

## 근거리에서 발파굴착 공법과 폭약에너지 관계

조영곤<sup>1)</sup> · 이종훈<sup>2)</sup>

### 1. 서 론

산악지역이 많고 국토는 좁으나 인구밀도가 높아 효율적인 토지활용을 하려다보니 각종 건설공사에서 근접발파를 할 경우가 많이 발생되고 있다.

각종 설계지침이나 시방사항, 시공사례 등이 많이 있지만 발주처의 기준이 다를 수도 있고 현장여건이 다양하여 의견 수렴이 어려울 때도 많고 특히 민원인의 지나칠 정도의 요구에 부딪치는 경우에는 시공사의 경우 공사 추진에 어려움이 클 때가 많다.

다행히도 건설교통부에서 수년간 연구 검토하여 제시한 '노천발파 설계 시공지침'이 설계사나 시공사에 크게 도움이 되고 있다. '설계시공지침'에서 노천발파를 위한 표준작업이 거리와 발파진동 정도에 따라 패턴별로 폭약량, 저항선, 공간격, 천공장, 천공경 등이 잘 명시되어 있지만 설계된 내용에 따라 시공을 하는 단계에서 발파작업같은 경우는 시험발파를 통해 얻어지는 결과가 설계내용과 다르게 나타날 경우 발주처나 감리와 의견 수렴 과정에서 비장약량(㎡당 폭약 소요량)이나 패턴별 폭약 사용량의 정도만으로는 쉽게 의견이 수렴되지 않는 경우가 많아 패턴별로 Energy의 크기로 정량화 하여 표현함으로써 이해를 도울 필요가 있다. 따라서 본문에서는 시공 사례를 들어 건설교통부의 '노천발파 설계 시공지침'을 폭약의 Energy와 연관하여 표현하고자 한다.

### 2. 본 론

#### 2.1 공사 개요

1. 공 사 명 : 마창대교 접속도로 00~00간 도로개설공사
2. 시 험 발 파 위 치 : 경상남도 창원시 00동 일원
3. 시 험 발 파 일 시 : 2005년 3월 ~ 2007년 10월

1) 조은엔지니어링 대표

2) 조은엔지니어링

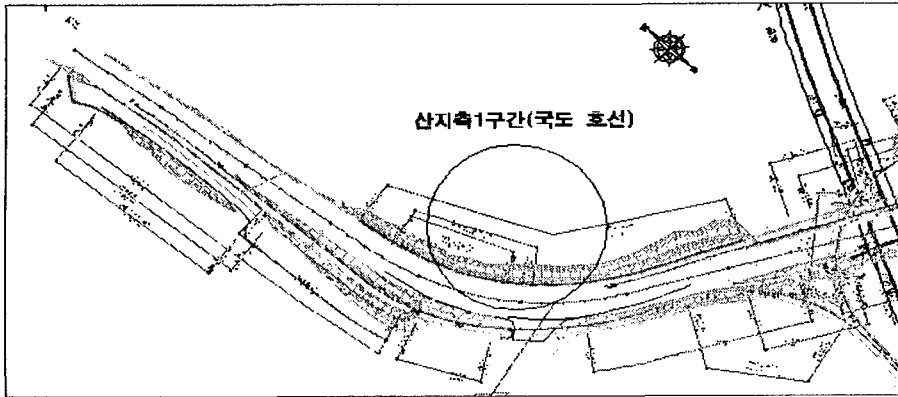


그림 1. 시험발파 위치

## 2.2 보안물건 현황

### 주변현황

굴착검토 대상현장은 '마창대교 접속도로 00~00간 개설공사'를 위한 국도 0호선 확장구간이 국도에서 2~10(m) 이내로 근접하여 있고 개설 Ramp way도 최근접 지점이 10m 정도 이격되어 있고 절취해야 할 암반사면이 자연상태에서 29°~39° 이고 절취 후 경사가 51° 로 경사가 매우 급하여 시공 중 전석 등에 의한 안전이 매우 우려되는 상황이다.

### 보안물건 현황

표 1. 보안물건 현황

보안물건	검토사항
① 국도 0호선	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 발파암 비산, 전석에 대한 안전</li> <li>○ 주행차량의 발파 작업 시 안전</li> <li>○ 전석</li> </ul>
② 양계장	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 가축에 대한 발파진동 및 소음 영향</li> </ul>
③ 00농원	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 발파진동 및 소음 영향</li> </ul>



그림 2. 주변 보안 물건 (국도 0호선, 양계장, 00농원)

### 3. 시험발파

#### 3.1 시험발파 제원

표 2. 시험발파 제원

발파패턴	횟수	천공경 (mm)	발파제원 (m)	지발당 장약량 (kg)	비고
Type II (정밀진동제어)	1	Ø51	2.0×0.6×0.6	0.32	
Type III (진동제어 소규모)	3	Ø51	2.7×1.0×1.0	0.8~0.96	
Type IV (진동제어 중규모)	4	Ø65	3.2×1.0×1.2	1.25~1.5	
Type V (일반발파)	3	Ø65	5.7×1.6×1.6	5~5.5	

#### 3.2 시험발파 결과

진동 추정식  $V_{95\%} = 371.6 \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.58}$  을 얻었다

### 4 발파환경영향

#### 4.1 보안물건 구분

##### 보안물건의 구분

‘보안물건’이라함은 화약류 취급상의 위해로부터 보호가 요구되는 장비, 시설 등을 말하며 제1종 보안물건, 제2종 보안물건, 제3종 보안물건, 제4종 보안물건으로 구분한다.

