

국내 광산 기술을 적용한 카자흐스탄 광산 발파설계 제안

진연호¹⁾, 민형동¹⁾, 정민수¹⁾, 박윤석¹⁾, 허의행¹⁾, Murod Nurmatov¹⁾

Suggesting Blasting Design for Kazakhstan mine using Korea Mining Technology

Yeon-Ho Jin, Hyung-Dong Min, Min-Su Jeong,
Yoon-Suk Park, Eui-Haeng Heo, Murod Nurmatov

Abstract In this study, the information achieved from the visit to Kazakhmys mine in Kazakhstan was introduced. An optimal blasting pattern designed for the mine with the application of Korean blast technology was suggested. As a result, it was found that the blast design can reduce the consumption of explosives and the number of drill holes. The blast design can reduce the overall production cost in the mine.

Key words Blast pattern, Fragmentation, Production cost

초 록 본 연구에서는 중앙아시아에 위치한 카자흐스탄을 방문하여 Kazakhmys 광산을 소개하고 국내 발파 기술을 접목할 경우를 가정하여 최적의 발파 설계를 제안하고자 한다. 그 결과, 국내 발파 기술을 사용하더라도 카자흐스탄 광산에서 발생하는 화약 소모량과 친공수 등을 절감하여 최종적인 생산원가를 절감할 수 있는 발파 설계가 가능한 것을 알 수 있었다.

핵심어 발파패턴, 파쇄입도, 생산원가

1. 서 론

국내 부존자원의 한계에 따른 해외 자원개발의 필요성으로 인해 다수의 국내 업체가 해외 진출을 하거나 해외 진출을 모색하고 있다. 해외 광산의 경우 국내와 다른 발파 패턴과 지질학적 차이를 보이고 있어 발파 설계와 적용에 다소 시행착오를 겪는 경우가 많다. 또한, 해외 광산에 대한 국내 소개 자료가 부족하여 정보를 얻기 힘들어 국내 발파 기술자가 접근하기 어려운 현실이다. 따라서 본 논문에서는 2013년에 방문한 카자흐스탄의 광산과 현지에서 시행중인 발파

현황을 소개하고 국내 기술을 접목할 경우를 가정하여 최적 발파 패턴을 제안하고자 한다.

2. Kazakhmys 광산

카자흐스탄은 지리적으로 러시아와 중국에 인접한 유라시아 대륙의 중앙인 중앙아시아에 위치하고 있으며, 카자흐어를 주로 사용하지만 러시아어로 소통이 가능하다. 카자흐스탄은 석탄과 철광석 자원이 풍부하며 세계 9위의 석탄 생산국이다. 카자흐스탄은 최근 광산업을 국가 경제의 핵심 축으로 지정하고 정부의 적극 개입으로 세계적인 기업들에 대한 참여비율을 장려하고 있다. 이러한 카자흐스탄의 주요 광산업체 중에 카자흐스탄 최대의 구리 광산업체인 Kazakhmys社(카작무스사)를 방문하였다. Kazakhmys社는 세계 10대

¹⁾ (주)한화

* 교신저자 : jyh0924@hanwha.com

접수일 : 2014년 6월 9일

심사 완료일 : 2014년 6월 19일

게재 승인일 : 2014년 6월 26일

구리 생산업체이며 2011년 광물 채산량은 3천 3백만 톤에 이르고, 연간 구리 생산량은 카자흐스탄 전체 구리 생산량의 80%인 30여만톤이다. 현재 18개 광산을 운영중이며 금속류 광산의 경우 Zhezkazgan(재즈카즈간) 지역에 7개, 중부지역에 5개, 동부지역에 6개, 석탄광산은 2개이다. 저자 등은 2013년 8월에 7일간의 일정으로 Zhezkazgan 지역의 노천 및 지하광산의 발파 현장을 탐방하고 본 광산에서 요구한 발파 공정 중 화약량 절감을 위한 발파 패턴 제시 및 국내 화약류를 소개하였다.

Fig. 1은 카자흐스탄의 Zhezkazgan에 위치한 Kazakhmys 광산 주변을 나타내고 있다. 본 광산은 지구구조적으로 고생대 알타이드 조산대의 서남단에 위치하며, 광상들은 주로 석영맥형, 망상형, 그리고 스키타르형으로 구분된다(류와 서, 2007). Kazakhmys 광산의 주요 암석은 Strip층은 퇴적암인 이암이고 Ore층은 암록색의 사암이며 암석의 강도는 Protodyakonov 계수로 4~12 수준으로 이를 국내에서 사용하는 암석강도로 환산하면 약 400~1,200kg/cm²로 보통암이하 수준이었다(Khandelwal and Ranjith, 2010).

