช้วัตถุระเบิดระเบิดอย่างเหมาะสมมีส่วนลดค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานมาก ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องโดยตรงมี 2 รายการหลัก ค่าใช้จ่ายหลักประการแรก เป็นค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการเจาะกับการใช้วัตถุระเบิด ค่าใช้จ่ายหลักประการที่สองเป็นค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการใช้เครื่องจักรกลปรับแต่งหน้างานระเบิดระหว่างก่อนการเจาะและภายหลังการระเบิดควบคู่กับการลำเลียงและขนย้ายหินที่แตกหักไปยังโรงไม่บดย่อยหินให้ได้ขนาดเหมาะกับการใช้งาน และในกรณีที่มีการนำหินไปบดย่อยจะมีค่าใช้จ่ายในการไม่บดย่อยหินเพิ่มขึ้นด้วย

ในการพัฒนาหน้าเหมืองหินโดยการเจาะระเบิด ถ้าหากผู้ปฏิบัติงานมีความอิสระในการเลือกอุปกรณ์การเจาะระเบิดอย่างเสรี ก็สามารถเลือกขนาดของหลุมเจาะที่เหมาะสมพอดี เมื่อคำนึงค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกี่ยวข้อง ตัวอย่างหนึ่งที่ทาง U.S. Bureau of Mines ได้ทำการศึกษาไว้ในรายงาน Information Circular No. 8925 (1983) ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบหาความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายทั้งระบบ จากรูปที่ 2.13 ข้างล่าง ต้องการทำการเจาะให้มีพื้นที่หน้าตัดของผังหน้าระเบิด เท่ากับ 1,350 ตร.ม.




รูปที่ 2.13 การวิเคราะห์เบื้องต้นในการหาขนาดหลุมเจาะที่เหมาะสม

กำหนดให้ผู้ปฏิบัติงานมีทางเลือก 2 แนวทาง ได้แก่ การเลือกใช้หลุมเจาะที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่ 500 มิลลิเมตร (20 นิ้ว) หรือเลือกหลุมเจาะที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก 50 มิลลิเมตร (2 นิ้ว)

เมื่อทดลองปรับตำแหน่งหลุมเจาะบนพื้นที่หน้าตัดที่กำหนด ถ้าเลือกหลุมเจาะที่มีขนาดใหญ่ทำให้ต้องการเจาะ 4 หลุม แต่ถ้าหากต้องใช้หลุมเจาะขนาดเล็ก ทำให้ต้องใช้หลุมเจาะเป็นจำนวนถึง 400 หลุม ทางคณะผู้วิจัยของ U.S. Bureau of Mines กำหนดให้ความลึกของหลุมเจาะมีค่าปกติ ระหว่าง 10-15 เมตร ทั้งในการเจาะรูขนาดใหญ่หรือในการเจาะรูขนาดเล็กทดลอง ภายหลังตรวจสอบค่าใช้จ่ายแล้วทำการเปรียบเทียบทางเลือกทั้งสองแนวทาง ปรากฏว่าได้ผลลัพธ์ ดังนี้

ก. <u>แนวทางแรก</u> เมื่อใช้หลุมเจาะขนาดใหญ่ ค่าใช้จ่ายในการเจาะและใช้วัตถุระเบิดกับอุปกรณ์เสริมในการระเบิดหิน มีค่าต่ำกว่าค่าใช้จ่ายในแนวทางที่สองที่เลือกใช้หลุมเจาะขนาดเล็ก เพราะใช้จำนวนหลุมเจาะน้อย การอัดวัตถุระเบิดก็น้อยตามไปด้วย

สำหรับค่าใช้จ่ายในการลำเลียงขนส่งไปยังโรงไม่ กับค่าใช้จ่ายในการบดย่อยหินให้ได้ขนาดพอดีใช้งาน มีค่าใช้จ่ายสูงกว่าในแนวทางที่สอง เพราะหินที่แตกหักมีก้อนขนาดใหญ่เนื่องจากรูเจาะอยู่ห่างกัน การตักหินใส่รถบรรทุกทำได้ยาก บางทีขนาดก้อนใหญ่เกินไปที่จะตักด้วยปุ้งกี๋รถตักได้ หรือเสียเวลาในการทำให้หินแตกเป็นก้อนเล็กก่อนผ่านปากไม่

ก. <u>แนวทางที่สอง</u> เมื่อใช้หลุมเจาะขนาดเล็ก ค่าใช้จ่ายในการเจาะและใช้วัตถุระเบิดกับอุปกรณ์เสริมในการระเบิดหิน มีค่าสูงกว่าแนวทางแรก หลุมเจาะมีขนาดเล็กทำให้เสียเวลาเจาะหลุมหลายหลุมและการอัดวัตถุระเบิดก็มากตามไปด้วย

สำหรับค่าใช้จ่ายในการลำเลียงขนส่งไปยังโรงไม่ กับค่าใช้จ่ายในการบดย่อยหินให้ได้ขนาดพอดีใช้งาน มีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าในแนวทางแรก เพราะการใช้หลุมเจาะขนาดเล็กหินที่แตกหักมีก้อนขนาดเล็กโอกาสที่จะต้องระเบิดซ้ำหรือใช้ breaker กระแทกเพื่อให้หินแตกหักพอดีกับการตักด้วยปุ้งกี๋มีน้อย การบดย่อยในโรงไม่ก็ใช้ขั้นตอนไม่มาก

ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับค่าใช้จ่ายทั้งสองแนวทาง ปรากฏว่าเมื่อหาจุดตัดของเส้นกราฟในรูปที่ 2.13 แล้วทดลองแทนตัวเลขค่าใช้จ่ายดังกล่าว หาผลลัพธ์ขนาดของหลุมเจาะได้ค่าพิสัยระหว่าง 150-200 มิลลิเมตร (6-8 นิ้ว)

การระเบิดหินแบบขั้นบันไดในประเทศไทย พบว่า เหมืองหินเปิดขนาดใหญ่ที่มีการผลิตหินเพื่องานอุตสาหกรรมซีเมนต์ มีการระเบิดเพื่อให้ได้ปริมาตรหินไม่ต่ำกว่า ครั้งละ 30,000 ลบ.ม. และระดับความสูงหน้าเหมือง 15 เมตร มีการเลือกใช้ขนาดหลุมเจาะเท่ากับ 7.875 นิ้ว (200 มม.) เป็นส่วนใหญ่ สอดคล้องกับค่าผลลัพธ์เชิงค่าใช้จ่าย

## 2.5 <u>การจัดระบบเพื่อการใช้วัตถุระเบิดโดยคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม</u>

การดำเนินงานเปิดหน้างานโดยการระเบิดหิน ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งหมดอยู่ 5 ประการ ได้แก่ การสั่นสะเทือนของอนุภาคบนพื้นผิวดิน ความดันเสียงดังที่

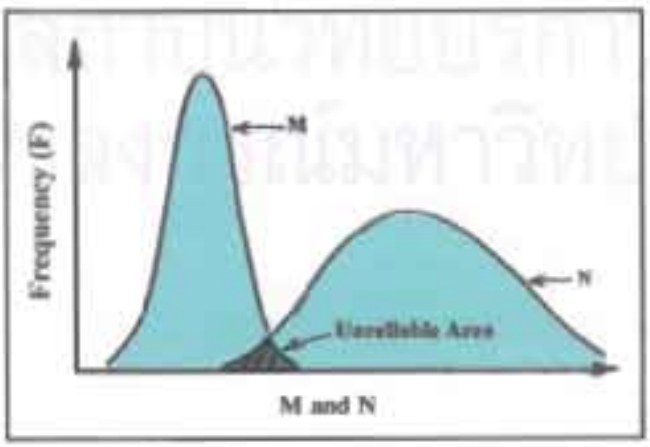
เส้นผ่าศูนย์กลาง หินที่ปลิวกระเด็นจากหน้าเหมือง ควันพิษในขณะทำการระเบิด ฝุ่นที่เกิดจากการระเบิดและขณะขนส่งลำเลียงหิน

ส่วนใหญ่ผลกระทบดังกล่าว จัดเป็นตัวแปรเชิงสิ่งแวดล้อมที่มนุษย์สามารถควบคุมได้โดยการออกแบบ ดัดแปลง หรือปรับปรุงพัฒนาหน้างานขุดเจาะ เช่นกำหนดให้ทิศทางหน้าระเบิดเลี่ยงจากที่ตั้งชุมชน ปรับส่วนของสารผสมระเบิดระหว่างแอมโมเนียมไนเตรตกับน้ำมันดีเซลให้เหมาะสม เลือกมุมหน้าระเบิดที่เหมาะสมกับรูปแบบเชิงเรขาคณิตของวัตถุระเบิดที่ใช้ ใช้แก๊ปไฟฟ้าล่วงจังหวะในการระเบิดทุกครั้ง ไม่ทำการระเบิดในขณะที่มีลมพัดแรงหรือครึ้มฝ้าครึ้มฝน ใช้เส้นทางลำเลียงขนส่งที่ไม่ผ่านหมู่บ้านชุมชน และทำการพรมน้ำเป็นช่วงเวลาเพื่อป้องกันการกระจัดกระจายของฝุ่น

## 2.0 การประเมินผลและจัดระบบข้อมูล

การประเมินผลของระบบไม่ว่าจะเน้นในประเด็น ความปลอดภัยจากการใช้วัตถุระเบิด ความมีเสถียรภาพตรงหน้างานขุดเจาะ ความเสี่ยงในการลงทุน และโอกาสความน่าจะเป็นในการควบคุมผลกระทบ มีการประเมินผลได้หลายรูปแบบ สำหรับสิ่งที่ได้วางแผนไว้ในระดับปฏิบัติการนี้ คาดว่าค่าตัวแปรของข้อมูลดิบภาคสนามจะถูกนำมาทำการประเมินในลักษณะใช้เป็นค่าระดับขั้นความเชื่อถือได้ (reliability) ของระบบการขุดเจาะ

ตัวอย่างของการวิเคราะห์เชิงความเชื่อถือได้นี้ สมมุติให้ตัวแปรที่เป็นข้อมูลดิบในระบบเป็นตัวแปรสุ่ม (random variables) ในระบบที่ง่าย ให้มีตัวแปรสุ่มเพียง 2 ค่า กำหนดให้เป็นค่า M กับค่า N หรือในเรื่องของผลกระทบเชิงสิ่งแวดล้อมในเรื่องการสั่นสะเทือนของพื้นผิวดิน ตัวแปร M อาจเป็นค่าความเร็วอนุภาคสูงสุด (peak particle velocity) และตัวแปร N อาจเป็นค่าความถี่ (frequency) ของคลื่นระเบิด



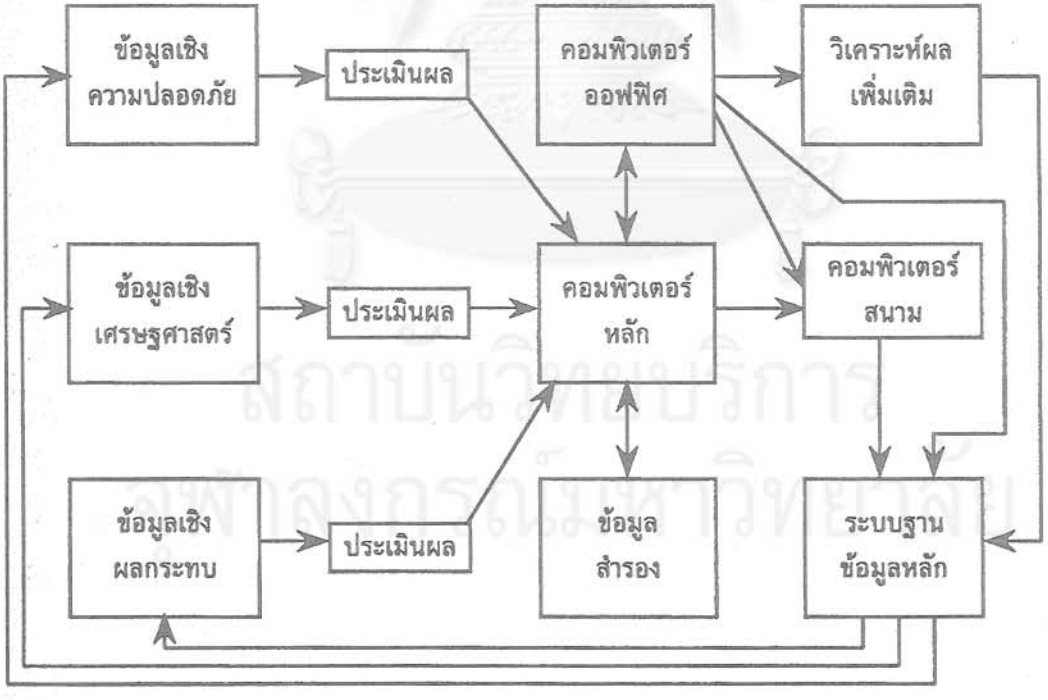

รูปที่ 2.14 การหาพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดความไม่ปลอดภัยเชิงผลกระทบสิ่งแวดล้อม

เมื่อตั้งสมมุติฐานตัวแปรสุ่ม M มีการแจกแจงค่าแบบลอการิทึมปกติ (lognormal) แต่ตัวแปรสุ่ม N มีการแจกแจงค่าแบบปกติ (normal) ถ้านำค่าฟังก์ชันเชิงความถี่ที่เกิดขึ้นของตัวแปรทั้งสองมาพล็อตค่า ดังรูปที่ 2.14 หน้า 29 ทำให้ได้พื้นที่ที่มีโอกาสที่จะเกิดความไม่ปลอดภัยในการดำเนินงาน ซึ่งเป็นพื้นที่เฉพาะที่เกิดจากเส้นกราฟทั้งสองตัดกัน เรียกว่า พื้นที่ความไม่น่าเชื่อถือ (unreliable area)

หลักการสำคัญอีกประการหนึ่ง ในเรื่องการวางแผนการจัดการ ได้แก่ การจัดระบบของข้อมูลที่ได้จากการสอบถาม หรือได้จากการตรวจสอบภาคสนาม ลงเป็นระบบฐานข้อมูล (database system) ของงานวิจัยโครงการนี้

ตัวอย่างกระบวนการที่เตรียมดำเนินการเพื่อจัดระบบของข้อมูลนี้ ได้ดัดแปลงมาจากตำราเรื่อง Reliability, Safety and Risk Management (Cox and Tait, 1993) ที่ใช้การแบ่งประเภทข้อมูลที่บันทึกได้เป็นแหล่ง (data source) จากนั้นจึงทำการเก็บบันทึกไว้ในคลังข้อมูล (data bank) ของคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูล

ผังภูมิที่แสดงในรูปที่ 2.15 ข้างล่างเป็นการแบ่งข้อมูลของระบบตามแหล่งที่ต้องการศึกษา แยกออกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกเป็นเรื่องความปลอดภัย ส่วนที่สองเป็นเรื่องการบริหารค่าใช้จ่าย ส่วนที่สามเป็นเรื่องการป้องกันผลกระทบ




รูปที่ 2.15 ผังภูมิแสดงขั้นตอนของการทำงานจัดเก็บข้อมูลดิบเป็นระบบเข้าไปในฐานข้อมูล การค้นคืนข้อมูล กับการวนซ้ำแผนการจัดการระบบ

ข้อมูลที่แยกประเภทศึกษาทั้งสามส่วนจะมีการประเมินผลเสียก่อน โดยมีการเปลี่ยนข้อมูลเชิงคุณภาพ (quality) เป็นข้อมูลเชิงปริมาณ (quantity) ก่อนที่จะผ่านเข้าไปในจานบันทึกแบบแข็ง (hard disk) ของระบบฐานข้อมูลคอมพิวเตอร์ตัวหลัก และในขณะเดียวกันข้อมูลเชิงปริมาณที่แยกตามส่วนการศึกษา จะถูกสำรองเก็บไฟล์ไว้ในแผ่นซีดี

ในการนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพิ่มเติมหรือแยกเป็นส่วนของรายงาน จะมีการค้นคืน (retrieve) ข้อมูลที่บรรจุในฐานข้อมูลผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ปฏิบัติการ เครื่องใดเครื่องหนึ่งในจำนวน 2 เครื่อง โดยที่เครื่องแรกเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ปฏิบัติงานในออฟฟิศ จอขนาด 17 นิ้ว ส่วนเครื่องที่สองเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดสมุดพกใช้ปฏิบัติงานในภาคสนาม จอขนาด 13 นิ้ว

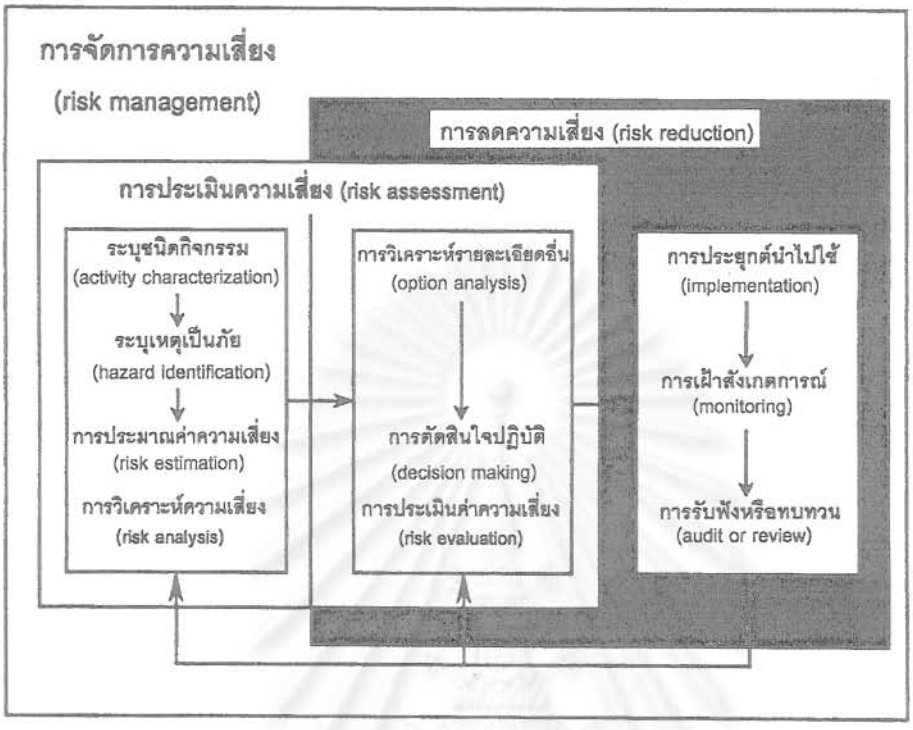
ถ้าหากมีข้อมูลดิบภาคสนามเพิ่มเติม ก็สามารถจะจัดประเภทข้อมูลดิบแยกวนซ้ำ (loop) เป็นส่วน ๆ ของประเภทการศึกษา ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ปฏิบัติงานปกติ หรือคอมพิวเตอร์ภาคสนาม และทำการปฏิบัติการวนซ้ำแปลงข้อมูลดิบเชิงคุณภาพให้เป็นข้อมูลดิบเชิงปริมาณต่อไป

## 2.7 แนวทางในการบริหารเชิงความเสี่ยงของโครงการ

ในการปฏิบัติงานจริงในทุกโครงการ จำเป็นต้องมีการบริหารเชิงความเสี่ยงเกิดขึ้น คำศัพท์ที่เรียกว่า การบริหารความเสี่ยง (risk management) มีความหมายควบคุมถึงกระบวนการต่าง ๆ หลายขั้นตอนในระบบ ได้แก่ การระบุประเภทความเสี่ยง (risk identification) การประมาณความเสี่ยง (risk estimation) การประเมินค่าความเสี่ยง (risk evaluation) การลดความเสี่ยง (risk reduction) และการควบคุมความเสี่ยง (risk control) เป็นต้น

รายละเอียดของขั้นตอนในการบริหารความเสี่ยงทั้งระบบ ได้ระบุไว้ในรูปที่ 2.16 หน้าถัดไป วิธีการบริหารงานในเชิงความเสี่ยงจำเป็นต้องวิเคราะห์ผลเฉพาะเรื่อง ดังนั้นจึงควรหาค่ากับรวบรวมผลลัพธ์ต่าง ๆ ในกระบวนการที่มีอยู่หลายแนวทางของทั้งระบบตั้งแต่การระบุความน่าเชื่อถือได้ ประเมินค่าของโอกาสความเสี่ยง จนถึงการควบคุมผลกระทบที่เกิดจากการปฏิบัติงาน และอื่น ๆ

แนวทางทั่วไปที่ใช้ในการบริหารความเสี่ยง ที่แสดงผังลำดับขั้นตอนของการแก้ไขปัญหาความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจากการปฏิบัติงานทั้งระบบ และยังแสดงความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องระหว่างประเภทความเสี่ยงทั้งหลายในระบบ การบริหารความเสี่ยงในระบบแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนแรกเป็นการประเมินความเสี่ยง (risk assessment) ส่วนที่สองเป็นการลดความเสี่ยง (risk reduction)




รูปที่ 2.16 การวางแผนในการจัดการความเสี่ยงสำหรับการวิเคราะห์ระบบ

ส่วนแรกของการบริหารความเสี่ยงมีการแยกขั้นตอนที่เกิดจากการกระทำร่วมกันของการหาความเสี่ยงเชิงวิเคราะห์ (risk analysis) กับการประเมินค่าความเสี่ยง (risk evaluation) หลังจากที่ทราบผลลัพธ์ความเสี่ยงก็ใช้ส่วนหลังของการจัดการความเสี่ยงที่มีขั้นตอนร่วมกันระหว่างการประเมินค่าเชิงปริมาณ (ของส่วนแรก) กับการปฏิบัติงานเพิ่มเติม ซึ่งเป็นส่วนที่สองของการลดความเสี่ยง (risk reduction) ได้แก่ การประยุกต์นำไปใช้ (implementation) การเฝ้าสังเกตการณ์ (monitoring) กับการทบทวนและรับฟังความคิดเห็นในที่ประชุม หรือการทำประชาพิจารณ์รับฟังเหตุผลของชุมชนที่อาศัยใกล้เคียงกับแหล่งก่อสร้างเพื่อนำมาปรับปรุงแก้ไข

# บทที่ 3

# ระบบเชิงความปลอดภัย ของการใช้วัตถุระเบิด

การศึกษาเชิงความปลอดภัยในการเปิดงานขุดเจาะโดยใช้วัตถุระเบิด เป็นสิ่งแรกที่ผู้บริหารงานในองค์กรต้องร่วมมือกับวิศวกรและผู้ปฏิบัติงานภาคสนาม ในการทำความเข้าใจกับบุคลากรผู้เกี่ยวข้อง มีการแนะนำหรืออบรมเป็นระยะ ๆ ตลอดจนมีการจัดการที่ดีร่วมกับการวางแผนในการใช้วัตถุระเบิดอย่างมีประสิทธิภาพ จึงจะทำให้การวางแผนงานของระบบการขุดเจาะก้าวหน้า ประหยัด และเกิดความมั่นใจในการทำงานสนาม

## 3.1 ข้อกำหนดเชิงความปลอดภัยในการใช้วัตถุระเบิด

กรณีที่มีการขอนำเข้า เพื่อการมีวัตถุระเบิดไว้ใช้ในงานอุตสาหกรรมของประเทศนั้น ทางสำนักงานกรมตำรวจแห่งชาติไม่ได้ระบุให้ปุ๋ยแอมโมเนียมไนเตรตถูกจัดเป็นวัตถุระเบิด แต่ในกรณีของการพัฒนาหน้างานเหมืองแร่หรือเหมืองหินนั้น ทางกรมทรัพยากรธรณีต้องการให้แจ้งการมีครอบครองไว้ด้วย สำหรับวัตถุระเบิดทั่วไป เช่น แก๊ปไฟฟ้า (เชื้อปะทุ) ไดนาไมต์ (ดินระเบิด) กับสายชนวน ตามกฎกระทรวงอุตสาหกรรมหัวหน้าสำนักงานท้องถิ่นที่ประจำสำนักทรัพยากรธรณี (หรือสำนักงานอุตสาหกรรม) ในจังหวัดนั้น หรือในจังหวัดที่มีอำนาจครอบคลุมถึง เป็นผู้ให้ความยินยอมหรือเห็นชอบการมีวัตถุระเบิดไว้ครอบครอง

อนึ่งกฎของกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 9 พ.ศ. 2513 หมวด 6 ออกความตามพระราชบัญญัติแร่ พ.ศ. 2510 มาตรา 17 (6) การมีวัตถุระเบิดในครอบครองจำเป็นต้องแสดงสถานที่เก็บรักษา และเบิกจ่ายวัตถุระเบิดมาใช้ในงานพัฒนาหน้าเหมืองซึ่งได้กำหนดบทลงโทษของผู้ฝ่าฝืนไว้ให้ต้องระวางปรับโทษไม่เกินหนึ่งหมื่นบาท

### 3.1.1 ข้อกำหนดของกฎกระทรวงเชิงความปลอดภัยในการใช้วัตถุระเบิด

มาตรา 17 (6) ที่คัดลอกมาจากหัวข้อ [35] ถึง [53] พระราชบัญญัติแร่ พ.ศ. 2510 มีดังต่อไปนี้

[35] จัดให้มีสถานที่เก็บวัตถุระเบิดประกอบด้วยลักษณะ ดังนี้

ก. ตัวอาคารต้องทำด้วยวัตถุทนไฟ ป้องกันน้ำและกระสุนปืนได้ และพื้นของสถานที่เก็บวัตถุระเบิดต้องประกอบด้วยวัตถุที่ไม่เกิดประกายไฟ

ข. ห่างจากโรงเรือนอื่นไม่น้อยกว่า 75 เมตร และห่างจากปล่องอุโมงค์หรือช่องทางเข้าไปยังที่ทำงานใต้ดิน ไม่น้อยกว่า 100 เมตร

ค. มีกุญแจใส่ไว้โดยแข็งแรง

ง. มีป้ายข้อความว่า "อันตราย-วัตถุระเบิด" แสดงไว้ให้เห็นโดยชัดแจ้ง กำหนดให้ป้ายมีสีขาว ตัวอักษรสีแดง

จ. มีการระบายอากาศได้ดี

[36] จัดให้มีสถานที่เก็บดินระเบิดห่างจากสถานที่เก็บเชื้อปะทุ หรือสายชนวนไม่น้อยกว่า 30 เมตร และต้องแยกเก็บในสถานที่ดังกล่าว

[37] จัดให้มีสถานที่เก็บวัตถุระเบิดเป็นสถานที่เก็บวัตถุระเบิดโดยเฉพาะ

[38] ในระยะ 8 เมตร โดยรอบสถานที่เก็บวัตถุระเบิด ต้องไม่มีหญ้าแห้งหรือวัตถุเชื้อเพลิงอื่นใด

[39] จัดให้มีบัญชีแสดงยอดคงเหลือของดินระเบิด เชื้อปะทุ และสายชนวน เพื่อแสดงแก่สำนักงานเจ้าหน้าที่

[40] ป้องกันมิให้มีการใช้วัตถุระเบิดที่เสื่อมคุณภาพ

[41] ป้องกันมิให้บุคคลใดนำเชื้อปะทุร่วมไปกับดินระเบิด

[42] ป้องกันมิให้บุคคลใดบรรทุกไลหะ เครื่องมือประกอบด้วย ไลหะ น้ำมัน ไม้จีดไฟ กรด หรือวัตถุทุกชนิดที่ติดไฟง่าย ไปกับยานพาหนะที่กำลังบรรทุกวัตถุระเบิด

[43] จัดให้เฉพาะเจ้าหน้าที่ผู้มีหน้าที่รับผิดชอบโดยตรงเท่านั้น เข้าไปปฏิบัติงานเกี่ยวกับการประจุรูระเบิด และขณะที่ทำการประจุรูระเบิดต้องนำเปลวไฟทุกชนิดออกห่างจากรูระเบิดในระยะที่ปลอดภัย

[44] ป้องกันมิให้บุคคลใดสูบบุหรี่ในขณะที่ปฏิบัติการใด ๆ เกี่ยวกับวัตถุระเบิด

[45] ป้องกันมิให้บุคคลผู้ประจุรูระเบิดใช้วัตถุระเบิดอื่นใดนอกจากไม้

[46] วัตถุระเบิดที่เหลือใช้จากการระเบิดในวันหนึ่ง ๆ ให้นำกลับสถานที่เก็บโดยพลัน

[47] ก่อนทำการระเบิดทุกครั้ง ผู้จุดระเบิดต้องให้สัญญาณอันเป็นที่รู้ทั่วไป และหลังจากการระเบิด 15 นาที เป็นอย่างน้อย บริเวณที่ระเบิดไม่มีฝุ่นและควัน ต้องให้สัญญาณแจ้งให้ทราบ แล้วจึงให้คนงานเข้าไปทำงานได้

[48] สายชนวนธรรมดาที่ใช้ต้องมีความยาวไม่น้อยกว่า 1 เมตร

[49] การขบหลอดเชื้อปะทุติดกับสายชนวน ให้ใช้เฉพาะคีมที่ใช้สำหรับการนี้

[50] ป้องกันมิให้บุคคลใดใช้วัตถุอื่นใด นอกจากทองแดงหรือไม้ ในการแทงรูที่แท่งดินระเบิด เพื่อใส่เชื้อปะทุกับสายชนวน

[51] ในการจุดระเบิดด้วยไฟฟ้าต้องปฏิบัติ ดังนี้

ก. ต่อวงจรสายทั้งสองของเชื้อปะทุไฟฟ้า จนกว่าพร้อมที่จะทำการระเบิด

ข. ต่อวงจรสายทั้งสองของสายไฟที่จะนำกระแสไฟฟ้าเข้าเชื้อปะทุ จนกว่าพร้อมที่จะทำการระเบิด

ค. เมื่อทำการจุดระเบิดจากวงจรไฟฟ้า ให้ใช้สวิตช์ไฟฟ้าสองทาง และต้องวางให้ห่างจากสถานที่ทำการระเบิดในระยะที่ปลอดภัย และให้ต่อลัดวงจรสายไฟทั้งสองข้างไว้ จนกว่าพร้อมที่จะทำการระเบิด

[52] หลังจากการจุดระเบิด หากมีระเบิดด้าน ให้ทำการระเบิดทิ้งเสียก่อนที่จะทำการปฏิบัติการใด ๆ ในบริเวณนั้น โดยทำการระเบิดในรูระเบิดใหม่ที่เจาะในแนวขนานกับรูเดิม ห่างออกไปไม่น้อยกว่า 50 เซนติเมตร

[53] จัดให้มีป้ายข้อความว่า "อันตราย-บริเวณทำการระเบิด" แสดงไว้ให้เห็นโดยชัดแจ้ง กำหนดให้ป้ายมีสีขาว ตัวอักษรสีแดง วางไว้ในระยะรัศมี 100 เมตร โดยรอบที่ทำการระเบิด

I19504627

3.1.2 ข้อกำหนดของต่างประเทศเชิงความปลอดภัยของการใช้วัตถุระเบิด

จากเอกสารวิชาการ The Institute of Quarrying, Nottingham, United Kingdom ในหัวข้อ "The Use of Explosives in Quarrying" ที่ได้เรียบเรียงโดย White and Robinson (1995) แสดงแนวทาง Approved Code of Practice for Blasting Specification เป็น 2 ขั้นตอนย่อยในการระเบิด คือ

Section A

ก่อนทำการระเบิดเพื่อพัฒนาหน้างานเหมืองหินหรือหน้างานเหมืองแร่ ซึ่งเป็นการจุดระเบิดหลัก (primary shot) จำเป็นต้องมีสารสนเทศ (information) ในการปฏิบัติงานระเบิดหิน (สินแร่) ดังนี้

1. ก่อนการระเบิด และภายหลังการระเบิด มีการบันทึกวันที่ทำงาน สภาวะอากาศ และแนวทิศทางการพัดของลม

2. กำหนดหรือสเก็ตช์ส่วนของหน้าเหมืองหินที่ระเบิดหิน (สินแร่) ให้มีการแตกหักหรือหลุดออก

3. ทราบค่าตำแหน่งบนพื้นผิวของแต่ละหลุมเจาะที่แน่นอน เมื่อเปรียบเทียบกับจุดตำแหน่งของสถานีรังวัดบนแผนที่โดยกรรมวิธีรังวัด

4. ในกรณีที่มีการขุดเจาะนำเอามวลสินแร่ออกจากหน้าเหมืองหิน ภาพตัดขวางกับระดับความสูงของหลุมเจาะระเบิด มีความคลาดเคลื่อนในการสเก็ตช์หรือประมาณการน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ทั้งของส่วนล่างกับส่วนบนแนวระเบิด

5. กำหนดให้ การเจาะรูเอียงเป็นแนวขนานหน้าเหมืองหรือในแนวดิ่ง ให้ใกล้เคียงกับค่ามุมเอียงกับแนวดิ่งตามที่กำหนด

6. มีผังรายละเอียดของจำนวนหลุมเจาะ ระยะห่างระหว่างหลุม จำนวนแถว วิธีการจุดระเบิด วงจรระเบิด และระบบของการถ่วงเวลา

7. ในแต่ละหลุมเจาะ มีข้อมูลความยาวหลุมเจาะทั้งหมด ระยะที่ปิดอัดด้วยวัสดุระยะความยาวของวัตถุระเบิด ระยะเจาะต่ำกว่าพื้น

8. แต่ละหลุมเจาะ ต้องระบุจำนวนกับชนิดวัตถุระเบิดที่ใช้ในแต่ละหลุม ตำแหน่งของแก๊ปจุดระเบิด ระยะและชนิดของวัสดุที่ใช้ปิดอัดหลุมเจาะ

9. มีข้อมูลเชิงธรณีวิทยาเกี่ยวกับความผิดปกติในหน้างานเจาะ ระบุตำแหน่งของรอยแตกรอยแยกที่จะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการเจาะหลุมกับการระเบิด

10. กำหนดบริเวณอันตรายให้ชัดเจนเพื่อป้องกันบุคคลที่ไม่มีหน้าที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ บริเวณที่เก็บรักษาและเบิกจ่ายวัตถุระเบิด บริเวณที่อาจได้รับผลกระทบจากเสียงดังเกินขนาด หรืออยู่ภายในรัศมีของระยะที่หินปลิวกระเด็น

11. ภายหลังจากการระเบิด มีผลการบันทึกที่ระบุรายละเอียดการแตกหักของหิน และตัวแปรที่เป็นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ค่าการสั่นสะเทือนของผิวดิน ระดับความดังของเสียงที่เกินจากความดันเกินขนาด ระยะกับขนาดหินที่ปลิวกระเด็น

Section B

สารสนเทศที่สำคัญใน Section A และจำเป็นต้องบันทึกกับเก็บรักษาไว้ทุกครั้งของการระเบิดเพื่อพัฒนาหรือเพื่อการผลิตหิน (แร่) ได้แก่ ข้อ 5 ถึงข้อ 10 หน้า 36

## 3.2 การวางแผนจัดการเชิงความปลอดภัยของระบบการใช้วัตถุระเบิด

แนวทางทั่วไปในการจัดการเชิงความปลอดภัย ได้แก่ การวางแผนทั้งระบบสำหรับเปิดหน้างานด้วยวัตถุระเบิด การปรับเตรียมสำหรับเปิดหน้างาน การจัดการหน้างานของการขุดเจาะกับหน้างานอื่นให้สัมพันธ์กัน การออกแบบวิธีการเจาะและระเบิดหิน และการป้องกันอุบัติเหตุเนื่องจากการใช้วัตถุระเบิด

### 3.2.1 การวางแผนทั้งระบบสำหรับเปิดหน้างานด้วยวัตถุระเบิด

การเปิดหน้างานขุดเจาะมีแหล่งที่ใช้วัตถุระเบิดหลายทาง เช่น การเปิดหน้าเหมืองหินเพื่อให้หินแตกหักนำมาบดย่อยได้ การระเบิดหินเพื่อสามารถใช้เครื่องจักรกลขุดตักสินแร่ได้ การระเบิดตัดไหล่ทางเพื่อการทำถนน เป็นต้น ถึงแม้ว่าเป้าหมายของการใช้วัตถุระเบิดจะแตกต่างกันตามชนิดของงานขุดเจาะ แต่การวางแผนของทั้งระบบที่เกี่ยวข้องกับการใช้วัตถุระเบิดจะใกล้เคียงกัน โดยมีจุดประสงค์ในเกิดความปลอดภัย ประหยัด รักษาสิ่งแวดล้อม และความมีประสิทธิผลในการใช้วัตถุระเบิด เช่นเดียวกันทุกงานขุดเจาะ

ขั้นตอนในการวางแผนทั้งระบบที่จะอธิบายดังต่อไปนี้ จึงสามารถใช้ได้ทั่วไปสำหรับหน้างานขุดเจาะที่ใช้วัตถุระเบิดสำหรับงานเหมืองหิน เหมืองแร่เปิด ตัดไหล่ทางเนินเขา

1. การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการใช้วัตถุระเบิด

ข้อมูลที่สำคัญที่เกี่ยวข้อง ได้แสดงไว้โดยสังเขป ดังนี้

- บุคลากรที่เกี่ยวข้อง เครื่องมือและอุปกรณ์ที่จำเป็น
- สภาพทางธรณีวิทยาโดยเน้นทางด้านความหนาของชั้นดิน ชั้นกรวด ที่ปกคลุมชั้นหิน ชนิดหิน โครงสร้างของหิน ความไม่ต่อเนื่องในมวลหิน (ถ้ามี)
- การทำบันทึกข้อมูลที่เกี่ยวข้อง และมีวิธีการจัดเก็บข้อมูลที่ทันสมัย
- การวางแผนให้ใช้บุคลากร เครื่องมือกับอุปกรณ์ ที่องค์กรมีอยู่เดิม หากต้อง

ใช้บุคลากรเพิ่ม หรือสั่งซื้อเครื่องมือกับอุปกรณ์เพิ่ม จำเป็นต้องมีข้อมูลรายละเอียดที่ค่อนข้างชัดเจน เพื่อให้ฝ่ายบริหารตัดสินใจได้ง่ายขึ้น

2. การออกแบบเบื้องต้นสำหรับผังบ่อเหมือง

การศึกษาสภาพหน้างานที่ต้องใช้วัตถุระเบิด กรณีเป็นเหมืองหินการออกแบบระเบิดหินก็คำนึงจำนวนระดับความสูงหน้างาน จำนวนขั้นบันไดที่ต้องตัดความลาดหรือระเบิด และทางลาดหรือทางสำหรับขนย้ายหินที่แตกหัก แต่ถ้าเป็นเหมืองแร่จำเป็นต้องมีการออกแบบในรายละเอียดเพิ่มขึ้นให้เหมาะสมกับชนิดและการวางตัวของมวลสินแร่

ตัวอย่างในอุดมคติแสดงไว้ในรูปที่ 3.1 หน้าถัดไป เป็นลักษณะการเปิดหน้างานทั่วไป สำหรับเหมืองแร่เปิดที่มีการตัดความลาดแบบขั้นได โดยการระเบิดหิน เพื่อขนย้ายส่วนที่ไม่ใช่สายสินแร่ออก (ดินและหิน) จนถึงระดับขั้นบันไดที่เป็นตะพักสุดท้ายของส่วน foot wall กำหนดให้มวลสินแร่รูปร่างแบนยาวแบบ tabular

หลักการเปิดหน้างาน จำเป็นต้องใช้คำนวณค่ามุมเอียงเทของแนวตัดหรือระเบิดหินให้มีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนปริมาตรส่วนที่ไม่ใช้สินแร่ หรือเรียกว่า waste กับปริมาตรของสินแร่ หรือเรียกว่า ore รวมทั้งให้เหมาะสมกับระดับความลึกของบ่อเหมืองเปิดกับการออกแบบการป้องกันการพังทลายของมวลสาร และกำหนดพื้นที่หน้างานที่ระดับต่าง ๆ

ส่วนรูปที่ 3.2 เป็นภาพสเก็ตช์เพื่อทำการคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างปริมาตร waste/ore (ค่า stripping ratio) เพื่อหามุมเอียงเททั้งหมดของแนวตัดความลาดกับออกแบบจำนวนตะพักขั้นบันได กับเส้นทางลาด และระยะมิติอื่น ๆ เช่น ความกว้างของคันทางแต่ละตะพักขั้นบันได มุมเอียงเทกับความสูงของมวลหินส่วนที่เป็น hanging wall ระดับต่ำสุดของบ่อเหมืองเปิด พื้นเหมืองต่ำสุดที่มีความกว้างของพื้นที่เพียงพอที่สามารถใช้เครื่องจักรกลปฏิบัติงานได้ เป็นต้น

3. การวางแผนเพิ่มเติมในส่วนอื่น

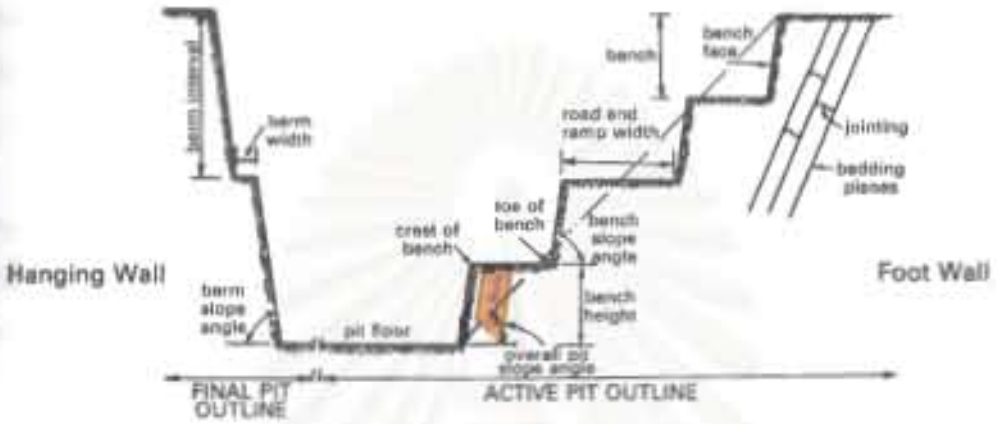
การจัดการวางแผนที่ดีควรมีการศึกษาคุณภาพและแร่วิทยาเชิงปริมาณของหินที่ระเบิดความเป็นเอกภาพมีมวลเนื้อเดียวกันตลอดหรือมีสายแร่อื่นแทรก

นอกจากนี้ต้องศึกษาถึงชนิดของวัตถุระเบิดที่เหมาะสมกับหน้างานขุดเจาะ และหาค่าจำนวนวัตถุระเบิดที่ต้องใช้ และเตรียมอุปกรณ์เสริมสำหรับงานเจาะระเบิด

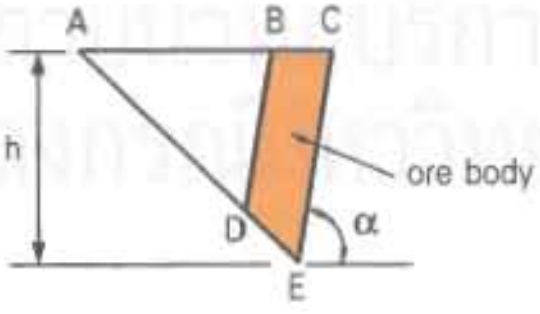
4. การปรับเตรียมสำหรับเปิดหน้างาน

แนวทางการปรับเตรียมหน้างาน ในส่วนที่สำคัญ ได้ระบุโดยสังเขป ดังนี้

- การสำรวจลักษณะภูมิประเทศ โดยเลือกใช้แผนที่ภูมิประเทศที่มีขนาดมาตราส่วน 1: 5,000 ขึ้นไปจนถึง 1: 2,000 และมีเส้นระดับชั้นความสูง 5 เมตร




รูปที่ 3.1 การเปิดหน้างานขุดเจาะในอุดมคติ สำหรับผลิตสินแร่รูปร่างแบบยาว แบบ tabular ต้องทำการเปิดส่วนที่ไม่ใช่สินแร่ออกในผนังด้านล่างมวลสินแร่ (foot wall) กับมีการป้องกันมวลสารถล่มโดยการคัดขั้นบันไดเป็นค้ำยันกันไว้ทางผนังด้านบนมวลสินแร่ (hanging wall)




รูปที่ 3.2 ส่วนขยายรูปร่างมวลสินแร่ในรูป 3.1 โดยวัดค่ามุมเอียงเท ของมวลสินแร่ (มุม α) กับวัดค่าระดับความสูงแนวดิ่ง (h)

- ควรจัดหาอุปกรณ์เฉพาะในการสำรวจลักษณะภูมิประเทศเช่น ภาพถ่ายทางอากาศ เข็มทิศ เครื่องอ่านพิกัดระบบ GPS (Global Position System)

- ในกรณีที่จำเป็นอาจต้องมีงบประมาณว่าจ้างทีมรังวัด ทำแผนที่ในเขตพื้นที่หน้างานขุดเจาะหรือในเขตประทานบัตร

- เลือกแนวทางขนส่งลำเลียงวัสดุอุปกรณ์ ตำแหน่งหน้างานระเบิด ตำแหน่งโรงไม่ในส่วนที่เป็นเส้นทางขนส่งด้วยลดบรรทุก กำหนดความชันของถนนไว้ 8-10 องศา กรณีของเครื่องมือจักรกลหนักที่มีล้อเหล็กแบบตีนตะขาบ มีความสามารถจะไต่พื้นที่ชันได้เกิน 10 องศา (แต่ไม่ควรเกิน 35 องศา)

- ทำการปรับพื้นที่ยอดหรือเนินเขาให้เรียบ อาจส่งหน่วยเจาะระเบิดที่ใช้เครื่องขนาดเล็ก เช่น แจ็คแฮมเมอร์ (Jack hammer) เพื่อระเบิดปรับแต่งโขดหินขนาดเล็กให้มีพื้นที่พอที่เครื่องจักรกลขนาดใหญ่ เช่น รถเจาะตีนตะขาบกับรถขุดตัก เพื่อพัฒนาหน้างานขนาดใหญ่ให้เรียบ

- หากไม่สามารถตัดถนนให้รถบรรทุกขึ้นไปบนยอดเขา หรือทางสำหรับรับหินที่ระเบิดแล้ว อาจจำเป็นต้องทำชูท (chute) สำหรับเทหินจากยอดเขาลงไปข้างล่าง หรือเทหินไปยังตีนเขาเลย

- ถ้าหากเป็นการทำเหมืองแร่ เศษหินที่ระเบิดเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ จึงต้องเตรียมแยกลานเทหินทิ้งออกจากลานแร่

5. <u>การจัดการหน้างานขุดเจาะกับหน้างานอื่นให้สัมพันธ์กัน</u>

บริเวณหน้างานขุดเจาะหลักที่ใช้วัตถุระเบิด ได้แก่ หน้างานที่อยู่ระหว่างการเจาะรูระเบิด อัดระเบิด เป็นต้น ส่วนหน้างานอื่นได้แก่หน้างานตักและขนหิน กับบริเวณที่ใช้ทำการระเบิดย่อยหรือทุบก้อนหินขนาดใหญ่ ตลอดจนเตรียมบริเวณที่ตัดหน้างานเป็นขั้นบันได

การเรียกชื่อหน้างานต่าง ๆ อาจมีความแตกต่างไปบ้างตามชนิดของการขุดเจาะเชิงวิศวกรรมโยธาหรือวิศวกรรมเหมืองแร่ ในโครงการนี้จะเรียกชื่อหน้างานต่าง ๆ เป็นหน้าพัฒนา (development face) หน้าเจาะระเบิด (blast face) หน้าระเบิดย่อยหรือทุบหินย่อย (secondary breakage face) หน้าตักขน (haulage face) และหน้ากองเก็บ (storage face)

หน้างานต่าง ๆ จำเป็นต้องมีการวางแผนให้มีการดำเนินงานในลักษณะเสริมกันและใช้เครื่องมือกับอุปกรณ์ร่วมกันได้ในบางกรณี ตัวอย่างเช่น หน้าพัฒนาที่เป็นการขุดถอนรากต้นไม้ ดันเปลือกดิน อาจต้องใช้เครื่องจักรกลร่วมกับหน้างานตักขนย้าย ไปยังลานกองเก็บเพื่อให้หน้าระเบิดที่เกี่ยวข้องกับการผลิตโดยตรงสามารถดำเนินได้อย่างต่อเนื่อง

ส่วนที่มีความเกี่ยวข้องกับหน้างานทั้ง 5 หน้าดังกล่าวเป็นเส้นทางลำเลียงทั้งเส้นทางหลักสำหรับการขนย้ายส่งหินที่ระเบิดแล้วไปยังโรงไม่บดย่อย หรือขนหน้าดินไปยังลาน

กองดิน และทางลาด (ramp) เชื่อมระหว่างชั้นตะพักของเหมืองแบบขั้นบันได การจัดการเพื่อเคลื่อนย้ายเครื่องจักรกลในระหว่างการสับเปลี่ยนงาน ต้องมีความอิสระจากกัน ไม่มีการขัดขวางการทำงานซึ่งกันและกัน

การกำหนดตำแหน่งและจำนวนหน้างานในแต่ละช่วงเวลามีการแปรผันตามกำลังการผลิตหิน ขนาดความสูงของหน้างานระเบิด ลักษณะภูมิประเทศที่เอื้ออำนวยหรือเป็นข้อจำกัดในการออกแบบ ขนาดและความสามารถของเครื่องจักรกลที่เกี่ยวข้อง เช่น รถเจาะรูระเบิด รถตัก และรถบรรทุก เป็นต้น

3.2.2 <u>การออกแบบการเจาะหลุมของรูระเบิด</u>

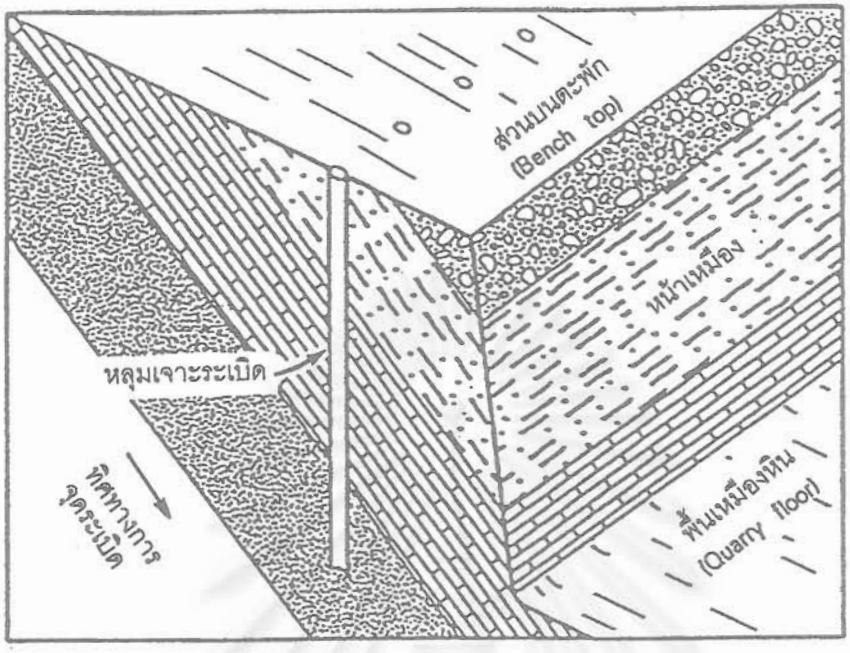
การออกแบบวิธีการเจาะรูระเบิดกับการออกแบบผังระเบิดหิน เป็นสิ่งสำคัญที่สุดของงานการขุดเจาะที่ใช้วัตถุระเบิด การวางแผนออกแบบต้องคำนึงถึงชนิดหินหรือวัสดุที่จะระเบิด ตลอดจนโครงสร้างเชิงธรณีวิทยา และต้องให้มีความสัมพันธ์ในแผนต่าง ๆ เช่น แผนการพัฒนา แผนการผลิต และแผนการใช้เครื่องจักรกล

1. <u>การวางแผนการเจาะระเบิดให้สอดคล้องกับชนิดหินและสภาพธรณีวิทยา</u>

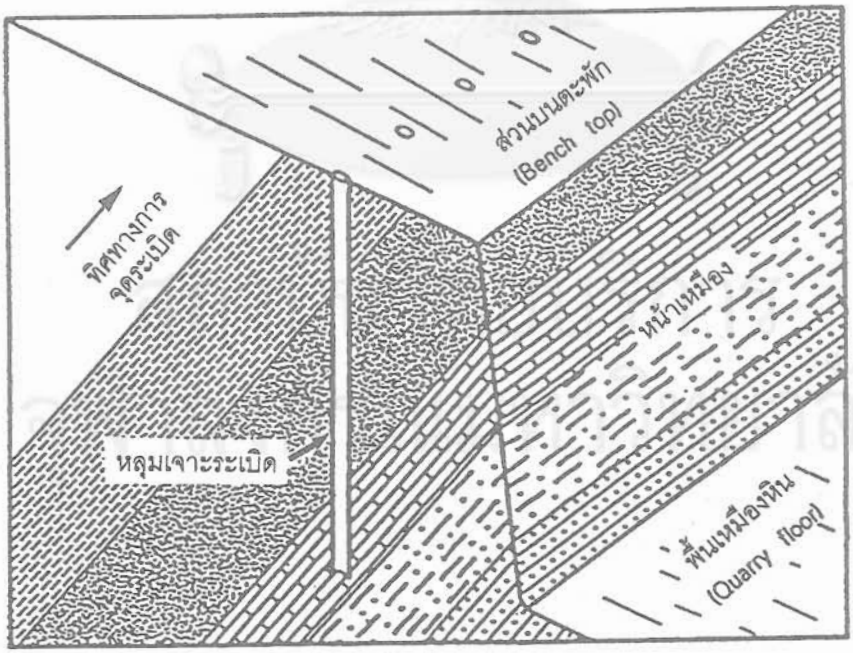
ปกติการใช้วัตถุระเบิดจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อ เครื่องจักรกลที่ใช้ในการขุดเจาะหรือขัดชั้นดินแข็งกับชั้นหินไม่สามารถทำได้เนื่องจากมวลสารมีค่าโคฮีชัน (cohesion) สูงเกินไป หรือสภาพธรณีวิทยาหน้างานไม่เหมาะสมที่จะใช้เครื่องจักรกล เช่น เป็นโขดหินในตำแหน่งที่แคบปฏิบัติงานโดยใช้เครื่องจักรกลได้ยาก

ชนิดของดินแข็งหรือหิน ก็มีส่วนในการวางแผนการใช้วัตถุระเบิดให้เหมาะสมด้วย ในสภาพธรรมชาติหินอัคนีที่เกิดภายใต้พื้นผิวโลกหรือบนพื้นผิวโลก ถ้าหากระหว่างการขุดเจาะมวลหินอัคนีเป็นหินสด (fresh rock) ปราศจากการผุพังหรือการสึกกร่อน การระเบิดหินต้องใช้วัตถุระเบิดมากกว่าการใช้กับหินตะกอน และสูญเสียค่าใช้จ่ายในการเจาะมากเพราะเป็นหินแข็ง ค่าความแข็งของมวลผลึกแร่สูง ทำให้หัวเจาะสึกกร่อนเร็ว และค่อนข้างใช้เวลานานในการเจาะแต่ละหลุม เมื่อมีการระเบิดหินอัคนีมักมีการปลิวกระเด็นของชิ้นส่วนหินไปได้ไกล และก่อให้เกิดระดับความดังของเสียงสูงจนก่อให้เกิดความรำคาญ

หินตะกอนหรือชั้นดินแข็ง มีลักษณะการเกิดเป็นแนว เป็นชั้น จึงมีความเปราะบางระหว่างชั้นหินหรือชั้นดินแข็งดังกล่าว การเจาะระเบิดก็ควรคำนึงถึงทิศทางการวางตัวของชั้นหินหรือชั้นดินแข็งด้วย ตามปกติ ถ้าหากทิศทางการจุดระเบิด อยู่ในแนวทางเดียวกับแนวเอียงเทของชั้นหิน (ดูรูปที่ 3.3 หน้า 42) การควบคุมให้หินที่แตกหักมากองรวมกันในตำแหน่งที่ต้องการจะง่าย และลดจำนวนการใช้วัตถุระเบิดลงเพราะการไถลเลื่อนภายหลังการจุดระเบิดมีแรงโน้มถ่วงโลกมาช่วยด้วย ระดับการสั่นสะเทือนของพื้นผิวดินและผลกระทบด้านความดังเสียงกับหินปลิว ก็มีน้อย




รูปที่ 3.3 การระเบิดที่วางแผนไว้เหมาะสม แนวการเอียงเทชั้นหินหรือชั้นดินแข็ง เป็นไปในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของมวลสาร ภายหลังจุดระเบิด




รูปที่ 3.4 การระเบิดที่วางแผนไว้ไม่ดี แนวการเอียงเทชั้นหินหรือชั้นดินแข็ง ด้านหรือสวนกับทิศทางการเคลื่อนที่ของมวลภายหลังการจุดระเบิด

ในทางตรงกันข้าม ถ้าหากเลือกหน้าระเบิดที่การเคลื่อนที่ของมวลสารภายหลังการจุดระเบิดขวางกับแนวเอียงเทของชั้นหินหรือชั้นดินแข็ง (ดูรูปที่ 3.4) การระเบิดจำเป็นต้องมีการใช้วัตถุระเบิดจำนวนมากขึ้น เพราะมีการต้านระหว่างแนวการเอียงเทของชั้นหินหรือชั้นดินแข็ง กับแนวการเคลื่อนที่ของมวลสารภายหลังการระเบิด การควบคุมแนวการตัดเรียบของการระเบิดทำได้ยาก

กรณีของการระเบิดในหินแปร ถ้าหากหินแปรที่จะทำการระเบิดเป็นประเภทที่เกิดจากการแปรสภาพแบบสัมผัส มวลหินมีผลึกใหญ่เนื้อประสานติดแน่น วิธีการปฏิบัติก็ใช้แนวทางเดียวกับหินอัคนี ข้อควรระมัดระวังในเรื่องปริมาณวัตถุระเบิดกับการป้องกันผลกระทบเป็นไปในทำนองเดียวกัน ถ้าหากหินแปรที่จะทำการระเบิดเป็นประเภทที่เกิดจากการแปรสภาพแบบทั้งบริเวณ มวลหินมีผลึกแนวรอยแตกแยกหรือเป็นชั้นรอยไก่งงอเล็ก ๆ วิธีการปฏิบัติควรใช้แนวทางเดียวกับหินตะกอน รวมทั้งข้อควรระวังและการป้องกันต่าง ๆ ก็ใช้ในแนวทางเดียวกันกับหินตะกอนด้วย

2. <u>การศึกษาเสถียรภาพหน้างานขุดเจาะ</u>

ก่อนมีการเปิดหน้างานขุดเจาะโดยใช้วัตถุระเบิดในภาคสนาม จำเป็นต้องมีการศึกษาเบื้องต้นถึงความมีเสถียรภาพหน้างานระเบิด เพื่อให้เกิดความมั่นใจในการปฏิบัติงานเสียก่อน แนวทางการตรวจวัดตัวแปรเชิงธรณีวิทยาที่น่าจะก่อให้เกิดการพังทลายหน้างานและวิธีการวิเคราะห์ผลหาค่าตัวเลขเชิงเสถียรภาพของความลาดเอียงบ่อเหมืองเปิด ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2

3. <u>การเตรียมการและออกแบบการเจาะหลุม</u>

หลักการในการเตรียมการและออกแบบเรื่องการเจาะหลุมของรูระเบิด มีเทคนิคที่ต้องคำนึงอยู่หลายประการ ข้อกำหนดเบื้องต้นที่เป็นเป้าหมายของการเจาะรูระเบิด ได้แก่ ขนาดของหลุมเจาะ ความลึกของหลุมเจาะ ความเที่ยงตรงของแนวเจาะ (ทั้งในเรื่องของมุมเจาะกับแนวทิศทางที่เจาะ) และเสถียรภาพของหลุมเจาะที่ไม่พังทลายก่อนอัดวัตถุระเบิดไปในหลุม

ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางหลุมเจาะระเบิดเป็นเท่าไร ต้องเลือกหัวเจาะให้สอดคล้องกับชนิดหินและขนาดรูเจาะ และชนิดของวัตถุระเบิดที่ใช้ ความเรียบของหน้าระเบิด (ตามปกติหน้าระเบิดที่ตัดเรียบมักใช้รูเจาะขนาดเล็ก) และแนวทางในการป้องกันผลกระทบเช่นการสั่นสะเทือนที่อาจเกิดขึ้นแต่ในบางครั้งถ้าหากองค์กรหรือบริษัทมีเครื่องเจาะรถตัก รถขนอยู่แล้ว อาจไม่มีทางเลือกขนาดของรูเจาะใหม่เพราะต้องใช้ตามที่มีอยู่

ความลึกของหลุมเจาะระเบิด เป็นอีกตัวประกอบหนึ่งที่ต้องพิจารณา ถึงแม้ว่าหลุมเจาะที่กำหนดจะมีระดับไม่ลึกนัก (10–15 เมตร) ก็ต้องใช้เครื่องเจาะที่สามารถต่อ

ก้านเจาะได้ ความลึกในการเจาะยังขึ้นอยู่กับความต้องการมวลหินหน้าระเบิดเกิดการแตกหักที่ดีได้ขนาดชิ้นส่วนที่เหมาะสม เช่นต้องมีการเจาะต่ำกว่าระดับพื้น ทำให้เกิดความดันคลื่นระเบิดเพียงพอที่อัดดันมวลหินที่พื้นล่างหน้าระเบิดแตกหักตามต้องการ

ความเที่ยงตรงและเสถียรภาพของการเจาะ เป็นตัวประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่ง ในการปฏิบัติงานหน้าระเบิด วิธีที่ดีที่สุดในการเจาะหลุมคือการกำหนดมุมและตำแหน่งโดยใช้ค่ามุมเอียงเท (inclination angle) กับทิศทางของแนวเอียงเท (direction of inclination) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.5 หน้า 45 ที่แสดงการกำหนดพิกัดของการเจาะโดยใช้เทคนิคในการรังวัด

หลุมเจาะจะมีความเที่ยงตรงขึ้นอยู่กับชนิดหินและโครงสร้างหิน (หินแข็งเนื้อแน่นปรับความเที่ยงในการเจาะง่ายกว่าหินที่แตกร้าวหรือเป็นโพรง) นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องเจาะและวิธีการเจาะว่าเป็นรูเจาะแนวดิ่งหรือรูเจาะเอียงขนานหน้าเหมือง

ความมีเสถียรภาพของหลุมเจาะเป็นสิ่งที่ต้องการ หลุมเจาะควรเป็นรูในแนวตรงและทรงตัวอยู่ได้ในระหว่างการเจาะ และไม่พังทลายก่อนอัดบรรจุวัตถุระเบิดในหลุมเจาะ ในกรณีที่จำเป็นต้องเจาะผ่านชั้นหินที่แตกร้าว นอกจากใช้ลมหรือโฟมเป่าเศษหินไม่ให้ขวางรูเจาะช่วงที่จะอัดบรรจุวัตถุระเบิด บางครั้งควรทำท่อพิเศษเป็นท่อบังคับที่ตั้งบนสามขาเพื่อไม่ให้ปากหลุมเจาะพังก่อน (ดูรูปที่ 3.6) หรือทำการบรรจุวัตถุระเบิดในถุงพลาสติกให้เป็นแท่งก่อนหย่อนใส่ในรูเจาะ นอกจากท่อบังคับอาจใช้อุปกรณ์ปรับความเที่ยงให้อยู่ในแนวเส้นตรงเช่น ท่อฝังในคอนกรีต (sleeve) ตัวปรับต่อ (adapter) หรือก้านเจาะแบบพิเศษช่วยในการตั้งรูเจาะด้วย

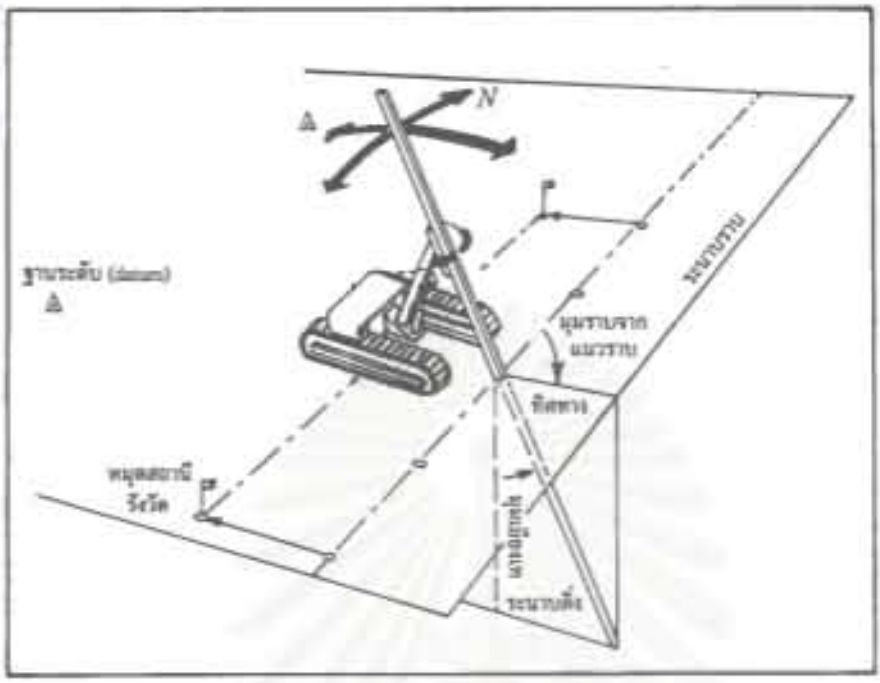
4. <u>การเลือกเครื่องเจาะ</u>

การเลือกเครื่องเจาะมาใช้ในงานการขุดเจาะ มีความแตกต่างกันในสาขาย่อยของงานระเบิด ในหลายกรณีวิศวกรจำเป็นต้องใช้เครื่องเจาะเดิมที่มีอยู่ แต่ถ้าหากเป็นหน้างานเปิดใหม่ที่ยังไม่มีเครื่องเจาะประจำ เมื่อต้องการเจาะรูระเบิดควรใช้เครื่องเจาะที่ใช้ในงานเหมืองหิน รายละเอียดปลีกย่อยของความสามารถกับประสิทธิภาพในการเจาะกับราคาของเครื่องเจาะควรศึกษาโดยตรงจากผู้จำหน่าย