표 3. 보안물건의 구분

구분	내용
제1종 보안물건	주보호지정물건, 시가지주택, 학교, 보육기관, 병원, 사찰, 교회 및 경기장
제2종 보안물건	촌락의 주택, 공원
제3종 보안물건	제1종, 제2종 보안물건에 속하지 아니한 주택, 철도, 선박의 항로, 계류소, 석유저장시설, 고압가스제조, 저장시설(충전소 포함), 발전소, 변전소, 공장
제4종 보안물건	국도, 지방도, 고압전선, 화약류 취급소, 화기 취급소

**도로상의 운행차량도 보안물건이다**

주택, 병원, 사찰, 교회 등이 보안물건이며 그 보안물건 안에 거주하는 사람, 환자, 신도도 보안물건이다. 가축시설, 농장, 철로상의 기차 등은 보안물건이며 가축, 농작물, 기차 등도 보안물건이며 '환경분쟁조정위원회'에 제소되는 모든 민원도 포함하여 민원이 제기되고 있다. 따라서 국도, 지방도 등도 차량통행이 목적인 보안물건이고 국도, 지방도상의 운행차량도 보안물건이다.

위에서 저술한바와 같이 보안물건은 화약류 취급상의 위험으로부터 보호가 요구되는 장비, 시설 등을 말하는 것으로 시설물의 의미가 강하며, 발파로 인한 피해를 보호하고 이해 당사자간의 재산 피해에 대한 분쟁 판단기준이 된다.

그러나, 도로에 움직이는 차량과 그 안의 탑승자는 화약류 취급상의 문제가 발생 시 보안물건의 의미를 초월하여 인간 생명의 위협과 가해사항으로 형사법상 처벌 대상으로 적용된다고 할 수 있다. 실례로 1993년 3월 28일 발생한 경부선 물금~구포역 사이에 발생한 열차 전복사고(사망78,중상 54, 경상 144)도 철도 옆에서 지중선 발파 작업 중 생긴 사고로, 움직이는 차량과 그 안의 탑승자에 대한 중대 재해로서 사고 관련자는 모두 형사법에 의거 처벌을 받았다. 따라서, 공용중인 기존 도로 주위의 발파 작업은 단순 보안물건의 발파 관리와 달리 운행 중인 차량과 탑승자에 심대한 피해를 일으킬 수 있어 엄격한 발파 기준이 적용되어야 하고, 발파 작업 시에도 철저한 안전관리가 이루어져야 한다.

**보안물건 현황**

표 4. 보안물건 검토사항

보안물건	이격거리	검토사항
국도 0호선, 운행차량	2~112(m)	전석, 비산석
양계장	75m	소음, 진동
00농원	300m	소음, 진동

**4.2 보안물건별 발파환경영향검토**

**국도 0호선**

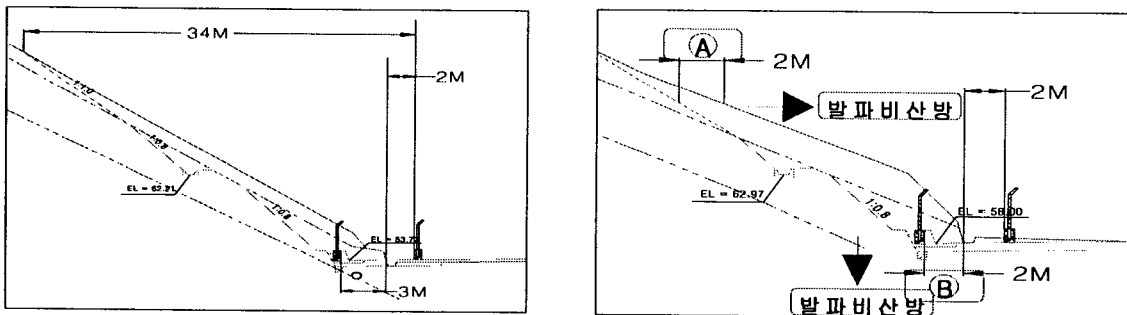


그림 3. 국도 0호선 위치별 이격거리

**움직이는 보안물건(차량+탑승자)**

4차선의 국도 2호선상에 사람이 탑승한 움직이는 보안물건인 차량이 시간당 1,000여대, 하루에 25,000 내지 30,000대 정도가 운행되고 있으며 산지측 1구간인 경우 암반사면 절취 구간 전부가 2m정도로 근접하여 있다.

