

석회석광산에서 광해(鑛害) 저감을 위한 발파 시공사례

원연호¹⁾ · 안진만²⁾

1. 서 론

석회석 광산의 개발방식은 크게 노천채굴법과 갱내채굴법으로 구분 할 수 있으며 대부분의 석회석 광산은 광상의 부존조건, 채광실수율, 안전조업, 경제성 등을 고려하여 우리나라에서는 현재 거의 노천채굴 방식을 채택하고 있으나, 광산개발 과정에 따른 진입로 확보, 발파 및 장비굴착, 암석의 파쇄 및 분쇄, 운반, 선광 등으로 인한 오염수의 유출, 폐석장 붕괴에 의한 농경지 훼손, 먼지의 날림, 소음, 진동 등의 광해(鑛害)를 발생시켜 자연과 사람에게 피해를 주어 환경적인 문제와 인근 주민과의 마찰 및 보상 등의 분쟁이 빈번히 발생되고 있다. 따라서 석회석 노천채굴(발파) 작업에 따른 광해 저감 목적으로 주변의 환경피해 최소화과 광해에 따른 경제적 손실을 감소시키기 위해 현장 시공과정에서 체험하였던 몇 가지 시공사례를 본 논문을 통하여 기고하게 된 바, 자원공학을 전공하는 학생들이나 화약 초급기술자들에게 도움이 되었으면 한다.

2. 광해의 원인과 방지대책

2.1 산림훼손

대부분 석회석 광산개발은 채광장 주변의 산림이 훼손되며 가시권의 산림은 복구를 하여야 하므로 이에 따른 복구경비가 많이 소요된다. 또한 채광(폐광)후 산림복구는 필수적이지만 개발과정에서 가시권에 있는 산림훼손을 최소화하여 광해를 예방하여야 한다.

광산개발 과정의 산림훼손은 주로 사면부분으로 낙석이 이루어지거나 사면 부근 발파 작업시 파쇄된 암석이 사면으로 굴러가면서 수목을 훼손시킨다. 따라서 사면 부근의 산림 훼손을 최소화 하기위한 발파작업 방법은 사면부근은 일정폭의 잔벽을 남기고 장약량을 조절하거나 기폭순서를 안쪽부터 배열하여 암석의 부피팽창과 이격도를 적게 하며 상부(사면)의 균열부분은 back-hoe 등 장비를 이용하여 채광장 안쪽으로 끌어들여 낙석발

1) 원앤비 기술사사무소

2) 아세아 자원개발

원연호, 안진만

생을 감소시켜야 한다.

현장에서 주로 사용하는 발파작업방법은 다음과 같다.

1) 발파공의 기폭배열

사면부근의 발파공 기폭배열은 그림 1과 같이 발파제원(공간격, 저항선, 천공장, 장약량 등)에 따라 일정 폭의 잔벽을 남기고 기폭순서는 자유면 방향의 안쪽부터 배열하여 기폭시킨다.

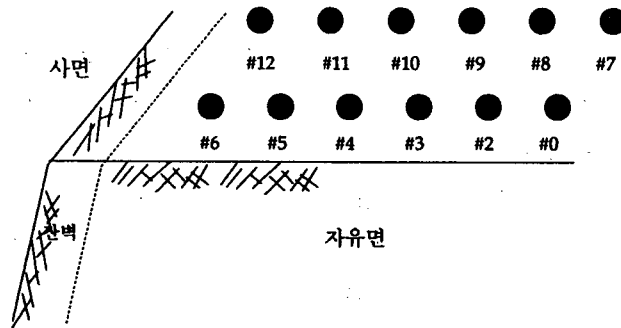


그림 1. 사면부근의 발파공 배열

2) 사면 인접공의 장약량 조절

사면 인접공의 장약량은 사면 암반의 풍화 및 균열, 토양 함유 상태 등을 조사하여 일반 장약공의 장약량보다 적게 장약한다(일반 장약공의 1/2~2/3 정도).

