

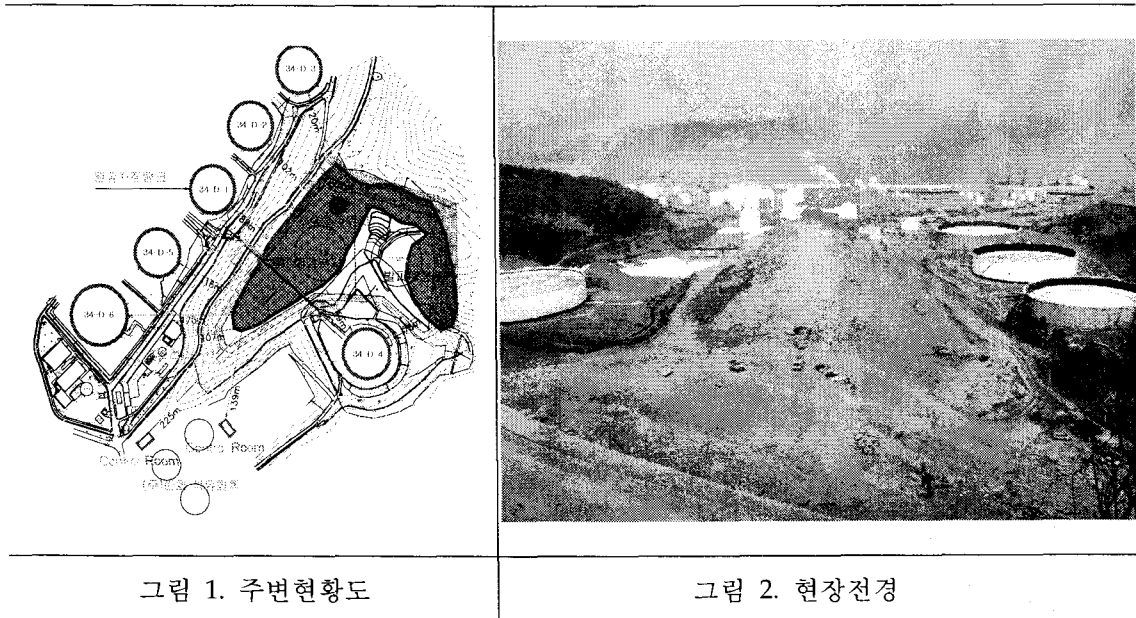
## 석유화학 단지내의 발파공사 사례

강성국<sup>1)</sup> · 이봉철<sup>1)</sup> · 김현수<sup>1)</sup> · 박종희<sup>2)</sup>

### 1. 서 언

#### 1.1 지형현황

본 현장은 행정구역상 전라남도 여주시 낙포동 산 70번지내에 위치하고 있으며 지반고는 약 EL(+) $31.0 \sim 76.0\text{m}$  정도의 구릉지로 형성되어 있다. 인근 산계는 남서쪽에 해발 336m의 제석산이 있고, 현장부지는 중앙부에 위치한 산봉우리를 중심으로 위치하며 동서측에서 원유탱크와 관련시설이 EL(+) $4.5 \sim 10.0\text{m}$ 에 위치하고 있으며, 중앙부를 남북방향으로 관통하는 기존 지하터널이 약EL(+) $22.0\text{m} \sim 24.0$ 에 위치하고 있고, 북동측 약 500m 정도에는 L.P.G 지하저장 동굴시설물이 위치하고 있어 지형적 특성상 발파진동 및 발파비산석에 대한 시설물의 영향에 대한 주의가 요망되는 지역이다.



1) 협승엔지니어링  
2) GS칼텍스(주)

## 1.2 발파대상 암반현황

발파대상 암반은 안산암이 주류를 이루고 있으며, 대부분의 암반은 일축압축 강도는 1,500kg/cm<sup>2</sup> 이상, 탄성파속도는 4,500m/sec를 초과하는 경암층이 주류를 이루고 있다.