ในเหมืองหิน เครื่องเจาะมีหลายแบบ วิธีการทำงานโดยย่อมีดังนี้

ก) Percussion drilling machine หรือเรียกเป็น air track drill หรือเรียก drifter drilling ใช้การกระแทก กด และหมุน ให้หินในหลุมเจาะแตกเป็นรูและเป่าเศษฝุ่นออกจากรูเจาะ พลังงานที่ใช้มีทั้งแบบระบบไฮดรอลิก (hydraulic) ที่มีแรงดันสูง หรือใช้ลม (pneumatic) ที่มีอากาศอัดขับดัน

ข) Down the hole drilling machine หรือเรียกชื่อสั้นว่า downhole drilling เป็นการเจาะใช้การกระแทก กด หมุน และเป่าฝุ่น แบบเดียวกับ




รูปที่ 3.5 แนวทางการใช้วิธีรังวัดช่วยในการตั้งมุมและแนวทิศการเจาะ

รูปที่ 3.6 การใช้ท่อบังคับช่วยในการบรรจุอัดวัตถุระเบิดและป้องกันปากหลุมพัง

drifter drilling แต่แทนที่ใช้การกระแทกผ่านก้านเจาะซึ่งมีผลเสียทางด้านพลังงานและการสึกหรอสูง แต่ใช้ชุดอุปกรณ์กระแทกติดกับหัวเจาะและเคลื่อนลงรูเจาะโดยตรง พลังงานที่ใช้มีทั้งแบบระบบไฮดรอลิกกับแบบใช้ลม

ค) Rotary drilling machine เป็นการเจาะที่ใช้หลักการทำงานโดยการหมุน กด และเป่าฝุ่น

การตัดสินใจเลือกเครื่องเจาะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น อายุการใช้งาน ขนาดและความสูงของหน้าเหมืองหิน ความถี่ในการใช้เครื่องเจาะ และวิธีการทำงานของเครื่องเจาะที่เหมาะกับเครื่องอัดบรรจุระเบิด เป็นต้น

หลักการพิจารณาเครื่องเจาะแบบ percussion หรือ air track drill ใช้ในการทำงานโครงการขนาดเล็กที่มีเงินลงทุนน้อย ขนาดหัวเจาะใหญ่สุดไม่เกิน 127 มม. (5 นิ้ว) ความลึกของหลุมเจาะไม่เกิน 12 เมตร (40 ฟุต) ความเที่ยงตรงแม่นยำกับประสิทธิภาพของการเจาะยังจัดอยู่ในระดับต่ำ โดยเฉพาะเมื่อมีการเจาะในมวลหินที่มีรอยแตกร้าวหรือมีโพรง แต่ข้อดีก็มีการเจาะรูเอียงจะทำได้ง่ายและสะดวกกว่าเครื่องเจาะชนิดอื่น

เครื่องเจาะแบบ down the hole เป็นการประดิษฐ์คิดเครื่องเจาะโดยใช้เทคโนโลยีร่วมกันระหว่าง percussion กับ rotary drilling ความสามารถในการเจาะทำได้ในระดับลึกกว่าเครื่องเจาะแบบ percussion ความเที่ยงตรงแม่นยำก็ดีกว่า ระดับความดังเสียงในระหว่างการเจาะ มีการสึกหรอน้อยกว่า หัวเจาะใช้ได้ขนาดใหญ่ขึ้น แต่ก็มีข้อเสียตรงที่ค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อเครื่องเจาะสูงกว่า

เครื่องเจาะแบบ rotary drilling ใช้ในงานโครงการขนาดใหญ่ หัวเจาะที่ใช้ปกติมีขนาดใหญ่กว่า 152 มม. (6 นิ้ว) และหัวเจาะทนทานมากกว่าแบบ percussion และความดังเสียงน้อยกว่า ความเที่ยงตรงกับประสิทธิภาพของการเจาะดี และสามารถเจาะได้หลุมลึกเกิน 20 เมตร แต่ถ้าหากเปรียบเทียบการใช้เจาะหลุมในสภาพปกติของหน้าเหมืองหินจะมีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าเครื่องเจาะแบบ down the hole เพราะใช้พลังงานในการขับดันสูงกว่า ก้านเจาะหมุนตลอดเวลา อายุการใช้งานจะน้อยลง เครื่องเจาะแบบ rotary ก็มีขนาดใหญ่น้ำหนักมากเคลื่อนย้ายลำบาก

5. <u>ข้อพิจารณาเพิ่มเติมของการเจาะหลุม</u>

ในระหว่างการปฏิบัติงานภาคสนาม มีข้อพิจารณาเพิ่มเติมในการประเมินเกี่ยวกับหน้างานเจาะระเบิด ดังนี้

- ความเร็วในการเจาะที่แปรผันกับความแข็งของหิน ความสามารถในการเจาะมีค่าเป็นความลึกเมตรต่อชั่วโมง
- จำนวนรถเจาะรูระเบิด และอุปกรณ์เสริมในการเจาะ

– ผังหรือแบบแปลนการเจาะ จำนวนหลุม และความยาวของหลุมเจาะ

– ตารางการทำงานที่หน้างานเจาะระเบิด ที่มีการปฏิบัติงานทั้งการเจาะ บรรจุอัดวัตถุระเบิด และการจุดระเบิด

3.2.3 การออกแบบหน้างานระเบิด

แนวทางของการออกแบบหน้างานระเบิด ก็คล้ายคลึงกับการออกแบบการเจาะหลุม โดยที่มีข้อปลีกย่อยเกี่ยวกับผังหน้าระเบิดที่ต้องมีความสัมพันธ์กับปริมาณวัตถุระเบิดที่ใช้ และเหมาะสมกับรูปแบบเชิงเรขาคณิตของหน้างานระเบิด

1. การเตรียมการและออกแบบงานระเบิด

การเตรียมการออกแบบงานระเบิดมีสิ่งที่ต้องคำนึงหลายอย่าง เริ่มต้นตั้งแต่รูปแบบการวางแผนระเบิด ชนิดของวัตถุระเบิด ตัวแปรของการออกแบบระเบิด ผังหรือแบบแปลนระเบิดที่เหมาะสำหรับหน้างานเพื่อให้เกิดการแตกหักในหน้างานพัฒนาที่ดี กับการใช้เครื่องเจาะทุบหินก้อนใหญ่ให้แตกหรือระเบิดย่อย กับระเบิดหน้างานเพื่อปรับแต่ง

ก. รูปแบบการเตรียมการวางแผนระเบิด

รูปแบบของการเตรียมการวางแผนระเบิดอยู่ที่เป้าหมายของผู้บริหารและลูกค้า ที่ผู้ปฏิบัติงานการระเบิดหินควรตอบสนอง เช่นมีการตั้งเป้าหมายเป็นตัวเลขว่าจะต้องการผลิตหินก่อสร้าง 10,000 เมตริกตันต่อเดือน หรือการระเบิดเพื่อสร้างเส้นทางต้องตัดไหล่เขาออกเป็นปริมาตรหินเท่าไร หรือเป็นการระเบิดเพื่อปรับแต่งให้หน้าเหมืองเป็นขั้นบันได หรือเป็นการระเบิดเพื่อตัดหน้าเรียบ

ดังนั้นจึงต้องมีการเตรียมการเรื่องออกแบบผังระเบิด การวางแผนใช้เครื่องจักรกลตามสมรรถนะในปัจจุบัน การวางแผนการใช้วัสดุสิ้นเปลือง (เชื้อเพลิง วัตถุระเบิด ปุ๋ย อุปกรณ์เจาะ) การวางแผนด้านเส้นทางขนส่งบริเวณหน้างานเพื่อลดต้นทุนในการผลิต กับมีความยืดหยุ่นในรูปแบบของการระเบิด ซึ่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงในขณะการทำงานตามแผนที่วางไว้ เช่น ลูกค้าชะลอการซื้อ เกิดการจัดหาวัสดุที่ใช้ในการระเบิดไม่ทัน หรือเกิดปัญหาเครื่องจักรกลชำรุดต้องซ่อม เป็นต้น

ข. ชนิดของวัตถุระเบิด

วัตถุระเบิดในงานอุตสาหกรรมมีหลายชนิด ที่ถูกผลิตมาเพื่อตอบสนองผู้ประกอบการได้เลือกใช้วัตถุระเบิดให้เหมาะกับงานเหมืองหิน งานก่อสร้าง งานเหมืองแร่ เป็นต้น หรือตามสภาวะของรูเจาะ (แห้งหรือเปียก) การศึกษาอย่างละเอียดของชนิดและส่วนผสมของวัตถุระเบิด รวมทั้งพลังงานจากปฏิกิริยาที่แปรผันตามจำนวนและน้ำหนักวัตถุระเบิดเป็น

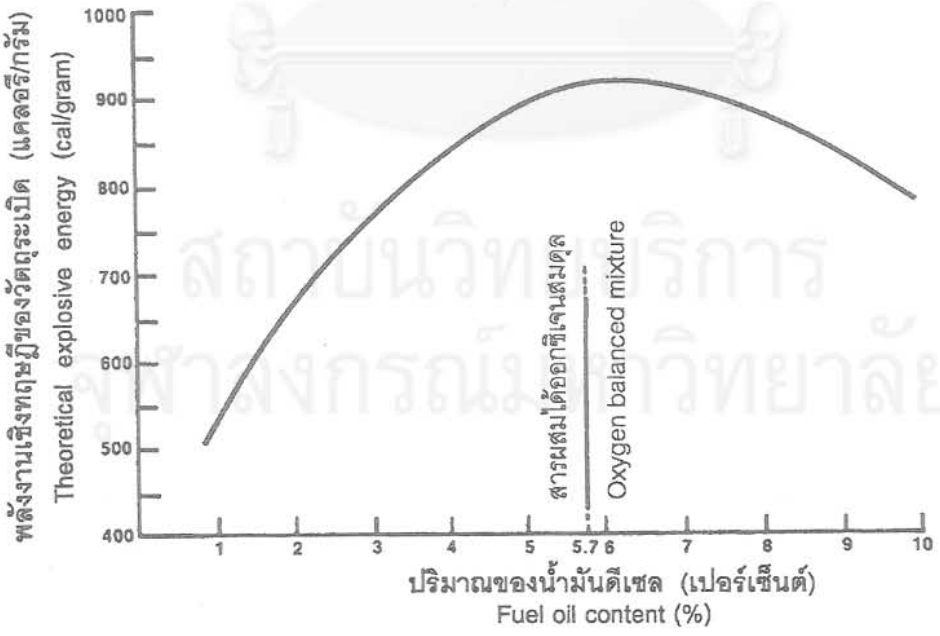
สิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง ในปัจจุบันวัตถุระเบิดมักบรรจุในรูปแบบแท่งคาร์ทริดย์ (cartridge) หรือในรูปแบบเป็นเม็ดผลึกในถุง (bulk) ในกรณีที่รูเจาะระเบิดเล็กกว่า 60 มม. (ขนาด 2 3/8 นิ้ว) อาจใช้สารผสมระเบิด (แอมโมเนียมไนเตรตกับน้ำมันดีเซล) เพียงอย่างเดียว แต่ถ้ารูเจาะใหญ่กว่า 60 มม. ควรใช้แท่งไดนาไมต์เป็นไพร์เมอร์ (primer) ช่วยเสริมพลังความดันของการระเบิดด้วย

แนวทางโดยสังเขปของการเลือกชนิดวัตถุระเบิดพลังสูง (high explosives) ใช้ระเบิดเพื่อการขุดเจาะ ที่มีการจำหน่ายทั่วไปและเป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่

1) <u>วัตถุระเบิดประเภทอิงสารไนโตรกลีเซอรีน</u> วัตถุประเภทนี้มีทั้งแบบเป็นเจล (gelatin) กึ่งเจล (semi-gelatin) หรือเป็นผง (powder)

วัตถุระเบิดที่ใช้ไนโตรกลีเซอรีนใช้ในการระเบิดหินมาเป็นระยะยาวนาน มีข้อดีคือ เคลื่อนย้ายได้ง่าย ราคาปานกลาง ให้พลังงานที่ดี ความเร็วของคลื่นระเบิด 4,000 ถึง 6,000 เมตร/วินาที แต่ต้องระวังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิปกติ เพราะไนโตรกลีเซอรีนเป็นประเภทไวไฟแบบ sensitizer

2) <u>วัตถุระเบิดแบบผสม</u> วัตถุระเบิดประเภทนี้นิยมใช้มากที่สุดเพราะประหยัด หาซื้อง่าย ราคาถูก ให้พลังงานดี เมื่อมีการผสมในอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแอมโมเนียมไนเตรตกับน้ำมันดีเซลให้ความเร็วของคลื่นระเบิด 3,200 - 3,850 เมตรต่อวินาที




รูปที่ 3.7 การผสมในอัตราส่วนที่เหมาะที่สุด ระหว่างแอมโมเนียมไนเตรตกับน้ำมันดีเซล

ข้อเสียก็คือต้องเป็นหลุมที่แห้งและอาจเกิดก๊าซพิษเนื่องจากส่วนผสมไม่ถูกต้อง และการอัดบรรจุต้องใช้เครื่องอัดจนได้กำลังอัดพอดีในรูเจาะจึงจะให้ประสิทธิภาพดี

3) วัตถุระเบิดแบบสเลอรี เป็นวัตถุสเลอรี (slurry) มีส่วนผสมของสารป้องกันน้ำ สารไวไฟต่อการระเบิด กับแอมโมเนียมไนเตรต อาจอยู่ในสภาพเป็นแท่งเจล (gel) หรือเป็นยางเหนียว (gum) ข้อดีเป็นสารที่ก่อนผสมไม่มีอันตรายต่อมนุษย์ และเมื่อใช้สเลอรีนานไม่เกิดอาการปวดศีรษะแบบใช้ไนโตรกลีเซอรีน และสเลอรีมีความไวไฟน้อยกว่าไนโตรกลีเซอรีน ความเร็วของคลื่นระเบิดของวัตถุระเบิดแบบสเลอรี 4,500 - 5,000 เมตรต่อวินาที

4) วัตถุระเบิดแบบอิมัลชัน เป็นวัตถุระเบิดที่ปกติอยู่ในสภาพเป็นของเหลวหรือในฟอร์มของ น้ำในน้ำมันอิมัลชัน (water in oil emulsion) เดิมใช้สารละลายแบบ supersaturated แต่ปัจจุบันใช้ก๊าซผสมก่อนนำไปใช้ในหลุมเจาะ แต่บางครั้งก็ทำเป็นแบบเชื้อเพลิงแข็ง (solid fuels) โดยการผสมกับอะลูมิเนียม

ข้อดีการจุดระเบิดด้วยวัตถุระเบิดแบบอิมัลชัน คือ เป็นปฏิกิริยาในระดับขั้นโมเลกุล (molecular level) คลื่นระเบิดจึงมีพลังสูงอยู่ที่ค่า 5,500 - 6,500 เมตรต่อวินาที เมื่ออิมัลชันถูกนำมาผสมกับสาร AN-FO (Ammonium Nitrate - Fuel Oil) ส่วนของอิมัลชันจะเข้าไปแทนที่ช่องว่างผลึกแร่แอมโมเนียมไนเตรต โดยที่ไม่ทำให้ปริมาตรของวัตถุระเบิดในรูเจาะสูงขึ้น ทำให้ได้วัตถุระเบิดรูปแบบที่มีความหนาแน่นสูงกับให้พลังงานสูง หรือถ้ามีอิมัลชันเกิน 50 % จะทำให้กันน้ำซึมผ่านได้ ข้อเสียของวัตถุระเบิดแบบอิมัลชัน คือการเก็บรักษาทำได้ค่อนข้างลำบาก และยังเป็นสิ่งใหม่ ราคาแพง หายาก

ค. ตัวแปรของการออกแบบระเบิด

ในเชิงทฤษฎีตัวแปรที่เกิดจากการระเบิดหิน แยกประเภทได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มตัวแปรแรกตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ (non-controllable variables) และตัวแปรกลุ่มสองตัวแปรที่สามารถควบคุมได้ (controllable variables)

1) ตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้

ตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ เป็นสิ่งที่เกิดตามธรรมชาติ มนุษย์ไม่สามารถจะไปแก้ไขปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ก่อนทำการระเบิด หรือถ้าทำได้ก็ไม่คุ้มค่าเชิงเศรษฐกิจ ได้แก่

- สภาพพื้นผิวของภูมิประเทศและโครงสร้างหิน ภูมิประเทศของบริเวณและโครงสร้างของหินที่จะทำการระเบิด ถ้ามวลหินมีรอยแตกรอยแยกอยู่ก่อนแล้ว ก็เป็นการยากที่จะไปปรับปรุงหรือทำให้ดีขึ้นกว่าเดิม อาจทำได้เพียงปรับระดับพื้นผิว

- ความลึก ความหนา และชนิดของพื้นผิวที่ปกคลุม (overburden) ด้วยชั้นดิน หรือชั้นอื่น เป็นสิ่งที่เกิดตามกระบวนการทางธรรมชาติ ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ การออกแบบระเบิดหินก็ต้องให้เหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน

- ลมและแนวทิศทาง การพัดและแนวทิศทางพัดของลม อาจมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา และจัดเป็นสิ่งที่ควบคุมไม่ได้

2) <u>ตัวแปรที่ควบคุมได้</u>

ตัวแปรที่ควบคุมได้ เป็นสิ่งที่มนุษย์ออกแบบ ดัดแปลง และปรับปรุงแก้ไขหรือพัฒนาให้ดีขึ้นกว่าเดิม หรือให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมมากขึ้น ได้แก่ตัวแปรดังต่อไปนี้

- ชนิดของวัตถุระเบิด ปัจจุบันมีการใช้วัตถุระเบิดมากมายหลายชนิดที่ผลิตขึ้นมาใช้ในงานวิศวกรรม แต่ละชนิดมีเงื่อนไขเฉพาะหรือข้อกำหนด (specification) ให้ใช้ได้เหมาะสมกับงานชนิดใดชนิดหนึ่ง เช่น สำหรับรูเจาะระเบิดแห้ง รูเจาะระเบิดมีน้ำขัง

วัตถุระเบิดหลักในการระเบิดหินที่ใช้ในประเทศไทยคงเป็น สารผสมระเบิดประเภท AN-FO (Ammonium Nitrate-Fuel Oil) เพราะราคาถูกหาง่าย ใช้ในงานไม่ยุ่งยาก

- รูปแบบเรขาคณิตของการระเบิด วิศวกรสามารถคำนวณปริมาตรของหน้าเหมืองหินที่ต้องการระเบิดให้หินเกิดการแตกหักตามต้องการ กรณีที่ต้องการระเบิดหินโดยการตัดความลาดเป็นตะพักขั้นบันได (bench blasting) วิศวกรสามารถเลือกขนาดของรูเจาะหลุมระเบิด ระยะความหนาหน้าระเบิด เป็นค่าระยะระหว่างแถวของรูเจาะหรือระยะห่างระหว่างแถวถึงหน้าอิสระ ที่เรียกว่าระยะเบอร์เดน (burden) ระยะห่างระหว่างหลุมเจาะในแถวหรือเรียกระยะสเปซชิง (spacing) ระยะปิดอัดด้วยวัสดุปากหลุมหรือเรียกระยะสเตมมิง (stemming) ระยะเจาะหลุมต่ำกว่าระดับพื้นหรือเรียกว่าระยะซับดริล (sub-drilling) เป็นต้น เมื่อทำการคำนวณได้พื้นที่หน้าตัดของงานระเบิดและทราบขนาดความสูงของหน้าเหมือง ก็สามารถคำนวณปริมาตรหินทั้งในแบบปริมาตรแน่น (dense or bank volume) และเมื่อใช้ค่าคงที่คูณกับปริมาตรแน่นจะได้ค่าปริมาตรในแบบปริมาตรหลวม (loose volume) แต่วิธีการที่น่าจะได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงแม่นยำกว่าในด้านการผลิตหินของเหมือง ได้แก่ การชั่งน้ำหนักรถที่บรรทุกหินที่แตกหักภายหลังการระเบิดก่อนเทหินแตกหักผ่านปากไม่ และการชั่งน้ำหนักรถที่บรรทุกหินย่อยที่ผ่านกระบวนการบดย่อยในโรงโม่แล้วขนส่งไปยังแหล่งที่ใช้หิน

- จำนวนน้ำหนักวัตถุระเบิดสูงสุดต่อจังหวะถ่วง และแก้ปถ่วงเวลา วิศวกรยังสามารถควบคุมน้ำหนักของการใช้วัตถุระเบิดต่อปริมาตรของหินได้ หรือในบางกรณีอาจ

เลือกใช้แก๊ปไฟฟ้าจังหวะถ่วง เพื่อเป็นการลดผลกระทบเชิงการสั่นสะเทือนและผลกระทบด้านอื่นโดยเลือกค่าน้ำหนักวัตถุระเบิดสูงสุดต่อจังหวะถ่วง ชนิดแก๊ปไฟฟ้าถ่วงเวลา เป็นต้น

- ทิศทางของหน้าระเบิด การวางแผนหน้าเหมืองหินให้ได้ทิศทางระเบิดที่ดี จะช่วยหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดอันตรายหรือเกิดผลกระทบโดยตรงต่อชุมชนและสิ่งแวดล้อมได้ แต่ทั้งนี้ต้องมีการวางแผนล่วงหน้าก่อนเริ่มการพัฒนาหน้าเหมือง อนึ่งการเลือกเปิดหน้าเหมืองให้เหมาะสมกับสภาพทางธรณีวิทยา ช่วยบังคับให้กองหินที่ระเบิดแล้วสะดวกและง่ายต่อการขนเคลื่อนย้าย เพิ่มปลอดภัยในการปฏิบัติงาน และประหยัดค่าใช้จ่ายได้อีกด้วย

ง. <u>ผังหรือแบบแปลนระเบิดที่เหมาะสำหรับหน้างาน</u>

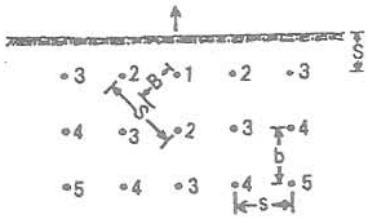
หลักการของการปฏิบัติงานระเบิดหินที่ดีก็คือ การที่สามารถควบคุมให้มีผลลัพธ์ของการแตกหักให้อยู่ในเกณฑ์กับมีใช้ปริมาณวัตถุระเบิดอย่างเหมาะสม ไม่ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมกับชุมชนข้างเคียงที่ได้รับผลกระทบจนเป็นที่ยอมรับไม่ได้

1) <u>ผังการระเบิดหินทั่วไป</u>

งานการระเบิดหินแบบตัดความลาดขั้นบันไดส่วนใหญ่ จะออกแบบให้ทิศทางของมวลหินที่แตกหักมีการเคลื่อนที่ในแนวตั้งฉากกับหน้าอิสระ (free face) นอกจากนี้ยังไม่นิยมให้มีจำนวนแถวของรูเจาะมากกว่า 4 แถว เนื่องจากอาจมีผลกระทบในด้านการสั่นสะเทือนและเกิดรอยแตกร้าวบริเวณแถวหลุมเจาะด้านหลัง หรือเกิดการยกตัวมวลหินมีการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรง

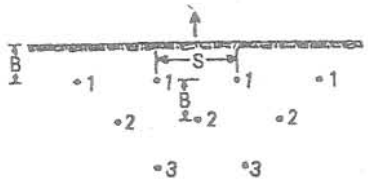
ในบางกรณีที่ทิศทางการเคลื่อนที่ของมวลหินกระเด็นไม่อยู่ในแนวตั้งฉากกับหน้าอิสระจำเป็นต้องใช้แนวการเจาะกับรูปแบบของการถ่วงจังหวะเป็นกรณีพิเศษ ตามปกติขนาดหลุมเจาะที่ใหญ่ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเจาะและทำให้การใช้วัตถุระเบิดลดน้อยลง รูปแบบเชิงเรขาคณิตของหน้าผังระเบิดที่สำคัญที่สุด คือระยะห่างในแนวฉากระหว่างแถวแรกของหลุมเจาะระเบิดกับหน้าอิสระ เพราะเป็นระยะที่สั้นที่สุดที่ใช้เวลาในการจุดระเบิดและเกิดการเคลื่อนย้ายของชิ้นส่วนมวลหิน และยังเป็นขนาดมิติพื้นฐานที่ใช้คำนวณระยะมิติอื่น

ในรูปที่ 3.8 หน้าถัดไป เป็นการมองผังภาพ (plan view) สำหรับการออกแบบการระเบิดทั่วไปหลายรูปแบบ แบ่งออกเป็นผัง (plan) A, B, C, D, E, F, G แต่ละผังจะมีชื่อเฉพาะที่ใช้เรียก สำหรับงานระเบิดของหน้าเหมืองเปิด (แสดงชื่อไว้ในรูป 3.8) ตัวเลขอาระบิกในรูปเป็นหมายเลขแก๊ปถ่วงเวลาของการระเบิด หมายเลขต่ำของแก๊ปมีผลทำให้เกิดการระเบิดก่อน หมายเลขสูงจะเกิดการระเบิดทีหลัง ผังหน้าเหมืองที่แตกต่างกันนั้น ผู้วางแผนระเบิดหน้างานอาจปรับแต่งให้เหมาะกับสภาพภูมิประเทศของการตัดขั้นบันได หรือให้เหมาะกับสภาพธรณีวิทยา ของพื้นที่ในบริเวณที่ปฏิบัติงานระเบิด



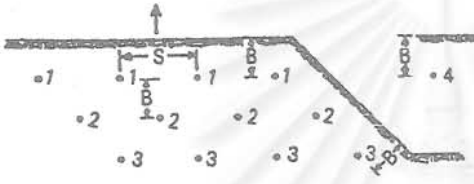
ผัง A ตัดหน้าแบบอย่างกล่อง ขยายแนวตัววี

Box cut, expanding V



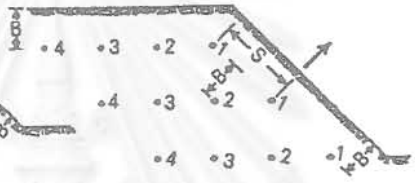
ผัง B ตัดหน้าแบบอย่างกล่อง ขยายแนวราบด้านล่างตัววี

Box cut, expanding V flat bottomed V



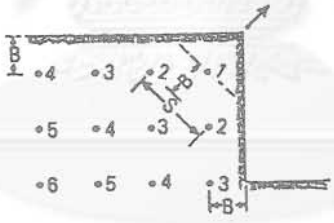
ผัง C ตัดด้านข้าง แบบอย่างสลับฟันปลา

Corner cut, echelon



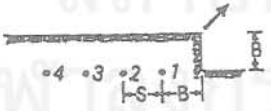
ผัง D ตัดมุม แบบอย่างสลับฟันปลา

Corner cut, echelon



ผัง E ตัดมุมสองด้าน แบบอย่างสลับฟันปลา

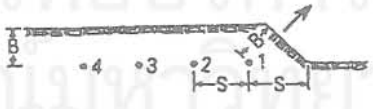
Corner cut, echelon



ผัง F ตัดมุม แบบอย่างสลับฟันปลาแถวเดียว

Corner cut, echelon

Single row, S = B



ผัง G ตัดมุม แบบอย่างสลับฟันปลาแถวเดียว

Corner cut, echelon

Single row, S = 1.4B

**รูปที่ 3.8 ผังภาพ (plan view) ของการออกแบบการระเบิดหลายแบบอย่าง แนวหัวลูกศรเป็นทิศทางการเคลื่อนที่ของมวลหินภายหลังการระเบิด**

คำอธิบายนิยามและสัญลักษณ์ต่าง ๆ ในรูปที่ 3.8 หน้า 52 ได้รวบรวมแสดงไว้ต่อไปนี้ เพื่อความสะดวกและทำให้เข้าใจง่าย

B = ระยะความหนาหน้าระเบิด (burden) เป็นระยะที่วัดจากจุดศูนย์กลางหลุมเจาะระเบิดในแถวแรกถึงหน้าอิสระในระยะที่ใกล้ที่สุด การเปลี่ยนตำแหน่ง (displacement) อนุภาคจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่จุดระเบิด

b = เป็นระยะตั้งฉากกับหน้าอิสระดั้งเดิม วัดระหว่างแถวของหลุมเจาะระเบิด

$D_e$ = เส้นผ่านศูนย์กลางของวัตถุระเบิด ในหลุมเจาะระเบิด

H = ความยาวทั้งหมดของหลุมเจาะระเบิด

J = ความยาวของระยะหลุมเจาะที่เจาะลึกลงไปใต้พื้นเหมืองหินเรียกว่าระยะเจาะต่ำกว่าพื้นเหมือง (subdrilling)

L = ความสูงในแนวดิ่งของหน้าเหมือง

S = ระยะห่างระหว่างหลุมเจาะในแถว (spacing) เป็นระยะห่างระหว่างหลุมเจาะสองหลุม ค่าระยะห่างนี้จะต้องวัดตั้งฉากกับระยะความหนาหน้าระเบิด

s = ระยะห่างระหว่างหลุมข้างเคียงในแถวเดียวกัน (ดูผัง A รูปที่ 3.8)

T = ระยะที่ปลอดจากวัตถุระเบิดเป็นส่วนที่กลบอัดหลุมเจาะด้วยดิน/เศษหิน เรียกว่า ระยะปิดอัดปากหลุมเจาะ (stemming)

ตามปกติคนงานในภาคสนามจะใช้พจน์ b และ s เพื่อความสะดวกในการอธิบายแบบอย่างการระเบิดเฉพาะบางแบบ เช่น ผัง A ที่เป็นแบบกริดสี่เหลี่ยมจัตุรัส (square grid) นิยามของพจน์ b ไม่ใช่ ระยะ B และพจน์ s ก็ไม่ใช่ระยะ S

2) <u>สูตรและข้อเสนอแนะของการคำนวณผังหน้าระเบิด</u>

ผู้วิจัยโครงการนี้ได้เคยนำเสนอสูตรเชิงประสบการณ์ (empirical formulas) ที่มีผู้เชี่ยวชาญหลายท่านได้แนะนำไว้ในรายงานวิจัยหลายเล่ม (สง่า ตั้งชวาล และ คณะ, 2542; สง่า ตั้งชวาล, 2543) ส่วนใหญ่จะเป็นผลงานวิจัยดั้งเดิมของผู้เชี่ยวชาญมาก่อนภายหลังจึงได้นำมาเผยแพร่ สิ่งที่ประสบเป็นปัญหาเสมอในเรื่องการปฏิบัติงานภาคสนาม ได้แก่ สูตรเชิงประสบการณ์งานระเบิดแบบอย่างหรือแพตเทิร์น (pattern) หนึ่งอาจเหมาะสำหรับงานระเบิดภาคสนามอีกแห่งหนึ่ง แต่ไม่เหมาะกับงานระเบิดภาคสนามอีกแห่งหนึ่ง ทั้งนี้เพราะว่า สภาพของภูมิประเทศ ธรณีวิทยา และสิ่งแวดล้อมต่างกัน

จ. การระเบิดย่อยกับระเบิดหน้างานเพื่อปรับแต่ง

ในกรณีที่การระเบิดครั้งแรกมีก้อนขนาดใหญ่เกินไป ทำให้ต้องทำการระเบิดย่อย (secondary breakage) เพื่อให้หินก้อนนั้นผ่านปากไม่ที่ใช้บดย่อยได้ หลักการง่าย ๆ เป็นการเจาะหลุมเล็กหนึ่งหลุมหรือหลายหลุม และมีการบรรจุวัตถุระเบิดกับใช้ปริมาณวัตถุระเบิดน้อยกว่าปกติกับเพิ่มระยะปิดอัดให้ยาวมากกว่าปกติ ทั้งนี้ต้องการให้ภายหลังจากการจุดระเบิดหินเพียงแค่แตกร้าว ไม่มีเศษหินกระเด็นไปไกลหรือก่อให้เกิดความรำคาญในเรื่องความดังเสียงจนมากเกินไป

การเจาะระเบิดเพื่อปรับแต่งหน้างานภายหลังการระเบิดเพื่อการพัฒนาเสร็จสิ้นแล้ว มีจุดประสงค์เพื่อให้ได้หน้าผาที่มองดูมีแนวตัดเรียบเพื่อความสวยงาม หรือบางครั้งหน้างานระเบิดมีรอยแตกร้าวด้านหลังแนวระเบิดมาก จึงต้องระเบิดตัดให้เรียบเพื่อให้เกิดความมีเสถียรภาพสูงขึ้น ปกติที่ทำการออกแบบจะให้รูเจาะอยู่ชิดกันมากขึ้น และอาจบรรจุอัดระเบิดเว้นหลุมต่อหลุม โดยอาศัยการแตกร้าวในแถวช่วย กับลดจำนวนวัตถุระเบิดลง

3.2.4 การป้องกันอุบัติเหตุของการใช้วัตถุระเบิด

การป้องกันไม่ให้เกิดอุบัติเหตุหรืออันตราย เป็นการเพิ่มระดับขั้นของความปลอดภัยในการใช้วัตถุระเบิดให้สูงขึ้น จำเป็นต้องมีการปฏิบัติตามขั้นตอนต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องอย่างมีหลักเกณฑ์ และเพิ่มความระมัดระวังมากกว่าปกติ ขั้นตอนสำคัญที่อาจเป็นมูลเหตุของการเกิดอุบัติเหตุได้นั้น เริ่มตั้งแต่ การเก็บรักษากับเบิกจ่ายวัตถุระเบิด การขนย้ายหรือเคลื่อนที่วัตถุระเบิดก่อนการระเบิด การใช้และบรรจุอัดวัตถุระเบิดหน้างานขุดเจาะ และการตรวจสอบผลลัพธ์ภายหลังจากจุดระเบิดแล้ว

1. การเก็บรักษาและเบิกจ่ายวัตถุระเบิด

สิ่งแรกที่ต้องทำได้แก่ การมีการบันทึกข้อมูลความต้องการใช้วัตถุระเบิด กับมีบัญชีจำนวนวัตถุระเบิดที่เก็บรักษากับมีการเบิกจ่าย และต้องเป็นไปตามใบขออนุญาตจากทางราชการเพื่อมีวัตถุระเบิดไว้ครอบครอง และการขออนุญาตขนย้ายวัตถุระเบิด

สาเหตุหลักของการเกิดอุบัติเหตุหรืออุบัติภัย ที่เกิดในระหว่างการเก็บรักษา คือ

- คลังเก็บรักษาต้องแยกวัตถุระเบิดแต่ละประเภทออกห่างกันและห่างพื้นที่ระเบิด
- ความร้อนเนื่องจากแสงแดดหรือจากการเผาไหม้ในบริเวณข้างเคียง อาจทำให้วัตถุระเบิด เช่น เชื้อปะทุ ไดนาไมต์ เกิดการจุดระเบิดเอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เกิดความประมาทจากการนำเชื้อปะทุมาวางไว้ใกล้กับไดนาไมต์
- การเกิดประกายไฟจากบริเวณใกล้เคียง หรือการเกิดฟ้าผ่าจากพายุฝน
- การเกิดความดันคลื่นที่อัดมาจากผลของการระเบิดที่ข้างเคียงกับแหล่งเก็บรักษา

สาเหตุหลักการเกิดอุบัติเหตุหรืออุบัติภัย ที่เกิดในระหว่างการเก็บขนเคลื่อนย้ายคือ

- ความร้อนเนื่องจากแสงแดดหรือความร้อนจากยานพาหนะที่ใช้ขนส่ง อาจทำให้วัตถุระเบิด เช่น เชื้อปะทุ ไดนาไมต์ เกิดการจุดระเบิดเอง
- การเกิดประกายไฟจากบริเวณใกล้เคียง หรือเกิดพายุฝน ในช่วงทำการขนส่ง
- ความประมาทในการยก การจัดวาง หรือทำวัตถุระเบิดตกหล่น

2. <u>การใช้วัตถุระเบิดหน้างานขุดเจาะ</u>

สาเหตุและการป้องกันอันตรายระหว่างที่มีการใช้วัตถุระเบิดหน้างานขุดเจาะ คือ

- การใช้วัตถุระเบิดต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของผู้ผลิต วัตถุระเบิดกับอุปกรณ์ที่หมดอายุหรือเสียสภาพ อาจมีถึงการจุดระเบิดที่ด้านหรือได้ผลลัพธ์การแตกหักหินที่ไม่ดี
- ระวังไม่ให้เกิดการสั่นสะเทือนหรือเกิดประกายไฟ ในระหว่างการเปิดหีบบรรจุหรือลังบรรจุวัตถุระเบิด
- มีน้ำขังในรูเจาะหลุมระเบิด โดยเฉพาะด้านล่างของหลุม อาจเกิดการจุดระเบิดไม่ดิด (misfire) ได้
- การต่อวงจรไฟฟ้าผังหน้าระเบิดผิด หรือการต่อวงจรผังหน้าระเบิดในขณะที่เมฆลอยต่ำครึ้มฟ้าครึ้มฝน หรือการต่อวงจรในช่วงที่มีพายุฝน อาจเกิดฟ้าผ่าหลุมระเบิดได้
- การต่อวงจรทิ้งไว้นาน ค้างคืน หรือการที่ใช้เชื้อปะทุในผังหน้าระเบิดเดียวกันจากผู้ผลิตหลายแห่ง อาจมีผลเรื่องความต้านทานที่ไม่สมดุลในวงจรเดียวกันได้
- ในระหว่างการต่อวงจรมีการสูบบุหรี่ หรือมีคลื่นวิทยุกำลังส่งสูงรบกวน อาจเกิดการเหนี่ยวนำและจุดระเบิด ระหว่างการปฏิบัติงานยังไม่เสร็จสิ้น
- ก่อนการระเบิดจะต้องมั่นใจว่าไม่มีคนและเครื่องจักรกล หรือสิ่งมีชีวิตอื่นอยู่ข้างเคียง ต้องมีสัญญาณเตือนเป็นระยะประมาณ 3 ครั้ง ก่อนระเบิด และควรกำหนดเวลาทำการระเบิดที่แน่นอนและแจ้งให้ชุมชนทราบอย่างชัดเจน

3. <u>การตรวจสอบผลลัพธ์ภายหลังจากจุดระเบิดแล้ว</u>

สาเหตุและการป้องกันอันตรายภายหลังการจุดระเบิดแล้ว คือ

- วัตถุระเบิดที่ใช้แล้วไม่ระเบิดหรือด้าน ถ้าถูกกระทบกระเทือนอาจเกิดระเบิดได้
- วัตถุระเบิดที่เสื่อมสภาพแล้วทิ้งไว้หน้างาน เมื่อมีการทำลายที่ไม่ถูกวิธีอาจเป็นอันตรายได้เช่นเดียวกัน
- การจุดระเบิดบางครั้ง ความดันของคลื่นระเบิดไม่มากพอที่ทำให้โขดหินหน้างานหลุดออกมาทันที แต่เมื่อคนกับเครื่องจักรไปปฏิบัติงาน เกิดการสั่นสะเทือนเพียงเล็กน้อยอาจมีผลให้โขดหินที่ค้างหน้างานหลุดออกมาหล่นใส่ เป็นอันตรายต่อคนและทรัพย์สินได้ หรือทำให้เป็นที่กีดขวางการปฏิบัติงานภาคสนาม ก่อให้เกิดการสูญเสียเวลาในการทำงาน

3.2.5 ขั้นตอนหลักเชิงความปลอดภัยในการปฏิบัติงานภาคสนาม

การปฏิบัติงานเกี่ยวกับวัตถุระเบิด ถ้าหากผู้ปฏิบัติงานปฏิบัติงานผิดขั้นตอนมีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดอุบัติเหตุ และอาจเป็นอันตรายถึงชีวิตกับทำให้สูญเสียทรัพย์สินได้ จึงต้องมีการวางแผนที่ดีเพื่อไม่ให้เกิดความไม่ปลอดภัยขึ้น เน้นในเรื่องงานการเจาะ งานระเบิดในภาคสนาม กับงานขุดตักขนย้ายหินหน้าเหมือง

1. ขั้นตอนหลักเชิงความปลอดภัยในงานเจาะ

เครื่องจักรกลที่เกี่ยวข้องกับงานเจาะ ได้แก่ เครื่องอัดอากาศ เครื่องเจาะแต่ละชนิด มีขั้นตอนหลักในการป้องกันอุบัติเหตุแตกต่างกันตามลักษณะการใช้งาน

ก) เครื่องอัดอากาศ

พื้นที่ตั้งเครื่องต้องมั่นคง มีการตรวจสอบข้อต่อท่อยางให้มีการยึดติดไม่สะบัดหลุดง่าย มีการป้องกันส่วนที่เคลื่อนไหวของเครื่องยนต์ที่ให้กำลังฉุดเครื่องอัดอากาศในสภาพปลอดภัย มีการตรวจสอบการทำงานของลิ้นนิรภัยอย่างสม่ำเสมอ

ข) เครื่องเจาะขนาดเล็ก

เครื่องเจาะแบบมือถือหรือเรียกเป็นเครื่องเจาะแจ็คแฮมเมอร์ ผู้ปฏิบัติงานต้องสวมถุงมือหนังอยู่ตลอดเวลา สวมเสื้อผ้าให้รัดกุมใส่ที่ครอบหู เลือกตำแหน่งเจาะที่ยืนได้มั่นคง กรณีที่ต้องเจาะแบบแห้งควรสวมอุปกรณ์ป้องกันฝุ่น อย่าเจาะใกล้รูที่ยังไม่ระเบิดและมีวัตถุระเบิดอัดอยู่ในรู เมื่อก้านเจาะติดให้พยายามเอาออกเลยอย่าปล่อยคาทิ้งไว้ เพราะมีผลเสียมากกว่าผลดี

ค) เครื่องเจาะขนาดใหญ่

เครื่องเจาะขนาดใหญ่ ทั้งแบบที่ใช้อัดอากาศหรือแบบไฮดรอลิก สิ่งที่ต้องตรวจสอบเป็นลำดับแรก ได้แก่ สภาพพื้นที่มีความมั่นคงเพียงพอที่จะรับน้ำหนักรถเจาะกับแท่นเจาะหรือไม่ ให้ตรวจสอบระบบการทำงานของเครื่องเจาะ เช่น เบรก เกียร์ ขาตั้ง กล่องเก็บหัวเจาะ รางเก็บก้านเจาะ อยู่ในสภาพที่มีความพร้อมที่จะใช้งาน ห้ามจับก้านเจาะขณะหมุน และระมัดระวังในการใช้ประแจจับก้านเจาะเมื่อเวลาต่อหรือลดจำนวนก้านเจาะ และผู้ปฏิบัติงานต้องสวมอุปกรณ์ป้องกันฝุ่นและเสียง

2. ขั้นตอนหลักเชิงความปลอดภัยในงานระเบิด

งานระเบิดหินเกี่ยวข้องโดยตรงกับความปลอดภัยในการใช้วัตถุระเบิด เริ่มตั้งแต่การเก็บรักษา การขนย้ายวัตถุระเบิด และการป้องกันอุบัติเหตุระหว่างปฏิบัติงาน

ก) <u>การเก็บรักษา</u>

ตัวอาคารที่เก็บรักษาควรทำด้วยวัสดุทนไฟ พื้นอาคารทำด้วยไม้หรือคอนกรีต ห้ามใช้พื้นที่เป็นโลหะอาจเกิดประกายไฟได้ง่าย จัดให้มีสายล่อฟ้า มีการระบายลมที่ดี และต้องไม่ตั้งอยู่ในทิศทางการระเบิดของหน้าเหมือง

ข้อกำหนดเพื่อความปลอดภัยให้แยกอาคารเก็บแท่งดินระเบิดออกจากเชื้อปะทุ ไม่ต่ำกว่า 50 เมตร ประตูอาคารมี 2 ชั้น มีการใส่กุญแจไว้อย่างแข็งแรง กับติดป้ายมีข้อความ "อันตราย วัตถุระเบิด" อย่างชัดเจน

สถานที่เก็บวัตถุระเบิดต้องอยู่ห่างจากที่ตั้งชุมชน โรงเรียน ไม่น้อยกว่า 100 เมตร และโดยรอบอาคารที่เก็บต้องไม่มีหญ้าแห้งหรือวัตถุเชื้อเพลิงแต่อย่างใด ในรัศมี 10 เมตร มีการทำบัญชีแสดงยอดคงเหลือ การรับ การจ่าย วัตถุระเบิดแต่ละรายการชัดเจน กับจัดเวรยามป้องกันตลอดเวลา

ข) <u>การขนย้ายวัตถุระเบิด</u>

ในการขนวัตถุระเบิดแต่ละครั้ง ห้ามขนเชื้อปะทุร่วมไปกับแท่งดินระเบิด และภายในยานพาหนะที่บรรทุกวัตถุระเบิดห้ามบรรทุกโลหะ เครื่องมือโลหะ น้ำมัน ไม้ขีดไฟ น้ำกรด หรือวัตถุติดไฟง่ายอื่น

ห้ามผู้โดยสารที่ไม่มีหน้าที่เกี่ยวข้องโดยสารไปกับรถขนวัตถุระเบิด และห้ามสูบบุหรี่ขณะทำการขนย้ายวัตถุระเบิดในทุกกรณี

ค) <u>การป้องกันอุบัติเหตุระหว่างปฏิบัติงาน</u>

สิ่งต้องห้ามเกี่ยวกับความปลอดภัยก็เหมือนกับการขนย้ายวัตถุระเบิด ส่วนในการปฏิบัติงานในสนามนั้น ควรตรวจสอบอายุการใช้งานของวัตถุระเบิดก่อนว่าหมดอายุแล้วหรือยัง ให้ใช้ไม้เท่านั้นในการประจุวัตถุระเบิดหรือในการใช้เครื่องประจุวัตถุระเบิด หลีกเลี่ยงการใช้วัตถุระเบิดใต้สายไฟฟ้าแรงสูง สายชนวนธรรมดาต้องมีความยาว ไม่ต่ำกว่า 1 เมตรจากปากรูระเบิด การขบหลอดเชื้อปะทุติดกับสายชนวนให้ใช้คีมที่ออกแบบมาเฉพาะ

ในการจุดระเบิดด้วยไฟฟ้าให้ต่อลัดวงจรสายทั้งสองของสายไฟ ที่จะนำกระแสไฟฟ้าเข้าเชื้อปะทุจนกว่าพร้อมที่จะทำการระเบิด กับหลีกเลี่ยงการประจุวัตถุระเบิดทิ้งไว้นานโดยไม่ทำการจุดระเบิด มีสถานที่กำบังระหว่างการจุดระเบิด เคลื่อนย้ายอุปกรณ์ รถ เครื่องจักร เครื่องมือ ออกไปก่อนทำการระเบิด

ก่อนทำการจุดระเบิดให้มีการตรวจสอบระบบวงจรไฟฟ้า และให้สัญญาณเสียงเป็นอย่างน้อย 3 ครั้ง โดยเว้นระยะห่างพอสมควร ในขณะปฏิบัติการใด ๆ เกี่ยวกับวัตถุระเบิด ห้ามนำสิ่งที่มีกระแสไฟฟ้า เช่น ถ่านไฟฉาย เครื่องคิดเลข คอมพิวเตอร์ เครื่องรับส่งวิทยุ โทรศัพท์มือถือ เข้าใกล้ในบริเวณสถานที่ปฏิบัติงาน

3. ขั้นตอนหลักเชิงความปลอดภัยในงานขุดตักขนย้ายหิน

งานการขุดตักขนย้ายหินหน้างาน มีระบบเครื่องจักรกลที่ใช้ในการตักและขนย้ายที่เกี่ยวข้อง 3 ประเภท ได้แก่ แบบล้อยาง แบบตีนตะขาบ และแบบรถราง ซึ่งโดยทั่วไปเรียกชื่อรวม ๆ เป็นรถตัก

การวางแผนเชิงความปลอดภัยของการขนย้าย แบ่งออกเป็นการปฏิบัติงานของรถตัก การปฏิบัติงานของรถบรรทุก และรางทิ้งหิน

ก) ข้อกำหนดเชิงความปลอดภัยในการใช้รถตัก

ก่อนการทำงานผู้ขับรถตักควรมีการเตรียมตัวที่ดี เช่น สวมอุปกรณ์นิรภัย (หมวกแข็ง รองเท้านิรภัย) และทำความเข้าใจกับสัญญาณกับข้อจำกัดในการทำงาน ตลอดจนตรวจสภาพของพื้นที่ในขณะปฏิบัติงานรวมทั้งทดสอบระบบการทำงานของเครื่องจักรกล

ในขณะทำงานควรมีผู้ช่วยทำหน้าที่ให้คำแนะนำคนขับ เมื่อเวลาตัก รถควรอยู่ในแนวระดับ อย่าตักหินให้เต็มปุ้งกี๋จนเกินไป ในขณะที่มีลมแรงให้บังคับการเทหินในมุมลาดต่ำและอยู่ในทิศทางที่ลมพาฝุ่นไปไม่บังการมองเห็นของคนขับ และเวลาเทหินในรถบรรทุกให้ระมัดระวังอย่าให้ตัวปุ้งกี๋ถูกตัวรถบรรทุก และจัดดินหรือหินในรถบรรทุกให้สมดุล

ในขณะบรรทุกดินหรือหินในปุ้งกี๋ ให้ยกปุ้งกี๋ในระดับต่ำใกล้พื้นดินมากที่สุด และวิ่งด้วยความเร็วเหมาะสม อย่าออกรถหรือหยุดรถกระทันหัน ระวังไม่ให้ล้อยางหรือสายพานตีนตะขาบหมุนฟรีอยู่กับที่โดยไม่จำเป็น เพราะทำให้ผิวพื้นเดิมที่เรียบกลายเป็นขรุขระ ทำให้รถดิดหล่มง่าย การจอดรถตักให้จอดในที่ราบและตั้งฉากกับความลาดชันของทาง ควรใช้หินหนุนล้อไว้ เมื่อจอดชั่วคราวควรใส่เบรกมือไว้ และลงจากรถตักเมื่อรถจอดสนิท

ข) ข้อกำหนดเชิงความปลอดภัยในการใช้รถบรรทุก

พนักงานขับรถต้องสวมใส่หมวก รองเท้า และคาดเข็มขัดนิรภัย ในการปฏิบัติงานก่อนใช้รถบรรทุก ผู้ขับต้องทำการตรวจสภาพรถให้อยู่ในสภาพปลอดภัย เช่น ระบบเบรก ระบบคลัช แตรสัญญาณ ระบบแสงสว่าง ในการขับรถต้องมีความสัมพันธ์ระหว่างการใช้เกียร์กับความเร็ว และจัดระยะให้พอเหมาะเมื่อตามหลังคันอื่น

ในการจัดพนักงานขับรถ ควรให้พนักงานประจำคันใดคันหนึ่ง เพื่อความคุ้นเคย และทราบปัญหาของรถบรรทุกคันนั้น ผู้ควบคุมต้องคอยติดตามว่าพนักงานขับรถได้ปฏิบัติตามระเบียบหรือไม่ และมีการทดสอบความรู้ความเข้าใจใหม่เสมอ

หน้างานของบริเวณตักและขน ต้องมีขนาดกว้างพอสำหรับให้รถบรรทุกเลี้ยวกลับได้ และมีที่ว่างพอที่หลีกเลี่ยงการเดินหน้าถอยหลังของรถตัก และในขณะรอการตักให้พนักงานขับใส่เบรกมือ ถนนที่ขนส่งหินหากมีความลาดชันเกิน 8 เปอร์เซ็นต์ มีผลกระทบต่อกำลังของเครื่องยนต์กับความสามารถในการบรรทุกหินมาก ให้ขับโดยใช้เกียร์ต่ำ

ค) ขั้นตอนเชิงความปลอดภัยในการใช้รางทิ้งหิน

ก่อนทิ้งหินตามราง ควรกำหนดให้คนงานตรวจสอบสภาพเสาและสิ่งค้ำยันรางที่ต้องมั่นคงแข็งแรง และให้สัญญาณเป็นเสียงก่อนทิ้งหิน ให้หลีกเลี่ยงการไต่ขึ้นหรือลงทางรางทิ้งหิน ถ้าจำเป็นต้องจัดการกับหินที่กำลังค้างติดอยู่ให้หลุดออกจากรางทิ้งหิน ให้คนงานผูกเชือกที่เอวและโยงลงมาจากข้างบน และมีผู้ช่วยเหลือคอยทำการสาวเชือกได้ในเวลาที่กองหินเกิดการไถลเลื่อน

3.2.6 การระเบิดเพื่อควบคุมกับการเฝ้าสังเกตการณ์

ในการระเบิดหินเพื่อตัดความลาดแบบขั้นบันไดบางครั้ง เมื่อพลังงานของการระเบิดมีมากเกินพอดี หรือการออกแบบหน้างานระเบิดไม่ดีไม่สามารถควบคุมพลังงานของการระเบิดให้พื้นที่ของการแตกหักอยู่ในขอบเขตที่จำกัด มีผลทำให้เกิดการแตกร้าวด้านหลังแนวระเบิด และมวลหินที่ไม่ต้องการให้เกิดการแตกหักมีระนาบพื้นผิวที่ไม่ราบเรียบ ซึ่งเรียกปรากฏการณ์ลักษณะนี้ว่า "backbreak" หรือ "overbreak" การเจาะระเบิดบริเวณหน้างานครั้งถัดไปเกิดอุปสรรค ประสิทธิภาพของการระเบิดจะลดน้อยลง เนื่องจากเนื้อหินไม่แน่นมีรอยแตกหรือเกิดช่องว่างในมวลหิน และต้องมีการเฝ้าสังเกตการณ์ในภาคสนาม (monitoring) เพื่อประเมินผลของการเคลื่อนที่ของอนุภาคในมวลสารว่า มีส่วนที่อาจเป็นตัวแปรสำคัญในเกิดการพังทลายหน้างานภายหลังการระเบิดปกติเสร็จแล้ว

1. การออกแบบระเบิดเพื่อควบคุมโอเวอร์เบรก

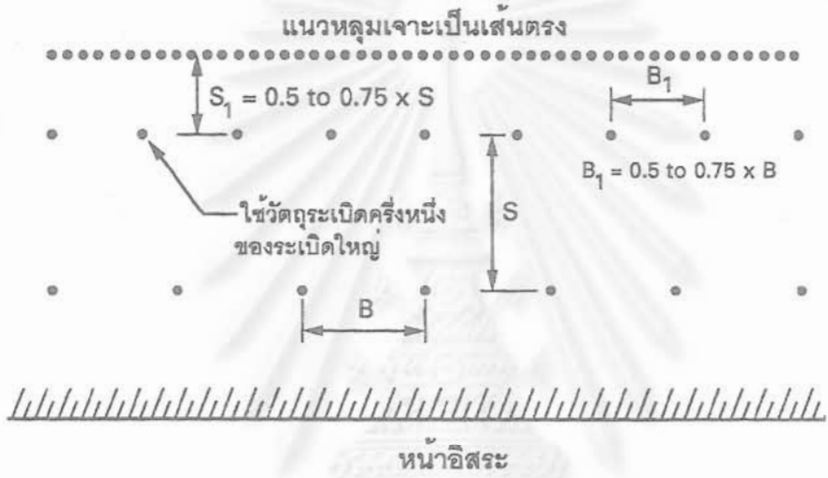
การระเบิดที่แม่นยำ (accurate blasting) เพื่อให้เกิดแนวแตกของขอบหินเรียบเป็นเส้นตรง เป็นสิ่งที่จำเป็นในงานการพัฒนาเพื่อการก่อสร้างหลายอย่าง เช่น การตัดความลาดชั้นบันไดของเหมืองเปิด การตัดแนวอุโมงค์ การเคลือบชั้นหินด้วยคอนกรีตเหลว เป็นต้น

เทคนิคหลายรูปแบบได้ถูกนำมาใช้กับการควบคุมการระเบิด ไม่ให้เกิดรอยแตกร้าวหรือโอเวอร์เบรกด้านหลังแนวขุดเจาะ (excavation line) จุดประสงค์หลักในการประยุกต์เทคนิคเหล่านี้ในงานระเบิด ได้แก่ การลดความเค้นในหินให้มีค่าน้อยลงโดยการกระจายความดันอัดที่เกิดจากวัตถุระเบิด ซึ่งมีผลทำให้การแตกร้าว (fracturing) ของมวลหินลดลงไปด้วย

วิธีการควบคุมที่จะอธิบายต่อไปนี้ สามารถใช้ได้กับการระเบิดทั้งที่เป็นการพัฒนาหน้างานบนพื้นผิวดินหรือใต้ดิน วิธีการที่นิยมใช้ในการควบคุมความเสียหายของหน้างานระเบิดแบ่งออกเป็น 3 แบบ ได้แก่ การเจาะหลุมเป็นแนวเส้นตรง (line drilling) การการระเบิดตัดเรียบ (smooth blasting) และการระเบิดแบบให้แตกในแถว (pre-splitting) ดังมีวิธีการในการดำเนินการโดยย่อ ดังนี้

ก) <u>การเจาะหลุมเป็นแนวเส้นตรง</u> (line drilling)

การควบคุมผลกระทบเนื่องจากโอเวอร์เบรกด้วยวิธีนี้ ใช้กับงานระเบิดบนพื้นผิวดินเป็นส่วนใหญ่ จุดประสงค์ของการเจาะหลุมเปล่า (slot) เพื่อต้องการให้เกิดระนาบเปราะบางแนวใหม่หรือทำให้เกิดช่องว่างขึ้นในช่วงก่อนทำการระเบิด การเจาะเป็นแบบทำให้หลุมเจาะอยู่ใกล้หรือติดกันแตกตามแนวการขุดเจาะที่ต้องการ (รูปที่ 3.9 ข้างล่าง)

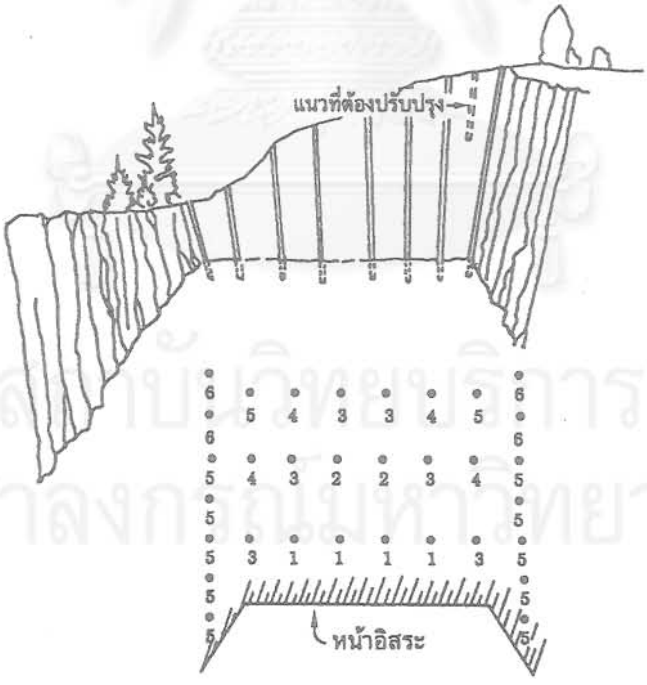



รูปที่ 3.9 การเจาะสลอดของหลุมเจาะแบบเป็นแนวเส้นตรง ในรูปแสดงผังภาพของแนวการเจาะหลุมที่ชิดกัน และบริเวณหน้างานขุดเจาะที่มีผิวขรุขระ สัญลักษณ์ B = ระยะความหนาหน้างานปกติ, S = ระยะห่างระหว่างหลุมปกติ ส่วน $B_1$ กับ $S_1$ = ระยะความหนาหน้างานกับระยะห่างหลุมเจาะในแถวที่มีการลดจำนวนวัตถุระเบิด

หลักการวิธีนี้คล้ายคลึงกับการทำให้เกิดช่องว่างของอาคารโครงสร้าง เพื่อป้องกันแรงจากแผ่นดินไหว (Key, 1988) ช่องว่างที่เกิดขึ้นในพื้นผิวดินทำให้เกิดการแยกตัวออกจากกันของคลื่นกระแทก (shock isolation) เป็นการตัดพลังงานที่จะเกิดผลกระทบต่ออาคารโครงสร้างลดน้อยลง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหลุมเจาะไม่ควรเกิน 75 มิลลิเมตร (3 นิ้ว) และระยะห่างระหว่างหลุมเจาะไม่ควรเกิน 2-4 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางหลุม เพื่อทำให้หลุมเจาะใกล้เคียงกันเกิดการสะสมความเค้นสูง (stress concentration) ก่อให้เกิดรอยแตกเล็ก ๆ (crack) ระหว่างหลุมเจาะ

ในการควบคุมผลการระเบิด หลุมเจาะที่อยู่ใกล้กับแนวการควบคุมควรจะมีระยะห่างระหว่างหลุมเจาะในแถวเดียวกัน สั้นกว่าหลุมเจาะของการระเบิดพัฒนาปกติเพื่อผลิตหิน (round blasting) แต่ละครั้ง นอกจากนี้เมื่อจำเป็นต้องบรรจุอัดวัตถุระเบิดก็ใช้ในปริมาณน้อยกว่าปกติประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามหลักการคำนวณน้ำหนักวัตถุระเบิดต่อหลุมเจาะ ถ้าหากระยะความหนาหน้าระเบิด (burden) และระยะห่างหลุมเจาะในแถว (spacing) ลดลงไปประมาณ 25-50% จะได้ค่าน้ำหนักวัตถุระเบิดที่ต้องใช้ต่อหนึ่งหลุมเจาะลดลงไปเหลือประมาณ 50%

การเจาะหลุมระเบิดเป็นแนวเส้นตรงแบบนี้จะให้ผลดีในหินที่มีเนื้อเดียวกันตลอดและหินควรมีเนื้อแน่นหรือมีรอยแตกรอยแยกตามธรรมชาติน้อย แต่ถ้าหากมวลหินมีรอยแตกรอยแยกมากควรใช้วิธีการอื่นจะได้ผลเชิงปฏิบัติดีกว่า แต่ข้อเด่นของเทคนิคแบบนี้ก็คือความเสียหายมีโอกาสเกิดขึ้นน้อยมาก เพราะใช้วัตถุระเบิดน้อยหรือไม่ใช้เลยเพราะเจาะแต่หลุมเปล่า ข้อเสียของการใช้เทคนิคแบบนี้คือ เมื่อมีการเบี่ยงเบนของหลุมเจาะเพียงเล็กน้อยจะก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่เลว และยังเป็นเทคนิคที่เสียค่าใช้จ่ายในการเจาะสูงสุดกับเสียเวลาในการปฏิบัติงานภาคสนามเป็นระยะเวลายาวนานด้วย




รูปที่ 3.10 ภาพสเก็ตช์หน้างานระเบิดเพื่อคัดเรียบ (รูปบน) และผังภาพของการระเบิด (รูปล่าง) ตัวเลขในรูปเป็นเบอร์แก๊ปไฟฟ้าจังหวะถ่วง

ข) <u>การระเบิดตัดเรียบ</u> (smooth blasting)

การระเบิดตัดเรียบนี้นิยมใช้สำหรับงานระเบิดหินทั้งบนพื้นผิวดินและใต้ดิน ประเทศสวีเดนเป็นประเทศที่ริเริ่มและยังพัฒนาเทคนิคการระเบิดประเภทนี้อย่างต่อเนื่อง การใช้เทคนิคการระเบิดตัดเรียบ สามารถทำการระเบิดในเวลาเดียวกันกับการระเบิดเพื่อพัฒนาผลิตหินหน้าเหมืองเบิดตามปกติ โดยที่ไม่มีความจำเป็นใด ๆ ที่จะทำการระเบิดใหญ่ (เพื่อผลิตหิน) ก่อนทำการระเบิดตัดเรียบ (ดูรูปที่ 3.10 หน้า 61)

การระเบิดแบบนี้ต้องใช้วัตถุระเบิดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางสั้น (เล็ก) หลุมเจาะของการระเบิดตัดเรียบต้องเจาะถี่กับบรรจุอัดด้วยวัตถุระเบิดแบบให้พลังความดันน้อย (light explosive) เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ความเร็วของคลื่นระเบิดแบบดีโทเนชัน (velocity of detonation: VOD) มีค่าความเร็วต่ำ และเมื่อจุดระเบิดแล้วมีปริมาณก๊าซที่เกิดมีน้อย