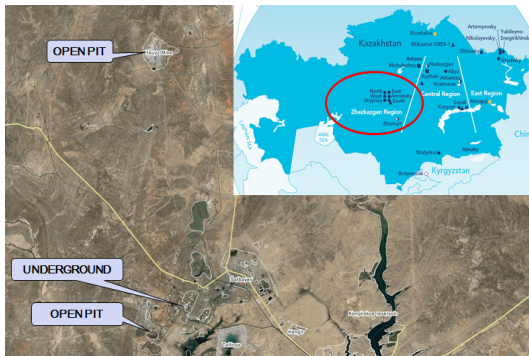


Fig. 1. Location of Kazakhmys Mine in Zhezkazgan, Kazakhstan.

2.1 노천 광산

본 노천 광산의 화약 소모량은 7,000~8,000MT/년 수준으로 발파 작업에 대해서는 카자흐스탄 회사인 Interrin에 외주를 주고 있다. 현재 사용중인 화약은 Interit 20(AN 80% + EM 20%)을 주장약으로 사용하고 기폭약으로 TNT 계열인 T-400을 사용중이며 비전기뇌관을 사용하여 작업하고 있다. 비장약량은 0.45~1.2kg/m³ 수준으로 Stripping층과 Ore층을 구분하여 발파를 시행하고 있으며 이곳에서의 대표 발파 패턴과 국내 석회석 광산의 패턴을 Table 1에 비교하였다(송영석 외, 2004; 권오성 외, 2004; 이천식 외, 2003). 광산의 전경은 Fig. 2와 같다.

국내 석회석광산과 비교해보면 램프웨이 형성 등 채굴 방식과 약 70도 경사의 벤치 형성은 유사하나, 76mm~102mm 천공경을 사용하는 국내와 달리 215mm 천공경을 사용하여 저항선과 공간격을 국내보다 더



Fig. 2. Showing of Open pit.

Table 1. Pattern of blasting

구 분	벤치높이(m)	천공경(mm)	천공장(m)	저항선(m)	공간격(m)	비장약량(kg/m ³)
카자흐스탄	15	215	17	6.5	7.5	0.75
국내 광산A	15	76	17	3.5	3.7	0.37
국내 광산B	15	89	17	3.3	3.5	0.32
국내 광산C	11	102	13	3.3	4.0	0.45
국내 광산D	15	102	16.5	4.1	5.1	0.40

Table 2. Blasting pattern of underground mine

구 분	심빼기	단면적(m ²)	천공경(mm)	천공장(m)	천공수(ea)	비장약량(kg/m ³)
카자흐스탄	Burn cut	65	51	3.8	52	1.37
국내 광산A	V cut	42	45	3.5	45	1.18
국내 광산B	Fan cut	42	45	3.5	42	0.94
국내 광산C	V cut	98	45	4.5	90	1.0
국내 광산D	V cut	84	65	3.0	37	0.66

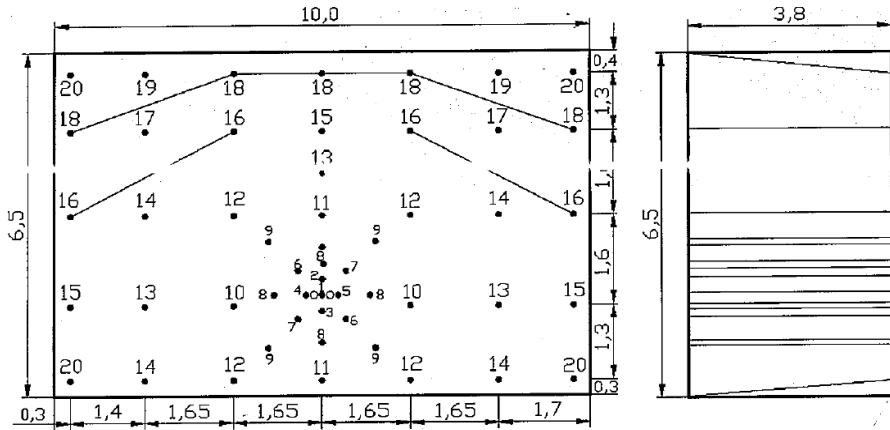


Fig. 3. Drilling pattern of underground mine.