표 5. 현장 운행차량 조사

측정일시	운행차량		비고
2006. 4. 22(토)	12:00~13:00	1,176대	
2006. 4. 24(월)	12:00~13:00	960대	

※ 일일 통행차량은 2,500~30,000대 수준임.

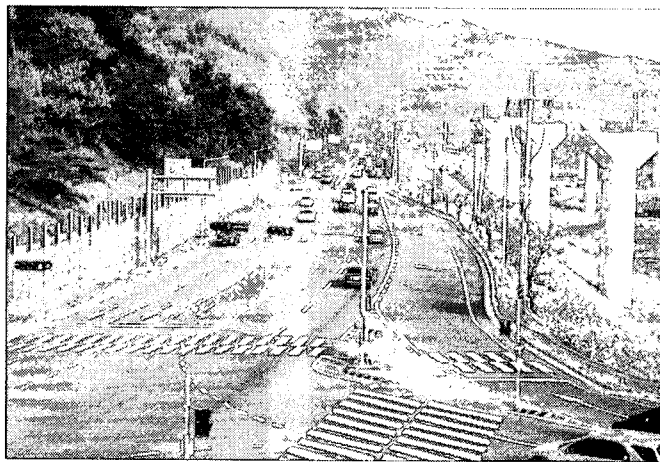


그림 4. 현장 주변 국도0호선

**양계장**

발파원에서 75m 이격된 양계장은 발파진동을 0.1cm/sec 이하로 발파작업수행이 어려우며 파쇄 공법을 적용하는 경우 공사비용이 많이 투입되므로 발파작업에 의한 사면굴착 작업기간이 수개월 밖에 안됨으로 기간 중 양계장의 양계를 전량 구매해주는 편이 경제적으로 사료된다.

**5. 폭약의 Energy**

화약제조회사의 Catalog를 보면 제품별로 폭약의 폭발열이 표시되어 있으며 단위는 kcal/kg로 표시되어 있다. 즉 폭약 1kg을 완전히 열로 환산하였을 때의 폭발열을 표시한 값이다.

현재 생산되는 폭약은 거의 모두가 NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>를 원료로 하는 Emulsion계 폭약으로 노천에서 사용되는 폭약은 보통 폭발열이 1,100kcal/kg이다.

cal의 개념이 쉽게 정량화된 값으로 비교가 되지 않으므로 일량으로 환산하여 비교하면 1cal=4.18J이므로 일량으로 환산하여 비교하기로 한다.

표 6. 폭약의 Energy

패턴	I	II	III	IV	V	VI	비고
표준폭약량 (kg)	0.125	0.25	1.0	3.0	7.5	20.0	
폭발열 (kcal/kg)	137.5	275	1,100	3,300	8,250	22,000	
Energy (kJ)	574	1,149	4,598	13,794	34,485	91,960	
대비	1	2	8	24	60	160	

- \* 1cal : 4.18J
- \* 편의상 100% 파괴력으로 이용되었다고 봄.
- \* 1J  $\approx$  10<sup>7</sup> erg  
 1erg = 1dyne · cm  
 1dyne = 질량 1g의 물체에 1cm/sec<sup>2</sup>의 가속도가 생기게 하는 힘.  
 일 = 힘 × 거리
- \* 1N = 질량 1kg의 물체에 1m/sec<sup>2</sup>의 가속도가 생기게 하는 힘.
- \* 1Pa = 1N/m<sup>2</sup>

## 6. 결론

‘건설교통부 노천발파 설계지침’ 중 각 패턴별 폭약량이나 발파제원, 비장약량에 의한 비교도 좋지만 필요에 따라 Energy 크기로 비교한다면 눈에 띄고 정량화하여 표현할 수가 있다.

표 7. 건설교통부 노천발파 설계지침과 폭약의 Energy 대비

패턴	I	II	진동제어		V	VI	비고
			소규모	중규모			
	암파쇄 굴착	정밀진동제어			일반발파	대규모	
허용지발당 장약량(kg)	0.125 미만	(0.25) (0.25~0.5)	(1.0) (0.51~1.59)	(3.0) (1.6~4.99)	(7.5) (5.0~14.99)	(?!) (15 이상)	
비장약량 (kg/m <sup>3</sup> )	0.20	0.25	0.35	0.33	0.32	0.31	
Energy (kJ)	574	1,149	4,598	13,794	34,485	91,960	
대비	1	2	8	24	60	160	

### 참고문헌

1. 이정인, 2002, 암반사면공학, 엔지니어즈, pp. 23-27.
2. 이부경, 1998, 굴착공학의 원리, 대운, pp. 363-449.
3. 이부경, 1995, 암석역학의 원리, 대운, pp. 557-583.
4. 기경철, 김일중, 2002, 산학인을 위한 발파공학, 동화기술, pp. 256-262.