ประเด็นสำคัญอีกอย่างหนึ่ง คือ น้ำหนักวัตถุระเบิดในแต่ละหลุมเจาะ เพื่อแต่งขอบให้เรียบต้องคำนวณให้ได้ปริมาณที่เหมาะสม ถ้าบรรจุอัดวัตถุระเบิดมากเกินไป ก็อาจทำให้เกิดรอยแตกร้าวเข้าไปในแนวขุดเจาะได้ ลักษณะรูปแบบแปลนผังหน้าตัดของงานระเบิดกำหนดให้มีระยะความหนาหน้าระเบิด (burden) ยาวกว่าระยะห่างในแถวของหลุมเจาะ (spacing) เล็กน้อย

$$B_{min} = 1.3\ S \qquad (3.1)$$

พจน์ $B_{min}$ เป็นระยะความหนาหน้าระเบิดต่ำสุด ส่วนพจน์ S เป็นระยะห่างระหว่างแถวของหลุมเจาะ

$$S = 16\ (DH_h) \qquad (3.2)$$

พจน์ $DH_h$ เป็น เส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมเจาะเปล่าที่ไม่ได้บรรจุอัดวัตถุระเบิด

ข้อเด่นของการระเบิดตัดเรียบได้แก่การที่ใช้จำนวนหลุมเจาะน้อยและไม่จำเป็นต้องระเบิดเพื่อพัฒนาก่อนการระเบิดตัดเรียบ ข้อเสียได้แก่การที่ต้องใช้วัตถุระเบิดชนิดพิเศษและเทคนิคแบบนี้มักจะให้ผลลัพธ์ที่ดีเฉพาะหินที่มีค่าไคฮีชันและค่ากำลังวัสดุต่ำ

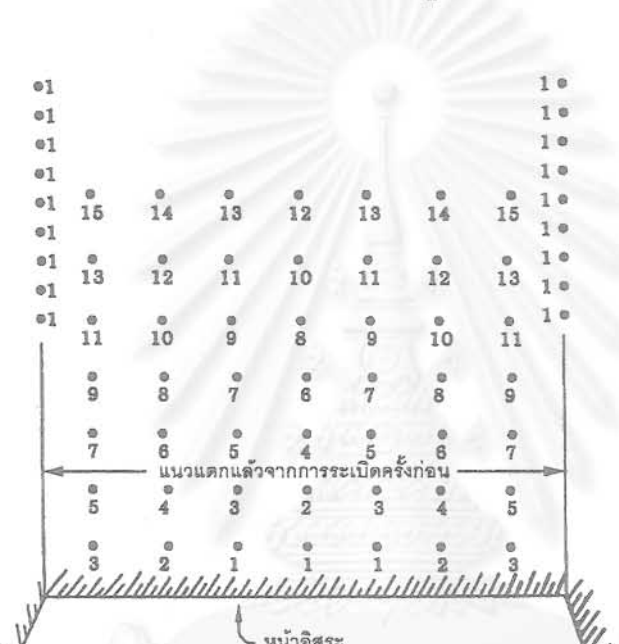
ค) <u>การระเบิดแบบให้แตกในแถว</u> (presplitting blasting)

การระเบิดแบบนี้นิยมใช้เฉพาะการระเบิดหินบนพื้นผิวดิน วิธีการนี้มีจุดประสงค์เพื่อให้เกิดรอยแตกแยก (fracture) ตามแถวของรูเจาะหลายรูเจาะที่เป็นแนวการขุดเจาะ

ขั้นสุดท้าย (final excavation) สิ่งที่ต้องระวังคือจำนวนวัตถุระเบิดที่ใช้ต้องเหมาะสมพอดีที่จะก่อให้เกิดความดันเพียงพอที่ทำให้เกิดแนวรอยแตกระหว่างหลุมเจาะ แต่ไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อผนัง (wall) หน้างานระเบิด (Konya and Walter, 1991)

รูปแบบผังของการระเบิดแบบให้แตกในแถว แสดงไว้ในรูปที่ 3.11 โดยมีความสัมพันธ์ของค่าระยะมิติเชิงเรขาคณิต ดังนี้

$$S = 10\ (DH_h) \qquad (3.3)$$




รูปที่ 3.11 แพตเทิร์นของการระเบิดแบบให้แตกในแถว

ในเชิงปฏิบัติการณ์จริงภาคสนาม ต้องทำการเจาะรูให้ชิดในแนวที่ต้องการให้เกิดการแตกเป็นแนวขุดเจาะขั้นสุดท้าย หลุมเจาะมีขนาดประมาณ 30–64 มิลลิเมตร และยังต้องบรรจุวัตถุระเบิดไว้ทุกหลุม

กำหนดให้ $W_f$ เป็นน้ำหนักวัตถุระเบิดต่อระยะที่บรรจุอัดในหลุม ถ้าระบุในหน่วยอังกฤษ คือ ปอนด์/ฟุต ได้ความสัมพันธ์น้ำหนักวัตถุระเบิดกับขนาดหลุมเจาะ (นิ้ว) ดังนี้

$$W_f = \frac{(DH_h)^2}{28} \qquad (3.4)$$

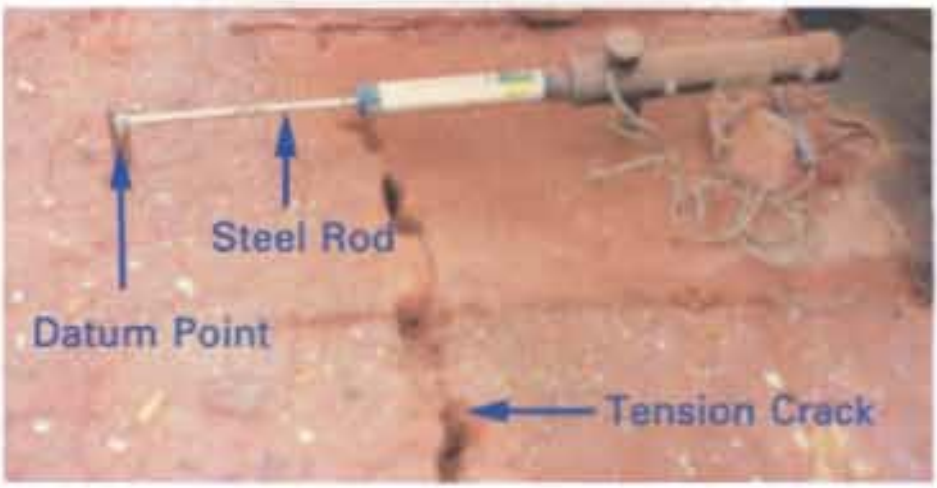
สมการที่ 3.4 เมื่อแปลงเป็นหน่วยในระบบเมตริก กำหนดได้ $W_r$ มีหน่วยเป็นกรัมต่อเมตร ค่า $DH_b$ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร จะได้สมการชุดใหม่เป็น

$$W_r = \frac{(DH_b)^2}{12.14} \qquad (3.5)$$

สิ่งที่ค่อนข้างแตกต่างอย่างมากระหว่างการเจาะระเบิดแบบให้แตกในแถว (pre-splitting) กับการเจาะระเบิดแบบตัดเรียบ (smooth blasting) ก็คือต้องทำการระเบิดให้เกิดระนาบของรอยแตกในแถวก่อนการทำระเบิดขนาดใหญ่ จึงจะได้ผลลัพธ์ที่ดี ในบางครั้งการระเบิดแบบ presplitting อาจกระทำพร้อมกับการระเบิดขนาดใหญ่แต่ต้องใช้แก๊ปไฟฟ้าจังหวะถ่วงที่มีช่วงระยะเวลาจุดระเบิดระหว่างเบอร์ถัด (เพื่อให้ระเบิดก่อน) นอกจากนี้การระเบิดแบบให้แตกในแถว ควรเจาะให้มีระยะห่างระหว่างหลุมเจาะในแถวสั้น (แคบ) กว่าการระเบิดแบบตัดเรียบ

ลักษณะเด่นของการระเบิดแบบนี้ก็คือในหินที่มีเนื้อเดียวกันตลอด (homogeneous rock) และมวลหินมีค่าไดอีชันและค่ากำลังวัสดุต่ำ ผลลัพธ์ของการระเบิดแบบนี้จะดีกว่าทุกวิธีที่กล่าวมาในเรื่องการระเบิดเพื่อควบคุม (controlled blasting) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการเจาะที่ใช้รูเจาะนำ (guide hole) ร่วมกับการระเบิดแบบนี้

ลักษณะด้อยของการระเบิดแบบนี้ก็คือ จำนวนหลุมเจาะมีมากกว่าการระเบิดตัดเรียบ และก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนกับระดับความดังเสียงจากการระเบิดสูงกว่าด้วย




รูปที่ 3.12 ภาพถ่ายด้านหลังแนวบ่อเหนือง เปิด แสดงระนาบของรอยแตกแยกที่เป็นผลจากแรงดึง ที่เกิดจากอิทธิพลของความดันคลื่นระเบิดที่สูงเกิน การเผ้าสังเกตการณ์ผลการเคลื่อนตัวของระนาบ ใช้ก้านเหล็กขึงดึง 2 ฝั่งระนาบ

2. <u>การเฝ้าสังเกตการณ์หน้างานระเบิด</u>

การตรวจวัดรอยแตกร้าวภายหลังงานระเบิดเสร็จสิ้น ควรมีการระบุขนาดความยาว ความกว้าง และความลึก (ที่น่าจะเป็น) ของระนาบรอยแตกแยกจากแรงดึง (plane of tension crack) ไว้บนแผนที่มาตราส่วนขนาดใหญ่ วิธีการเฝ้าสังเกตการณ์ง่าย ๆ ใช้ลวดหรือก้านยึดกับหมุดหลักฐาน (หรือปั๊มไฮดรอลิก) ที่ใช้เป็นจุดอ้างอิงของข้อมูลฐานระดับในงานรังวัด (datum) ทั้ง 2 ฝั่งของระนาบรอยแตกร้าวที่พบด้านหลังแนวระเบิด (ดูรูปที่ 3.12 หน้า 64) แล้วทำการรังวัดตำแหน่งของหมุดหลักฐานอย่างสม่ำเสมอ เมื่อมีการเคลื่อนที่ของอนุภาคในมวลสาร ก็พล็อตค่าของการเปลี่ยนตำแหน่ง (displacement) เทียบกับระยะเวลา ทำให้ทราบแนวโน้มว่าระนาบของรอยแตกร้าวด้านหลังแนวระเบิด มีการเคลื่อนที่ในระดับใด หากกราฟที่อ่านได้จากการพล็อตตำแหน่งของอนุภาคที่มีการเคลื่อนที่มีความชันสูงอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับเวลา หากมุมลาดชันบนกราฟใกล้เคียง 90 องศามากเท่าไร โอกาสความน่าจะเป็นของการพังทลายก็มีเปอร์เซ็นต์สูง ความเสี่ยงในการปฏิบัติงานในบ่อเหมืองเปิดที่อยู่ที่ระดับต่ำกว่านี้ก็มีสูงด้วย ในกรณีกลับกัน ถ้าหากพล็อตค่าตำแหน่งการเคลื่อนที่ของอนุภาคได้ผลความชันของกราฟต่ำ หรือมุมความลาดชันใกล้เคียงกับ 0 (ศูนย์) องศามากเท่าไร โอกาสความน่าจะเป็นของการพังทลายก็มีเปอร์เซ็นต์ต่ำ และมีความเสี่ยงน้อยในการปฏิบัติงานในบ่อเหมืองเปิด ที่ระดับต่ำกว่าระนาบรอยแตกร้าวนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 4

# ระบบเชิงป้องกันผลกระทบของการใช้วัตถุระเบิด

การศึกษาวิจัยเพื่อป้องกันและแก้ไขผลกระทบการเบิดงานขุดเจาะโดยใช้วัตถุระเบิดเป็นสิ่งที่ควรทำควบคู่กันกับการวางแผนด้านความปลอดภัย เพื่อให้มีการใช้วัตถุระเบิดอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้การปฏิบัติงานระเบิดในสนามมีประสิทธิภาพสูงเป็นที่ยอมรับต่อชุมชนใกล้เคียงที่อาจได้รับผลกระทบ

## 4.1 ข้อกำหนดเชิงผลกระทบในการใช้วัตถุระเบิด

ในสภาวะปัจจุบัน เหมืองหินอุตสาหกรรมเพื่อการก่อสร้างที่เดิมอยู่ในความควบคุมของกรมที่ดิน กระทรวงมหาดไทย ถูกเปลี่ยนให้อยู่ในความควบคุมของกรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม ซึ่งมีข้อวิพากษ์วิจารณ์ทางด้านสิ่งแวดล้อมเกี่ยวข้องกับการทำเหมืองหินแบบเดิมที่เป็นเหมืองหน้าผาห้อยโหนเจาะระเบิดมาก เพราะการทำเหมืองหินให้เหลือเป็นหน้าผาสูงชัน นอกจากเป็นอันตราย มีประสิทธิภาพในการผลิตหินหน้างานต่ำ ยังมีผลกระทบในเรื่องทัศนียภาพที่ดูแล้วไม่เกิดความสวยงาม โดยเฉพาะเหมืองหินที่ตั้งอยู่ใกล้ทางหลวง การปรับเปลี่ยนแนวทางการเบิดหน้าเหมืองหินแบบทำลาดเป็นขั้นบันได มีส่วนทำให้เกิดความปลอดภัย สามารถออกแบบให้มีการแตกหักของหินที่ดีและป้องกันผลกระทบจากการระเบิดได้ดี ช่วยเพิ่มกำลังการผลิตและดูแลรักษาสภาวะแวดล้อมได้ง่ายกว่า

เมื่อมีการใช้วัตถุระเบิด ข้อกำหนดในด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ ได้แก่ การป้องกันและแก้ไขความสั่นสะเทือนของพื้นผิวดินและอาคารโครงสร้าง การป้องกันและแก้ไขความดังเสียงเกินระดับที่เกิดจากการระเบิด การป้องกันและแก้ไขหินที่ปลิวกระเด็นจากหน้าเหมืองและปากหลุมเจาะ การป้องกันและแก้ไขก๊าซพิษที่เกิดจากการผสมสารในสัดส่วนที่ไม่ถูกต้อง การป้องกันและแก้ไขฝุ่นที่เกิดจากการเจาะกับการระเบิดและการขนส่งหิน

กองการเหมืองแร่ กรมทรัพยากรธรณี ได้จัดพิมพ์เอกสาร เรื่อง "มาตรการการป้องกันผลกระทบจากการใช้วัตถุระเบิด ในงานเหมืองแร่และเหมืองหินในประเทศไทย" โดยกำหนดมาตรฐานเฉพาะในเรื่องความสั่นสะเทือน ความดังเสียงจากการทำเหมืองหิน

และโรงไม่หินในประเทศไทย ไว้ในภาคผนวกที่ 5 ของรายงาน ซึ่งขอคัดลอกมาเป็นหัวข้อย่อย 4.1.1 และ 4.1.2 ดังนี้

4.1.1 มาตรฐานความสั่นสะเทือนจากการทำเหมืองหินในประเทศไทย

มาตรฐานนี้เป็นค่าความสั่นสะเทือนที่เกิดจากการปฏิบัติงาน ในขั้นตอนการระเบิดหิน ขั้นตอนการไม่และย่อยหิน กำหนดขีดจำกัดของการตรวจวัดการสั่นสะเทือน ที่อยู่ในรูปของความเร็วอนุภาค (particle velocity) ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งหรือเรียกว่าการขจัดหรือการเปลี่ยนตำแหน่ง (displacement) กับค่าความถี่ (ของคลื่นระเบิดหรือของคลื่นจากการไม่) ดังตารางที่ 4.1 ข้างล่างให้ค่าความถี่อยู่ระหว่าง 1 - 40 เฮิรตซ์

ตารางที่ 4.1 ขีดจำกัดของความเร็วอนุภาคกับค่าการขจัดที่ความถี่ระดับหนึ่ง

| ความถี่ (เฮิรตซ์) | ความเร็วของอนุภาค (มิลลิเมตรต่อวินาที) | การขจัด (มิลลิเมตร) | ความถี่ (เฮิรตซ์) | ความเร็วของอนุภาค (มิลลิเมตรต่อวินาที) | การขจัด (มิลลิเมตร) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 4.7 | 0.75 | 21 | 26.4 | 0.20 |
| 2 | 9.4 | 0.75 | 22 | 27.6 | 0.20 |
| 3 | 12.7 | 0.67 | 23 | 28.9 | 0.20 |
| 4 | 12.7 | 0.51 | 24 | 30.2 | 0.20 |
| 5 | 12.7 | 0.40 | 25 | 31.4 | 0.20 |
| 6 | 12.7 | 0.34 | 26 | 32.7 | 0.20 |
| 7 | 12.7 | 0.29 | 27 | 33.9 | 0.20 |
| 8 | 12.7 | 0.25 | 28 | 35.2 | 0.20 |
| 9 | 12.7 | 0.23 | 29 | 36.4 | 0.20 |
| 10 | 12.7 | 0.20 | 30 | 37.7 | 0.20 |
| 11 | 13.8 | 0.20 | 31 | 39.0 | 0.20 |
| 12 | 15.1 | 0.20 | 32 | 40.2 | 0.20 |
| 13 | 16.3 | 0.20 | 33 | 41.5 | 0.20 |
| 14 | 17.6 | 0.20 | 34 | 42.7 | 0.20 |
| 15 | 18.8 | 0.20 | 35 | 44.0 | 0.20 |
| 16 | 20.1 | 0.20 | 36 | 45.2 | 0.20 |
| 17 | 21.4 | 0.20 | 37 | 46.5 | 0.20 |
| 18 | 22.6 | 0.20 | 38 | 47.8 | 0.20 |
| 19 | 23.9 | 0.20 | 39 | 49.0 | 0.20 |
| 20 | 25.1 | 0.20 | 40 | 50.8 | 0.20 |

ในการปฏิบัติงานตรวจวัดผลการสั่นสะเทือน ให้เป็นไปตามมาตรฐาน DIN 4150 ส่วนเครื่องตรวจวัดเป็นไปตามมาตรฐาน ISO 4866 กำหนดให้ตำแหน่งที่ตรวจวัดเป็นบริเวณขอบเขตประทานบัตร ขอบเขตประกอบการ หรือขอบด้านนอกของเขตกันชน (buffer zone)

4.1.2 มาตรฐานความดังเสียงจากการทำเหมืองหินในประเทศไทย

มาตรฐานนี้เป็นค่าความระดับขั้นความดังเสียงเกิดจากการปฏิบัติงาน ในขั้นตอนการระเบิดหิน ขั้นตอนการไม่และย่อยหิน กำหนดขีดจำกัดของการตรวจวัดความดังเสียงในรูปแบบของเดซิเบลเอ (ที่อยู่ในเครือข่าย A ที่เป็นเสียงที่ได้ยินใกล้เคียงกับหูมนุษย์) ดังที่ระบุในตารางที่ 4.2 ข้างล่าง

ตารางที่ 4.2 ขีดจำกัดของระดับขั้นความดังเสียงจากการระเบิดและไม่หิน

| ขั้นตอนการทำเหมืองหิน | การกำหนดมาตรฐาน | ค่ามาตรฐาน |
|---|---|---|
| การระเบิดหิน | ระดับเสียงสูงสุด (Maximum Soud Pressure Level, $L_{max}$) | ไม่เกิน 115 เดซิเบลเอ |
| การโม่บดและย่อยหิน | ระดับเสียงเฉลี่ย (Equivalent Sound Level, $L_{eq}$) 24 ชั่วโมง | ไม่เกิน 70 เดซิเบลเอ |
| | ระดับเสียงเฉลี่ย (Equivalent Sound Level, $L_{eq}$) 8 ชั่วโมง | ไม่เกิน 75 เดซิเบลเอ |

ในการปฏิบัติงานตรวจวัดผลความดังเสียง ให้เครื่องตรวจวัดเป็นไปตามมาตรฐาน IEC 651 หรือตามมาตรฐาน IEC 804 ของกรรมาธิการระหว่างประเทศว่าด้วยเทคนิคไฟฟ้า (International Electrotechnical Commission, IEC)

วิธีการตรวจวัด

1) กำหนดให้ตำแหน่งที่ตรวจวัดเป็นบริเวณขอบเขตประทานบัตร ขอบเขตประกอบการ หรือขอบด้านนอกของเขตกันชน (buffer zone)

2) การตั้งไมโครโฟนของมาตรระดับเสียง ให้เป็นไปตามมาตรฐาน ISO Recommendation R 1996

3) การตรวจวัดค่าระดับเสียงเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ให้ใช้มาตรวัดระดับเสียงอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา 24 ชั่วโมง

4) การตรวจวัดค่าระดับเสียงเฉลี่ย 8 ชั่วโมง ให้ใช้มาตรวัดระดับเสียงอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา 8 ชั่วโมง ที่มีการไม่บดย่อยหิน

## 4.2 ข้อกำหนดเชิงผลกระทบเพิ่มเติมในการใช้วัตถุระเบิด

ในเรื่องผลกระทบจากการใช้วัตถุระเบิดเปิดหน้างานขุดเจาะ ยังมีมาตรฐานรูปแบบอื่นที่มีองค์กรหรือสถาบันหลายแห่งได้กำหนดไว้ และแสดงข้อกำหนดไว้ในหัวข้อย่อย ดังนี้

### 4.2.1 มาตรฐานความสั่นสะเทือนของ OSM ประเทศสหรัฐอเมริกา

องค์กร OSM ที่ควบคุมงานเหมืองเปิดบนพื้นผิวดินของประเทศสหรัฐอเมริกา หรือ Office of Surface Mining ได้ทำการกำหนดความเร็วอนุภาค กับค่าการสเกลของระยะทาง ต่อรากกำลังสองน้ำหนักวัตถุระเบิด (square root scaled distance) ตามหลักการที่จุดที่ห่างไกลจากหน้าระเบิด ค่าความเร็วอนุภาคลดลง (ค่าการสเกลระยะทางเพิ่มขึ้น) และธรรมชาติของคลื่นระเบิดที่ก่อให้เกิดผลกระทบส่วนใหญ่เป็นคลื่นที่มีค่าความถี่ของคลื่นระเบิดต่ำ (น้อยกว่า 4 เฮิรตซ์)

ตารางที่ 4.3 เป็นขีดจำกัดมาตรฐานของความเร็วอนุภาคตามช่วงระยะของจุดที่อยู่ห่างจากหน้าระเบิด ส่วนตารางที่ 4.4 เป็นขีดจำกัดมาตรฐานของการสเกลรากกำลังสองตามช่วงระยะของจุดที่อยู่ห่างจากหน้าระเบิด ทั้งสองตารางมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ค่าการสเกลรากกำลังสองที่กำหนดไว้ จะเป็นค่าที่ทำให้เกิดความเร็วอนุภาคสูงสุดที่อยู่ในระดับที่ปลอดภัย และสะดวกคล่องตัวต่อการปฏิบัติงาน เมื่อต้องการคำนวณค่าปริมาณน้ำหนักวัตถุระเบิดสูงสุดต่อจังหวะถ่วง สำหรับการใช้แก๊ปไฟฟ้าถ่วงจังหวะในการระเบิดเพื่อพัฒนา

ตารางที่ 4.3 มาตรฐานความปลอดภัยของความเร็วอนุภาคที่ช่วงระยะทางต่างกัน

| ระยะทาง (เมตร) | ความเร็วอนุภาคสูงสุด (มม./วินาที) |
|---|---|
| 0 - 100 | 31.8 |
| 101 - 1,500 | 25.4 |
| มากกว่า 1,500 | 19.0 |

ตารางที่ 4.4 มาตรฐานความปลอดภัยของการสเกลรากกำลังสองที่ช่วงระยะทางต่างกัน

| ระยะทาง (เมตร) | ค่าสเกลระยะทางรากกำลังสอง [(เมตร)/(กก.)$^{1/2}$] |
|---|---|
| 0 - 100 | 22.6 |
| 101 - 1,500 | 24.9 |
| มากกว่า 1,500 | 29.4 |

4.2.2 มาตรฐาน (เพิ่มเติม) ค่าความดังเสียงเกินระดับจากการระเบิด

การกำหนดค่าความดังเสียงของคลื่นอากาศที่เกิดจากการระเบิด (air blast) ใช้วัดระดับความดันเสียงเกินระดับ (overpressure) ในหน่วยเดซิเบลแอล (ในเครือข่ายเชิงเส้น - Linear) แตกต่างกันตามแต่ละองค์กร ดังนี้

1. U.S. Bureau of Mines
- ค่า overpressure ไม่เกิน 135 เดซิเบลแอล ที่ 0.1 เฮิรตซ์
- ค่า overpressure ไม่เกิน 134 เดซิเบลแอล ที่ 2 เฮิรตซ์
- ค่า overpressure ไม่เกิน 132 เดซิเบลแอล ที่ 6 เฮิรตซ์
- ค่า overpressure ไม่เกิน 112 เดซิเบลแอล ที่ 12 เฮิรตซ์

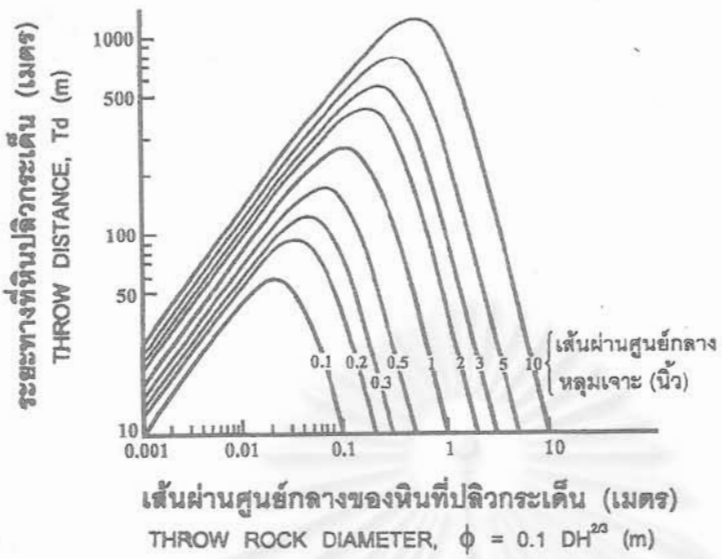
นอกจากนี้ยังให้ใช้ ค่าการสเกลระยะทางต่อรากกำลังสามน้ำหนักวัตถุระเบิด (cube root scaled distance) สำหรับเหมืองหินหรือเหมืองเปิดทั่วไปไม่ต่ำกว่า 90 เมตรต่อ (กิโลกรัม)$^{1/3}$ งานก่อสร้างและงานโยธาไม่ต่ำกว่า 180 เมตรต่อ (กิโลกรัม)$^{1/3}$

2. มาตรฐานความดังเสียงเกินระดับของประเทศออสเตรเลีย

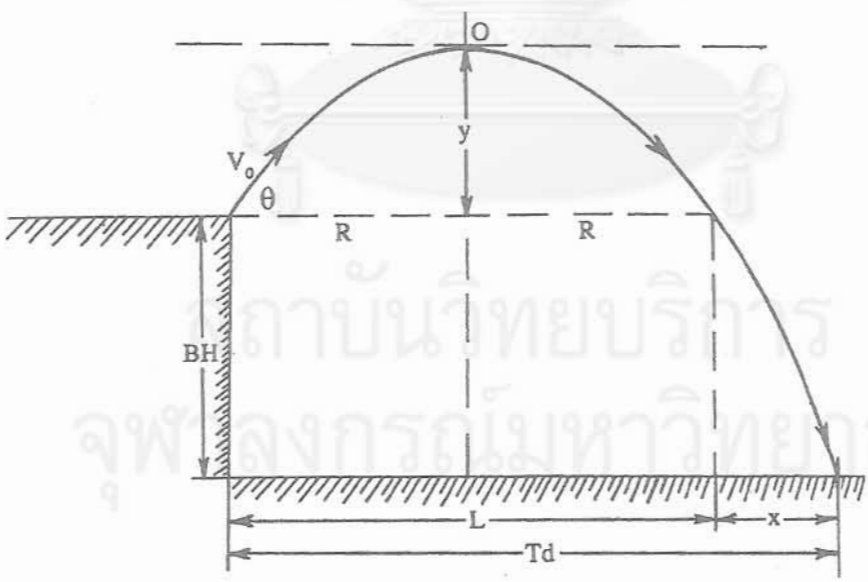
ในประเทศออสเตรเลีย กำหนดค่า overpressure สูงสุดไม่เกิน 128 เดซิเบลแอล หรือเท่ากับ 0.05 กิโลพาสคัล และในบางรัฐมีข้อกำหนดเพิ่ม ให้ค่า overpressure จากการระเบิดที่เกินกว่า 115 เดซิเบลแอล มีได้ไม่เกิน 5 % ของจำนวนการระเบิดทุกครั้ง และค่า overpressure สูงสุดไม่เกิน 120 เดซิเบลแอล

4.2.3 ผลกระทบของหินที่ปลิวกระเด็น

ผลกระทบในเรื่องหินที่ปลิวกระเด็นนี้ ชิ้นส่วนมวลหินที่แตกหักมักปลิวกระเด็นมาจากบริเวณหน้าอิสระของคะพักโดยเฉพาะอย่างยิ่งตรงจุดยอดส่วนบน (crest) เป็นผลจากเว้นระยะห่างความหนาหน้าระเบิดแถวแรกสั้นไป หรือเกิดการปลิวกระเด็นของหินบริเวณ




รูปที่ 4.1 สมมุติฐานที่ใช้ในการประเมินผล ค่าระยะหินที่ปลิวกระเด็นจากการระเบิด (Td) เมื่อมีการระเบิดหินแบบเคร่เตอร์ (คำนวณระยะปลิวกระเด็นจากปากหลุมเดี่ยว หรือจากบริเวณหน้าอิสระเหมืองเปิด)




รูปที่ 4.2 สมมุติฐานที่ใช้ในการประเมินผล ค่าระยะหินที่ปลิวกระเด็นจากการระเบิด (Td) เมื่อมีการระเบิดหินทำลาดขั้นบันได (คำนวณระยะปลิวกระเด็นที่จุดสูงสุดความลาด ตรงหน้าอิสระของเหมืองเปิด)

ปากหลุมเจาะเนื่องจากการปิดอัดด้วยวัสดุน้อยเกินไป สมมุติฐานของการหาค่าระยะหินที่ปลิวกระเด็นนี้ขึ้นอยู่กับรูปแบบของการระเบิดหิน ถ้าเป็นการเจาะระเบิดหลุมเดี่ยวแบบเครเตอร์ (crater blasting) จะแตกต่างจากการเจาะหลุมหลายหลุมเพื่อระเบิดหินตัดความลาดเป็นขั้นบันได (bench blasting) ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ

การศึกษาผลกระทบของหินปลิวนี้ มีการตรวจวัดค่าการปลิวกระเด็นจริง (สง่า ตั้งชวาล และ คณะ, 2542) ในเหมืองหินหลายชนิด และใช้สูตรเชิงประสบการณ์คำนวณเปรียบเทียบหาค่าความคลาดเคลื่อน ผลสรุปโดยสังเขป ถ้าหากใช้ค่าสูตรเชิงประสบการณ์ของหินที่ปลิวกระเด็นจากการระเบิดแบบเคร์เตอร์ ค่าระยะที่ได้มักเกินความเป็นจริง แต่ถ้าหากใช้สูตรเชิงประสบการณ์ของหินที่ปลิวกระเด็นจากการระเบิดแบบขั้นบันได ค่าระยะที่ได้มักต่ำกว่าความเป็นจริง

ในเชิงอนุรักษ์ใช้ค่าการปลิวกระเด็นของหินที่ไกลสุดและมีวิถีการปลิวแบบพาราโบลาเป็นค่าที่ใช้ในการคำนวณระยะความปลอดภัยของชิ้นส่วนหิน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของก้อนชิ้นส่วนปกติประมาณ 20-100 มม. มีบางครั้งที่อาจมีขนาดใหญ่ว่านี้ถ้าหากใช้วัตถุระเบิดต่อหลุมเจาะมากเกินไป หรือไม่ได้ใช้การถ่วงจังหวะด้วยแก๊ปไฟฟ้าระหว่างทำการระเบิดหน้าเหมือง

4.2.4 <u>ผลกระทบของก๊าซพิษจากสารผสมระเบิด</u>

ผลกระทบในเรื่องก๊าซพิษนี้ เป็นผลเนื่องจากปฏิกิริยาเคมีที่เกิดจากการจุดระเบิดของสารผสมระเบิด (blasting agent) ระหว่างแอมโมเนียมไนเตรตกับน้ำมันดีเซล ถ้าหากมีการผสมในแบบที่ใช้ออกซิเจนระดับพอดี (oxygen-balanced) การระเบิดก็ไม่เป็นอันตรายใด ๆ เพราะปฏิกิริยาที่เกิดภายหลังการจุดระเบิด เป็นก๊าซ $CO_2$ ไอน้ำ ($H_2O$) และก๊าซไนโตรเจน ($N_2$) แต่ถ้าหากมีการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ จะทำให้เกิดควันก๊าซพิษ (toxic fumes) ของ carbon monoxide (CO) ถ้ามีน้ำมันดีเซลผสมด้วยค่าสัดส่วนมากเกินพอดี และเกิดควันก๊าซพิษของ nitrogen oxide (NO) กับของก๊าซ nitrogen dioxide ($NO_2$) ถ้ามีค่าสัดส่วนของแอมโมเนียมไนเตรตมากเกินพอดี

4.2.5 <u>ผลกระทบของฝุ่นจากการระเบิดและขนย้ายหิน (สินแร่)</u>

ผลกระทบของฝุ่นที่เป็นผลมาจากการระเบิดหิน (สินแร่) หน้าเหมือง การขนย้ายหิน (สินแร่) หน้าเหมืองไปยังลานเก็บ หรือการขนย้ายหิน (สินแร่) จากหน้าเหมืองไปยังปากไม่ของโรงไม่บดย่อย (หรือโรงแต่งแร่) ผลกระทบของฝุ่นดังกล่าวนี้ ตามปกติพบว่ายังมีปริมาณฝุ่นที่เกิดจากการระเบิดและขนย้ายน้อยกว่าการทำงานในโรงไม่บดย่อย หรือเมื่อเทียบกับฝุ่นที่เกิดจากการทำถนนหลวงหรือการจราจรในทางลูกรังมากก็มีน้อยกว่าด้วย ฝุ่นที่มีขนาดใหญ่มากกว่า 10 ไมครอน ($1 \times 10^{-5}$ เมตร) เมื่อผ่านเข้าร่างกายมนุษย์จะถูก

กรองติดที่ขนจมูก ส่วนฝุ่นที่เล็กมาก มีขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอน จะสามารถผ่านเข้าออกในปอดและอยู่ในเส้นเลือดได้ ฝุ่นที่มีขนาดกลางระหว่าง 0.1 - 10 ไมครอน จัดเป็นฝุ่นที่อาจมีอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ ในเหมืองหินเมื่อได้รับฝุ่นเข้าไปในปอดเป็นระยะเวลานานเช่น โรคซิลิโคซิส (silicosis) เป็นผลจากฝุ่นซิลิกา กับโรคชาลิโคซิส (chalicosis) ผลจากฝุ่นคาร์บอเนต เหมืองแร่ถ่านหินเป็นโรคปอดดำ (black lung)

## 4.3 การจัดการเชิงป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้วัตถุระเบิด

แนวทางทั่วไปในการจัดการเชิงป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ได้แก่ การวางแผนป้องกันผลกระทบสำหรับวิธีการเปิดหน้างานด้วยวัตถุระเบิด การจัดการของการเจาะหลุมระเบิด การออกแบบผังระเบิดให้มีผลกระทบน้อยสุด ขั้นตอนในการจัดการเพื่อป้องกันผลกระทบหน้างานระเบิด และการจัดการเส้นทางขนย้ายหิน

### 4.3.1 การวางแผนป้องกันผลกระทบสำหรับวิธีการเปิดหน้างานด้วยวัตถุระเบิด

ก่อนทำการเปิดหน้างานขุดเจาะ วิศวกรหรือผู้ปฏิบัติงานมีส่วนช่วยวางแผนให้มีการป้องกันผลกระทบของการใช้วัตถุระเบิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น วางแผนให้การเปิดหน้างานด้วยวัตถุระเบิดแบบตัดเฉียงความลาดเขาเป็นขั้นบันได ทั้งนี้เพื่อให้งานออกแบบป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทำได้ง่ายขึ้น หรือถ้าหากมีหน้าเหมืองเดิมที่เป็นหน้าผาสูงชันก็ควรหาทางตัดอ้อมขึ้นไปบนเนินเขา เพื่อปรับแต่งให้เรียบจากนั้นก็เริ่มตัดตะพักขั้นบันไดจากด้านบนลงมา หรืออาจระเบิดหน้างานให้ด้านบนเนินเรียบแล้วตัดตะพักต่ำลงมาจนกระทั่งต่ำกว่าระดับพื้นผิวเหมือง ทำให้ได้บ่อปฏิบัติงานที่เรียกทับศัพท์ว่า pit และในรายงานฉบับนี้ใช้คำว่า "บ่อเหมืองเปิด" แทน ผลกระทบของการระเบิดจะถูกจำกัดให้อยู่ในวงแคบภายในบ่อเหมืองเปิด นอกจากนี้ยังช่วยทำให้ทัศนียภาพดีขึ้นเพราะไม่เห็นเนินเขาที่ถูกตัดเหลือเป็นหน้าผาหรือไขหินเกะกะ

ในกรณีของการทำเหมืองแร่หรือการตัดทาง ผู้ปฏิบัติงานอาจจำเป็นต้องระเบิดบริเวณไหล่เขา เพื่อเปิดหน้าหินให้สามารถนำเครื่องจักรกลไปขุดเจาะแร่หรือปรับเป็นเลนของถนน วิธีการที่ควรใช้ก็คือ ออกแบบหลุมเจาะที่ใช้วัตถุระเบิดให้น้อยกว่าปกติโดยต้องการเพียงให้มวลหินแตกเป็นขนาดก้อนที่รถตักใช้แรงดันให้ชิ้นส่วนหินหลุดพ้นขวางการทำงานหรือดันไปกองรวมบริเวณหนึ่งได้ ในบางกรณี อาจต้องใช้การระเบิดตัดหน้าเรียบด้วย

ในการเริ่มต้นเปิดหน้างานระเบิด ควรหลีกเลี่ยงหน้างานที่หันแนวเข้าหาที่ตั้งชุมชน ถ้าหากจำเป็นควรมีปีกหินเป็นกำแพงหินหรือไขหินกำบังด้านที่ติดชุมชน หรือใช้การออกแบบที่มีการใช้แก๊ปไฟฟ้าจังหวะถ่วง หรือใช้อุปกรณ์เช่นตาข่าย ล้อยางรถยนต์ คลุมทับบริเวณ

ในการคัดความลาด มุมความชันหน้าอิสระก็มีผลทางด้านการเจาะระเบิดด้วย ปกติใช้หลุมเจาะที่มีมุมเอียงเทขนานหน้าเหมือง ประมาณ 70°-80° จากแนวราบ จะควบคุมให้ขึ้นส่วนหินกระเด็นทองที่หน้างานได้ดี อนึ่งการเดินหน้าเหมืองควรคำนึงถึงมุมเอียงเทชั้นหิน (dip angle) ความกว้างชั้นตะพักเหมือง (bench width) ต้องเพียงพอสำหรับเครื่องจักรกลขนาดใหญ่สามารถปฏิบัติงานได้

รูปที่ 4.3 เป็นภาพถ่ายมุมกว้างของบ่อปฏิบัติงานในเหมืองเปิด ที่มีการขุดเจาะเปิดหน้างานเป็นบ่อเหมืองเปิดขนาดใหญ่ ถ่ายที่เหมืองทองคำในเมือง Kalgoorlie รัฐ Western Australia ประเทศออสเตรเลีย ในภาพมีการคัดความลาดชั้นดินไดหลายตะพักมีทางลาดเชื่อมตะพักขั้นดินไดหลายเส้น และระดับลึกจากขอบถึงพื้นเหมืองเกิน 150 เมตร ความกว้างของบ่อตรงระดับพื้นผิวดินเกือบ 1 กิโลเมตร จัดเป็นเหมืองทองคำที่เป็นเหมืองแร่เปิดขนาดใหญ่อันดับต้น ๆ (ประมาณอันดับ 3) ของโลก

รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายมุมกว้างของบ่อเหมืองเปิดขนาดใหญ่ที่ผลิตสินแร่ทองคำ ในประเทศออสเตรเลียมีการคัดความลาดเป็นชั้นดินไดหลายตะพัก และมีทางลาดเชื่อมระหว่างตะพักขั้นดินไดหลายเส้น การปฏิบัติงานอยู่ที่ระดับใกล้ถึงพื้นบ่อเหมือง

4.3.2 การจัดการของการเจาะหลุมระเบิด

ขั้นตอนการจัดการหลุมเจาะระเบิด เริ่มต้นตั้งแต่ การเลือกกับการขนย้ายเครื่องเจาะและอุปกรณ์ กับผังหลุมเจาะที่สอดคล้องกับการป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

1. การเลือกกับการขนย้ายเครื่องเจาะและอุปกรณ์

หลักเกณฑ์ง่าย ๆ สำหรับการเลือกเครื่องเจาะในกรณีที่เหมืองหรือบริษัทที่ทำการขุดเจาะมีเครื่องมือหรืออุปกรณ์เสริมงานเจาะครบทุกชนิด สามารถที่จะเลือกใช้เครื่องเจาะชนิดใดก็ได้ อาจใช้เกณฑ์การตัดสินใจดังนี้

- การใช้เครื่องเจาะขนาดเล็กแบบถือหรือแบกได้เช่นแจ็คแฮมเมอร์เหมาะสำหรับการเจาะรูระเบิดในที่สูง รถเจาะขึ้นไม่ได้ หรือเป็นการเจาะระเบิดย่อยหินไม่ใช่การเจาะระเบิดเพื่อการพัฒนา

เครื่องเจาะแจ็คแฮมเมอร์ มีค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนเครื่องมือต่ำ แต่ก็ให้ผลผลิตต่ำด้วย ผู้ทำการเจาะต้องได้รับผลกระทบจากเสียงดังอย่างต่อเนื่อง เสียงดังกล่าวที่เกิดจากการทำงานของเครื่องเจาะ หรือเกิดจากดอกเจาะกระทบมวลหิน มีอันตรายต่อประสาทหูต้องมีการใส่เครื่องป้องกันเสียงและป้องกันฝุ่นด้วย เพราะเครื่องเจาะแจ็คแฮมเมอร์ใช้ลมเป่าเกิดฝุ่นฟุ้งกระจายบริเวณปากหลุม นอกจากนี้เครื่องเจาะแบบนี้ยังใช้แรงกระแทกสูงและมีเศษหินที่หลุดกระเด็นออกมา ถ้ามีขอบแหลมก็เป็นอันตรายต่อช่างเจาะได้

- เมื่อมีการใช้รถเจาะล้อยาง ล้อรถเจาะเหมาะสำหรับพื้นเรียบและไม่สูงชัน แต่มีข้อดีที่น้ำหนักไม่มาก เบาและผลักดันได้ง่ายเวลาติดหล่ม แต่ล้อรถเจาะที่เป็นเหล็กรูปตีนตะขาบเหมาะสำหรับทางกึ่งพัฒนาหรือต้องการนำมาปรับพื้นเหมือง มีเสถียรภาพสูงกว่าล้อยางเพราะมีความเสียดทานระหว่างล้อกับพื้นทำงานสูงกว่า แต่ข้อเสียในเรื่องน้ำหนักสิ้นเปลืองพลังงานในการเคลื่อนย้าย และแก้ไขยากเวลาเกิดการติดขัดในหล่ม

- เครื่องเจาะขนาดใหญ่ทุกชนิดในทุกกรณีควรติดตั้งถุงลมกรองฝุ่นจากปากหลุมเจาะ เครื่องเจาะแบบ air track นิยมใช้ในหลุมเจาะขนาดเล็กประมาณ 76-101 มิลลิเมตร (3-4 นิ้ว) อาจนำมาใช้ในการเจาะตะพักขั้นบันไดชั้นแรก เพื่อปรับหน้าตะพักให้กว้างหรือปรับแต่งหน้าผาให้เรียบ ส่วนเครื่องเจาะ Rotary เหมาะสำหรับรูเจาะขนาดใหญ่ขนาด 152-203 มิลลิเมตร (6-8 นิ้ว) ควรใช้สำหรับการผลิตหินเป็นจำนวนมาก

- เส้นทางลำเลียงขนย้าย ต้องเลือกให้พอเหมาะกับขนาดความกว้างของเครื่องจักรกล ในกรณีที่เครื่องเจาะมีขนาดเล็กหรือมีล้อยาง อาจใช้รถยนต์ขับเคลื่อน ไปตามทางที่มีความลาดชันไม่เกิน 10 องศา แต่ถ้าเป็นล้อตีนตะขาบอาจคัดทางเชื่อมที่มีความลาดชันสูงกว่า 10 องศา เล็กน้อยเพื่อให้ระยะทางขนย้ายสั้นลง อนึ่งการขนย้ายอุปกรณ์ประกอบเพื่อเสริมการเจาะควรแยกขนย้ายเป็นอิสระจากตัวเครื่องเจาะ

2. ผังหลุมเจาะที่สอดคล้องกับการป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ตามปกติแล้วการออกแบบหลุมเจาะรูระเบิด นิยมใช้เพียง 2 แบบ ได้แก่ การเจาะให้หลุมในแถวเรียงเป็นแถวเส้นตรงในแนวขนานกับหน้าอิสระกับในแนวตั้งฉากกับหน้าอิสระ หรือเป็นการเจาะแบบสลับฟันปลา โดยให้เรียงเป็นแถวเส้นตรงในแนวขนานกับหน้าอิสระอย่างเดียว แต่ในแนวตั้งฉากกับหน้าอิสระเว้นการเจาะหลุมในแถวถัดไป

การคำนวณหรือวัดขนาดของการเจาะ เนื่องจากหัวเจาะมีหน่วยเป็นนิ้ว ดังนั้นจึงต้องระบุระยะห่างรูเจาะหรือระยะห่างหน้าผา เป็นฟุตแล้วจึงค่อยแปลงให้เป็นเมตร

ถ้าหากยังไม่มีผังหน้าระเบิดอย่างละเอียด ที่มีการคำนวณค่าน้ำหนักวัตถุระเบิดต่อจังหวะถ่วง กับปริมาณค่าเพาเดอร์แฟกเตอร์ มีข้อกำหนดโดยทั่วไปที่เป็นข้อกำหนดจากประสบการณ์ด้านการเจาะ ดังนี้

ก) หัวเจาะและผังหน้าตัด

- หัวเจาะขนาด 2 – 2 3/4 นิ้ว นิยมใช้ผังหน้าตัดรูเจาะเป็น 2 x 3 เมตร
- หัวเจาะขนาด 3 – 4 นิ้ว นิยมใช้ผังหน้าตัดรูเจาะ เป็น 3 x 3 เมตร
- หัวเจาะขนาด 6.5 นิ้ว นิยมใช้ผังหน้าตัดรูเจาะ เป็น 5 x 6 เมตร
- หัวเจาะขนาด 8 นิ้ว นิยมใช้ผังหน้าตัดรูเจาะ เป็น 6 x 7 เมตร หรือ 7 x 7 เมตร

ข) ข้อกำหนดเสริม

- ความสูงของหน้าเหมือง มักกำหนดตามความยาวของก้านเจาะที่มีใช้ ไม่นิยมต่อก้านเจาะเกิน 2 ก้าน เพราะไม่คล่องตัวด้านการปฏิบัติงาน ความสูงที่ใช้มักให้เป็นเลขลงตัวและจำง่าย เช่น 5 เมตร 10 เมตร 15 เมตร และ 20 เมตร เป็นต้น
- ระยะเจาะลึกต่ำกว่าพื้นนิยม 0.3 เท่าของค่าระยะความหนาหน้าระเบิดแถวแรก
- ระยะเจาะปิดอัดวัสดุปากหลุม นิยม 0.7 เท่า ของค่าระยะความหนาหน้าระเบิดแถวแรก
- การเจาะหลุมนิยมใช้รูเอียง ประมาณ 75 องศา เมื่อเทียบกับแนวราบ โดยเอียงไปทางหน้าอิสระ

4.3.3 การออกแบบผังระเบิดให้มีผลกระทบน้อยสุด

การออกแบบผังระเบิดขึ้นอยู่กับเป้าหมายในการทำงาน หรือขึ้นอยู่กับวิธีการทำเหมือง เช่น หน้าเหมืองเป็นบ่อเหมืองเปิด อยู่บนที่ราบ เนินเขา บนไหล่เขา เป็นต้น กรณีหน้าเหมืองเป็นผาสูงชัน การป้องกันผลกระทบทำได้ยาก ใช้การคำนวณผลการระเบิดแบบเป็นหลุมเครเตอร์ระเบิดแต่ละครั้งให้มีจำนวนหลุมเจาะระเบิดน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นได้

การออกแบบการระเบิดหินที่มีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นการระเบิดแบบขั้นบันได มีข้อเสนอแนะจากเอกสารงานวิจัยเด่นหลายแห่ง ที่จัดเป็นมาตรฐาน ได้แก่ งานวิจัยของ R. Ash (1963), C. Konya (1995) และ Institution of Mining and Metallurgy (IMM), London (1981)

ผู้วิจัยโครงการนี้ได้สรุปขั้นตอนของการคำนวณ เพื่อออกแบบหน้าระเบิดหินแบบตัดความลาดเป็นขั้นบันไดไว้แต่ละขั้นตอน แต่การปฏิบัติจริงในการตัดสินใจ มีประเด็นของตัวแปรหลักที่ต้องคำนวณซ้ำเพื่อความมั่นใจในการป้องกันผลกระทบ ได้แก่ ตัวแปรแรก เป็นค่าน้ำหนักวัตถุระเบิดสูงสุด (ในการระเบิดแต่ละครั้ง) ต่อ จังหวะถ่วงของการระเบิด ตัวแปรที่สองเป็นค่าอัตราส่วน การสเกลระยะทางต่อน้ำหนักวัตถุระเบิดสูงสุดต่อจังหวะถ่วง และตัวแปรตัวสุดท้าย คือค่า น้ำหนักวัตถุระเบิดที่ใช้ ต่อ ปริมาตรหินที่ระเบิดได้

1. <u>ระยะความหนาของหน้าระเบิด</u>

เมื่อมีการตัดสินใจครั้งแรกในการดำเนินการเจาะระเบิด สิ่งแรกที่ต้องเลือกคือ ระยะความหนาหน้าระเบิด (B) มีสูตรเชิงประสบการณ์ที่จะคำนวณหาระยะเบอร์เดน คือ

$$B = 0.012 \left[\frac{2SG_e}{SG_r} + 1.5\right] D_e \qquad (4.1)$$

ค่าของ B และ $D_e$ มีหน่วยเป็นเมตร และมิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนค่าความหนาแน่นวัตถุระเบิดกับความหนาแน่นหิน หน่วยเป็น กรัม/ลบ.ซม. ส่วนพจน์ $SG_e$ กับ $SG_r$ เป็นค่าความถ่วงจำเพาะของวัตถุระเบิดกับมวลหิน ตามลำดับ

ข. <u>ระยะปิดอัดปากหลุมเจาะ</u>

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะที่ปิดอัดด้วยวัสดุปากหลุมเจาะ (T) กับค่าระยะความหนาหน้าระเบิด (B) คือ

$$T = 0.7 \times B \qquad (4.2)$$

หน่วยของระยะปิดอัดปากหลุม, T และความหนาหน้าระเบิด, B หน่วยเดียวกัน

ค. <u>ระยะเจาะต่ำกว่าพื้น</u>

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะที่เจาะลึกต่ำกว่าพื้นเหมือง (J) กับค่าระยะความหนาหน้าระเบิด (B) คือ

$$J = 0.3 \times B \qquad (4.3)$$

ง. ระยะความสูงตะพักหน้าเหมืองต่ำสุด

ค่าความสูงตะพักหน้าเหมืองต่ำสุด (minimum bench height, $L_m$) สามารถหาจากสูตรเชิงประสบการณ์เมื่อเทียบกับเส้นผ่านศูนย์กลางวัตถุระเบิด ($D_e$)

$$L_m = \frac{60 \times D_e}{1000} \qquad (4.4)$$

หน่วยของความสูงตะพักหน้าเหมืองต่ำสุดเป็นเมตร ส่วนหน่วยของเส้นผ่านศูนย์กลางวัตถุระเบิดเป็นมิลลิเมตร

จ. ระยะห่างของเวลาที่ใช้ในการถ่วงจังหวะ

การหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการจุดระเบิด จะช่วยให้ประสิทธิภาพของการแตกหักดี และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมภายหลังการระเบิด สูตรเชิงประสบการณ์ที่นำมาใช้มี 2 แบบ คือ

แบบแรก ค่าคงที่การถ่วงจังหวะ (delay constant) ระหว่างหลุมเจาะต่อหลุมเจาะ (hole-to-hole) ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 3.5-6.5 เศษหนึ่งส่วนพันวินาที / เมตร

แบบสอง ค่าคงที่การถ่วงจังหวะระหว่างแถวของหลุมเจาะ (row-to-row) หน้าระเบิด ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 6.5-16.5 เศษหนึ่งส่วนพันวินาที / เมตร

ฉ. ระยะห่างระหว่างหลุมเจาะในแถวเดียวกัน

ในการกำหนดค่า ระยะห่างระหว่างหลุมเจาะในแถวที่เหมาะสมที่สุด (optimum spacing) มีวิธีการคำนวณออกเป็น 2 แบบ ขึ้นอยู่กับวิธีการจุดระเบิดที่ใช้

แบบแรก การจุดระเบิดพร้อมกันทีเดียว

ถ้าหากเป็นการจุดระเบิดพร้อมกันทันทีทันใด (instantaneous initiation) สำหรับเหมืองหินที่มีความสูงของตะพักขั้นบันไดไม่มาก (low bench) หรือตะพักขั้นบันไดมีระยะค่าสูงเฉลี่ยในแนวดิ่งต่ำกว่า 10 เมตร ให้ใช้สูตรเชิงประสบการณ์

$$S = \frac{L + 2B}{3} \qquad (4.5)$$

พจน์ S ในสมการ 4.5 เป็นระยะห่างระหว่างหลุมเจาะ ส่วนพจน์ L เป็นความสูงของตะพักหน้าเหมืองในแนวดิ่ง และ B เป็นความหนาหน้าระเบิด ทุกพจน์มีหน่วยเป็นเมตร

แต่ถ้าหน้าเหมืองมีความสูงมากกว่า 10 เมตร จัดเป็นประเภทตะพักขั้นบันไดสูง (high bench) กำหนดให้

$$S = 2B \qquad (4.6)$$

<u>แบบที่สอง การจุดระเบิดโดยใช้การถ่วงจังหวะเวลาในการระเบิด</u>

ในกรณีของเหมืองเป็นประเภทตะพักขั้นบันไดต่ำ (low bench) ค่าอัตราส่วนของ L/B อยู่ระหว่างค่า 1 - 4 มีการใช้แก๊ปไฟฟ้าจังหวะถ่วงระหว่างหลุมให้ใช้สูตรเชิงประสบการณ์ใหม่ ดังนี้

$$S = \frac{L + 7B}{8} \qquad (4.7)$$

แต่หน้าเหมืองเป็นประเภทตะพักขั้นบันไดสูง ค่าอัตราส่วนของ L/B มากกว่า 4 ดังนั้นกำหนดให้หลุมเจาะระหว่างแถวมีการใช้แก๊ปไฟฟ้าจังหวะถ่วง

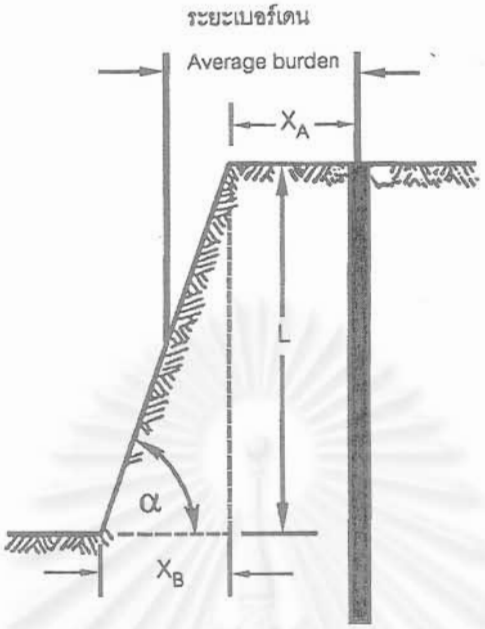
$$S = 1.4B \qquad (4.8)$$

ช. <u>อัตราส่วนของระยะห่างระหว่างหลุมเจาะต่อความหนาหน้าระเบิด</u>

ผังแบบอย่างหรือแบบแปลนของการออกแบบหน้าเหมืองเปิดโดยใช้วัตถุระเบิด ตามปกติจะเป็นแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือแบบสลับฟันปลา อัตราส่วนของ S/B ที่นิยม มีค่า S/B = 1:1 จนถึงค่า S/B = 2:1 ถ้าหากมวลหินที่จะทำการระเบิดมีความหนาแน่นสูง ก็เลือกใช้ค่าของ S/B ต่ำ ผลเสียของการใช้ S/B ต่ำ ก็คือ ก่อให้เกิดรอยแตกแนวรัศมี (radial cracks) ขยายตัวไปยังหน้าอิสระได้ง่าย มีเสียงดังจากการระเบิดมาก และไอกาสที่หินปลิวกระเด็นไปไกลมีสูง แต่ข้อด้อยค่าของ S/B สูงคือ ถ้าอัตราส่วน S/B มาก (มากกว่า 2 ถึง 4) คือ การแตกหักของหินอาจจะไม่ดีเท่าที่ควร

ซ. <u>ระยะเฉลี่ยที่เหมาะสมของระยะความหนาหน้าระเบิดแถวแรก</u>

การเริ่มต้นหาค่าระยะเฉลี่ยของความหนาหน้าระเบิดแถวแรก ควรกำหนดให้แปรผันไปตามรูปหน้าตัดเหมืองเปิด มุมเอียงเทของความลาด (slope angle) และความสูงของตะพักหน้าเหมือง (ดูรูปที่ 4.4)




รูปที่ 4.4 ระยะเฉลี่ยที่เหมาะสมความหนาหน้าระเบิดแถวแรกสำหรับเหมืองหินขั้นบันได

สมการที่ใช้ในการคำนวณจากรูปที่ 4.4 คือ

$$B_m = X_A + 1/2\ (X_B) = X_A + 1/2(L \cot \alpha) \qquad (4.9)$$

โดย $B_m$ = ระยะเฉลี่ยของเบอร์เดนแถวแรก

$X_A$ = ระยะทางในแนวราบจุดยอดความลาดเอียง (crest of slope) จนถึงจุดศูนย์กลางหลุมเจาะ

$X_B$ = ระยะทางในแนวราบจากจุดล่างสุดของความลาดเอียง (toe of slope) จนถึงแนวการฉาย (projection) ของจุดยอดความลาดเอียง

$\alpha$ = มุมเอียงเทของความลาดชัน

L = ความสูงในแนวดิ่งของตะพัก

ฌ. <u>มุมเอียงเทของหลุมเจาะ</u>

จากผลงานวิจัยหลายแห่งมีผลสรุปว่า การเจาะระเบิดแบบรูเอียง จะมีช่วยลดผลกระทบทางด้านการแตกหักหลังแนวระเบิด (back break) หินจะมีการแตกหักดีขึ้น

การเคลื่อนย้ายมวลหินภายหลังการระเบิดสามารถทำได้ง่ายขึ้น มุมเอียงเทจากแนวดิ่งที่เหมาะสมควรมีค่าอยู่ระหว่าง 10-30 องศา (หรือเท่ากับมุมลาดเอียงของหน้าเหมืองประมาณ 60-80 องศา)

ญ. <u>แก๊ปไฟฟ้าจังหวะถ่วงและระยะถ่วงจังหวะ</u>

มวลหินหน้าเหมืองเมื่อถูกทำให้มีการจุดระเบิดชุดหนึ่งพร้อมกันทีเดียว ก่อให้เกิดความเร่งสูงในมวลหิน ซึ่งมีผลต่อการไถลเลื่อน (sliding) ของมวลหินหน้าเหมืองได้ แนวทางปฏิบัติที่ดีคือ ควรใช้แก๊ปไฟฟ้าจังหวะถ่วงช่วยในการระเบิดช่วงเวลาถ่วงจังหวะ (delay interval) ระหว่างแถวรูเจาะที่ถัดไปควรมีค่าประมาณ 3-6 เศษหนึ่งส่วนพันวินาทีต่อเมตร ในการระเบิดครั้งหนึ่ง ก็ไม่ควรมีแถวของหน้าระเบิดเกิน 4 แถว เพื่อลดผลกระทบเรื่องการสั่นสะเทือนและการยกตัวของมวลสาร

สูตรเชิงประสบการณ์ที่ IMM, London แนะนำได้แก่ เมื่อให้ระยะห่างของแถวหน้าระเบิดเท่ากับ 8 เมตร ควรกำหนดให้ใช้แก๊ปถ่วงจังหวะไฟฟ้าตามนี้

แถวแรก - จุดระเบิดทันที (instantaneous)
แถวสอง - แก๊ปถ่วงเวลา 35 เศษหนึ่งส่วนพันวินาที
แถวสาม - แก๊ปถ่วงเวลา 75 เศษหนึ่งส่วนพันวินาที
แถวสี่ - แก๊ปถ่วงเวลา 105 เศษหนึ่งส่วนพันวินาที

ฎ. <u>ปริมาณวัตถุระเบิดที่เหมาะสม</u>

ชนิดและคุณสมบัติของวัตถุระเบิด เป็นสิ่งจำเป็นเบื้องต้นที่ผู้นำวัตถุระเบิดไปใช้ต้องทำการศึกษาอย่างละเอียดก่อนนำไปใช้ การคำนวณให้ปริมาณน้ำหนักวัตถุระเบิดเหมาะสมกับปริมาตรของหินหน้างานระเบิดช่วยให้การระเบิดมีประสิทธิภาพสูงและประหยัดค่าใช้จ่าย

1) <u>การเลือกสัดส่วนของเพาเดอร์แฟกเตอร์</u>

วิธีการโดยตรงในการหาค่า อัตราส่วนของน้ำหนักวัตถุระเบิดต่อปริมาตรหินแน่น [เรียกว่า powder factor หรือ specific charge] เป็นการเลือกใช้ปริมาณวัตถุระเบิดเพื่อผลิตหินจริง ให้เหมาะสมสำหรับหินและโครงสร้างแต่ละชนิดในบริเวณที่ทำการระเบิด

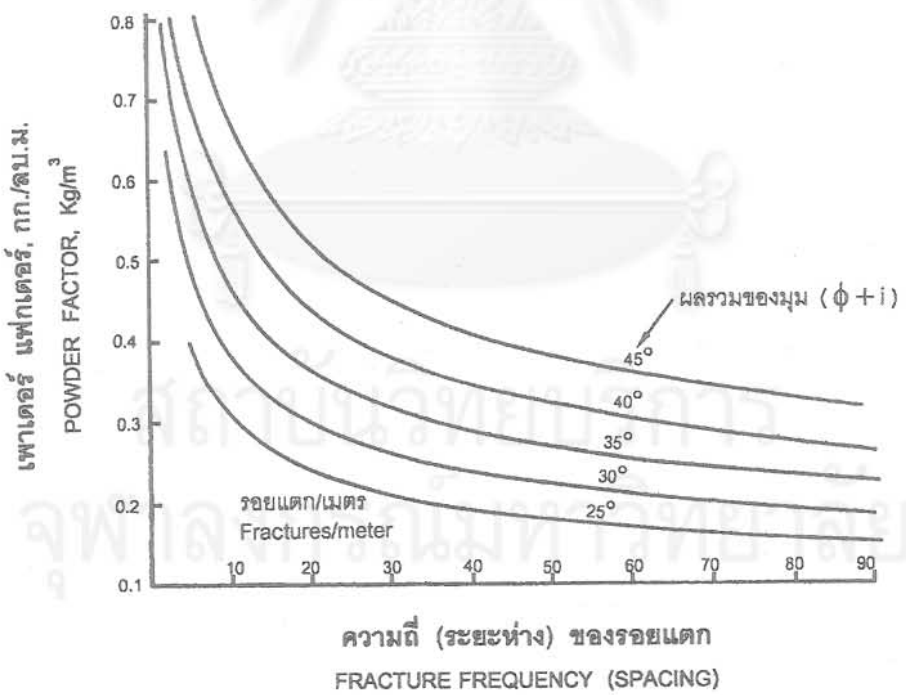
Ashby (1979) ซึ่งเป็นวิศวกรของเหมืองแร่ทองแดงบริษัท Bougainville Copper ในประเทศ Papua New Guinea เป็นผู้เสนอแนะแนวทางที่ควรนำค่าคุณสมบัติของมวลหินมาใช้ในการคำนวณน้ำหนักวัตถุระเบิด (ค่าเพาเดอร์แฟกเตอร์) โดยมีการ

ทดลองนำค่าคุณสมบัติความไม่ต่อเนื่องของมวลหิน ณ จุดหน้าเหมืองหินที่ทำการระเบิดมาใช้ประกอบในการคำนวณหาค่าปริมาณของวัตถุระเบิด

Ashby ทดลองพล็อตกราฟ (รูปที่ 4.5 ข้างล่าง) หาความสัมพันธ์ค่ามุมเสียดทานประสิทธิผล (effective friction angle) กับระยะห่าง (ความถี่) ที่เป็นรอยแตกแยกในหิน (fracture spacing or frequency) มาใช้ในการคำนวณ ค่าของเพาเดอร์แฟกเดอร์

สูตรเชิงประสบการณ์ สำหรับการหาค่าเพาเดอร์แฟกเตอร์ของวัตถุระเบิด ที่เป็น AN-FO ดังนี้

$$[\text{เพาเดอร์แฟกเตอร์, } q]_{AN-FO} = \frac{1{,}400 \tan(\phi + i)}{(\text{fractures/meter})^{1/3}} \qquad (4.10)$$




รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณวัตถุระเบิดที่ใช้กับคุณสมบัติของหินที่อยู่กับที่ (in situ rock mass) กราฟความสัมพันธ์นี้หาจากสมการที่ 4.10

ค่าเพาเดอร์แฟกเตอร์ (q) ในสมการข้างบนมีหน่วยเป็น กก./ลบ.ม. ($kg/m^3$) ค่า $\phi$ เป็นค่ามุมเสียดทานภายใน (angle of internal friction) ค่า i เป็นค่าของมุมของความขรุขระ (roughness angle) ที่เป็นพื้นผิวขรุขระบนของรอยแตกรอยแยกในหิน (joint roughness) ที่อยู่ในแนวทิศทางของระนาบเฉือน (shear plane) ผลรวมของ ค่าความเสียดทาน กับ ค่าความขรุขระ ได้แก่ ($\phi + i$) ซึ่งเป็นค่าของมุมเสียดทานประสิทธิผล (effective friction angle) ตามทฤษฎีการแตกหักของหินที่เสนอโดย Mohr-Coulomb ค่าของมุมผิวขรุขระ (roughness angle) สามารถวัดได้โดยตรงตามรูปที่สเก็ตช์ ดังแสดงในรูปที่ 4.6 (มุม i ในรูป)

ค่ามุมเอียงของพื้นผิวที่ขรุขระ ค่า i ในรูปนี้
คือ มุมผิวขรุขระ (roughness angle)

รูปที่ 4.6 การหาค่ามุมของผิวขรุขระของระนาบรอยแตกในหิน

2) <u>น้ำหนักวัตถุระเบิดและปริมาตรหิน</u>

ประเด็นที่สำคัญที่สุด ในการควบคุมผลกระทบจากการระเบิดหินคือ การกำหนดน้ำหนักวัตถุระเบิดระเบิดต่อหนึ่งหน่วยของปริมาตรหินแน่นที่ต้องการให้เกิดการแตกหัก

สูตรเชิงประสบการณ์ในการหาความสัมพันธ์ ระหว่างน้ำหนักวัตถุระเบิดที่เหมาะสมที่สุด (optimum charge) กับปริมาตรของหินที่แตกหัก ได้แก่

Optimum charge = powder factor x burden volume (4.11)

กำหนดให้ ปริมาตรหินหน้าระเบิด (burden volume) เป็น

$$\text{Burden volume} = \text{burden} \times \text{spacing} \times \text{bench height} \qquad (4.12)$$

ในเหมืองหินทั่วไป ความสูงของหน้าเหมืองถูกกำหนดจากขนาดมิติของเครื่องจักรกลที่ใช้ในการขุดและขนย้ายหิน ทำนองเดียวกัน ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมเจาะระเบิดถูกกำหนดโดยเครื่องเจาะที่มีอยู่ในเหมือง ส่วนข้อกำหนดอื่นที่เหลือได้แก่ ผังหน้าระเบิด ระยะเจาะต่ำกว่าพื้น กับ ระยะปิดอัดปากหลุมเจาะ ก็ถูกกำหนดโดยค่าขนาดหินที่แตกหัก (fragmentation value) ที่ต้องการ ดังนั้นจึงต้องกำหนดค่าขึ้นมาใหม่เรียกว่า ค่าปริมาตรหลุมเจาะระเบิด (blasthole volume) ซึ่งเป็นค่าปริมาตรของหินตามขนาดของหลุมเจาะระเบิด (DH) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่กำหนด

$$\text{Blasthole volume} = 1/4\ \pi\ (DH)^2 \times [\text{bench height} + \text{subdrilling} - \text{stemming}] \qquad (4.13)$$

ถ้าหากคำนวณค่าปริมาตรของหลุมเจาะระเบิด (blasthole volume) ได้ไม่สอดคล้องกับค่าน้ำหนักวัตถุระเบิด ก็ทำการดัดแปลงค่าระยะความหนาหน้าระเบิดกับระยะหลุมเจาะในแถวที่ระบุในสมการ (4.12) ใหม่

4.3.4 <u>ขั้นตอนหลักในการวางแผนเชิงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการขุดเจาะ</u>

งานการขุดเจาะที่มีการใช้วัตถุระเบิด การปฏิบัติงานที่อาจเป็นอันตรายต่อมนุษย์กับสิ่งแวดล้อมมักเกิดจากการดำเนินการเจาะ การระเบิด และการขนย้ายลำเลียงหิน ทำให้เกิดผลกระทบหลัก เป็น การสั่นสะเทือน ความดังเสียง การปลิวกระเด็นหินหรือหินหล่นตกใส่ ฝุ่นละอองที่มนุษย์กับสิ่งมีชีวิตอื่นได้รับ และตัวแปรที่เป็นผลกระทบอื่น

1. <u>การวางแผนเชิงผลกระทบจากการสั่นสะเทือนและเสียงดัง</u>

เมื่อมีการเจาะกับการระเบิดเกิดขึ้น สิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ก็คือเกิดความสั่นสะเทือนที่เป็นผลมาจากเครื่องเจาะหรือคลื่นระเบิด กับเกิดความดังเสียงที่มาจากเครื่องเจาะกระทบกับหินหรือเป็นความดันเสียงที่เกิดจากคลื่นระเบิด หรือเป็นความรู้สึกสั่นสะเทือนกับเสียงดังรำคาญเมื่อรถบรรทุกวิ่งผ่านใกล้ที่ตั้งอาคารบ้านเรือน

ตามปกติในการปฏิบัติงานเหล่านี้ ผลกระทบในเรื่องการสั่นสะเทือนกับความดังเสียงจะแตกต่างกันตามชนิดของงานนั้น บางทีไม่เกิดอันตรายแต่ความรู้สึกของมนุษย์ที่ไวต่อความรู้สึกสั่นสะเทือนและเสียง ก็อาจเกิดความรำคาญจนหมดความอดทน

ถ้าหากต้องการระบุค่าของการสั่นสะเทือนกับค่าความดังเสียง เป็นตัวเลขที่สามารถบันทึกผลเป็นหลักฐานเพื่อการตรวจสอบได้ ก็ต้องใช้เครื่องตรวจวัดการสั่นสะเทือนจากค่าความเร็วของอนุภาคกับความถี่ รวมทั้งวัดระดับความดังเสียงผ่านไมโครโฟน ดังรูปที่ 4.7 ข้างล่าง ที่แสดงการติดตั้งระบบเครื่องตรวจวัดการสั่นสะเทือน กับระดับความดังเสียงในระบบเครือข่าย L ที่เกินระดับและมีผลให้เกิดความเสียหายโครงสร้างสิ่งก่อสร้าง

สถาบันวิทยบริการ

รูปที่ 4.7 เครื่องตรวจวัดการสั่นสะเทือนและเสียงดังระบบดิจิตอล โดยใช้ Transducer กับ Microphone แล้วบันทึกผลในกระดาษกราฟ

การพิจารณาผลกระทบการสั่นสะเทือนจากการระเบิด อาจแบ่งเป็นเขตหรือโซนที่สิ่งปลูกสร้างอยู่ห่างจากหน้าเหมืองหรือหน้าจุดระเบิดเพียงใด เช่น เป็นเขตปลอดภัย เขตควรระวัง เขตเข้มงวด และเขตต้องห้าม โดยต้องควบคุมค่าการสั่นสะเทือนและค่าระดับความดังเสียงตามกฎที่ทางราชการกำหนด

อนึ่งถ้าหากไม่มีเครื่องมือในการตรวจวัดการสั่นสะเทือนและความดังเสียง ก็ต้องใช้สูตรเชิงประสบการณ์ในการคำนวณค่าตัวแปรผลกระทบ เพื่อป้องกันไม่ให้เกินขีดจำกัดที่เป็นอันตรายได้ วิธีป้องกันที่ดีที่สุดของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการระเบิด คือ การจำกัดปริมาณวัตถุระเบิดตามสัดส่วนของระยะทางที่ห่างจากจุดระเบิด

2. การวางแผนเชิงผลกระทบของหินปลิวหรือหล่นใส่

เมื่อมีการระเบิดหรือมีการขนย้ายหิน มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดหินปลิวใส่หลังคาของสิ่งก่อสร้างหรือหล่นใส่คนเมื่อรถบรรทุกวิ่งผ่าน การป้องกันผลกระทบระหว่างหินที่ปลิวกระเด็นจากการระเบิดใส่กับการที่ชิ้นส่วนหินหล่นใส่ มีการวางแผนแตกต่างกัน ดังต่อไปนี้

ก) หินที่ปลิวกระเด็นจากการระเบิด

การประเมินระยะทางจากการใช้สูตรเชิงประสบการณ์ ของการระเบิดหินแบบเครเตอร์ควรเป็นสิ่งแรกที่นำมาใช้คาดระยะที่หินจะหล่นใส่ ในกรณีที่ทำการปฏิบัติงานในการประจุสารผสมระเบิด AN-FO ต้องให้ระยะปิดอัดรูเจาะด้วยวัสดุเกิน 0.3 B (ระยะเบอร์เดน) หรือไม่น้อยกว่า 30 เซนติเมตร (ในทุกกรณี) ถ้าต้องการให้เกิดความมั่นใจในการป้องกันให้กำหนดค่า การสเกลของระยะทางต่อรากกำลังสองน้ำหนักวัตถุระเบิดให้ใกล้เคียง 225 เมตรต่อ (กิโลกรัม)$^{1/2}$ หรือ 500 ฟุตต่อ (ปอนด์)$^{1/2}$

นอกจากนี้ให้หลีกเลี่ยงหันหน้าระเบิดเข้าหาหมู่บ้านชุมชนที่ได้รับผลกระทบ ในช่วงการเจาะรูระเบิดควรระวังเรื่องความเบี่ยงเบนไว้ด้วย เพราะผังหน้าระเบิดอาจผิดเพี้ยนจากที่ออกแบบไว้ และการจุดระเบิดต้องป้องกันไม่ให้เกิดการจุดระเบิดแถวหลังก่อนแถวหน้าที่ติดกับหน้าอิสระ

ข) หินที่หล่นใส่จากการขนย้าย

เหตุการณ์ที่มีหินหล่นใส่คนหรือถนน ถ้ามีการเกิดขึ้นบ่อยก็มีผลต่อการถูกร้องเรียนหรือถูกฟ้องเรียกค่าเสียหายได้ ในการบรรทุกขนย้ายหน้าเหมืองควรมีผู้ช่วยทำหน้าที่บอกคบขับปิดท้ายรถเวลาบรรทุกเสมอ และระวังในการขับทางโค้งหรือทางใกล้หน้าผาให้ชะลอความเร็วรถเพื่อป้องกันการไถลเลื่อนและหินตกใส่ อย่าบรรทุกหินจนเกินระดับขอบข้างหลังรถบรรทุก และควรทำเหล็กกั้นเพิ่ม เมื่อผ่านชุมชนให้ลดระดับความเร็วรถบรรทุกลง

3. การวางแผนเชิงผลกระทบฝุ่น

เมื่อมีการเจาะระเบิดเกิดฝุ่นขึ้นได้ หรือเมื่อมีการขนย้ายหินหน้าเหมืองหรือไปยังที่กองเก็บ มีผลให้เกิดฝุ่นละอองที่ก่อให้เกิดความรำคาญหรือเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตได้

ก) ฝุ่นหน้างานขุดเจาะ

ฝุ่นในการเจาะปกติก่อให้เกิดผลกระทบมากกว่าฝุ่นในการระเบิด อย่างไรก็ตามฝุ่นจากหน้างานนี้ ผู้ได้รับผลกระทบเป็นผู้ที่ปฏิบัติงาน การควบคุมก็คือ ออกกฎให้ใส่เครื่องป้องกันฝุ่น พยายามอย่าเจาะในบริเวณที่ลมพัดแรง และถ้าสามารถเลือกใช้การเจาะแบบเปียกได้ก็ลดมลพิษลงมาก หรือถ้าเป็นการเจาะแบบแห้งก็ควรมีถุงกรองฝุ่นดักไว้ตรงใกล้

ปากรูเจาะ ส่วนการป้องกันฝุ่นจากการระเบิด อย่าเลือกเวลาจุดระเบิดในขณะที่ครึ้มฟ้าครึ้มฝน และหลีกเลี่ยงการระเบิดที่มีแนวทิศทางลมพัดไปยังที่ตั้งชุมชน

ข) ฝุ่นในระหว่างการขนย้าย

ฝุ่นชนิดนี้เกิดได้ทั้งบริเวณภายในขอบเขตของเหมือง หรือบริเวณนอกเหมืองที่ต้องบรรทุกหินส่งไปยังโรงบดย่อย พยายามหลีกเลี่ยงเส้นทางที่ผ่านที่ตั้งชุมชน และควรเลือกเส้นทางที่สั้นกับมีการปรับแต่งถนนด้วยการบดอัดแน่นได้มาตรฐาน จะช่วยให้อนุภาคของเม็ดดิน กรวด และฝุ่น ติดแน่นไม่ฟุ้งกระจาย พื้นผิวถนนขนส่งสายหลักมีความคุ้มทุนที่ลาดด้วยยางแอสฟัลต์หรือยางสังเคราะห์ หรืออาจลงทุนครั้งเดียวทำผิวถนนเป็นพื้นคอนกรีตก็ช่วยป้องกันฝุ่นละอองได้มาก

การออกแบบให้มีการรับส่งหินที่ระยะใกล้กับหน้างานขุดเจาะด้วยวัตถุระเบิด ไม่เกิน 200 เมตร แล้วผ่านมายังระบบสายพานลำเลียงชิ้นส่วนของหินไปยังที่กองจัดเก็บก่อนตักไปยังปากไม่เพื่อบดย่อย หรือลำเลียงชิ้นส่วนหินไปยังปากไม่เลย ก็เป็นการลงทุนครั้งเดียวที่ได้ผลคุ้มค่า ช่วยป้องกันผลกระทบของฝุ่นและเสียง ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในหน้างานขนาดใหญ่ ที่มีการบดย่อยหินเพื่อเป็นวัสดุในการผสมทำซีเมนต์หรือทำหินก่อสร้างจำนวนมาก ควรมีการออกแบบให้มียุ้งเก็บผลิตภัณฑ์หินและมีสายพานลำเลียงไปยังปากไม่เพื่อบดย่อย และเมื่อบดย่อยเสร็จแล้วให้มีการลำเลียงย้อนกลับเพื่อมาเก็บเป็นสต๊อกในยุ้ง (แยกคนละส่วนหรือคนละยุ้งกับที่เก็บหินก่อนบดย่อย) เมื่อต้องการจำหน่ายหินที่บดย่อยแล้วก็ให้รถบรรทุกมารับจากรางของเครื่องป้อน (feeder) ใต้ยุ้ง วิธีการเช่นนี้ก็ไม่จำเป็นต้องใช้รถตักล้อยางมาทำการตักหินขึ้นรถบรรทุก เพราะเครื่องป้อนใต้ผลิตภัณฑ์หินจะทำการป้อนหินผ่านสายพานลำเลียงไปยังรางส่งหินอยู่ข้างใต้แทน เป็นการลดภาระการขนถ่ายลำเลียงซ้ำซ้อน และลดฝุ่นกับเสียงได้มาก

ในเส้นทางขนส่งลำเลียงที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ที่ต้องผ่านที่ตั้งชุมชน วิธีการที่ใช้รถบรรทุกพรมน้ำบนพื้นถนนวันละ 2 ครั้ง หรือมากกว่า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะของฝุ่น ในฤดูแล้งอากาศแห้งมีโอกาสที่อนุภาคของฝุ่นจะฟุ้งกระจายสูง ก็ต้องมีการพรมน้ำถี่ขึ้น แต่ในฤดูฝนอากาศชื้นการพรมน้ำบนผิวถนนเพียง 2 ครั้งต่อวันก็เพียงพอ โดยเฉพาะวันที่ฝนตกหนักการพรมน้ำอาจไม่จำเป็น

การใช้ต้นไม้ป้องกันฝุ่นและเสียง ถ้าหากพื้นที่ขนส่งลำเลียงโดยรอบมีต้นไม้ ไม่เพียงพอก็ทำการปลูกต้นไม้ไดเร็ว เช่น ต้นกระถินณรงค์ เพิ่มเพื่อช่วยดูดซับฝุ่นละอองและป้องกันเสียงทางหนึ่งด้วย ผู้ประกอบการจึงควรประชุมตกลงกับองค์การบริหารส่วนตำบลในเรื่องการขออนุญาตทำความเข้าใจ กับแบ่งสัดส่วนภาระงานของการรับผิดชอบดูแลรักษาต้นไม้ เช่นการลงทุนปลูกอาจเป็นส่วนของผู้ประกอบการ แต่การรดน้ำ พรวนดิน กับกำจัดวัชพืชและแมลง อาจเป็นส่วนขององค์การบริหารส่วนตำบล

วิธีการอีกอย่างหนึ่งของการป้องกันผลกระทบของการลำเลียงขนส่งหิน ได้แก่ การจำกัดความเร็วของรถบรรทุก ในกรณีปกติไม่ควรวิ่งเกิน 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และในกรณีที่ผ่านหมู่บ้านชุมชนก็ควรลดความเร็วเหลือเพียง 20–25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง การทำคันยางแอสฟัลต์หรือทำคันคอนกรีตให้โค้งนูนบนผิวถนน ที่เรียกว่า "ลูกระนาด" ก็ช่วยป้องกันได้อีกทางหนึ่ง ไม่ให้รถบรรทุกวิ่งเร็วเกินขีดจำกัด

ขั้นตอนสุดท้ายของการป้องกันผลกระทบจากการขนส่งลำเลียงหิน เมื่อต้องวิ่งผ่านไปใกล้สถานที่เป็นชุมชนขนาดใหญ่ เช่น โรงเรียน โรงพยาบาล นอกจากปฏิบัติตามที่ระบุข้างบนแล้ว ในชั้นเรียนหรือหน้าสถานที่ทำการที่มีโอกาสได้รับผลกระทบของฝุ่นและเสียงในระดับสูงเพราะอยู่ใกล้ถนน ควรมีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศหรือทำแผงไม้หรือแผงคอนกรีตกั้นตั้งฉากใกล้กับขอบถนน การลงทุนขั้นแรกก็อาจเป็นส่วนของผู้ประกอบการแต่การบำรุงรักษาควรเป็นส่วนของหน่วยงานนั้น

4. <u>การวางแผนเชิงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากตัวแปรอื่น</u>

ความดังเสียงจากการระเบิดเป็นผลกระทบชั่วครู่ ปกติผู้ที่ได้ยินครั้งแรกอาจรู้สึกตกใจหรือรำคาญ แต่ถ้าได้มีการประชาสัมพันธ์ชี้แจง หรือกำหนดเวลาการจุดระเบิดที่แน่นอน ก็เป็นการแก้ไขปัญหาได้ในระดับหนึ่ง ส่วนเรื่องเสียงที่เกิดจากการขนย้ายหินไปยังโรงโม่หรือไปยังแหล่งที่ใช้หิน ก็ควรเลือกเส้นทางที่ไม่ผ่านชุมชน กรณีที่จำเป็นก็ใช้การป้องกันแนวทางเดียวกันกับมลพิษเรื่องฝุ่น นั่นคือ ปลูกต้นไม้ ทำกำแพงคอนกรีต หรือติดตั้งเครื่องปรับอากาศให้แก่โรงเรียน โรงพยาบาล ที่อยู่ใกล้กับเส้นทางที่รถบรรทุกหินผ่านบ่อย

ตัวแปรอื่นที่เป็นผลกระทบจากงานขุดเจาะด้วยวัตถุระเบิด อาจเกิดจากก๊าซพิษที่เป็นผลมาจากการผสมของแอมโมเนียมไนเตรตกับน้ำมันดีเซลผิดสัดส่วน ซึ่งแก้ไขได้ง่ายถ้าระมัดระวังเรื่องเครื่องมือตวงหรือชั่งหาน้ำหนัก หรือไม่ผสมทิ้งไว้ค้างคืนก่อนนำมาใช้

ในกรณีที่ต้องการนำวัสดุที่ไม่ต้องการไปทิ้ง อาจก่อให้เกิดการปิดกั้นทางเดินน้ำเดิมหรือไปทำให้แหล่งน้ำเดิมที่ดีกลายเป็นเสียไป การออกแบบฟื้นฟูสภาพของหน้างานให้ควบคู่กับการผลิตหินหน้างานตั้งแต่ก่อนลงมือปฏิบัติงานจะเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการแก้ไขภายหลังสภาพธรรมชาติสูญเสียไปแล้ว วิธีการที่นิยมคือการปรับพื้นในเรียบเป็นลานสำหรับทิ้งสิ่งของที่ไม่ต้องการใช้ หรือขุดเป็นบ่อขนาดใหญ่ จากนั้นปูพื้นด้วยวัสดุยางสังเคราะห์ที่น้ำซึมผ่านไม่ได้ เมื่อนำดินหรือหินหรือวัสดุที่ไม่ต้องการมาทิ้งแล้ว ให้ไถปาดกลบด้วยดินและตกแต่งหรือปรับหน้าดินให้มีคุณภาพที่ปลูกพืชได้เร็วได้

บทสรุปของการวางแผนการป้องกันผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้งระบบก็คือ จุดเหมาะสมพอดีของการจัดการ ในกรณีของผู้ประกอบการที่เน้นถึงความคุ้มทุน แต่ในขณะเดียวกันก็ไม่สามารถจะละเลยเรื่องความปลอดภัยกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

# บทที่ 5

# ระบบเชิงเศรษฐศาสตร์ของการใช้วัตถุระเบิด

การปฏิบัติการขุดเจาะโดยใช้วัตถุระเบิดนั้น ความคุ้มทุนเชิงเศรษฐศาสตร์เป็นสิ่งที่ต้องวิเคราะห์ควบคู่ไปกับการวางแผนด้านความปลอดภัย และการป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้เพื่อให้มีการใช้วัตถุระเบิดในงานขุดเจาะอย่างประหยัด และมีความคุ้มทุนได้ผลกำไรในการปฏิบัติการขุดเจาะโครงการนั้น

## 5.1 ข้อกำหนดเชิงเศรษฐศาสตร์ในการใช้วัตถุระเบิด

ในองค์กรหรือบริษัท งานการขุดเจาะเป็นส่วนหนึ่งของการดำเนินงาน เป้าหมายในการทำการผลิตหิน ผลิตแร่ หรือเปิดหน้างานของการก่อสร้าง จำเป็นต้องตอบสนองลูกค้า ในระบบที่องค์กรหรือบริษัทนั้นมีการลงทุนเชิงเศรษฐศาสตร์ที่คุ้มทุน โดยการปฏิบัติงานอย่างมีประสิทธิภาพ และยังคำนึงถึงความปลอดภัยและสภาวะแวดล้อม

เมื่อมีการใช้วัตถุระเบิด ข้อกำหนดที่สำคัญในด้านค่าใช้จ่าย ได้แก่ ค่าใช้จ่ายของการเตรียมงานเบื้องต้น ค่าใช้จ่ายในการเจาะหลุมระเบิด ค่าใช้จ่ายของวัตถุระเบิดและอุปกรณ์สิ้นเปลือง กับค่าใช้จ่ายในการลำเลียงขนย้าย อย่างไรก็ตามในเชิงการวางแผนทั้งระบบ ยังมีค่าใช้จ่ายที่ต้องคำนึงถึงเพิ่มเติม ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการบดย่อยตามขนาดของหินที่แตกหัก ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงเครื่องจักรกลกับอุปกรณ์ในงานขุดเจาะ ค่าใช้จ่ายในการป้องกันไม่ให้เกิดอุบัติเหตุในการทำงาน และค่าใช้จ่ายเพื่อป้องกันการร้องเรียนจากผู้ได้รับผลกระทบ

### 5.1.1 ค่าใช้จ่ายในการเตรียมการเบื้องต้น

ในส่วนการบริหารงานที่มีการใช้วัตถุระเบิด ค่าใช้จ่ายที่เป็นเงินเดือนของบุคลากรที่เป็นพนักงานหรือค่าจ้างรายวันหรือรายสัปดาห์สำหรับคนงาน ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการเปิดหน้างานเป็นค่าใช้จ่ายหลักที่ค่อนข้างคงที่ (เช่นเดียวกับค่าจ้างเหมาในการเจาะระเบิด) ผู้วางแผนจำเป็นต้องกำหนดอัตราเงินเดือนกับอัตราค่าจ้างให้รอบคอบ ทั้งในสภาพการ

ทำงานปกติหรือการทำงานพิเศษล่วงเวลา โดยควรมีทางเลือกไว้หลายทาง ในรูปแบบที่ระบุรายละเอียดจำนวนพนักงานกับคนงานของแต่ละส่วนหรือแผนกของการปฏิบัติงาน (เช่น งานเจาะกับงานระเบิด) ไว้ชัดเจน เมื่อต้องทำการตัดสินใจโดยรวดเร็วจะสามารถทำได้ทันในเวลาที่กำหนด หรือสามารถปรับเปลี่ยนพนักงานกับคนงานในแต่ละส่วน/แผนก ที่ต่างกันได้ตามแผน ทำให้กำหนดรายจ่ายได้ค่อนข้างแน่นอน

ในส่วนที่เป็นเครื่องจักรกลกับอุปกรณ์ต้องมีรายการค่าใช้จ่ายที่ระบุชัดเจน เริ่มตั้งแต่ค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อเครื่องจักรกลกับอุปกรณ์ในการเจาะ ระเบิด หรือขนย้ายลำเลียงหินหน้างานขุดเจาะ ค่าเสื่อมราคา ข้อกำหนดในเรื่องกู้เงินเพื่อลงทุนกับเงื่อนไขของเวลาชำระเงินต้นกับดอกเบี้ย ช่วงเวลาใช้งานของเครื่องจักรกลหรืออุปกรณ์ ประสิทธิภาพของเครื่องจักรกลในขณะที่ใช้งาน ค่าใช้จ่ายสำหรับวัสดุสิ้นเปลือง (สายชนวน แก๊ปไฟฟ้าถ่วงเวลา) ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครื่องจักรกลประจำสัปดาห์หรือเดือน

อนึ่งในหน้างานขุดเจาะที่เพิ่งเปิดใหม่ การเตรียมการเบื้องต้นมีค่าใช้จ่ายสร้างสถานที่ทำงานในออฟฟิศหรือเพิงพักหน้างานสนาม สร้างอาคารเก็บวัตถุระเบิดที่แยกเป็นระยะห่างเกิน 50 เมตร แบ่งเป็น 3 กลุ่มหลัก โรงผสมปุ๋ย อาคารเก็บวัตถุระเบิดพลังสูง (ไดนาไมต์ สายชนวนระเบิด) และอาคารเก็บเชื้อปะทุ (แก๊ป สายชนวนจุด) ในอาคารเหล่านี้ควรมีระบบป้องกันฟ้าผ่ากับอุปกรณ์ดับเพลิง รวมทั้งมีระบบความปลอดภัยที่ดี เช่นมียามเฝ้า สร้างรั้วล้อมรอบ มีกำแพงดินหรือคอนกรีตกั้นในทุกด้านหรือเฉพาะด้านที่หันเข้าสู่ที่ตั้งชุมชน

ค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมในการเปิดหน้างานใหม่ ได้แก่ สถานที่เก็บรักษาและเบิกจ่ายเครื่องจักรกับอุปกรณ์ สถานที่ซ่อม และลานเทหิน ลานคัดแร่ หรือลานที่สร้างจากหินหรือดินที่ไม่ใช้งาน (เพื่อใช้ในกรณีที่ต้องสต๊อกหินหรือสินแร่) การสร้างเส้นทางขนอุปกรณ์กับขนเครื่องเจาะ เส้นทางรถบรรทุกลำเลียง เส้นทางลาดเชื่อมระดับต่าง ๆ เป็นต้น

ดังนั้นในแต่ละครั้งที่มีการระเบิด ผู้วางแผนต้องมีแบบฟอร์มเพื่อบันทึกตัวเลขค่าใช้จ่ายของการเตรียมการเบื้องต้นเหล่านี้ไว้ แต่เมื่อทำการวิเคราะห์ผลสำหรับค่าใช้จ่ายโดยละเอียดอาจแยกเป็นเฉพาะรายการ เป็นค่าใช้จ่ายโดยรวมเบื้องต้น เป็นค่าใช้จ่ายในการเจาะรูระเบิด ค่าใช้จ่ายในการใช้วัตถุระเบิดกับอุปกรณ์สิ้นเปลือง ค่าจ้างสำหรับผู้รับเหมาและค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานเจาะระเบิด

5.1.2 <u>ค่าใช้จ่ายในการเจาะหลุมของรูระเบิด</u>

ค่าใช้จ่ายในการเจาะแปรผันตามชนิดและประเภทของงาน และยังแปรผันตามชนิดของหินและโครงสร้างรวมทั้งสมรรถนะของเครื่องเจาะชนิดนั้นด้วย ในบางกรณีตำแหน่งที่แตกต่างระดับกันบนภูมิประเทศของการวางหลุมเจาะก็มีผลต่อค่าใช้จ่ายด้วย และต้องให้งานการเปิดหน้าระเบิดสัมพันธ์กับเรื่องการขนส่งหรือความพร้อมของอุปกรณ์ขนย้ายลำเลียง

1. การประเมินค่าใช้จ่ายในการเจาะกับระเบิดโดยรวม

ภาพรวมของโครงการที่ใช้วัตถุระเบิด จำเป็นต้องมีการถูกวางแผนกระบวนการระเบิดตั้งแต่ ผังแบบอย่างการจุดระเบิด ชนิดหัวเจาะกับเครื่องเจาะ ขนาดของหลุมเจาะและความลึก จำนวนหลุมเจาะกับจำนวนก้านเจาะ ชนิดของวัตถุระเบิด วิธีการที่ควบคุมผลลัพธ์การแตกหักกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่จะเกิด เมื่อได้รายละเอียดครบถ้วนก็ทำการคำนวณค่าใช้จ่ายโดยรวมทั้งหมดของการเจาะกับการระเบิดได้

2. การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการเจาะ

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการเจาะหลุมระเบิดของเหมืองหิน ที่มีการตัดความลาดเป็นตะพักขึ้นบันได ผู้วิจัยได้เลือกผลงานของ Konya & Walter (1991) โดยปรับปรุงข้อมูลบางส่วนให้เหมาะสมกับของประเทศไทยแล้วนำเสนอในตารางที่ 5.1 ซึ่งจะใช้เป็นต้นแบบในการหาค่าใช้จ่ายในเหมืองเปิดของประเทศไทย ที่ถูกเลือกเป็นกรณีศึกษาของโครงการวิจัย (รายละเอียดในบทที่ 6) ในทำนองเดียวกันกับที่ผู้รับเหมาในการเจาะหลุมของรูระเบิดปกติสามารถสอบถามราคารับเหมาเจาะตามขนาดหลุมเจาะต่อความลึกรูเจาะจากสำนักงานของผู้รับเหมาท้องถิ่น อย่างไรก็ตาม ราคานี้ก็แปรเปลี่ยนตามแต่ละสำนักงาน เพราะอาจใช้เครื่องเจาะต่างชนิดกัน หรือต่างกันตามอายุการใช้งานของเครื่องเจาะที่ผ่านมาแล้ว

หลักการเบื้องต้นของการประเมินค่าใช้จ่ายที่แม่นยำในการเจาะ ขั้นตอนแรกต้องทำการแยกแยะ ระหว่างค่าใช้จ่ายที่คงที่ (fixed cost) กับค่าใช้จ่ายการปฏิบัติการ (operating cost) ตัวอย่างค่าใช้จ่ายคงที่ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อเครื่องจักรกลหลักต่อหน่วย ซึ่งรวมทั้งเครื่องเจาะกับเครื่องอัดอากาศ (compressor) ถ้าเครื่องเจาะเป็นแบบ air track ค่าขนส่งเครื่องจักรกลหลักจากโรงงานมายังหน้างานขุดเจาะและยังรวมทั้งการประเมินอายุการใช้งานเครื่องจักรกลหลัก ในระดับขั้นที่มีความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ด้วย

ค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานก็เป็นค่าเชื้อเพลิง (น้ำมันดีเซลกับน้ำมันเครื่อง) ในการใช้เครื่องอัดลม กับเครื่องจักรอื่น ค่าวัสดุสิ้นเปลืองเช่นไส้กรองอากาศ ไส้กรองน้ำมันเครื่อง การสึกหรอของหัวเจาะ ตัวต่อก้านเจาะ และก้านเจาะ

5.1.3 ค่าใช้จ่ายในการใช้วัตถุระเบิดกับอุปกรณ์เสริม

ค่าใช้จ่ายการใช้วัตถุระเบิดกับอุปกรณ์เสริมช่วยในการระเบิด ได้ใช้ผลงานของ Konya & Walter (1991) เป็นต้นแบบเช่นเดียวกัน โดยปรับปรุงแก้ไขให้เหมาะกับประเทศไทย แสดงไว้ในตารางที่ 5.2 ในการปฏิบัติงานจริงมีแนวทางหลายรูปแบบซึ่งสามารถเลือกผังงานหน้าระเบิดได้ เช่นเลือกเป็นแบบระเบิดตัดเป็นกล่อง (box cut)

## A. หมวดแรก ข้อมูลเข้าเครื่องเจาะชนิด Percussion ที่ใช้เครื่องอัดอากาศ

### หมวดแรก หน่วยย่อย 1 เครื่องเจาะกับอุปกรณ์ส่วนประกอบ

| รายการที่ | ชนิดของวัสดุหรือรายการ | มูลค่า(บาท) |
|---|---|---|
| 1.1 | หินหน้างานเป็นหินแกรนิต | - |
| 1.2 | มูลค่าต้นทุนเครื่องเจาะที่โรงงาน | 5,000,000 |
| 1.3 | ค่าขนส่งจากโรงงานถึงสำนักงานหน้างานชุดเจาะ | 30,000 |
| 1.4 | อายุการใช้งานเครื่องเจาะ 1 หมื่นชั่วโมง | - |
| 1.5 | มูลค่าต้นทุนอุปกรณ์ที่เป็นส่วนประกอบเครื่องเจาะ | 1,000,000 |
| 1.6 | อายุการใช้งานส่วนประกอบ 1 หมื่นชั่วโมง | - |

### หมวดแรก หน่วยย่อย 2 ผังหน้างานกับค่าแรงงาน

| รายการที่ | ชนิดของวัสดุหรือรายการ | มูลค่า(บาท) |
|---|---|---|
| 2.1 | ค่าแรงการเจาะที่คงที่ต่อระยะหนึ่งเมตร | 14 |
| 2.2 | ค่าแรงการเจาะที่คงที่ต่อชั่วโมง | 600 |
| 2.3 | ความยาวของหลุมแต่ละหลุม 11.5 เมตร | - |
| 2.4 | ระยะความหนาหน้าระเบิด 3.5 เมตร | - |
| 2.5 | ระยะห่างระหว่างหลุมเจาะในแถว 3.5 เมตร | - |
| 2.6 | ระยะเจาะลึกต่ำกว่าพื้น 1.5 เมตร | - |
| 2.7 | ความสูงในแนวดิ่งของตะพัก 10 เมตร | - |
| 2.8 | ความถ่วงจำเพาะของหิน = 2.6 | - |
| 2.9 | เส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมเจาะ 89 มม. (3 นิ้ว) | - |
| 2.1 | อัตราการเจาะผ่านหิน 42 เมตรต่อชั่วโมง | - |
| 2.11 | กำลังอัดของเครื่องอัดอากาศ 34 ลบ.ม.ต่อนาที | - |
| 2.12 | ความดันอากาศขณะปฏิบัติงาน 860 กิโลพาสคัล | - |
| 2.13 | ค่าแรงคนงานเจาะทั้งหน่วยต่อชั่วโมง | 450 |
| 2.14 | ค่าแรงงานเจาะอื่นต่อชั่วโมง | - |
| 2.15 | ค่าแรงงานเจาะทั้งหมดต่อชั่วโมง | 450 |

### หมวดแรก หน่วยย่อย 3 เครื่องยนต์กับค่าเชื้อเพลิง

| รายการที่ | ชนิดของวัสดุหรือรายการ | มูลค่า(บาท) |
|---|---|---|
| 3.1 | กำลังงานจากเครื่องยนต์หลัก 313 กำลังม้า (233,000 จูลต่อวินาที) | - |
| 3.2 | ปริมาตรน้ำมันดีเซลเครื่องยนต์หลัก บริโภคต่อชั่วโมง 95 ลิตร | - |
| 3.3 | ราคาน้ำมันดีเซลต่อลิตร | 11 |
| 3.4 | ค่าน้ำมันดีเซลทั้งหมดที่ใช้ในการเจาะต่อชั่วโมง | 1,045 |
| 3.5 | ไส้กรองน้ำมันดีเซลต่อชิ้น | 200 |
| 3.5 | ปริมาตรน้ำมันเครื่องที่ใช้กับเครื่องยนต์หลัก จำนวน 30 ลิตร | - |
| 3.6 | ราคาน้ำมันเครื่องต่อลิตร | 90 |
| 3.7 | ช่วงระยะเวลาที่มีการเปลี่ยนน้ำมันเครื่อง 100 ชั่วโมง | - |
| 3.8 | ค่าน้ำมันเครื่องทั้งหมดที่ใช้ในการเจาะต่อชั่วโมง | 1,074 |
| 3.9 | ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับเชื้อเพลิงอื่นเกี่ยวกับเครื่องยนต์หลัก | - |

### สรุปผลลัพธ์ค่าใช้จ่ายในการเจาะ (หน่วยย่อย 6 ถึง 9)

ก. ค่าใช้จ่ายในการเจาะต่อเมตร 52.38 บาท

ข. ค่าใช้จ่ายในการเจาะต่อชั่วโมง 2,200 บาท

### หมวดแรก หน่วยย่อย 4 เครื่องอัดอากาศกับรายการประกอบ

| รายการที่ | ชนิดของวัสดุหรือรายการ | มูลค่า(บาท) |
|---|---|---|
| 4.1 | มูลค่าเครื่องกรองอากาศสำหรับเครื่องอัดอากาศ | 3,000 |
| 4.2 | ความจุของห้องน้ำมันเครื่องสำหรับเครื่องอัดอากาศ 380 ลิตร | - |
| 4.3 | ราคาน้ำมันเครื่องของเครื่องอัดอากาศต่อลิตร | 40 |
| 4.4 | ช่วงระยะเวลาเปลี่ยนน้ำมันเครื่องของเครื่องอัดอากาศ 500 ชั่วโมง | - |
| 4.5 | มูลค่าไส้กรองอากาศของเครื่องอัดอากาศ | 10,000 |
| 4.6 | ช่วงระยะเวลาเปลี่ยนไส้กรองอากาศของเครื่องอัดอากาศ 500 ชั่วโมง | - |
| 4.7 | ค่าน้ำมันเครื่องกับไส้กรองทุกชนิดที่ใช้ในการเจาะต่อชั่วโมง | 56 |
| 4.8 | ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับเชื้อเพลิงอื่นสำหรับเครื่องอัดอากาศ | - |

### หมวดแรก หน่วยย่อย 5 น้ำมันหล่อลื่นกับรายการประกอบ

| รายการที่ | ชนิดของวัสดุหรือรายการ | มูลค่า(บาท) |
|---|---|---|
| 5.1 | น้ำมันหล่อลื่นที่เครื่องเจาะกับส่วนประกอบบริโภคต่อชั่วโมง 2 ลิตร | - |
| 5.2 | ราคาน้ำมันหล่อลื่นต่อลิตร | 120 |
| 5.3 | ค่าใช้จ่ายน้ำมันหล่อลื่นต่อชั่วโมง | 240 |
| 5.4 | ค่าใช้จ่ายรายการหล่อลื่นอื่น | - |

### หมวดแรก หน่วยย่อย 6 หัวเจาะ

| รายการที่ | ชนิดของวัสดุหรือรายการ | มูลค่า(บาท) |
|---|---|---|
| 6.1 | มูลค่าหัวเจาะเครื่อง top hammer ต่อชิ้น | 6,600 |
| 6.2 | อายุการใช้งานหัวเจาะต่อระยะเจาะ 300 เมตร | - |
| 6.3 | ค่าปรับตกแต่งหัวเจาะต่อครั้ง | 1,800 |
| 6.4 | ค่าเสื่อมราคาในการเจาะ (หัวเจาะ) คำนวณจากระยะความยาวเจาะต่อเมตร | 28 |
| 6.5 | ค่าใช้จ่ายในการเจาะ (หัวเจาะ) ต่อชั่วโมง | 1,176 |

### หมวดแรก หน่วยย่อย 7 ก้านเจาะ

| รายการที่ | ชนิดของวัสดุหรือรายการ | มูลค่า(บาท) |
|---|---|---|
| 7.1 | มูลค่าก้านเจาะ (drill steel) ที่ใช้ต่อชุด | 17,250 |
| 7.2 | อายุการใช้งานของก้านเจาะ 1,200 เมตร | - |
| 7.3 | ค่าเสื่อมราคา (ก้านเจาะ) คำนวณจากระยะความยาวเจาะต่อเมตร | 14 |
| 7.4 | ค่าใช้จ่ายในการเจาะ (ก้านเจาะ) ต่อชั่วโมง | 604 |

### หมวดแรก หน่วยย่อย 8 ข้อต่อในการปรับลดหรือเพิ่มก้านเจาะ

| รายการที่ | ชนิดของวัสดุหรือรายการ | มูลค่า(บาท) |
|---|---|---|
| 8.1 | มูลค่าชุดข้อต่อ (coupling) กับส่วนประกอบ | 3,000 |
| 8.2 | อายุการใช้งานของข้อต่อกับส่วนประกอบอื่น 600 เมตร | - |
| 8.3 | ค่าเสื่อมราคา (ข้อต่อกับส่วนประกอบ) คำนวณจากระยะความยาวเจาะต่อเมตร | 5 |
| 8.4 | ค่าใช้จ่ายในการเจาะ (ข้อต่อกับส่วนประกอบ) ต่อชั่วโมง | 210 |

### หมวดแรก หน่วยย่อย 9 ค้อนทุบก้านกับหัวเจาะ

| รายการที่ | ชนิดของวัสดุหรือรายการ | มูลค่า(บาท) |
|---|---|---|
| 9.1 | มูลค่าชุดค้อนทุบก้านกับหัวเจาะ (hammer piston) | 6,000 |
| 9.2 | อายุการใช้งานของค้อนทุบกับส่วนประกอบอื่น 1,200 เมตร | - |
| 9.3 | ค่าเสื่อมราคา (ค้อนทุบกับส่วนประกอบ) คำนวณจากระยะความยาวเจาะต่อเมตร | 5 |
| 9.4 | ค่าใช้จ่ายในการเจาะ (ค้อนทุบกับส่วนประกอบ) ต่อชั่วโมง | 210 |

ตารางที่ 5.1 (ต่อ) การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการเจาะในเหมืองหินด้วยเครื่องเจาะ percussion ใช้เครื่องอัดอากาศ [ดัดแปลงจาก Konya & Walter (1991) Rock Blasting and Overbreak Control]

## B. หมวดที่สอง การประเมินผลลัพธ์ค่าใช้จ่ายเครื่องเจาะ

**หมวดสอง หน่วยย่อย 1 ข้อมูลพื้นฐาน**

| รายการที่ | ชนิดของวัสดุหรือรายการ | มูลค่า (บาท) |
|---|---|---|
| 1.1 | ขนาดของหลุมเจาะรูระเบิด 89 มิลลิเมตร (3.5 นิ้ว) | - |
| 1.2 | อัตราความเร็วในการเจาะผ่าน 42 เมตรต่อชั่วโมง | - |
| 1.3 | ผังหน้าระเบิด เจาะ 3 แถว จำนวน 12 หลุม | - |
| 1.4 | ความยาวของหลุมแต่ละหลุม 11.5 เมตร | - |
| 1.5 | ระยะความหนาหน้าระเบิด 3.5 เมตร | - |
| 1.6 | ระยะห่างระหว่างหลุมเจาะในแถว 3.5 เมตร | - |
| 1.7 | ระยะเจาะลึกต่ำกว่าพื้น 1.5 เมตร | - |
| 1.8 | ความสูงในแนวดิ่งของตะพัก 10 เมตร | - |
| 1.9 | ความถ่วงจำเพาะของหินแกรนิต = 2.6 | - |
| 1.1 | กำลังอัดของเครื่องอัดอากาศ 34 ลบ.ม.ต่อนาที | - |
| 1.11 | ความดันอากาศขณะปฏิบัติงาน 860 กิโลพาสคัล | - |

**หมวดสอง หน่วยย่อย 2 ค่าใช้จ่ายต้นทุนคงที่ (fixed cost)**

| รายการที่ | ชนิดของวัสดุหรือรายการ | มูลค่า (บาท) |
|---|---|---|
| 2.1 | ต้นทุนคงที่ต่อความยาวการเจาะหนึ่งเมตร | 14.29 |
| 2.2 | ต้นทุนคงที่ต่อระยะเวลาเจาะหนึ่งชั่วโมง | 600 |
| 2.3 | อัตราความเร็วในการเจาะผ่าน 42 เมตรต่อชั่วโมง | - |
| 2.4 | จำนวนความยาวของการเจาะ 12 หลุม = 138 เมตร | - |
| 2.5 | ปริมาตรหินแน่นที่ได้ต่อการระเบิดหนึ่งครั้ง = 1,102.5 ลบ.ม. | - |
| 2.6 | น้ำหนักหินแน่นต่อการระเบิดหนึ่งครั้ง = 2,866.5 ตัน | - |
| 2.7 | ค่าใช้จ่ายคงที่ของการเจาะต่อลบ.ม. | 1.79 |
| 2.8 | ค่าใช้จ่ายคงที่ของการเจาะต่อตัน | 0.69 |

**หมวดสอง หน่วยย่อย 3 ค่าใช้จ่ายต้นทุนคงที่ (fixed cost)**

| รายการที่ | ชนิดของวัสดุหรือรายการ | มูลค่า (บาท) |
|---|---|---|
| 3.1 | ต้นทุนค่าปฏิบัติการต่อความยาวการเจาะหนึ่งเมตร | 95.71 |
| 3.2 | ต้นทุนค่าปฏิบัติการต่อระยะเวลาเจาะหนึ่งชั่วโมง | 4,020 |
| 3.3 | ค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติการเจาะต่อลบ.ม. | 11.98 |
| 3.4 | ค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติการเจาะต่อตัน | 4.61 |

**หมวดสอง หน่วยย่อย 4 ผลรวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด (total cost)**

| รายการที่ | ชนิดของวัสดุหรือรายการ | มูลค่า (บาท) |
|---|---|---|
| 4.1 | ผลรวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดต่อความยาวการเจาะหนึ่งเมตร | 110 |
| 4.2 | ผลรวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดต่อระยะเวลาเจาะหนึ่งชั่วโมง | 4,620 |
| 4.3 | ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการเจาะต่อลบ.ม. | 13.77 |
| 4.4 | ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการเจาะต่อตัน | 5.30 |

**หมวดสอง หน่วยย่อย 5 ปริมาตรสุทธิ (net volume)**

| รายการที่ | ชนิดของวัสดุหรือรายการ | ลูกบาศก์เมตร |
|---|---|---|
| 5.1 | ปริมาตรสุทธิเป็นลบ.ม.ต่อระยะเจาะหนึ่งเมตร | 7.99 |
| 5.2 | ปริมาตรสุทธิเป็นลบ.ม.ต่อเวลาเจาะหนึ่งชั่วโมง | 335.54 |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.2 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการใช้ระเบิดและอุปกรณ์เสริมในเหมืองหิน [ดัดแปลงจาก Konya & Walter (1991) Rock Blasting and Overbreak Control]

## A. หมวดแรก ข้อมูลเข้าวัตถุระเบิดชนิดเดียวเป็นสารผสม AN-FO ใช้ primer

### หมวดแรก หน่วยย่อย 1 รายละเอียดข้อมูลเข้าผังหน้าระเบิด

| รายการที่ | ชนิดของวัสดุหรือรายการ | เมตร |
|---|---|---|
| 1.1 | หินหน้างานเป็นหินแกรนิต | - |
| 1.2 | จำนวนหลุมเจาะ 12 หลุม | - |
| 1.3 | เส้นผ่านศูนย์กลางของหลุมเจาะ 89 มิลลิเมตร (3.5 นิ้ว) | 0.089 |
| 1.4 | ความยาวของหลุมแต่ละหลุม | 11.50 |
| 1.5 | ระยะความหนาหน้าระเบิด | 3.50 |
| 1.6 | ระยะห่างระหว่างหลุมเจาะในแถว | 3.50 |
| 1.7 | ระยะเจาะลึกต่ำกว่าพื้น | 1.50 |
| 1.8 | ระยะปิดอัดปากหลุม | 2.00 |
| 1.9 | ความสูงในแนวดิ่งของตะพัก | 10.00 |
| 1.1 | ความถ่วงจำเพาะของหิน = 2.6 | - |
| 1.11 | อัตราการเจาะผ่านหิน 42 เมตรต่อชั่วโมง | - |
| 1.13 | ความถ่วงจำเพาะของ AN-FO = 0.85 | - |

### หมวดแรก หน่วยย่อย 2 รายละเอียดข้อมูลเข้าค่าใช้จ่าย

| รายการที่ | ชนิดของวัสดุหรือรายการ | มูลค่า (บาท) |
|---|---|---|
| 2.1 | ไดนาไมต์ที่เป็น primer จำนวน 2 แท่ง | - |
| 2.2 | แก๊ปจุดระเบิด จำนวน 2 ดอก | - |
| 2.3 | มูลค่าต้นทุนสารผสม AN-FO น้ำหนัก 1 กิโลกรัม | 20 |
| 2.4 | มูลค่าต้นทุนไดนาไมต์ต่อแท่ง | 60 |
| 2.5 | มูลค่าต้นทุนแก๊ปต่อดอก | 40 |
| 2.6 | ค่าสายไฟ สายชนวน กับอุปกรณ์ประกอบที่ใช้ระหว่างหลุมเจาะทั้งหมด | 210 |
| 2.7 | ค่าอุปกรณ์ประกอบอื่นในการระเบิดต่อครั้ง | 3,000 |
| 2.8 | ค่าเตรียมการในการผสมและประจุวัตถุระเบิดในหลุมเจาะ 12 หลุม | 3,000 |
| 2.9 | ค่าจ้างเหมาจ่ายคนงานหน่วยจุดระเบิดต่อครั้ง | 2,000 |
| 2.10 | ค่าจ้างเหมาจ่ายในการตรวจสอบและบันทึกผลกระทบต่อการระเบิดหนึ่งครั้ง | 2,000 |
| 2.11 | ค่าเตรียมการในการป้องกันอุบัติเหตุหน้างาน เช่นทำคันดินกั้น หรือปรับแต่งหน้าผา | 3,000 |

## B. หมวดที่สอง การประเมินผลลัพธ์ค่าใช้จ่ายในการระเบิด

### หมวดสอง หน่วยย่อย 1 ปริมาตรหินแน่นกับข้อมูลพื้นฐานอื่น

| รายการที่ | ชนิดของวัสดุหรือรายการ | ลูกบาศก์เมตร |
|---|---|---|
| 1.1 | ผังหน้าระเบิด เจาะ 3 แถว จำนวน 12 หลุม | - |
| 1.2 | ปริมาตรหินแน่น | 1102.5 |
| 1.3 | น้ำหนักหิน 2,866.5 ตัน | - |
| 1.4 | อัตราความหนาแน่นการประจุอัดวัตถุระเบิดในหลุมเจาะ 5.0 กิโลกรัมต่อเมตร | - |
| 1.5 | ความยาวแท่งไดนาไมต์ 0.1 เมตร | - |
| 1.6 | น้ำหนักวัตถุระเบิดที่ใช้ทั้งหมด = 558 กิโลกรัม | - |
| 1.7 | ค่าเพาเดอร์แฟกเตอร์ = 0.506 กิโลกรัม/ลบ.ม. | - |

### หมวดสอง หน่วยย่อย 2 ผลลัพธ์ค่าใช้จ่ายในการระเบิด

| รายการที่ | ชนิดของวัสดุหรือรายการ | มูลค่า (บาท) |
|---|---|---|
| 2.1 | ผลรวมค่าสารผสมระเบิด AN-FO | 11,160 |
| 2.2 | ผลรวมค่าไดนาไมต์ แก๊ป สายไฟ สายชนวน | 1,410 |
| 2.3 | ผลรวมค่าเตรียมการ อุปกรณ์ กับค่าจ้างเหมาจ่ายทุกชนิดต่อการระเบิดหนึ่งครั้ง | 13,000 |
| 2.4 | ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการระเบิดต่อลบ.ม. | 23.19 |
| 2.5 | ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการระเบิดต่อตัน | 8.92 |

หรือเป็นแบบระเบิดตัดเป็นรูปตัววี (V cut) ในทำนองเดียวกัน ขนาดของรูเจาะกับความสูงของหน้าเหมือง และระยะมิติเชิงเรขาคณิตของหน้าเหมือง ก็มีผลทำให้ค่าใช้จ่ายในการใช้วัตถุระเบิดกับอุปกรณ์เสริมแปรเปลี่ยน (ทำนองเดียวกับค่าใช้จ่ายในการเจาะ)

การระเบิดหน้างานใหญ่ จึงควรมีการประเมินเปรียบเทียบเพื่อหารูปแบบของผังแบบอย่างระเบิดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด รวมทั้งการเคลื่อนหรือขนย้ายลำเลียงหินที่แตกหัก จนกระทั่งได้ผลลัพธ์ขั้นสุดท้าย เป็นค่าใช้จ่ายในการผลิตหินต่อลูกบาศก์เมตร

## 5.2 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในเชิงประสิทธิภาพของงานขุดเจาะ

งานการขุดเจาะโดยใช้วัตถุระเบิด มีความเกี่ยวข้องโดยตรงระหว่างค่าใช้จ่ายกับประสิทธิภาพของงานระเบิด การวิเคราะห์ผลลัพธ์ของค่าใช้จ่ายควรมีข้อมูลอย่างละเอียดเป็นขั้นตอนก่อนมีการปฏิบัติงานจริง ระหว่างปฏิบัติงาน และภายหลังการปฏิบัติงาน

### 5.2.1 คุณสมบัติหลักของวัตถุระเบิด

วัตถุระเบิดในงานวิศวกรรมกับวัตถุระเบิดในการทหาร มีความแตกต่างกันหลายประการทั้งในเรื่องคุณสมบัติ จุดประสงค์ และวิธีการใช้ ดังนั้นสิ่งแรกที่ผู้วางแผนควรทำการศึกษาหรือเลือกใช้วัตถุระเบิด จึงต้องเข้าใจคุณสมบัติหลักดังกล่าวข้างล่างนี้ก่อน

1. ค่าความหนาแน่นของการบรรจุอัด (loading density)

พลังงานของการระเบิดที่สมบูรณ์แบบ เกิดจากความร้อนของการระเบิด (heat of explosion) ถูกนำไปใช้อย่างเต็มที่ ถ้าหากการบรรจุอัดวัตถุระเบิดที่ได้ค่าของความหนาแน่นของการบรรจุอัด (loading density) หรือมีอีกชื่อหนึ่งเรียกว่าค่า coupling factor มีค่าใกล้กับ 1 (หนึ่ง) ก็ทำให้ได้ประสิทธิภาพคลื่นระเบิดสูงสุด

2. ค่าอิมพีแดนซ์เฉพาะ (characteristic impedance)

ค่าที่เรียกว่า characteristic impedance เป็นค่าผลคูณระหว่างค่าความเร็วของคลื่นระเบิด (detonation velocity) กับค่าความหนาแน่นของวัตถุระเบิด (explosive density) ถ้าหากวัตถุระเบิดมีค่า characteristic impedance สูงก่อให้เกิดความเร็วของคลื่นอัดกระแทกต่อมวลหินรอบหลุมเจาะสูง

3. เส้นผ่านศูนย์กลางของวัตถุระเบิด (charge diameter)

ความเร็วของคลื่นระเบิดจะเพิ่มค่าสูงขึ้น ตามระยะของเส้นผ่านศูนย์กลางของวัตถุระเบิด จนได้ค่าสูงสุดที่ค่าใดค่าหนึ่ง สำหรับวัตถุระเบิดแต่ละชนิด ก่อนนำมาใช้ควรศึกษาหรือขอคำแนะนำจากผู้ผลิตก่อน

4. ความเร็วของคลื่นการระเบิด (explosive velocity)

ถ้าหากต้องการให้มวลหินมีการแตกหักอย่างสม่ำเสมอ (uniform) ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางของคลื่นอัดจากคลื่นระเบิดจะต้องเดินทางถึงหน้าอิสระ (free face) ในเวลาเดียวกันหมดทุกคลื่น ดังนั้นการปรับหรือเลือกค่าควรให้ความเร็วของคลื่นการระเบิดเท่ากับความเร็วของคลื่นอัดกระแทกในหิน จึงเป็นสิ่งควรทำ

5.2.2 การประเมินหาจุดเหมาะที่สุดของค่าใช้จ่ายในการพัฒนาเหมืองหิน

งานพัฒนาเหมืองหินทั้งระบบ ไม่ได้มีแค่การเจาะหลุมเจาะและงานการระเบิดหิน การคำนึงถึงแต่ค่าใช้จ่าย 2 เรื่องนี้ อาจไม่ใช่ค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่ก็ได้ (ดูตารางที่ 5.3) การบริหารค่าใช้จ่ายของการพัฒนาเหมืองหินทั้งระบบอย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายอื่นที่อยู่ในกระบวนการเปิดหน้าเหมือง เช่นค่าใช้จ่ายในการขนย้ายวัสดุ ค่าใช้จ่ายในการบดย่อยหิน เป็นต้น ทั้งนี้เพราะว่าจากตารางที่ 5.3 ค่าใช้จ่ายในการเจาะและระเบิดหินประมาณแค่ 8 เปอร์เซ็นต์ของค่าใช้จ่ายทั้งหมดของการพัฒนาหน้าเหมือง

ตารางที่ 5.3 การแจกแจงค่าใช้จ่ายในการพัฒนาและดำเนินงานของเหมืองหิน (คัดลอกจาก White and Robinson, 1995, หน้า 205)

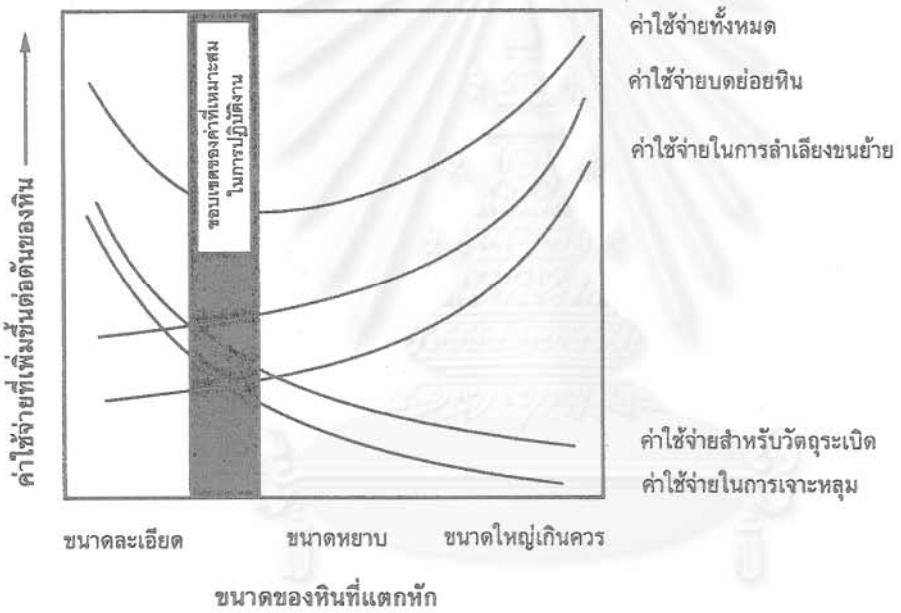
| กระบวนการ | เปอร์เซ็นต์ที่เทียบกับค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานทั้งหมด |
|---|---|
| เจาะและระเบิดหิน (Drilling and Blasting) | 8 |
| การบรรทุกและขนย้ายวัสดุ (Loading and Hauling) | 25 |
| กระบวนการร่วมอื่น เช่น การบดย่อย (Crushing)<br>การคัดขนาด (Screening)<br>การสต็อกมวลวัสดุ (Stockpiling) | 30 |
| การบำรุงรักษาเครื่องมือ (Equipment Maintenance) | 14 |
| กระบวนการอื่น ๆ (Others) | 23 |

ในหลายกรณี เมื่อทำการเปลี่ยนแผนของผังแบบอย่างการระเบิด ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ จะแปรเปลี่ยนตามไปด้วย งานการขุดเจาะด้วยวัตถุระเบิด ไม่สามารถมีดัชนีบ่งชี้เพียงตัวเดียว เช่นผู้ปฏิบัติงานไม่สามารถระบุค่าใช้จ่ายโดยใช้ค่าเพาเดอร์แฟกเตอร์อย่างเดียว หรือถึงแม้ว่าจะใช้ค่าเพาเดอร์แฟกเตอร์ค่าเดียวกัน แต่แผนการปฏิบัติงานต่างกันก็มีค่า

ใช้จ่ายแตกต่างกันด้วย ทั้งนี้เพราะการบริหารค่าใช้จ่ายอย่างมีประสิทธิภาพต้องการความเหมาะสมของตัวแปรที่เกี่ยวข้องหลายค่า เริ่มตั้งแต่ ค่าเจาะหลุม ค่าวัตถุระเบิดกับอุปกรณ์สิ้นเปลือง ค่าการขนย้ายหน้างาน ค่าการระเบิดย่อย เป็นต้น

การวิเคราะห์โดยภาพรวมอย่างง่าย ก็คือ ถ้าหากขนาดของรูระเบิดเล็กลง ค่าเจาะกับระเบิดต่อตันของหินก็เพิ่มขึ้น (ดูรูปที่ 5.1) และได้ขนาดของหินที่แตกละเอียดดีขึ้น ทำให้ลดงานเจาะระเบิดย่อยกับลดค่าใช้จ่ายในการไม่บดย่อยให้ได้ขนาดด้วย

องค์ประกอบหลักในการตัดสินใจ น่าจะขึ้นกับงานการระเบิดย่อยกับค่าใช้จ่ายในกระบวนการเจาะระเบิดกับขนย้าย ถ้าให้มีการระเบิดย่อยมากครั้งก็มีผลถึงการใช้วัตถุระเบิดต่อปริมาตรหินมากขึ้น และผังหน้าระเบิดก็ยิ่งมีขนาดพื้นที่หน้าตัดเล็กลง




รูปที่ 5.1 การประเมินหาขอบเขตที่เหมาะที่สุดสำหรับค่าใช้จ่ายโดยรวมที่พึงสังวรไว้ ในการวางแผนจัดการเพื่อพัฒนาหน้าเหมืองหิน

ในระหว่างการทำงานภาคสนาม หินก้อนที่โตเกินขนาด (oversize) ควรทำการเกรดหรือผลักค้นมารวมเป็นกองเก็บแยกต่างหาก เพื่อประเมินค่าใช้จ่ายในการระเบิดย่อยหรือค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องบดย่อย (secondary breaker) ได้แม่นยำขึ้น และภายหลังที่ขนกองหินที่มีการบดย่อยซ้ำ ควรนับจำนวนรถบรรทุกกับจำนวนเที่ยวที่ใช้ขนหินในกองนี้เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ของขนาดที่โตเกินขนาดของในการระเบิดใหญ่ครั้งหนึ่ง ซึ่งจะให้ค่าที่ใกล้เคียงมากกว่าการใช้ไม้หรือเทปวัดหน้างานระเบิด เพราะยังไม่ทราบมิติของความลึก

ข้อสังเกตอีกอย่างหนึ่ง ที่ White and Robinson (1995, หน้า 206) ระบุไว้ คือค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องบดย่อย เช่น hydraulic hammer ทุบบดย่อยซ้ำหน้างาน มีตัวเลขที่สูงกว่า ค่าใช้จ่ายของการการระเบิดซ้ำโดยใช้วัตถุระเบิด ถึง 4 เท่า

เมื่อมีการคำนวณค่าใช้จ่ายต่อหน่วย ของการเจาะกับการระเบิดและการระเบิดย่อย สำหรับหน้างานหนึ่ง ๆ ได้แล้ว การที่จะประเมินหาค่าใช้จ่ายเบื้องต้นก่อนการเจาะระเบิดก็ย่อมทำได้ง่าย และแบบจำลองหาขนาดของหินที่แตกหักภายหลังการระเบิด อาจใช้แบบจำลองของ Kuz and Ram (ที่ปรับปรุงและนำเสนอในรูปแบบใหม่โดย Cunningham, 1983) กับแบบจำลองอื่นที่ใกล้เคียง

$$X_{50} = A\left(\frac{V_0}{Q_e}\right)^{0.8}\left(Q_e\right)^{\frac{1}{6}}\left(\frac{115}{S_t}\right)^{\frac{19}{30}} \qquad (5.1)$$

$$Q = Q_e\left(\frac{S_t}{115}\right) \qquad (5.2)$$

$$R = 100\left(\exp^{-0.693\left(\frac{x}{x_{50}}\right)^n}\right) \qquad (5.3)$$

$$n = \frac{PC}{L}\left(2.2 - 14\frac{B}{DH}\right)\left(\frac{1+\frac{S}{B}}{2}\right)^{0.5}\left(1 - \frac{SD}{B}\right) \qquad (5.4)$$

พจน์ตัวแปรในสมการทั้งสี่ข้างบนนี้ คือ

$X_{50}$ = ชิ้นส่วนเฉลี่ยของหินที่แตกหัก (หน่วยเป็น มม.)