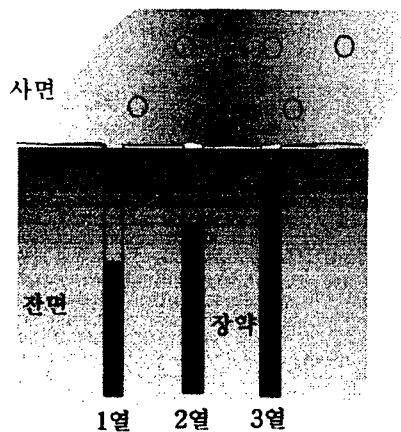


그림 2. 사면부근의 장약량 조절

3) 잔벽의 토우홀 장약방법

잔벽의 토우홀 장약은 평상시와 반대로 뇌관을 기폭 시킨다. 이때 옥석 발생은 많지만 사면으로 구르는 낙석은 적게 발생된다. 주의점은 전색을 철저히 하여 전단발파로 인한 잔류약이 생기지 않도록 한다(역기폭 실시).

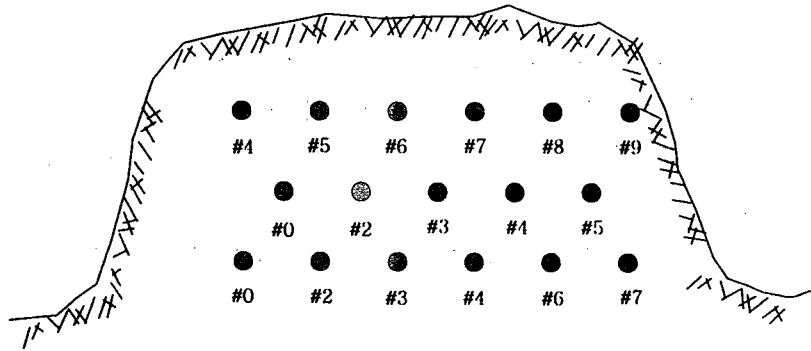


그림 3. 잔벽 토우홀의 장약 배치도

4) 발파 작업후 사면부근의 균열 암반의 정리

발파 작업후 즉시 장비(back hoe)등을 이용하여 사면에 균열이 발생된 암반 등을 채석장 안쪽으로 끌어 들인다.

5) 사면부근의 울타리(방책) 설치

발파장소 사면부근은 발파시 발생된 낙석이 하부로 굴러가지 않도록 막아주기 위해 벌목 등을 이용하여 울타리를 설치하며 발파후에는 발파된 파쇄암체를 채광장 안쪽으로 끌어 드리는 방법이 있다. 그러나 급경사면에서는 적용이 곤란하며 완경사면에서는 현장의 여건에 따라 실시하여야 한다.

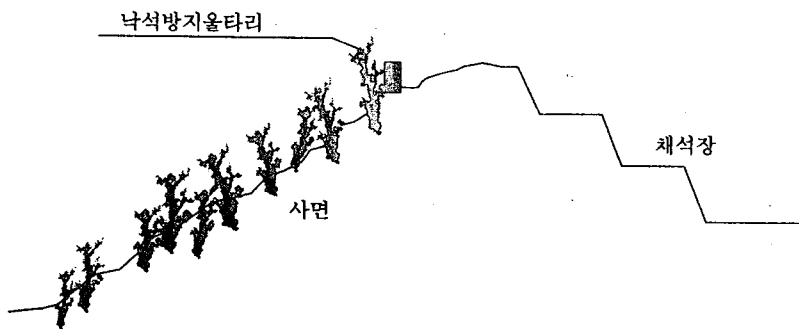


그림 4. 사면부근의 낙석 방지 울타리

2.2 비석(Fly rock)

비석이란 일반적으로 발파로 인하여 예측되지 않은 암석의 파편이 튀어 나오거나 먼거리로 이동 되는 것을 말한다.

