

소단면 터널에서 에멀전폭약의 사압현상과 대책

민형동¹⁾, 정민수^{1)*}, 진연호¹⁾, 박윤석¹⁾

Dead Pressure and its measures of Emulsion Explosives at Small Sectional Tunnel

Min Hyung dong, Jeong Min Su, Jin Yeon Ho and Park Yun Suk

Abstract In general, the size of tunnel cross section in construction site is 50~200m². But, electric cable tunnel, telecommunication cable tunnel, mine tunnel, Waterproof tunnel have small cross section less than 20m². There are so many problem at small sectional tunnel : restriction of equipment, dead pressure by precompression, loss of efficiency, increase of work time. Especially, explosives remainder by precompression of previous detonation is serious problem. To find its measures of dead pressure (explosives remainder), the following series of progress have been conducted : (1) survey of previous study (2) investigate causes of dead pressure (3) set up of its measures (4) application and appraisal at tunnel site. The measures, change of cut pattern, hole space over 40cm, adjustment of delay time, are proved by experimental results.

Key words Small sectional tunnel, Emulsion explosive, Precompression, Dead pressure, Explosives remainder

초 록 도로 및 철도 건설에서 적용되는 터널의 단면크기는 50m²에서부터 200m²의 중·대단면 터널이 주를 이루고 있으나, 전력구, 통신구, 광산용 터널, 용수를 위한 도수로터널 등 특수한 용도로 설계, 시공되고 있는 터널에서는 20m²이하의 단면크기를 갖는 경우가 많다. 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 예비압축되어 사압현상을 일으키고 잔류약을 발생시키는 사례가 종종 발생하고 있다. 사압현상은 발파의 실패와 함께 2차적인 사고의 위험요인이 될 수 있으므로 이를 방지하기 위한 대책을 수립하여야 한다. 기존 문헌을 통하여 사압현상의 원인과 발생 가능성을 검토하였고, 사압현상이 발생한 소단면 터널현장을 대상으로 그 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 확보하였으며 파쇄석의 크기를 감소시키는 등 양호한 결과를 얻을 수 있었다.

핵심어 소단면 터널, 에멀전 폭약, 예비 압축, 사압현상, 잔류약

1. 서 론

우리나라는 산지가 70% 이상을 차지하는 지형 여건상 많은 터널이 계획되고 시공되고 있으며, 근래에는 대도시를 중심으로한 인구의 집중으로 인해 물류

와 통행량이 급증하고 장대화에 따른 방재, 안전 및 유지 관리 등의 이유로 단면크기가 점차 확대되고 있는 실정이다. 그러나, 특수한 용도로 사용되는 소단면 터널은 단면크기의 협소로 적용 장비의 제약과 발파 효율의 저하를 감수하여야 하는 등의 어려움을 겪고 있다. 특히, 먼저 기폭된 발파공의 충격압력에 의해 발생하는 에멀전 폭약의 사압현상과 잔류약에 따른 발파의 실패는 작업자의 안전을 위협하는 요소가 되므로 이것을 방지하기 위한 대책이 요구되고 있다. 본

¹⁾ (주)한화 화약기술팀

* 교신저자 : porky1@hanwha.co.kr

접수일 : 2008년 11월 10일

게재 승인일 : 2008년 11월 24일

논문에서는 기존 국내외 자료를 검토하고, 국내 유통되는 에멀전 폭약의 사압현상과 그 발생정도를 파악하여 적절한 대책을 세우는데 그 목적이 있다.

2. 소단면 터널의 특징

터널의 단면크기는 터널내 시설 공간, 선형조건에 따른 확폭량, 유지관리에 필요한 여유폭 등을 고려하여 최적단면을 산출하여 설계하는데, 도로터널의 경우에는 100㎡내외의 규모에서 표준화되어지고 있으며 철도터널에서도 고속철도 및 지하철의 복선화에 따라 단면크기가 확대되고 있다.

그러나, 특수한 용도로 사용되는 일반적인 소단면 터널 역시 많은 부분을 차지하고 있다. Fig. 1은 소단면 터널의 예로서 여수로 및 광산터널의 모양을 나타낸 것이다.