$X$ = ชิ้นส่วนของหินที่เป็นค่าขนาดช่องเปิดตะแกรง (หน่วยเป็น มม.)

$A$ = คุณสมบัติที่ขึ้นอยู่กับชนิดของหิน เรียกว่า ตัวประกอบชนิดหิน (rock factor) โดยทั่วไปมีค่าอยู่ระหว่าง 8 ถึง 12

โดยที่

A = 7 สำหรับหินแข็งปานกลาง มีรอยแตกสูงมาก

A = 10 สำหรับหินแข็งมากและมีรอยแตกในหิน

A = 13 สำหรับหินแข็งมากมีรอยแตกน้อยมากในหิน

$V_0$ = ปริมาตรของหินที่แน่น (ลบ.ม.)/หลุมเจาะ มีค่าเท่ากับ spacing x burden x bench height

$Q$ = น้ำหนักของวัตถุระเบิด TNT (กิโลกรัม) ซึ่งสมดุลกับพลังงานของวัตถุระเบิดในแต่ละหลุมเจาะ

= 0.87 กิโลกรัม / น้ำหนัก 1 กิโลกรัมของ AN - FO (ค่าน้ำหนักวัตถุระเบิดในส่วนของระยะเจาะต่ำกว่าพื้นไม่ได้นำมาคำนวณ เพราะไม่ค่อยก่อให้เกิดการแตกหักเด่นชัด)

$Q_e$ = มวลของวัตถุระเบิดที่ใช้ต่อหนึ่งหลุมเจาะ

$R$ = เปอร์เซ็นต์ของหินที่ค้างตะแกรง

exp = เลขชี้กำลัง

$S_t$ = ค่ากำลังน้ำหนักวัตถุระเบิดสัมพัทธ์ (relative weight strength) ปกติให้ AN - FO มีค่า $S_t$ = 100 และของ TNT มีค่า = 115

$\left[V_t/Q_e\right]$ = ค่าอัตราส่วนกลับของค่าเพาเดอร์แฟกเตอร์หน่วยเป็น ลบ.ม./กก.

$n$ = ดัชนีความสม่ำเสมอ (ตามทฤษฎีการคัดขนาดด้วยตะแกรงของ Rossin-Rammler) ที่เป็นค่าคงที่ในกระบวนการไม่บดย่อย เมื่อนำมาใช้ในการระเบิดหินจัดเป็นตัวแปรเสริมของการระเบิดหิน (blasting parameter)

$PC$ = ความยาวของวัตถุระเบิด (เมตร)

$L$ = ความสูงของตะพักหรือหน้าเหมือง (เมตร)

$B$ = ความหนาหน้าระเบิด (เมตร)

$DH$ = เส้นผ่านศูนย์กลางรูระเบิด (มม.)

$S$ = ระยะห่างระหว่างหลุมเจาะในแถว (เมตร)

$SD$ = ค่าเชิงสถิติที่เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแม่นยำการเจาะหลุม (เมตร)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>หมายเหตุ</u>

ข้อจำกัดของแบบจำลอง Kuz-Ram ที่ Cunningham (1983) ระบุไว้ได้แก่

ก. อัตราส่วน S/B ไม่เกิน 2

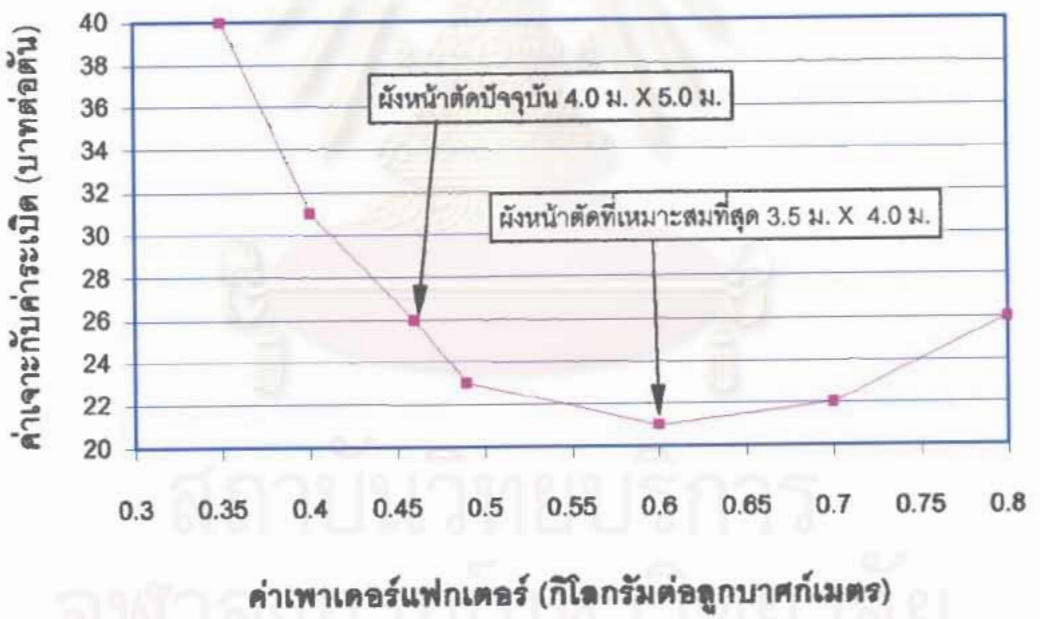
ข. การถ่วงจังหวะของเวลาการระเบิด ต้องเป็นไปแบบแผนที่จะช่วยให้การแตกหักดีขึ้น เพื่อป้องกันการระเบิดค้าง (misfires)

ค. พลังงานของการระเบิด ต้องใกล้เคียงกับค่าน้ำหนักวัตถุระเบิดสัมพัทธ์

ง. รอยแตกแยกที่เกิดในมวลหิน ไม่มีผลต่อการทำให้มวลหินมีระยะห่างออกเกินปกติ

การหาผลลัพธ์จากแบบจำลองของ Kuz and Ram อาจทำได้จากโปรแกรมที่มีแผ่นตารางทำการ (spread sheet) เพื่อให้ได้ค่าการแตกหักของมวลหิน มีการพล็อตเส้นโค้งการแจกแจงขนาดชิ้นส่วนลงบนกระดาษ และประเมินค่าใช้จ่าย ดังนั้นเมื่อได้เส้นโค้งหลายเส้นของค่าขนาดกับการแจงแจง (size-distribution) และทราบผลลัพธ์ของค่าขนาดหินที่ใหญ่เกินกว่ารูตะแกรง กับขนาดที่ผ่านรูตะแกรง ก็สามารถปรับเปลี่ยนผังหน้าระเบิดโดยการหาค่าจุดเหมาะสมที่สุด (optimum point) ของการใช้ผังแบบอย่างการระเบิด เมื่อกำหนดให้ความลึกของการเจาะระเบิดคงที่

ในรูปที่ 5.2 ข้างล่าง เป็นตัวอย่างวิธีการหาค่าใช้จ่ายเหมาะที่สุด โดยการนำค่าใช้จ่ายการเจาะ (drilling cost) กับค่าใช้จ่ายการระเบิด (blasting cost) ต่อตันของมวลหินแน่นมารวมกัน เพื่อพล็อตเทียบกับค่าเพาเดอร์แฟกเตอร์ แต่ละจุดของเส้นกราฟเป็นผังแบบอย่างระเบิดชนิดหนึ่ง ในที่นี้สมมุติให้มีรูปหน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่มีการแปรเปลี่ยนมิติของระยะ S และ B ผลลัพธ์สุดท้ายคือค่าใช้จ่ายที่อยู่จุดต่ำสุดของเส้นโค้ง




รูปที่ 5.2 การหาค่าใช้จ่ายเหมาะที่สุดของการเจาะกับการระเบิดหิน

การนำเสนอในเรื่องการประเมินความเหมาะสมของค่าใช้จ่ายในที่นี้ ถ้าเป็นการขุดเจาะประเภทอื่น เช่น การตัดไหล่ทาง การเปิดหน้าหินที่คลุมทับสายแร่ จำเป็นต้อง

พิจารณาเหตุผลอื่นประกอบ เพราะข้อกำหนดและองค์ประกอบของงานต่างกัน ตัวอย่างเช่น การระเบิดเพื่อตัดไหล่ทางอาจมีไม่มากในโครงการหนึ่ง ๆ และจำนวนการเจาะกับระเบิดก็ไม่มาก ความจำเป็นในเรื่องจัดซื้อเครื่องเจาะกับวัตถุระเบิดมีน้อย งานนี้ควรให้ผู้รับเหมาท้องถิ่นทำการระเบิดหินแทน ในเรื่องของเหมืองแร่ ความสมบูรณ์ของแร่เป็นองค์ประกอบหลักในการตัดสินใจ ถ้าปริมาณกับคุณภาพของแร่ดี การลงทุนเปิดหน้างานก็จัดเป็นค่าใช้จ่ายที่คุ้มกับการลงทุน

5.2.3 <u>การประเมินความคุ้มทุนในงานเหมืองแร่</u>

แหล่งแร่ทั้งของสินแร่โลหะกับสินแร่อโลหะ รายรับหลักเป็นมูลค่ากับเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของสินแร่ชนิดนั้น ดังนั้น เมื่อสามารถทราบปริมาณสำรองที่สามารถทำการผลิตสินแร่ได้ (mineable reserve) ก็สามารถคำนวณมูลค่าเป็นหน่วยสกุลเงินต่อตันเป็นตัวเลขรายรับหลักของงานการเปิดเหมือง

1. <u>สภาพเชิงธรณีวิทยาแหล่งแร่</u>

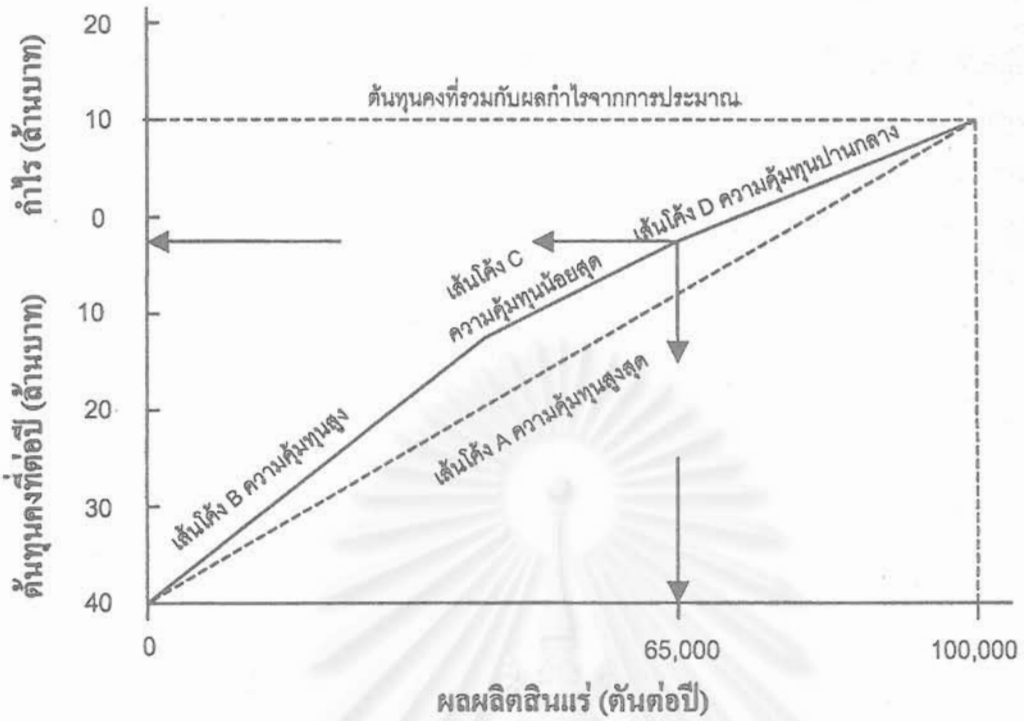
ธรณีวิทยาของการวางตัวสายหรือชั้นแร่ เป็นสิ่งกำหนดสภาพความยากง่ายในการทำเหมือง ถ้าหากจำเป็นต้องมีการทำเหมืองบนผิวดินสลับกับการทำเหมืองใต้ดิน ค่าใช้จ่ายยิ่งสูงกว่าการทำเหมืองบนผิวดินหรือการเหมืองใต้ดินเพียงอย่างเดียว เพราะอาจต้องใช้เครื่องเจาะกับวัตถุระเบิดต่างชนิดกัน

เหมืองแร่ที่มีมูลค่าแร่ต่อตันต่ำ และไม่สามารถเปิดหน้างานด้วยเครื่องจักรกลแบบง่ายได้ มีความเสี่ยงสูงการลงทุนอาจเป็นปัจจัยหลักที่ตัดสินใจไม่เปิดดำเนินการก็ได้ ในทำนองเดียวกัน การกำเนิดของสินแร่บางชนิดเมื่อผลิตได้จากหน้าเหมืองแล้ว ยังต้องผ่านกระบวนการแยกแร่กับแต่งหรือถลุงแร่อีก ค่าใช้จ่ายในส่วนหลังนี้อาจสูงเกิน 3 เท่า ของการเจาะกับการระเบิด

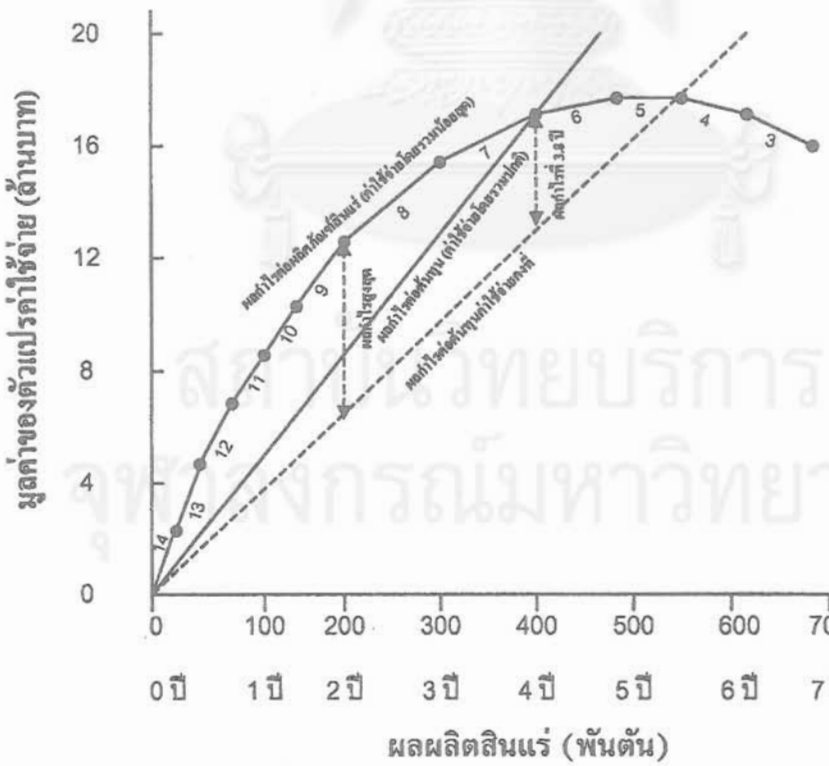
2. <u>อายุเหมืองในการผลิตแร่</u>

ระยะเวลาของการผลิตแร่จากหน้าเหมืองเป็นตัวแปรสำคัญในการตัดสินใจ ในระยะแรกแหล่งแร่อาจมีเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์สูง แต่เมื่อช่วงเวลาการผลิตผ่านไประยะหนึ่งหรือในระดับลึกใต้พื้นผิว แหล่งแร่อาจมีเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ต่ำ ค่าใช้จ่ายในการผลิตแร่ต่อตันจะใกล้เคียงกับจุดคุ้มทุน

วิธีการควบคุมในเรื่องความคุ้มทุนของงานขุดเจาะนี้ อาจวิเคราะห์ตัวเลขค่าการเจาะกับการระเบิดตามสภาพธรณีวิทยาของแหล่งแร่ ในแต่ละหน้าเหมือง เพื่อเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด จากนั้นทำแบบจำลองความคุ้มทุน (marginal costing model) สำหรับเหมืองแร่นั้นขึ้น




รูปที่ 5.3 แนวทางการหาผลกำไรจากมูลค่าสินแร่กับค่าใช้จ่ายในการผลิตสินแร่




รูปที่ 5.4 แนวทางการหาผลกำไรจากระยะเวลาการเปิดเหมืองกับค่าใช้จ่ายอื่น ๆ

ตัวอย่างในอีก 2 รูปที่อยู่ในหน้า 102 เป็นแนวทางเพื่อตัดสินใจเชิงความคุ้มทุน รูปแรก (รูปที่ 5.3) เป็นการหาความสัมพันธ์ของมูลค่าสินแร่ (ore value) เป็นมูลค่าสกุลเงินต่อปี กับค่าใช้จ่ายที่คงที่ในกระบวนการผลิตแร่ต่อปี (fixed mining cost) เพื่อหาผลลัพธ์จุดเริ่มคุ้มทุนและเริ่มทำกำไร รูปที่สอง (รูปที่ 5.4) เป็นการหาความสัมพันธ์ระยะเวลาเป็นปีของอายุเหมือง ต่อค่าใช้จ่ายที่คงที่กับค่าใช้จ่ายที่แปรเปลี่ยนตามสภาวะเศรษฐกิจ เพื่อหาระยะเวลาที่ทำกำไรสูงสุดและจุดเริ่มขาดทุน

## 5.3 ปัจจัยเชิงค่าใช้จ่ายในการขนย้ายมวลสารในงานเหมืองแร่กับงานโยธา

เหมืองหิน เหมืองแร่ หรือหน้างานก่อสร้างที่ต้องใช้วัตถุระเบิด มีตัวแปรเรื่องค่าใช้จ่ายเข้ามาเกี่ยวข้องในเรื่องของการขนย้ายมวลสาร เพราะผู้ปฏิบัติงานอาจต้องเลือกใช้เครื่องจักรกลให้เหมาะสมกับรูปแบบกองหินหรือดิน (pile) ปัจจัยเรื่องตัวประกอบของการโป่งพอง (swelling factor) ของมวลภายหลังเกิดการแตกหัก

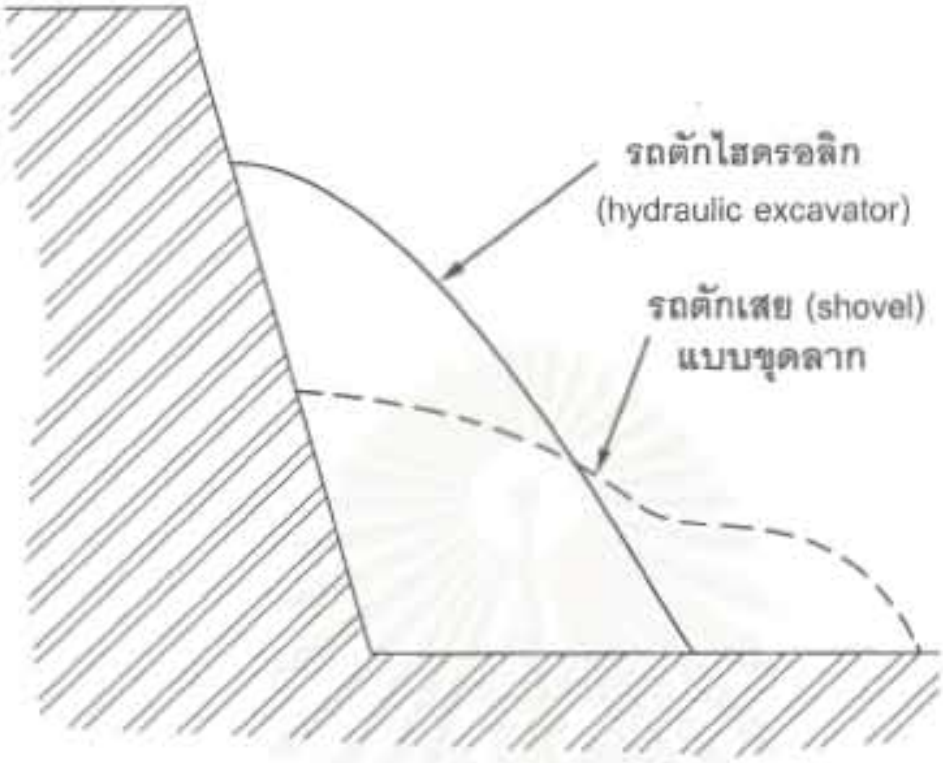
### 5.3.1 การเลือกเครื่องจักรกลให้เหมาะสมกับลักษณะกองมวลสาร

ปกติหน้าระเบิดในเหมืองหินมีความสม่ำเสมอมากกว่าหน้างานเหมืองแร่ หรือการตัดทางในงานโยธา เพราะส่วนใหญ่ลักษณะของการวางตัวชั้นหินแปรเปลี่ยนน้อย และการเดินหน้างานระเบิดในเหมืองหินจะคงที่มากกว่างานเหมืองแร่หรืองานโยธา

องค์ประกอบหลักที่มีผลโดยตรงต่อค่าใช้จ่าย ได้แก่ ความหนาของชั้นหินเพราะต้องให้ความสูงของคะพักขั้นบันไดให้เหมาะกับความหนาของชั้นด้วย ถ้าชั้นหินมีความหนาไม่สม่ำเสมอ (คล้ายกับการกำเนิดสายแร่) การทำงานก็เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ชนิดของหินกับความแข็งเชิงทนต่อการสึกกร่อน ก็มีผลโดยตรงต่อการเจาะหลุม หรือมีผลต่อการเลือกชนิดของเครื่องเจาะ เหมืองขนาดเล็กถ้าเจาะในหินแข็งควรใช้เครื่องเจาะ ประเภท drifter แต่ถ้าเป็นหินอ่อนนุ่ม (เปราะ) ก็ใช้เจาะโดยวิธีอื่น และชนิดของหินก็ยังมีอิทธิพลต่อการอัดบรรจุระเบิดในหลุมเจาะอีกด้วย หินแข็งจำเป็นต้องใช้ปริมาณวัตถุระเบิดสูงกว่าหินอ่อนนุ่ม (เปราะ)

นอกจากองค์ประกอบหลักในเรื่องความหนากับความแข็งของหินแล้ว การที่หินมีรอยแตกแยกมากน้อย ก็มีผลต่อประสิทธิภาพการเจาะกับการระเบิด ขนาดของหน้างานถ้ามีขนาดใหญ่ความจำเป็นในเรื่องใช้เครื่องจักรกลขนาดใหญ่ก็ตามมา

ในเรื่องการเลือกชนิดของรถตักนั้นรถตักเทด้านหน้า (front end loader) นิยมใช้การตักขนย้ายเกือบทุกงานก่อสร้าง กรณีที่จะเลือกรถตักให้เหมาะสมกับกองหิน ถ้าภายหลังทำการระเบิดแล้วถูกผลักดันด้วยคลื่นระเบิดเป็นกองสูง (ดูเป็นเส้นโค้งมุมความชันสูง)




รูปที่ 5.5 ลักษณะการกองหินหน้างานระเบิดที่เหมาะกับรถขุดตักชนิดหนึ่ง

รูปที่ 5.6 ลักษณะงานการตัดร่องแนวยาว (trench) กองวัสดุหน้างานค่อนข้างเตี้ย และพื้นที่ระดับฐานค่อนข้างแน่น เหมาะสำหรับเลือกใช้รถตักเสยแบบขุดลากมักใช้ในเหมืองถ่านหิน

ควรเลือกใช้การขนย้ายด้วยรถตักไฮดรอลิก (hydraulic excavator) แต่ถ้ามีกองหินภายหลังการระเบิดกระเด็นมารวมกันเป็นกองเตี้ย (ดูเป็นเส้นโค้งมุมความชันต่ำ) ก็ควรเลือกใช้รถตักเสยแบบขุดลาก (wheeled loading shovel) ดังภาพสเก็ตช์หน้างานระเบิดในรูปที่ 5.5 หน้า 104

5.3.2 ค่าการขยายตัวของมวลสารเนื่องจากการโป่งพอง

มวลสารที่เป็นวัสดุเกิดตามธรรมชาติเช่น หิน ดิน ทราย เมื่ออยู่ในสภาพที่ยังไม่มีการแตกหักหรือถูกขุดจะมีค่าปริมาตรค่าหนึ่ง มีชื่อเรียกว่า ปริมาตรแน่น (dense or bank volume) แต่เมื่อมีการแตกหักหรือมวลสารถูกเคลื่อนย้ายจะมีค่าปริมาตรอีกค่าหนึ่ง มีชื่อเรียกว่า ปริมาตรหลวม (loose volume) ซึ่งมีผลต่อการตัก ขนย้าย และการเลือกขนาดของปุ้งกี๋รถตัก กับการคำนวณขนาดน้ำหนักของกองวัสดุหน้างานขนย้าย และความสามารถในการขนย้ายกองวัสดุหน้างาน

จากตัวเลขในตารางเหล่านี้อิงตาม Table 13.1.11 หน้า 1285 ในเอกสาร SME Mining Engineering Handbook: Second Edition, Vol. 2.1 ได้แสดงค่าตัวเลขนัยสำคัญที่ใช้หาตัวประกอบของการโป่งพอง (swell factor) ของมวลสารด้านบน (overburden) ที่มีองค์ประกอบเป็นมวลดินเป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ เม็ดกรวด (gravel) เม็ดดินเหนียว (clay) เม็ดทรายหลวม (loose sand) เม็ดทรายเชื่อมแน่นหรือหินทราย (cemented sand or sandstone)

ซึ่งใน Table 13.1.11 ระบุให้มวลสารด้านบนมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การโป่งพอง = 25.4 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก) สามารถนำค่านี้มาใช้คำนวณน้ำหนักมวลหลวมดังนี้

- ตัวประกอบการโป่งพอง (swell factor) $= \frac{1}{(1 + 0.254)} = 0.8$

- ถ้าหากต้องการหาค่าตัวประกอบน้ำหนักเป็นตัน (tonnage factor) ของการตักกองดินหน้างาน เมื่อมวลแน่นมีค่า เท่ากับ 0.5 ม.$^3$ / ตัน (17.6 ฟุต$^3$ / ตัน)

$$\text{- Tonnage Factor (T.F.)} = \frac{\text{มวลอัดแน่นอยู่กับที่}}{\text{ตัวประกอบการโป่งพอง}}$$

$$= \frac{0.5}{0.8} = 0.62 \text{ ม.}^3 \text{/ตัน}$$

หรือเป็นน้ำหนักมวลหลวม = 1.6 ตัน / ม.$^3$

ตารางที่ 5.4 ราคาซื้อขายหินในกลุ่มจังหวัด ที่มีการคมนาคมเชื่อมเป็นเครือข่ายเดียวกัน ราคาที่ระบุเป็นค่าเฉลี่ย (บาทต่อตัน) ตามชนิดของหินกับประเภทของหินในการใช้ในงานก่อสร้าง

| รหัส | กลุ่มจังหวัด | ราคาหินเบอร์ (บาท/ตัน) | ราคาหิน คลุก.ฝุ่น.เกล็ด (บาท/ตัน) | ชนิดหิน |
|---|---|---|---|---|
| A1 | เชียงราย พะเยา | 130-170 | 100-120 | หินปูน |
| A2 | แม่ฮ่องสอน | 150 | 100-120 | หินปูน |
| A3 | เชียงใหม่ ลำปาง ลำพูน | 95-130 | 75-85 | หินปูน |
| A4 | น่าน | 145 | 145 | หินปูน |
| A5 | พิจิตร พิษณุโลก เพชรบูรณ์ อุตรดิตถ์ | 100-120 | 65-90 | หินปูน |
| | | 70 | 65-70 | แอนดีไซต์ |
| A6 | แพร่ | 135 | 120 | หินปูน |
| A7 | นครสวรรค์ อุทัยธานี ชัยนาท | 100-105 | 65-95 | หินปูน |
| A8 | ตาก | 100-120 | 80-100 | หินปูน |
| | | 100-120 | 50-70 | แกรนิต |
| A9 | สุโขทัย | 110-120 | 70-80 | หินปูน |
| A10 | กำแพงเพชร | 120 | 60-80 | หินปูน |
| B1 | ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน | 115-130 | 90-115 | หินปูน |
| | | 135 | 80-135 | หินทราย |
| B2 | ขอนแก่น ชัยภูมิ | 80-100 | 50-80 | หินปูน |
| B3 | นครราชสีมา | 100-110 | 70-80 | หินปูน |
| B4 | ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง | 100-130 | 65-95 | บะซอลต์ |
| | | 120 | 75-110 | หินทราย |
| C1 | กรุงเทพฯ กับจังหวัดใกล้เคียง | 70-110 | 40-70 | หินปูน |
| | | 120-130 | 85-110 | แกรนิต |
| | | 80 | 50 | แอนดีไซต์ |
| | | 160 | 65 | ไรโอไรต์ |
| C2 | ระยอง จันทบุรี ตราด | 130-150 | 100-120 | หินปูน |
| | | 150 | 65-85 | แกรนิต |
| | | 140-160 | 125 | บะซอลต์ |
| C3 | ปราจีนบุรี สระแก้ว | 120-140 | 85-100 | หินปูน |
| C4 | ประจวบคีรีขันธ์ | 140 | 90-120 | หินปูน |
| | | 110-150 | - | แกรนิต |
| D1 | ชุมพร ระนอง | 140-150 | 120 | หินปูน |
| D2 | สุราษฎร์ธานี | 110-150 | 100-120 | หินปูน |
| D3 | พังงา ภูเก็ต | 115-120 | 70-100 | หินปูน |
| D4 | สงขลา สตูล | 130-150 | 100-110 | หินปูน |
| D5 | ยะลา ปัตตานี นราธิวาส | 135 | 115 | หินปูน |
| | | 120-140 | 110-120 | แกรนิต |
| D6 | นครศรีธรรมราช พัทลุง ตรัง | 110-160 | 80-120 | หินปูน |
| D7 | กระบี่ | 135-200 | 90-120 | หินปูน |

## 5.4 ตลาดกับราคาการซื้อขายหิน

ความต้องการของตลาดที่ใช้หินก่อสร้างในงานทำถนน ทำเขื่อน ผสมทำคอนกรีต เป็นตัวกำหนดให้ราคาซื้อขายในท้องถิ่นแปรเปลี่ยนไป จากการศึกษาของคณะผู้วิจัยของคณาจารย์ในคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในเรื่อง "โครงการจัดทำแผนการจัดการผลิต และใช้หินอุตสาหกรรมเพื่อการก่อสร้าง" ข้อมูลราคาซื้อขายหินก่อสร้างหน้าโรงไม่ที่บันทึกไว้ในปลายปี 2542 และระบุไว้ในตารางที่ 5.4 หน้า 106 ซึ่งราคาหินปูนที่มีขนาดเป็นเบอร์ (เบอร์ 1 หรือเบอร์ 2) มีราคาหินปูนต่อตันแปรเปลี่ยนตามท้องถิ่นที่ถูกจัดไว้เป็นกลุ่มจังหวัด โดยมีราคาหินปูนขนาดหยาบราคาต่อตันระหว่าง 100 – 200 บาท หินแกรนิตกับหินบะซอลต์ขนาดหยาบราคาต่อตัน ระหว่าง 100 – 140 บาท จากราคาที่ระบุดังกล่าว จะมีความคุ้มทุนหรือไม่ ผู้วางแผนงานเชิงกลยุทธ์ต้องนำไปหาผลลัพธ์ระหว่างรายรับกับรายจ่ายก่อน

## 5.5 ค่าใช้จ่ายเฉพาะกิจการ

นอกจากมีการพิจารณาค่าใช้จ่ายที่ทราบกันโดยทั่วไปแล้ว ในพื้นที่ของเหมืองหินหรือการตัดไหล่ทางทำถนนบางแห่ง ปริมาณของน้ำฝนกับระดับน้ำใต้ดินมีความเกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงานและอาจหน่วงเหนี่ยวทำให้การเดินหน้าเหมืองล่าช้ากว่ากำหนดด้วย การเจาะหลุมของรูระเบิดต้องเสียเวลาสูบน้ำออก และวัตถุระเบิดที่ใช้ต้องเป็นวัตถุระเบิดใต้น้ำที่มีราคาแพงหาซื้อยาก สายชนวนจุดระเบิดก็ต้องเป็นประเภทไม่มีไฟฟ้า

ปัจจุบันมีกฎหมายด้านสิ่งแวดล้อมให้ผู้ปฏิบัติงานระเบิดต้องทำรายงานศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อม และในบางกรณีอาจต้องมีผลการทำประชาพิจารณ์ประกอบการตัดสินใจของหน่วยงานที่ออกใบอนุญาตให้ด้วย ดังนั้นค่าใช้จ่ายส่วนนี้จึงมีผลต่อการดำเนินงานด้วย

# บทที่ 6

# กรณีศึกษาการขุดเจาะ โดยใช้วัตถุระเบิด

กรณีศึกษาที่ระบุในบทนี้ เป็นการรวบรวมผลงานที่มีการขุดเจาะโดยใช้วัตถุระเบิดภายในประเทศ ร่วมกับผลงานที่ผู้วิจัยมีส่วนร่วมของการศึกษาวิจัยในภาคสนาม ทั้งที่เป็นในส่วนของโครงการวิจัยเรื่องนี้ กับในส่วนที่เป็นผลงานวิจัยที่เสร็จสิ้นไปแล้วในหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับงานการศึกษาทฤษฎี ประสิทธิภาพ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และการออกแบบระเบิดหินเชิงวิศวกรรม โดยในแต่ละหัวข้อที่กล่าวในบทนี้ ถ้าหากเป็นงานของผู้วิจัยท่านอื่นก็มีการระบุไว้อย่างชัดเจน ทำนองเดียวกันหากเป็นงานวิจัยของ รองศาสตราจารย์ ดร. สง่า ตั้งชวาล ที่ศึกษาไว้ในโครงการอื่น และเขียนเป็นรายงานฉบับสมบูรณ์หรือเผยแพร่เป็นบทความวิจัยไว้แล้ว ก็แยกระบุออกจากในส่วนของงานวิจัยโครงการนี้

## 6.1 เอกสารที่เกี่ยวข้องในการนำเสนอกรณีศึกษาจากการใช้วัตถุระเบิด

กรณีศึกษาของการเปิดหน้างานในเหมืองเปิดทางด้านงานวิศวกรรมเหมืองแร่ หรือการตัดทางหลวงกับงานอื่นที่เกี่ยวข้องกับงานทางวิศวกรรมโยธา ได้มีการศึกษารวบรวมจากเอกสารทางวิชาการหลายแห่งที่พิมพ์เผยแพร่เป็นการภายใน ในที่ประชุมทางวิชาการหรือเป็นเอกสารที่จำหน่ายหรือแจกจ่ายให้กับบุคคลภายนอกที่สนใจ เอกสารเหล่านี้ ได้แก่ เอกสารทางวิชาการของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต กรมทรัพยากรธรณี กรมทางหลวง และ กรมชลประทาน ซึ่งหน่วยงานดังกล่าวเป็นหน่วยงานของรัฐ ซึ่งในแต่ละปีมีการปฏิบัติงานหรือควบคุมการขุดเจาะโดยใช้วัตถุระเบิดเป็นประจำเพื่อผลิตสินแร่ ผลิตหิน หรือตัดไหล่ทางระเบิดหินทำฐานราก เป็นต้น

ผู้วิจัยโครงการนี้ยังได้รวบรวมเอกสารทางวิชาการเพิ่มเติมจากหน่วยงานของภาคเอกชน เช่น รายงานประจำปีของบริษัทที่ผลิตปูนซีเมนต์ รายงานกลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย รายงานขององค์การรถไฟฟ้ามหานคร รายงานของท่าอากาศยานสากลกรุงเทพแห่งที่ 2 (สนามบินสุวรรณภูมิ) เป็นต้น บางหน่วยงานของเอกชนที่ระบุอ้างอิงดังกล่าวมีการใช้วัตถุระเบิด ในงานขุดเจาะเป็นประจำ เช่น

การผลิตหินย่อยเพื่อเป็นวัตถุดิบผสมทำปูนซีเมนต์ แต่บางหน่วยงานก็มีการใช้วัตถุระเบิดน้อย ส่วนใหญ่เป็นการเปิดหน้างานก่อสร้างด้วยการใช้เครื่องจักรกล

กรณีศึกษาของการปฏิบัติงานขุดเจาะนี้ มีจุดประสงค์ให้มีการวางแผนการปฏิบัติงานด้านความปลอดภัย ควบคู่กับการป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้เพื่อให้มีการใช้วัตถุระเบิดในงานขุดเจาะอย่างประหยัด และมีความคุ้มทุนได้ผลกำไรในการปฏิบัติการขุดเจาะโครงการก่อสร้างนั้น ดังนั้นจึงต้องรวบรวมผลการศึกษาดังกล่าวทุกด้าน นำมาประเมินผลเพื่อแยกใช้ปฏิบัติตามขนาดของหน้างานขุดเจาะ (ใหญ่หรือเล็ก) ให้ครบทุกระบบในงานใช้วัตถุระเบิด ตั้งแต่การวางแผนหน้างานก่อนดำเนินการ การเจาะ การระเบิด การขนย้าย และการเฝ้าสังเกตการณ์หรือการแก้ไขความเสียหายที่อาจเกิดขึ้น

## 6.2 การศึกษาภาคสนามด้านประสิทธิภาพของการใช้วัตถุระเบิด

ในหัวข้อที่เป็นกรณีศึกษานี้ใช้ผลการศึกษาภายในประเทศ เพื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของต่างประเทศในเชิงประสิทธิภาพของงานระเบิด นำมาใช้เป็นแนวทางหรือเพื่อปรับปรุงการใช้วัตถุระเบิดในงานขุดเจาะภายในประเทศให้ดียิ่งขึ้น

### 6.2.1 การปรับหน้างานระเบิดหินให้เป็นการตัดลาดแบบขั้นบันได

การทำการระเบิดหินโดยใช้หลุมเจาะเดี่ยว เป็นหลุมเจาะตื้น ใช้เครื่องเจาะที่แบกถือได้ เช่น แจ็คแฮมเมอร์ และบรรจุอัดวัตถุระเบิด เพื่อระเบิดหินที่ขัดขวางหรือปิดกั้นการตัดหน้าดิน ไม่สามารถที่จะควบคุมผลลัพธ์ของการระเบิดชนิดนี้ได้ ยิ่งเป็นการเจาะห้อยโหนเพื่อระเบิดหินบริเวณหน้าผาสูงชัน ก็ยิ่งเป็นอันตรายทั้งผู้เจาะและชุมชนข้างเคียง และประสิทธิภาพของการระเบิดต่ำ ควบคุมขนาดของก้อนหินที่แตกหักกับบังคับให้ทิศทางการเคลื่อนที่ของหินมากองรวมกันในจุดที่ต้องการยาก

การปรับหน้างานระเบิดหินที่มีประสิทธิภาพสูง ควรมีผังหน้าระเบิดแบบตัดทำลาดตะพักขั้นบันได (bench blasting) ซึ่งถ้าหากเป็นการพัฒนาในเหมืองหินก็ค่อนข้างง่ายกว่าการพัฒนาในเหมืองเปิดเพื่อผลิตสินแร่ หรือเมื่อเปรียบเทียบเหมืองหินกับการตัดไหล่ทางเพื่อปรับระดับทำทางหลวง การเจาะระเบิดในเหมืองหินก็จะวางแผนได้ง่ายกว่าเนื่องจากสภาพธรณีวิทยาหน้าเหมืองหินไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงมากนัก

กรณีศึกษาเชิงประสิทธิภาพของการใช้วัตถุระเบิดในงานก่อสร้างบนพื้นผิวดินนี้ จึงได้แยกตามประเภทของงานในการพัฒนา ที่เลือกอธิบายหลักการหลักเป็น 4 ประเภท ดังระบุแนวทางการพัฒนาที่สำคัญไว้หัวข้อย่อยถัดไป

6.2.2 การเจาะระเบิดหินแบบขั้นบันไดกับการปรับปรุงหน้างานระเบิด

ประเภทแรกของการระเบิดในงานวิศวกรรมเป็นการระเบิดหินในเหมืองหิน ซึ่งนิยมการตัดทำลาดขั้นบันได เริ่มตั้งแต่การปรับหน้างานบนพื้นสูงสุดและระเบิดหินตัดตะพักลงมา ในรูปที่ 6.1 หน้าถัดไปมีการรวบรวมไดอะแกรม กับภาพถ่ายหน้างานระเบิดหินแบบขั้นบันไดไว้หลายลักษณะ ตั้งแต่ไดอะแกรมรูปแบบเชิงเรขาคณิตแบบง่ายของการเจาะระเบิด (รูปที่ 6.1 ก.) การออกแบบระเบิดหน้าเพื่อผลิตหิน (production blast) ร่วมกับการระเบิดให้แตกในแถว (presplit blast) ของหน้างานเดียวกัน (รูปที่ 6.1 ข.) และงานระเบิดเหมืองหินเปิดโดยเพิ่มเขตกันชน (6.1 ค.)

ไดอะแกรมของรูปที่ 6.1 ก. แสดงระยะมิติเชิงเรขาคณิตของหน้างานเมื่อทำการระเบิดหินแบบขั้นบันได หน้าที่การทำงานของแต่ละตัวแปรที่เป็นระยะมิติต่าง ๆ ดังนี้

ก. เส้นผ่านศูนย์กลางหลุมเจาะระเบิด (blast hole diameter, DH)

การเลือกขนาดของหลุมเจาะมีผลโดยตรงต่อการแตกหักของหินที่คุ้มค่าที่สุด ตามปกติค่าใช้จ่ายในการเจาะระเบิดและการใช้วัตถุระเบิดจะลดน้อยลงถ้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหลุมเจาะระเบิดใหญ่ขึ้น อย่างไรก็ตามตัวแปรอื่นก็ต้องนำมาวิเคราะห์ด้วย เช่น ระยะความสูงของหน้าเหมือง ความแข็งและโครงสร้างของมวลหินที่ทำการระเบิด ถ้าหินแข็งมากก็จะทำให้ระเบิดออกมามีก้อนขนาดใหญ่เกินความต้องการ (oversize) มากเกินไป

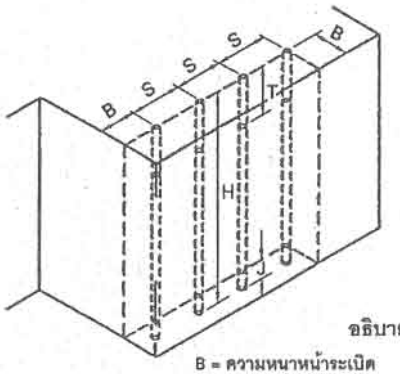
ข. ความหนาหน้าระเบิดหรือระยะเบอร์เดน (burden, B)

ความหนาหน้าระเบิดหรือระยะเบอร์เดน เป็นระยะที่สั้นที่สุดที่ใช้เวลาในการจุดระเบิดและก่อให้เกิดการเคลื่อนย้ายมวลสารออกจากหน้าอิสระ (free face) การที่จะเลือกระยะความหนาหน้าระเบิด จัดว่าเป็นส่วนสำคัญที่สุดในการออกแบบ

ถ้าหากว่าความหนาหน้าระเบิดแคบ (ถี่) เกินไป หินจะปลิวกระเด็นไปได้ไกลจากบริเวณหน้าเหมือง ระดับความดังของเสียงที่เกิดจากการระเบิดจะมีสูงและหินจะแตกหักละเอียดได้ก้อนเล็กเกินขนาดที่ต้องการ (undersize) มีมากเกินไป ในทางกลับกันถ้าหากระยะห่างของความหนาหน้าระเบิดกว้าง (ยาว) มากเกินไป ปรากฏการณ์ของการแตกร้าวทางด้านหลังของแนวระเบิดมีมาก หลุมขรุขระที่เกิดจากการระเบิดมีสูง

ค. ระยะห่างระหว่างหลุมเจาะในแถวหรือระยะสเปซชิง (spacing, S)

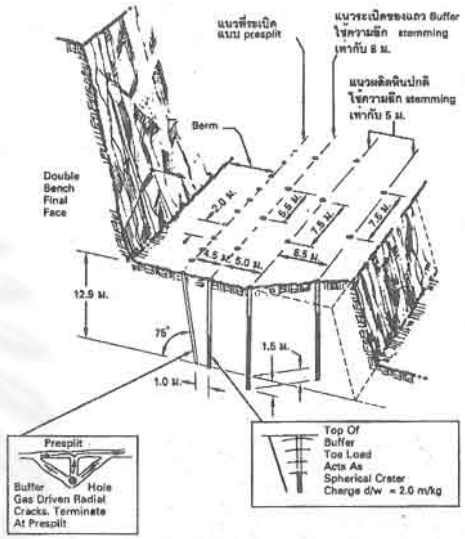
ระยะห่างของหลุมเจาะเป็นระยะตั้งฉากกับระยะหน้าระเบิด ผลกระทบของระยะห่างของหลุมเจาะที่แคบเกินไปจะก่อให้เกิดการแตกร้าวระหว่างหลุมเจาะข้างเคียง หรือวัสดุที่ปิดอัดหลุม (stemming materials) มีการปลิวกระเด็นก่อนเวลาที่ควร ก๊าซในหลุมเจาะถูกปล่อยออกมาเร็ว และเสียงดังจากการระเบิดมีสูง



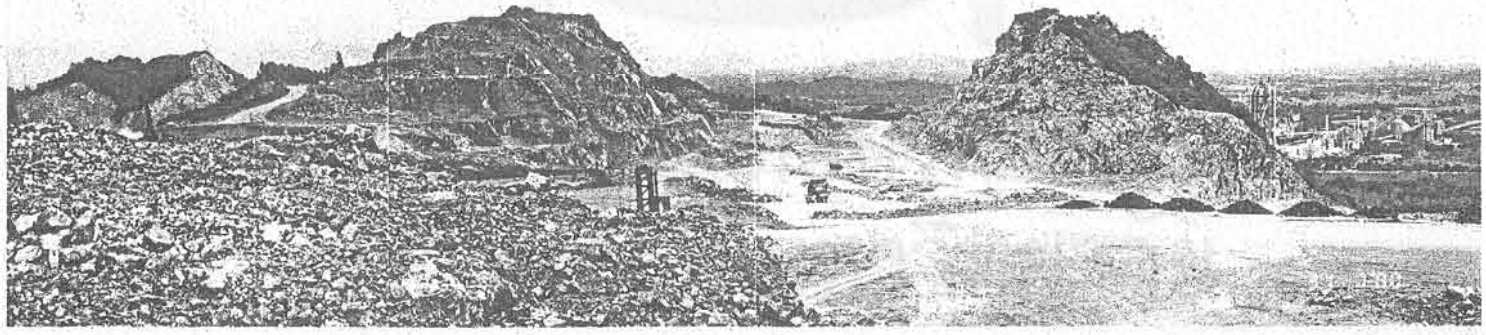

อธิบายคำย่อ

B = ความหนาหน้าระเบิด S = ระยะห่างหลุมเจาะ
H = ความลึกของหลุมเจาะ T = ระยะปิดอัด
J = ระยะเจาะต่ำกว่าพื้น

รูปที่ 6.1 ก. ไดอะแกรมแสดงรูปแบบเชิงเรขาคณิตแบบง่ายของการเจาะระเบิดแบบขั้นบันได สำหรับการเจาะรูระเบิดแนวดิ่ง




รูปที่ 6.1 ข. หน้าระเบิดหินที่มีการระเบิดขนาดใหญ่เพื่อการผลิตร่วมกันกับการระเบิดให้แตกในแถวเพื่อการปรับหน้างานในการระเบิดครั้งต่อไป (คัดลอกจากหน้า 555, SME Surface Mining: 2nd Edition, 1990)



รูปที่ 6.1 ค. หน้างานระเบิดหินเพื่อการผลิตร่วมกับการระเบิดตัดกลางพื้นที่ให้เหลือเป็นเนินหินเป็นเขตกันชน ถ่ายที่เหมืองปูนซิเมนต์ไทย (เขาวง) อำเภอพระพุทธบาท จังหวัดสระบุรี ในเดือน กรกฎาคม 2543

ในการพัฒนาเหมืองหิน ถ้าหากระยะห่างระหว่างหลุมเจาะแคบ (ถี่) มากเกินไป โซนของการแตกร้าว (shattered zone) ระหว่างหลุมเจาะจะมีอยู่สูง ถ้าหากระยะห่างระหว่างหลุมเจาะกว้าง (ยาว) มากเกินไป มวลหินระหว่างหลุมเจาะที่อยู่ข้างเคียงอาจมีการแตกหักไม่ดี ทำให้ได้การระเบิดตัดหน้าพื้นเหมืองที่ไม่เรียบ ในทำนองเดียวกันพื้นผิวหน้าเหมืองก็ไม่เรียบ (rough wall) ด้วย

ง. ความสูงของตะพักหรือหน้าเหมือง (bench height, L)

ความสูงของตะพักหรือหน้าเหมือง จำเป็นต้องมีสัดส่วนพอดีกับระยะความหนาหน้าระเบิด (B) ลำพังค่าความสูงอย่างเดียว (L) จะมีความสำคัญต่องานระเบิดน้อยกว่าค่าอัตราส่วนของ L/B ซึ่งมีอีกชื่อหนึ่งเรียกว่า อัตราส่วนของความแข็งตึงหรือสตีฟฟ์เนส (stiffness ratio) ค่าอัตราส่วนที่แตกต่างกันมีผลกระทบสำคัญในเรื่องการแตกหัก การสั่นสะเทือน เสียงดังเกินขนาด และหินปลิวกระเด็น ตามที่ได้แสดงแนวทางการออกแบบไว้ในหัวข้อที่ 4.3.3 เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของการระเบิดหินให้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

จ. ระยะเจาะลึกใต้ระดับพื้นเหมืองหรือระยะซับดริลลิง (subdrilling, J)

การที่ทำการเจาะลึกต่ำกว่าระดับพื้นของเหมือง เพื่อให้แน่ใจว่าระดับพื้นตลอดหน้างาน (full face) สามารถนำเครื่องจักรกลเข้าไปปฏิบัติงานได้ โดยไม่มีโขดหินเกะกะบริเวณพื้นเหมืองที่มีการใช้เครื่องจักรกลเพื่อขนย้ายหินในบริเวณ เหตุผลอีกประการหนึ่งคือผลลัพธ์ของการเจาะต่ำกว่าพื้นได้การระเบิดที่หินจุดพื้นเหมืองมีการแตกหักที่ดี ไม่มีหินขนาดใหญ่เกินควร

ฉ. ระยะการปิดอัดวัสดุ (Stemming, T)

บริเวณปากหลุมเจาะต้องมีการเว้นช่องว่าง เพื่อให้มีการใส่วัสดุปิดอัดปากหลุมภายหลังจากการบรรจุระเบิดแล้ว การปิดอัดที่ดีการระเบิดจะอยู่ในสภาวะปิด (confinement) พลังงานของการระเบิดมีประสิทธิภาพสูง ระยะของการปิดอัดก็มีส่วนในเรื่องผลกระทบ การที่มีการปิดอัดสั้นเกินไปมีการใช้วัตถุระเบิดมาก มีผลทำให้เสียงดังจากการระเบิดอยู่ในระดับสูงและหินปลิวกระเด็นไปไกล ระยะของการปิดอัดยาวเกินไปมีการใช้วัตถุระเบิดน้อยอาจมีผลต่อการแตกหักของหิน เพราะความดันของการระเบิดอาจมีน้อยเกินไป

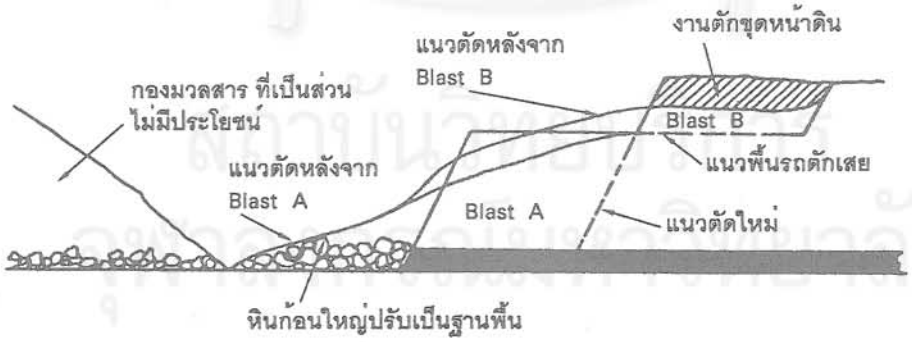
การระเบิดหินไม่จำเป็นต้องมีการระเบิดเฉพาะเพื่อผลิตหินเป็นอย่างเดียว ในบางครั้งก็สามารถใช้การระเบิดหินเพื่อปรับแต่งหน้างานพร้อมกันไปด้วย ตัวอย่างได้แสดงไว้ในรูปที่ 6.1 ข. มีการระเบิดให้แตกในแถวก่อนการระเบิดขนาดใหญ่ในครั้งต่อไป โดยการ

เจาะรูเอียงให้แตกในแถว ทำให้หน้าอิสระครั้งต่อไปเป็นหน้าเอียง ช่วยให้หน้างานระเบิดขนาดใหญ่มีหินแตกมากองรวมกันในจุดที่ต้องการขนย้ายสะดวก

ความมีประสิทธิภาพของการระเบิดยังขึ้นอยู่กับว่า การระเบิดเพื่อพัฒนามีหน้างานไปทางไหน ตัวอย่างในรูปที่ 6.1 ค. เมื่อหน้าระเบิดหันไปทางที่ตั้งชุมชนหรือโรงงาน การระเบิดเพื่อพัฒนา จำเป็นต้องมีการทำเขตกันชน (buffer zone) เพื่อกันหินปลิวกระเด็นหรือผลกระทบทางด้านอื่นที่อาจรบกวนหรือขัดขวางการทำงานของการปฏิบัติงานส่วนอื่น

6.2.3 <u>การเจาะระเบิดหินเพื่อผลิตสินแร่ ที่สายแร่วางตัวในแนวนอน</u>

การเจาะระเบิดประเภทนี้ เป็นแนวทางที่สองของการระเบิดในงานวิศวกรรม ใช้ในการระเบิดหินสำหรับงานเหมืองแร่ และใช้กับกรณีที่สายแร่วางตัวอยู่ในแนวนอนขนานกับระดับพื้นผิวดิน ความกว้างของสายแร่ขยายในแนวนอนไม่จำกัด ตัวอย่างที่แสดงไว้ในรูปที่ 6.2 ข้างล่าง เป็นสายแร่ของชั้นถ่านหิน (coal seam) การระเบิดหินที่คลุมทับชั้นถ่านหินต้องให้สัมพันธ์กับรถตักเสยที่ใช้ในการขุดขนย้ายมวลสารแบบ dragline stripping operation ซึ่งนิยมให้การระเบิดเป็นแบบแยกหินมากองฝั่งตรงข้าม เป็นกองเศษวัสดุและระเบิดปรับพื้น ให้สามารถใช้รถตักเสยล้อตีนตะขาบปฏิบัติงานการตักดินผิวบนหรือหินร่วนไปกองยังฝั่งตรงข้ามกับชั้นถ่านหิน เกิดเป็นร่องแนวยาวตั้งฉากกับภาพหน้าตัดข้างล่าง



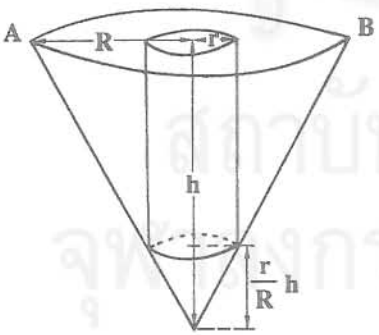

รูปที่ 6.2 การระเบิดหินเพื่อพัฒนาในงานผลิตสินแร่ สายแร่เป็นชั้นถ่านหินที่มีการวางตัวในแนวนอนขนานกับพื้นผิวดิน แยกการระเบิด 2 ครั้ง เป็นการระเบิดเพื่อปรับพื้นเหมือง กับการระเบิดเพื่อให้รถตักเสยสามารถปฏิบัติงานแยกดิน หิน แร่ ใช้ dragline stripping

การระเบิดหินแยกเป็น 2 ครั้ง โดยการระเบิดครั้งแรก (Blast A) เป็นการระเบิดเพื่อให้หินก้อนขนาดใหญ่หลุดออกมากองที่พื้นเหมือง เกิดเป็นหินฐานรากของกองวัสดุที่ไม่ใช้ (waste pile) ทำให้มีน้ำหนักมวลสารกดทับป้องกันพื้นดินที่ฐานโป่งบวม (soil heap) กับช่วยการระบายน้ำกับเสริมเสถียรภาพที่พื้นเหมืองให้ดี การระเบิดครั้งที่สอง (Blast B) เป็นการระเบิดตัดให้ความลาดหน้าเหมืองมีความชันต่ำลง และปรับพื้นให้สามารถใช้รถตักเสยแบบขุดลาก เข้าไปปฏิบัติงานขุดตักเพื่อแยกกองหินกับเศษวัสดุออกจากชั้นถ่านหิน

6.2.4 <u>การเจาะระเบิดหินเพื่อผลิตสินแร่ ที่สายแร่วางตัวในแนวดิ่ง</u>

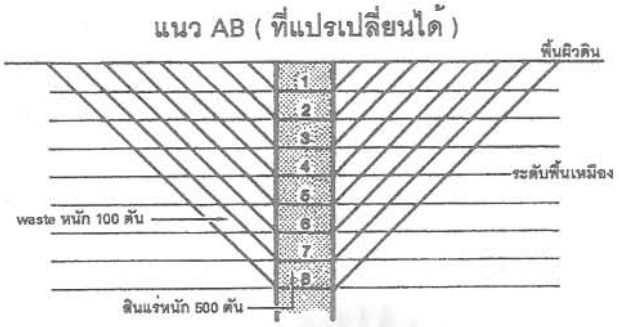
การเจาะระเบิดประเภทนี้เป็นแนวทางที่สามของการระเบิดในงานวิศวกรรม ใช้ในการระเบิดหินในงานเหมืองแร่ กำหนดให้สายแร่ทรงกระบอกวางตัวในแนวดิ่ง (รูปที่ 6.3 ข้างล่าง) และพื้นผิวของภูมิประเทศราบเรียบ การเจาะระเบิดต้องมีการคำนวณค่าของ stripping ratio ซึ่งเป็นอัตราส่วนของ waste / ore ซึ่งอาจต้องมีการกำหนดแนวของการตัดระเบิดเพื่อกำหนด ขอบเขตของบ่อเหมืองเปิด (pit limit) หาค่าน้ำหนักเป็นตัน ระหว่างส่วนที่ไม่ใช่สินแร่ (waste) กับส่วนที่เป็นสินแร่ (ore) จากนั้นหาค่าความคุ้มทุนว่าการขุดเจาะควรอยู่ที่ระดับใดของความลึกมวลสินแร่

รูปที่ 6.4 หน้าถัดไปเป็นการแก้ปัญหาแบบง่ายรูปสเก็ตช์มวลสินแร่ (ด้านซ้าย) แปลงให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า เพื่อหาค่าอัตราส่วนของแนวตัดมวลสินแร่ลักษณะ 2 มิติ อยู่ในแนวเดียวกับภาพตัดขวาง จากนั้นทำตาราง (ด้านล่าง) เพื่อหาน้ำหนักสัดส่วนของสินแร่กับส่วนที่ไม่ต้องการและต้องขนไปทิ้ง




$$S.T. = \frac{\left[\frac{1}{3}R^2 - \left\{r^2 - \frac{2}{3}\frac{r^3}{R}\right\}\right]}{\left[r^2 - \frac{2}{3}\frac{r^3}{R}\right]}$$

รูปที่ 6.3 ภาพสเก็ตช์มวลสินแร่ที่มีรูปทรงกระบอกวางตัวในแนวดิ่ง พจน์ r เป็นรัศมีมวลสินแร่ ส่วนพจน์ R เป็นรัศมีขอบบ่อเหมืองเปิด และพจน์ h เป็นความลึกของบ่อเหมืองเปิด สมการด้านขวารูปสเก็ตช์เป็นค่าเฉลี่ย stripping ratio (S.T.) แนวตัด A B ในรูป




น้ำหนักเป็นตันจากการประเมินผล

| Pit | สินแร่ | Waste | ทั้งหมด |
|---|---|---|---|
| 1 | 500 | 100 | 600 |
| 2 | 1000 | 400 | 1400 |
| 3 | 1500 | 900 | 2400 |
| 4 | 2000 | 1600 | 3600 |
| 5 | 2500 | 2500 | 5000 |
| 6 | 3000 | 3600 | 6600 |
| 7 | 3500 | 4900 | 8400 |
| 8 | 4000 | 6400 | 10400 |

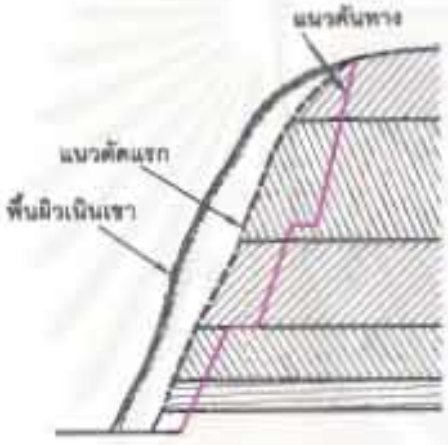
รูปที่ 6.4 ภาพแบบง่ายของการคำนวณแนวตัดเพื่อหาขอบเขตของบ่อเหมืองเปิด ในรูปแสดงขอบเขตบ่อเหมืองเปิดไว้ 8 แนว เส้นในแนวนอนใต้รูปเป็นระดับพื้นเหมืองที่สมมุติ ตารางด้านล่างรูปสเก็ตช์เป็นตัวเลขค่าน้ำหนักเป็นตันที่คำนวณได้จากข้อมูลของเหมือง เพื่อหาความคุ้มทุน

การระเบิดหินเพื่อการตัดหน้าเหมืองแบบนี้ ควรตัดตะพักเป็นขั้นบันไดทั้งสองด้านของมวลสินแร่ ภายหลังที่กำหนดขอบเขตของบ่อเหมืองเปิดแล้ว มุมลาดเอียงของแนวที่ตัดเป็นค่ามุมลาดเอียงทั้งหมด (overall slope angle)

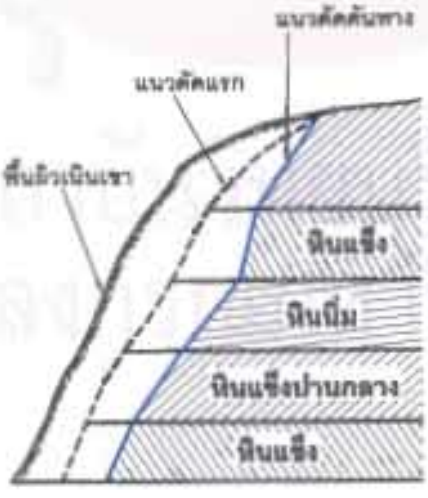
6.2.5 <u>การเจาะระเบิดหินเพื่อตัดไหล่ทาง</u>

การเจาะระเบิดประเภทนี้เป็นแนวทางที่สี่ของการระเบิดในงานวิศวกรรม ใช้ในงานตัดทางหลวงเป็นส่วนใหญ่ แต่ก็มาปรับแต่งเป็นการตัดทางลาด (ramp) เชื่อมระหว่างชั้นขั้นบันไดในเหมืองเปิดได้ ในการออกแบบตัดความลาดของชั้นหิน (ดิน) เนื่องจากการทำทางหลวงเป็นการตัดไหล่ทางในระยะยาวไกล อาจพบปัญหาการเลื่อนไถล (slide) ของมวลสารที่เป็นดิน แต่ถ้าเป็นการตัดไหล่ทางในชั้นหิน ปัญหามีน้อยเพราะปกติกำลังวัสดุเฉือนในหินจะสูงเพียงพอ แต่บางทีชั้นหินมีการผุพังก็อาจเกิดผลกระทบทางด้านเสถียรภาพได้เช่นอาจมีปรากฏการณ์หินหล่นใส่ในบริเวณแนวถนนที่ตัดผ่าน

องค์ประกอบหลักที่ควรคำนึงในเรื่องการตัดความลาดของชั้นดิน (ดิน) เป็นเรื่องความปลอดภัยของสิ่งก่อสร้างที่อยู่ใกล้กับบริเวณที่จะตัดถนนผ่าน สภาพภูมิอากาศในบริเวณการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดิน (แต่ละท้องที่) ความหนาและลักษณะของดินชั้นบนที่คลุมทับชั้นดิน การขังของน้ำกับความสามารถในการระบายน้ำของมวลสารความลาดเอียงความลึกและอัตราการทนทานต่อสภาพอากาศของวัสดุ ขนาดความกว้างของถนนที่ตัดในดิน ความสัมพันธ์เชิงธรณีวิทยา ระหว่างโครงสร้างของถนนที่ตัดลาดผ่านชั้นดิน กับค่ามุมเอียงเทชั้นดิน (dip angle) มีมุมชันหรือเกือบราบ กับแนวถนนกับแนวสันดิน (strike) รอยแตกแยกที่เป็นความไม่ต่อเนื่องในชั้นดินเช่น joint plane, fault plane เป็นต้น