1) 비석(飛石)의 원인

- 가. 단층, 균열, 점토층, 석회공동, 연약면 등에 의한 암석의 강도 저하
- 나. 천공오차(저항선 및 공간격 등) 및 장공천공에 따른 국부적인 장약공의 집중현상
- 다. 기폭순서의 오류로 천공내 장약이 암석의 응집저항을 이겨내지 못할 때
- 라. 과장약 발파시
- 마. 전색 불량으로 인한 폭굉가스의 저항이 약한 공구로 분출되어 전색물과 공구 부분의 암석을 붙어낼 때

2) 비석의 방지대책

- 가. 천공 오차를 적게 한다.
(저항선, 공간거리 등)
- 나. 저항선, 천공방향을 보안물건 방향으로 취하지 말 것
- 다. 벤치 파단면 요철부분이나 단층 점토층 등은 필요에 따라 분산장약을 한다.
- 라. 완전한 전색으로 공발방지
- 마. 공동 등을 사전파악(천공시 암분 배출여부)하여 과장약 되지 않도록 한다.
- 바. 바닥의 토우홀 발파시 상부로 비산되는 것을 막기 위하여 발파 보호공을 설치한다
(보안물건 근접부분).
- 사. 전폭약의 위치에 주의하여 과장약 되지 않도록 한다.
- 아. 적재(집토) 작업후 벤치 하부의 저항선이 짧아질 경우 분산장약하거나 파단면과 일정한 거리를 띄워서 파쇄암을 남겨둔다.
- 자. 다열발파시 앞 뒤열간의 지연시간을 지나치게 많이 두지 않는다(지연시간의 간격이 적으면 발파효과가 저하되어 파쇄암의 스크럼 현상이 나타나 적재하기가 곤란하므로 필요한 지연 시간을 둔다).
- 차. 채광 계획에 의한 비산 방지 대책으로는 채광장 외곽(사면)에 일정한 높이의 차단벽을 남겨두어 파쇄된 암석이 차단벽에 부딪쳐 넘어 가지 않도록 한다(단, 차폐벽 설치가 안되는 곳은 경계면에 비산 방지용 뚝을 설치하여 비산을 방지한다).
- 카. 장약전 천공된 공의 편향(휘어짐-천공된 공안을 손전등이나 거울을 비쳐보아 공내부의 편향확인) 정도를 파악하여 과장약 되지 않도록 한다.

2.3 발파진동(Vibration of blasting)

실험결과에 의하면 발파로 인해 발생하는 총에너지 중에서 0.5~20%에 달하는 잔여 에너지는 탄성파로 변환되어 주위 암반 중에 전파되어 가면서 지면에서는 진폭과 주기를 갖는 진동으로 나타나게 되는데 이를 지반진동이라고 한다.

발파진동이 문제되는 경우는 발파작업을 실시하는 주변지역 주민에 대한 심리적 또는 생리적인 현상과 주변구조물 및 시설물에 대한 피해, 인근 가축에 대한 영향 등이 있으며 발파진동에 가장 큰 영향을 미치는 주요변수는 지발당 장약량의 크기이다.

따라서 인접하여 보안물건이 위치할 경우에는 발파효과를 충분히 유지하면서 발파진동을 감소시킬 수 있는 방법이 필요하며 진동발생원으로부터 진동을 억제 시키는 방법은 개략적으로 다음과 같다.

- 1) 저비중, 저폭속 폭약을 사용한다.
- 2) 화약량의 제한과 분할발파(시험발파를 실시하여 규제치를 초과하지 않도록 발파 설계를 하며 규제치를 초과 할 때는 지발당 장약량을 줄인다(분할 발파 등).
- 3) 서브 드릴링 깊이를 너무 깊게 하지 않는다.
- 4) MS지발 뇌관을 사용하여 진동의 상호 간섭을 이용한다.
- 5) 공동, 균열공에 과장약 되어 예기치 않게 진동이 증가되지 않도록 한다.
- 6) 발파장소와 보안물건이 인접할 경우에는 조절발파(Line drilling or Pre - Spritting 등) 방법 등을 이용하여 전파되는 진동을 차단한다.
- 7) 다단기폭(다단발파기, 비전기뇌관 등)에 의한 지발당장약량 분산
- 8) 자유면의 활용(2자유면 이상)
- 9) 1회 발파당 굴착량을 감소시켜 발파횟수를 늘린다.
- 10) 벤치높이의 감소.
- 11) 발파제원의 축소 적용(천공장, 최소저항선, 공간격 등).
- 12) 주변보안물건의 진동허용수준에 적합한 발파제원 적용.

