

## 소단면 터널에서 에멀전폭약의 사압현상과 대책

민형동<sup>1)</sup> · 정민수<sup>1)\*</sup> · 진연호<sup>1)</sup> · 박윤석<sup>1)</sup>

초록 : 국책사업이나 SOC의 확충을 위한 도로 및 철도의 건설에서 적용되는 터널의 단면크기를 보면, 50m<sup>2</sup>에서부터 100m<sup>2</sup>이상의 중·대단면 터널이 주를 이루고 있으나, 전력구, 통신구, 소규모로 운영되는 광산의 채광용 터널, 용수를 위한 도수로터널 등 특수한 용도로 설계, 시공되고 있는 터널에서는 20m<sup>2</sup>이하의 단면크기를 갖는 경우가 있다. 이러한 소단면 터널의 경우에는 협소한 작업공간으로 인하여 적용공법 뿐만 아니라 장비의 사용 또한 제약을 받게 되어 작업효율이 저하되고 공사기간이 늘어나게 되는 등 여러 가지 문제점을 안고 있다. 특히, 에멀전 폭약을 사용하는 발파에서 먼저 기폭된 발파공의 충격압력에 의해 인접공의 폭약이 예비압축(Precompression)되어 사압현상을 일으키고 잔류약을 발생시키는 사례가 종종 발생하고 있다. 사압현상은 당해 발파의 실패와 함께 2차적인 사고의 위험요인이 될 수 있으므로 이를 방지하기 위한 대책을 수립하여야 한다. 이를 위해 기존 문헌을 통하여 사압현상의 원인과 발생 가능성을 검토하였고, 국내에서 주로 사용되는 에멀전폭약의 수중 내충격성시험과 충격압력 전달시험을 실시하여 사압현상의 발생정도를 측정하였으며, 사압현상이 발생한 소단면 터널현장을 대상으로 대책을 수립하여 적용하였다. 심발방법을 변경하여 전단의 충격압력을 견딜 수 있는 공간격을 확보하고 뇌관의 초시간격을 적절하게 배치한 발파패턴을 적용한 결과, 사압현상을 억제하고 잔류약의 발생을 감소시켜 계획 굴진장을 확보하고 파쇄석의 크기를 감소시키는 등 양호한 결과를 얻을 수 있었다.

**핵심어** : 소단면 터널, 에멀전 폭약(Emulsion Explosives), 예비 압축(Precompression), 사압현상(Dead Pressure), 잔류약

### 1. 서론

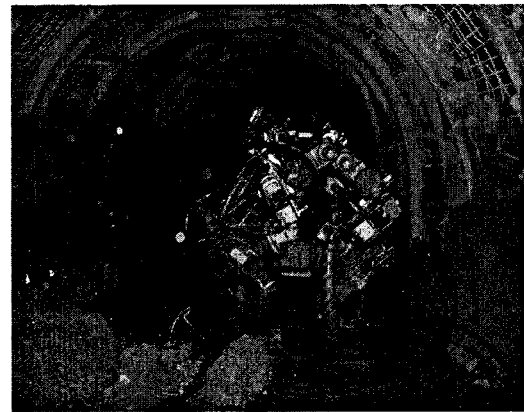
우리나라는 산지가 70% 이상을 차지하는 등의 지형 여건상 많은 터널이 계획되고 시공되고 있으며, 근래에는 대도시를 중심으로한 인구의 집중으로 인해 물류와 통행량이 급증하고 장대화에 따른 방재, 안전 및 유지 관리 등의 이유로 기존 터널에 비하여 단면크기가 점차 확대되고 있는 실정이다. 그러나, 건설현장의 제반여건이나 특수한 용도로 인하여 부득이 소단면 터널을 굴진하고, 단면크기의 협소로 적용 장비의 제약과 발파효율의 저하를 감수하여야 하는 등의 어려움을 겪고 있는 현장 또한 적지 않다. 특히, 먼저 기폭된 발파공의 충격압력에 의해 발생하는 에멀전 폭약의 사압현상과 잔류약은 당해 발파의 실패는 물론 작업자의 안전을 위협하는 요소가 될 수 있어 이에 대한 대책이 요구되고 있다. 본 논문에서는 기존의 국내외 자료를 검토하고, 국내 유통되는 에멀전 폭약의 사압현상과 그 발생정도를 파악하여 적절한 대책을 세우고, 사압현상이 주로 발생하는 소단면 터널을 대상으로 그 대책을 적용, 평가하고자 한다.

