

# #3 #4號基 保寧火力發電所 基礎工事 精密發破工法

Cautious Blasting Works on the Po-Ryong  
Power Plant #3 #4 Foundation

許 墳  
Ginn Huh Engr. Dr. P.E

## Abstract

On the Foundation work of Po-Ryong power plant #3 & #4. It was 30meters away from the running states of #1 & #2 plant site.

In order to protect the #1 & #2 power plant facilities & factory structure. Allowable vibration was required below 0.07 gal. Therefore, it had to set up the anti-vibration trench to reduce the vibration reference and secondary.

I applied the low gravity and low velocity explosives with M/S delay caps by cautious blasting pattern.

$$a=2\pi \cdot f \cdot V \\ =2 \times 3.14 \times 0.3 \times \frac{1}{40} = 0.05g$$

### 1. The Calculation of Powder Charge

$$V=K\sqrt{\frac{W}{S^{1.5}}}$$

V=Vibration (mm/sec)  
0.3cm/sec

removed over burden  
so, Inpractically it  
became 0.4cm/sec

Block-2, 42m—2.72kg W=delay charge(kg)  
Block-3, 66m—5.36kg S=distance 30m up  
Block-4, 143m— K=Sand stone 40  
17.10kg St of Rocks, 1,700  
~2,000kg/cm<sup>2</sup>

### 1. 검토목적

보령화력 발전소 3 및 4호기 본관기초 굴착 공사를 기존가동중인 2호기 발전소 터빈건물에 인접하여 실시할 예정이다. 3 및 4호기 본관기초 굴착 공사의 암굴착 발파가 기존가동중인 발전소에 지장이 없도록 시행하는데 필요한 공사비산정을 위한 발파 관련사항을 검토하는데 목적이 있다.

### 2. The Relation between The Vibration and The acceleration

Vibration Value ; V=0.3cm/sec  
frequency ; 40cycle/sec

### 2. 검토방법

가. 발파제한 조건조사  
나. 조절발파(Smooth Blasting) 계획  
다. 표준발파의 최소저항선, 표준장약량, 찬공간의 거리 및 천공깊이

### 3. 검토사항

#### 가. 발파제한조건조사

- 1) 발파위치에서 인접건물까지의 거리
  - 2호기 건물끝에서 3호기 건물끝 간격 : 55.10m
  - 2호기 건물끝에서 최단발파거리 : 32.50m
  - 2호기 T/G 기초중심에서 최단발파거리 : 69.00m
- 2) 2호기 T/G 기초구조물의 최대 처짐량(Max Deflection) : 0.5mm  
(At. M/C-CON.C INTERFACE)  
Ref. (TOSHIBA TELEX. TSB0287 JSL0208 2JK DATED 2/4/80)

#### 나. 발파진동 제한치

1) 제한발파의 허용치 조사  
발파에 의한 지반진동의 크기를 속도로 표시하면 피해발생 및 피해정도는 주파수에 관계없이 속도의 일정치로 표시할 수 있다. 그러므로 발파진동에 의한 피해의 발생 및 정도는 보통 지반의 진동속도(Particle Velocity)로서 표시하는 것이 합리적이다. (Edwarde & North Wood 1960, : Nicholas et al., 1971) 발파진동이 지상 구조물에 미치는 피해여부에 대하여 U.S.B.M 에서는 진동속도를 5cm/sec 로 기준하고 있으며, 또한 호주표준협회에서는 약 2cm/sec, 일본에서는 0.5cm/sec 를 허용기준으로 하고 있다. 서울 지하철공사시 사용한 발파진동 허용치는 아래와 같다.

가) 서울지하철 인접건물에 미치는 발파 진동허용치

구분	I	II	III	IV	비고
건물 구분	문화재	주택, 아파트 실금이 나타나 있는 정도	상가 금(Crock)이 없는 상태	철근콘크리트 및 빌딩공장	
건물기초에서의 허용 진동치 (cm/sec)	0.2	0.5	1.0	1.0~4.0	

- \* 서독의 Vornorm DIN 4150 Teil 3 을 기준하였음.
- \* 주파수는 약 100Hz 까지 적용된다.