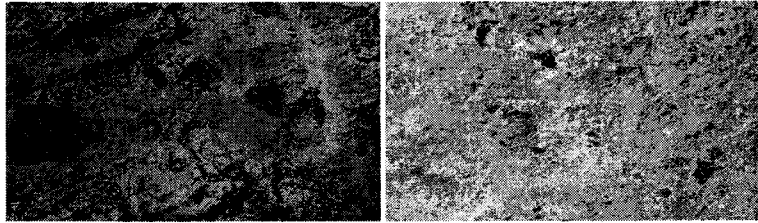


그림 3. 현장암반

## 2. 발파설계

### 2.1 발파설계 조건

- 1) 설계 발파진동 추정식 :  $V=160(D/W^{1/2})^{-1.600}$  . . . . . 건교부 암발파 설계진동 추정식
- 2) 주변 보안물건 현황 및 관리·허용진동 기준

보안물건	이격거리 (m)	발파진동 피해한계 (cm/sec)	설계적용 및 관리기준치 (cm/sec)	
지하터널	22	25.4	5.0	
변전소	107	5.0	1.0	
송유 Pipe Line	60~100	117	5.0	
원유 저장 TANK	75~160	117	5.0	
(주)한화 석유화학	관로 및 콘베이어운송시설	90	25.4	5.0
	Control Room	139	5.0	1.0
(주)E1 LPG저장동굴	500	25.4	5.0	
한전전력구 시설물 및 납사관로	3	25.4	12.7	

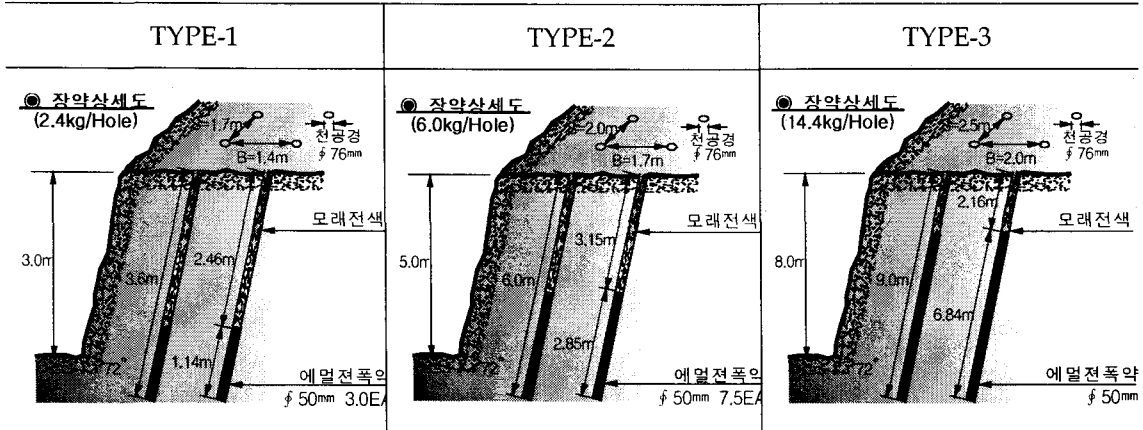
- 3) 비산 : 현장 특성상 암편의 비산은 인근 시설물에 막대한 손상을 초래할 수 있으므로 주변 시설물에 비산이 전혀 안되도록 설계

### 2.2 발파설계

#### 1) 발파패턴의 제원

구 분	TYPE-1	TYPE-2	TYPE-3
발파패턴	Bench높이 3m 이내	Bench높이 3~5m	Bench높이 5m 이상
① 천공장(m)	3.6	6.0	9.0
② 천공간격(m)	1.7	2.0	2.5
③최소저항선(m)	1.4	1.7	2.0
④ 공당 장약량 (kg/Hole)	2.4	6.0	14.4
⑤ 지발당장약량 (kg/delay)	2.4	6.0	14.4
⑥ 공당굴착량 (m <sup>3</sup> /Hole)	7.14	17.0	40.0
⑦ 동시발파공수	20공이내	20공	20공