2.1 소단면 터널현황

국내 시공중인 소단면 터널의 사례를 들면, Table 1과 같다.

일반적인 철도터널의 규모는 Table 1에서 처럼 단선철도로서 약 40~50㎡ 수준의 단면크기와 최대 6m 정도의 터널폭을 갖는데 Jumbo-Drill에 의한 천공장비의 제약과 3.0m이상의 과도한 천공장으로 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 15㎡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 인



a) waterproof tunnel



b) mine tunnel

Fig. 1. Small sectional tunnel.

Table 1. Types of small sectional tunnel

구 분		단면크기(㎡)	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

하여 중·대단면 터널과는 작업방식이나 발파패턴에 큰 차이를 보이게 된다. 소단면 터널에서 발생하는 문제점을 나타내면 Fig. 2와 같이 심발부 천공경사 확보 곤란, 암반 구속력의 증가로 인한 장약량 증가, 공간격의 근접으로 인한 사압현상과 잔류약의 발생 등을 들 수 있다.

3. 사압현상과 잔류약

초안폭약, ANFO, 에멀전 폭약 등은 발파공의 충격

압력이 아직 기폭되지 않은 공내 폭약에 영향을 주어 발파위력이 저하되거나 잔류약이 발생하는 문제점이 나타나는데, Fig. 3에서처럼 이것은 충격압력에 의해 폭약내의 기포가 유실되고 비중이 높아지며 감도가 저하되어 발생하는 것으로 사압현상이 가장 큰 원인으로 지적된다. 특히, GMB (Glass Micro Balloon)로 예감화한 에멀전 폭약은 외부의 충격압력에 의해 Hot-Spot역할을 담당하는 GMB가 파괴되어 감도가 저하되는 경우가 많다. 일반적으로 Gelatine Dynamite는 외부충격에 대해 상대적으로 잘 견디는 양상을 보이는데,

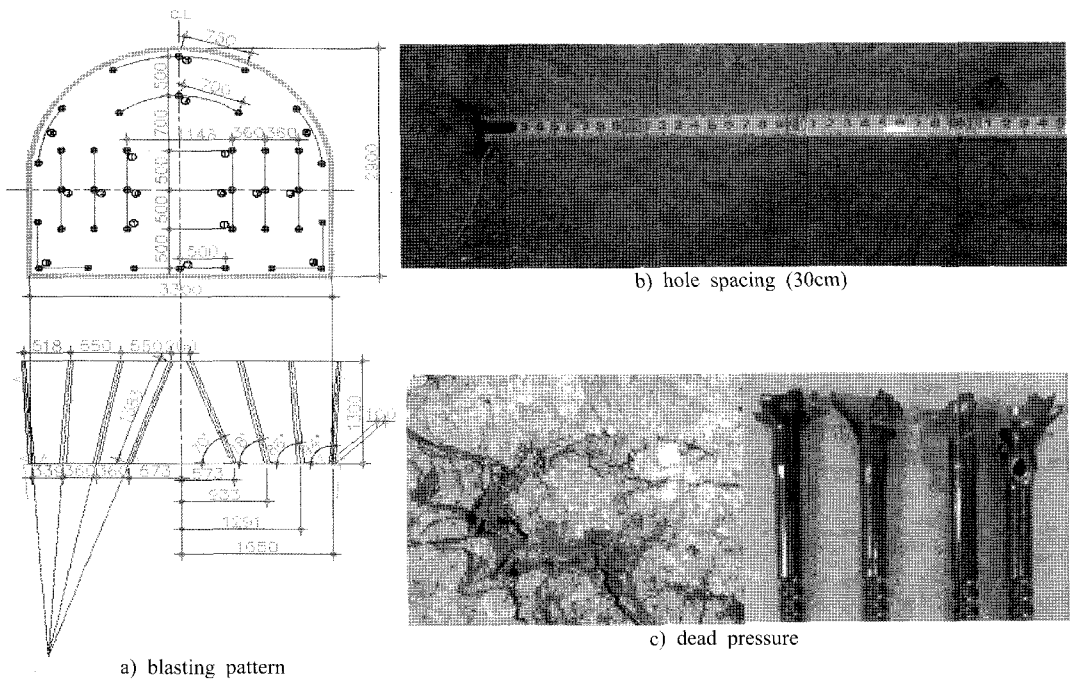


Fig. 2. Characteristics of Small sectional tunnel.