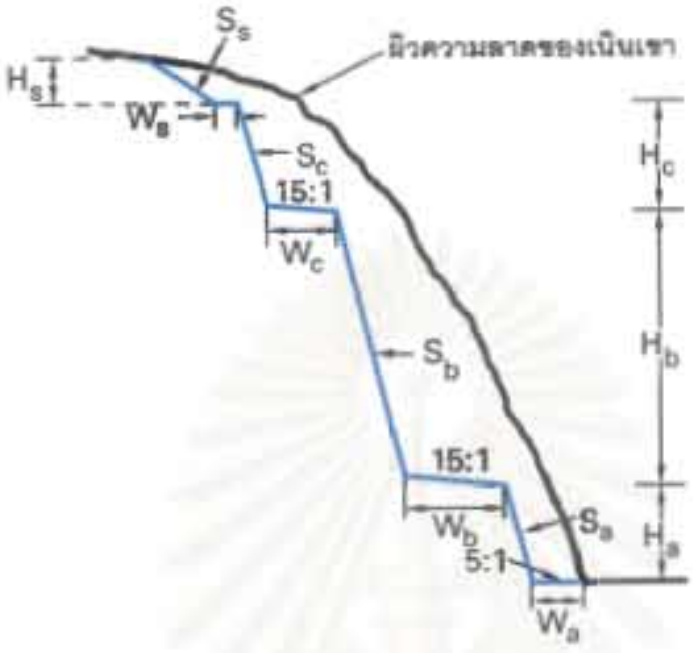



ก. คันทางแบบ permanent berm




ข. คันทางแบบ variable angle berm

รูปที่ 6.5 การตัดไหล่เขาทำคันทางถนนตามสภาวะมวลสารกับรอยแตกแยก




รูปที่ 6.6 การตัดลาดชั้นเดียวหลายชั้น พจน์ตัวแปรในรูปใช้กับตารางที่ 6.1 (ยกเว้นส่วนชั้นตะพักชั้นเดียวบนสุดใช้การตัดความลาดให้ลดลงเพื่อเสริมเสถียรภาพ)

ตารางที่ 6.1 ค่าระยะมิติ กับอัตราส่วนของค่าส่วนกลับมุมความลาดเอียงใช้กับรูปที่ 6.6

| ชนิดของดิน ความลาดเอียง | ความสูงแนวดิ่งของชั้นตะพักชั้นเดียว (เมตร) | | ความกว้างของชั้นตะพักชั้นเดียว (เมตร) | | ค่า Slope (ของแต่ละชั้น) ต่อ ระยะแนวดิ่ง | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $H_s$ | $H_b$, $H_c$ | $W_s$ | $W_b$, $W_c$ | $S_a$ | $S_b$, $S_c$ |
| ถนนตัดผ่านหินดินตานสลับหินทราย | 1.5 – 6 | 6 – 9 | 0 – 9 | 6 – 10.5 | 0.5 : 1 | 0.25 : 1 – 0.5 : 1 |
| ถนนตัดผ่านหินทราย | 3 – 9 | 9 – 12 | 0 – 6 | 6 – 9 | 0.25 : 1 | 0.25 : 1 |
| ถนนตัดผ่านหินทรายที่มีหินดินตานด้านล่าง | 3 – 9 | 6 – 12 | 0 – 7.5 | 6 – 10.5 | 0.25 : 1 | 0.25 : 1 – 0.5 : 1 |
| ถนนตัดผ่านหินทรายสลับกับหินดินตาน | 3 – 12 | 6 – 12 | 0 – 6 | 6 – 9 | 0.5 : 1 | 0.25 : 1 |
| ถนนตัดผ่านหินดินตาน | 3 – 12 | 6 – 12 | 0 – 9 | 6 – 9 | 1 : 1 | 0.25 : 1 – 0.5 : 1 |

ตัวอย่างในรูปที่ 6.5 หน้า 116 แสดงถึงความสัมพันธ์ของรอยแตกแยกที่เป็น joint plane ที่มีอิทธิพลต่อการตัดไหล่เขาทำคันทางถนน ในรูปบน (6.5 ก.) เป็นถนนตัดตั้งฉากกับ strike และมุมเอียงเทของระนาบรอยแตกแยกชั้นหินในแนวที่ถนนผ่านเอียงเข้าไปในมวลหินด้านในทำให้คันทางถนนที่ตัดผ่านมีเสถียรภาพสูงจัดเป็น permanent berm

ส่วนรูปทางด้านล่าง (6.5 ข.) เป็นถนนตัดไหล่เขาทำคันทางถนนตั้งฉากกับ strike และมุมเอียงเทของระนาบรอยแตกแยกชั้นหินแปรผันได้ (variable angle) ซึ่งบางครั้งมีมุมชันบางครั้งมีมุมเอียงเทน้อยเกือบราบ ประกอบกับมวลคันทางมีหินตะกอนหลายชนิด ตั้งแต่ หินแข็ง (hard rock) หินแข็งปานกลาง (medium rock) และหินอ่อนหรือนิ่ม (weak rock) ทำให้คันทางของถนนที่ตัดทำลาดตามไหล่เขา มีการแปรผันในการออกแบบค่ามุมเอียงเทของคันทางตลอดเวลา ให้สอดคล้องกับเสถียรภาพหน้างานตัดทางทำถนน จัดเป็น variable angle berm

เอกสารทางวิชาการของกองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง (สุนทร อริธชาติ, 2536) ได้อ้างอิงข้อเสนอแนะค่าตัวแปรของความลาดเอียง ในการตัดถนนผ่านชั้นหินหลายชนิดและทำความลาดเอียงสำหรับคันทาง ดังรูป 6.6 ประกอบกับตาราง 6.1 ที่มีการระบุค่าระยะมิติ กับอัตราส่วนของค่าส่วนกลับมุมความลาดเอียง (backslope) ที่เป็นอัตราส่วนระหว่างค่าระยะในแนวราบต่อระยะในแนวดิ่งของความลาดเอียงคันทาง รูปและตารางเหล่านี้แสดงไว้ในหน้า 117

ในหินที่ต้องระเบิดทั้ง 3 ประเภท ความชัน (ความลาดเอียง) ของคันทางทั้งในส่วนที่เป็น หินอัคนี หินตะกอน และหินแปร มีค่าอัตราส่วนของส่วนกลับมุมความลาด (ระยะแนวราบ / แนวดิ่ง) ที่ใช้ทั่วไปในหินที่ไม่มีปัญหาเรื่องการผุพัง และรอยแตกแยกมากในมวลสาร มีข้อเสนอแนะตามตัวเลขอัตราส่วนข้างล่างนี้ แต่ในการปฏิบัติงานจริงควรทำควบคู่กับการคำนวณเสถียรภาพของความลาดชันของมวลสารที่ตัดทำคันทาง

<u>หินอัคนี</u> ทั้งที่เป็นหินภูเขาไฟ กับหินที่เกิดภายใต้เปลือกโลก ค่า backslope เท่ากับ 0.25:1 - 0.5:1

<u>หินตะกอน</u> มีค่า backslope หลายอัตราส่วน

- หินตะกอนแข็งเนื้อแน่น มีค่า 0.25:1 - 0.5:1
- หินตะกอนเนื้อแข็งหลายชนิดที่เกิดสลับกันในชั้นหนา มีค่า 0.5:1 - 0.75:1
- หินตะกอนเนื้อนิ่มหลายชนิดที่เกิดสลับกันในชั้นหนา มีค่า 0.75:1 - 1:1

หินแปร มีค่า backslope หลายอัตราส่วน
- หินแปรเนื้อแน่น มีค่า 0.25:1 - 0.5:1
- หินแปรมีการเกิดเป็นชั้นเล็ก ๆ มีค่า 0.5:1 - 0.75:1

ข้อกำหนดทั่วไปในการระเบิดคัดความลาดเอียงของมวลหินดังกล่าว ควรออกแบบไว้หลายเส้นทางเพื่อให้มีหน้างานที่สามารถเลือกระเบิดได้ การตัดทางที่ความลาดเอียงชันในมวลหินมีรอยแตกแยกสูงและต้องใช้การระเบิดช่วย บางครั้งก็ควรหลีกเลี่ยงเปลี่ยนแนวเส้นทางถนนก่อนระเบิดตัดไหล่เขาทำคันทาง เพราะค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงเส้นทางถนนหรือปรับปรุงคันทางใหม่เมื่อใช้งานแล้ว จะค่อนข้างสูงอาจไม่คุ้มค่าในเชิงเศรษฐกิจ

6.2.6 การบันทึกผลในภาคสนามเพื่อตรวจวัดประสิทธิภาพของการระเบิดหิน

การศึกษาภาคสนามเพื่อตรวจวัดประสิทธิภาพของการระเบิด ทั้งนี้โดยอิงจากการทฤษฎีการแตกหักของหินหน้างานระเบิดทำลาดแบบขั้นบันได (bench blasting) เป็นแบบการโก่งตัวของคาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณระยะกลางหน้าอิสระ (กึ่งกลางคาน)

จุดมุ่งหมายของงานระเบิดหิน ต้องการให้ได้การแตกหักของมวลหินออกเป็นชิ้นส่วนที่มีขนาดพอเหมาะ และพยายามให้มีขนาดของก้อนที่มีขนาดใหญ่กว่าการใช้งาน หรือขนาดของก้อนที่มีขนาดเล็กกว่าการใช้งานที่ผลิตได้ มีเปอร์เซ็นต์ที่น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

การคาดคะเนผลของชิ้นส่วนหินที่แตกหักเนื่องจากการระเบิด กับการคาดคะเนผลการแตกหักของหินที่ผ่านปากไม่ มีความแตกต่างในหลายแนวทาง ในส่วนที่ผู้วิจัยได้ใช้เป็นแบบจำลองการคาดคะเนอิงจากสูตรเชิงประสบการณ์ จากโครงการวิจัยที่เสร็จสิ้นไปแล้ว 2 โครงการ ได้แก่ งานวิจัยทุนรัชดาภิเษกสมโภช โครงการเรื่อง "แบบจำลองการคาดคะเนผลการระเบิดในเหมืองหิน เพื่อให้ได้การแตกหักที่เหมาะสมที่สุด" กับงานวิจัยทุนกรมทรัพยากรธรณี โครงการเรื่อง "ผลกระทบอันเนื่องจากการใช้วัตถุระเบิดในงานเหมืองแร่และเหมืองหิน" โดยแยกออกเป็น 2 แนวทางหลัก ได้แก่ แบบจำลองของ Kuz and Ram ที่นำเสนอโดย Cunningham (1983) กับผลการศึกษาของ Adushkin กับของ U.S. Bureau of Mines ที่นำเสนอโดย Rollins and Wang (1990) ซึ่งผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบสูตรเชิงประสบการณ์ของแบบจำลองกับการตรวจวัดจริง มีดังนี้

1. ผลลัพธ์การแตกหัก เมื่อเทียบกับแบบจำลองของ Kuz-Ram

Kuznetsov (1973) ได้เสนอการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยของชิ้นส่วนหินที่แตกหักและได้มีการปรับปรุงใหม่ โดยใช้สมการของ Rosin and Rammler (1933) ทำการพัฒนาเป็นแบบจำลองที่นิยมใช้ใหม่ของ Kuz and Ram ดังแสดงในรูปแบบใหม่โดย

Cunningham (1983) ที่หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยอนุภาคมวลหินที่แตกหักภายหลังการระเบิด กับปริมาณวัตถุระเบิดที่ใช้ ดังนี้

$$X_{50} = A\left[q\right]^{-0.8}\left[Q_e\right]^{1/6}\left[\frac{115}{S_t}\right]^{19/30} \qquad (6.1)$$

พจน์ $X_{50}$ เป็นค่าเฉลี่ยชิ้นส่วนที่แตกหักของการระเบิด พจน์ A เป็นค่าตัวประกอบของหิน ส่วนพจน์ q เป็นค่าส่วนกลับเพาเดอร์แฟกเตอร์ พจน์ $Q_e$ เป็นมวลของวัตถุระเบิดที่ใช้ต่อหนึ่งหลุมเจาะ และพจน์ $S_t$ เป็นค่ากำลังน้ำหนักวัตถุระเบิดสัมพัทธ์

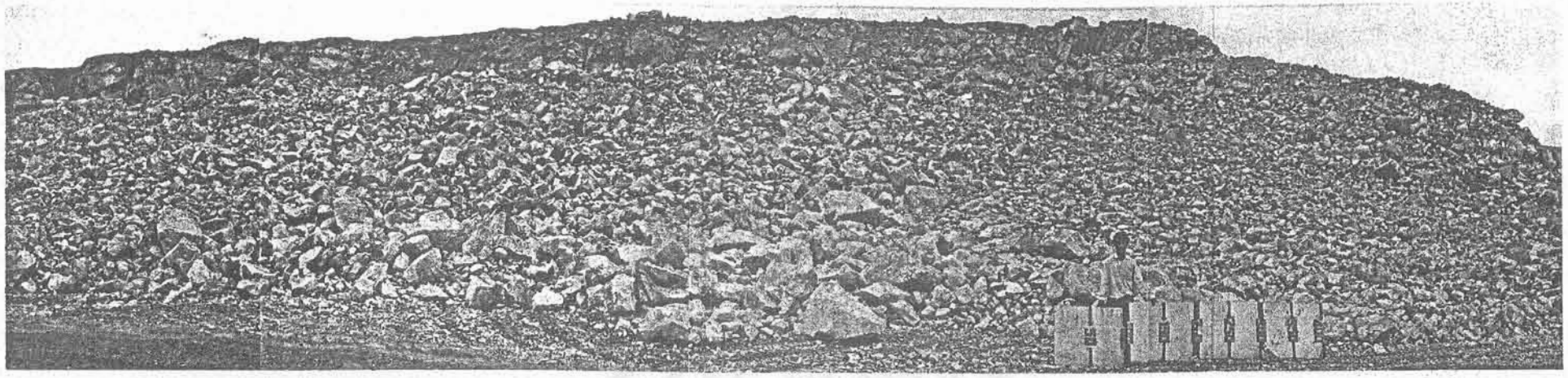
การประเมินค่าด้วยวิธีนี้ ได้ค่าค่อนข้างคลาดเคลื่อนจากการตรวจวัดภาคสนาม คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง (50% - 70 %) แต่เมื่อวิเคราะห์โดยภาพรวมเมื่อมีการเพิ่มจำนวนวัตถุระเบิดต่อหลุมเจาะมากขึ้น การแตกหักจะสูงขึ้น ขนาดของชิ้นส่วนหินจะเล็กลง และข้อสรุปของผลการศึกษาประสิทธิภาพของการแตกหัก ก็คือ ไม่ควรใช้แบบจำลองนี้เพียงแบบจำลองเดียว ควรเปรียบเทียบกับแบบจำลองอื่น และตัวแปรที่มีผลกระทบสูงต่อค่าผลลัพธ์ขนาดการแตกหักของหินได้แก่ รอยแตกแยกหรือมวลหินที่มีโพรง ค่าของการคำนวณขนาดการแตกหักจะมีความผิดพลาดสูง

2. <u>ผลลัพธ์การแตกหัก เมื่อเทียบกับแบบจำลองของ Rollins and Wang</u>

การกำหนดต้นแบบของการแตกหักในแบบจำลองชนิดนี้ ใช้อิงจากงานวิจัยของ Adushkin et al. (1987) ที่อธิบายการแตกหักของการระเบิดหินแบบขั้นบันได เป็นพื้นที่ของการแตกหัก (breakage area) และใช้ค่าการตรวจวัดชิ้นส่วนของการแตกหักที่วัดขนาดโดยผ่านตะแกรงของ U.S. Bureau of Mines (Dick et al., 1973) พล็อตเปรียบเทียบกับแบบจำลอง ซึ่งสูตรเชิงประสบการณ์คือ

$$P_i = \sum_{j=1}^{n} V_j\left[\frac{P_{ij}}{V_T}\right] \qquad (6.2)$$

สมการข้างบน Rollins และ Wang (1990) ได้เสนอแนวทางที่จะวิเคราะห์ค่าการแตกหักของมวลหินที่เกิดจากการระเบิดของแต่หลุมเจาะ แล้วพล็อตค่าบนกราฟเพื่อหาเปอร์เซ็นต์สะสมการกระจายขนาดทั้งหมด (total cumulative distribution of fragmentation size: $P_i$) เมื่อให้จำนวนข้อมูลดิบมีทั้งหมดเท่ากับ n ตัวอย่าง ค่า $P_{ij}$ เป็นค่าตัวเลขเปอร์เซ็นต์ขนาดของชิ้นส่วนที่ผ่านตะแกรงทั้งหมดในแต่ละหลุม



รูปที่ 6.7 ภาพถ่ายการแตกหักของหินปูนจากการระเบิดแบบขั้นบันได ถ่ายเมื่อวันที่ 1 กรกฎาคม 2541 ที่หน้าเหมืองของบริษัทปูนซีเมนต์นครหลวง อำเภอแก่งคอย สระบุรี

ตารางที่ 6.2 ความสัมพันธ์ของปริมาณการใช้วัตถุระเบิด กับขนาดของมวลหินที่แตกหัก สำหรับการระเบิดแบบขั้นบันไดของเหมืองหินขนาดใหญ่

| แหล่งหิน | Powder Factor (กก./ม.$^3$) | $D_{50}$ (ม.) | $D_{80}$ (ม.) |
|---|---|---|---|
| บ. ปูนซิเมนต์ไทย (เขาวง) จ.สระบุรี | 0.41 | 0.36 | 0.54 |
| | 0.38 | 0.34 | 0.49 |
| บ. ปูนซิเมนต์ไทย (แก่งคอย) จ.สระบุรี | 0.58 | 0.30 | 0.54 |
| | 0.35 | 0.27 | 0.46 |
| บ. ปูนซิเมนต์ไทย (ทุ่งสง) จ.นครศรีธรรมราช | 0.55 | 0.27 | 0.44 |
| | 0.45 | 0.23 | 0.40 |
| บ. ปูนซีเมนต์นครหลวง จ.สระบุรี | 0.52 | 0.28 | 0.46 |
| | 0.50 | 0.36 | 0.51 |
| บ. ปูนซีเมนต์เอเซีย จ.สระบุรี | 0.58 | 0.33 | 0.49 |
| | 0.56 | 0.38 | 0.56 |
| บ. ปูนซีเมนต์ทีพีไอ จ.สระบุรี | 0.56 | 0.26 | 0.43 |
| | 0.41 | 0.28 | 0.45 |
| บ. ชลประทานซีเมนต์ จ.เพชรบุรี | 0.65 | 0.34 | 0.57 |
| | 0.47 | 0.31 | 0.50 |

ตารางที่ 6.3 ความสัมพันธ์ของปริมาณการใช้วัตถุระเบิด กับขนาดของมวลหินที่แตกหัก สำหรับการระเบิดแบบขั้นบันไดของเหมืองหินขนาดเล็กถึงปานกลาง

| แหล่งหิน | Powder Factor (กก./ม.$^3$) | $D_{50}$ (ม.) | $D_{80}$ (ม.) |
|---|---|---|---|
| โรงโม่หินศิลาผาทอง จ.เลย | 0.46 | 0.33 | 0.52 |
| | 0.31 | 0.31 | 0.48 |
| โรงโม่หินต้องติ่งศิลา (ผาผดุง) จ.หนองบัวลำภู | 0.75 | 0.31 | 0.48 |
| | 0.31 | 0.30 | 0.47 |
| โรงโม่หินต้องติ่งศิลา (ผา MT) จ.หนองบัวลำภู | 0.43 | 0.25 | 0.39 |
| | 0.41 | 0.31 | 0.51 |
| โรงโม่หินผาทอง จ.นครศรีธรรมราช | 0.33 | 0.39 | 0.57 |
| | 0.31 | 0.21 | 0.36 |
| โรงโม่หินปราณบุรีเทรดดิ้ง จ.ประจวบคีรีขันธ์ | 0.52 | 0.28 | 0.46 |
| | 0.45 | 0.35 | 0.51 |
| โรงโม่หินศิลาสากลพัฒนา จ.นครราชสีมา | 0.48 | 0.45 | 0.65 |
| | 0.30 | 0.38 | 0.59 |

หมายเหตุ $D_{50}$ หมายถึงขนาดของหินที่ % น้ำหนักสะสมผ่านตะแกรง 50 %

$D_{80}$ หมายถึงขนาดของหินที่ % น้ำหนักสะสมผ่านตะแกรง 80 %

เจาะระเบิด ค่า $V_j$ เป็นปริมาตรหินที่แตกหักต่อหลุมเจาะ (volume per hole) มีหน่วยเป็น ลบ.ม. ส่วนค่า $V_T$ เป็นปริมาตรของหินทั้งหมดที่แตกหัก

การประเมินค่าด้วยวิธีนี้เมื่อเปรียบเทียบกับการตรวจวัดภาคสนาม ได้ค่าใกล้เคียงกว่าวิธีของ Kuz and Ram แต่มีปัญหาทางด้านตัวแปรหลายค่าต้องสมมุติขึ้น และใช้ไม่ได้ผลดีกับมวลหินที่แตกร้าวก่อนการระเบิดหรือมวลหินมีโพรงอยู่ด้านใน

6.2.7 <u>ตารางผลสรุปขนาดการแตกหักกับปริมาณวัตถุระเบิดที่ใช้</u>

จากการวัดค่าการแตกหักของหินภาคสนามด้วยการสังเกตการณ์ด้วยตาเปล่า และใช้แผ่นไม้วัดขนาดช่วย (ดูรูปที่ 6.7 หน้า 121) ประกอบกับการสอบถามเจ้าหน้าที่ประจำหน้าเหมืองและโรงโม่หิน ได้ผลของค่าการวัดขนาดชิ้นส่วนหินที่แตกหัก และสามารถแยกการระบุไว้เป็น 2 ตาราง สำหรับเหมืองหินเปิดขนาดใหญ่ได้ทำการระบุค่าไว้ในตารางที่ 6.1 หน้า 121 ส่วนเหมืองหินเปิดขนาดเล็กถึงปานกลาง ได้ระบุค่าไว้ในตารางที่ 6.2 ข้อมูลใน 2 ตารางดังกล่าวอ้างอิงจากรายงานหลักฉบับสมบูรณ์ เรื่อง "ผลกระทบอันเนื่องมาจากการใช้วัตถุระเบิดในงานเหมืองแร่และเหมืองหิน" หน้าที่ 21 – 30 (สง่า ตั้งชวาล และคณะ, 2542)

## 6.3 <u>การศึกษาภาคสนามด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการใช้วัตถุระเบิด</u>

งานการศึกษาวิจัยในประเทศไทย หัวข้อที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการใช้วัตถุระเบิดเน้นหนักไปทางด้านการทำเหมืองหิน มากกว่างานเหมืองแร่ และงานโยธา หน่วยงานหลักที่ทำวิจัยภาคสนามในหัวข้อเหล่านี้ ได้แก่ กองการเหมืองแร่ กับกองสิ่งแวดล้อมทรัพยากรธรณี กรมทรัพยากรธรณี และคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งผู้วิจัยโครงการนี้ ได้ทำการวิจัยไว้หลายโครงการด้านผลกระทบของการสั่นสะเทือน ความดังเสียง และหินปลิวกระเด็นจากการระเบิด ส่วนผลงานทางด้านผลกระทบของฝุ่นจากการระเบิดและการขนส่ง ก็มีผลของการวิจัยจากคณะผู้วิจัยกลุ่มอื่นด้วย

การบันทึกผลค่าความสั่นสะเทือนกับความดังเสียงระยะแรก ๆ เครื่องมือที่ใช้เป็นเครื่องวิเคราะห์เชิงแอนะลอก (analog analyzer) แต่ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2539 เป็นต้นมาใช้เครื่องวิเคราะห์เชิงดิจิตอล (digital analyzer)

6.3.1 <u>ผลกระทบทางด้านการสั่นสะเทือนจากการระเบิดหิน</u>

การทบทวนเรื่องผลกระทบของการสั่นสะเทือนจากการระเบิด มีระบุไว้ในเอกสารหลายฉบับ แต่ที่ผู้วิจัยโครงการนี้ยึดถือเป็นหลัก เป็นผลงานของ Duvall and Fogelson

(1962) ระบุผลการสั่นสะเทือนที่ก่อให้เกิดความเสียหายของบ้านเรือนขนาดสูงไม่เกิน 3 ชั้นเนื่องจากตัวแปรของการสั่นสะเทือนบนพื้นผิวดินที่สำคัญมีอยู่ 3 ตัวแปร ได้แก่ การเปลี่ยนตำแหน่ง (displacement) ของอนุภาค ความเร็ว (velocity) ของอนุภาค และความเร่ง (acceleration) ของอนุภาค ซึ่งต่อมาการวิจัยช่วงหลังพบว่าตัวแปรที่เป็นดัชนีความเสียหายมีเพิ่มขึ้นอีก 1 ตัวแปร คือค่าความถี่ (frequency) และเมื่อใช้ตัวแปรความถี่วิเคราะห์ควบคู่กับความเร็วอนุภาค ได้ผลลัพธ์จากการคาดคะเนความสั่นสะเทือนที่ดี

ปัญหาหลักในเรื่องการเลือกตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งให้เป็นค่าเกณฑ์ในการกำหนดความเสียหายต่ออาคารโครงสร้าง ขึ้นอยู่กับว่าข้อมูลดิบผลกระทบตัวแปรใดมีเปอร์เซ็นต์ความไว้ใจได้หรือความเชื่อถือได้ (reliability) มากกว่าอีกตัวแปรหนึ่ง

จากผลสรุปในรายงานของ Duvall and Fogelson (ดูรูปที่ 6.8 หน้า 125) ระดับขั้นของความเสียหาย (degrees of damage) มีทั้งหมด 3 ระดับขั้น ได้แก่ ขีดจำกัดของความเสียหาย (threshold limit) เป็นระดับขั้นแรกก่อนที่จะเกิดความเสียหายต่อโครงสร้างสิ่งก่อสร้าง ระดับขั้นที่สองเป็นความเสียหายเพียงเล็กน้อย (minor damage) โครงสร้างเพียงแค่เกิดรอยแตกร้าวแต่ไม่ถึงกับพังทลาย ระดับขั้นที่สามเป็นความเสียหายหนัก (major damage) โครงสร้างเสียหายจนมีผลต่อเสถียรภาพของระบบ

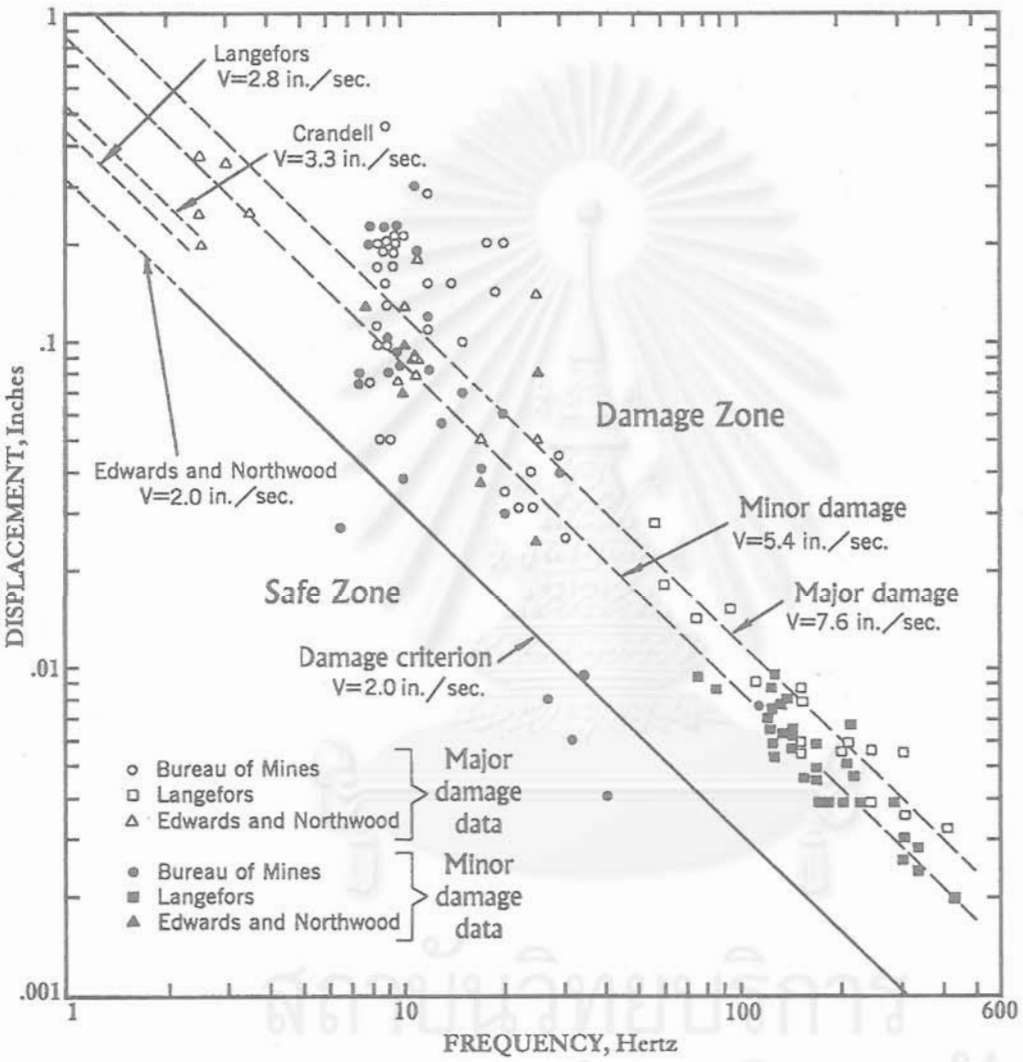
ผลการสรุปของความเสียหายจากรายงานใน R.I. 5968 ในกรณีที่เป็นที่อยู่อาศัยที่มีความสูงปกติไม่เกิน 3 ชั้น และไม่คำนึงถึงว่ามีฐานรากตั้งอยู่บนชั้นดินหรือชั้นหิน เมื่อต้องการให้เกิดความปลอดภัยจากการระเบิดหิน ควรควบคุมให้ระดับความเร็วอนุภาคที่จะผ่านบนพื้นผิวของฐานรากมี <u>ค่าต่ำกว่า 2 นิ้วต่อวินาที</u>

6.3.2 <u>การทบทวนแนวทางการวิเคราะห์ผลจากตัวแปรการสั่นสะเทือน</u>

การทบทวนผลการประเมินผลข้อมูลภาคสนามเชิงสถิตินี้ ผู้วิจัยใช้รายงาน U.S. Bureau of Mines, R.I. 8507 เป็นรายงานหลักที่ใช้อ้างอิง ซึ่งได้มีการรวบรวมจากงานวิจัยหลายแหล่งที่มีผลการตรวจวัดการเกิดความเสียหายภาคสนาม กับมีการแสดงแนวทางการวิเคราะห์ผลลัพธ์ของการสั่นสะเทือนไว้อย่างสมบูรณ์ใน R.I. 8507 กับอิงจากรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการ เรื่อง "ความน่าเชื่อถือในการออกแบบระเบิดหินและควบคุมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม" หน้า 101 - 140 (สง่า ตั้งชวาล, 2543)

1. <u>การวิเคราะห์ตัวแปรเชิงสถิติ</u>

วิธีการหลักที่ผลงานในเอกสาร R.I. 8507 ใช้ในการวิเคราะห์ตัวแปรหลัก และมีการทดลองใช้กับข้อมูลดิบภาคสนามของการตรวจวัดในประเทศไทย เปรียบเทียบกับเซตข้อมูลที่ทางผู้วิจัยของ U.S. Bureau of Mines รวบรวมไว้ใน R.I. 8507 คือ




รูปที่ 6.8 เกณฑ์ที่เป็นข้อกำหนด ในการจัดระดับขั้นความเสี่ยงที่เกิดจากคลื่นระเบิดเดินทางผ่านพื้นผิวฐานรากของสิ่งก่อสร้าง ตัวแปรที่ใช้การวิเคราะห์ผลในรูปนี้มี 3 ชนิด ขอบเขตความเสียหายที่ระบุได้จึงขึ้นอยู่กับค่าความสัมพันธ์ดังกล่าว (คัดลอกจาก Duvall and Fogelson, 1962, หน้า 15)

ก) <u>วิธีการแรก</u> เป็นการหาค่าข้อมูลเชิงสถิติของผลลัพธ์ค่าเฉลี่ยกับผลลัพธ์ค่าความแปรปรวน (mean and variance analysis) ในการตรวจวัดการสั่นสะเทือน โดยใช้วิธีการถดถอยเชิงเส้น (linear regression) ตามปกติจะสมมุติให้ข้อมูลตัวแปรสุ่มที่วิเคราะห์มีการกระจายค่าแบบปกติ (normal distribution)

ข) <u>วิธีการที่สอง</u> เป็นการหาค่าข้อมูลเชิงสถิติของผลลัพธ์เปอร์เซ็นต์โอกาสความน่าจะเป็น (probability analysis) ของตัวแปรสุ่ม ที่อาจก่อให้เกิดความเสียหาย โดยใช้การหาเปอร์เซ็นต์ของความเร็วอนุภาคต่ำสุดที่จะอยู่ในตำแหน่งเกินช่วงความเชื่อมั่น สำหรับข้อมูลตัวแปรสุ่มในการหาความน่าจะเป็น มักจะสมมุติให้มีการกระจายค่าแบบลอการิทึมปกติ (log normal distribution)

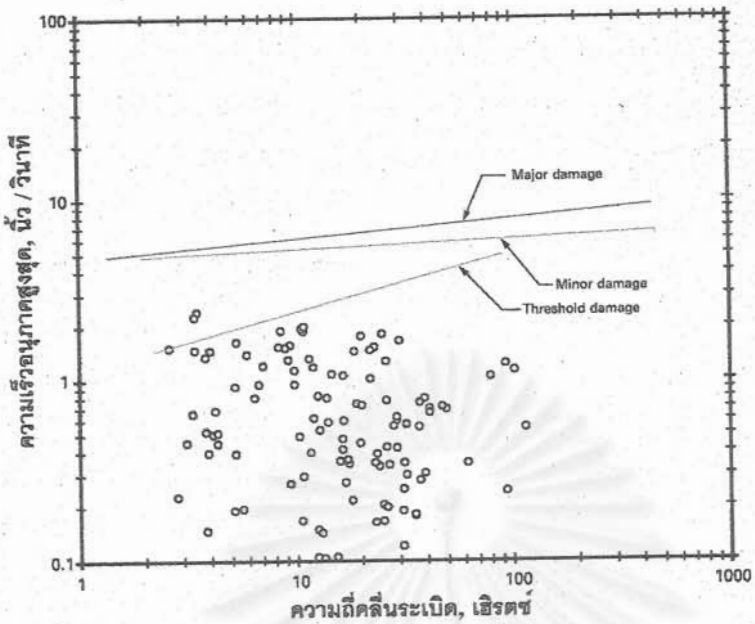
2. <u>ผลลัพธ์การเปรียบเทียบตัวแปรงานระเบิดหินอาจก่อให้เกิดความเสียหาย</u>

ก่อนที่ข้อมูลดิบการตรวจวัดต่าง ๆ จะสามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ จำเป็นต้องมีความแน่ใจว่าวิธีการตรวจวัดเหมือนกัน และงานภาคสนามเหล่านั้นนั้นมีเป้าหมายและมีจุดประสงค์ไปในแนวทางเดียวกัน การศึกษาของ U.S. Bureau of Mines ได้ข้อมูลของการตรวจวัดส่วนใหญ่มาจากการระเบิดเหมืองถ่านหินบนพื้นผิวดินที่มีขนาดใหญ่ จากนั้นก็พยายามหาค่าสหสัมพันธ์ (correlation value) ระหว่างความเสียหายที่มีต่อผนังบ้านพื้นบ้านหรือกระจกหน้าต่าง เซตข้อมูลดิบที่แตกต่างกันสามารถแยกได้เป็น 7 เซต โดยที่เซตสุดท้าย (เซต 7) เป็นเซตข้อมูลทั่วไปใช้วิเคราะห์กับข้อมูลทุกค่าความถี่ ส่วนเซตข้อมูลอื่นมีค่าความถี่สูงกว่า 4 เฮิรตซ์ หรือต่ำกว่า 4 เฮิรตซ์ เป็นต้น วิธีการนำมาเปรียบเทียบของการระเบิดหินในประเทศไทย แยกเป็นการเปรียบเทียบระหว่างเหมืองหินเปิดขนาดใหญ่ กับเหมืองหินเปิดขนาดเล็กถึงปานกลาง

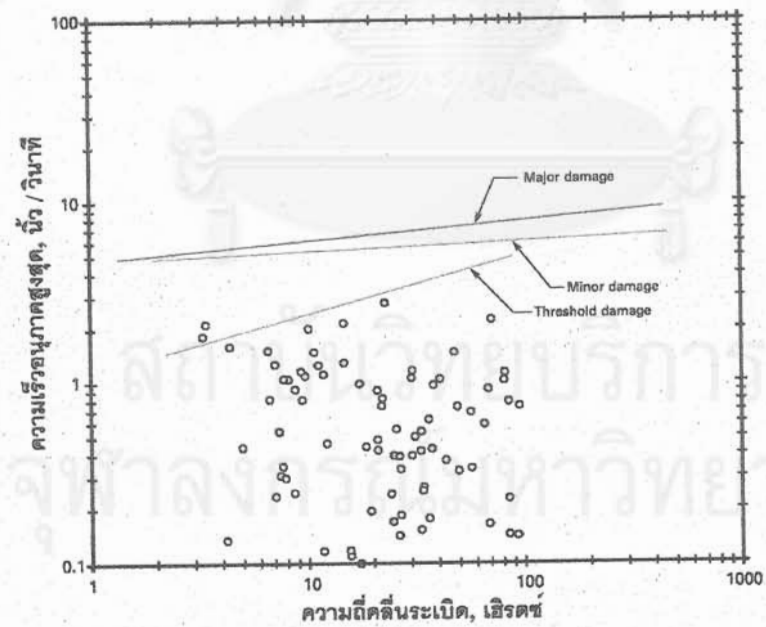
ก) <u>เซตข้อมูลการสั่นสะเทือนของเหมืองหินเปิดขนาดใหญ่</u>

การวิเคราะห์ข้อมูลของเหมืองหินเปิดขนาดใหญ่ใช้เปรียบเทียบออกเป็น 2 แนวทาง ระหว่างการใช้วิธีเชิงสมการถดถอย กับวิธีเชิงโอกาสความน่าจะเป็น รูปที่ 6.9 เป็นการสมมุติให้การแจกแจงค่าข้อมูลดิบตัวแปรสุ่มเป็นแบบปกติ และเป็นผลการเปรียบเทียบความชันของเส้นถดถอย ระหว่างค่าที่ระบุในรายงาน R.I. 8507 กับค่าข้อมูลดิบการตรวจวัดจริงในประเทศไทยตามที่มีรายละเอียดระบุไว้ในตารางที่ 5.6 หน้าที่ 127 - 128 ในรายงานหลักฉบับสมบูรณ์ โครงการ "ความน่าเชื่อถือในการออกแบบระเบิดหินและควบคุมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม" ข้อมูลที่ใช้พล็อตเป็นค่าความเร็วอนุภาคสูงสุดกับความถี่ เท่านั้น

ส่วนการนำข้อมูลดิบผลการตรวจวัดผลของการสั่นสะเทือน เนื่องจากการระเบิดในเหมืองหินเปิดขนาดใหญ่ในประเทศไทยมาวิเคราะห์แนวทางใหม่ แบบวิธี Probability เพื่อหาค่าความเชื่อถือได้ของข้อมูลที่มีโอกาสอยู่นอกเหนือขอบค่าความเชื่อมั่น (outside




รูปที่ 6.9 การทดลองพล็อตตำแหน่งของจุดข้อมูลดิบที่ได้ตรวจวัดค่าตัวแปรของการสั่นสะเทือน จากการระเบิดหินในเหมืองเปิดขนาดใหญ่ภายในประเทศไทย กับค่าเส้นขีดจำกัดความเสียหายที่อิงตามผลวิเคราะห์วิธี Mean and Variance ที่ระบุเส้นขีดจำกัดไว้ใน R.I. 8507 หน้า 56 (Siskind, et al., 1980 b)




รูปที่ 6.10 การทดลองพล็อตตำแหน่งของจุดข้อมูลดิบ ที่ได้ตรวจวัดค่าตัวแปรของการสั่นสะเทือนของการระเบิดหิน ในเหมืองเปิดขนาดเล็กถึงปานกลางในประเทศไทย กับค่าเส้นขีดจำกัดความเสียหายอิงตามผลวิเคราะห์วิธี Mean and Variance ใน R.I. 8507

lower limit) ที่ระดับ 5 เปอร์เซ็นต์ ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม PROBCHAR ที่เผยแพร่ไว้ในเอกสาร "Reliability, Maintainability and Supportability: A Probabilistic Approach" (Knezevic, 1993) โดยระบุผลลัพธ์เปรียบเทียบระหว่าง ข้อมูลของ U.S. Bureau of Mines ที่ทุกค่าความถี่ (เซต 7) ที่ระดับความถี่สูงเกิน 40 เฮิรตซ์ (เซต 6) ที่ระดับความถี่ต่ำกว่า 4 เฮิรตซ์ (เซต 4) โดยระบุไว้ในตารางที่ 6.4

ข) <u>เซตข้อมูลการสั่นสะเทือนของเหมืองหินเปิดขนาดเล็กถึงปานกลาง</u>

การวิเคราะห์ข้อมูลของเหมืองหินเปิดขนาดเล็กถึงปานกลาง ใช้แนวทางของการเปรียบเทียบออกเป็น 2 แนวทาง เช่นเดียวกัน

รูปที่ 6.10 เป็นการเปรียบเทียบดิบข้อมูลการสั่นสะเทือนในเหมืองเปิดขนาดเล็กถึงปานกลางตามวิธีของ Mean and Variance สำหรับเส้นขีดจำกัดความเสียหายทั้ง 3 เส้นตามแนวทางของ U.S. Bureau of Mines รายละเอียดของข้อมูลดิบที่ตรวจวัดในประเทศไทยระบุไว้ในตารางที่ 5.7 หน้า 129 ในรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการเรื่อง "ความน่าเชื่อถือในการออกแบบระเบิดหินและควบคุมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม"

ตารางที่ 6.4 การเปรียบเทียบค่าความเร็วอนุภาคต่ำสุด โดยใช้วิธี Probability เพื่อหาเปอร์เซ็นต์โอกาสความน่าจะเป็น ที่ตำแหน่งอยู่นอกเหนือขอบค่าความเชื่อมั่น (probability outside low limit) ที่ระดับ 5 %

| ประเภทความถี่ | RI 8507 | | เหมืองหินในไทย | |
|---|---|---|---|---|
| | กลุ่มข้อมูล | ความเร็วอนุภาค (มิลลิเมตร/วินาที) | ประเภทของเหมือง | ความเร็วอนุภาค (มิลลิเมตร/วินาที) |
| ทุกค่าความถี่ | Set 7 Threshold damage | 25.00 | เหมืองหินเปิดใหญ่ | 4.74 |
| | | | เหมืองหินเปิดเล็กถึงปานกลาง | 4.38 |
| ความถี่สูง | Set 6 Minor damage | 101.75 | เหมืองหินเปิดใหญ่ | 0.31 |
| | | | เหมืองหินเปิดเล็กถึงปานกลาง | 0.94 |
| ความถี่ต่ำ | Set 4 Threshold damage | 19.75 | เหมืองหินเปิดใหญ่ | 3.55 |

ส่วนการนำข้อมูลดิบผลการตรวจวัดค่าการสั่นสะเทือน เนื่องจากการระเบิดในเหมืองหินเปิดขนาดเล็กถึงปานกลางในประเทศไทยมาวิเคราะห์ แบบวิธี Probability เพื่อหาค่าความเชื่อถือได้ของข้อมูล ที่มีโอกาสอยู่นอกเหนือขอบต่ำความเชื่อมั่น ที่ระดับ 5 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับของ U.S. Bureau of Mines โดยระบุไว้ในตารางที่ 6.4 ควบคู่กับข้อมูลของเหมืองเปิดขนาดใหญ่

ค) <u>การประเมินผลความสั่นสะเทือนจากการระเบิดหินในประเทศไทย</u>

จากการพิจารณาค่าความชันเส้นถดถอยของข้อมูลการตรวจวัด เมื่อกำหนดให้ค่าความชันของ R.I. 8507 เป็นมาตรฐาน มีข้อน่าสังเกตดังนี้

<u>เหมืองหินเปิดขนาดใหญ่</u>

ก. ความชันของเส้นเริ่มเกิดความเสียหาย (threshold damage) สำหรับเหมืองหินเปิดขนาดใหญ่ มีค่าความชันอยู่เหนือค่าการตรวจวัดเกือบทั้งหมด

ข. ความเร็วอนุภาคสูงสุดที่ระดับความถี่ต่ำ และอาจก่อให้เกิดอันตรายในระดับขั้นความเสียหายเล็กน้อย (minor damage) มีแค่ 2 ตำแหน่ง (หรือมีเพียงแค่ 2 ครั้ง) ของการระเบิดทั้งหมดในเหมืองเปิดขนาดใหญ่ ซึ่งมีข้อมูลที่พล็อตจำนวนทั้งหมด 123 ค่า

ค. จากการตรวจวัดไม่มีค่าความเร็วอนุภาคที่ความถี่ใด ๆ เมื่อมีการระเบิดในเหมืองหินเปิดขนาดใหญ่ของประเทศไทย ที่มีโอกาสก่อให้เกิดความเสียหายที่ระดับรุนแรง (major damage)

<u>เหมืองหินเปิดขนาดเล็กถึงปานกลาง</u>

ก. ความชันของเส้นเริ่มเกิดความเสียหาย (threshold damage) สำหรับเหมืองหินเปิดขนาดเล็กถึงปานกลาง มีค่าความชันอยู่เหนือค่าการตรวจวัดเกือบทั้งหมด

ข. ความเร็วอนุภาคสูงสุดที่ระดับความถี่ต่ำ และอาจก่อให้เกิดอันตรายในระดับขั้นความเสียหายเล็กน้อย (minor damage) มีแค่ 2 ตำแหน่ง (หรือมีเพียงแค่ 2 ครั้ง) ของการระเบิดทั้งหมดในเหมืองเปิดขนาดเล็กถึงปานกลาง ซึ่งมีข้อมูลที่พล็อตจำนวนทั้งหมด 86 ค่า

ค. จากการตรวจวัดไม่มีค่าความเร็วอนุภาคที่ความถี่ใด ๆ เมื่อมีการระเบิดในเหมืองหินเปิดขนาดเล็กถึงปานกลางของประเทศไทย ที่มีโอกาสก่อให้เกิดความเสียหายที่ระดับรุนแรง (major damage)

ผลการประเมินค่าการตรวจวัดดังกล่าวยังได้รับการยืนยันอีกครั้ง เมื่อนำข้อมูลชุดเดียวกันมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับข้อมูลของ U.S. Bureau of Mines โดยใช้วิธีการ

ทาง Probability จากตารางที่ 6.4 ค่าความเร็วอนุภาคต่ำสุดที่อาจมีผลก่อให้เกิดความเสียหายพบว่า ค่าความเร็วอนุภาคของประเทศไทยต่ำกว่าของค่าที่ U.S. Bureau of Mines รวบรวมมา ไม่ว่าจะเป็นที่ความถี่ใด ๆ

6.3.3 ผลกระทบทางด้านความดังเสียงจากการระเบิด

ความดังเสียงที่เกิดจากการระเบิดหิน เป็นผลมาจากคลื่นความดันเสียงที่เกินระดับ (overpressure) ซึ่งนิยมใช้สูตรเชิงประสบการณ์ของการประเมินความดันเสียงจากการสเกลระยะทางต่อน้ำหนักวัตถุระเบิดด้วยรากกำลังสาม แทนที่จะใช้ค่าการสเกลระยะทางต่อน้ำหนักวัตถุระเบิดด้วยรากกำลังสอง เหมือนที่ใช้ประเมินในเรื่องการสั่นสะเทือน

วิธีการประเมินผลอิงตามเอกสารของ The Institute of Quarrying, U.K. หน้า 158-159 (White and Robinson, 1995) ระบุค่าความดังเสียงที่เกิดจากการระเบิดหินที่จัดเป็นเกณฑ์มาตรฐานทั่วไปและเป็นที่ยอมรับได้มีค่าพิสัยอยู่ระหว่าง 120-128 เดซิเบลแอล ดังนั้นการประเมินผลความเสียหายในเชิงสถิติ จะนำค่าระดับความดังเสียงนี้เป็นค่า $NL_{min}$ กับค่า $NL_{max}$ ตามลำดับ [สัญลักษณ์ของ NL หมายถึง Noise Level] เกณฑ์การประเมินมีหลายแนวทางดังต่อไปนี้

1. การประเมินผลระดับความดังเสียงตามสูตรเชิงประสบการณ์

รายงานการวิจัยของ U.S. Bureau of Mines, R.I. 8485 เสนอแนะไว้สำหรับการประเมินผลกระทบของระดับความดังเสียงจากการความดันของคลื่นระเบิด โดยให้ค่าระดับความดังเสียงที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์ กับระยะทางและปริมาณการใช้วัตถุระเบิดที่อยู่ในรูปลอการิทึมของรากกำลังสาม หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า ค่าระดับความดังที่เกิดจากความดันเกินระดับของคลื่นระเบิด มีค่าเท่ากับการสเกลรากกำลังสาม ดังนี้

$$dB = 165 - 25 \log_{10}[r/W^{1/3}] \qquad (6.3)$$

กำหนดให้ค่า dB เป็นความดันเสียงเกินระดับ (overpressure) หน่วยเป็นเดซิเบลแอล และค่าการสเกลรากกำลังสาม (cube root scaling) หน่วยเป็น เมตร ต่อ $(\text{กิโลกรัม})^{1/3}$

ผลการศึกษาของ U.S. Bureau of Mines ในรายงานเดียวกัน (R.I. 8485) ได้เสนอแนะไว้ว่าถ้าหากไม่ได้มีเครื่องตรวจวัดระดับความดังเสียง ในขณะที่ทำการระเบิด ควรกำหนดค่าประมาณของ การสเกลของระยะทางกับรากกำลังสามน้ำหนักวัตถุระเบิดไว้ตามลักษณะของหน้างานระเบิดที่แตกต่างกัน ดังนี้

ก. สำหรับการเปิดเหมืองหิน (quarry) หรือการเปิดเหมืองทั่วไป (mine) ให้ใช้ค่าของการสเกลรากกำลังสามที่ 100 เมตร ต่อ (กิโลกรัม)$^{1/3}$ หรือมีค่าประมาณ 250 ฟุต ต่อ (ปอนด์)$^{1/3}$

ข. ส่วนการขุดเจาะโดยระเบิดเปิดหน้างานก่อสร้าง (construction) ให้ใช้ค่าของการสเกลรากกำลังสามที่ 200 เมตร ต่อ (กิโลกรัม)$^{1/3}$ หรือมีค่าประมาณ 500 ฟุต ต่อ (ปอนด์)$^{1/3}$

เมื่อหาระยะความปลอดภัยจากระดับความดังเสียงที่ค่า $NL_{min}$ (120 เดซิเบลแอล) กับค่า $NL_{max}$ (128 เดซิเบลแอล) แทนค่าที่ได้ในสมการที่ 6.3 หน้า 130

ค่าพิสัยของค่าสเกลระยะทางรากกำลังสาม (cube root scaled distance) ของการเปิดหน้าเหมืองการเปิดหน้างานก่อสร้างทั่วไป มีค่าอยู่ระหว่าง 30.2 เมตรต่อ (กิโลกรัม)$^{1/3}$ ถึง 63.1 เมตรต่อ (กิโลกรัม)$^{1/3}$ ซึ่งช่วงค่าการสเกลรากกำลังสามนี้มีค่าน้อยกว่า แสดงว่าระยะทางที่จัดเป็นระยะปลอดภัย (safe distance) ต่อความดันเสียงของคลื่นระเบิด ต้องเป็นระยะทางที่ไกลกว่า ค่าระยะทางตามข้อเสนอแนะของ U.S. Bureau of Mines ในหน้า 130 (สมการ 6.3) เมื่อค่า W ที่เป็นค่าน้ำหนักวัตถุระเบิดสูงสุดต่อจังหวะถ่วงที่ค่าเดียวกัน

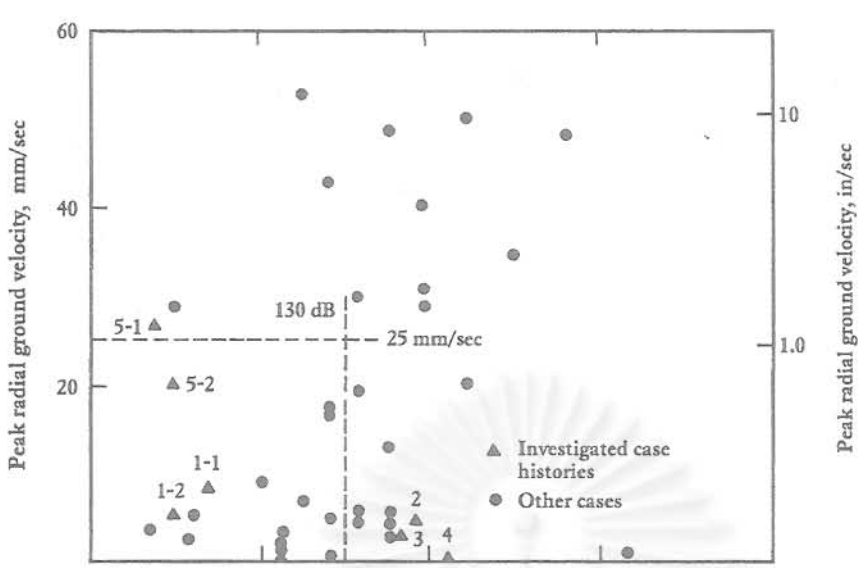
กล่าวอีกนัยหนึ่งคือการสเกลรากกำลังสามของ U.S. Bureau of Mines มีผลกระทบจากระดับความดังเสียงต่ำกว่าข้อกำหนดของ The Institute of Quarrying

2. การประเมินผลระดับความดังเสียงกับความเร็วอนุภาค

Dowding et al. (1982) ได้รวบรวมผลการตรวจสอบของการระเบิดหินบนพื้นผิวดินของเหมืองขนาดใหญ่ไว้ พบว่า ความเสียหายของอาคารโครงสร้างมีส่วนเกี่ยวข้องร่วมกันทั้งค่าความดันเสียงจากคลื่นระเบิดกับค่าความเร็วอนุภาค ดังรูปที่ 6.11 หน้าถัดไปมีผลสรุปว่า ที่ระดับความเร็วอนุภาคเกิน 25 มิลลิเมตรต่อวินาที และความดังเสียงเกิน 130 เดซิเบลแอลก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ผนังบ้าน และค่าความหน่วง (damping) ของโครงสร้างสิ่งก่อสร้างเพิ่มขึ้นจากระดับ 6 % เป็น 10 % (หรือสูงกว่า)

ดังนั้นถ้าหากตั้งสมมุติฐาน ให้ใช้ค่าของความเร็วอนุภาคและระดับความดันเสียงเกินระดับที่เกิดจากการระเบิดเป็นค่าพื้นฐานในการประเมินผลกระทบเบื้องต้น สำหรับเพื่อประเมินผลลัพธ์ความเสียหายที่เกิดจากการระเบิดหินในประเทศไทย

นั่นคือกำหนดให้ค่าขีดจำกัดความเร็วอนุภาคเท่ากับ 25.4 มิลลิเมตรต่อวินาทีจะได้ระยะปลอดภัยสูงสุด (maximum safe distance) ที่ค่า $NL_{min}$ (120 เดซิเบลแอล) ซึ่งจะอยู่ไกลจากหน้าระเบิด และระยะปลอดภัยต่ำสุด (minimum safe distance) ที่ค่า $NL_{max}$ (128 เดซิเบลแอล) จะอยู่ใกล้กับหน้าระเบิด




รูปที่ 6.11 ผลกระทบจากความเร็วอนุภาคในแนวรัศมี กับระดับความดันเสียงเกินระดับที่เกิดจากการระเบิด (ลอกจาก Dowding, et al., 1982)
หมายเหตุ ความดันเสียง 1 กิโลพาสคัล = 0.145 ปอนด์/ตร.นิ้ว

6.3.4 การทบทวนผลการวิเคราะห์ระยะทางความปลอดภัยจากความดังเสียง

ข้อมูลดิบที่ใช้ในการวิเคราะห์นี้ ได้อ้างอิงจากรายงานหลักฉบับสมบูรณ์ โครงการเรื่อง "ความน่าเชื่อถือในการออกแบบระเบิดหิน และควบคุมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม" โดยใช้ข้อมูลดิบตารางที่ 6.1 (หน้า 142) สำหรับเหมืองหินเปิดขนาดใหญ่ และข้อมูลดิบตารางที่ 6.2 (หน้า 143) สำหรับเหมืองหินเปิดขนาดเล็กถึงปานกลาง

จากการพิจารณาข้อมูลดิบการตรวจวัดระดับความดังเสียง พบว่า ค่าตัวเลขอยู่ในกลุ่มเดียวกันระหว่าง 120–145 เดซิเบลแอล แสดงว่ากลุ่มข้อมูลดิบมีช่วงพิสัยแคบ และตัวเลขค่าความดังเสียงในกลุ่มมีค่าใกล้เคียงกันมาก จึงนำมาหาค่าเชิงสถิติเปรียบเทียบกัน 2 วิธี คือ

1. การหาค่าระยะทางความปลอดภัยด้วยวิธี Mean and Variance

ในกรณีที่เป็นวิธีการหาค่าเฉลี่ยกับค่าความแปรปรวน (mean and variance) จะใช้วิธีของการถดถอยเชิงเส้น กำหนดให้ตัวแปรสุ่มอิสระ (X) เป็นค่าของน้ำหนักวัตถุระเบิด และตัวแปรสุ่มที่พึ่งพิง (Y) เป็นค่าความดังเสียง แล้วหาค่าระยะความปลอดภัยจากความดังเสียง (ค่า r ในสมการที่ 6.3) ของค่าที่มีโอกาสอยู่นอกเหนือขอบต่ำระดับขั้นความน่าจะเป็น (probability outside low limit) ที่ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยแยกวิเคราะห์ตามขนาดของเหมืองเปิด

2. การหาค่าระยะทางความปลอดภัยด้วยวิธี Probability

การประเมินผลเชิงสถิติของค่าระยะทางความปลอดภัยด้วยวิธีหาค่าความน่าจะเป็นนี้ ใช้การสมมุติให้ตัวแปรสุ่มมีการแจกแจงค่าแบบลอการิทึมปกติ ใช้โปรแกรม PROBCHAR คำนวณ จุดพิกัดในแกนลอการิทึม x เป็นค่าของระยะทางหน่วยเป็นเมตร จุดพิกัดบนแกนลอการิทึม y ค่าตัวเลขความน่าจะเป็น มีหน่วยเท่ากับ $1 \times 10^2$ เปอร์เซ็นต์ จากนั้นหาค่าที่มีโอกาสอยู่นอกเหนือขอบต่ำ ระดับขั้นความน่าจะเป็น (probability outside low limit) ที่ 5 เปอร์เซ็นต์

ผลสรุปสำหรับการตรวจวัดค่าพิสัยความดังเสียงระหว่าง 120 - 128 เดซิเบลเอล ได้ค่าระยะทางความปลอดภัย สำหรับข้อมูลดิบแต่ละเซต (ตารางที่ 6.5) ที่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ ตัวเลขค่าระยะทางความปลอดภัยที่หาจากวิธี Mean and Variance น่าเชื่อถือได้มากกว่า วิธี Probability

ตารางที่ 6.5 การเปรียบเทียบ ค่าระยะทางความปลอดภัยที่ประเมินมาจากสองแนวทาง ระหว่างวิธีการหาค่าเฉลี่ยกับความแปรปรวน กับวิธีการหาค่าความน่าจะเป็นที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

| ประเภทของเหมืองหิน | ระยะทาง (เมตร) | |
|---|---|---|
| | วิธี Mean and Variance | วิธี Probability |
| เหมืองหินเปิดขนาดใหญ่ (ความดังเสียงช่วง 120-128 dB L) | 355 | 570 |
| เหมืองหินเปิดขนาดเล็กถึงปานกลาง (ความดังเสียงช่วง 120-128 dB L) | 384 | 248 |

6.3.5 ผลกระทบทางด้านหินปลิวกระเด็นจากการระเบิด

การศึกษาผลกระทบของหินปลิวกระเด็นในภาคสนาม พบว่าข้อมูลดิบการระเบิดหินที่มีชิ้นส่วนหินเกิดปลิวกระเด็น แล้วอ่านค่าตัวเลขที่บันทึกผลจากการตรวจวัดในภาคสนามแต่ละบริเวณ ก็คล้ายคลึงกับค่าการตรวจวัดความดังเสียง คือ ค่าการตรวจวัดในแต่ละ

บริเวณมีความแปรปรวนเป็นอย่างมาก ปัญหาอีกอย่างหนึ่งคือการระบุค่าระยะปลิวกระเด็นไกลสุดของชิ้นส่วนหินที่แตกกระเด็นออกจากหน้าเหมืองหิน ใช้การคาดคะเนกับการทดลองสัมผัสก้อนชิ้นส่วนว่ายังมีความอุ่นบ้างเล็กน้อยกับสังเกตผิวที่เพิ่งแตกหลุดออก มีโอกาสเกิดความผิดพลาดได้สูง

เมื่อทดลองทำการหาค่าจากสูตรเชิงประสบการณ์ ที่เผยแพร่ในเอกสารต่างประเทศ ได้แก่ Lundborg et al. (1975) กับ Open File Report No. 77-81 (U.S. Bureau of Mines, 1979) พบว่าค่าที่คำนวณจากสูตรเชิงประสบการณ์กับที่ได้จากการตรวจวัดในภาคสนามภายในประเทศไทย มีความคลาดเคลื่อน (error) สูง จนไม่น่าเชื่อถือ ทำให้ต้องยึดถือตัวเลขที่ได้จากการตรวจวัดจริงในภาคสนามมาเป็นข้อมูลดิบที่ใช้วิเคราะห์ทางสถิติ

6.3.6 <u>การทบทวนผลการวิเคราะห์ระยะทางความปลอดภัยจากหินปลิว</u>

ตัวเลขข้อมูลดิบที่ใช้ในการวิเคราะห์ อิงจากรายงานหลักฉบับสมบูรณ์ เรื่อง "ความน่าเชื่อถือในการออกแบบระเบิดหิน และควบคุมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม" โดยใช้ข้อมูลดิบตารางที่ 7.1 (หน้า 156) สำหรับเหมืองหินเปิดขนาดใหญ่ และข้อมูลดิบตารางที่ 7.2 (หน้า 157) สำหรับเหมืองหินเปิดขนาดเล็กถึงปานกลาง

จากการพิจารณาข้อมูลดิบการตรวจวัดในภาคสนาม ค่าระยะปลิวกระเด็นจากการระเบิดหินภายในประเทศไทยพบว่า ขนาดอนุภาคหินที่ปลิวส่วนใหญ่พบอยู่ระหว่าง 2-3 นิ้ว ค่าตัวเลขอยู่ในระยะใกล้ไม่เกิน 200 เมตร แสดงว่ากลุ่มข้อมูลดิบมีช่วงพิสัยแคบ และตัวเลขค่าระยะในกลุ่มมีค่าใกล้เคียงกันมาก แนวทางวิเคราะห์นี้ใช้วิธีการเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ค่าความเร็วอนุภาคกับความดังเสียงด้วยวิธี Mean and Variance กับวิธี Probability ดังกล่าวมาแล้ว

1. <u>การหาค่าระยะทางด้วยวิธี Mean and Variance</u>

ในกรณีที่เป็นวิธีการหาค่าเฉลี่ยกับค่าความแปรปรวน (mean and variance) จะใช้สูตรเชิงประสบการณ์กับวิธีของการถดถอยเชิงเส้นร่วมกัน เพื่อหาค่าระยะความปลอดภัยจากหินปลิวกระเด็นที่ระดับค่าที่นอกเหนือขอบค่าความเชื่อมั่นที่ระดับ 5 เปอร์เซ็นต์

กำหนดให้ตัวแปรสุ่มอิสระ (X) เป็นค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางหลุมเจาะระเบิด และให้ตัวแปรสุ่มที่พึ่งพิง (Y) ในวิธีถดถอยเชิงเส้น เป็นค่าระยะความหนาหน้าระเบิดที่น้อยหรือต่ำสุด ($B_{min}$) แล้วหาค่าความน่าจะเป็นของระยะทางความปลอดภัย (L) ของการระเบิดในมวลหินปูนหรือโดโลไมต์ จากสูตรของ U.S. Bureau of Mines คือ

$$L = 0.334\,[7.42 \times 10^5 \{DH/B_{min}\}^2 - 200](0.44V_d/5490)^2 \qquad (6.4)$$

หน่วยของ L ในสมการที่ 6.4 เป็นฟุต พจน์ DH (เส้นผ่านศูนย์กลางหลุมเจาะ) กับพจน์ $B_{min}$ (ความหนาหน้าระเบิดต่ำสุด) มีหน่วยเป็นนิ้ว และพจน์ $V_d$ เป็นความเร็วคลื่นระเบิด (ปกติใช้วัตถุระเบิดเป็น AN-FO) หน่วยเป็น ฟุตต่อวินาที