2.4 발파소음(Noise of blasting)

발파로 인하여 발생하는 발파소음(폭풍압)은 주로 폭약의 폭발에너지가 파쇄되는 암괴를 통하여 대기중으로 방출되는 압축파에 기인된다.

1) 폭풍압의 생성원인

- 가. 발파지점에서의 직접적인 암반의 변위로 인한 공기압력파.
- 나. 지반진동에 의해 공기로 전달되는 파.
- 다. 파쇄된 암반의 틈을 통하여 나오는 가스의 분출파.
- 라. 불완전 전색물이 분출되면서 나오는 가스의 분출파.

2) 방지대책

- 가. 완전 전색이 이루어지도록 한다.
 - 나. 벤치발파에서는 발파풍압을 감소시키기 위해서는 면음원의 크기 즉, 벤치의 높이나 1회에 발파하는 공수를 감소 시켜야한다.
 - 다. 저비중, 저폭속 폭약 사용.
 - 라. 기폭방법은 정기폭 보다는 역기폭을 사용한다.
 - 마. 지발당 장약량 감소.
 - 바. 소할 발파시 천공발파를 한다.
 - 사. 온도나 바람 등의 기후조건이 인근 구조물에 발파풍압을 집중할 가능성이 있을 때에는 발파를 연기하거나 피한다.
 - 아. 장약시 공동 균열공으로 폭풍압이 방출되어 예기치 않는 소음이 발생되지 않도록 한다.
 - 자. 벤치발파에서 다열 발파의 경우 앞 열의 발파에 의해 형성된 파쇄암들이 낙하하지 않았을 때 다열 발파가 행해지면 이 파쇄암들이 방음벽 역할을 하게 되고 다음열 발파에서 발생하는 발파풍압은 상당히 감소됨.
 - 차. 음원의 면적을 적게 한다.
- 음원의 면적이 클 때는 면음원으로 되어 감소 정도가 적어지며, 대략 점음원의 반경으로 추정된다, 또 음원의 면적이 작을 때는 점음원으로 되어 음의 감소는 커지며, 그 정도는 면적과 거리에 관계가 있다. 일반적으로 석회석광산은 채광장 외곽에 일정한 높이의 채굴적을 남겨 차단(음)벽으로 활용하고 하부로 채굴한다. 또한 암반의 균열 전색부분 등에서 발생하는 대피는 브레이크 등 기계적으로 처리하여 소음을 감소시킨다.

2.5 분진

분진이란 공기를 매체로 하여 그중에 입자상 물질이 부유하고 있는 상태를 총체적으로 Aerosol(煙霧)이라고 하며, 그 종류는 생성과정에 의해 결정되는 경우가 많으나 일반적인 분류방법은 입자의 형태나 거동에 의해 dust, fume, smoke, fog 등으로 분류한다.

이러한 Aerosol(煙霧)를 넓은 의미에서 총체적으로 분진이라 말하기도 하지만 좁은 의미의 분진은 dust를 말하는 것이며 이분진이란 어떤 물질이 기계적으로 잘게 분쇄되어 공기나 어떤 가스상 매체에 상당한 시간 부유하는 미립자를 말한다. 일반적으로 광산에서 말하는 분진은 dust를 말하는 것이다. 분진입도 범위는 0.001~1000 μ m이지만 100 μ m 이상의 분진은 발생 즉시 침강하므로 일반적으로 총 분진 이라함은 100 μ m이하의 분진을 말한다. 발파 분진의 발생량은 발파설계, 화약의 종류와 양, 충전재의 종류 등에 의해 달라진다. 발파 후 일정시간 후 구름모양의 분진운이 형성되는데 이 분진운은 기류를 타고 이동하면서 입자 크기에 따라 중력에 의한 낙진이 일어나게 된다. 이 분진의 대부분은

가까운 거리에서 낙진되며 극히 일부 미세한 입자만이 풍속에 따라 100m이상까지 비산되는 경우가 있다.