#### 나) 서울지하철공사 3 및 4호선 Tunnel 굴착시 허용진동치

- 동대문 지하구간(412 공구, 시공 : 대림산업)  
발파조건  $V=0.18\text{cm/sec}$   
 $W=0.45\text{kg}$   
 $d=15.53\text{m}$   
허용진동속도  $=0.2\text{cm/sec}$
- 성북구 길음동(408 공구, 시공 : 동산토건)  
발파조건  $V=0.2\text{cm/sec}$   
 $W=0.75\text{kg}$   
 $d=22.2\text{m}$   
허용진동속도  $=0.2\text{cm/sec}$

2) 3 및 4호기 본관기초굴착 발파 진동허용치  
1 및 2호기 터빈건물 및 T/G 기초구조물은 일반적으로 발파진동속도 허용치를 2.5cm/sec 로 허용할 수 있으나 2호기 터빈발전기 운전중에 운전정지를 방지하기 위해 발파최소 진동속도 허용치를 0.3cm/sec(인간이 감지하기 시작하는 진동치는 0.2cm/sec)으로 한다.

현장굴착 작업시는, 시험발파시 천공간격, 천공깊이, 화약장량을 변경시켜 최대허용 진동치를 구하여 시행해야 한다.

#### 다. 발파계획

- 1) 발전소 3 및 4호기 본관굴착 발파계획은 4개구역으로 구분하여 실시한다.
  - 제 1 구역 : 냉각수 배수로의 Seal Wall 구역과 터빈건물 Col. No. 1~No. 2
  - 제 2 구역 : 터빈건물 Col. No. 1~No. 2 구역에 냉각수 배수로 구역을 제외한 구역
  - 제 3 구역 : 터빈건물 Col. No. 2~Col. No. 11 사이의 구역
  - 제 4 구역 : 터빈건물 Col. No. 11~Col. No. 19 사이의 구역

2) 2호기 터빈건물과 3호기 터빈건물 사이에 표토를 폭 50cm, 깊이 50cm 를 제거하여 측구를 설치하고 발파로 인한 표면파(Surface Wave) 전파의 절감을 기한다.

3) 제 1 구역에서 2호기 터빈건물에 가장 가까운 지점에 Pre-Splitting(선채굴발파) Curtain 을 시공하여 암반에 균열을 발생시킨다. 3호기 터빈건물 가까운 지점에 심베기(Center Cut) 시

표 1. Block 별 굴착내역서(No.2~No.3 Turbine 간 L=42m)

Block	종별	Burden Space Depth (m)	전기비관 (개)	장 약 량(g)		비 고
				공 당	약량	
1구역	Pre-Splitting Curtain (L=0-42m)	0.5	M/S #0-#5	Kovex ; 1×750 = 750	1300	사용폭약 : F-1 ; 17mm 110g L=46cm F-2 ; 28mm 357g L=60cm Kovex ; 50mm 750g L=30cm G/D ; 50mm 750g L=30cm
		0.6	계 5	F-1 ; 5×110 = 550	2252	
5.0	Kovex ; 1×750 = 570	2252				
Center Cut (L=42-62)	0.5		M/S #0-#3	G/D ; 1×750 = 750	2252	
0.6	계 3	Kovex ; 2×750 = 1500	3750			
3.0						
2구역	No.3 Turbine Site (L=42-66(24m))	1.2	M/S #0-#3	Kovex ; 3×750 = 2250	2252	
		1.5	계 3			
3.0(2.5)						
3구역	No.3 Turbine Block (L=66-143(77m))	1.2	D/S #0-#4	G/D ; 1×750 = 750	3000	
		1.5	계 4	Kovex ; 3×750 = 2250		
4.0(3.5)						
4구역	No.4 Turbine Block (L=143-211(68m))	1.3	D/S #0-#6	G/D ; 1×750 = 750	3750	
		1.6	계 6	Kovex ; 4×750 = 3000		
5.0(4.5)						

공으로 자유면을 확보한다.

4) 제 2구역은 제 1구역에서 심빼기 시공이 완료된 후에 제 1구역 발파방향에 90° 방향인 남북 방향으로 발파시행한다.

5) 제 2구역이 완료된 후에 제 3구역, 제 4구역 순서로 발파를 시행한다.

