

# 협소한 공간 작업을 위한 소형 복합 광산장비 설계기법연구

## A Study on a small compound mining equipment design method for the confined working places

\*노홍호<sup>1</sup>, #박종호<sup>2</sup>, 김대홍<sup>3</sup> 이영기<sup>3</sup>

\*J. H. Noh<sup>1</sup>, #J. H. Park(jhpark@cnu.ac.kr)<sup>2</sup>, D.J.Kim<sup>3</sup>, Y. K. Lee<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>(주)하이드로메틱스, <sup>2</sup>충남대학교 기계공학부, <sup>3</sup>(주)하이드로메틱스

Key words : Mmining, Rock drill, Bboring, Digging, Hydraulic

### 1. 서론

본 연구를 통해 석탄 갱(coal mining)안에서 다이너마이트를 매설하기 위한 천공작업, 그리고 폭파 후 좁은 갱내에 쌓인 경석과 석탄 등을 벨트 컨베이어에 신기 위한 덤핑기능을 보유한 소형복합 광산장비를 개발하기 위한 설계기법에 대해 연구하고자 한다.

우리나라와 같이 협소(국내 일반갱도 폭 3m, 높이 2.4m)하고, 경사진 갱 환경에 대응하기 위해 장비의 크기를 소형화(폭 0.8m, 전장 7.5m, 체고 1.5m 이내)하며, 갱내에 존재하는 가연성 가스, 분진, 습기로 인한 장비의 폭발 및 오작동 사고를 방지하기 위해서 장비에 사용된 모든 요소부품에 방폭(explosion-proof) 및 부식에 강한 도장처리가 필요하다.

기존 탄광의 천공용 장비로는 국내 많은 갱도에서 적용중인 인력에 의존한 공압식 천공기가 있고, 유사장비로는 탄층을 무너트리거나 큰 덩어리를 잘게 쪼개기 위해 사용되는 콜픽과 오거용 드릴이 사용 중이다. 그러나 자원고갈로 인해 매년 작업 깊이가 20m 씩 깊어지면서 발생된 심부화 현상과 작업현장의 인력 노령화로 인해 노동 강도를 줄이면서 생산성을 증대시킬 수 있는 광산용 복합 중장비의 개발이 시급하게 되었다.

또한, 우리나라에 매장되어 있는 부존에너지원인 석탄을 활용하는 것이 단기적으로 안정적인 에너지 확보를 위해 가장 큰 효과가 나타날 수 있어 개발이 절실하다고 판단된다.

현대화된 일부 석탄광산에서는 운반갱도, 굴진갱도와 같이 비교적 큰 갱도의 굴진작업은 채탄 선진국에서 수입한 고가의 덩치 큰 장비를 활용하여 작업을 하고 있으나, 굴진 갱도에서 나뭇가지처럼 여러 갈래로 나누어져 실제 석탄을 채굴하는 채탄 갱도에서는 협소한 갱도사정과 지압으로 인해 갱도가 작아지는 문제 등으로 인해 인력에 의존한 작업을 수행하고 있다.

따라서 본 연구를 통해 개발하고자 하는 장비의 크기가 소형이면서 경량으로 제작되고, 천공작업과 덤핑기능을 병행해서 처리할 수 있는 기능을 보유하게 된다면, 고온 고습한 지하 수 km에서 방진마스크를 쓰고 작업하는 광부가 가장 힘들게 생각하는 작업들을 기계화 할 수 있게 되어 작업자의 노동 강도를 대폭 축소 할 수 있게 될 것이다.

### 2. 소형복합 광산장비 설계목표

지하광물 생산과정을 크게 분류하면 4단계의 과정으로 Fig. 1과 같이 도식화 할 수 있다.

각 과정별로 세부적인 내용을 나타내었고, 이중 갱도 굴진과정과 채광과정에서 본 연구를 통해 개발되는 장비가 주로 사용되게 된다. 갱도 굴진은 비교적 큰 장비의 사용이 가능하지만 굴진갱도에서 시작된 채탄갱도에서는 본 연구에서 추진하는 규모의 장비 이외에는 사용이 어렵다.