길게 하고 있었고, 비장약량은 약 2배가량 높게 사용하고 있다. 또한, 당 현장에서는 운반 및 파쇄비용 관리를 위해 파쇄입도를 국내 석회석광산과 비슷한 수준인 50cm 이하로 관리하고 있었다.

2.2 지하 광산

본 지하 광산의 화약 소모량은 약 2,000MT/년 수준으로 현재 사용중인 화약은 Granulite A-6(AN 90% + AL 6% + Dissel oil 4%)를 주장약으로 사용하고 공기압 충전 방식으로 장약을 시행중이다. 또한, Ammonal 32mm를 기폭약으로 사용하며 비전기뇌관과 도폭선을 혼합 사용하고 있다. 비장약량은 0.56~3.15kg/m³ 수준으로 통갱과 채광용 굴진갱으로 구분하여 발파작업을 시행하고 채광은 Room & Pillar 방식을 사용하고 있다.

채광용 굴진갱의 발파 제원을 카자흐스탄과 국내 광산으로 구분하여 표시하면 Table 2와 같다(민형동 외, 2008; 양형식 외, 2012).

대표 발파 패턴과 광산 전경은 각각 Fig. 3과 Fig. 4와 같다. Fig. 3에서 도면의 폭과 넓이, 공간격의 거리



Fig. 4. Showing of Underground mine.

단위는 미터이고 발파공의 숫자는 기폭 순서이다.

국내 광산과 비교해보면 가장 많이 사용되는 채굴 방식인 Room & Pillar를 사용하는 것은 동일하며, 국내 지하 석회석 광산과 유사한 암질과 절리 분포를 가지고 있다. 다만 국내에서는 대부분 천공의 편이성과 원가절감을 위해 V cut을 심빼기로 사용하고 있으나, 당 현장의 경우 파쇄입도 조절을 위해 Burn cut을 사용하고 있다. 현지 광산 전문가에게 물어보니 경사 심

발 시공을 매우 어려워하고 있으며 과거에 시도하였으나 실패한 사례가 많아 평행 심발을 계속 사용하고 하였다. 또한, 드릴 비트 소모에 대해 문의한 결과 금속광 특성상 비트 마모도가 국내 석회석광산과 비교시 약 3배 이상이었다. 또한, 당 현장에서는 운반 및 파쇄비용 관리를 위해 파쇄입도를 30cm 이하로 관리하고 있었다.

3. 발파 패턴 제안

만약 당 현장에 국내에서 사용되는 화약류와 발파 기술을 적용하여 발파 패턴을 제시한다면 다음과 같이 제시할 수 있을 것이다. 우선 사용 화약류가 국내 제품과 상이하므로 현지에서 사용하는 폭약의 특성 조사가 필요하였으며 국내 석회석 광산에서 적용되는 폭약과 비교하여 발파 효율의 증대와 원가 절감이 가능한 발파 패턴을 제안하도록 하겠다.

3.1 노천 광산

노천 광산에서 사용할 수 있는 화약을 결정하기 위해 현지 패턴상의 공경과 천공장을 고려하여 국내 석회석 광산에서 사용되는 벌크 안포와 벌크 에멀전인

HiMEX 700을 검토하였으나, 실제 시공을 한다는 가정이 있으므로 현재의 원료 공급 등을 고려하면 Gassed 에멀전인 HiMEX 1000이 적합하다는 전문가 토의 결과를 바탕으로 HiMEX 1000으로 결정하고 이에 대해 검토를 하였다. Table 3에서 국내에서 생산되는 Bulk 화약을, Table 4에서는 Kazakhmys 광산에서 사용하는 화약의 성능과 위력을 표시한 것으로 이를 바탕으로 화약의 상대 위력을 Fig. 5와 같이 나타냈다. 발파 현장에서 경제성을 향상시키기 위해서는 천공수를 줄여 천공 비용의 절감과 천공수를 줄이더라도 적정 파쇄입도를 유지하기 위해서는 화약의 선택에서

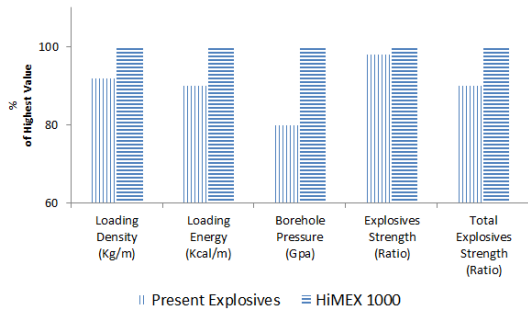


Fig. 5. Relative of explosives strength.

