

S火力發電所 3, 4號機 增設에 따르는 精密發破作業으로
因한 隣接稼動發電機 및 構造物에 미치는 振動影響調查

許 墳

On the vibration influence to the running power
plant facilities when the foundation excavated
of the cautious blasting works.

Ginn Huh, Engr, Dr, P.E



1990 科學技術 優秀論文 受賞

科總 第91-45號

三中엔지니어링(株)
會長 許 墳

論文題目: S火力發展所 3, 4號機 增設에 따르는 精密發破作業으로 因한 隣接稼動發電機 및 構造物에
미치는 振動影響調查

貴下の 論文이 韓國科學技術團體 總聯合會가 制定한 “1990年度 科學技術 優秀論文”으로 選定되었기
에 이 賞을 드립니다.

1991. 9. 9.

韓國科學技術團體 總聯合會
會長 權 彝 赫

今年부터 처음으로 施賞하게 된 本 論文은 科學技術者에 對한 研究意慾과 士氣를 昂揚하는 한편 科
學技術의 大衆化를 이룩하고자 國內 科學技術者가 國內外 學會誌에 發表한 論文中 優秀論文을 選定 施
賞하는 것이다.

「受賞者 所感」

本論文은 技術士의 報文으로서 三千浦火力 發電所의 3, 4號機 增設에 따르는 稼動의 中止를 가져왔
던 作業方式을 調査者의 創意的 工法 適用 卽 實驗式을 考案하고 作業의 標準化를 期하여 가장 能率의
이고, 가장 安全한 作業을 하게 되었으며 앞으로 있을 5, 6號機 增設에도 큰 도움이 된다는데 큰 意義를
찾을 수 있다.

지난날 受賞했던 第1回 技術士 本賞을 비롯하여 科學振興賞, 産業勳章 等 때와는 또다른 기쁨을 간
직한바 있다. 創意的 自己 作品의 客觀的인 評에 대한 기쁨이기 때문이다.

아직도 年年 4編 정도의 論文을 내고 있는 이사람에게 이와 같은 고마운 素材를 마련해 주신 韓電(洪
鍾石所長), 現代産業開發(株) 關係人士들에게 衷心으로 感謝드리며 앞으로 더 努力해 달라는 誠摯질로
생각하며 感謝할 뿐이다.

Abstract

The cautious blasting works had been used with emulsion explosion electric M/S delay caps. Drill depth was from 3m to 6m with Crawler Drill ϕ 70mm on the calcaious sand stone (soft-moderate-semi hard Rock). The total numbers of teet blast were 88.

Scale distance were induces 15.52-60.32. It was applied to propagation Law in blasting vibration as follows.

Propagation Law in Blasting Vibration

$$V = k \left(\frac{D}{W^b} \right)^n$$

where V : Peak partical velocity(cm/sec)

D : Distance between explosion and recording sites(m)

W : Maximum Charge per delay-period of eight milliseconds or more(Kg)

K : Ground transmission constant, empirically detemind on the Rocks, Explosive and drilling pattern ets.

b : Charge exponents

n : Reduced exponents

Where the quantity D/W^b is known as the Scale distance.

Above equation is worked by the U.S Bureau of Mines to determine peak particle velocity. The propagation

Law can be catagrorized in three groups.

Cabic root Scaling charge per delay

Square root Scaling of charge per delay

Site-specific Scaling of charge delay

Charge and reduction exponents carried out by multiple regressional analysis. It's divided into under 100m and over 100m distance because the frequency is varified by the distance from blast site. Empirical equation of cautious blasting vibration is as follows.

$$\text{Over 30m} \cdots \text{under 100m} \cdots V = 41 (D / \sqrt[3]{W})^{-1.41} \cdots \cdots \cdots A$$

$$\text{Over 100m} \cdots \cdots \cdots V = 121 (D / \sqrt[3]{W})^{-1.36} \cdots \cdots \cdots B$$

K value on the above equation has to be more specified for furthur understand about the effect of explosives, Rock strength, And Drilling pattern on the vibration levels, it is necessary to carry out more tests.

1. 緒 論

本 調査目的은 現在 稼動中에 있는 S火力發展所 1, 2號機 垡地內에 3, 4號機 增設에 따르는 基礎工事 發破作業으로 인한 振動이 既存稼動 1, 2

號機器 및 基礎構造物에 미치는 振動影響調査와 發破振動實驗式을 考案하는데 있다.

1989. 12. 1부터 發破作業한 바 있는 發破日誌 卽 使用火藥類, 電氣雷管 및 穿孔方法, 穿孔長 振動值와 1990. 1. 9 調査者가 現場에 가서 振動計測한 資料를 가지고 室內作業한 것이다.