1) (주)한화 화약기술팀

## 2. 소단면 터널의 특징

터널의 단면크기는 터널내 제반설비의 시설 공간, 선형조건에 따른 확폭량, 유지관리에 필요한 여유폭 등을 고려하여 최적단면을 산출하여 설계하는데, 도로터널의 경우에는 100m<sup>2</sup> 내외의 규모에서 표준화되어지고 있으며 철도터널에서도 고속철도 및 지하철의 대규모화로 단면크기가 확대되고 있다.

그러나, 이러한 터널규모의 확장추세에도 불구하고 제반여건의 제약과 다양한 용도 및 필요에 의해 소단면 터널이 시공되고 있으며, 그 수 또한 적지 않다.



a) 방수터널(○○양수발전소, 경북 예천)

b) 광산터널(○○광업소, 강원 태백)

그림 1. 국내 소단면 터널현장의 사례

### 2.1 소단면 터널현황

국내 시공중인 소단면 터널의 사례를 살펴보면, 다음과 같다.

표 1. 국내 대표적인 소단면 터널

구	분	단면크기(m <sup>2</sup> )	터널폭(m)	비 고
철도터널	단선철도	40 ~ 50	5 ~ 6	-
도로터널	피난 연락갱	15 ~ 20	4 ~ 5	-
수로터널	지하 양수 발전소	15 ~ 20	4 ~ 5	-
	도수로 터널	10 ~ 15	3 ~ 4	-
광산터널	석탄광	10 ~ 15	3 ~ 4	운반, 채탄갱도
	금속광	2 ~ 10	1 ~ 3	광맥 추적 채굴

일반적인 철도터널의 규모는 표1에서 처럼 단선철도로서 약 40~50m<sup>2</sup> 수준의 단면크기와 최대 6m정도의 터널폭을 갖는데 천공장비(Jumbo-Drill)의 제약과 과도한 천공장(3.0m이상)으로 효율적인 굴진율과 발파결과를 기대하기에는 무리가 있다. 또한 도로터널의 피난 연락갱이나 수로터널의 경우에는 단면크기가 더욱 작아서 의도한 굴진장을 확보하기 위해서는

과도한 장약량으로 집중장약하여야 하는 등 어려움이 많으며, 단면크기가 15m<sup>2</sup>이하인 수로 또는 광산터널에서는 레그드릴을 사용하여 인력착암하므로 천공의 정밀도가 떨어지고 작업자의 숙련도에 따라 발파결과에 차이를 보이는 경우가 많다.

## 2.2 소단면 터널의 특징

소단면 터널에서는 단면크기와 터널폭의 협소로 인하여 여타의 터널과는 작업방식이나 발파패턴에 상당한 차이를 나타내는데, 그 대표적인 예를 들면, 심발부 천공경사의 확보가 곤란하다는 것, 암반 구속력의 증가로 장약량이 급격하게 증가하게 된다는 것, 발파 후 파쇄석의 재단결(소결현상)을 방지하기 위해 지연시간이 긴 LP뇌관을 선호한다는 것, 발파공사이의 간격이 근접하게 되어 사압현상에 의한 잔류약이 발생한다는 것 등이 있다.