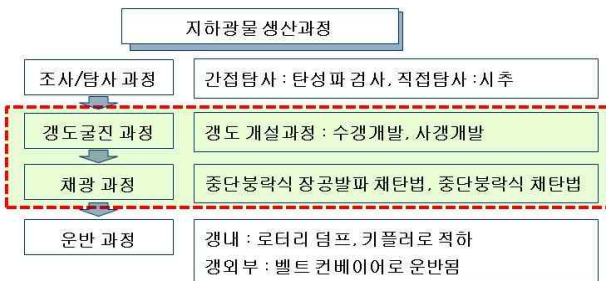


Fig. 1 Diagram of the entire mining process

Table 1 Design goal

Specifications	
1. Operating speed	1.2km/hr
2. Climbing capacity	15°
3. Bucket capacity	0.1 m3
4. Boom swing degree	± 30°
5. Boom twist degree	± 90°
6. Diameter of boring hole	25mm
7. Deep of boring hole	1,000mm
8. Size(W*L*H)	0.8*7*1.5m or less

Table 1 은 소형 복합 광산장비의 설계목표를 나열한 것으로 천공작업과 발파, 덤핑작업 등을 수행하며 1일 이동하는 거리는 약 2m 정도이므로 작업을 하기위한 장비의 이동 속도는 빠르지 않아도 되지만 천공작업 후 발파할 때 파편으로 인한 장비의 파손을 방지하기 위해 안전지대로 신속히 후퇴하여야 하고, 파편과 분진이 작업 가능한 수준으로 가라앉은 후 작업장소로 이동하기 위해 최소 1.2km/h 정도의 이동속도가 필요하며, 협소하고 어두운 공간에서 석탄의 매상상황에 따라 경사진 경로를 따라 갱도를 형성해야 하므로 빠른 속도보다는 등판능력을 15°정도 보유한 장비의 개발이 필요하다.

일반적인 굴삭기의 경우 넓은 장소에서 자유롭게 작업할 수 있도록 360°회전하는 기능이 있지만, 협소한 광산에서는 무한케도 상부가 360°회전하는 작업이 불가하다.

또한 갱도의 무너짐을 방지하기 위한 지주설치 작업등을 위해 작업장비의 끝단이 자유자재로 움직일 수 있도록 설계되어야 한다. 이를 위해 일반 굴삭기에 없는 비틀림 작업기능이 추가되어 다양한 동작 기능이 확보되어야 한다.

연층을 채굴하다가 비교적 단단한 암반을 만날 경우 신속하게 천공작업을 할 수 있도록 킥커플링을 통해 작업 톨을 교체할 수 있도록 설계하여야 하고 유압공급라인 또한 교체가 쉽도록 고려해야만 한다.

천공직경과 천공 홀의 갯수는 다이너마이트 매설을 위한 기본 규격대로 1~2m 정도의 깊이로 천공하는 것이 발파하기에 적당하다.

소형 복합 광산장비 개발을 위해 3D 설계 프로그램을 이용하여 작업한 설계도를 Fig. 2에 나타내었다.

개발 장비가 사용되는 장소는 석탄을 캐는 채탄막장으로서, 몇 가지 규격이 있지만 일반적인 갱도의 규격은 폭 3m, 높이 2.4m 정도이다. 따라서 개발 장비의 작업 반경도 최소 일반갱도 전체를 작업할 수 있는 수준으로 설계되어야 한다.