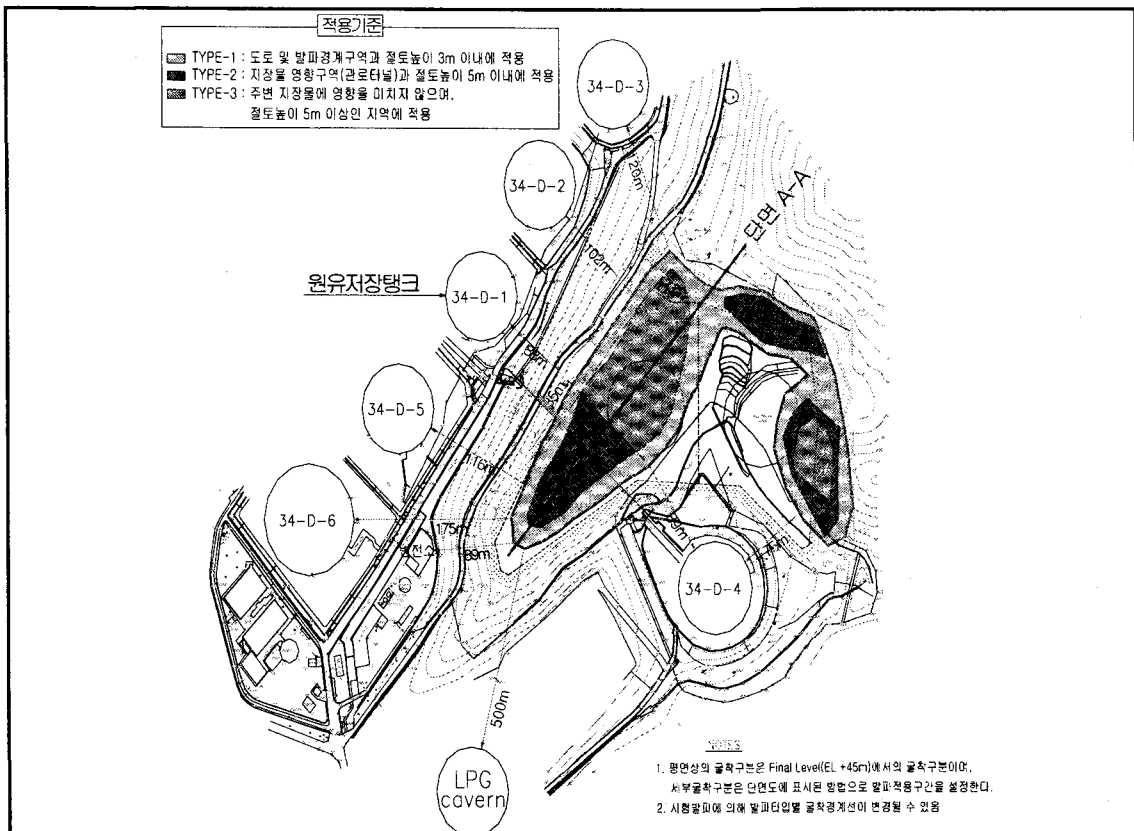
2) 발파패턴도



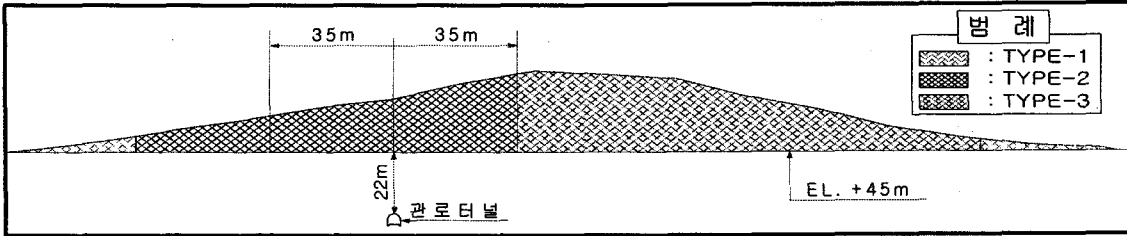
\*본 발파패턴을 본 현장 표준 발파패턴으로 제시하였으며, 암질강도 증가 및 소할등을 감안하여 다소 화약량을 조정할 수 있고 주요 시설물에서의 진동계측 결과에 따라 지발당 장약량의 변화가 있을 수 있다는 전제조건으로 실시설계를 하였다.

3) 발파설계 패턴별 구분 제시

(1) 평면도(Final Level, EL +45m 기준)



(2) 단면도(A-A)



2.3 공사비 및 소요공기

1) 발파공사비

공종	규격	수량	단위	노무비		재료비		경비		계	
				단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액
당초예산		443,319	m	3,647	1,616,784,393	4,741	2,101,775,379	2,370	1,050,666,030	10,758	4,769,225,802
실시설계											
질취및집토 : 발파암	Type-I	88,664	m	4,664	413,527,963	3,961	351,197,312	1,255	111,273,069	9,880	875,998,344
질취및집토 : 발파암	Type-II	177,328	m	3,293	583,939,787	2,990	530,209,524	934	165,623,978	7,217	1,279,773,289
질취및집토 : 발파암	Type-III	177,328	m	2,257	400,228,393	2,510	445,092,276	747	132,463,717	5,514	977,784,386
발파암 소계											3,133,556,019

※ 발파설계 결과에 의하면 당초 예산의 약 70% 수준에서 설계되어 예산절감 효과 기대

2) 예상 공사기간 및 장비 소요대수

(1) 조건

- 발파물량 : 440,000m<sup>3</sup>
- 사토장 거리 : 8km(편도)