2. <u>การหาค่าระยะทางด้วยวิธี Probability</u>

การประเมินผลเชิงสถิติของค่าระยะทางความปลอดภัยด้วยวิธีหาค่าความน่าจะเป็นนี้ ใช้การสมมุติให้ตัวแปรสุ่มมีการแจกแจงค่าแบบลอการิทึมปกติ ใช้โปรแกรม PROBCHAR คำนวณ จุดพิกัดในแกนลอการิทึม x เป็นค่าของระยะทางหน่วยเป็นเมตร จุดพิกัดบนแกนลอการิทึม y ค่าตัวเลขความน่าจะเป็น ที่มีหน่วยเป็น $1 \times 10^2$ เปอร์เซ็นต์ จากนั้นหาค่าความน่าจะเป็นที่ตำแหน่งค่าที่นอกเหนือขอบต่ำความเชื่อมั่นที่ระดับ 5 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 6.6 การเปรียบเทียบ ค่าระยะทางความปลอดภัยที่ประเมินมาจากสองแนวทาง ระหว่างวิธีการหาค่าเฉลี่ยกับความแปรปรวน และการหาค่าความน่าจะเป็น ที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

| ประเภทของเหมืองหิน | ระยะทาง (เมตร) | |
|---|---|---|
| | วิธี Mean and Variance | วิธี Probability |
| เหมืองหินเปิดขนาดใหญ่ | 871 | 339 |
| เหมืองหินเปิดขนาดเล็กถึงปานกลาง | 1374 | 357 |

ผลสรุปการวิเคราะห์ค่าเชิงสถิติของระยะความปลอดภัยจากหินที่ปลิวกระเด็น ทั้ง 2 แนวทาง ที่มีการระเบิดในมวลหินฟูนหรือหินโคโลไมต์ ได้ระบุค่าผลลัพธ์ไว้ในตารางที่ 6.6 จากการเปรียบเทียบค่าตัวเลขทั้ง 2 วิธี การค่าผลลัพธ์ระยะทางความปลอดภัยที่หาจากวิธี Probability มีความเชื่อถือได้สูงกว่า

6.3.7 <u>ผลกระทบทางฝุ่นจากการระเบิดและขนย้ายหิน</u>

การศึกษาผลกระทบของฝุ่นที่เกิดจากการระเบิดในภาคสนามภายในประเทศไทย ไม่มีงานวิจัยในเรื่องนี้โดยตรง เพราะจากการประเมินผลทั่วไปพบว่า ผลกระทบของฝุ่นจากการขนย้ายหินระหว่างหน้าเหมืองไปยังโรงไม่บดย่อย มีผลกระทบสูงกว่ามาก

6.3.8 การทบทวนผลการวิเคราะห์ของฝุ่นในงานเหมืองแร่และเหมืองหิน

รายงานผลการศึกษาวิจัยเรื่องผลกระทบฝุ่น ในพื้นที่บริเวณหน้าพระลาน จังหวัดสระบุรี ซึ่งเป็นพื้นที่ครอบคลุมต่อเนื่องหลายตำบล ในเขตอำเภอพระพุทธบาทและอำเภอเฉลิมพระเกียรติ พื้นที่นี้มีเหมืองหินปูนกับมีกิจกรรมการโม่บดย่อยจากโรงโม่หินปูนสูงมาก การศึกษาระยะแรกเป็นการตรวจวัดปริมาณฝุ่นจากหินปูน กิจกรรมนี้ก็เป็นมาอย่างต่อเนื่องจนระยะหลัง มีโครงการทำแผนการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมของฝุ่นจากเหมืองและโรงโม่หิน

ผลการศึกษาในระยะแรก ๆ เป็นของศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 2 จังหวัดสระบุรี ที่มีการตรวจวัดฝุ่นละอองแบบเป็นครั้งคราว โดยทำการวัดฝุ่นทุกขนาดอนุภาค ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2532 – 2534 และเริ่มวัดฝุ่นที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 10 ไมครอน (1 ไมครอน เท่ากับ $1 \times 10^{-6}$ ม.) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2535 เป็นต้นมา ค่าของระดับฝุ่นที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 10 ไมครอน ที่มีผลจากการเฉลี่ยค่าการตรวจวัดใน 24 ชั่วโมง (1 วัน) เมื่อชั่งน้ำหนักอนุภาคเทียบกับปริมาตรอากาศ หาค่าปริมาณฝุ่นมีหน่วยเป็น ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (1 ไมโครกรัม เท่ากับ $1 \times 10^{-6}$ กรัม) ได้ระบุแยกตามฤดู กับค่าสูงสุดกับค่าต่ำสุดไว้ในตารางที่ 6.7 ผลการตรวจวัดพบว่า ฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน และเกินมาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อม (120 มคก./ลบ.ม.) มีเปอร์เซ็นต์ 83 – 100 % ของจำนวนตัวอย่าง ค่าสูงสุดของปริมาณฝุ่นคือ 2,481 มคก./ลบ.ม. ที่โรงเรียนบ้านคุ้งเขาเขียว ซึ่งอยู่ตั้งอยู่ตรงใจกลางพื้นที่ของหน้าพระลาน

ผลการศึกษาของกองสิ่งแวดล้อมทรัพยากรธรณี กรมทรัพยากรธรณี ได้ตั้งเครื่องมือตรวจวัดฝุ่นอย่างต่อเนื่องที่บ้านซับชะอม ตำบลขุนโขลน อำเภอพระพุทธบาท จังหวัดสระบุรี และวัดค่าปริมาณของฝุ่นทุกขนาดอนุภาค ตั้งแต่เดือน มกราคม ถึง มิถุนายน 2540 มีค่าที่ระบุไว้ในตารางที่ 6.8 ปริมาณฝุ่นสูงสุด เป็นช่วงฤดูหนาว ในเดือนมกราคม

การศึกษาเพื่อหาผลกระทบของฝุ่นต่อผู้อยู่อาศัย ที่ทำการสัมภาษณ์โดยคณะผู้ศึกษาวิจัยจากคณาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ภิญโญ มีชำนะ และคณะ, 2542) เพื่อหาผลกระทบของฝุ่นต่อบริเวณที่อยู่อาศัย ในภาพรวมของแหล่งกำเนิดฝุ่นที่ผู้ได้รับผลกระทบมีความรู้สึกรบกวนหรือรำคาญ โดยแยกเป็นผลกระทบในเชิงความรู้สึกของผู้ที่ให้สัมภาษณ์หรือตอบแบบสอบถาม จากการบันทึกในแบบสอบถามมีการแสดงผลการตอบสนองต่อแหล่งฝุ่นแยกเป็นเปอร์เซ็นต์ที่มีความรู้สึกถูกรบกวนเรียงตามลำดับ ดังนี้

- แหล่งกำเนิดฝุ่นจากโรงโม่หิน 35.19 เปอร์เซ็นต์
- แหล่งกำเนิดฝุ่นจากถนน 20.74 เปอร์เซ็นต์
- แหล่งกำเนิดฝุ่นจากรถบรรทุก 11.48 เปอร์เซ็นต์
- แหล่งกำเนิดฝุ่นจากเหมืองหิน 4.70 เปอร์เซ็นต์
- แหล่งกำเนิดฝุ่นจากแหล่งอื่น 8.63 เปอร์เซ็นต์
- ไม่แสดงความคิดเห็น 19.26 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 6.7 ผลการตรวจวัดระดับฝุ่นที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 10 ไมครอน ตรวจวัดโดยศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อมเขต 2 สระบุรี ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ย 24 ชม. หน่วยปริมาณอนุภาคฝุ่นในตาราง เป็น ไมโครกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร

| จุดตรวจวัด | ปี | จำนวนตัวอย่างเกินมาตรฐาน | ค่าปริมาณฝุ่นเฉลี่ย | | | ค่าปริมาณฝุ่นสูงสุด/ต่ำสุด | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ฤดูร้อน | ฤดูฝน | ฤดูหนาว | ฤดูร้อน | ฤดูฝน | ฤดูหนาว |
| รร.บ้านคุ้งเขาเขียว | 2539 | 14 (100%) | 993 | — | 1303 | 1516<br>419 | — | 2481<br>566 |
| | 2538 | 73 (94%) | 359 | 375 | 435 | 1541<br>134 | 1190<br>36 | 577<br>239 |
| | 2537 | 26 (93%) | 343 | 259 | 599 | 548<br>191 | 581<br>93 | 1232<br>230 |
| | 2536 | 24 (96%) | 558 | 335 | 666 | 783<br>230 | 923<br>118 | — |
| ร.ร.บ้านเขารวกร่วม—มิตรพัฒนา | 2539 | 14 (83%) | 199 | 117 | 435 | 329<br>164 | 150<br>92 | 583<br>297 |

ตารางที่ 6.8 ผลการตรวจวัดระดับฝุ่นทุกขนาดอนุภาค ตรวจวัดโดยกรมทรัพยากรธรณี เป็นการตรวจวัดอย่างต่อเนื่อง สถานีตรวจวัดที่บ้านซับชะอม จ.สระบุรี หน่วยปริมาณอนุภาคฝุ่นในตาราง เป็น ไมโครกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร

| เดือน | ปริมาณฝุ่นทุกขนาด (มคก./ลบ.ม.) 24 ชั่วโมง | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ค่าสูงสุด | ค่าเฉลี่ย | ค่าต่ำสุด | จำนวนวัน (วัน) | เกินมาตรฐาน (%) |
| มกราคม | 1312 | 571 | 111 | 22 | 80 |
| กุมภาพันธ์ | 820 | 377 | 135 | 17 | 61 |
| มีนาคม | 782 | 272 | 118 | 6 | 22 |
| เมษายน | 388 | 174 | 59 | 2 | 7 |
| พฤษภาคม | 259 | 115 | 42 | 0 | 0 |
| มิถุนายน | 150 | 109 | 64 | 0 | 0 |

## 6.4 การศึกษาภาคสนามด้านค่าใช้จ่ายของการใช้วัตถุระเบิด

งานการศึกษาวิจัยในประเทศไทย สำหรับหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับเศรษฐศาสตร์ของการใช้วัตถุระเบิด ยังไม่มีการวิจัยอย่างจริงจัง อุปสรรคของการศึกษาวิจัยในหัวข้อนี้ เป็นเพราะว่าการประเมินความคุ้มทุนในงานเหมืองเปิดทั้งเหมืองหินและเหมืองแร่ ต้องอาศัยข้อมูลจากหลายหน่วยงานในองค์กร เริ่มตั้งแต่ระดับผู้บริหาร ฝ่ายวางแผน ฝ่ายจัดซื้อ ฝ่ายบัญชีกับการเงิน ฝ่ายงานหน้าเหมือง ฝ่ายซ่อมบำรุง และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ

ข้อมูลเหล่านี้ปกติเก็บเป็นความลับ และในส่วนของข้อมูลที่เปิดเผยได้อาจไม่สมบูรณ์เพียงพอที่จะนำมาวิเคราะห์ในเชิงค่าใช้จ่ายได้ทั้งหมด อย่างไรก็ตาม งานศึกษาโครงการวิจัยนี้จะเสร็จสิ้นสมบูรณ์ได้ ต้องมีผลวิเคราะห์ควบคู่กันในหลายแนวทาง ทั้งในเรื่องของประสิทธิภาพงานระเบิด ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และค่าใช้จ่ายในการใช้วัตถุระเบิดด้วย

### 6.4.1 แนวทางในการเก็บข้อมูลคิบค่าใช้จ่ายในภาคสนาม

ทีมงานผู้วิจัยได้ทำการศึกษาขอข้อมูลอย่างต่อเนื่องจาก เจ้าหน้าที่ของรัฐที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนและควบคุมงานเจาะระเบิด ตัวแทนบริษัทจำหน่ายเครื่องมือและอุปกรณ์การเจาะหลุมกับวัตถุระเบิด วิศวกรผู้ควบคุมงานเจาะระเบิดกับการตักขนย้ายที่ประจำบริเวณหน้าเหมือง และผู้รับเหมางานเจาะหรืองานระเบิด โดยมีการสอบถามสัมภาษณ์กับบันทึกข้อมูล ตลอดจนการติดต่อขอรายการค่าใช้จ่ายในส่วนที่เปิดเผยได้จากตัวแทนองค์กรนั้น

เมื่อได้รับข้อมูลในเรื่องค่าใช้จ่ายของงานเจาะระเบิดและขนย้ายหินหน้างาน มาในระดับหนึ่งแล้ว ก็มีการจัดทำแบบบันทึกผล (sheet) ค่าใช้จ่ายที่แยกไว้ 3 ส่วน ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการเจาะ ค่าใช้จ่ายในการระเบิด และค่าใช้จ่ายในการขนย้าย โดยมีต้นแบบจากตารางที่ 5.1 ถึง 5.2 (หน้า 92 – 94) พร้อมทั้งกำหนดหัวข้อที่จะตรวจสอบยืนยันอีกครั้งกับเจ้าหน้าที่หรือวิศวกรของเหมืองหินเปิด ณ บริเวณแหล่งเหมืองหินกับโรงโม่หิน

ในระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงต้นเดือนสิงหาคม 2543 ได้มีการศึกษางานในภาคสนามเพื่อหาข้อมูลเชิงค่าใช้จ่าย กับวิเคราะห์ผล สำหรับแต่ละเหมืองหิน โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สามารถแยกเป็น 2 ประเภท ระหว่าง เหมืองหินเปิดหินปูนขนาดใหญ่กับเหมืองหินเปิดหินปูนขนาดเล็กถึงปานกลาง

ตัวเลขที่คำนวณได้เป็นค่าเฉลี่ยในหลายเหมืองเปิด (ที่แยกตามขนาด) และพื้นที่ที่ทำการศึกษาเก็บข้อมูลเชิงค่าใช้จ่าย อยู่ในเขตหลายจังหวัด ได้แก่ จังหวัดกาญจนบุรี จังหวัดราชบุรี จังหวัดสระบุรี และจังหวัดนครราชสีมา ทั้งนี้ในหลายกรณีทีมงานวิจัยได้รับการร้องขอเพื่อให้ไม่เปิดเผยชื่อเหมืองโดยตรง ดังนั้นในการระบุตัวเลขทุกค่าแต่ละรายการจะไม่ได้เป็นของเหมืองใดเหมืองหนึ่งโดยเฉพาะ เป็นเพียงค่าเฉลี่ยของรายการนั้น อนึ่งในค่าใช้จ่ายในบางรายการ แต่ละเหมืองอาจมีวิธีการคำนวณแตกต่างกันด้วย

รูปที่ 6.12 ภาพถ่ายมุมกว้างแสดงเส้นทางขนส่งลำเลียงหินที่แตกหัก ภายหลังจากการระเบิด ระหว่างหน้าเหมืองหินไปยังโรงโม่บดย่อย ถ่ายในเดือนกรกฎาคม 2543 ที่เหมืองศรีปฐมอุตสาหกรรม อ. จอมบึง จ. ราชบุรี

6.4.2 ตารางผลลัพธ์เชิงค่าใช้จ่ายในการเจาะระเบิดและขนย้ายลำเลียง

ภายหลังจากที่เสร็จสิ้นงานเก็บข้อมูลคิบกับตรวจสอบค่าตัวเลขในภาคสนามแล้ว ทางทีมงานวิจัยได้รวบรวมค่าตัวเลขที่เป็นค่าใช้จ่ายจริง และแยกประเภทของเหมืองหินด้วย

1. ค่าใช้จ่ายในเหมืองหินเปิดขนาดใหญ่

ผลลัพธ์ที่เป็นค่าใช้จ่าย (ค่าเฉลี่ย) จริง หน่วยเป็นบาทต่อตัน ได้แยกระบุรายการที่ใช้คำนวณไว้อย่างละเอียด โดยตารางที่ 6.9 เป็นค่าใช้จ่ายในการเจาะ ส่วนตารางที่ 6.10 เป็นค่าใช้จ่ายในการระเบิด และตารางที่ 6.11 เป็นค่าใช้จ่ายในการขนย้ายลำเลียงหินที่แตกหัก

2. ค่าใช้จ่ายในเหมืองหินเปิดขนาดเล็กถึงปานกลาง

ผลลัพธ์ที่เป็นค่าใช้จ่าย (ค่าเฉลี่ย) จริง หน่วยเป็นบาทต่อตัน ได้แยกระบุรายการที่ใช้คำนวณไว้ในตารางที่ 6.12 ถึง 6.14 สำหรับการเจาะระเบิดและขนย้ายลำเลียง

# ตารางที่ 6.9 ค่าใช้จ่ายจริงในการเจาะหลุมระเบิดในเหมืองหินเปิดขนาดใหญ่

ตารางที่ 6.9.1 รูปแบบเชิงเรขาคณิตหน้าระเบิด และงานเจาะ

| | |
|---|---|
| กำลังการผลิต | 611,123 ตัน / เดือน |
| ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะ | 7 3/8 นิ้ว |
| ระยะห่างระหว่างแถวหน้าระเบิด (B) | 6 เมตร |
| ระยะห่างระหว่างรูเจาะ (S) | 7 เมตร |
| จำนวนรูที่เจาะต่อวัน | 32 หลุม / วัน |
| จำนวนวันที่เจาะต่อเดือน | 25 วัน / เดือน |
| ความสูงของหน้างาน | 13 เมตร |
| ความลึกของหลุมเจาะ | 14.3 เมตร |
| ความถ่วงจำเพาะของหิน | 2.6 |
| ประสิทธิภาพของงานเจาะกับระเบิด | 90 เปอร์เซ็นต์ |

ตารางที่ 6.9.2 พนักงาน + เครื่องจักรกล (ส่วนเจาะ)

| พนักงาน (ส่วนเจาะ) | |
|---|---|
| **ค่าใช้จ่ายคงที่** | |
| เงินเดือนผู้บริหาร | 25,000 บาท |
| เงินเดือนพนักงานบัญชีและธุรการ | 8,000 บาท |
| เงินเดือนพนักงานซ่อมบำรุงหรือตรวจสอบการซ่อมบำรุง (รวม) | 90,000 บาท |
| ค่าไฟฟ้าสำนักงาน | 10,000 บาท |
| ค่าจ้างพนักงานรักษาความปลอดภัย | 15,000 บาท |
| เงินเดือนพนักงานขับรถเจาะต่อคน | 10,000 บาท / คน |
| จำนวนรถเจาะที่ใช้ | 3 คัน |
| จำนวนพนักงานขับรถต่อรถหนึ่งคัน | 1 คน |
| จำนวนพนักงานขับรถเจาะทั้งหมด | 3 คน |
| รวมเงินเดือนพนักงานขับรถเจาะ | 30,000 บาท |
| เงินเดือนวิศวกรและหัวหน้าคนงาน | 40,000 บาท |
| **รวม เฉพาะส่วนพนักงานส่วนเจาะ** | **203,000 บาท / เดือน** |
| **ค่าใช้จ่ายผันแปร** | |
| ค่าจ้างผู้รับเหมาเจาะ | – บาท / เดือน |
| **เครื่องจักรกล อุปกรณ์ทางเจาะ** | |
| **ค่าใช้จ่ายคงที่** | |
| ราคารถเจาะ | 11,000,000 บาท |
| อายุการใช้งานรถเจาะ | 10 ปี |
| ราคาซาก (รถเจาะ) | 2,750,000 บาท |
| ค่าเสื่อมราคารถเจาะต่อคัน | 68,750 บาท / เดือน |
| ค่าเสื่อมราคารถเจาะ (รวม) | 206,250 บาท |

ตารางที่ 6.9.2 พนักงาน + เครื่องจักรกล (ส่วนเจาะ) (ต่อ)

| **ค่าใช้จ่ายผันแปร** | |
|---|---|
| ปริมาณน้ำมันที่ใช้ต่อคันต่อชั่วโมง | 50 ลิตร / ชั่วโมง |
| จำนวนชั่วโมงที่เจาะ | 8 ชั่วโมง / วัน |
| จำนวนวันที่เจาะ | 25 วัน / เดือน |
| ปริมาณน้ำมันที่ใช้ต่อเดือน | 10,000 ลิตร / เดือน |
| ราคาน้ำมันต่อลิตร | 12.9 บาท / ลิตร |
| **ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงต่อเดือน** | **387,000 บาท / เดือน** |
| น้ำมันเครื่อง | 40 ลิตร / คัน / ครั้ง |
| อายุการใช้งาน | 250 ชั่วโมง (เจาะ) |
| ราคาน้ำมันเครื่องต่อลิตร | 50 บาท / ลิตร |
| **ค่าน้ำมันเครื่องต่อเดือน** | **4,800 บาท / เดือน** |
| ราคาดอกเจาะ | 60,000 บาท |
| อายุการใช้งานดอกเจาะ | 3,000 เมตร |
| **ค่าเสื่อมราคาดอกเจาะต่อเดือน** | **228,000 บาท** |
| ค่าแรงผู้รับเหมาซ่อมบำรุงรถเจาะต่อเดือน | – บาท / คัน / เดือน |
| ค่าน้ำมันไฮดรอลิกของรถเจาะต่อเดือน | 2,500 บาท / คัน / เดือน |
| ค่าน้ำมันหล่อลื่นรถเจาะ | – บาท / คัน / เดือน |
| ค่าเสื่อมสภาพสายไฮดรอลิกต่อเดือน | 1,000 บาท / คัน / เดือน |
| ค่าเสื่อมสภาพโซ่แทรคของรถเจาะต่อเดือน | 2,000 บาท / คัน / เดือน |
| ค่าเสื่อมสภาพก้านเจาะต่อเดือน | 99,750 บาท / คัน / เดือน |
| ค่าเสื่อมสภาพ Adapter ของก้านเจาะต่อเดือน | 40,714.29 บาท / คัน / เดือน |
| ค่าเสื่อมสภาพปอกก้านเจาะต่อเดือน | 1,000 บาท / คัน / เดือน |
| ค่าเสื่อมสภาพกรองอากาศ | 1,000 บาท / คัน / เดือน |
| ค่าเสื่อมสภาพ กรองน้ำมันเชื้อเพลิง น้ำมันไฮโดรลิก น้ำมันเกียร์ | 3,000 บาท / คัน / เดือน |
| ค่าเสื่อมสภาพของอุปกรณ์อื่นๆ ของรถเจาะ | 5,000 บาท / คัน / เดือน |
| ค่าเสื่อมสภาพหัวเจาะและก้านเจาะ Jack Hammer | 500 บาท / คัน / เดือน |
| **รวมค่าใช้จ่ายบำรุงรักษาต่อเดือน** | **469,392.86 บาท / เดือน** |
| ราคารถกะบะสำหรับตรวจงานเจาะและระเบิด | 500,000 บาท / คัน |
| จำนวนรถกะบะสำหรับตรวจงานเจาะและระเบิด | 2 คัน |
| ราคาซาก (รถกระบะ) | 100,000 บาท / คัน |
| อายุการใช้งาน | 5 ปี |
| ค่าบำรุงรักษาต่อเดือน | 5,000 บาท / คัน / เดือน |
| **ค่าใช้จ่ายสำหรับรถตรวจงาน** | **23,333.33 บาท / เดือน** |
| **สรุปค่าใช้จ่ายในการเจาะต่อหลุม** | **2.49 บาท / หลุม** |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# ตารางที่ 6.10 ค่าใช้จ่ายจริงในการระเบิดในเหมืองหินเปิดขนาดใหญ่

**ตารางที่ 6.10.1 รูปแบบเชิงเรขาคณิตหน้าระเบิดและงานเจาะ**

| | | |
|---|---|---|
| กำลังการผลิต | 611,123 | ตัน / เดือน |
| ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะ | 7 3/8 | นิ้ว |
| ระยะห่างระหว่างแถวหน้าระเบิด (B) | 6 | เมตร |
| ระยะห่างระหว่างรูเจาะ (S) | 7 | เมตร |
| จำนวนรูที่เจาะต่อวัน | 32 | หลุม / วัน |
| จำนวนวันที่เจาะต่อเดือน | 25 | วัน / เดือน |
| ความสูงของหน้างาน | 13 | เมตร |
| ความลึกของหลุมเจาะ | 14.3 | เมตร |
| ความถ่วงจำเพาะของหิน | 2.6 | |
| ประสิทธิภาพของงานเจาะกับระเบิด | 90 | เปอร์เซ็นต์ |

**ตารางที่ 6.10.2 พนักงาน + เครื่องจักรกล (ส่วนระเบิด)**

| พนักงาน (ส่วนระเบิด) | | |
|---|---|---|
| **ค่าใช้จ่ายคงที่** | | |
| เงินเดือนหัวหน้าแผนกเจาะระเบิด | 15,000 | บาท |
| จำนวนหัวหน้าคนงานระเบิด | 1 | คน |
| เงินเดือนหัวหน้าคนงานระเบิด | 12,000 | บาท / คน |
| จำนวนพนักงานระเบิด | 1 | คน |
| เงินเดือนพนักงานระเบิด | 9,000 | บาท / คน |
| รวมเงินเดือนแผนกระเบิด | 36,000 | บาท |
| **ค่าใช้จ่ายผันแปร** | | |
| จำนวนลูกจ้างรายวัน | – | คน |
| ค่าแรงต่อคนต่อวัน | – | บาท / คน |
| ค่าจ้างแรงงานระเบิดต่อเดือน | – | บาท / เดือน |
| **เครื่องจักร + วัตถุระเบิด** | | |
| **ค่าใช้จ่ายคงที่** | | |
| ราคารถบรรจุระเบิด | 2,500,000 | บาท / คัน |
| อายุการใช้งาน | 10 | ปี |

**ตารางที่ 6.10.2 พนักงาน + เครื่องจักรกล (ส่วนระเบิด) (ต่อ)**

| เครื่องจักร + วัตถุระเบิด (ต่อ) | | |
|---|---|---|
| **ค่าใช้จ่ายคงที่** | | |
| ราคาขาก | 625,000 | บาท |
| ค่าบำรุงรักษาต่อเดือน | 6,000 | บาท / เดือน |
| ค่าเสื่อมราคารถบรรจุระเบิด | 15,625 | บาท / เดือน |
| **ค่าใช้จ่ายรถบรรจุระเบิดต่อเดือน** | 21,625 | **บาท / เดือน** |
| **เครื่องจักร + วัตถุระเบิด** | | |
| **ค่าใช้จ่ายผันแปร** | | |
| ปริมาณ AN–FO ที่ใช้ต่อหลุม | 225 | กก. / หลุม |
| ปริมาณ AN–FO ที่ใช้ต่อครั้ง | 7,175 | กก. / ครั้ง |
| ปริมาณ AN–FO ที่ใช้ต่อเดือน | 179,371 | กก. / เดือน |
| ต้นทุนการผสม AN–FO ต่อกิโลกรัม | 11 | บาท / กก. |
| **ค่าวัตถุระเบิด AN–FO ต่อเดือน** | 1,973,076.92 | **บาท / เดือน** |
| ราคา Blasting Agent ต่อกิโลกรัม | 60 | บาท / กก. |
| ปริมาณ Blasting Agent ต่อหลุม | – | กก. / หลุม |
| **ค่า Blasting Agent ต่อเดือน** | – | **บาท / เดือน** |
| ราคา Dynamite ต่อกิโลกรัม | 60 | บาท / กก. |
| ปริมาณ Dynamite ต่อหลุม | 18 | กก. / หลุม |
| ปริมาณ Dynamite ต่อครั้ง | 573.99 | กก. / ครั้ง |
| ปริมาณ Dynamite ต่อเดือน | 14,349.65 | กก. / เดือน |
| **ค่าวัตถุระเบิด Dynamite ต่อเดือน** | 860,979.02 | **บาท / เดือน** |
| ราคาแก๊ปไฟฟ้าถ่วงจังหวะต่อดอก | 210 | บาท / ดอก |
| **ค่าแก๊ปไฟฟ้าถ่วงจังหวะต่อเดือน** | 167,412.59 | **บาท / เดือน** |
| ค่าวัสดุสิ้นเปลืองอื่นๆ | 10,000 | บาท / เดือน |
| **รวมค่าใช้จ่ายในการระเบิดต่อตัน** | 5.03 | **บาท / ตัน** |

ตารางที่ 6.11 ค่าใช้จ่ายในการขุดตักลำเลียงในเหมืองหินเปิดขนาดใหญ่

| รายละเอียดข้อมูล | |
|---|---|
| จำนวนรถตักที่ใช้จริง (มีทั้งหมด 6 คัน) | 3 คัน |
| ระยะทางเฉลี่ยขาไป | 1.5 กม. |
| ระยะทางเฉลี่ยขากลับ | 1.5 กม. |
| อัตราเร็วเฉลี่ย | 40 กม. / ชม. |
| เวลาเดินทางขาไปและกลับ + เวลาตัก | 10 นาที |
| เวลารอเทและเวลาเท | 4 นาที |
| เวลารอรถตัก | 1 นาที |
| รอบการบรรทุก | 15 นาที |
| จำนวนรถบรรทุกต่อรถตัก 1 คัน | 3 คัน |
| จำนวนรถบรรทุกทั้งหมด | 9 คัน |
| ปริมาตร Bucket | 9.5 ลบ.ม. |
| 1 ลบ.ม.ของหิน (หลวม) หนัก | 1.65 ตัน |
| Bucket Capacity | 15.675 ตัน |
| Truck Capacity | 81 ตัน |
| ชั่วโมงการทำงาน | 8 ชั่วโมง |
| ประสิทธิภาพของงาน | 90 เปอร์เซ็นต์ |
| จำนวนหินที่ตักได้ | 20,995.2 ตัน / วัน |
| จำนวนวันทำงาน | 25 วัน / เดือน |
| จำนวนหินที่ตักได้ต่อเดือน | 524,880 ตัน / เดือน |

| พนักงาน (ส่วนขยาย) | |
|---|---|
| ค่าใช้จ่ายคงที่ | |
| เงินเดือนวิศวกร | 25,000 บาท / เดือน |
| จำนวนหัวหน้าคนงาน | 3 คน |
| เงินเดือนหัวหน้าคนงาน | 18,000 บาท / คน |
| จำนวนคนขับรถตัก | 3 คน / คัน |
| เงินเดือนคนขับรถตัก | 12,000 บาท / เดือน |
| รวมเงินเดือนคนขับรถตัก | 108,000 บาท / เดือน |
| จำนวนคนขับรถบรรทุก | 3 คน / คัน |
| เงินเดือนคนขับรถบรรทุก | 10,000 บาท / เดือน |
| รวมเงินเดือนคนขับรถบรรทุก | 270,000 บาท / เดือน |
| รวมเงินเดือน | 457,000 บาท / เดือน |

| เครื่องจักร (ส่วนขยาย) | |
|---|---|
| ค่าใช้จ่ายคงที่ | |
| ราคารถกะบะสำหรับตรวจงานเจาะและระเบิด | 500,000 บาท / คัน |
| จำนวนรถกะบะสำหรับตรวจงานเจาะและ | 1 คัน |
| ราคาซาก | 80,000 บาท / คัน |
| อายุการใช้งาน | 5 ปี |

| เครื่องจักร (ส่วนขยาย) ต่อ | |
|---|---|
| ค่าใช้จ่ายคงที่ | |
| ค่าเสื่อมราคาต่อคันต่อเดือน | 7,000 บาท / คัน / เดือน |
| ค่าบำรุงรักษาต่อเดือน | 1,000 บาท / คัน / เดือน |
| ค่าใช้จ่ายสำหรับรถตรวจงาน | 8,000 บาท / เดือน |
| | |
| ราคารถตัก | 30,000,000 บาท / คัน |
| ราคาซาก | 9,000,000 บาท / คัน |
| อายุการใช้งาน | 10 ปี |
| ค่าเสื่อมราคาต่อคันต่อเดือน | 175,000 บาท / คัน / เดือน |
| ค่าบำรุงรักษาต่อเดือนต่อคัน | 140,000 บาท / คัน / เดือน |
| ค่าใช้จ่ายสำหรับรถตัก | 945,000 บาท / เดือน |
| | |
| ราคารถบรรทุก | 16,000,000 บาท / คัน |
| ราคาซาก | 4,800,000 บาท / คัน |
| อายุการใช้งาน | 10 ปี |
| ค่าเสื่อมราคาต่อคันต่อเดือน | 93,333.33 บาท / คัน / เดือน |
| ค่าบำรุงรักษาต่อเดือนต่อคัน | 160,000 บาท / คัน / เดือน |
| ค่าใช้จ่ายสำหรับรถบรรทุก | 2,280,000 บาท / เดือน |
| | |
| ค่ารถ Bull Dozer สำหรับดันกองหิน (เหมาจ่าย) | 240,000 บาท / เดือน |
| ค่ารถ Motor Grader ปรับผิวถนน (เหมาจ่าย) | 12,000 บาท / เดือน |
| ค่ารถน้ำ (เหมาจ่าย) | 10,000 บาท / เดือน |
| ค่า Breaker (เหมาจ่าย) | 200,000 บาท / เดือน |
| รวม | 462,000 บาท / เดือน |

| ค่าใช้จ่ายผันแปร | |
|---|---|
| ราคาน้ำมันต่อลิตร | 12.9 บาท / ลิตร |
| ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่รถตักใช้ต่อชั่วโมง | 80 ลิตร / ชั่วโมง |
| ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงรถตักต่อคันต่อวัน | 8,256 บาท / วัน |
| ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงรถตักต่อคันต่อเดือน | 206,400 บาท / เดือน |
| รวมค่าน้ำมันเชื้อเพลิงรถตักต่อเดือน | 619,200 บาท / เดือน |
| ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงรถบรรทุกใช้ต่อชั่วโมง | 55 ลิตร / ชั่วโมง |
| ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงรถบรรทุกต่อคันต่อวัน | 5,676 บาท / วัน |
| ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงรถบรรทุกต่อคันต่อเดือน | 141,900 บาท / เดือน |
| รวมค่าน้ำมันเชื้อเพลิงรถบรรทุกต่อเดือน | 1,277,100 บาท / เดือน |
| รวม | 1,896,300 บาท / เดือน |

| สรุปค่าใช้จ่าย | |
|---|---|
| รวมค่าใช้ในการตักและขน | 6,048,300 บาท / เดือน |
| ค่าใช้จ่ายในการตักและขน | 11.52 บาท / ตัน |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ตารางที่ 6.12 ค่าใช้จ่ายจริงในการเจาะหลุมระเบิดในเหมืองหินเปิดขนาดเล็กถึงปานกลาง

ตารางที่ 6.12.1 รูปแบบเชิงเรขาคณิตหน้าระเบิดและงานเจาะ

| | |
|---|---|
| กำลังการผลิต | 81,000 ตัน / เดือน |
| ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะ | 3 นิ้ว |
| ระยะห่างระหว่างแถวหน้าระเบิด (B) | 2 เมตร |
| ระยะห่างระหว่างรูเจาะ (S) | 3 เมตร |
| จำนวนรูที่เจาะต่อวัน | 30 หลุม / วัน |
| จำนวนวันที่เจาะต่อเดือน | 25 วัน / เดือน |
| ความสูงของหน้างาน | 8 เมตร |
| ความลึกของหลุมเจาะ | 9 เมตร |
| ความถ่วงจำเพาะของหิน | 2.5 |
| ประสิทธิภาพของงานเจาะกับระเบิด | 90 เปอร์เซ็นต์ |

ตารางที่ 6.12.2 พนักงาน + เครื่องจักรกล (ส่วนเจาะ)

| พนักงาน | |
|---|---|
| ค่าใช้จ่ายคงที่ | |
| เงินเดือนผู้บริหาร | 20,000 บาท |
| เงินเดือนพนักงานบัญชีและธุรการ (รวม) | 8,000 บาท |
| เงินเดือนพนักงานซ่อมบำรุงหรือตรวจสอบการซ่อมบำรุง (รวม) | 45,000 บาท |
| ค่าไฟฟ้าสำนักงาน | 4,500 บาท |
| ค่าจ้างพนักงานรักษาความปลอดภัย | 15,000 บาท |
| เงินเดือนพนักงานขับรถเจาะต่อคน | 10,000 บาท / คน |
| จำนวนรถเจาะที่ใช้ | 2 คัน |
| จำนวนพนักงานขับรถต่อรถหนึ่งคัน | 2 คน |
| จำนวนพนักงานขับรถเจาะทั้งหมด | 4 คน |
| รวมเงินเดือนพนักงานขับรถเจาะ | 40,000 บาท |
| เงินเดือนวิศวกรและหัวหน้าคนงาน | 15,000 บาท |
| รวม พนักงานทุกส่วน (เจาะ + ระเบิด) | 132,500 บาท / เดือน |
| ค่าใช้จ่ายผันแปร | |
| ค่าจ้างผู้รับเหมาเจาะ | – บาท / เดือน |
| เครื่องจักรกล : รถเจาะ | |
| ค่าใช้จ่ายคงที่ | |
| ราคารถเจาะ | 4,850,000 บาท |
| อายุการใช้งานรถเจาะ | 10 ปี |
| ราคาซาก (รถเจาะ) | 1,212,500 บาท |
| ค่าเสื่อมราคารถเจาะต่อคัน | 32,312.5 บาท / เดือน |
| ค่าเสื่อมราคารถเจาะ (รวม) | 60,625 บาท |

ตารางที่ 6.12.2 พนักงาน + เครื่องจักรกล (ส่วนเจาะ) (ต่อ)

| ค่าใช้จ่ายผันแปร | |
|---|---|
| ปริมาณน้ำมันที่ใช้ต่อคันต่อวัน | 200 ลิตร / วัน |
| จำนวนวันที่เจาะต่อเดือน | 25 วัน / เดือน |
| จำนวนชั่วโมงที่เจาะ | 8 ชั่วโมง / วัน |
| ราคาน้ำมันต่อลิตร | 13.24 บาท / ลิตร |
| ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงต่อเดือน | 132,400 บาท / เดือน |
| น้ำมันเครื่อง | 28 ลิตร / คัน / ครั้ง |
| อายุการใช้งาน | 200 ชั่วโมง |
| ราคาน้ำมันเครื่องต่อลิตร | 50 บาท / ลิตร |
| ค่าน้ำมันเครื่องต่อเดือน | 2,800 บาท / เดือน |
| ราคาดอกเจาะ | 6,500 บาท |
| อายุการใช้งานดอกเจาะ | 3 เดือน |
| ค่าเสื่อมราคาดอกเจาะต่อเดือน | 2,166.67 บาท |
| ค่าแรงผู้รับเหมาซ่อมบำรุงรถเจาะต่อเดือน | – บาท / คัน / เดือน |
| ค่าน้ำมันไฮดรอลิกของรถเจาะต่อเดือน | 2,250 บาท / คัน / เดือน |
| ค่าน้ำมันหล่อลื่นรถเจาะ | 24,000 บาท / คัน / เดือน |
| ค่าเสื่อมสภาพสายไฮดรอลิกต่อเดือน | 1,750 บาท / คัน / เดือน |
| ค่าเสื่อมสภาพโซ่แทรกของรถเจาะต่อเดือน | – บาท / คัน / เดือน |
| ค่าเสื่อมสภาพก้านเจาะต่อเดือน | 10,833.33 บาท / คัน / เดือน |
| ค่าเสื่อมสภาพ แร็งค์ต่อเดือน | 1,583.33 บาท / คัน / เดือน |
| ค่าเสื่อมสภาพปลอกก้านเจาะต่อเดือน | 4,166.67 บาท / คัน / เดือน |
| ค่าเสื่อมสภาพกรองอากาศ | 1,333.33 บาท / คัน / เดือน |
| ค่าเสื่อมสภาพ กรองน้ำมันเชื้อเพลิง น้ำมันไฮโดรลิก น้ำมันเกียร์ | 1,233.33 บาท / คัน / เดือน |
| ค่าเสื่อมสภาพของอุปกรณ์อื่นๆ ของรถเจาะ | – บาท / คัน / เดือน |
| ค่าเสื่อมสภาพหัวเจาะและก้านเจาะ Jack Hammer | 500 บาท / คัน / เดือน |
| ค่าใช้จ่ายบำรุงรักษาต่อเดือน | 95,300 บาท / เดือน |
| ราคารถกะบะสำหรับตรวจงานเจาะและระเบิด | 570,000 บาท / คัน |
| จำนวนรถกะบะสำหรับตรวจงานเจาะและระเบิด | 1 คัน |
| ราคาซาก (รถกระบะ) | 100,000 บาท / คัน |
| อายุการใช้งาน | 5 ปี |
| ค่าบำรุงรักษาต่อเดือน | 6,500 บาท / คัน / เดือน |
| ค่าใช้จ่ายสำหรับรถตรวจงาน | 12,833.33 บาท / เดือน |
| ค่าใช้จ่ายในการเจาะ 1 หลุม | 6.42 บาท / หลุม |

# ตารางที่ 6.13 ค่าใช้จ่ายจริงในการระเบิดในเหมืองหินเปิดขนาดเล็กถึงปานกลาง

ตารางที่ 6.13.1 รูปแบบเชิงเรขาคณิตหน้าระเบิดและงานเจาะ

| | | |
|---|---|---|
| กำลังการผลิต | 81,000 | ตัน / เดือน |
| ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะ | 3 | นิ้ว |
| ระยะห่างระหว่างแถวหน้าระเบิด (B) | 2 | เมตร |
| ระยะห่างระหว่างรูเจาะ (S) | 3 | เมตร |
| จำนวนรูที่เจาะต่อวัน | 30 | หลุม / วัน |
| จำนวนวันที่เจาะต่อเดือน | 25 | วัน / เดือน |
| ความสูงของหน้างาน | 8 | เมตร |
| ความลึกของหลุมเจาะ | 9 | เมตร |
| ความถ่วงจำเพาะของหิน | 2.5 | |
| ประสิทธิภาพของงานเจาะกับระเบิด | 90 | เปอร์เซ็นต์ |

ตารางที่ 6.13.2 พนักงาน + เครื่องจักรกล (ส่วนระเบิด)

| พนักงาน (ส่วนระเบิด) | | |
|---|---|---|
| ค่าใช้จ่ายคงที่ | | |
| เงินเดือนหัวหน้าแผนกเจาะระเบิด | — | บาท |
| จำนวนหัวหน้าคนงานระเบิด | — | คน |
| เงินเดือนหัวหน้าคนงานระเบิด | — | บาท / คน |
| จำนวนพนักงานระเบิด | — | คน |
| เงินเดือนพนักงานระเบิด | — | บาท / คน |
| รวมเงินเดือนแผนกระเบิด (รวมอยู่ในส่วนเจาะแล้ว) | — | บาท |
| ค่าใช้จ่ายผันแปร | | |
| จำนวนลูกจ้างรายวัน | — | คน |
| ค่าแรงต่อคนต่อวัน | — | บาท / คน |
| ค่าจ้างแรงงานระเบิดต่อเดือน (รวมอยู่ในส่วนเจาะแล้ว) | — | บาท / เดือน |
| เครื่องจักร / วัตถุระเบิด | | |
| ค่าใช้จ่ายคงที่ | | |
| รถบรรจุระเบิด | 500,000 | บาท / คัน |
| อายุการใช้งาน | 5 | ปี |

ตารางที่ 6.13.2 พนักงาน + เครื่องจักรกล (ส่วนระเบิด) (ต่อ)

| เครื่องจักร / วัตถุระเบิด (ต่อ) | | |
|---|---|---|
| ค่าใช้จ่ายคงที่ | | |
| ราคาซาก | 125,000 | บาท |
| ค่าบำรุงรักษาต่อเดือน | 6,000 | บาท / เดือน |
| ค่าเสื่อมราคารถบรรจุระเบิดต่อเดือน | 6,250 | บาท / เดือน |
| ค่าใช้จ่ายรถบรรจุระเบิดต่อเดือน | 12,250 | บาท / เดือน |
| เครื่องจักร / วัตถุระเบิด | | |
| ค่าใช้จ่ายผันแปร | | |
| ปริมาณ AN–FO ที่ใช้ต่อหลุม | 25 | กก. / หลุม |
| ปริมาณ AN–FO ที่ใช้ต่อครั้ง | 750 | กก. / ครั้ง |
| ปริมาณ AN–FO ที่ใช้ต่อเดือน | 18,750 | กก. / เดือน |
| ต้นทุนการผสม AN–FO ต่อกิโลกรัม | 15.20 | บาท / กก. |
| ค่าวัตถุระเบิด AN–FO ต่อเดือน | 285,000 | บาท / เดือน |
| ราคา Blasting Agent ต่อกิโลกรัม | 60 | บาท / กก. |
| ปริมาณ Blasting Agent ต่อหลุม | — | กก. / หลุม |
| ค่า Blasting Agent ต่อเดือน | — | บาท / เดือน |
| ราคา Dynamite ต่อกิโลกรัม | 88 | บาท / กก. |
| ปริมาณ Dynamite ต่อหลุม | 1 | กก. / หลุม |
| ปริมาณ Dynamite ต่อครั้ง | 30 | กก. / ครั้ง |
| ปริมาณ Dynamite ต่อเดือน | 750 | กก. / เดือน |
| ค่าวัตถุระเบิด Dynamite ต่อเดือน | 66,000 | บาท / เดือน |
| ราคาแก๊ปไฟฟ้าธรรมดาต่อดอก | 28 | บาท / ดอก |
| ค่าแก๊ปไฟฟ้าธรรมดาต่อเดือน | 21,000 | บาท / เดือน |
| ค่าวัสดุสิ้นเปลืองอื่นๆ | 2,000 | บาท / เดือน |
| รูปแบบการใช้งานในการระเบิดครั้งหนึ่ง | 450 | บาท / ตัน |

## ตารางที่ 6.14 ค่าใช้จ่ายในการขุดตักลำเลียงในเหมืองหินเปิดขนาดเล็กถึงปานกลาง

| รายละเอียดทั่วไป | |
|---|---|
| จำนวนรถตัก | 3 คัน |
| ระยะทางเฉลี่ยขาไป | 1.5 กม. |
| ระยะทางเฉลี่ยขากลับ | 1.5 กม. |
| อัตราเร็วเฉลี่ย | 40 กม. / ชม. |
| เวลาเดินทางขาไปและกลับ + เวลาตัก | 5.5 นาที |
| เวลารอเทและเวลาเท | 1 นาที |
| เวลารอรถตัก | 1 นาที |
| รอบการบรรทุก | 7.5 นาที |
| จำนวนรถบรรทุกต่อรถตัก 1 คัน | 4 คัน |
| จำนวนรถบรรทุกทั้งหมด | 12 คัน |
| ปริมาตร Bucket | — ลบ.ม. |
| 1 ลบ.ม.ของหิน (หลวม) หนัก | 1.50 ตัน |
| Bucket Capacity | — ตัน |
| Truck Capacity | 20 ตัน |
| ชั่วโมงการทำงาน | 8 ชั่วโมง |
| ประสิทธิภาพของงาน | 90 เปอร์เซนต์ |
| จำนวนหินที่ตักได้ | 2,560 ตัน / วัน |
| จำนวนวันทำงาน | 25 วัน / เดือน |
| **จำนวนหินที่ตักได้ต่อเดือน** | 64,000 ตัน / เดือน |

| พนักงานส่วนบุคคล | |
|---|---|
| ค่าใช้จ่ายคงที่ | |
| เงินเดือนวิศวกร | — บาท / เดือน |
| จำนวนหัวหน้าคนงาน | — คน |
| เงินเดือนหัวหน้าคนงาน | — บาท / คน |
| จำนวนคนขับรถตัก | 1 คน / คัน |
| เงินเดือนคนขับรถตัก | 9,000 บาท / เดือน |
| รวมเงินเดือนคนขับรถตัก | 27,000 บาท / เดือน |
| จำนวนคนขับรถบรรทุก | 1 คน / คัน |
| เงินเดือนคนขับรถบรรทุก | 8,000 บาท / เดือน |
| รวมเงินเดือนคนขับรถบรรทุก | 96,000 บาท / เดือน |
| **รวมเงินเดือน** | 123,000 บาท / เดือน |

| เครื่องจักร (ควบรถตัก) | |
|---|---|
| ค่าใช้จ่ายคงที่ | |
| ราคารถกะบะสำหรับตรวจงานเจาะและระเบิด | — บาท / คัน |
| จำนวนรถกะบะสำหรับตรวจงานเจาะและระ | — คัน |
| ราคาซาก | — บาท / คัน |
| อายุการใช้งาน | — ปี |

| เครื่องจักร (ควบรถตัก) ต่อ | |
|---|---|
| ค่าใช้จ่ายคงที่ | |
| ค่าเสื่อมราคาต่อคันต่อเดือน | — บาท / คัน / เดือน |
| ค่าบำรุงรักษาต่อเดือน | — บาท / คัน / เดือน |
| ค่าใช้จ่ายสำหรับรถตรวจงาน | — บาท / เดือน |
| | |
| ราคารถตัก | 3,400,000 บาท / คัน |
| ราคาซาก | 1,000,000 บาท / คัน |
| อายุการใช้งาน | 10 ปี |
| ค่าเสื่อมราคาต่อคันต่อเดือน | 20,000 บาท / คัน / เดือน |
| ค่าบำรุงรักษาต่อเดือนต่อคัน | 40,000 บาท / คัน / เดือน |
| ค่าใช้จ่ายสำหรับรถตัก | 180,000 บาท / เดือน |
| | |
| ราคารถบรรทุก | 1,700,000 บาท / คัน |
| ราคาซาก | 300,000 บาท / คัน |
| อายุการใช้งาน | 5 ปี |
| ค่าเสื่อมราคาต่อคันต่อเดือน | 2,333.33 บาท / คัน / เดือน |
| ค่าบำรุงรักษาต่อเดือนต่อคัน | 32,000 บาท / คัน / เดือน |
| ค่าใช้จ่ายสำหรับรถบรรทุก | 664,000 บาท / เดือน |
| | |
| ค่ารถ Bull Dozer สำหรับดันกองหิน (เหมาจ่าย) | 80,000 บาท / เดือน |
| ค่ารถ Motor Grader ปรับผิวถนน (เหมาจ่าย) | 65,000 บาท / เดือน |
| ค่ารถฉีดน้ำ (เหมาจ่าย) | 25,000 บาท / เดือน |
| ค่า Breaker (เหมาจ่าย) | 20,000 บาท / เดือน |
| รวม | 190,000 บาท / เดือน |

| ค่าใช้จ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง | |
|---|---|
| ราคาน้ำมันต่อลิตร | 13.24 บาท / ลิตร |
| ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่รถตักใช้ต่อวัน | 200 ลิตร / วัน |
| ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงรถตักต่อคันต่อวัน | 2,648 บาท / วัน |
| ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงรถตักต่อคันต่อเดือน | 60,200 บาท / เดือน |
| รวมค่าน้ำมันเชื้อเพลิงรถตักต่อเดือน | 198,600 บาท / เดือน |
| ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงรถบรรทุกใช้ต่อวัน | 90 ลิตร / วัน |
| ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงรถบรรทุกต่อคันต่อวัน | 1,191.6 บาท / วัน |
| ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงรถบรรทุกต่อคันต่อเดือน | 29,790 บาท / เดือน |
| รวมค่าน้ำมันเชื้อเพลิงรถบรรทุกต่อเดือน | 357,480 บาท / เดือน |
| **รวม** | 556,080 บาท / เดือน |

| | |
|---|---|
| รวมค่าใช้ในการตักและขน | 1,713,080 บาท / เดือน |
| ค่าใช้จ่ายในการตักและขน | 26.77 บาท / ตัน |

6.4.3 ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณค่าใช้จ่าย

สภาพของพื้นที่มีผลต่อการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ หากต่างพื้นที่ย่อมมีผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์แตกต่างกัน ดังนั้น การคำนวณค่าใช้จ่ายของการเจาะระเบิดในที่นี้จึงมีความแตกต่างจากการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการเจาะระเบิด ที่ระบุไว้ในบทที่ 5 ตัวแปรค่าใช้จ่ายที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ของพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย มีดังนี้

1. การเจาะหลุมของรูระเบิด

ค่าใช้จ่ายที่จัดเป็นตัวแปรที่สำคัญและใช้ในการคำนวณผลลัพธ์ค่าเจาะหลุม ได้แก่ รูปแบบเชิงเขาคณิตของงานเจาะ เงินเดือนกับค่าจ้างของพนักงานคนงาน (ส่วนเจาะ) ปริมาณของวัสดุสิ้นเปลือง น้ำมันเชื้อเพลิง อายุการใช้งานของเครื่องเจาะกับอุปกรณ์ ค่าของการเสื่อมสภาพกับค่าการบำรุงรักษาสำหรับเครื่องเจาะและอุปกรณ์ และปริมาณโดยน้ำหนักของหินที่ผลิตได้ต่อช่วงระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งเมื่อคำนวณเทียบกับค่าใช้จ่ายด้านอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ค่าใช้จ่ายในเรื่องสาธารณูปโภค จะสามารถหาผลลัพธ์ได้เป็นค่าใช้จ่ายในการเจาะ (บาท) ต่อน้ำหนักเป็นเมตริกตันของหินที่ผลิตจากการระเบิดเปิดหน้างานเพื่อพัฒนา ในระยะเวลาหนึ่ง (เดือน)

2. การระเบิดหินให้แตกหัก

ค่าใช้จ่ายที่จัดเป็นตัวแปรที่สำคัญและใช้ในการคำนวณผลลัพธ์ค่าระเบิดหิน ได้แก่ รูปแบบเชิงเขาคณิตของงานระเบิด เงินเดือนกับค่าจ้างของพนักงานคนงาน (ส่วนระเบิด) ปริมาณของวัสดุสิ้นเปลือง น้ำมันเชื้อเพลิง ค่าของการเสื่อมสภาพกับการบำรุงรักษาสำหรับอุปกรณ์ระเบิด ปริมาณของ AN-FO หรือ Blasting Agent ที่ผสมแล้ว ปริมาณไดนาไมต์กับแก๊ปไฟฟ้ากับวัสดุสิ้นเปลืองอื่นที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งปริมาณโดยน้ำหนักของหินที่ผลิตได้ต่อช่วงระยะเวลาหนึ่งจะสามารถหาผลลัพธ์ได้เป็นค่าใช้จ่ายในการระเบิด (บาท) ต่อตันของหินที่ผลิต ในระยะเวลาหนึ่ง (เดือน)

3. การขุดตักขนหินหน้าเหมืองกับการลำเลียงไปไม่บดย่อยหรือแหล่งที่ใช้

ค่าใช้จ่ายที่จัดเป็นตัวแปรที่สำคัญและใช้ในการคำนวณผลลัพธ์ค่าขุดตักลำเลียงหิน คือ จำนวนรถตัก รถบรรทุก ระยะทางโดยเฉลี่ย ปริมาตรของหินที่สามารถขนย้ายได้ จำนวนเที่ยวของการตัก จำนวนเที่ยวการขนย้ายลำเลียง เงินเดือนกับค่าจ้างพนักงานส่วนขนส่ง ปริมาณของวัสดุสิ้นเปลือง น้ำมันเชื้อเพลิง ค่าของการเสื่อมสภาพกับการบำรุงรักษาสำหรับเครื่องจักรกลกับอุปกรณ์ขนส่ง ค่าเหมาจ่ายในงานบางส่วน ปริมาณไดนาไมต์ เมื่อเทียบกับปริมาณโดยน้ำหนักของหินที่ขนย้ายลำเลียงได้ต่อช่วงระยะเวลาหนึ่ง จะหาผลลัพธ์ได้เป็นค่าใช้จ่ายในการตักและขน (บาท) ต่อตันหินที่ลำเลียงได้ ในระยะเวลาหนึ่ง (เดือน)

6.4.4 ผลการประเมินเศรษฐศาสตร์เชิงค่าใช้จ่ายของการขุดเจาะ

ในการวางแผนทั้งระบบของโครงการนี้ ได้แบ่งเศรษฐศาสตร์เชิงค่าใช้จ่ายของการขุดเจาะออกเป็น 3 ส่วนหลักได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการเจาะหลุม ค่าใช้จ่ายในการระเบิด และค่าใช้จ่ายในการขุดตักหินแตกหักแล้วลำเลียงไปยังโรงโม่หินหรือไปยังแหล่งก่อสร้าง

1. การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการเจาะหลุม

เครื่องจักรกลที่ใช้ในการเจาะรูของหลุมระเบิด สำหรับเหมืองขนาดใหญ่มีต้นทุนของค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อสูงกว่าเครื่องจักรกลสำหรับเหมืองขนาดเล็กถึงปานกลาง แต่เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์การเจาะ เครื่องเจาะขนาดใหญ่มีประสิทธิภาพของการเจาะที่ดีกว่า

ตัวอย่างที่เป็นข้อมูลดิบในภาคสนาม ที่ระบุค่าใช้จ่ายในการเจาะหลุมระเบิดของเหมืองเปิดหินปูนขนาดใหญ่ในตาราง 6.9 มีอัตราเฉลี่ยที่ 2.9 บาทต่อตัน (ไม่เฉพาะเจาะจงว่าเป็นเหมืองใดเหมืองหนึ่ง) ในขณะที่ค่าใช้จ่ายในการเจาะหลุมระเบิดของเหมืองเปิดหินปูนขนาดเล็กถึงปานกลางที่ระบุในตาราง 6.12 มีอัตราเฉลี่ยสูงกว่าที่ 5.42 บาทต่อตันอนึ่งมีการรวมเงินเดือนกับค่าจ้างของพนักงานส่วนการระเบิดไว้ในส่วนเจาะด้วย

2. การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการระเบิด

สำหรับเหมืองขนาดใหญ่ มีต้นทุนของค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อสูงกว่าเครื่องจักรกลของงานระเบิดสูงกว่าเหมืองขนาดเล็กถึงปานกลาง แต่เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ของการระเบิดหินหน้าเหมือง จะมีระดับอัตราเงินค่าใช้จ่ายงานระเบิดต่อน้ำหนักหินที่ได้ต่ำกว่า

ตัวอย่างที่เป็นข้อมูลดิบในภาคสนาม ที่ระบุค่าใช้จ่ายในการระเบิดของเหมืองเปิดหินปูนขนาดใหญ่ในตาราง 6.10 มีอัตราที่ 5.03 บาทต่อตัน ในขณะที่ค่าใช้จ่ายในการระเบิดของเหมืองเปิดหินปูนขนาดเล็กถึงปานกลางที่ระบุในตาราง 6.13 มีอัตราสูงกว่าที่ 4.77 บาทต่อตัน ทั้งนี้เป็นเพราะเงินเดือนกับค่าจ้างของส่วนระเบิดหินอยู่รวมกับส่วนเจาะหินแล้ว ไม่ได้นำมารวมไว้เป็นค่าใช้จ่ายในตารางนี้

ถ้าหากทดลองหารวมผลค่าใช้จ่าย ในการเจาะกับการระเบิดในเหมืองเปิดหินปูนขนาดใหญ่ พบว่า ผังหน้าตัดระเบิด ที่ค่า B x S = 6 x 7 ตร.เมตร มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยเท่ากับ 7.52 บาทต่อตัน ซึ่งเป็นค่าผลรวมที่ต่ำกว่าค่าใช้จ่ายในการเจาะกับการระเบิดในเหมืองเปิดหินปูนขนาดเล็กถึงปานกลาง กรณีผังหน้าตัดระเบิดที่ค่า B x S = 2 x 3 ตร.เมตร มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยเท่ากับ 10.19 บาทต่อตัน

ดังนั้นในภาพรวมแล้ว เมื่อเทียบกับปริมาณหินที่กำหนด ผลลัพธ์ของการเจาะกับการระเบิดของเหมืองเปิดขนาดใหญ่มีประสิทธิภาพสูงกว่า และเสียใช้ค่าจ่ายต่อปริมาณหินที่ผลิตน้อยกว่าเหมืองเปิดขนาดเล็กถึงปานกลาง แต่ต้นทุนในการจัดซื้อครั้งแรกจะสูงกว่า

3. การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการขุดตักหินและลำเลียง

เครื่องจักรกลที่ใช้ในการขุดตักกับลำเลียงหิน สำหรับเหมืองขนาดใหญ่มีต้นทุนของค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อสูงกว่าเครื่องจักรกลสำหรับเหมืองขนาดเล็กถึงปานกลาง แต่เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ของการขุดตักลำเลียงจากหน้าเหมืองไปยังโรงโม่หินหรือแหล่งก่อสร้าง จะมีระดับอัตราเงินค่าใช้จ่ายงานขุดเจาะลำเลียงต่อน้ำหนักหินที่ได้ต่ำกว่าเกือบ 2 เท่า

ตัวอย่างที่เป็นข้อมูลดิบในภาคสนาม ที่ระบุค่าใช้จ่ายในการขุดตักลำเลียงในเหมืองเปิดหินปูนขนาดใหญ่ที่ระบุในตาราง 6.11 มีอัตราที่ 11.52 บาทต่อตัน ในขณะที่ค่าใช้จ่ายในการขุดตักลำเลียงเหมืองเปิดหินปูนขนาดเล็กถึงปานกลาง ที่ระบุในตาราง 6.14 มีอัตราสูงกว่าที่ 26.77 บาทต่อตัน

การวิเคราะห์โดยภาพรวมเฉพาะในเรื่องการขุดตักหน้าเหมืองนั้น เครื่องจักรกลของเหมืองขนาดใหญ่สามารถตักหรือยกมวลสารได้ในอัตราที่สูง มีปริมาณมาก และรวดเร็วกว่าการใช้เครื่องจักรกลในเหมืองขนาดเล็กถึงปานกลาง แต่ก็มีข้อกำหนดว่า พื้นที่ในการขุดตักต้องเพียงพอให้รถตักขนขนาดใหญ่เข้าไปทำงานหน้าเหมืองได้ ซึ่งเหตุผลนี้ใช้ได้ดีกับการใช้รถบรรทุกขนส่งลำเลียงหิน ปริมาตรของรถบรรทุกในเหมืองขนาดใหญ่สามารถที่จะรองรับมวลหินที่แตกหักหน้างานได้มากกว่า ทำให้ลดจำนวนเที่ยวของการขนส่งลำเลียงให้น้อยลง (เมื่อเทียบปริมาตรหินเท่ากัน) กว่าการขนส่งลำเลียงในเหมืองหินขนาดเล็กถึงปานกลาง

ถ้าหากเปรียบเทียบโดยภาพรวม สำหรับค่าใช้จ่ายหลักทั้ง 3 ส่วน ได้แก่ การเจาะการระเบิด กับการขุดตักขนย้าย ได้ผลรวมค่าเฉลี่ยในเหมืองเปิดหินปูนขนาดใหญ่เท่ากับ 19.04 บาทต่อตัน ในขณะที่ค่าใช้จ่ายหลักทั้ง 3 ส่วนได้ผลรวมในเหมืองเปิดหินปูนขนาดเล็กถึงปานกลางเท่ากับ 36.96 บาทต่อตัน ซึ่งสูงกว่าถึง 1.94 เท่า ในเชิงตรรกศาสตร์ (logic) เป็นสิ่งที่มีโอกาสเป็นไปได้สูง เนื่องจากสภาพโดยรวมของเหมืองเปิดขนาดใหญ่มีการจัดเตรียมพื้นที่ให้รองรับกับเครื่องจักรกลกับอุปกรณ์ขนาดใหญ่ มีผลให้เกิดความมีสมรรถนะในการทำงานได้สูง หรือดีกว่าเหมืองเปิดขนาดเล็กถึงปานกลางที่มีพื้นที่จำกัด ทำให้ต้องใช้เครื่องจักรกลกับอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็ก

6.4.5 ค่าใช้จ่ายที่เหมาะที่สุดในการเจาะระเบิดและขนย้ายลำเลียง

งานการวิเคราะห์ข้อมูลค่าใช้จ่าย นอกจากแยกเปรียบเทียบแต่ละรายการให้ชัดเจนแล้ว ยังมีจุดประสงค์จะปรับปรุงงานเจาะ งานระเบิด งานขนส่งลำเลียง โดยให้มีความสัมพันธ์กันจนถึงระดับขั้นที่ได้ความเหมาะสมที่จุดพอดี ในกระบวนการทั้ง 3 ส่วนที่ต้องใช้พื้นที่หน้างานเดียวกัน ทั้งนี้ในการวางแผนวิศวกรหรือผู้ควบคุมงานเจาะระเบิดและงานขนย้ายลำเลียง อาจเลือกปรับเปลี่ยนรูปแบบการทำงาน 3 ส่วนนี้ เพื่อหาจุดเหมาะสมที่สุด

1. การเลือกปรับเปลี่ยนผังหน้าระเบิด

ถ้าหากกำหนดให้ค่ามิติเชิงเรขาคณิตของการเจาะระเบิดคงที่ ยกเว้นเพียง 2 ค่า ได้แก่ ค่าของระยะความหนาหน้าระเบิดซึ่งเป็นระยะห่างระหว่างแถว (ใช้พจน์ B แทน) กับค่าของระยะห่างระหว่างหลุมเจาะในแถว (ใช้พจน์ S แทน)

เมื่อทำการปรับผังหน้าตัดของหน้าระเบิด โดยที่ใช้การคำนวณที่มีสมมุติฐานจากค่าใช้จ่ายจริงในตาราง เช่น สำหรับเหมืองหินปูนขนาดใหญ่ ผังหน้าตัดซึ่งเป็นค่าจริง คือ B x S เท่ากับ 6 x 7 ตร.เมตร แล้วทดลองเปลี่ยนค่าเป็นค่าอื่นที่ใกล้อีก 6 รูปแบบที่มีระยะมิติใกล้เคียงกับค่าจริงนี้ เพื่อเป็นแนวทางในการคำนวณผลลัพธ์ค่าใช้จ่ายของแต่ละกรณี ที่เป็นค่าเจาะ ค่าระเบิด กับค่าขนส่ง (หน่วยทั้งหมดเป็น บาทต่อตัน)