광산 현장의 분진 비산현상을 정확히 파악하고 예측하기란 매우 어려운 일이다 그 이유는 분진의 발생에서부터 비산, 낙진에 이르기까지 영향 요소가 너무나 다양하기 때문이다. 단시간의 현장 측정만으로는 계절적 기상상태의 변화에 따른 요소를 모두 수용할 수 없으며, 실험실적 시험 역시 다양한 현장 환경 요소를 다 감안할 수 없기 때문이다.

석회석 분진에 대한 입도별 풍속에 따른 비산 특성 경향을 확인하기 위하여 가로1.8m, 높이2.0m, 길이100m의 가설풍동을 만들어 그 속에서 현장에서 채취한 석회석분진을 직접 비산시키면서 거리별 낙진량을 수집 분석하는 연구를 시행한 결과('98, 김복윤)를 기준으로 3D-Flow 프로그램에 의한 simulation을 실시한 바 즉, 25m 이내에서의 약97% 정도의 분진이 낙진되며 70~80m의 거리에서의 분진 농도는 발생 당시의 분진 농도에 비하여 0.5% 이하로 희석됨을 확인할 수 있었다고 보고되고 있다. 또한 현장의 원석 적재 작업은 원석에 살수 작업 및 운반 도로의 도로면 살수작업으로 먼지의 발생을 감소시키며 작업을 한다.

노천 채광장은 채광범위가 넓어서 발파시 분진은 채광장 안에(광구경계)대부분 낙진되거나 채광장 경계면에서 발파시는 계절에 따른 풍향과 풍속을 고려하여 발파한다.(발파전 깃발등을 이용하여 분진의 이동방향을 예측하고 발파한다.) 발파후 파쇄암이 쌓이는 부분에(벤치 바닥면) 미리 살수 작업을 하여 발파시 바닥에서 일어나는 먼지 발생을 상당히 감소시킬 수 있다. 그리고 채광장 외곽에는 일정한 높이의 잔벽을 이용한 차단벽과 주변의 산이 분진의 이동거리를 상당히 차단하는 역할을 하고 있다.

일반적으로 풍속이 느리면 분진농도는 높으면서 이동거리는 짧고, 반대로 풍속이 빠르면 농도는 급속히 희석되는 반면, 이동거리는 다소 멀어 지며 시설물이 분진원보다 높은 위치에 있는 경우가 분진원 보다 낮은 위치에 있는 경우에 비해 그 피해 가능성이 낮다고 한다.

2.6 조절발파공법 시공사례

일반적으로 석회석광산은 대량생산을 위하여 대구경과 깊은 천공장 및 넓은 공간거리, 저항선을 이용하고 있다. 많이 적용하는 천공장은 10~20m(15m를 많이 사용함) 천공구 경은 76~115mm, 천공경사 70~80°를 적용하며 사용 현장의 암질이나 현장여건 등에 따라 적합한 방법을 선택하며 최종 굴착예정지에는 법면의 마무리나 잔존암반이 오랫동안 유지되고, 낙석이나 암반이 미끄러지는 것을 방지하기 위하여 최종마무리면의 암반균열을 최소화하여야 하며 과굴을 줄이기 위하여 제어 발파를 한다.

노천에서 많이 활용되는 조절 발파 공법으로는 Line Drilling, Cushion Blasting, Smooth Blasting, Pre splitting 등이 있으며 현장의 암질과 주변 환경여건을 고려하여 적

원연호, 안진만

합한 공법을 적용한다. 조절발파에서는 천공의 정확성이 무엇보다 중요하며 소량 폭약 또는 정밀 폭약을 사용하여 동시기폭으로 인장균열을 발생시켜 잔존암반의 균열을 적게 발생하도록 하여 소기의 목적을 달성 하도록 한다.

석회석광산은 장공과 대형천공기의 사용으로 적합한 폭약의 선택이 곤란하여 현장에서 응용하여 적용하는 조절발파방법(Pre splitting)을 소개하면 다음과 같다. 적용은 각 현장의 굴착조건에 맞게 시험발파를 실시하여 적용하며, 일반적으로 PS발파의 천공간격은 통상 $S=d*10-12$ 배 정도를 표준으로 한다.