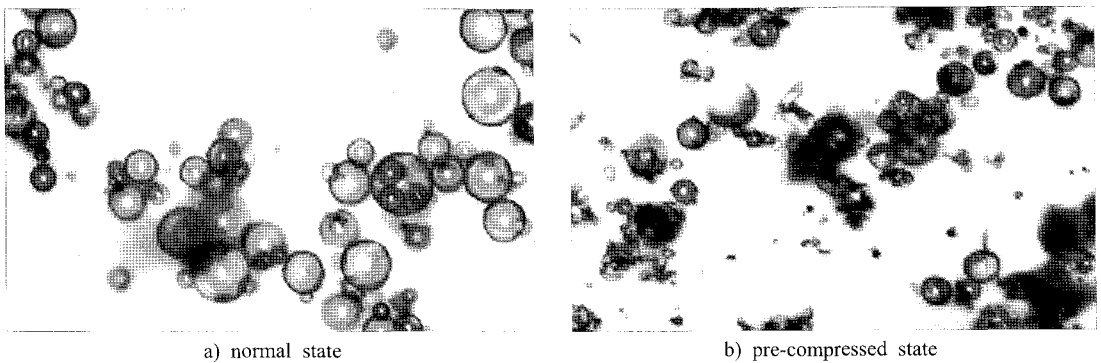


Fig. 3. Microphotograph of EMX.

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-Spot가 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.

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

3.2 사압 현상의 발생기구

현재까지 보고된 사압현상과 잔류약의 발생원인을 살펴보면, 폭약이 장약된 장약공의 붕괴, 인접공에 미치는 충격파와 가스압력, 측벽효과 등 여러 가지가 있다. 특히, 후단의 뇌관 또는 폭약이 충격파와 가스압력으로 예비압축되어 불폭이 발생한다는 것을 증명한 연구보고가 있으며(Mullay 등, 1990; Mullay 등, 1994), 이들 연구에서는 잔류약의 발생원인을 다음의 5가지로 소개하였다.

- 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 acting simultaneously)
- ④ 폭약의 압축(Compaction of the explosives)
- ⑤ 워터햄머 효과(Water hammer effect) 등이 있다.

그리고, 예비압축에 의한 잔류약의 폭약종류, 뇌관

종류, 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 아래와 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 지발전기뇌관을 사용할 경우, 발파공간의 지연시간이 너무 짧게 되면 충격파와 가스압력의 조합에 의한 후단에서의 영향이 커지며, 너무 길게 되면 Cut-off의 발생에 의한 가연성 가스의 착화위험이 커지게 된다는 것이다. 또한, 탄광중에서 사압현상에 의한 잔류약의 발생을 억제하기 위한 공간격으로는 60cm 이상을 적용하도록 규정하고 있다.

4. 폭약과 뇌관의 내충격성

사압현상과 잔류약의 발생은 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 가능한 것으로 보고하고 있다(Table 2).

Table 2. 폭약종류별 한계 충격압력과 거리(이영호 외, 2007)

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

4.1 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, Table 2와 같은 결과를 나타내었다.

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

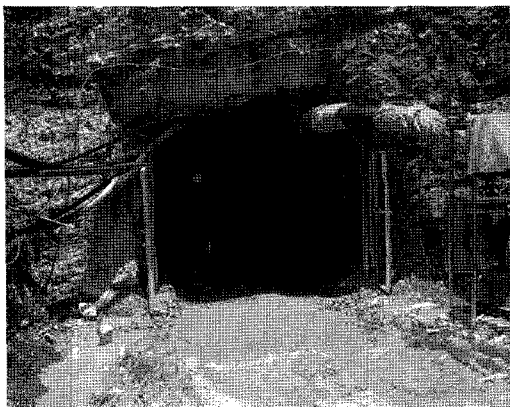
- ③ 뇌관의 초시핀차가 발생하며, 기준초시보다 항상 먼저 기폭됨.