Table 3. Properties of Bulk explosives in Korea

폭약	EM : ANFO	내수성	비중 (g/cc)	폭속 (m/s)	반응열 (J/g)	@1,000atm for soft rock		@2,000atm for hard rock	
						RWS	RBS	RWS	RBS
ANFO	0:100	poor	0.90	3,000	100% (3,700)	100% (2,384)	100%	100% (2,102)	100%
Heavy ANFO	20:80	poor	1.10	3,400	96% (3,537)	104% (2,348)	127%	106% (2,238)	130%
30:70	short	1.18	3,500	93% (3,435)	104% (2,483)	136%	108% (2,265)	142%	
Pumped Blends	70:30	excellent	1.25 (1.20)	5,500 (5,800)	82% (3,019)	94% (2,251)	131%	98% (2,059)	136%
80:20	excellent	1.25 (1.20)	5,900 (5,900)	79% (2,919)	91% (2,178)	126%	95% (1,991)	132%	
Straight EMX	100:0	excellent	1.25 (1.20)	5,900 (6,200)	73% (2,710)	85% (2,025)	118%	88% (1,848)	122%

Table 4. Properties of explosives in Kazakhmys mine

폭약	내수성	비중(g/cc)	폭속(m/s)	반응열(J/g)	폭발열(°C)
Interit 20	poor	1.12	5,400	3,400	2,771

총 반응열 보다는 암석을 파괴하는데 이용될 수 있는 유효 에너지가 높은 화약류를 고려해야 한다. 암석을 파괴하는데 순수하게 이용되는 유효 에너지는 Table 3에 나타난 RAWS(relative available weight strength)와 RABS(relative available bulk strength)로 평가하는 것이 타당하다(정천채, 2000; 민형동 외 2007). Table 3에서는 RAWS와 RABS를 암석이 파괴되기 시작하는 임계 압력이 1,000 기압일 때와 2,000 기압일 때로 나누어 나타내었다. 암석의 종류나 암석의 물리적 구조, 지질적 결함 등에 따라 실제 발파에서 암석이 파괴되기 시작하는 압력은 다양하지만(Table 5) 암석 내부의 자세한 정보도 얻기 어려우므로 간단한 접근 방법으로써 중경암일 때는 2,000 기압을, 연암일 때는 1,000 기압을, 다공성 암질일 때는 500 기압을 암석이 파괴되기 시작하는 임계 압력으로 선정하여 공당 유효 에너지를 비교하여도 만족할 만한 결과를 얻을 수 있다(정천채, 2000).

ANFO에 에멀전을 첨가할수록 단위 중량당 반응열은 꾸준히 감소하는 반면, 단위 중량당 유효 에너지로 볼 수 있는 RAWS와 공당 유효 에너지로 볼 수 있는 RABS는 Heavy ANFO 영역에서는 증가하여 40~50%에서 최대가 된 후 Pumped Blends 영역에서 다

시 감소하게 된다. 이런 현상은 Heavy ANFO 영역에서는 에멀전 함량이 여전히 적으므로 Blends 전체적으로 물 함량이 적어 에너지 손실은 적은 반면 에멀전 첨가에 의한 폭속 증가로 폭발압력이 높아져 임계 압력까지 팽창하면서 일을 하는 유효 에너지가 상대적으로 더 커지기 때문이다. 즉, 유효에너지의 증가는 암석을 파괴하는 일을 할 수 있는 에너지의 발생 효율이 ANFO보다는 우수하다는 것을 의미한다. 이러한 경향은 암석의 강도가 높아 파괴 임계 압력이 커지면 더욱 뚜렷하게 나타나 극경암에서는 단위 중량당 유효 에너지가 ANFO보다 커질 수 있다는 점을 시사한다.