2. 發破作業實績

크로라드릴 비트경 $\phi 75\text{mm}$ 을 가지고 使用火藥類는 低比重 低爆速인 含水爆藥으로 하고 點火는 相互干涉으로 振動節減에 效果的인 M.S 電氣雷管을 使用 이를 다시 孔當 4~5個로 많은 電氣雷管을 使用하여 振動節減을 期했다. 岩質은 石灰質砂岩으로 軟岩, 普通岩 및 硬岩 등으로 構成되어 있으며 廣闊한 作業場은 表面의 起伏이 심하여 穿孔方式은 터파기(1自由面) 및 階段式(Bench type)를 같이 適用하였다.

發破日誌 및 振動計測值를 整理하면 다음과 같다.

3. 資料整理의 處理

發破에 依한 地盤振動의 크기는 火藥類의 種類에 따른 火藥의 特性, 裝藥量, 起爆方法, 填塞의 狀態와 火藥의 裝填密度, 自由面의 數, 爆源과 測點間의 距離 및 地質條件等에 따라 다르지만 地質 및 發破條件이 同一한 경우 特히 測點으로부터 發破地點까지의 距離와 遲發當 最大 裝藥量(W)間에 깊은 함수관계가 있음이 밝혀졌다.

即 發破振動式은

$$V = K \cdot \left(\frac{D}{W^b}\right)^n \dots\dots\dots(1)$$

여기서, V : 振動速度, cm/sec

D : 爆源으로부터의 距離, m

W : 遲發當 裝藥量, kg

K : 發破振動常數

b : 裝藥指數

n : 감쇄지수(減衰指數)

이 發破振動式에서 $b=1/2$ 인 경우 즉 D/\sqrt{W} 를 自乘根 換算距離(Root Scaled Distance), $b=1/3$ 인 경우 즉 $D/\sqrt[3]{W}$ 를 立方正根 換算距離(Cube Root Scaled Distance)라 한다.

이 裝藥 및 감쇄지수와 發破振動常數를 求하기 위하여 任意距離와 裝藥量에 대한 振動值를 測定, 重回歸分析(Multiple regressional analysis)에 依해 一般式을 誘導하고 Root scaling과 Cube root scaling에 對한 回歸線(Regression line)을

求하여 回數線에 대한 適合度가 높은쪽을 擇하여 比較, 檢討하였다.

위 (1)式의 양변에 log를 取하여 linear form (直線型)으로 바꾸어 쓰면 (2)式과 같다.

$$\log V = A + B \log D + C \log W \dots\dots\dots(2)$$

여기서, $A = \log K$

$$B = -n$$

$$C = bn$$

(2)式은 다시 (3)式으로 表示할 수 있다.

$$Y_i = A + BX_{i1} + CX_{i2} + \epsilon_i \dots\dots\dots(3)$$

여기서, X_{i1} , X_{i2} : 두 獨立變數, $\log D$, $\log n$ 의 i 번째 測定值

Y_i : (X_{i2})에 대한 $\log V$ 의 測定值

ϵ_i : error term이다.

(3)式에서 n 個의 資料를 (2)式의 回歸平面으로 代表시키기 위해서는

$S = \sum_{i=1}^n \{A + BX_{i1} + CX_{i2}\}^2$ 을 最小로 하는 A, B, C값을 求하면 된다.

이 方法을 最小自乘이라 하며 S를 最小로 하는 A, B, C의 값은 (4)式으로 表示된다.

$$\frac{\partial S}{\partial A} = 0, \frac{\partial S}{\partial B} = 0, \frac{\partial S}{\partial C} = 0 \dots\dots\dots(4)$$

위 식을 Matrix form으로 簡單히 나타내면 式 (5)와 같다.

$$\begin{bmatrix} n & \sum X_{i1} & \sum X_{i2} \\ \sum X_{i1} & \sum X_{i1}^2 & \sum X_{i1} \cdot \sum X_{i2} \\ \sum X_{i2} & \sum X_{i2} \cdot \sum X_{i1} & \sum X_{i2}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum Y_i \\ \sum X_{i1} Y_i \\ \sum X_{i2} Y_i \end{bmatrix} \dots\dots(5)$$

資料가 많아 계산과정의 複雜해져서 本 實驗의 測定資料들은 電算機를 使用하여 處理하였다.

root scaling과 cube root scaling의 경우 各各

$$\log V = A + B(\log D - 1/2 \log W) \dots\dots(5)$$

$$\log V = A + B(\log D - 1/3 \log W)$$

로 (2)式의 特別한 形態이며 log-log 座標에서 直線으로 表示되고 이때 A는 切片, B는 기울기를 나타낸다.

○ 測定值의 檢討

本 資料의 特性을 比較, 檢討하기 위하여 지금 까지 發表된 國內의 몇몇 資料를 보면 다음과 같다.