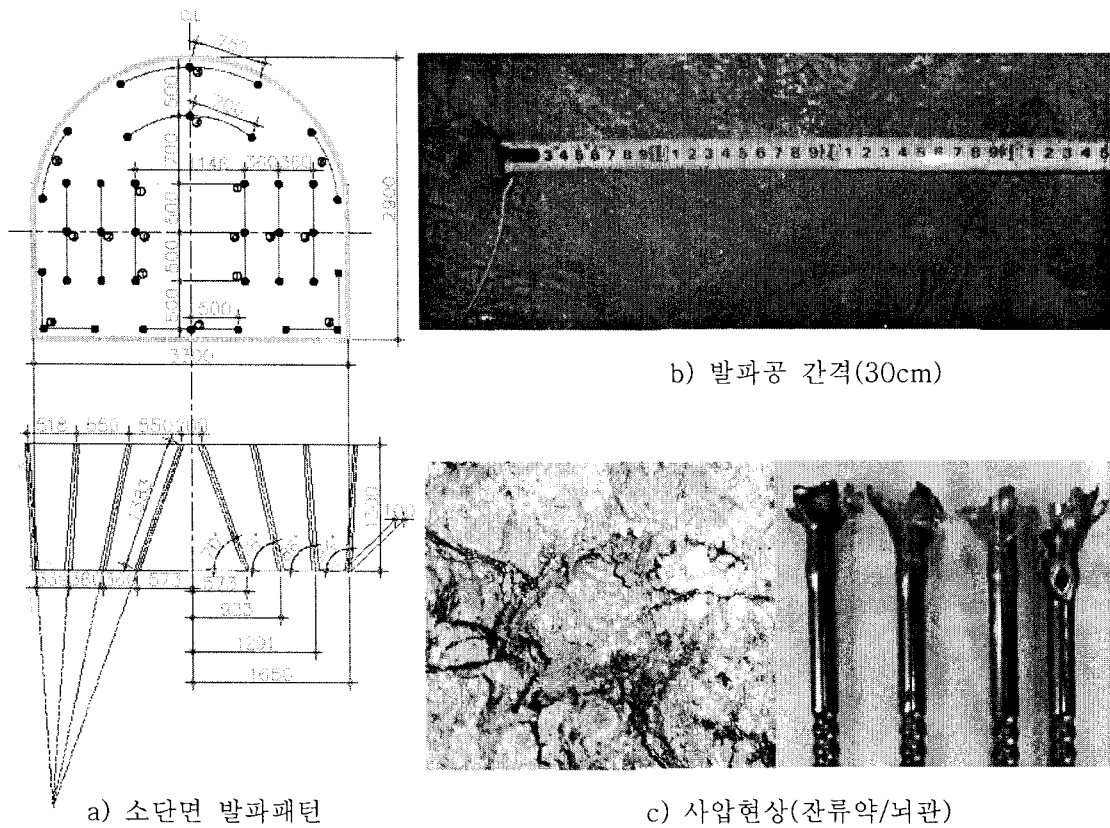


그림 2. 소단면 터널의 특징

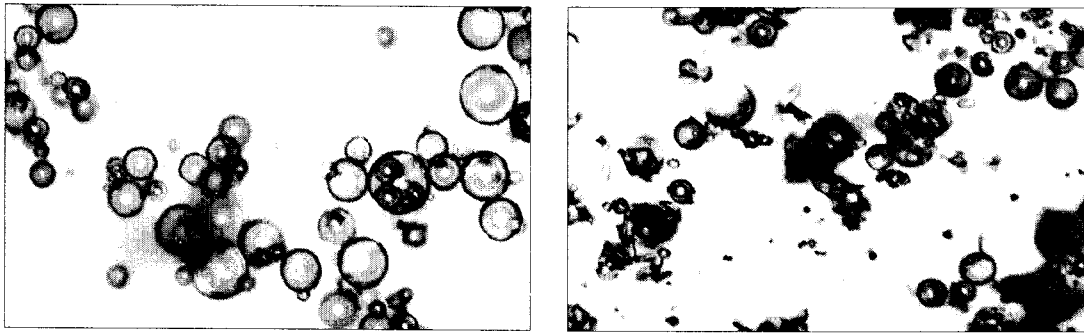
## 3. 사압현상과 잔류약

초안폭약, ANFO, 에멀전 폭약 등은 발파공의 충격압력이 아직 기폭되지 않은 공내 폭약에 영향을 주어 발파위력이 저하되거나 잔류약이 발생하는 문제점이 나타나는데, 이것은 충격압력에 의해 폭약내의 기포가 유실되고 비중이 높아지며 감도가 저하되어 발생하는 것으로

로 사압현상(Dead Pressure)이 가장 큰 원인으로 지적된다. 특히, GMB(Glass Micro Balloon)로 예감화한 에멀전 폭약은 외부의 충격압력에 의해 Hot-Spot역할을 담당하는 GMB(Glass Micro Balloon)가 파괴되어 감도가 저하되는 경우가 많다. 일반적으로 Gelatine Dynamite는 외부충격에 대해 상대적으로 잘 견디는 양상을 보이는데, 이는 외부 충격압력으로 비중이 높아지기는 하지만 니트로글리세린 등 화학적 예감제가 감도의 저하를 방지하기 때문인 것으로 알려져 있다. (이영호 외, 2001)

### 3.1 잔류약의 상태

발파공 내에서 폭약이 폭발하게 되는 과정을 보면, 먼저, 뇌관의 기폭에 의해 고압력 충격파(폭굉파)가 폭약에 도달하게 되고, 이 충격파에 의해 폭약내에 존재하는 보이드(Voids) 혹은 자유공간(Free space)이 수천 기압의 압력으로 압축되게 된다. 이 급격한 압축이 내부의 가스온도를 수천도까지 상승시켜 Hot-Spot을 형성하고, 그 이후 Hot-Spot이 주위의 연료성분을 산화시켜 폭발반응이 시작된다. 이러한 폭발반응이 시작되는 조건으로 보이드(Voids) 혹은 자유공간(Free space)의 확보가 필수적인데, 에멀전폭약에서 이를 담당하는 것이 GMB(Glass Micro Balloon)이다.



a) 정상적인 에멀전 폭약

b) 잔류약(GMB 파괴된 상태)

그림 3. 에멀전 폭약의 현미경 사진

또한, 에멀전 폭약은 약 2~10%정도의 물(Water)을 포함하고 있는데, 산화제인 질산암모늄(Ammonium Nitrate)이 수용성인 관계로 산화제를 기름막으로 감싸서 물(Water)과 분리되도록 하여 에멀전을 형성하는데, 외부충격에 의해 산화제와 기름막이 분리되는 현상도 발생하게 되어 사압에 의한 잔류약의 발생을 촉진하게 된다.