Fig. 5에서는 장전 비중, 에너지, 공내 압력, 화약 강도 등 4가지로 구분하여 수치적 계산된 값을 비교한 결과 현지 화약과 비교할 경우, HiMEX 1000의 화약 위력이 100일 경우 현지 화약은 90 정도의 수치가 나왔다. 따라서 현재 국내 생산되는 HiMEX 1000을 현지에 적용할 경우 기존의 발파 패턴에 적용시 비장약량 절감이 가능하며 비장약량을 동일하게 유지한다면 공간격과 저항성을 넓혀 생산량을 증가시켜 천공비를 절감할 수 있을 것이다.

또한, Gassed 에멀전인 HiMEX 1000은 화약의 비중을 조절하기 용이하며, 비중이 증가하면 화약의 위력 및 에너지가 증가하기 때문에 뿌리잡기 효과를 높이기 위해 하부의 비중을 증가 시킬 수 있다. 또한, 상부의 비중을 낮게 하여 단일 중량당 장약장을 증가시켜 상부의 전색부분에서의 대괴 발생 가능성을 낮출 수 있다.

따라서 HiMEX 1000을 사용하여 당 노천 광산의 대안 발파 패턴을 제시하면 Table 6과 같이 제시할 수 있다. 대안 패턴의 설계는 Langefors식과 Konya

Table 5. Properties of rock type

암 종	압축강도(kg/cm ²)	비중(g/cc)	탄성과 속도(m/sec)
화강암	1930~3500	2.60~2.66	2700~4500
석회암	750~1960	2.68~2.78	3700~5000
대리암	1270~2120	2.37~2.72	4400~5600
사암	720~1850	2.06~2.76	1700~4000
셰일	800~2100	2.40~2.80	4100~4560

Table 6. Comparison of blasting pattern for open pit

구 분	단위	기존			제안		
		Strip	Ore	Average	Strip	Ore	Average
생 산 량	m ³ /year	9,000,000			9,000,000		
천 공 수	EA	16,322			15,795		
발파 패턴	m	Strip	Ore	Average	Strip	Ore	Average
저 항 선	m	6.0	5.0	5.9	5.5	5.5	5.5
공 간 격	m	6.5	5.9	6.4	6.7	6.5	6.7
벤치 높이	m	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
비장약량	kg/m ³	0.903	1.204	0.927	0.768	1.056	0.791
화약 소모량	MT/year	8,345			7,120		

식, Arizona Univ. 식, 그리고 Gustafsson식 등 4가지 를 사용하였으며 각각의 결과값을 비교하고 내부 전문가 토론을 통해 공간격대 저항선의 비는 1:1.2 산정 하고 공간격과 저항선을 결정하였다. 그 결과 평균 비 장약량을 0.927kg/m³에서 0.791kg/m³로 감소시켜 연간 화약사용량을 약 15% 절감이 가능한 발파 패턴을 제시할 수 있었다.

3.2 지하 광산

지하 광산에서는 노천과 같은 HiMEX 1000을 사용 하기에는 기계식 장전 설비가 필요하여 초기 투자비 가 증가하기 때문에 원가 상승이 불가피하다. 따라서 국내 석회석 광산과 동일한 ANFO를 사용하기로 결 정했다. ANFO를 사용할 경우 막장 내 출수 영향이 문제가 될 수 있으나, 현지 암반의 경우 건조한 상태 를 유지할 수 있는 지질조건으로 ANFO를 사용하여 도 흡습에 의한 위력 감소는 문제가 되지 않을 것으로

판단되었으며, 기존의 공압 장약 방식을 그대로 사용 할 수 있어 현지 작업자의 작업 효율성에도 영향을 미치지 않는다. 다만 기존 화약과의 위력 비교가 필요한 데 현지 화약의 경우 알루미늄 분말을 프릴 초안에 섞 어 에너지를 증가시킨 상태이다. 그러나, 국내 ANFO 의 경우 다공질의 입자 상태로 자체 실험을 통해 비교 한 결과 현지 화약 위력과 차이가 발생되지 않았다. 이는 현지의 프릴 초안이 기공이 부족하고 불순물이 많아 초기 반응 속도가 낮아 폭속 등 위력이 저하되기 때문이다.