5. 소단면 터널에서의 적용사례

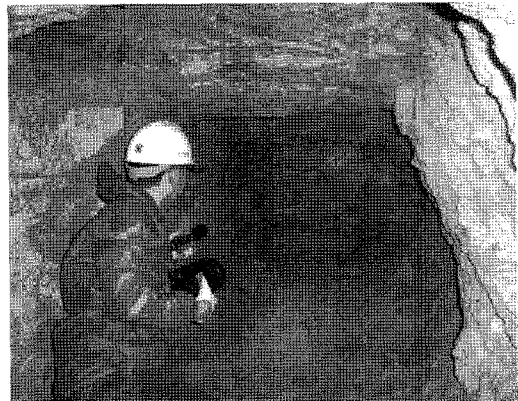
본 현장은 전라남도 해남군에 위치한 광업소로서 금, 은을 채광하며, 채광과 휴지를 반복하고 있으며, '05년부터 지속적으로 채광해오고 있다. 채광 목적물이 희귀한 귀금속 광물로서 일반적으로 품위가 매우 낮고 광맥을 따라 추적 채굴함으로써 작업장이 산재하고 갱도의 규모가 매우 작은 것이 특징이다.

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



a) transport tunnel(2.5×2.5)



b) digging tunnel(1.2×1.2)

Fig. 4. 광업소 갱도 전경.

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 채광 방식으로 단면의 협소에 따른 장약량의 증가, 굴진율의 감소 등 여러 가지 불리한 결과를 나타내고 있다.

사용장비를 보면, 운반에는 전장 5.5m, 높이 2.0m의 LHD (Load Haulage Dump)가 회전이나 방향전환 없이 전,후진으로 막장에서 갱의 저광장을 왕복운반하고 있으며, 천공에는 갱외에 설치된 공기압축기(Air Compressor)로부터의 압축공기를 이용한 소형 레그드릴을 사용한다. 전체 작업인원은 약 10~15명/日 정도로, 막장별 각 1~2명이 배치되어 천공에서부터 장약, 발파를 전담하고 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 Fig. 5의 a)와 같은 잔류약, b)와 같은 잔류뇌관이 발생하고, 굴진율 역시 80%수준으로 저하되는 현상이 발생하였다.

5.3 현장 발파패턴 및 문제점

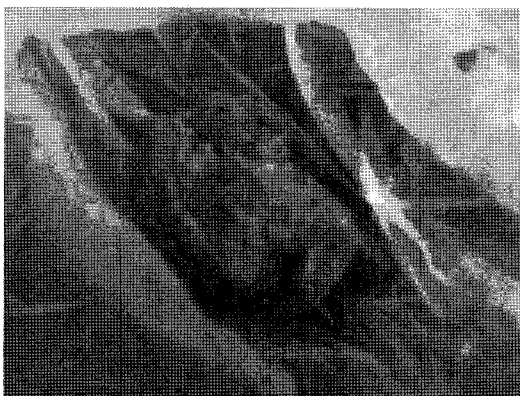
본 현장의 발파패턴은 Fig. 6에서처럼 운반막장과 채굴막장 모두 Burn-Cut를 심발법으로 채택하여 굴진장을 확보하면서 단면협소에 따른 천공각도 문제에 대비하였다. 그러나, 운반막장에 비해 굴진막장의 단면이 워낙 작은 관계로 발파공간의 간격은 약 20~30cm 정도로 유지되는 경우가 많이 나타난다.

먼저, 운반막장의 발파패턴을 보면, 단면적은 6.0~7.0㎡ 정도로서 비교적 작은 편에 속하나, 전형적인 소단면 터널의 형태와 작업방식을 따르고 있다. 비장약(Specific charge)은 2.0~2.5kgf/m³, 천공수는 30~40공/회 정도이며, 천공장은 1.8m이다.