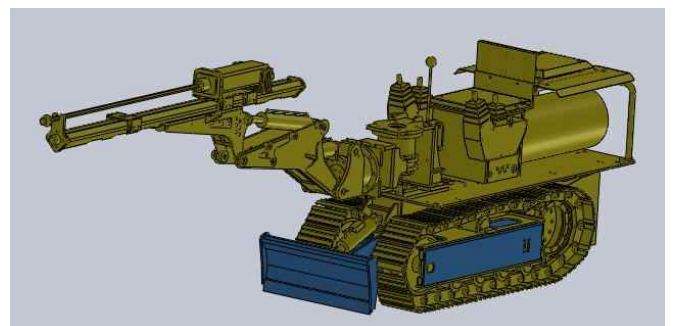


Fig. 2 Conceptual 3D design of the small compound mining equipment

### 3. 소형복합 광산장비 설계

#### 3.1. 장비 외형 설계

본 연구에서 개발하고자 하는 복합광산장비는 천공 톨과 사이드 덤프기능을 보유한 버킷을 교대로 사용할 수 있도록 설계를 진행하였고 Fig. 3에 두가지 톨을 장착한 경우를 중첩해서 그림으로 나타내었다. 퀵클램프와 퀵커플러를 사용하여 밀폐된 곳에서도 신속하고 용이하게 교환할 수 있도록 설계하였다.

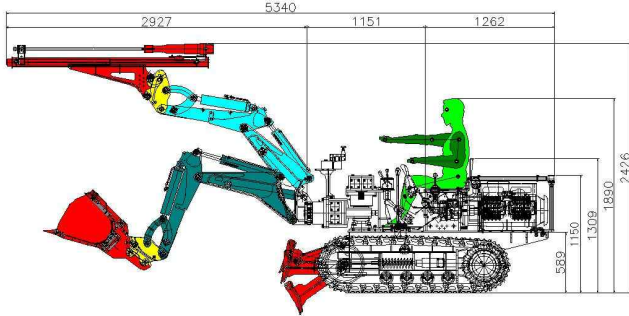
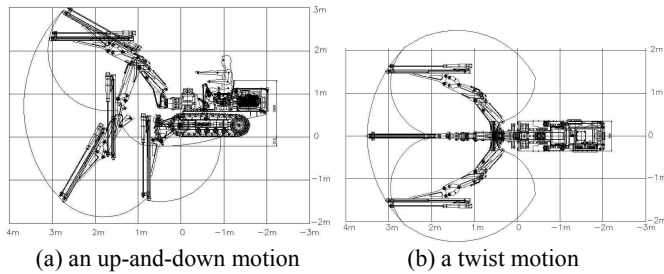


Fig. 3 Conceptual 2D design of the small compound mining equipment

본 장비는 지주설치 작업을 진행하면서 석탄채굴작업을 수행하지만 장거리 전진 후 후퇴하여 주 갱도로 복귀할 때에는 지압의 영향으로 터널이 협소해지므로 용이하게 빠져나올 수 있도록 최대한 낮게 설계하였다. 이를 위해 무한궤도의 높이를 최대한으로 낮추기 위한 특수 설계를 수행하였다.



(a) an up-and-down motion (b) a twist motion  
Fig. 4 The work radius of the small compound mining equipment

Fig. 4는 소형장비에 천공 톨을 부착한 경우의 작업범위를 도식화 하여 나타낸 그림이다. 장비의 작업범위는 표준화된 갱내를 완전히 커버할 수 있을 정도의 작업범위로 설계하였다.

갱내부에는 햇빛이 전혀 들어오지 않아 광부들의 헬멧과 장비에 설치된 작은 방폭등에 의지해야 하기 때문에 경사지 또는 암석 등의 의해 장비가 기울어지거나 장비의 무게가 한쪽으로 치우칠 경우 전복의 우려가 있어 Fig. 5에서 무게중심을 검토한 것으로 아르키메데스의 지렛대 법칙으로부터 무게중심은