또한, 천공수 절감을 통해 비트 마모율과 비장약량 을 조절하기 위해 심빼기를 국내와 동일하게 V-cut 으 로 변경하였다. 다만 V-cut 적용에 따른 현지 천공 기술에 대한 기술적인 지원이 필요하다. 국내 지하 광산 의 설계 및 시공 경험을 바탕으로 Fig. 6과 Table 7과 같이 패턴 제안을 한다. 제안 패턴은 심빼기 변경 및 저항선 조정으로 연간 천공수를 약 8% 절감하여 평

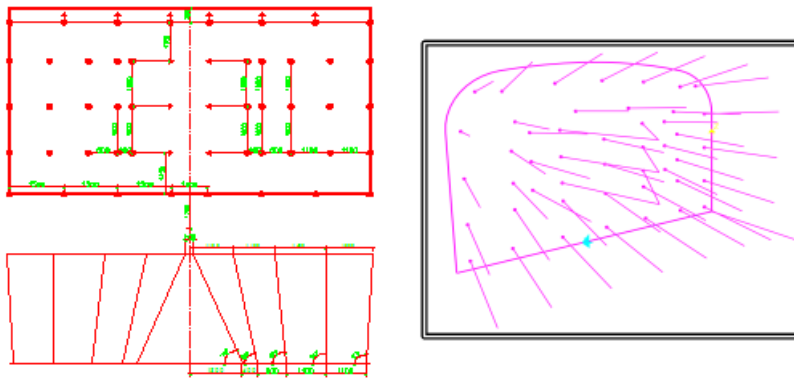


Fig. 6. Suggestion of blasting design.

Table 7. Comparison of blasting pattern for underground mine

구분	단위	기존				제안			
생산량	m ³ /year	1,351,538				1,351,538			
천공수	EA	338,924				314,822			
굴진장	m	3				3			
비장약량	kg/m ³	Ore Heading	Ore Benching	Passway	평균	Ore Heading	Ore Benching	Passway	평균
		1.385	0.564	3.152	1.421	1.157	0.528	3.031	1.248
화약종류	-	AN90%+Al6%+Diesel oil 4%				ANFO			
화약소모량	MT/year	1,920				1,686			
심빼기방법	-	Burn-cut				V-cut			

균 비장약량은 $1.421\text{kg}/\text{m}^3$ 에서 $1.248\text{kg}/\text{m}^3$ 로 감소시켜, 연간 화약사용량을 약 13% 절감하였다.

4. 결론 및 제언

카자흐스탄에 위치하고 있는 Kazakhmys社의 노천과 지하 광산을 탐방하고 본 광산에서 수행중인 발파 패턴 및 화약류를 소개하고 국내 기술을 접목할 수 있는지 검토하였다.

현지 광산은 보통암 수준의 강도를 가진 사암(Sandstone)을 기반으로 한 구리 광산이며 국내의 노천 및 지하광산에서 사용되는 발파 패턴과 비교하고 국내 발파 기술을 적용할 경우 카자흐스탄 광산의 발파 공정에서의 생산원가를 절감할 수 있는 최적 발파 패턴을 제시하였다. 이때, 동일한 파쇄입도를 유지하고 천공수 절감에 따른 작업 시간 및 천공 장비 비용 절감보다는 기존 패턴의 개선을 통해 절감되는 원가의 구성 요소를 화약의 절감량에 기준으로 두고 분석하였다.

1) Kazakhmys社 노천광산의 경우 15m 벤치를 조성하여 215mm 천공경을 가지고 저항선 5~7m, 공간격 6.0~8.4m, 비장약량 $0.45\sim 1.2\text{kg}/\text{m}^3$ 로 발파 작업을 수행하고 있었다.

국내 석회석광산과 비교해보면 채굴 방식과 벤치 형성은 유사하나, 천공경이 약 3배 수준이며 비장약량도 약 2배가량 높게 사용하고 있었으며, 파쇄입도는 국내와 비슷한 수준인 50cm 이하로 관리하고 있었다.

2) Kazakhmys社 지하 광산의 경우 천공장 3.8m, 비장약량 $0.56\sim 3.15\text{kg}/\text{m}^3$ 로 발파작업을 수행 중에 있었다. 국내 광산과 동일한 Room & Pillar의 채굴방식으로 사용하며 파쇄입도 조절을 위해 Burn cut을 사용하고 있다. 또한, 생산원가 조절을 위해 파쇄입도를 30cm이하로 관리하고 있었다.