6) 각 구역별 최소저항선 거리, 천공간격, 천공깊이, 화약장량량은 표 1과 같다.

7) 진동측정은 기초굴착시 발파계획 구역변경시마다, 동일구역에는 월 2회 정도 관측하고, 감독원이 필요할때에 추가로 진동측정을 실시한다.

8) 화약장량 계산

$$\text{기본 공식 } V = K \sqrt{\frac{W}{S^{1.5}}}$$

V : 허용진동치 (mm/sec)

터빈건물내 발전기 기준으로 0.3cm/sec 설정하였으나, 제어공법 적용 및 포토제거로 인하여 20% 정도 감소 고려하여 V=0.4cm/sec 사용함.

(Yoshikawa 경험식 적용)

W=지발당 장약량(kg)

(社)韓國技術士會誌

S=폭원과 거리(m) 30m 이상시 적용

K=암반관련상수(SAND STONE 40)

암석압축강도 1,700~2,000kg/cm<sup>2</sup>

구 분	허용진동치 (V)	폭원거리(S)	장약량(W)
구역 2	4mm/sec	42m	2.72kg
구역 3	4mm/sec	66m	5.36kg
구역 4	4mm/sec	143m	17.10kg

#### 라. 시험발파 시행지침

1) 시험발파목적은 본관기초굴착을 수행하기 전에 부지특성에 따른 발파진동과 장약량과의 관계를 정확히 확립하여, 본발파작업을 최대한으로 안전하게 하고, 공기를 단축하는데 있다.

2) 도급자는 시험발파 계획서를 작성하여 감독원에게 승인을 받아야 하며, 시험발파 계획서는 아래사항을 포함하여야 한다.

가) 기술적인 준비사항

나) 제 인허가 및 시험발파 보호대책

다) 진동감지 설비준비 및 진동감지기준에 대한 사항

라) 시험발파 시행후 보고서 작성사항

(제 1 구역)

**BLOCK 1 ; NO. 3 TURBINE PRE-SPLITTING CURTAIN**

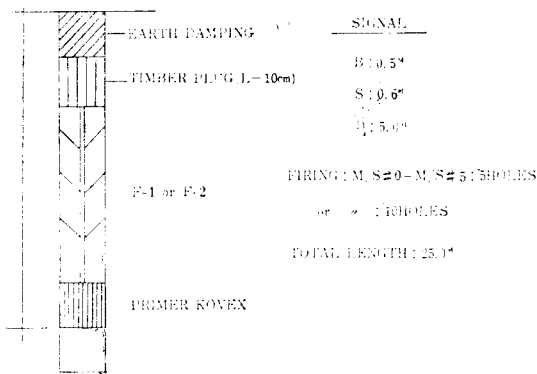
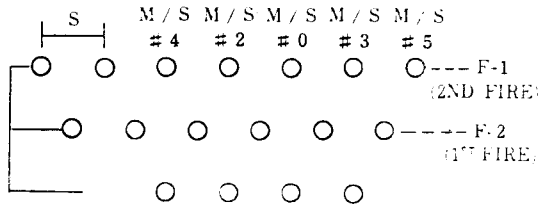


그림 1. 발파방법 1안

(제 1 구역)

**BLOCK 1 ; NO. 3 TURBINE CENTER CUT**

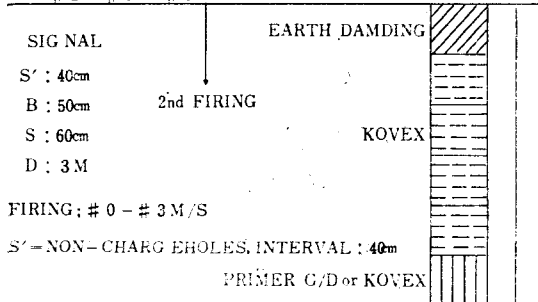
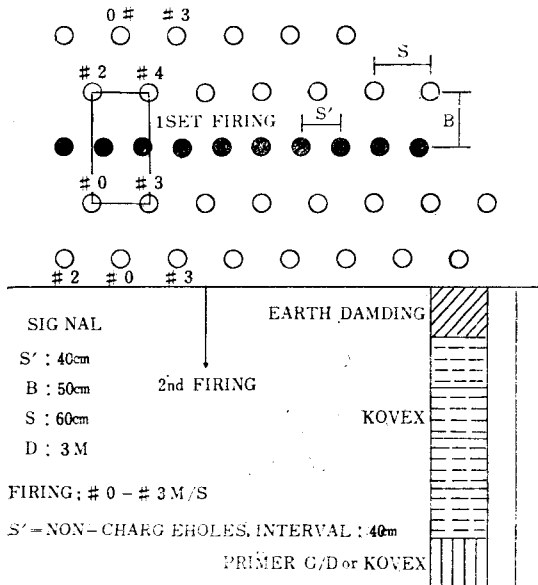