(2) 소요공기 산정상 Critical 공종 : 버럭 상차 및 운반

- 현장여건상 3개조 동시 상차가능
- 장비 : · 상차장비 : Back Hoe or Pay loader  
· 운반장비 : 23Ton D/T(원암 8.5m<sup>3</sup>상차)
- 버럭운반 Cycle Time: · 상차 : 5분, · 하차 : 3분,  
· 운반 : 32분(평균시속 30km/hr)    계 40분

(3) 예상 작업량

- 상차장비 1조당 작업능력 : 10시간/일×60분/시간÷5분/대×8.5m<sup>3</sup>/대=1,020m<sup>3</sup>/일  
(23Ton D/T 소요대수 : 8대/조)
- 일일 운반량 : 1,020m<sup>3</sup>/조×3조=3,060m<sup>3</sup>/일
- 월 작업량 : 3,060m<sup>3</sup>/일×25일=76,500m<sup>3</sup>/월-Peak시

(4) 소요공기

- 440,000m³ ÷ 76,500m³/월 = 5.7개월
- 준비, 정리등 0.3개월
- 계 6개월

(5) 유압드릴 소요대수

- 1일 천공능력 : ϕ 76mm, 300m/일.대
- 천공m당 굴착량 : 2.7m³/m
- 소요대수 : 3,060m³/일 ÷ (300m/일 × 2.7m³) ≈ 4대(Max)

3. 시험발파 및 시공현황

3.1 현장 시험발파

1) 현장 시험발파에 의한 진동추정식 결정

제공근	세제공근
적합도 : 88.6%	적합도 : 88.3%
적용	-

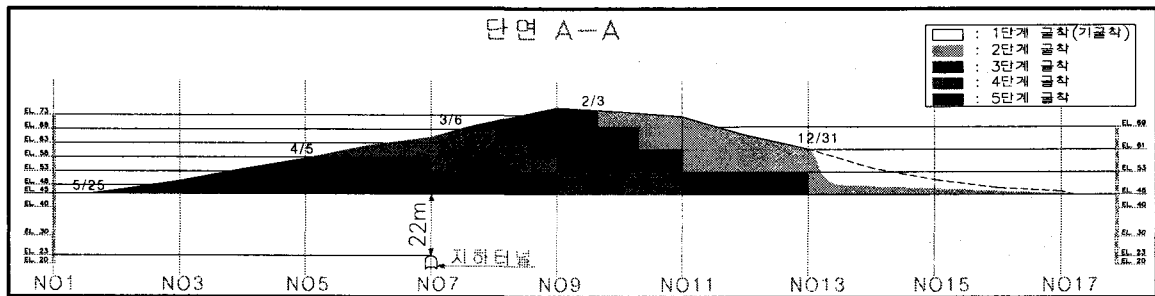
2) 시험발파에 의한 현장 발파공법 변경

구분	적용 기준		비고	
변경내용	당초설계	변경	허용진동기준	
진동추정식	$V_{95\%} = 160(D/W^{1/2})^{-1.600}$	$V_{95\%} = 151.8(D/W^{1/2})^{-1.33}$	1.0cm/sec : 변전소 및 Control Room	
보안 물과 이격 거리 (m)	Type-1 (2.4kg/delay)	20m이내	32m이내	5.0cm/sec : 관로터널, 저장탱크, 콘크리트 및 철구조물
	Type-2 (6.0kg/delay)	20~35m	32~50m	
	Type-3 (14.4kg/delay)	35m이상	50m이상	

시험발파 결과 설계진동식 대비 진동전파가 양호하게 진행되어 주요 보안물건인 지하터널에서의 당초설계보다 각 TYPE별로 12~15m이상 이격거리가 증가되어 설계되어졌다.