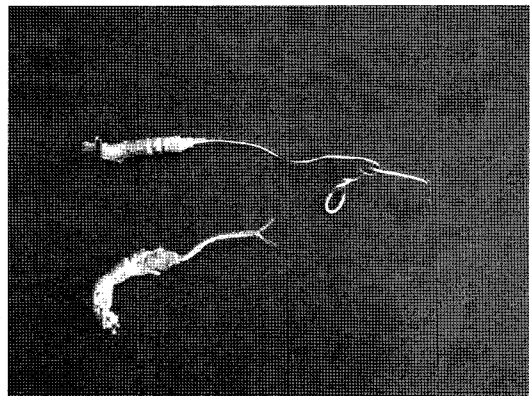
이것은 암반이 보통암~경암 수준의 응회암으로서 경첩적으로 천공장을 점차 늘려온 결과로 보이며, 심발부에서는 공간격이 10~20cm로서 장약이 집중되는 문제가 있어 사압현상 및 잔류약의 가능성이 높아지는 결과를 보이고 있다.

채굴막장은 금 광맥을 따라 진행되고 맥석광물의 생산을 줄이기 위하여 천공장을 1.8m로 유지한 결과, 발파공간의 간격은 심발공이 아닌 확대공에서도 30cm이하로 배치되고 단면적 1.0~1.5㎡에서 약 20여공이 천공되는 밀집된 형태를 나타내고 있다.

이와 같이 공간격의 근접과 장약집중 등 발파패턴상의 문제점으로 인하여 사압현상과 잔류약의 발생정도가 MegaMITE를 사용한 경우에는 많지 않았던 반면, MegaMEX로 전환한 이후에는 발생빈도가 높아지게 되었다. 특히, 채굴막장의 경우에는 거의 매회

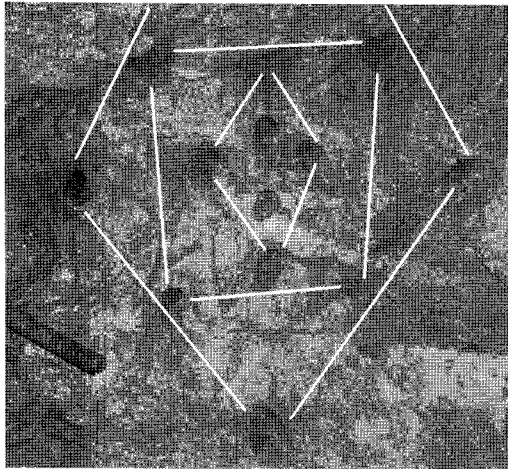


a) remainder of explosives

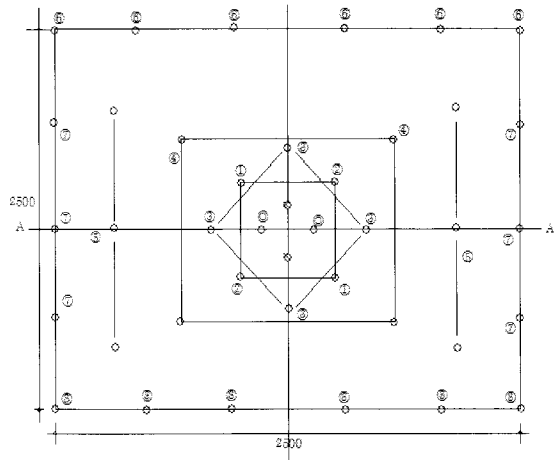


b) remainder of Detonator (LP#2, #3)

Fig. 5. Occurrence of dead pressure in Blasting.



a) burn-cut



b) blasting pattern

Fig. 6. 현장에서 적용하고 있는 심발과 발파패턴.