### 3.2 사압 현상의 발생기구

현재까지 보고된 사압현상과 잔류약의 발생기구(원인)를 살펴보면, 폭약이 장약된 장약공(Charge Column)의 붕괴, 인접공에 미치는 충격파와 가스압력, 측벽효과(Channel effect) 등 여러 가지가 있다. 특히, Mullay 등(1990)은 ISEE에 발표한 논문“Borehole study of precompression resistance in detonator and explosives”에서 후단의 뇌관 또는 폭약이 충격파와 가스압력으로 예비압축(Precompression)되어 불폭이 발생한다는 것을 증명하였다. 또

한, 잔류약의 발생기구를 다음의 5가지로 소개하였는데,

- ① 가스압력(Gas pressure from previous detonation)
- ② 충격압력(Shock pressure from previous detonation)
- ③ 가스압과 충격압의 조합(The combined effort of gas and shock pressure reacting simultaneously)
- ④ 폭약의 압축(Compaction of the explosives)
- ⑤ 워터햄머 효과(Water hammer effect) 등이 있다.

또한, Mullay(1994)는 예비압축에 의한 잔류약의 폭약종류, 뇌관종류, 공간격, 지연시간에 따른 영향을 평가하여 공간격이 짧을수록 지연시간이 길수록 잔류약의 발생량이 많다는 것을 증명하였다.

### 3.3 잔류약 관련 규정

잔류약과 관련한 규정으로 국내 법규 및 여러 문헌에서 소개된 것은 잔류약의 처리에 관한 것이 대부분으로 잔류약의 발생을 억제하기 위한 적절한 조치로 보기는 어렵다. 다만, 미국의 MSHA(Mine Safety and Health Administration) 규정을 보면, 가연성 가스가 많은 탄광에서 사용이 금지된 지발전기뇌관을 다음과 같은 조건에서 허용하고 있는데, 그 이유를 Cut-off 및 사압현상에 의한 잔류약 발생이 적은 것으로 설명하고 있어 시사하는 바가 크다.

- ① 최초 발파공의 지연초시는 최소 25ms 이하
- ② 발파공간의 지연시간(Delay time)은 50ms 이상 100ms 이하
- ③ 1회 발파의 총 지연시간(Delay time)이 1000ms 이하
- ④ 공간격은 60cm 이상으로 유지

이 규정이 의미하는 것은 가연성 가스가 많은 탄광에서 지발뇌관을 사용할 경우, 발파공간의 지연시간(초시)이 너무 짧게 되면 충격파와 가스압력의 조합에 의한 후단예의 영향이 커지며, 너무 길게 되면 Cut-off의 발생에 의한 가연성 가스의 착화우려가 커지게 된다는 것이다. 또한, 탄광층에서 사압현상(Dead Pressure)에 의한 잔류약의 발생을 억제하기 위한 공간격으로는 60cm 이상을 적용하도록 규정하고 있다.

### 4. 폭약과 뇌관의 내충격성

사압현상과 잔류약의 발생은 선행연구에서 제기된 것처럼 먼저 기폭된 폭약의 충격에 의한 것으로 장약된 폭약과 뇌관이 이러한 선행충격에 얼마나 잘 견디는가 즉, 내충격성이 사압현상과 잔류약의 발생정도를 판가름하게 된다. 이영호 등(2007)은 폭약과 뇌관의 내충격성에 대한 실험으로 에멀전 폭약의 내충격 정도를 판단하였는데, 폭약에 따른 거리별 수중 충격압력 및 수중 한계폭발거리의 측정과 뇌관의 내충격성 시험은 사압현상 및 잔류약의 방지에 활용 가능할 것으로 판단된다.

#### 4.1 폭약의 수중 충격압력과 한계 폭발거리

수심 2m의 깊이에서 폭발하는 28mm의 Gelatine Dynamite로부터 일정거리(0.3~1.0m)를 이격하여 충격압력을 측정하고, Kirkwood-Bethe의 식에서의 상수를 도출하여 암반내 충격압력을 측정한 Shulin Nie의 식과 비교하였을 때, 다음과 같은 결과를 나타내었다.