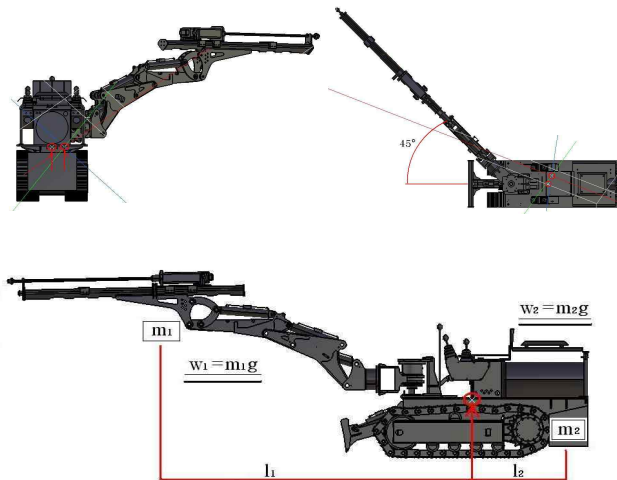


Fig. 5 The center of gravity of the small compound mining equipment

$$w_1 l_1 = w_2 l_2$$

의 조건에 의해 결정된다. 장비의 무게 측정을 위해 3D 설계도에 재료의 물성치를 주어 무게중심을 구해보니 모두 중앙부 근처에 있고, 지지하고 있는 궤도 사이에 들어있어 안전설계가 된 것을 검토할 수 있었다.

#### 3.2. 장비 유압회로 설계

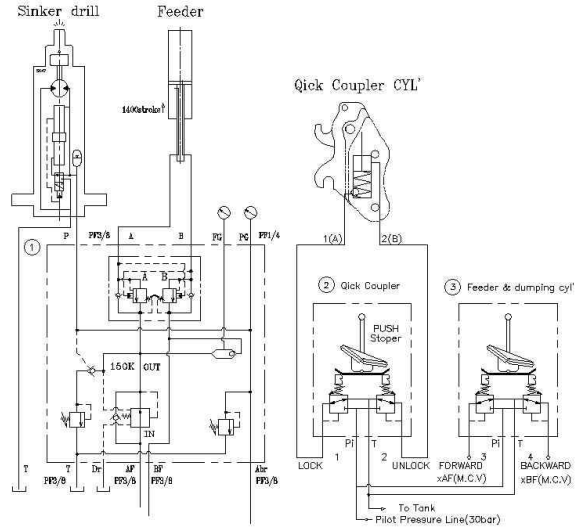


Fig. 6 Hydraulic circuit diagram of the small compound mining equipment

Fig. 6의 ①은 천공작업을 할 수 있도록 제작한 유압밸브 블록으로서 내부에 압력제어를 위한 릴리프 밸브와 천공기용 실린더(feeder)에 입력되는 유압을 감압시키는 밸브로 구성되어 있고, 천공기에 입력되는 유압은 최대 100 bar 까지 조절이 된다. 또한 feeder로 공급되는 압력은 천공작업이 원활하게 수행될 수 있도록 속도 조절을 위해 20~50 bar로 입력되도록 한다. ②는 천공기와 버킷을 신속히 교체하기위한 Quick coupler 로 공급되는 Push stopper 로서 joystick용 밸브이다. ③은 천공용으로 사용 시 feeder로 공급되는 유량을 조절하여 실린더의 속도를 조절하고 덤프용으로 사용 시 스톱밸브를 조작하여 방향을 변경한 다음 덤프용 실린더 조작에 사용한다.

### 4. 결론

협소하고 심부화된 석탄채굴용 광산에서 다양한 작업 수행이 가능한 소형복합장비를 설계하기위한 여러 가지 설계 검토사항에 대해 분석하여 다음과 같은 결론을 도출 할 수 있었다.

- (1) 채광작업을 위해서는 갱도 굴진용 장비보다 소형 경량의 장비가 요구된다. 개발장비의 작업 범위는 폭 3m, 높이 2.4m인 일반 갱도 내부를 전부 작업할 수 있도록 설계하여야 한다.
- (2) 예측하기 힘든 광산 내부 지형을 고려하여 장비의 무게중심이 중앙에 위치해야하고 협소한 갱내 작업을 위해 장비의 높이는 최대한 낮추도록 설계하여야 한다.
- (3) 작업 톨 교환 및 장비의 작동부에 유압을 공급하기 위한 회로설계는 쉽고 신속히 교체할 수 있도록 고려해야 한다.

### 후기

본 연구는 중소기업청에서 진행하는 2009년도 구매조건부신제품개발사업으로 진행하는 사업입니다.

### 참고문헌

1. 중소기업청 구매조건부신제품개발사업, “천공 및 덤프기능을 보유한 소형 복합 광산장비 개발” 사업계획서
2. 두산백과 사전