Table 3. Details of blasting method

구 분	운반막장(2.5×2.5)	채굴막장(1.2×1.2)
천공패턴	- 총 32공(천공장 : 1.8m) - 심발 : Burn-cut	- 총24공(천공장 : 1.8m) - 심발 : Burn Cut
폭 약	- MegaMEX φ28mm 24.0kg/발파 - 공당 6본 장약(0.75kg/공)	- MegaMEX φ28mm 18kg/발파 - 공당 6본 장약(0.75kg/공)
뇌 관	- 전기뇌관 : 순발, MS#1~MS#8	- 전기뇌관 : 순발, MS#1~MS#8
비 장 약	- 2.133kg/m ³	- 6.94kg/m ³

발파에서 잔류약이 나타나고 굴진율이 떨어지는 등의 문제가 발생하였다.

5.4 발파패턴의 변경 및 시험결과

이영호 등(2007)의 실험결과를 토대로 MegaMEX를 장약한 공의 간격을 40cm이상으로 유지하기 위해서는 심발법을 변경하여야 한다. Table 4 및 Fig. 7과 같이 Burn-cut에서 V-cut로 변경하여 공저부의 간격을 유지하고 천공패턴을 직선화하여 인력착암으로 인한 천공오차를 줄이도록 조정하였다. 심발공에서 Baby-cut를 적용하여 공간격의 증가에 따른 부담을 줄이고 장약량을 일부 감소시켰다. 단면협소에 따른 구속력의 감소를 위하여 천공장을 줄이는 방안은 현장의 작업여건상 적용이 어려웠다.

한편 채굴막장의 경우에는 단면크기가 매우 협소하여 발파패턴을 변경하여 적용한다고 하여도 발파공의 간격을 40cm이상으로 유지하기 곤란하므로 MegaMITE

로 재전환하여 시행하였다.

3회의 시험발파를 실시한 결과, 사암현상에 의한 잔류약은 발생하지 않았으며 계획굴진장인 1.5m이상의 굴진을 확보할 수 있었다(Fig. 8). 다만, 인력착암으로 인하여 천공이 부정확하여 근접하게 천공된 발파공은 먼저 기폭되는 전열공과 동시기폭될 수 있도록 현장에서 패턴을 수정하여 적용하였다.

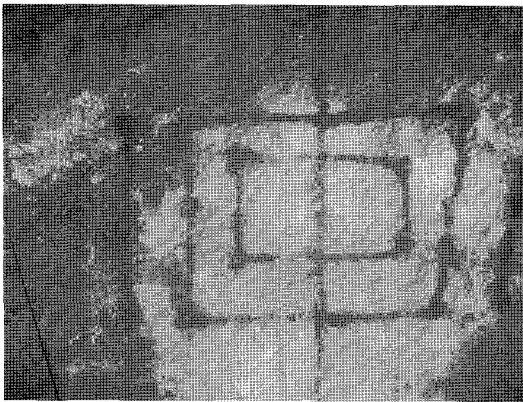
6. 결론

소단면 터널에서 주로 발생하는 에멸전 폭약의 사암현상과 잔류약의 발생은 작업공간의 협소로 인한 발파공간의 근접과 집중장약에 기인한다. 이것은 먼저 기폭된 발파공의 충격압력에 의해 인접공의 폭약이 예비압축되어 장약된 에멸전 폭약이 기폭되지 않거나 위력이 반감되어 잔류약으로 남는 경우가 많다. 사암현상은 발파의 실패와 함께 2차적인 사고의 위험

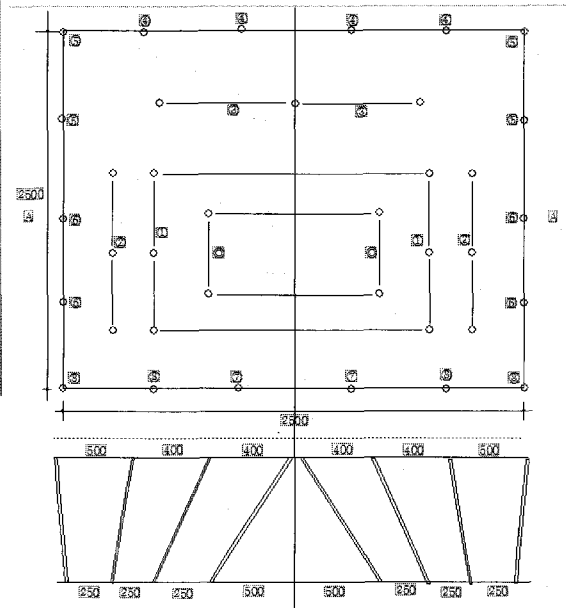
Table 4. 수정제한한 발파방법의 제원

구 분	뇌관 종류	번호	공수	폭 약(MegaMEX, Ø28×0.125kg×0.180m)		
				수량(본)	공당 장약량(kgf)	지발당 장약량(kgf)
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