표 2. 폭약종류별 한계 충격압력과 거리(이영호 등, 2007)

구 분	한계충격압력 (Mpa)	한계충격거리(cm)	
		수 중	암 반
일반 에멀전폭약 (NewMITE)	1.36	60	50
고성능 에멀전폭약 (MegaMEX)	2.71	40	38
Gelatine Dynamite (MegaMITE)	4.43	30 (30이하 순폭)	28

#### 4.2 뇌관의 내충격성

폭약의 내충격시험과 마찬가지로 수심 2m의 깊이에서 폭발하는 28mm의 Gelatine Dynamite로부터 일정거리(0.3~3.0m)를 이격하여 충격압력을 받은 뇌관을 대상으로 성능시험을 실시한 결과는 다음과 같다.(이영호 등, 2007)

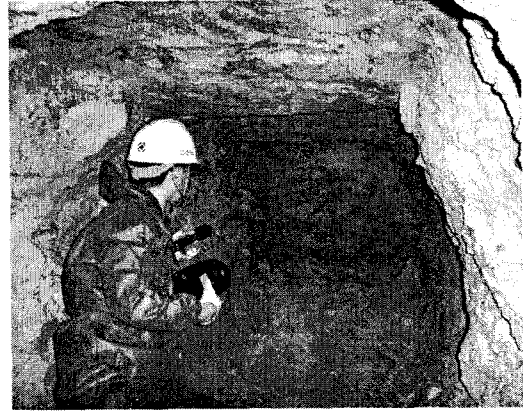
- ① 선행 충격압력에 의한 뇌관의 불폭현상은 나타나지 않음
- ② 뇌관의 위력에 따른 내충격성의 변화는 없음
- ③ 뇌관의 초시편차가 발생하며, 기준초시보다 항상 먼저 기폭됨.

### 5. 소단면 터널에서의 적용사례

본 현장은 전라남도 해남군에 위치한 광업소로서 금(Gold), 은(Silver) 및 수반광물을 채광하며, 채광과 휴지를 반복하다 '05년부터 지속적으로 채광해오고 있다. 채광 목적물이 희귀한 귀금속 광물로서 일반적으로 품위가 매우 낮고 광맥을 따라 추적 채굴함으로써 작업장이 산재하고 갱도의 규모가 매우 작은 것이 특징이다.



a) 운반막장(단면크기 : 2.5×2.5)



b) 채굴막장(단면크기 : 1.2×1.2)

그림 5. ○○개발(주) △△광업소(전남 해남)

## 5.1 현장현황

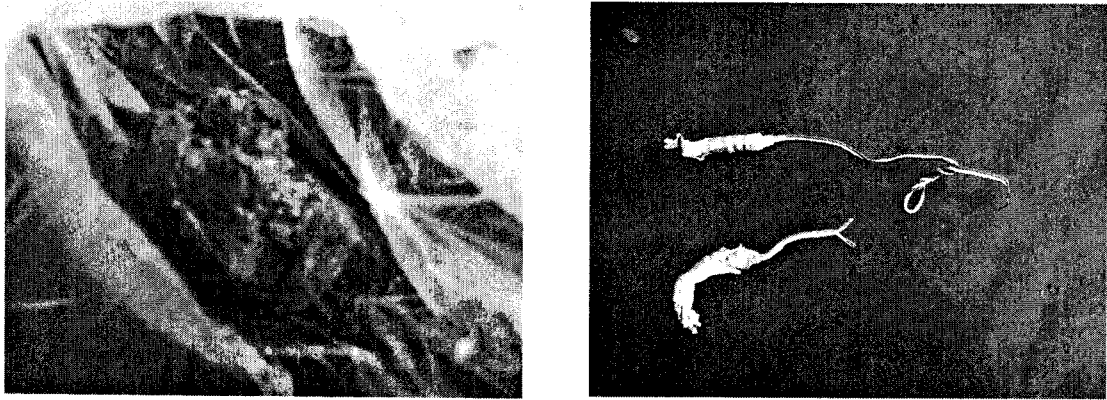
- 현 장 명 : ○○개발(주) △△광업소
- 현장소재 : 전라남도 해남군 황산면 부곡리
- 암 종 : 응회암(Tuff)
- 갱도단면 : 운반막장-2.5×2.5, 채굴막장-1.2×1.2

국내의 소규모 터널현장 중에서 가장 작은 단면크기를 가지는 현장으로 추적채굴이라는 것은 운반막장이나 채광막장에서 광맥을 확인하고, 광맥을 따라 굴진하는 방법이다. 광석광물(Ore Mineral)의 채광량을 높이고 맥석광물(Gangue Mineral)의 채광량을 줄여서 채광비용을 낮추기 위해 불가피하게 선택된 채광방식으로 단면의 협소에 따른 여러 가지 불리한 조건을 감수하고 있다. 다만, 대체로 응회암(Tuff)이 많이 분포하고 암반상태가 그리 강하지 않아 발파후에는 10cm이상의 괴석이 발생하지 않을 정도로 굴진에의 어려움은 크지 않다.