그림 2. 발파방법 2안

(제 2 구역)

**BLOCK 2 ; NO. 3 TURBINE**

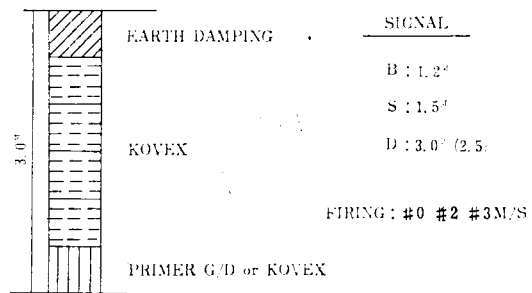
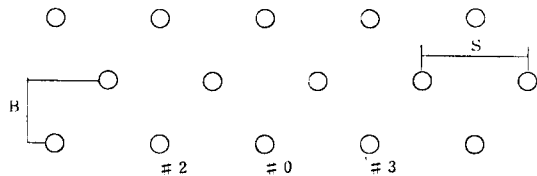


그림 3. 발파방법 3안

(제 3 구역)

**BLOCK 3 ; NO. 3 TURBINE**

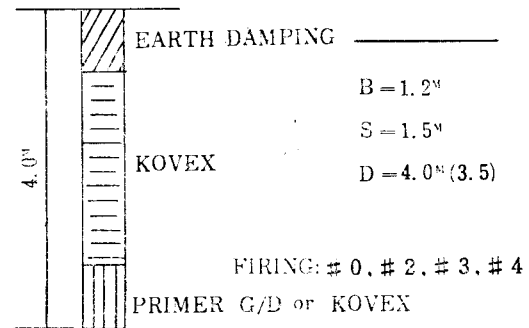
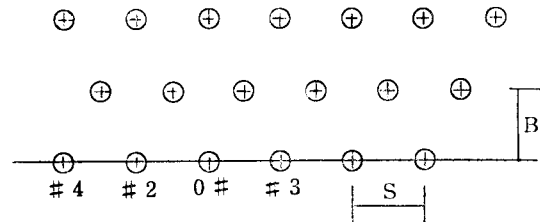


그림 4. 발파방법 4안

(제 4 구역)

BLOCK 4 ; NO. 4 TURBINE

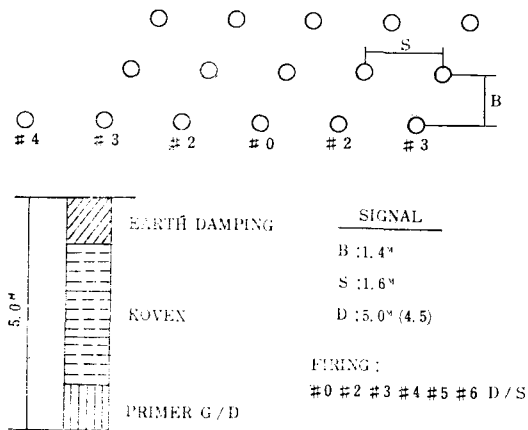


그림 5. 발파방법 5 안

3) 발파진동 기록계는 Sprengnether Instruments 회사의 Seismograph Mode No. VS-1200 을 사용하거나, 이에 동등한 관측이 가능한 기기를 사용한다.

4) 시험발파 기간동안 도급자는 발파자격증을 소지하고 시험발파 진동관측 경험이 많은 특급 기술자를 감독원에 승인을 득한 후 현장에 상주 시켜 수행토록 한다.

5) 시험발파는 계획구역별로 표 1에 준하여 실시하고 시험발파 회수는 각 4 회로 한다.