b) Blasting pattern

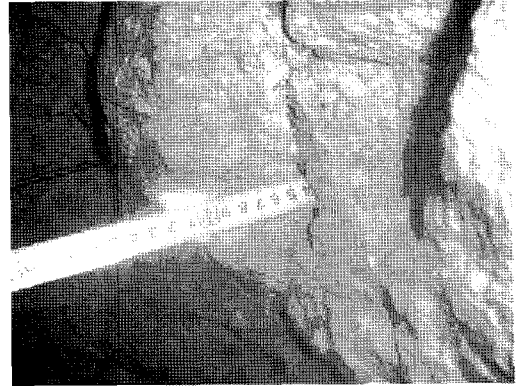
Fig. 7. 수정 발파방법의 패턴과 천공도.

요인이 될 수 있으므로 이를 방지하기 위해 기존 문헌을 통하여 사압현상의 원인과 발생 가능성을 검토하였고, 국내에서 주로 사용되는 에멀전폭약의 수중 내 충격성시험과 충격압력 전달시험을 통하여 한계 충격 거리를 설정하였다. 사압현상이 발생한 소단면 터널 현장을 대상으로 심발방법을 변경하여 전단의 충격압력을 견딜 수 있는 공간격을 확보하고 뇌관의 초시각

격을 조정하여 시험발파를 실시하였다. 그 결과, 사압 현상을 억제하고 잔류약의 발생을 감소시켜 계획 굴진장을 확보하고 파쇄석의 크기를 감소시키는 등의 결과를 얻을 수 있었다. 이 과정을 통한 소단면 터널에서의 고성능 에멀전(MegaMEX)의 사압제어 방안과 그 대책은 다음과 같다.



a) 작업사진



b) Hole depth remaining after Blasting(20~30cm)

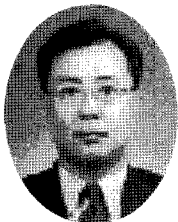
Fig. 8. 수정 제안된 방안의 진행과 결과.

- 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 유리한 것으로 판단되며, 폭약의 내충격성을 향상 시켜 사압현상을 감소시킬 수 있는 폭약의 개발도 지속적으로 추진하여야 할 것이다.

참고문헌

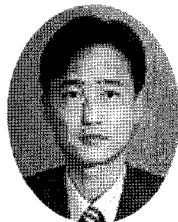
1. 이영호, 이승찬, 이응소, 윤종화, 2001, 에멀전 폭약의 내충격 특성, 화약·발파 제19권 제3호, pp.49-56.
2. 이영호, 이승찬, 이응소, 김문태, 2007, 에멀전 폭약의 내충격성 연구, 화약발파공학회 춘계학술발표회 논문집, pp. 49-56.
3. J.J. Mullay, J.A. Sahara, L.L. Schjrepple, C.J. Keefer, 1990, Borehole study of precompression resistance in detonator and explosives, ISEE.
4. J.J. 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.



민형동
(주)한화 화약기술팀 부장
Tel : 02)729-1713
E-mail : hyung777@hanwha.co.kr



정민수
(주)한화 화약기술팀 차장
Tel : 02)729-1736
E-mail : pooky1@hanwha.co.kr



진연호
(주)한화 화약기술팀 과장
Tel : 02)729-1735
E-mail : jyh0924@hanwha.co.kr



박윤석
(주)한화 화약기술팀 대리
Tel : 02)729-1508
E-mail : parkys@@hanwha.co.kr