사용장비를 보면, 운반에는 전장 5.5m, 높이 2.0m의 LHD(Load Haulage Dump)가 회전이나 방향전환없이 전,후진으로 막장에서 갱의 저광장을 왕복운반하고 있으며, 천공에는 갱외에 설치된 공기압축기(Air Compressor)로부터의 압축공기를 이용한 소형 레그드릴을 사용한다. 전체 작업인원은 약 10~15명/일교대 정도로, 막장별 각 1~2명이 배치되어 천공에서부터 장약, 발파를 전담하고 있어 작업자의 숙련도나 기능에 따라 작업효율에 차이를 보이고 있다.

## 5.2 잔류약 발생 상황

화약류는 MegaMITE(Gelatine Dynamite) 28mm와 HiDETO Plus(전기뇌관)로서 단면의 협소에 따른 굴진효율의 저하를 폭약의 위력으로 보완하여 굴진율(=굴진장/천공장) 90% 이상을 확보하고 있었다. 지역별 화약류 수급 조정에 따라 2008년 7월부터 고성능 에멀전폭약인 MegaMEX 28mm로 변경되어 사용된 이후, 지속적으로 잔류약이 발생하고 굴진율 역시 80%수준으로 저하되는 현상이 발생하였다.

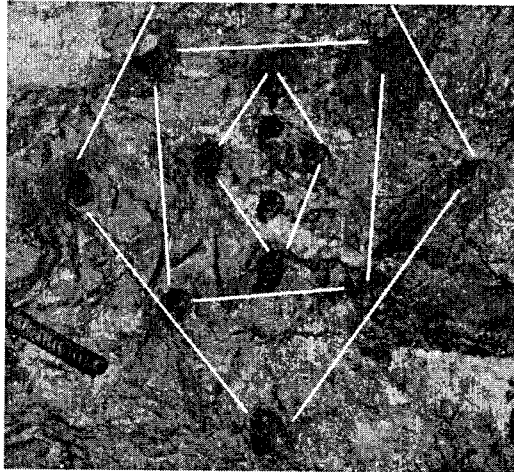


a) 잔류약(고성능 에멀전폭약)                      b) 사압추정 뇌관(LP#2, #3-심발부)

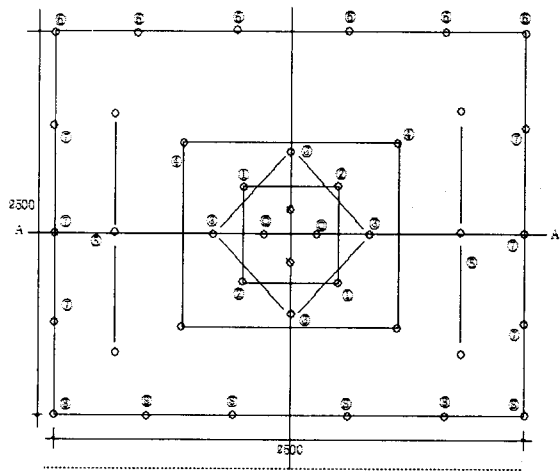
그림 5. 폭약과 뇌관의 사압현상

### 5.3 현장 발파패턴 및 문제점

당 현장의 발파패턴은 운반막장과 채굴막장 모두 Burn-Cut를 심발법으로 채택하여 굴진장을 확보하면서 단면협소에 따른 천공각도 문제에 대비하였다. 그러나, 운반막장에 비해 굴진막장의 단면이 워낙 작은 관계로 발파공간의 간격은 약 20~30cm 정도로 유지되는 경우가 많이 나타난다.



a) Burn-cut(심발부)



b) 발파패턴(운반막장)

그림 6. 현장 발파패턴

먼저, 운반막장의 발파패턴을 보면, 단면적은 6.0~7.0m<sup>2</sup> 정도로서 비교적 작은 편에 속하나, 전형적인 소단면 터널의 형태와 작업방식을 따르고 있으며, 비장약(Specific charge)은 2.0~2.5kg/m<sup>3</sup>, 천공수는 30~40공/회 정도로 일반적인 소단면 터널의 발파형태와 차이가 나지 않는다. 다만, 천공장의 경우는 1.8m로서 1.1~1.3m 천공에 1.0m 정도의 굴진을 목표로 하는 일반적인 소단면 터널보다 다소 길게 적용하고 있다. 이는 암반이 보통암~경암 수준의 응회암으로 발파효율이 비교적 우수하였기 때문에, 경험적으로 천공장을 점차 늘려온 결과



로 생각된다. 그러나, 심발부에서는 공간격이 매우 근접하고 장약이 집중되는 문제가 있어 사압현상 및 잔류약의 가능성이 높아지는 결과를 초래하였다.