예1) Pre splitting 발파배치도

(1) 장약공 모식도

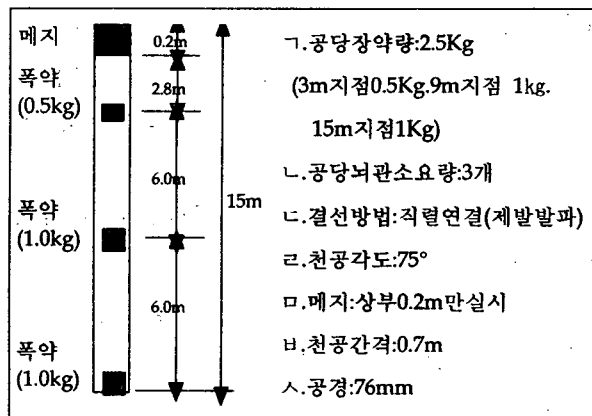


그림 5. 장약공 모식도

(2) 발파공 배치도

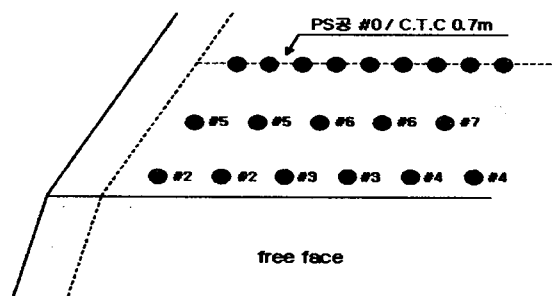


그림 6. 발파공 배치도

예2) Pre splitting 발파배치도

천공경이 45mm 이상으로 생산 시판되는 정밀폭약의 약경과의 차이가 클 경우에는 정밀폭약을 천공경의 크기에 따라 정밀폭약을 2~3줄로 묶어서 사용 한다

(1) 장약공 모식도

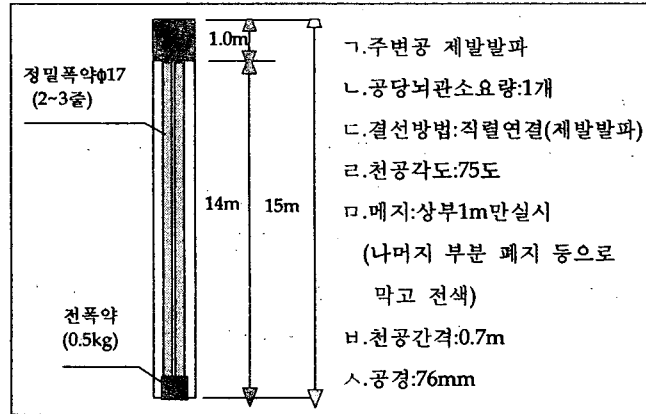


그림 7. 장약공 모식도

(2) 발파공 배치도

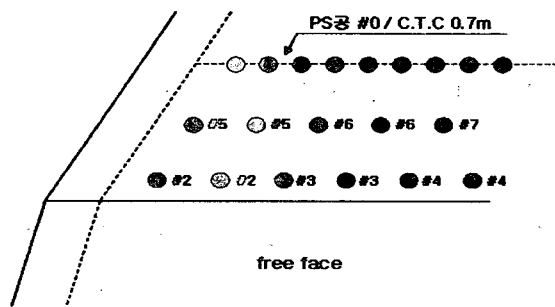


그림 8. 발파공 배치도

2.7 버력처리장 사면의 안정성

근래에는 환경과 관련하여 폐자원의 재활용 비율이 증가되고 있으며, 석회석 광산에서도 저품위 석회석 및 암맥 등을 이용하여 골재나 세사를 생산함으로써 폐석량은 점차 감소하여 폐석장의 적치량은 감소하고 있는 추세이다.