6) 시험발파를 통해서 허용진동속도 0.3cm/sec 를 기준으로, 관측된 진동속도에 따라 계획한 지발당 장약량을 조절한다.

7) 발파결과, 균열상태가 "Breaker" 작업이 가능한지의 여부를 확인한다.

마. 발파공사 특기사항 및 준비사항

1) 특기사항

가) 발파로 인한 진동절감을 위해서 사용폭약은 Kovex, 점화는 M/S 내지 D/S 의 지발 전기 뇌관으로 하고 천공방식은 계단식을 준수한다.

나) Pre-Splitting Curtain 및 Center Cut 천공후 지렛대(Bar)를 가지고 Burden(B)와 Space(S)가 서로 평행유지와 천공장을 확인 점검 할

것.

다) 장약전에 Flow Pipe 로 천공을 청소하고 물을 제거하며 불안전폭파를 예방한다.

라) 장약 방식을 역기폭으로 하고 매지(Earth Damping)만을 다질 것.

마) 전기뇌관의 결선방식은 Wide-Spread 로 할 것.

바) 번개, 천둥 등 정전기 발생시는 발파작업을 금한다.

2) 준비사항

가) Crawler Drill 또는 Wagon Drill, 비트경  $\phi 70\text{mm}$  을 사용한다. 단, 비트경  $\phi 45\text{mm}$  가 있으면 더욱 좋다.

나) 7형 10mm Flow Pipe 를 준비할 것.

다) 발파기는 2 대이상 모선(BS 18번)을 각각 50m 거리, 각 3조식 준비할 것.

마) 비트연마는 Tip  $110^\circ$  의 정확성을 기하기 위해서 자동연동기를 비치토록 권장한다.

바) Pre-Splitting Curtain 공의 목재프라우  $\phi 70\text{mm}$  길이 10cm 약 100 개 준비할 것.

사) 비석방지용 "다다미" 덮개 10매 정도 비치할 것.

바. 화약특성

국내 생산되는 각 화약종류별 특성은 아래 표 2와 같다.

사. 지반진동의 관련식

지반진동을 단순진동으로 (Simple Harmonic Motion)으로 가정하면, 변위(Displacement), 속도(Particle Velocity), 가속도(Acceleration)의 3 종류로 표시되고 관계식은 아래와 같다.

$$D = \int v \cdot dt \quad v = \frac{du}{dt}$$

$$v = \int a \cdot dt \quad a = \frac{dv}{dt}$$

$$D = \frac{v}{2\pi f} \quad v = 2\pi \cdot f \cdot D$$

$$v = \frac{a}{2\pi f} \quad a = 2\pi \cdot f \cdot v$$

$$f = \frac{1}{T} \quad w = 2 \cdot \pi \cdot f$$

여기에서

표 2.

화약특성

특성	정밀폭약		함수폭약	초유폭약	다이나마이트
	FINEX-I	FINEX-II			
약상	반 Gel상	입상	Gel상	입상	Gel상
내수성	양호	양호	우수		양호
가비중	1.2-1.3gr/cc	1.0-1.2gr/cc	1.1-1.2gr/cc	0.85-0.90gr/cc	1.3-1.4gr/cc
S-T	46~48%	54~58%	-	-	64~66%
순폭도	8~10배	2~3배	2배	-	4~5배
낙추강도	15cm	30cm	100cm	100cm	15cm
가스비용	420 l/kg	740 l/kg	780 l/kg	920 l/kg	860 l/kg
후가스	우수	양호	우수	-	양호
폭속	4000m/sec	3500m/sec	3900m/sec	2600~3000m/sec	5000~5500m/sec

D : 변위(최대진폭) cm

v : 최대속도, cm/sec.

a : 가속도 g (1gal : 1cm/sec<sup>2</sup>)

f : 진동주파수 cycle/sec

가속도(a), 진동속도(v), 진동주파수(f)의 상관관계를 예를 들면 다음과 같다.