또한, 채굴막장은 금(Gold)광맥을 추적하여 진행하고 맥석광물을 생산하지 않기 위해 최대한 단면적을 줄이고 천공장을 1.8m로 유지한 결과, 발과공간의 간격은 심발공이 아닌 확대공에서도 30cm이하로 배치되고 단면적 1.0~1.5㎡에서 약 20여공이 천공되는 밀집된 형태를 나타내고 있다.

표 3. 발과제원(운반/채굴 막장)

구 분	운반막장(2.5×2.5)	채굴막장(1.2×1.2)
천공패턴	- 총 32공 (천공장 : 1.8m) : 경암 돌출시 최대40공	- 총24공 (천공장 : 1.8m) - 심발 : Burn-Cut
폭 약	- MegaMEX φ28mm 24.0kg/발과 → 공당 6본 장약(0.75kg/공)	- MegaMEX φ28mm 18kg/발과 - 공당 6본 장약(0.75kg/공)
뇌 관	- 전기뇌관 : 순발, MS#1~MS#8	- 전기뇌관 : 순발, MS#1~MS#8
비 장 약	2.133 kg/㎡	6.94 kg/㎡

이러한 공간격의 근접과 장약집중 등 발과패턴상의 문제점으로 인하여 사압현상과 잔류약의 발생정도가 MegaMITE(Gelatine Dynamite)를 사용한 경우에는 많지 않았던 반면, MegaMEX(고성능 에멀전 폭약)로 전환한 이후에는 발생빈도가 높아지게 되었다. 특히, 채굴막장의 경우에는 거의 매회 발과에서 잔류약이 나타나고 굴진율이 떨어지는 등의 문제가 발생하였다.

#### 5.4 발과패턴의 변경 및 시험결과

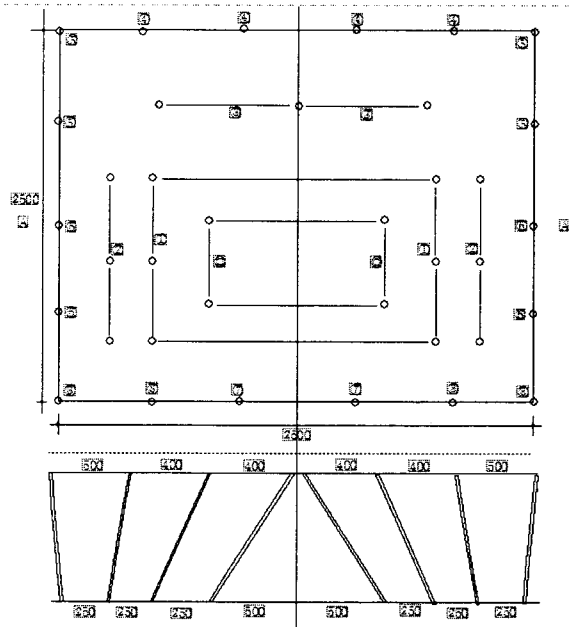
이영호 등(2007)의 실험결과(표2 참조)를 토대로 MegaMEX(고성능 에멀전 폭약)를 장약한 공의 간격을 40cm이상으로 유지하기 위해서는 심발법을 변경하여야 한다. 즉, Burn-cut에서 V-cut로 변경하여 공저부의 간격을 유지하고 천공패턴을 직선화하여 인력착암으로 인한 천공오차를 줄이도록 조치하였다. 또한, Baby-cut를 이용하여 최초 심발공의 부담을 줄이고 장약량을 일부 감소시키는 조치를 시행하였으나 단면의 협소에 의한 구속력의 감소를 위해 천공장을 줄이는 방안은 현장여건과 상황으로 인해 채택되지 못하였다.

또한, 채굴막장의 경우에는 단면크기가 매우 협소하여 발과패턴을 변경하여 적용한다고 하여도 발과공의 간격을 40cm이상으로 유지하기 곤란하므로 MegaMITE로 재전환하여 시행하였다.

3회의 시험발과 결과, 사압현상에 의한 잔류약은 발생하지 않았으며 계획굴진장인 1.5m 이상의 굴진을 확보할 수 있었다. 다만, 인력작업으로 인하여 부득이하게 공간격이 근접한 발과공은 전열과 동시기폭될 수 있도록 현장에서 패턴을 수정하여 적용하였다.