ในทำนองเดียวกัน เมื่อทำการปรับผังหน้าตัดของหน้าระเบิด สำหรับเหมืองหินปูนขนาดเล็กถึงปานกลาง ผังหน้าตัดซึ่งเป็นค่าจริง คือ B x S เท่ากับ 2 x 3 ตร.เมตร เป็นฐานที่ใช้ในการคำนวณปรับเปลี่ยนค่าเป็นค่าอื่นที่ใกล้อีก 6 รูปแบบที่มีระยะมิติใกล้เคียงกับค่าใช้จ่ายจริงนี้ เพื่อหาค่าใช้จ่ายของแต่ละกรณี ที่เป็นค่าเจาะ ค่าระเบิด กับค่าขนส่ง

2. การเลือกใช้เปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพของงาน

ถ้าหากกำหนดให้ค่าประสิทธิภาพของการเจาะ การระเบิด กับการขุดตักขนย้ายเพื่อขนส่งหิน ในกรณีตั้งต้นที่เป็นค่าใช้จ่ายจริง เท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์ สำหรับทุกขนาดเหมือง ดังนั้นจึงได้กำหนดวิธีคำนวณค่าประสิทธิภาพตามแนวทางของการวิจัยโครงการนี้ ดังนี้

ก) จำนวนหลุมเจาะกับจำนวนปริมาณวัตถุระเบิด

การที่กำหนดให้กำลังการผลิตคงที่ เมื่อเปลี่ยนผังหน้าตัด จำนวนหลุมเจาะก็เปลี่ยน และจำนวนน้ำหนักวัตถุระเบิดที่ใช้เพื่อให้หินแตกหักต่อปริมาตรหินที่ผลิต ก็เปลี่ยนไป รวมทั้งการเพิ่มหรือลดเวลาการทำงาน มีผลต่อค่าจ้างกับอุปกรณ์สิ้นเปลืองด้วย

ดังนั้นตามสูตรเชิงประสบการณ์ที่ใช้ในการคำนวณการแตกหัก เช่น แบบจำลองของ Kuz and Ram ในหินชนิดเดียวกัน เมื่อเปลี่ยนผังหน้าระเบิด แต่ขนาดรูเจาะและความลึกของรูเจาะเท่ากัน ขนาดของหินที่แตกหักแปรผันโดยตรงกับน้ำหนักวัตถุระเบิดที่ใช้ ดังนั้นจึงสามารถหาค่าประสิทธิภาพของการเจาะระเบิดเมื่อปรับเปลี่ยนผัง โดยการเทียบอัตราส่วนกับค่าเริ่มต้นที่ 90 เปอร์เซ็นต์

ข) ขนาดของก้อนชิ้นส่วนหินกับการขุดตักลำเลียง

ค่าประสิทธิภาพของการขุดตักหินที่ก้อนเล็กจะตักได้ง่าย และจำนวนเที่ยวที่ใช้รถบรรทุกลำเลียงก็น้อยลง หินที่มีก้อนขนาดใหญ่ทำให้การขุดตักทำได้ยาก บางครั้งต้องใช้ breaker ช่วยทำให้แตกทำให้เสียเวลาในการทำงานเพิ่มและจำนวนเที่ยวที่ใช้รถบรรทุก

ก็เพิ่มขึ้น ดังนั้นการคำนวณค่าประสิทธิภาพของการขนส่ง จึงแปรผันโดยตรงกับประสิทธิภาพของการเจาะระเบิด ยิ่งเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของงานเจาะระเบิดต่ำ ค่าใช้จ่ายของการขนส่งก็สูงตามเป็นสัดส่วนโดยตรง

ค) ผลลัพธ์ของค่าเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของงาน

เมื่อทดลองหาประสิทธิภาพตามผังหน้าตัดของเหมืองที่แปรเปลี่ยนไป มีผลลัพธ์สำหรับแต่ละผังหน้าตัด เมื่อหาจากค่าเจาะ ค่าระเบิด กับค่าขนย้ายหิน ดังนี้

เหมืองขนาดใหญ่

- ผังหน้าตัด (ค่าใช้จ่ายจริง) 6 x 7 ตร.เมตร ประสิทธิภาพ 90 %
- ผังหน้าตัด (ค่าใช้จ่ายสมมุติ) 5 x 6 ตร.เมตร ประสิทธิภาพ 95 %
- ผังหน้าตัด (ค่าใช้จ่ายสมมุติ) 5 x 7 ตร.เมตร ประสิทธิภาพ 95 %
- ผังหน้าตัด (ค่าใช้จ่ายสมมุติ) 5.5 x 6.5 ตร.เมตร ประสิทธิภาพ 95 %
- ผังหน้าตัด (ค่าใช้จ่ายสมมุติ) 6 x 6 ตร.เมตร ประสิทธิภาพ 95 %
- ผังหน้าตัด (ค่าใช้จ่ายสมมุติ) 5.5 x 8 ตร.เมตร ประสิทธิภาพ 90 %
- ผังหน้าตัด (ค่าใช้จ่ายสมมุติ) 6 x 8 ตร.เมตร ประสิทธิภาพ 75 %

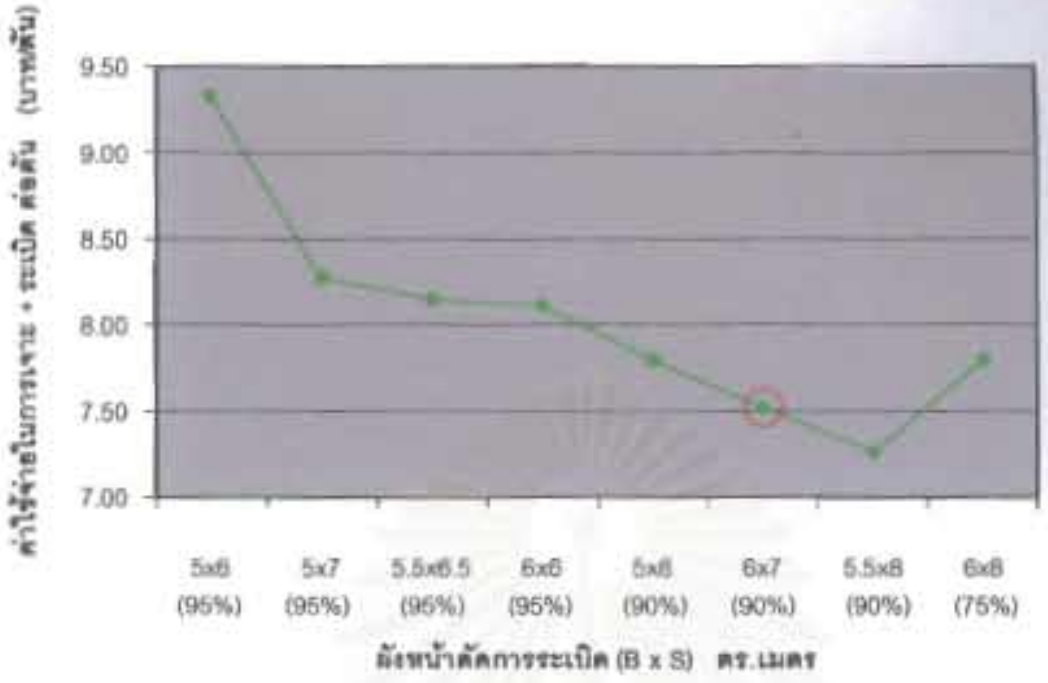
เหมืองขนาดเล็กถึงปานกลาง

- ผังหน้าตัด (ค่าใช้จ่ายจริง) 2 x 3 ตร.เมตร ประสิทธิภาพ 90 %
- ผังหน้าตัด (ค่าใช้จ่ายสมมุติ) 1.5 x 1.8 ตร.เมตร ประสิทธิภาพ 95 %
- ผังหน้าตัด (ค่าใช้จ่ายสมมุติ) 2 x 2 ตร.เมตร ประสิทธิภาพ 95 %
- ผังหน้าตัด (ค่าใช้จ่ายสมมุติ) 2 x 3.5 ตร.เมตร ประสิทธิภาพ 85 %
- ผังหน้าตัด (ค่าใช้จ่ายสมมุติ) 3 x 3 ตร.เมตร ประสิทธิภาพ 80 %
- ผังหน้าตัด (ค่าใช้จ่ายสมมุติ) 3 x 3.5 ตร.เมตร ประสิทธิภาพ 75 %
- ผังหน้าตัด (ค่าใช้จ่ายสมมุติ) 3.3 x 3.5 ตร.เมตร ประสิทธิภาพ 60 %

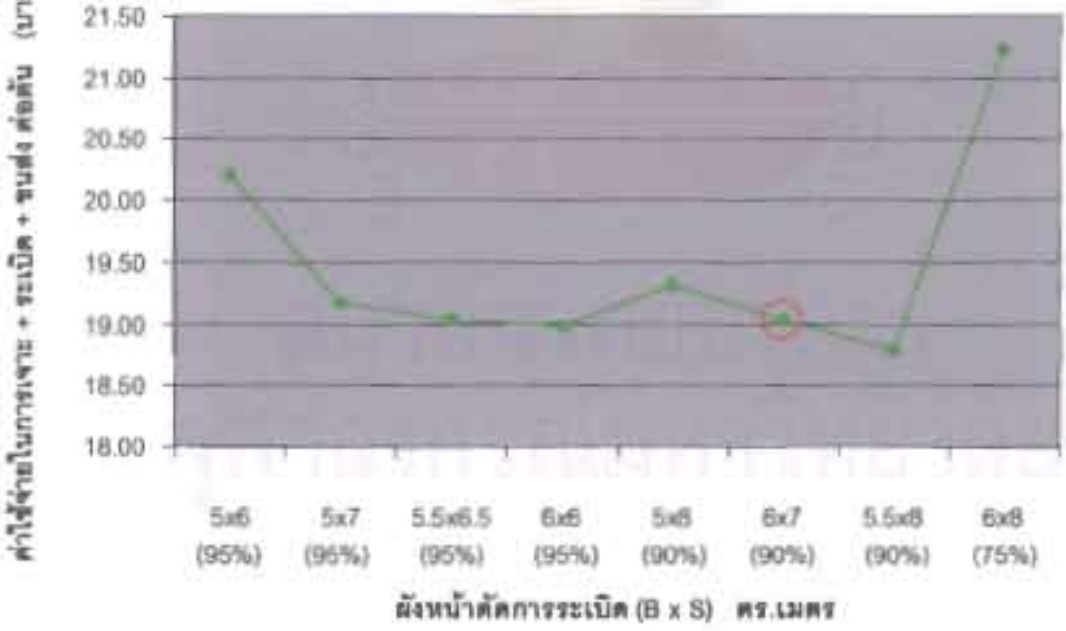
ง) การหาค่าเหมาะที่สุดในงานขุดเจาะใช้วัตถุระเบิด

เมื่อได้ปรับรูปแบบ คำนวณค่าใช้จ่ายในการทำงานแต่ละส่วน พร้อมทั้งกำหนดค่าประสิทธิภาพของงานตามผังหน้าตัด ผู้วิจัยได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดในการขุดเจาะ ตามรูปกราฟที่พล็อตในรูปที่ 6.13 ถึง 6.16 ดังนี้

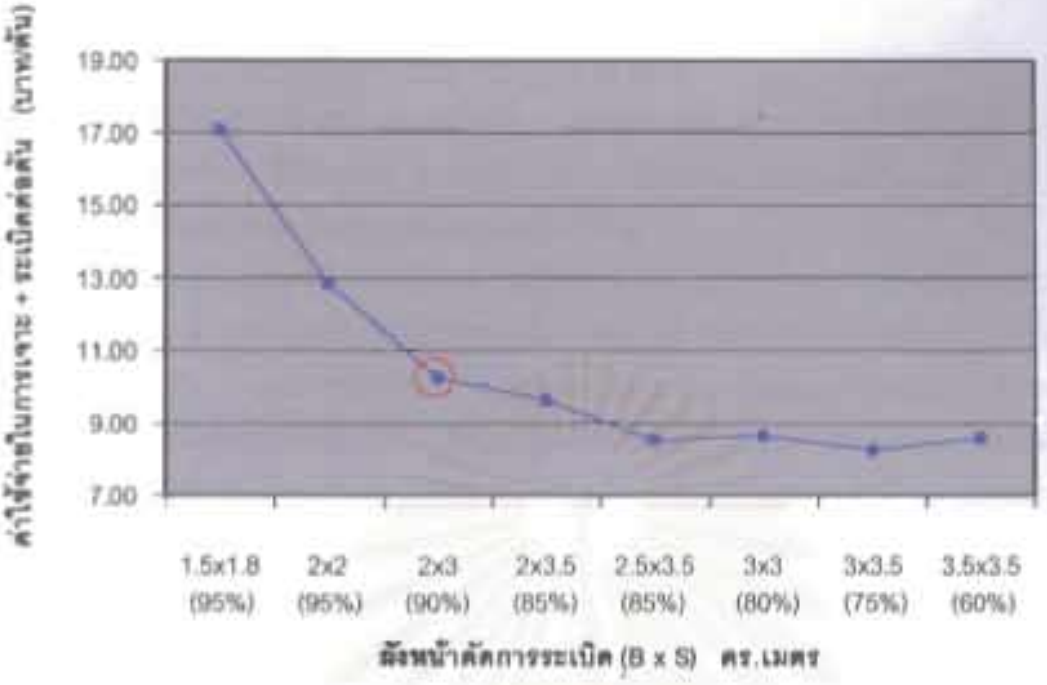
- เหมืองเปิดขนาดใหญ่ ผังหน้าตัดที่เหมาะที่สุด คือ B x S = 5.5 x 8 ตร.ม.
- เหมืองเปิดขนาดเล็กถึงปานกลาง ผังหน้าตัดที่เหมาะที่สุด คือ B x S = 2.5 x 3.5 ตร.ม.



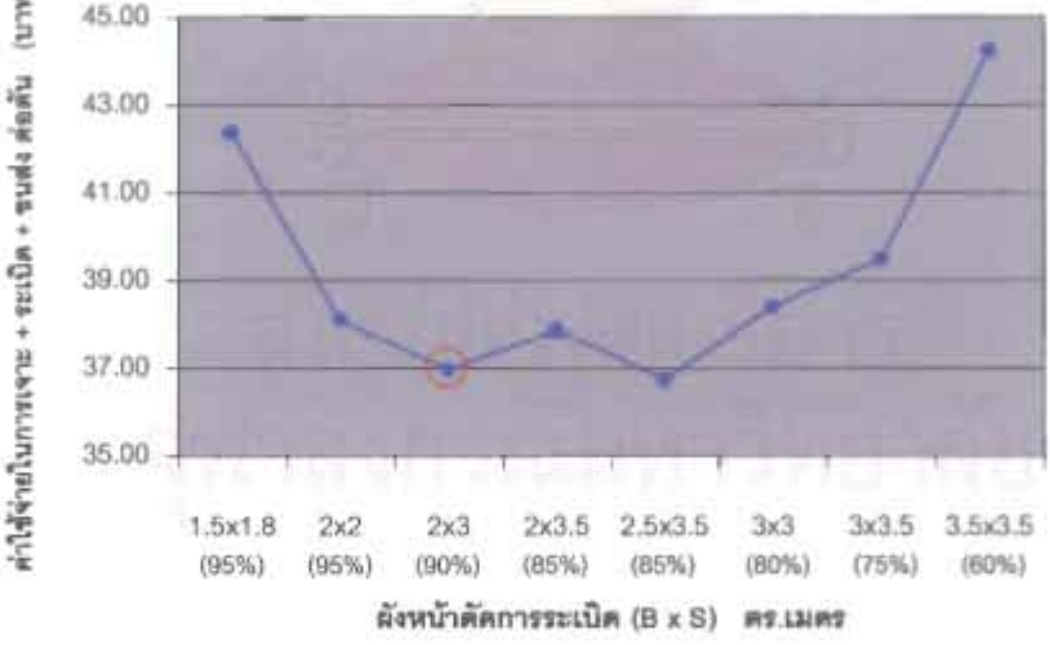

รูปที่ 6.13 การหาค่าที่เหมาะที่สุด ในการวางแผนสำหรับผังหน้าระเบิดเหมืองหินปูนขนาดใหญ่ ตัวเลขแนวตั้งคือค่าเจาะกับค่าระเบิด ส่วนตัวเลขแนวนอน คือ รูปแบบผังหน้าตัด กับค่าเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของงาน จุดที่มีวงกลมล้อมรอบเป็นค่าใช้จ่ายจริง




รูปที่ 6.14 การหาค่าที่เหมาะที่สุด ในการวางแผนสำหรับผังหน้าระเบิดเหมืองหินปูนขนาดใหญ่ ใช้แนวทางเดียวกับรูปข้างบน แต่มีค่าการขนส่งรวมอยู่ด้วย จุดที่มีวงกลมล้อมรอบเป็นค่าใช้จ่ายจริง




รูปที่ 6.15 การหาค่าที่เหมาะที่สุด ในการวางแผนสำหรับฝังหน้าระเบิดเหมืองหินปูนขนาดเล็ก ตัวเลขแนวตั้งคือค่าเจาะกับค่าระเบิด ส่วนตัวเลขแนวนอน คือ รูปแบบฝังหน้าตัด กับค่าเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของงาน จุดที่มีวงกลมล้อมรอบเป็นค่าใช้จ่ายจริง




รูปที่ 6.16 การหาค่าที่เหมาะที่สุด ในการวางแผนสำหรับฝังหน้าระเบิดเหมืองหินปูนขนาดเล็ก ใช้แนวทางเดียวกับรูปข้างบน แต่มีค่าการขนส่งรวมอยู่ด้วย จุดที่มีวงกลมล้อมรอบเป็นค่าใช้จ่ายจริง

จ) <u>การหาผลลัพธ์ขั้นสุดท้ายของค่าความเหมาะสม</u>

ผลลัพธ์ของผังหน้าตัดที่เหมาะที่สุดนั้น ควรพิจารณาให้รอบคอบเพื่อให้ใช้ได้กับงานการขุดเจาะต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ทั้งในเรื่องประสิทธิภาพในการทำงานหน้าเหมือง กับในเรื่องความเหมาะสมพอดีกับการบดย่อยของโรงโม่หิน

กรณีเหมืองเปิดหินปูนขนาดใหญ่ ค่าใช้จ่ายในการเจาะกับระเบิดสำหรับผังหน้าตัดแบบ 5.5 x 8 ตร.เมตร ได้ค่าต่ำสุด และเมื่อรวมค่าการขนส่งเข้าไปด้วยก็ได้ผลลัพธ์ทำนองเดียวกัน แต่ถ้าคำนวณขนาดของหินแตกหักและเหมาะสมกับปากโม่แล้ว มีความใกล้เคียงกับขนาดของหินที่แตกหักจากการใช้ผังหน้าตัดแบบ 6 x 7 ตร.เมตร ดังนั้นค่าของผลลัพธ์สุดท้ายน่าจะเป็นได้ 2 กรณี คือใช้ผังหน้าตัดทั้ง 2 แบบดังกล่าว ตามแต่สภาพลักษณะภูมิประเทศกับธรณีวิทยาที่เอื้ออำนวย

กรณีเหมืองเปิดหินปูนขนาดเล็กถึงปานกลาง ค่าใช้จ่ายในการเจาะกับระเบิดสำหรับผังหน้าตัดแบบ 2.5 x 3.5 ตร.เมตร ไม่ได้ค่าต่ำสุด แต่ก็แตกต่างจากค่าต่ำสุดไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อรวมค่าการขนส่งเข้าไปด้วย ก็ได้ผลลัพธ์ผังหน้าตัดแบบ 2 x 3 ตร.เมตร มีค่าใกล้เคียง ในขณะที่ผังหน้าตัดอื่นจะมีความแตกต่างสูง ดังนั้นค่าของผลลัพธ์สุดท้ายน่าจะเป็นได้ 2 กรณี คล้ายคลึงกับกรณีของเหมืองเปิดขนาดใหญ่ คือใช้ผังหน้าตัดทั้ง 2 แบบตามแต่สภาพลักษณะภูมิประเทศกับธรณีวิทยาที่เอื้ออำนวย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 7

# บทสรุป
# แนวทางการจัดการของการขุดเจาะ
# โดยใช้วัตถุระเบิด

การวางแผนทั้งระบบของการขุดเจาะ มีความเกี่ยวข้องกับการบริหารงานในองค์กรทั้งด้านบุคลากรกับเครื่องจักรกล การวางแผนการจัดเตรียมการงานใช้วัตถุระเบิดควรคำนึงถึงสวัสดิภาพของผู้ปฏิบัติงานที่ต้องให้มีบรรยากาศของความปลอดภัยในระดับสูง และเกิดความมั่นใจว่าจะมีผลกระทบของการขุดเจาะต่อสิ่งแวดล้อมเพียงเล็กน้อย ทั้งมีความคุ้มทุนเชิงเศรษฐศาสตร์ ควบคู่กับการบริหารให้เกิดประสิทธิภาพของงานขุดเจาะสูงสุดด้วย

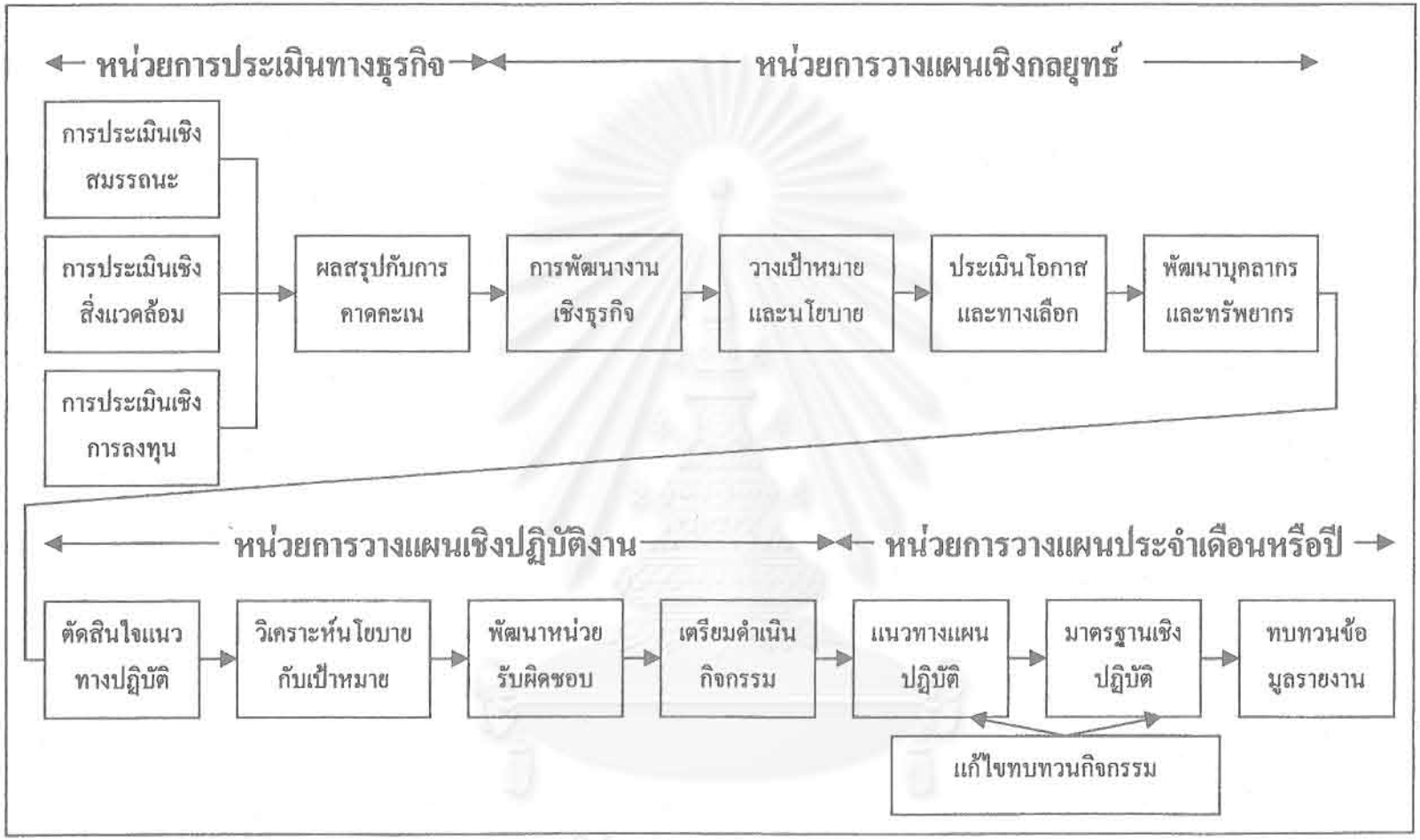
## 7.1 ระบบการจัดการในองค์กรที่มีการใช้วัตถุระเบิด

บุคลากรขององค์กรหรือบริษัทเป็นหัวใจของการจัดการ งานการขุดเจาะโดยการใช้วัตถุระเบิดต้องการผู้มีความรู้กับมีประสบการณ์สูงในการวางแผนกับการปฏิบัติงานภาคสนาม ผู้รับผิดชอบโครงการไม่อาจยินยอมให้มีความเสี่ยงของเหตุการณ์บางอย่างเกิดขึ้นได้ เช่น การใช้วัตถุระเบิดผิดวิธี ความประมาทในการเก็บรักษาวัตถุระเบิด ซึ่งอันตรายจากความผิดพลาดอาจมีผลต่อชีวิตหรือทรัพย์สินขององค์กรและมีผลกระทบต่อเนื่องสำหรับงานขั้นต่อไป

รูปแบบการวางแผนโดยภาพรวมในองค์กร เป็นองค์ประกอบส่วนหนึ่งในการบริหารงานขององค์กรธุรกิจ การวางแผนนี้จะให้ผลลัพธ์ที่ดีต้องมีการดำเนินการให้เสร็จสิ้น หรือมีการดำเนินงานอยู่ตลอดเวลาอย่างต่อเนื่อง จากรูปที่ 7.1 หน้าถัดไป ได้แสดงผังภูมิของการวางแผนโดยภาพรวมขององค์กรธุรกิจหนึ่ง (ในที่นี้สมมุติว่าเป็นบริษัทผลิตหินเพื่อการก่อสร้าง) ในการวางแผนโดยภาพรวม แบ่งหน่วยงานวางแผนเป็น 4 หน่วยหลัก ดังนี้

1. หน่วยการประเมินเชิงธุรกิจ

หน่วยงานนี้เป็นหน่วยงานกลางของการวางแผนมีหน้าที่ในการรวบรวมผลกับข้อมูลคิบพยากรณ์เหตุการณ์หรือความต้องการของตลาด ติดตามกลยุทธ์ของคู่แข่งทางการค้า ติดต่อกับประสานงานในหน่วยราชการและหาผู้ลงทุนในโครงการ ระบุตำแหน่งความรับผิดชอบของบุคลากร ประเมินการทำงานของบุคลากร ปรับลดหรือเพิ่มเงินเดือนกับค่าจ้าง




รูปที่ 7.1 พังภูมิของการบริหารงานเพื่อจัดการวางแผนในแต่ละหน่วยหลัก ทั้ง 4 หน่วย ในกรอบสี่เหลี่ยมเล็กเป็นกิจกรรมของการทำงาน

2. หน่วยการวางแผนเชิงกลยุทธ์

หน่วยงานนี้เป็นหน่วยงานที่ใช้ในการตัดสินใจวางแผนงานขนาดใหญ่ตามแต่ละสภาวะที่องค์กรได้รับโอกาส หรือมีการเพิ่มทรัพยากรทางบุคคลหรือทรัพย์สิน

3. หน่วยการวางแผนเชิงปฏิบัติงาน

แนวทางการวางแผนของหน่วยงานนี้เป็นหัวข้อวิจัยหลักสำหรับโครงการนี้ ส่วนใหญ่ของการวางแผนเป็นการเจาะลึกลงไปในระดับรายละเอียดของแต่ละหน่วยงานย่อย เช่น การวางแผนในหน่วยเจาะ หน่วยระเบิด หน่วยขนย้ายลำเลียง ที่เป็นทั้งในระดับขั้นการวางแผนระยะยาวกับระยะสั้น และมียังการกำหนดระยะเวลาในการปฏิบัติการที่แน่นอน

4. หน่วยการวางแผนประจำเดือนหรือปี

การวางแผนของหน่วยงานนี้เป็นของระดับผู้จัดการหรือหัวหน้าส่วนงานเชิงปฏิบัติการเพื่อมอบหมายกิจกรรมเฉพาะเรื่องให้อยู่ในความรับผิดชอบของบุคลากรกลุ่มใดทำงาน

## 7.2 หลักการวางแผนเชิงความปลอดภัยของการขุดเจาะ

การปฏิบัติงานเกี่ยวกับวัตถุระเบิด ถ้าหากผู้ปฏิบัติงานปฏิบัติงานผิดขั้นตอนมีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดอุบัติเหตุ จึงต้องมีการวางแผนที่ดีเพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้น

### 7.2.1 การวางแผนเชิงความปลอดภัยในงานเจาะ

เครื่องจักรกลที่เกี่ยวข้องกับงานเจาะ ได้แก่ เครื่องอัดอากาศ เครื่องเจาะแต่ละชนิด มีวิธีการป้องกันการเกิดอุบัติเหตุแตกต่างกันตามลักษณะการใช้งาน

1. ความมั่นคงมีเสถียรภาพของพื้นผิวที่ทำการเจาะ

ถ้าหากเจาะด้วยเครื่องเจาะขนาดเล็ก พื้นที่สำหรับคนงานที่ใช้เครื่องเจาะมือถือแบบแจ็คแฮมเมอร์ต้องยืนได้มั่นคงบนพื้นผิวภูมิประเทศ ถ้าหากไม่แน่ใจต้องใช้เชือกรัดเอวผูกติดกับต้นไม้ใหญ่ กรณีของเครื่องเจาะขนาดใหญ่ ฐานตั้งเครื่องเจาะกับเครื่องอัดอากาศต้องมั่นคง มีการปรับพื้นให้เรียบก่อน

2. การตรวจสอบสภาพเครื่องเจาะ

ควรมีการตรวจสอบข้อต่อท่อยางให้มีการยึดติดไม่สะบัดหลุดง่าย มีการป้องกันส่วนที่เคลื่อนไหวของเครื่องยนต์ให้อยู่ในสภาพปลอดภัย ระมัดระวังเวลาต่อหรือลดก้านเจาะ

7.2.2 การวางแผนเชิงความปลอดภัยในงานระเบิด

งานระเบิดหินเกี่ยวข้องโดยตรงกับความปลอดภัยในการใช้วัตถุระเบิด เริ่มตั้งแต่การเก็บรักษา การขนย้ายวัตถุระเบิด และการป้องกันอุบัติเหตุระหว่างปฏิบัติงาน

1. การเก็บรักษาและขนย้าย

สถานที่เก็บวัตถุระเบิดต้องอยู่ห่างจากที่ตั้งชุมชน โรงเรียน ไม่น้อยกว่า 100 เมตร และโดยรอบอาคารที่เก็บต้องไม่มีหญ้าแห้งหรือวัตถุเชื้อเพลิงแต่อย่างใดการเก็บรักษาตัวอาคารที่เก็บรักษาควรทำด้วยวัสดุทนไฟ พื้นอาคารทำด้วยไม้หรือคอนกรีต มีการระบายลมที่ดี และต้องไม่ตั้งอยู่ในทิศทางการระเบิดของหน้าเหมือง

ในการขนวัตถุระเบิดแต่ละครั้ง ห้ามขนเชื้อปะทุร่วมไปกับแท่งดินระเบิด และภายในยานพาหนะที่บรรทุกวัตถุระเบิดห้ามบรรทุกไลหะ เครื่องมือโลหะ น้ำมัน ไม้ขีดไฟ น้ำกรด หรือวัตถุติดไฟง่ายอื่น ห้ามผู้โดยสารที่ไม่มีหน้าที่เกี่ยวข้องโดยสารไปกับรถขนวัตถุระเบิด และห้ามสูบบุหรี่ขณะทำการขนย้ายวัตถุระเบิดในทุกกรณี ควรตรวจสอบอายุการใช้งานของวัตถุระเบิดก่อนว่าหมดอายุแล้วหรือยัง

รูปที่ 7.2 การออกแบบระเบิดหน้างานในเหมืองหินปูนขนาดใหญ่ ที่มีการใช้แก๊ปไฟฟ้าจังหวะถ่วง เพื่อให้มีการระเบิดแต่ละแถวไม่พร้อมกัน

2. การระเบิดเชิงควบคุมผล

ในการออกแบบผังหน้าระเบิด ควรใช้แก๊ปไฟฟ้าถ่วงจังหวะ เพราะนอกจากสามารถควบคุมการระเบิดในแต่ละแถวได้ดี (ดูรูปที่ 7.2 หน้า 156) ยังช่วยบังคับให้มวลสารมากองในตำแหน่งที่ต้องการ และลดการสะเทือนกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านอื่น

ในการประจุอัดวัตถุระเบิดให้ใช้ไม้เท่านั้น หลีกเลี่ยงการใช้วัตถุระเบิดใต้สายไฟฟ้าแรงสูง สายชนวนธรรมดาต้องมีความยาว ไม่ต่ำกว่า 1 เมตรจากปากรูระเบิด การขบหลอดเชื้อปะทุติดกับสายชนวนให้ใช้คีมที่ออกแบบมาเฉพาะ กับหลีกเลี่ยงการประจุอัดวัตถุระเบิดทิ้งไว้นานโดยไม่ทำการจุดระเบิด มีสถานที่กำบังระหว่างการจุดระเบิด เคลื่อนย้ายอุปกรณ์ รถเครื่องจักร เครื่องมือ ออกไปก่อนทำการระเบิด

ก่อนทำการจุดระเบิดให้มีการตรวจสอบระบบวงจรไฟฟ้า และให้สัญญาณเสียงเป็นอย่างน้อย 3 ครั้ง โดยเว้นระยะห่างพอสมควร ในขณะปฏิบัติการใด ๆ เกี่ยวกับวัตถุระเบิด ห้ามนำสิ่งที่มีกระแสไฟฟ้าเข้าใกล้ในบริเวณสถานที่ปฏิบัติงาน

7.2.3. การวางแผนเชิงความปลอดภัยในงานขุดตักขนย้ายหิน

การวางแผนเชิงความปลอดภัยของการขนย้าย แบ่งออกเป็นการปฏิบัติงานของรถตัก การปฏิบัติงานของรถบรรทุก และรางทิ้งหิน

ก่อนการทำงานผู้ขับรถตักควรมีการเตรียมตัวที่ดี และทำความเข้าใจกับสัญญาณกับข้อจำกัดในการทำงาน ตลอดจนตรวจสภาพของพื้นที่ในขณะปฏิบัติงานรวมทั้งทดสอบระบบการทำงานของเครื่องจักรกล เวลาตัก รถควรอยู่ในแนวระดับ อย่าตักหินให้เต็มปุ้งกี๋จนเกินไป ในขณะที่มีลมแรงให้บังคับการเทหินในมุมลาดต่ำ ในขณะบรรทุกดินหรือหินในปุ้งกี๋ ให้ยกปุ้งกี๋ในระดับต่ำใกล้พื้นดินมากที่สุด และวิ่งด้วยความเร็วเหมาะสม อย่าออกรถหรือหยุดรถกระทันหัน เมื่อจอดชั่วคราวควรใส่เบรกมือไว้ และลงจากรถตักเมื่อรถจอดสนิท

ในการใช้รถบรรทุกพนักงานขับรถต้องสวมใส่หมวก รองเท้า และคาดเข็มขัดนิรภัย ในการปฏิบัติงานก่อนใช้รถบรรทุก ผู้ขับต้องทำการตรวจสภาพรถให้อยู่ในสภาพปลอดภัย ในการขับรถต้องมีความสัมพันธ์ระหว่างการใช้เกียร์กับความเร็ว และจัดระยะให้พอเหมาะเมื่อตามหลังคันอื่น

หน้างานของบริเวณตักและขน ต้องมีขนาดกว้างพอสำหรับให้รถบรรทุกเลี้ยวกลับได้ และมีที่ว่างพอที่หลีกเลี่ยงการเดินหน้าถอยหลังของรถตัก ถนนที่ขนส่งหินหากมีความลาดชันเกินปกติ ให้ขับโดยใช้เกียร์ต่ำ

ในการใช้รางทิ้งหิน ควรกำหนดให้คนงานตรวจสอบสภาพเสาและสิ่งค้ำยันรางที่ต้องมั่นคงแข็งแรง และให้สัญญาณเป็นเสียงก่อนทิ้งหิน ให้หลีกเลี่ยงการไต่ขึ้นหรือลงทางรางทิ้งหิน ถ้าจำเป็นต้องจัดการกับหินที่กำลังค้างติดต้องมีผู้ช่วยเหลือคอยทำการสาวเชือกได้ในเวลาที่กองหินเกิดการไถลเลื่อน

## 7.3 หลักการในการวางแผนเชิงผลกระทบของการขุดเจาะ

เมื่อมีการเจาะกับการระเบิดเกิดขึ้น สิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ก็คือเกิดความสั่นสะเทือนจากเครื่องเจาะหรือคลื่นระเบิด กับเกิดความดังเสียงที่มาจากเครื่องเจาะหรือคลื่นระเบิด เกิดหินปลิวกระเด็นจากการระเบิด ระหว่างการขนย้ายหินอาจหล่นกับฝุ่นละอองฟุ้งกระจาย

### 7.3.1 การลดผลกระทบหน้างานระเบิด

การลดผลกระทบสำหรับหน้างานขุดเจาะที่ดีวิธีหนึ่ง ก็คือ การออกแบบตัดหน้าเหมืองให้มีระดับลดต่ำลงจากพื้นผิว (ดูรูปที่ 7.3 ข้างล่าง) เป็นขั้นบันไดเวียนแบบก้นหอย ซึ่งยังช่วยทำให้ทัศนียภาพของการมองจากด้านนอกดีขึ้นด้วย ผลกระทบในเรื่องการสั่นสะเทือนกับความดังเสียงกับหินปลิวจะถูกจำกัดให้อยู่ภายในบ่อเหมืองเปิด (open pit) และฝุ่นละอองจากการระเบิด ก็จะไม่ถูกพัดพาไปไกล

รูปที่ 7.3 การเปิดหน้าเหมืองโดยให้มีระดับลดต่ำลงจากพื้นผิว เพื่อช่วยให้เกิดทัศนียภาพของการมองดีขึ้น และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ถ่ายที่หน้าเหมืองบริษัทปูนซีเมนต์นครหลวง จ. สระบุรี

ถ้าหากต้องการระบุค่าของการสั่นสะเทือนกับค่าความดังเสียง เป็นตัวเลขที่สามารถบันทึกผลเป็นหลักฐานเพื่อการตรวจสอบได้ ก็ต้องใช้เครื่องตรวจวัดการสั่นสะเทือนจาก

ค่าความเร็วของอนุภาคกับความถี่ รวมทั้งวัดระดับความดังเสียงผ่านไมโครโฟน ถ้าหากไม่มีเครื่องมือในการตรวจวัดการสั่นสะเทือนและความดังเสียง ก็ใช้สูตรเชิงประสบการณ์ในการคำนวณค่าตัวแปรผลกระทบ เพื่อป้องกันไม่ให้เกินขีดจำกัดที่เป็นอันตรายได้ วิธีการป้องกันที่ดีที่สุดของผลกระทบในการระเบิด คือ การจำกัดปริมาณวัตถุระเบิดตามสัดส่วนของระยะทางที่ห่างจากจุดระเบิด ซึ่งใช้ได้ดีกับกรณีหินปลิวกระเด็นด้วย

7.3.2 <u>การลดผลกระทบในการขนส่ง</u>

เมื่อมีการขนย้ายหินอาจเกิดหินหล่นใส่ถนนเมื่อรถบรรทุกวิ่งผ่าน การป้องกันผลกระทบต้องให้คนขับปิดท้ายรถเวลาบรรทุกเสมอ และระวังในการขับทางโค้งหรือทางใกล้หน้าผาให้ชะลอความเร็วรถเพื่อป้องกันการไถลเลื่อนและหินตกใส่ อย่าบรรทุกหินจนเกินระดับขอบข้างหลังรถบรรทุก และควรทำเหล็กกั้นเพิ่ม และการทำคันทางโค้งนูนบนผิวถนนก็ช่วยจำกัดความเร็วรถได้ในระดับหนึ่ง

การวางแผนเชิงผลกระทบฝุ่น เมื่อมีการขนย้ายหินหน้าเหมืองไปยังบริเวณภายในขอบเขตของเหมือง หรือบริเวณนอกเหมืองที่ต้องบรรทุกหินส่งไปยังโรงบดย่อย ถ้าเลี่ยงการใช้รถบรรทุกขนหินมาใช้ระบบสายพานลำเลียงช่วยลดผลกระทบของฝุ่นไปได้มาก วิธีการพรมน้ำบนถนนเป็นวิธีการที่เสียค่าใช้จ่ายน้อยหากมีบ่อหรือแอ่งน้ำอยู่ใกล้บริเวณ การทำถนนให้มีการบดอัดได้มาตรฐานหรือลาดผิวหน้าถนนด้วยยางแอสฟัลต์หรือทำเป็นถนนคอนกรีตช่วยลดมลพิษฝุ่นได้ในระยะยาว การปลูกต้นไม้ริมทางช่วยลดฝุ่น กับทัศนียภาพสวยงามขึ้น

การจัดการวัสดุที่ไม่ต้องการไปทิ้ง อาจก่อให้เกิดการปิดกั้นทางเดินน้ำเดิม หรือไปทำให้แหล่งน้ำเดิมที่ดีกลายเป็นเสียไป การออกแบบฟื้นฟูสภาพของหน้างานให้ควบคู่ไปกับการผลิตหินหน้างานตั้งแต่ก่อนลงมือปฏิบัติงาน จะเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการแก้ไขภายหลัง วิธีการที่นิยมคือการปรับพื้นในเรียบเป็นลานสำหรับทิ้งสิ่งของ หรือขุดเป็นบ่อขนาดใหญ่ จากนั้นปูพื้นด้วยวัสดุยางสังเคราะห์เมื่อนำวัสดุที่ไม่ต้องการมาทิ้ง แล้วไถปาดกลบด้วยดิน

## 7.4 <u>หลักการในการวางแผนเชิงเศรษฐศาสตร์</u>

การวางแผนงานแยกออกเป็น 2 ประเภทงาน ได้แก่ งานผลิตสินแร่สำหรับการทำเหมืองแร่ กับการผลิตหินสำหรับงานก่อสร้างหรือเป็นวัตถุดิบทำซีเมนต์

7.4.1 <u>ความคุ้มทุนในงานเหมืองแร่</u>

แหล่งแร่ทั้งของสินแร่โลหะกับสินแร่อโลหะ รายรับหลักเป็นมูลค่ากับเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของสินแร่ชนิดนั้น ดังนั้นเมื่อสามารถทราบปริมาณสำรองที่สามารถทำการผลิตแร่ได้

ก็สามารถคำนวณมูลค่าเป็นหน่วยสกุลเงินต่อเมตริกตันเป็นตัวเลขรายรับหลักการเปิดเหมือง สภาพเชิงธรณีวิทยาแหล่งแร่ เช่นการวางตัวสายหรือความหนาชั้นสินแร่ เป็นสิ่งที่กำหนดสภาพความยากง่ายในการทำเหมือง ถ้าหากจำเป็นต้องมีการทำเหมืองบนผิวดินสลับกับการทำเหมืองใต้ดิน ค่าใช้จ่ายยิ่งสูงกว่าการทำเหมืองบนผิวดิน หรือการเหมืองใต้ดินเพียงอย่างเดียว เพราะอาจต้องใช้เครื่องเจาะกับวัตถุระเบิดต่างชนิดกัน

เหมืองแร่ที่มีมูลค่าแร่ต่อตันต่ำ และไม่สามารถเปิดหน้างานด้วยเครื่องจักรกลแบบง่ายได้ มีความเสี่ยงสูงต่อการลงทุน อาจเป็นปัจจัยหลักที่ตัดสินใจไม่เปิดดำเนินการก็ได้ ในทำนองเดียวกัน การกำเนิดของสินแร่บางชนิดเมื่อผลิตได้จากหน้าเหมืองแล้ว ยังต้องผ่านกระบวนการแยกแร่กับแต่งหรือถลุงแร่อีกก็มีผลกระทบต่อการตัดสินใจสูง ค่าใช้จ่ายในส่วนหลังนี้อาจสูงเกิน 3 เท่าของการเจาะกับการระเบิด

ระยะเวลาการผลิตสินแร่จากหน้าเหมือง เป็นตัวแปรสำคัญอย่างหนึ่งในการตัดสินใจ ในระยะแรกแหล่งแร่อาจมีเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์สูง แต่เมื่อช่วงเวลาการผลิตผ่านไประยะหนึ่งหรือในระดับลึกใต้พื้นผิว แหล่งแร่อาจมีเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ต่ำ ค่าใช้จ่ายในการผลิตแร่ต่อตันอาจจะใกล้เคียงกับจุดคุ้มทุน

7.4.2 <u>ความคุ้มทุนในงานผลิตหินเชิงเหมืองแร่และโยธา</u>

การออกแบบหน้าระเบิดในเหมืองหินมีความสม่ำเสมอมากกว่าในงานโยธา เพราะส่วนใหญ่ลักษณะของการวางตัวชั้นหินมีความแปรผันน้อย และการเดินหน้างานระเบิดในเหมืองหินจะคงที่มากกว่างานทางโยธา

องค์ประกอบหลักที่มีผลโดยตรงต่อค่าใช้จ่าย ได้แก่ ความหนาของชั้นหินเพราะต้องให้ความสูงของตะพักเหมาะกับความหนาของชั้นด้วย ถ้าชั้นหินมีความหนาไม่สม่ำเสมอ (คล้ายกับการกำเนิดสายแร่) การทำงานก็เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ชนิดของหินกับความแข็งเชิงทนต่อการสึกกร่อน ก็มีผลโดยตรงต่อการเจาะหลุม หรือมีผลต่อการเลือกชนิดของเครื่องเจาะ และชนิดของหินก็ยังมีอิทธิพลต่อการอัดบรรจุระเบิดในหลุมเจาะอีกด้วย หินแข็งจำเป็นต้องใช้ปริมาณวัตถุระเบิดสูงกว่าหินอ่อนนุ่ม

หินมีรอยแตกแยกมากน้อย ก็มีผลต่อประสิทธิภาพการเจาะกับการระเบิด ขนาดของหน้างานถ้ามีขนาดใหญ่ความจำเป็นในเรื่องใช้เครื่องจักรกลขนาดใหญ่ก็ตามมา

ความต้องการของตลาดที่ใช้หินก่อสร้างในงานทำถนน ทำเขื่อน ผสมทำคอนกรีต เป็นตัวกำหนดให้ราคาซื้อขายในท้องถิ่นแปรเปลี่ยนไป จากราคาดังกล่าว จะมีความคุ้มทุนหรือไม่ ผู้วางแผนงานต้องนำไปหาผลลัพธ์ระหว่างรายรับกับรายจ่าย เพื่อนำไปเป็นข้อมูลเพื่อการพิจารณาระดับการวางแผนเชิงกลยุทธ์ก่อนเริ่มดำเนินงาน

อนึ่งค่าใช้จ่ายเฉพาะกิจการ บางทีก็ก่อให้เกิดผลกระทบต่อโครงการทั้งโครงการ เช่นในพื้นที่ของเหมืองหินหรือการตัดไหล่ทางทำถนนบางแห่ง มีปริมาณของน้ำฝนกับระดับน้ำ

ใต้ดินรบกวนการปฏิบัติงานทำให้หน่วงเหนี่ยวทำให้การเดินหน้าเหมืองล่าช้ากว่ากำหนดด้วย การเจาะหลุมของรูระเบิดต้องเสียเวลาสูบน้ำออก และต้องใช้วัตถุระเบิดใต้น้ำที่มีราคาแพงหาซื้อยาก สายชนวนจุดระเบิดเป็นประเภทไม่มีไฟฟ้า ทำให้เสียค่าใช้จ่ายสูง

กรณีของการระเบิดเพื่อควบคุม สำหรับหน้าเหมืองที่ตั้งใกล้กับชุมชนก็มีค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากต้องใช้วัตถุระเบิดแต่ละครั้งในจำนวนจำกัด การระเบิดจึงต้องทำหลายครั้ง

## 7.5 ผลสรุปของหลักการที่สำคัญในการวางแผนทั้งระบบ

ความปลอดภัยจากงานขุดเจาะโดยใช้วัตถุระเบิดเป็นสิ่งที่ผู้ปฏิบัติงานต้องยึดถือเป็นข้อกำหนดในเบื้องต้น แต่การวางแผนที่ดีทำให้หน่วยงานทุกส่วนมีความสัมพันธ์กัน จะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการพัฒนาหน้างานได้มาก

สภาพของภูมิประเทศกับธรณีวิทยามีความเสี่ยง (risk) ในการปฏิบัติงานแตกต่างกันไป สภาพหน้างานที่มวลหินมีเนื้อแน่น ระดับน้ำใต้ดินต่ำกว่าพื้นเหมือง ไม่มีสายแร่แทรก (แคลไซต์, ควอรตซ์) หรือชั้นดินเหนียวบาง ๆ แทรก ย่อมมีความสะดวก ปลอดภัย และเสียค่าใช้จ่ายในการขุดเจาะต่ำกว่า หน้าเหมืองที่มีรอยแตกรอยแยกในหินสูง หรือมีสายแร่หรือสายชั้นดินแทรก

ผลสรุปของการวางแผนทั้งระบบก็คือ จุดเหมาะสมพอดีของการจัดการ ในกรณีของผู้ประกอบการที่เน้นถึงความคุ้มทุน แต่ในขณะเดียวกันก็ไม่สามารถจะละเลย ไม่รักษาเรื่องความปลอดภัยกับผลกระทบ เพราะหากปล่อยให้เกิดอุบัติเหตุแล้วมักมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าการป้องกันไว้ก่อนล่วงหน้า สำหรับกรณีผู้ได้รับผลกระทบ การเร่งรัดหรือเรียกร้องจนเกินขอบเขตที่กฎหมายกำหนด มีผลต่อความล่าช้าและทำให้โครงการไม่บรรลุเป้าหมายได้ก่อให้เกิดผลเสียทางด้านเศรษฐกิจ สุดท้ายกรณีของหน่วยงานที่ควบคุมก็ต้องทำความเข้าใจทั้งสองฝ่าย รวมทั้งคำนึงถึงการออกกฎเกณฑ์ต้องปฏิบัติได้จริงในภาคสนามด้วยจึงจะสัมฤทธิผล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บรรณานุกรม

1. กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม (2538)
เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่อง "ระเบียบปฏิบัติเกี่ยวกับการทำเหมืองหิน" จำนวน 27 หน้า และ ภาคผนวก 6 รายการ

2. กองการเหมืองแร่ กรมทรัพยากรธรณี (2541)
"มาตรการการป้องกันผลกระทบจากการใช้วัตถุระเบิด ในงานเหมืองแร่และเหมืองหินในประเทศไทย" สิงหาคม 2541 กรมทรัพยากรธรณี จำนวน 108 หน้า

3. กองแผนที่ กรมแผนที่ทหาร (2512)
แผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1: 50,000 ระวาง 5049 IV กรมแผนที่ทหาร กระทรวงกลาโหม

4. กองสำรวจและจำแนกดิน กรมพัฒนาที่ดิน (2535)
"รายงานการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อปลูกพืชเศรษฐกิจ จังหวัดเชียงราย" เอกสารวิชาการเล่มที่ 226 โครงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ตามแผนการใช้ที่ดิน กระทรงเกษตรและสหกรณ์ จำนวน 132 หน้า

5. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ กับ กรมทรัพยากรธรณี (2539)
"การทำเหมืองแบบขั้นบันได" เอกสารการอบรมระยะสั้น รุ่นที่ 1 3-5 มิถุนายน 2539 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จำนวน 7 บท กับ 2 ภาคผนวก

6. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ กับ กรมทรัพยากรธรณี (2540)
"การจัดการหน้าเหมืองและโรงไม่หิน" เอกสารการอบรมเหมืองหิน ครั้งที่ 2 28-30 พฤษภาคม 2540 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จำนวน 10 บท

7. ฝ่ายวางแผนและบริหารเหมืองแม่เมาะ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2538)
"การวางแผนทำเหมือง" มกราคม 2538 แผนกแผนปฏิบัติการ กองวางแผนปฏิบัติการ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย จำนวน 7 บท

8. ฝ่ายสวัสดิภาพการทำเหมือง กองการเหมืองแร่ กรมทรัพยากรธรณี (2525)
"พื้นฐานความปลอดภัย การทำเหมืองแร่" กรมทรัพยากรธรณี จำนวน 2 บท

9. ภิญโญ มีชำนะ, วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์, วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, สง่า ตั้งชวาล (2542)
"โครงการศึกษาวิจัยการจัดการสิ่งแวดล้อม เพื่อแก้ไขปัญหามลพิษจากฝุ่นในพื้นที่เหมืองหินและโรงไม่หิน บริเวณตำบลหน้าพระลาน และบริเวณใกล้เคียงจังหวัดสระบุรี" รายงานฉบับสมบูรณ์ เมษายน 2542 แหล่งเงินทุนวิจัยภายนอก กองการเหมืองแร่ กรมทรัพยากรธรณี จำนวน 8 บท

10. สง่า ตั้งชวาล และ ฉลับ ปัทมสูต (2539)
"ผลกระทบเนื่องจากความไม่ต่อเนื่องในหิน ที่มีต่อการระเบิดและการสั่นสะเทือน" รายงานฉบับสมบูรณ์ เงินทุนวิจัยงบประมาณแผ่นดิน ธันวาคม 2539 สถาบันวิจัยและพัฒนา คณะวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จำนวน 191 หน้า

11. สง่า ตั้งชวาล (2540)
"แบบจำลองการคาดคะเนของผลการระเบิดในเหมืองหิน เพื่อให้ได้การแตกหักที่เหมาะสมที่สุด" รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงงานวิจัยสิ่งประดิษฐ์ประเภทโปรแกรมคอมพิวเตอร์ พฤศจิกายน 2540 กองส่งเสริมและประสานงานวิจัย ฝ่ายวิจัย สำนักงานอธิการบดี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จำนวน 112 หน้า

12. สง่า ตั้งชวาล (2541)
"การระเบิดหินและผลกระทบ" สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จำนวน 220 หน้า

13. สง่า ตั้งชวาล, สุรพล ภู่วิจิตร, ภิญโญ มีชำนะ, สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย (2542)
"ผลกระทบอันเนื่องมาจากการใช้วัตถุระเบิด ในงานเหมืองแร่และเหมืองหิน" รายงานหลักฉบับสมบูรณ์ มีนาคม 2542 แหล่งเงินทุนวิจัยภายนอก กองการเหมืองแร่ กรมทรัพยากรธรณี จำนวน 176 หน้า

14. สง่า ตั้งชวาล, ชูเวช ชาญสง่าเวช, สุรพล ภู่วิจิตร, ภิญโญ มีชำนะ, สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย (2543)
"โครงการจัดทำแผนการจัดการผลิต และใช้หินอุตสาหกรรมเพื่อการก่อสร้าง" รายงานหลักฉบับสมบูรณ์ พฤษภาคม 2543 แหล่งเงินทุนวิจัยภายนอก กองการเหมืองแร่ กรมทรัพยากรธรณี จำนวน 223 หน้า

15. สง่า ตั้งชวาล (2543)

"ความน่าเชื่อถือในการออกแบบระเบิดหิน และควบคุมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม" รายงานฉบับสมบูรณ์ เงินทุนวิจัยงบประมาณแผ่นดิน มิถุนายน 2543 สถาบันวิจัยและพัฒนา คณะวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จำนวน 189 หน้า

16. สุนทร อริธชาติ (2536)

"Mountainous Terrain Problems," ในเอกสารเล่ม 5 ธรณีวิทยาในงานทางหลวง พ.ศ. 2508 - 2528" สิงหาคม 2536 บทความทางวิชาการ กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง หน้าที่ 156 - 191

17. สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (2541)

"รายงานสภาวะเศรษฐกิจไทยปี 2541 และแนวโน้มระยะปานกลาง" ธันวาคม 2541 กองวิเคราะห์และประมาณการเศรษฐกิจ สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ สำนักนายกรัฐมนตรี จำนวน 53 หน้า

18. สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง (2537)

"มาตรฐานงานทาง: Standards for Highway Construction" สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง จำนวน 420 หน้า

19. Adushkin, V.V., S.K. Kryndushkin and A.M. Tikhomirov (1987)

"Compressional Wave Behavior with Explosion of a Cylindrical Charge in a Solid Medium," Soviet Mining Science, Plenum Publishing Corporation, New York, Vol. 23, pp. 253 - 261.

20. Ash, R. I. (1963)

"The Mechanics of Rock Breakage," Pit and Quarry Journal, Vol. 56, Nos. 2-5, pp. 98-100, 112 (No.2); pp. 118-123 (No. 3); pp. 126-131 (No. 4); pp. 109-111, 114-118 (No. 5).

21. Ashby, J. P. (1980)

"Production Blasting and the Development of Open Pit Slopes," Proceedings of the Sixth Conference on Explosives and Blasting Technique, Annual Meeting - 1980, Tempa, Florida, Society of Explosives Engineers, pp. 291-331.

22. Badiozamani, K. (1992)

"Computer Methods," Chapter 8.4 in SME Mining Engineering Handbook: Second Edition, H.L. Hartman: Senior Editor, Volume 1.1, pp. 598 - 626.

23. Balachandran, M. (1993)

"Knowledge-Based Optimum Design," Topics in Engineering, Vol. 10, Edited by C.A. Brebbia and J. J. Connor, Computational Mechanics Publications, Southampton, U.K., 165 pp.

24. Bauer, A. and W. A. Crosby (1990)

"Blasting" Section 6.2.1 in Surface Mining: Second Edition, B.A. Kennedy: Editor, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., Volume 2, pp. 540 - 564.

25. Burkle, W.C. (1979)

"Geology and Its Effect on Blasting," Proceedings of the Fifth Conference on Explosives and Blasting Technique, Annual Meeting - 1979, St. Louis, Missouri, Society of Explosives Engineers, pp. 105-120.

26. Canada Centre for Mineral and Energy Technology (1977)

"Pit Slope Manual: Chapter 2 Structural Geology," CANMET Report No. 77-5, 123 pp.

27. Canada Centre for Mineral and Energy Technology (1977)

"Pit Slope Manual: Chapter 5 Design," CANMET Report No. 77-5, 126 pp.

28. Cox, S.J. and N.R.S. Tait (1991)

"Reliability, Safety and Risk Management: An Integrated Approach," Butterworth-Heinemann, Ltd., Oxford, 289 pp.

29. Cunningham, C.V.B. (1983)

"The Kuz-Ram Model for Prediction of Fragmentation from Blasting," Preprint, First International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, Sweden, Vol. 2, pp. 439-453.

30. Dick, R.A., L.A. Fletcher and Dennis V. D' Andrea (1973)

"A Study of Fragmentation from Bench Blasting in Limestone at a Reduced Scale," U.S. Bureau of Mines, Report of Investigation, No. 7704, 24 pp.

31. Dohm, G.C., Jr. (1992)

"Open Pit Feasibility Studies," Section 13.1.2 in SME Mining Engineering Handbook: Second Edition, H.L. Hartman: Senior Editor, Volume 2.1, pp. 1278 - 1297.

32. Dowding, C.H. (1996)

"Construction Vibrations," Prentice Hall, Inc., New Jersey, 610 pp.

33. Dowding, C.H., C. Fulthorpe and R.T. Langan (1982)

"Simultaneous Airblast and Ground Motion Response," Journal of Structural Division, ASCE, Vol. 108, No. ST 2, pp. 2363 - 2378.

34. Duvall, W.I. and D.E. Fogelson (1962)

"Review of criteria for Estimating Damage to Residences from Blasting Vibrations," U.S. Bureau of Mines: Report of Investigation, No. 5968, 19 pp.

35. Fisher, R. (1953)

"Dispersion on a Sphere," Proceedings, Royal Society of London, Series A: Mathematical and Physical Sciences, Vol. 217, pp. 295 - 305.

36. Hoek, E. and J.W. Bray (1981)
"Rock Slope Engineering: Revised Third Edition," The Institution of Mining and Metallurgy, London, 358 pp.

37. Hustrulid, W. and M. Kuchta (1995)
"Open Pit Mine Planning and Design," Volume 1: Fundamentals, A.A. Balkema, 636 pp.

38. Key, D. (1988)
"Earthquake Design Practice for Buildings," Thomas Telford, London, 218 pp.

39. Knezevic, J. (1993)
"Reliability, Maintainability and Supportability: A Probabilistic Approach," McGraw-Hill Book Co., London, 291 pp.

40. Konya, C.J. (1995)
"Blast Design," Intercontinental Development Corporation, Montville, Ohio, 230 pp.

41. Konya, C.J. and E.J. Walter (1991)
"Rock Blasting and Overbreak Control," U.S. Department of Transportation: National Highway Inst., Course No. 13211, 415 pp.

42. Kuznetsov, V.M. (1973)
"The Mean diameter of the Fragments formed by Blasting," Soviet Mining Science, Vol. 9, No. 2, pp. 144 - 148.

43. Lee, I.K., W. White, O.G. Ingles (1983)
"Geotechnical Engineering," Pitman, Boston, 508 pp.

44. Lundborg, N., A. Persson, A.L. Pedersen, R. Holmberg (1975)
"Keeping the Lid on Flyrock in Open-Pit Blasting," Engineering and Mining Journal, A McGraw-Hill Publication, May 1975, Vol. 176, No. 5, pp. 95 - 100.

45. Olofsson, S.O. (1990)

"Applied Explosives Technology for Construction and Mining: Second Edition," Nitro Nobel, Dyno Explosives Group, Applex Publisher, Sweden, 304 pp.

46. Patton, F.D. and D.U. Deere (1971)

"Geologic Factors Controlling Slope Stability in Open Pit Mines," in Stability in Open Pit Mining, Proceedings of the First International Conference on Stability in Open Pit Mining, Editors: C.O. Brawner and V. Milligan, Society of Mining Engineers, AIME, pp. 23 - 47.

47. Plewman, R.P. (1970)

"The Basic Economics of Open Pit Mining," in Planning Open Pit Mines, Proceedings of the Symposium on the Theoretical Background to the Planning of Open Pit Mines with Special Reference to Slope Stability, P.W.J. van Rensburg Editor, The South African Institute of Mining and Metallurgy, pp. 1 - 8.

48. Priest, S.D. (1985)

"Hemispherical Projection Methods in Rock Mechanics," George Allen & Unwin, Boston, 124 pp.

49. Priest, S.D. (1992)

"Discontinuity analysis for Rock Engineering," Chapman & Hall, London, 473 pp.

50. Rollins, R. R. and Shih-Wen Wang (1990)

"Fragmentation Prediction in Bench Blasting," Proceedings, Third International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, pp. 195-198.

51. Rosin, R. and E. Rammler (1933)

"Laws Governing Fineness of Powdered Coal," Journal, Institution of Fuels, Vol. 7, pp. 29-36.

52. Siskind,D.E.,V.J. Stachura, M.S. Stagg and J.W. Kopp (1980a)
"Structure Response and Damage Produced by Airblast from Surface Mining," U.S. Bureau of Mines: Report of Investigations, No. 8485, 111 pp.

53. Siskind, D.E.,M.S. Stagg, J.W. Kopp and C.H. Dowding (1980b)
"Structure Response and Damage Produced by Ground Vibration from Surface Mine Blasting," U.S. Bureau of Mines: Report of Investigations, No. 8507, 74 pp.

54. Sloan, D.A. (1983)
"Mine Management," Chapman and Hall, London, 495 pp.

55. Stermole, F.J. (1980)
"Economic Evaluation and Investment Decision Methods: Third Edition," Investment Evaluations Corporation, Golden, Colorado, 449 pp.

56. Tamrock (1992)
"Surface Drilling and Blasting," Tamrock Publication, Finland, 474 pp.

57. Tangchawal, S. (1995)
"Blasting Models in Open Pit," Proceedings of the International Conference on Geology, Geotechnology and Mineral Resources of Indochina, November 1995, L. Wannakao (Editor-in-Chief), Khon Kaen, Khon Kaen University, pp. 409-416.

58. Tangchawal, S. (1997)
"Vibration and Damage Control for Two Limestone Quarries in Thailand," Proceedings, International Symposium on Engineering Geology and the Environment, June 1997, Marinos, et al., Editors, Held in Athens, Greece, A.A. Balkema, Vol. 3, pp. 2543-2548.

59. Tangchawal, S. (1999)

"Assessment on Rock Blasting Impacts," Thailand Engineering Journal, Year 52, No. 11, November 1999, The Engineering Institute of Thailand Under H.M. The King's Patronage, pp. 69-74.

60. Thailand Fellowship of Cement Manufactures (1999)

"Document on Thailand Fellowship of Cement Manufactures: 1998" The Federation of Thai Industries, 28 pp.

61. U.S. Bureau of Mines (1979)

"A Model for the Determination of Flyrock Range as a Function of Shot Condition," Prepared by Management Science Associates, Los Altos, California, U.S. Bureau of Mines - Open File Report, No. 77-81, 88 pp.

62. Watson, G.S. (1966)

"The Statistics of Orientation Data," The Journal of Geology, The University of Chicago Press, Vol. 74, pp. 786 - 797.

63. White, T.E. and P. Robinson (1995)

"The Use of Explosives in Quarrying," The Institute of Quarrying, Nottingham, United Kingdom, 212 pp.

64. Whittle, J. (1990)

"Open Pit Optimization," Section 5.3 in Surface Mining: Second Edition, B.A. Kennedy: Editor, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., Vol. 1, pp. 470 - 475.