일반적으로 버력처리장의 사면경사는 적치에 따른 자연 경사를 이루고 있으며, 건조사면의 경우는 충분한 안전율이 확보되나 집중 강우시에는 침윤선이 형성되어 불안정성이 증가하여 사면파괴가 발생된다. 버력처리장의 적치량이 많을 경우, 적치된 폐석은 적치시간이 경과함에 따라 침하 및 인장균열이 발생되며, 우기시 붕괴되어 주변의 농경지가 유실되어 민가에 피해를 준다. 버력처리장 사면의 경사각은 암석의 종류와 크기에 따라 다소의 차이는 있지만, 대부분 35°전후로 형성시키며 가행 중에는 수시로 다짐을 하여 보강한다. 그리고 우기시에는 폐석장 상부를 비닐 천막 등으로 덮어주어 물이 스며드는

원연호, 안전판

것을 방지하여 인장균열을 방지하며 외부의 유입수가 폐석장내로 침투되지 않도록 배수로(뚝) 등을 만들어 폐석장 유실을 방지하여야 한다.

○ 버력처리장의 광해방지시설

상기 언급한바와 같이 버력을 적치할 때 형성되는 사면의 경사는 암석의 종류와 크기에 따라 다소의 차이는 있으나 대체로 35°전후이며 이것이 버력의 안식각이다. 이 안식각은 전적으로 암편 상호간의 마찰력과 서로 물고 있는 것에 의한 것으로 암편 상호간에는 점착력은 가지고 있지 않다. 그러나 퇴적된 버력은 다른 토사 또는 이상의 사석에 비하여 안정되어 있다. 따라서 버력처리장의 광해방지시설은 현장의 여건에 따라 필요한 시설을 선택하여야 한다.

(1) 배수시설

우수에 의해 버력장에서 흘러나오는 표면수, 침출용수 등을 모아 배제하여 버력의 붕괴 유출을 간접적으로 방지하는 시설이다.

(2) 토류시설

버력의 붕괴를 직접 막는 시설로서 적치된 버력더미의 사면 끝 단부에 시설하는 갱책, 돌담, 옹벽 등이 있다.

(3) 사방댐

버력 등이 붕괴 되어도 하류 멀리까지 유출 않도록 하는 시설.

(4) 유도시설

붕괴 유출된 토석류를 피해가 미치지 않는 지역으로 유도하는 시설.

(5) 침전지

사면 및 버력처리장을 통과하여 흘러내리는 토사 및 침출수를 처리하기 위한 시설.

(6) 사면의 복토 및 식생

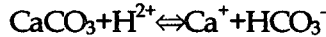
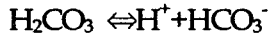
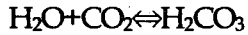
폐광 또는 버력처리가 완료된 지역은 사면에 계단을 형성시키고 복토하여 식생한다. 폐석장은 시간이 경과되면 침하가 발생되므로 침하된 부근을 보강하고 어느 정도 시간이 경과 한 후에 식생하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다. 일반적으로 토양의 복토 두께는 0.6m이상으로 평면 소단부에는 2.0m 사면부에는 0.6m를 실시한다.

2.8 수질오염

석회석 광산에서 배출되는 배수는 일부 중금속 이온이 미량으로 함유되어 있으나 PH가 약 알카리이므로 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

채광시 우수로 인해 발생하는 유출 토사에 함유된 석회석(CaCO₃)는 전체 토사 유출량의 약50% 정도로 예상되며 이러한 유출된 함유 토사는 자연상태에서 탄산칼슘이 CO₂의

용해로 생성된 수소 이온과 반응하여 탄산수소 이온을 생성한다.



이때 발생된 탄산염은 산성비 경향을 보이는 강우에 의해 유출 된 것으로 예상되므로 CaCO_3 는 완충작용을 하게 되며 침사지에서 PH7에 가까운 우수로 변화되어 하류 하천으로 방류된다. 따라서 침사지의 조기 설치 및 효율적 운영을 통해 석회석 유출로 인한 하천의 알카리화를 방지하여야 한다.

3. 결 론

본 연구논문은 석회석광산의 개발과정에 따른 광해(오염수의 유출, 폐석유출, 분진, 소음, 진동 등) 저감을 위해 시공과정에서 체험하였던 사항을 검토하였으며 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 광산개발 과정의 사면부근의 산림 훼손 저감 발파방법은 사면부근은 일정폭의 잔벽을 남기고 장약량을 조절하거나 기폭순서를 안쪽부터 배열하여 암석의 부피팽창과 이격도를 적게 하며 상부(사면)의 균열부분은 back-hoe 등 장비를 이용하여 채광장 안쪽으로 끌어들이어 낙석발생을 감소시키는 것이 바람직하다.