표 4. 변경 발파패턴(시험발파)

구 분	뇌관 종류	번호	공수	폭 약(MegaMEX, Ø28×0.125kg×0.180m)		
				수량(本)	공당 장약량(kg)	지발당 장약량(kg)
baby-cut	ID	0	4	3	0.375	1.5
심발공	MS	1	6	6	0.75	4.5
확대공	MS	2	6	6	0.75	4.5
	MS	3	3	4	0.5	1.5
	MS	4	4	4	0.5	2.0
벽공/ 바닥공	MS	5	4	6	0.75	3.0
	MS	6	4	6	0.75	3.0
	MS	7	2	6	0.75	1.5
	MS	8	4	6	0.75	3.0
소계			37			24.5
MegaMEX Ø28 : 24.5kg (196본)						



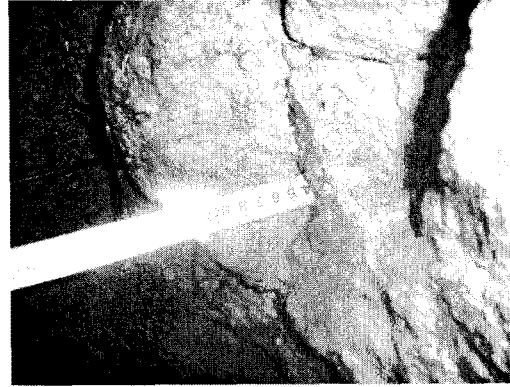
a) Baby V-cut(심발부)

b) 변경발파패턴(운반막장)

그림 7. 시험 발파 패턴



a) 작업사진



b) 발파후 막장(잔류공 : 20~30cm)

그림 8. 시험 발파 결과

## 6. 결론

소단면 터널에서 주로 발생하는 에멀전 폭약의 사압현상과 잔류약의 발생은 작업공간의 협소로 인하여 발파공간의 간격이 근접하고 장약이 집중되어 발생하는 것이다. 이것은 먼저 기폭된 발파공의 충격압력에 의해 인접공의 폭약이 예비압축(Precompression)되어 장약된 에멀전 폭약이 기폭되지 않거나 위력이 반감하는 현상으로 잔류약으로 남는 경우가 많다. 사압현상은 당해 발파의 실패와 함께 2차적인 사고의 위험요인이 될 수 있으므로 이를 방지하기 위해 기존 문헌을 통하여 사압현상의 원인과 발생 가능성을 검토하였고, 국내에서 주로 사용되는 에멀전폭약의 수중 내충격성시험과 충격압력 전달시험을 통하여 한계 충격거리를 설정하고, 사압현상이 발생한 소단면 터널현장을 대상으로 심발방법을 변경하여 전단의 충격압력을 견딜 수 있는 공간격을 확보하고 뇌관의 초시간격을 조정하여 시험발파를 실시하였다. 그 결과, 사압현상을 억제하고 잔류약의 발생을 감소시켜 계획 굴진장을 확보하고 파쇄석의 크기를 감소시키는 등 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 이러한 과정을 통한 얻은 소단면 터널에서의 고성능 에멀전(MegaMEX)의 사압제어 방안과 그 대책은 다음과 같다.

- ① 발파공간의 간격은 40cm이상으로 유지
- ② 경사 심발공을 이용하되 공저간격의 확보를 위해 Baby-cut를 활용
- ③ 작업관계상 공간격이 불가피하게 근접하는 경우는 전열과 동시 기폭

그 외에도 1차 가스 압력파(Bubble Pressure)에 대비하기 위해 LP보다 MS뇌관을 사용하는 것이 유리하나 현장특성을 고려하여 선택적으로 사용하는 것이 바람직하다고 판단되며, 폭약의 내충격성을 향상 시켜 사압현상을 감소시킬 수 있는 폭약의 개발도 지속적으로 추진하여야 할 것이다.

### 참고문헌

1. 이영호, 이승찬, 이용소, 윤종화, 2001, 에멀전 폭약의 내충격 특성, 화약·발파 제19권 제3호, pp. 49-56.
2. 이영호, 이승찬, 이용소, 김문태, 2007, 에멀전 폭약의 내충격성 연구, 화약발파공학회 춘계학술발표회 논문집, pp. 49-56.
3. John J. Mullay, Joseph A. Sohara, Lobert L. Schjrepple, Curtis J. Keefer, 1990, Borehole study of precompression resistance in detonator and explosives, ISEE.
4. John J. Mullay, C.J. Mcginley, G.W.Anderson, C.J. Keefer, J.F. VanNorman, 1994, Small Scale In-Rock Precompression Testing;Effects of Delay timing, ISEE.