조건 1) 가속도 (a)=0.07g (0.07cm/sec<sup>2</sup>)

발파진동속도(v)=0.3cm/sec

일때 진동주파수는 다음과 같다.

$$a = 2\pi \cdot f \cdot v$$

$$f = \frac{a}{2\pi \cdot v} = \frac{0.07}{2 \times 3.14 \times 0.3} = 0.037 \text{ sec/cycle}$$

$$= 27 \text{ cycle/sec}$$

조건 2) 발파진동속도(v)=0.3cm/sec

진동주파수 40cycle/sec 일때 가속도는 다음과 같다.

$$a = 2\pi \cdot f \cdot v$$

$$= 2 \times 3.14 \times 0.3 \times \frac{1}{40} = 0.05g$$

진동주파수(f), 가속도(a), 진동속도(v), 진폭(D)의 관계그림은 위와 같다.

#### 아. 공사기간 검토

기준 1) 발파작업 1일 3회로 한다.

2) 착암기 1일 작업시간 8시간으로 하고 폭파작업 대피시간 30분×3회로 하면 실제 작업시간 6.5시간으로 한다.

3) 착암기는 Wagon Drill 직경 70m/m로 한다.

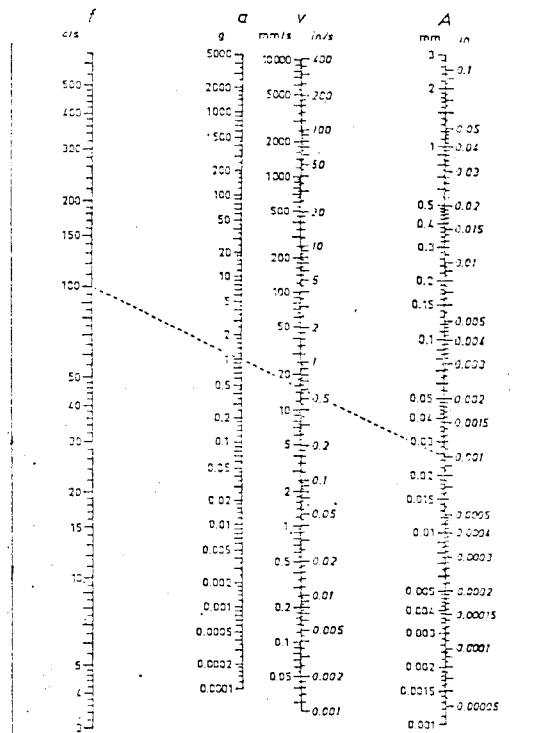


그림 6. 周波數(f) 加速度(a) 振動速度(v) 및 振幅(A)의 關係를 표시한 모노그림  
 例 f=100C/S, A=0.025mm (0.001 in) 이던 振動速度는 約 v=15mm/S (0.6 in/S) 이고 加速度 a=1g 임.

구 분	발파기준	암굴착상량	착암기 1대 작업기준	1대 작업량	착암기대수		비 고
					6대	4대	
Type 1	발파방법 4안	35,700m³	7.5m/hr	87.7m³	68	102	
Type 2	발파방법 5.	28,800m³	7.5m/hr	109.2m³	36	55	
계		59,500m³			104일 (4.2월)	157일 (6.3월)	

4) 화약장진시간, 암굴착운반 등 기타

공정은 천공작업과 병행 실시하므로 천공작업 기준으로 공기를 계산하였다.

1대 작업량 :

$$\text{Type-1} ; 1.2 \times 1.5 \times 4 \times \frac{7.5 \times 6.5}{4} = 87.7 \text{m}^3$$

$$\text{Type-2} ; 1.4 \times 1.6 \times 5 \times \frac{7.5 \times 6.5}{5} = 109.2 \text{m}^3$$

착암기 6대 기준으로 하면 순 천공기간 4.2개월이 소요되므로 작업준비, 면고르기, 암반청소를 고려하여 본관기초굴착공사 공기는 6개월 정도가 필요하다고 사료됨.

참고자료

- 가. 한국과학기술원(1983.12)  
지하철 3,4호선 인접문화재 보호대책 안에 따른 진동모니터링 시스템 설치 및 운영에 관한 용역
- 나. 일본도로공단 동경 제1건설국(1978.02)  
경암의 저진동, 저소음, 굴삭에 관한 조사연구 보고서
- 다. 허진(1982.09 한국기술사회)  
서울지하철 3,4호선 Tunnel 굴착과 진동대책 조사연구(2)
- 라. 화약제품설명서(한국화약(주))