3) 국내 생산 화약류와 발파기술을 적용하여 설계한 결과 노천의 경우 벌크 에멀전인 HiMEX 1000을 적용한 결과 화약 위력이 약 11% 증가 되어 공간격과 저항선을 증가시켜 연간 생산량을 기준으로 약 15%의 연간 화약사용량을 절감할 수 있으며, 지하의 경우 심뺨기를 V-cut으로 변경하여 천공수

를 약 8% 절감하여 연간 화약사용량을 약 13% 절감할 수 있다. 다만 국내에서 사용되는 화약류와 현지에서 공급되는 화약류의 성능 차이가 있어 현지의 화약 성능에 맞는 최적 발파설계 부분과 천공 비용 절감 등 전체적인 발파 공정에서의 원가 절감과 파쇄입도 조절에 따른 후속 공정인 운반 및 파쇄 비용 절감에 관해서는 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다.

해외 자원 개발이 활성화되고 있는 현실에서 효율적인 광산 개발을 위해서는 파쇄입도를 조절하여 생산원가를 절감할 수 발파공정에 있어 발파 기술자의 역할이 매우 중요하다. 이러한 발파 기술자의 역할을 키우기 위해서는 해외 발파 사례 정보가 다양하게 제공되어야만 한다. 또한, 향후 국내업체의 해외 진출 경험이 누적되고 발파 기술 인력이 점점 요구되어질 때, 국내 발파 기술자들이 얼마나 능동적으로 대처할 수 있는지가 관건이라 사료되고, 지금부터라도 해외 발파 사례에 더 관심을 가져야할 것이다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부 에너지기술개발사업 “국내 석회석광 적용 자동차 경량화 광물 원료 등 미래자원화 기술 실증화 연구중 선택적 채광을 위한 발파기술 개발(과제번호 : 2013T100100021) 사업의 지원을 받아 수행하였습니다.

참고문헌

1. 류충열, 서정률, 2007, 카자흐스탄의 금광산 현황 : 발카하쉬 지역, KIGAM Bulletin Vol. 11, No. 4, pp. 98-107.
2. Khandelwal M.; Ranjith P.G., 2010, Correlating index properties of rocks with P-wave measurements, Journal of Applied geophysics Vol. 71, No. 1, pp. 1-5.
3. 송영석, 이윤재, 민형동, Dave Kay, 2004, 석회석 광산에서 전자뇌관의 적용성에 관한 연구, 대한화약발파공학회 Vol. 22, No. 2, pp. 1-11.
4. 권오성, 정민수, 하태수, 도구문, 윤영훈, 김영덕, 2004, 석회석 광산에서 Bulk EMX(HiMEX)폭약의 적용성에 관한 연구, 대한화약발파공학회 Vol. 22, No. 1, pp. 15-22.

5. 이천식, 정민수, 이윤재, 송영석, 양난주, 강대우, 2003, 석회석 광산에서의 경제적인 벤치발파 패턴 연구, 대한 화약발파공학회, Vol. 21, No. 1, pp. 19-27.
6. 민형동, 정민수, 진연호, 박윤석, 2008, 소단면 터널에서 에멀전폭약의 사압현상과 대책, 대한화약발파공학회, Vol. 26, No. 2, pp. 29-37.
7. 양형식, 김정규, 고영훈, 김승준, 문희숙, 김원범, 장형두, 2012, 국내 소규모 규석광산의 파쇄효과 향상을 위한 발파패턴 연구, 대한화약발파공학회, Vol. 30, No. 1, pp. 52-59.
8. 정천채, 2000, 벌크 에멀전 블랜드 폭약의 특성 고찰, 대한화약발파공학회, Vol. 18, No. 3, pp. 15-28.
9. 민형동, 정민수, 박윤석, 이응소, 이원욱, 2007, 석회석 광산 채석발파에서 Gassed Bulk Emulsion의 적용, 대한화약발파공학회, Vol. 25, No. 2, pp. 61-70.



진연호
(주)한화

Tel : 02-729-1735
E-mail : jyh0924@hanwha.com



민형동
(주)한화

Tel : 02-729-1713
E-mail : hyung777@hanwha.com



정민수
(주)한화

Tel : 02-729-1736
E-mail : minsu.j@hanwha.com



박윤석
(주)한화

Tel : 02-729-1508
E-mail : parkys@hanwha.com



허의행
(주)한화

Tel : 02-729-1733
E-mail : ansies@hanwha.com



Murod Nurmatov
(주)한화

Tel : 02-729-1612
E-mail : turdimurod@hanwha.com