勿論 製藥量, 爆源으로부터의 距離등이 相異하

$$V_1 = K_1 \left(\frac{D}{W^{\frac{1}{3}}} \right)^{-n}$$

D: 爆源으로부터의 距離(m) A = -100m

W: 지발당 최대 장약량(kg)

n: 減衰指數

K: 자유면상태, 폭약종류, 암질등에 따르는 常數

Summary of Blasting

$$V_2 = K_2 \left(\frac{D}{W^{\frac{1}{3}}} \right)^{-n}$$

Date	Round	Ground Vibration (V) (cm/sec)	Charge(kg)			Distance (D) (m)	Scaled Distance		No of M/S Caps(pcs)		Drilled depth (m)	No of Holes (holes)	Remarks	
			Per Hole	Total	Max delay (W)				Per Hole	Total				
12.1	1	0.10	3.9375	220.5	14.625	-	-	-	3	168	4.0	56	Explosive: Kovex 발트徑: Ø75mm M/S電氣雷管	
-	2	0.05	4.5	157.5	10.6875	-	-	-	4	140	4.5	35		
12.2	1	0.20	3.455	290.22	22.5	80	16.87	28.33	3.5	294	3.75	84		
-	2	0.20	3.606	317.25	23.625	80	16.46	27.82	3.46	304	3.69	88		
12.5	1	0.15	4.378	302.0625	23.625	102	20.99	35.47	3.76	259	4.13	69	B	
-	2	0.55	4.473	362.25	25.875	102	20.05	34.41	3.79	307	4.19	81	B	
12.7	1	0.20	5.0625	389.8125	25.3125	150	29.81	50.98	4	308	4.5	77	B	
-	2	0.25	4.834	285.1875	20.25	150	28.57	54.92	4	236	4.5	59	B	
12.9	1	0.24	3.617	405.0	27.5625	100	19.05	33.03	3.36	376	3.53	112	B	
-	2	0.50	3.631	399.375	24.1875	100	20.33	34.50	3.37	370	3.55	110	B	
12.10	1	0.96	5.0625	329.0625	20.8125	109	23.89	39.55	4	260	4.5	65	B	
-	2	0.22	5.0625	329.0625	20.8125	101.5	22.25	36.82	4	260	4.5	65	B	
12.12	1	0.40	3.0445	213.115	12.9375	81	22.52	34.45	3.29	230	3.43	70	A=8 4 12	
-	2	0.35	3.5	157.5	10.125	72.5	22.78	33.46	3.45	155	3.67	45		
-	3	0.22	3.134	109.6875	6.75	64	24.63	33.82	3.32	116	3.48	35		
12.13	1	0.15	4.248	293.0625	25.3125	177.5	35.28	60.32	3.42	236	4.07	69	B	
-	2	0.15	4.860	471.375	30.375	160.5	29.12	51.32	3.93	381	4.40	97	B	
12.15	1	0.31	6.215	391.5	33.75	143.5	24.70	44.30	4.29	270	6.67	63	B	
-	2	0.13	3.836	295.3125	25.3125	143.5	28.52	48.77	3.12	240	3.84	77	B	
12.16	1	0.20	7.875	480.375	32.0625	160.5	28.34	50.40	5	305	9.0	61	B	
-	2	0.30	7.875	409.5	31.5	169	30.11	53.39	5	260	9.0	52	B	
12.18	1	0.40	5.625	230.625	16.875	89.5	21.78	34.83	4	164	6.0	41	A=6 B=8 14	
-	2	0.37	5.625	180	9	81	27.0	38.88	4	128	6.0	32		
-	3	0.43	5.625	180	9	81	27.0	38.88	4	128	6.0	32		
-	4	0.42	5.625	180	9	81	27.0	38.88	4	128	6.0	32		
12.19	1	0.71	2.467	64.125	4.5	64	30.16	38.73	2.16	56	3.12	26	A=6 B=8 14	
12.19	2	0.48	5.0625	70.875	5.0625	55.5	24.67	32.29	4	56	4.5	14		
-	3	0.58	5.0625	70.875	5.0625	55.5	24.67	32.29	4	56	4.5	14		
-	4	0.07	5.625	241.875	16.875	168.5	41.02	65.57	4	172	6.0	43		B
-	5	0.07	5.0625	237.9375	15.1875	168.5	43.24	67.92	4	188	4.5	47		B
12.20	1	0.80	5.625	151.875	11.25	40	11.93	17.82	4	108	6.0	27	A=6 B=8 14	
-	2	0.23	5.625	151.875	11.25	118.5	35.33	52.80	4	108	6.0	27		B
-	3	0.10	7.875	165.3375	15.75	168.5	42.46	67.10	5	105	9.0	21		B