### 3.2 시공 현황

#### 1) 월별 굴착현황



#### 2) 비탈면 낙석방지공 및 균열측정 사진

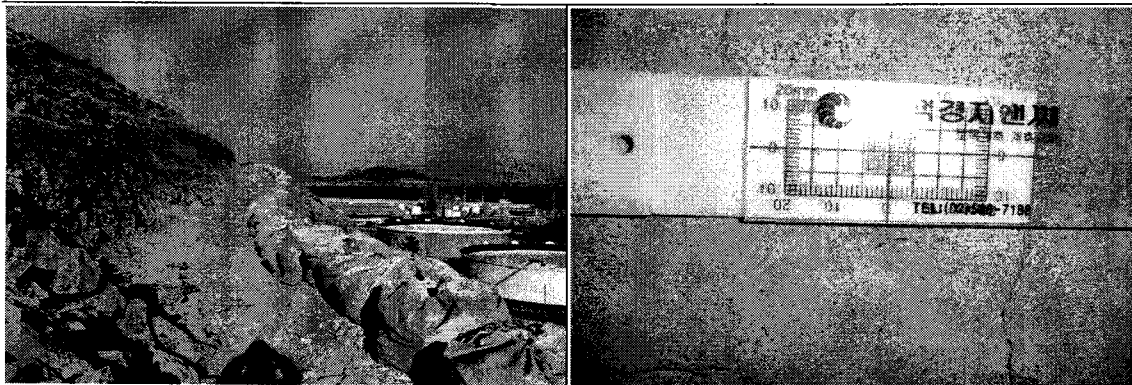


그림 4. 낙석방지공

그림 5. 지하터널 균열상태 확인

### 3.3 시공결과

#### 1) 화약 및 뇌관수량

구분	발파물량 (m <sup>3</sup> )	화약량 (kg)	뇌관수 (ea)	m <sup>3</sup> 당 장약량 (kg/m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup> 당 뇌관수 (ea/m <sup>3</sup> )	비고
설계	443,320	156,227	27,282	0.352	0.062	
시공	426,484	107,348	16,788	0.251	0.039	
비율(%)	96	69	62	71	64	설계량대비

2) 발파패턴별 시공결과

구분	TYPE-1	TYPE-2	TYPE-3	총계	비고
설계	88,667	177,328	177,328	443,320	
비율(%)	20	40	40	100	
시공	44,169	117,259	265,056	426,484	
비율(%)	10.4	27.5	62.1	100	설계량대비

4. 시공결과에 대한 분석

1) m<sup>2</sup>당 장약량

m<sup>2</sup>당 장약량은 약 0.25kg/m<sup>2</sup>로 당초설계에 비해 적게 소요되었으며 이는 당초 예상 암질보다 절리 및 풍화대가 많이 발달하였기 때문이며 따라서 부분적으로 발파없이 브레이커등의 기계굴착이 가능하였기 때문으로 분석된다.

2) 발파공사 관리

매발파마다 계측결과를 토대로 허용기준 이내에서 경제성과 시공성이 확보토록 발파패턴을 적용하였다. 즉, 발파진동의 크기는 지발당장약량과 이격거리의 이외에 자유면조건 등 발파시 구속조건 등에 크게 좌우되므로 적절한 Bench형성등으로 발파조건을 양호하게 함으로써 상대적으로 대규모 발파를 많이 시행할 수 있었다. 당초 40%수준의 대규모발파구역을 약 60%수준으로 늘려 시공함으로서 시공성 및 경제성에서 보다 큰 규모의 발파작업수행을 하게 되었다.

3) 대규모 발파공법 적용

본 현장의 경우 발파경계에서 불과 22m에 지하터널이 있고, 75m 이격되어 원유탱크등이 근접해서 대규모발파 시행은 어려울 것으로 예견되었으나, 주요보안물건들의 특성과악과 더불어 실질적으로 피해가 없는 허용진동기준치를 설정하였고 안전한 발파방향의 유도과 천공, 장약의 적절한 조정으로 주변시설에 전혀 피해가 없이 안전하게 대규모 발파공사를 수행하였다.

4) 일괄용역의 효과

일반적으로 용역단계는 사전조사, 발파영향권 분석, 발파설계, 시험발파, 계측 및 공사감리등으로 구분될 수 있으며 대체적으로 각 단계의 용역수행이 별개로 시행되는 관계로 발파기술자의 역할이 제한되었으나, 본 용역의 경우 일괄용역의 수행으로 인해 발파기술을 최대한 활용하여 안전성과 시공성 및 경제성 측면에 많은 효과를 거둘수 있었다.

## 5. 결 언

상기와 같이 GS-Caltex 원유탱크부지조성공사에서 발파작업 일련의 과정에서 모든 공정을 총괄하면서 시행한 사례를 소개하였다.

본 사례의 경우처럼 매우 근접된 지역에서도 안전성을 확보하면서 현장 여건을 최대한 고려하여 대규모발파를 시행할 수 있으며, 설계 및 공사단계에서 적절한 발파기술을 접목할 경우 보다 안전하고 경제성있는 공사를 수행할 수 있음을 입증하였다.

## 참고문헌

1. GS-Caltex주식회사, 2005, 사포원유탱크 증설부지 조성 Project 기본설계 보고서.
2. 협승엔지니어링, 2005, 11 사포원유탱크 증설부지 조성공사 발주제안서.
3. 협승엔지니어링, 2005, GS-Caltex 사포원유탱크 증설부지 조성공사 발파영향권 평가에 따른 발파설계 보고서.
4. 협승엔지니어링, 2006, GS-Caltex 사포원유탱크 증설부지 조성공사 월간 감리 보고서.