2) 발파장소 사면부근은 발파시 발생된 낙석이 하부로 굴러가지 않도록 벌목 등을 이용하여 울타리(차단방책)를 설치하는 것이 바람직하다. 그러나 급경사면에서는 적용이 곤란하며 완경사면에서 현장의 여건에 따라 실시하여야 한다.

3) 발파작업에 따른 비석방지를 위해서는 기본적인 발파방법(천공오차, 완전전색, 발파보호공 설치, 과장약 방지, 천공된 공의 편향, 기폭시차 등)에 유의하여야 한다.

4) 발파작업에 따른 발파진동 저감을 위해서는 시험발파를 실시하여 규제치를 초과하지 않도록 발파제원(천공장, 저항선, 공간격, 지발당장약량 등)을 설정·준수하여야 하며 최대한 자유면을 활용하여야 한다.

5) 발파작업에 따른 발파소음 저감을 위해서는 완전한 전색이 이루어지도록 하여야 하고 방법은 정기폭보다는 역기폭을 사용하며 음원의 면적을 적게 하는 것이 바람직하다.

원연호, 안진만

6) 발파작업에 따른 분진저감을 위해서는 발파 작업전 깃발 등을 이용하여 분진의 이동방향을 예측하고 발파후 파쇄암이 쌓이는 부분에(벤치 바닥면) 미리 살수 작업을 하면 발파시 바닥에서 일어나는 먼지 발생을 감소시킬 수 있으며, 채광장 외곽에는 일정한 높이의 잔벽을 설치하면 분진의 이동거리를 짧게 할 수 있는 역할을 할 수 있다.

또한 채석작업에 따른 분진저감을 위해서는 원석 적재작업은 원석에 살수 작업 및 운반 도로의 도로변에 살수작업을 하여야 한다.

7) 석회석광산의 최종 굴착예정지에는 법면의 마무리나 잔존암반이 오랫동안 유지되고, 낙석이나 암반이 미끄러지는 것을 방지하기 위하여 최종 마무리 면은 암반균열을 최소화하고 과굴을 줄이기 위한 제어발파(Pre splitting)를 적용하는 것이 바람직하다(본문 참조).

8) 버럭처리장의 사면의 안정을 위해서는 암석의 종류에 따라 다소의 차이는 있지만, 대부분 35° 전후로 형성시키며 가행 중에는 수시로 다짐을 하여 보강한다. 그리고 우기 시에는 폐석장 상부를 비닐 천막 등으로 덮어주어 물이 스며드는 것을 방지하여 인장균열을 방지하며 외부의 유입수가 폐석장내로 침투되지 않도록 배수로(뚝) 등을 만들어 폐석장 유실을 방지하여야 한다.

결론적으로 석회석 노천채굴에 따른 광해저감 방법은 상기 기술한 내용 외 에도 선진 기술 등 다양한 방법이 있을 것으로 사료된다. 그러나 상기와 같은 방법이 현장 시공과정에서 시공성, 경제성 등을 감안하면 광해를 저감시킬 수 있는 가장 적합한 방법일 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 임한욱, 김재동, 백환조, 2000, 환경오염저감을 위한 석회석광산 개발방안에 대한 연구, 터널과 지하공간(한국암반공학회지), Vol. 10, No. 1, pp. 80-81.
2. 김복윤, 이상권, 조영도, 김임호, 1998, 노천광산의 발파분진 비산영역 예측에 관한 연구, 터널과 지하공간(한국암반공학회지), Vol. 8, No. 3, pp. 194-198.
3. 김하근, 윤세철, 서동렬 편저, 2000, 발파·진동·소음, 서우, 서울, pp. 2-139.
4. 기경철, 김일중 편저, 2002, 산학인을 위한 발파공학, 동화기술, 서울, pp. 281-287.
5. 대한광업진흥공사 보안교육교재(갱외보안계원), pp. 410-413.
6. 아세아시멘트 자체 환경영향평가서.