Date	Round	Ground Vibration (V) (cm/sec)	Charge(kg)			Distance (D) (m)	Scaled Distance		No of M/S Caps(pos)		Drilled depth (m)	No of Holes (holes)	Remarks
			Per Hole	Total	Max delay (W)				Per Hole	Total			
-	4	0.16	7.875	165.375	15.75	168.5	42.46	67.10	5	105	9.0	21	B
12.22	1	0.26	2.25	108	6.05	109	44.31	59.75	2	96	3.0	48	B
-	2	0.08	2.25	117	6.75	98	37.72	51.79	2	104	3.0	52	
12.23	1	0.13	1.125	67.5	4.5	118.5	55.86	71.70	2	120	3.0	60	B
-	2	0.14	1.125	48.375	3.75	72.5	37.44	46.62	2	86	3.0	43	
-	3	0.12	2.25	36	2.25	64	42.67	48.81	4	64	4.5	16	
-	4	0.18	2.25	36	2.25	64	42.67	48.81	4	64	4.5	16	
12.23	5	0.18	1.125	33.7	3.375	64	18.96	42.63	2	60	3.0	30	
12.24	1	0.14	5.0625	273.375	20.25	185.5	41.22	67.92	4	216	4.5	54	B A=8 B=6
-	2	0.10	5.0625	273.375	20.25	195.7	43.49	71.65	4	216	4.5	54	B
-	3	0.10	5.0625	263.25	20.25	200.5	44.56	73.41	4	208	4.5	52	B
12.26	1	0.04	5.0625	359.4375	25.3125	285.5	56.75	97.03	4	284	4.5	71	B
-	2	0.03	4.110	242.4375	19.6875	265.5	59.84	98.13	3.33	196	4.0	59	B
12.27	1	0.20	4.5	288	18	126	29.70	47.99	4	256	4.5	64	B
-	2	0.23	4.5	288	18	109	25.69	41.51	4	256	4.5	64	B
12.29	1	0.20	3.459	186.75	13.5	89.5	24.36	37.52	3.08	166	2.01	54	
-	2	0.14	2.25	90	6.75	81	31.18	42.81	2	80	3.0	40	
-	3	0.12	2.925	204.75	13.5	89.5	24.36	38.63	2.6	182	3.45	70	
-	4	0.14	3.375	135	12.375	81.5	23.17	35.18	3	120	3.75	40	
-	5	0.17	2.25	112.5	9	81.5	27.17	39.12	2	100	3.0	50	
12.30	1	0.25	2.25	94.5	6.75	81	31.18	42.81	2	84	3.0	42	
12.30	2	0.61	2.25	94.5	6.75	81	31.18	42.81	2	84	3.0	42	
-	3	0.02	5.625	101.25	7.875	81	28.86	40.66	4	72	6.0	18	A=6
-	4	0.27	4.5	162.0	12.9375	81	22.52	34.45	4	144	4.5	36	
1.3	1	0.22	4.5	247.5	18.0	-	-	-	4	220	4.5	55	
-	2	0.07	4.5	144.0	9.0	89	29.67	42.72	4	128	4.5	32	
-	3	0.23	4.5	144.0	9.0	81	27.0	38.88	4	120	4.5	32	
1.4	1	0.27	4.5	135.0	9.0	81	27.0	38.88	4	98	4.5	30	
-	2	0.50	1.6875	82.6875	5.0625	81	36.0	47.12	2	156	3.0	49	
-	3	0.14	4.5	175.5	13.5	89.5	15.11	37.52	4	64	4.5	39	
1.5	1	0.35	4.5	72.0	4.5	55.5	26.16	33.58	4	64	4.5	16	
-	2	0.02	4.5	72.0	4.5	55.5	26.16	33.58	4	64	4.5	16	
-	3	0.26	4.5	72.0	4.5	55.5	26.16	33.58	4	64	4.5	16	
-	4	0.27	4.5	72.0	4.5	55.5	26.16	33.58	4	64	4.5	16	
-	5	0.24	1.6875	60.75	3.375	55.5	30.21	33.97	2	72	3.0	36	
-	6	0.24	5.625	337.5	22.5	98	20.66	34.64	4	240	6.0	60	
1.6	1	0.26	1.6875	40.5	3.375	55.5	30.21	36.97	2	48	3.0	24	
-	2	0.60	1.6875	33.75	3.375	55.5	30.21	36.97	2	40	3.0	20	

Date	Round	Ground Vibration (V) (cm/sec)	Charge(kg)			Distance (D) (m)	Scaled Distance		No of M/S Caps(pcs)		Drilled depth (m)	No of Holes (holes)	Remarks
			Per Hole	Total	Max delay (W)				Per Hole	Total			
-	3	0.52	1.6875	40.5	3.375	55.5	30.21	36.97	2	48	3.0	24	
-	4	0.38	1.6875	33.75	3.375	55.5	30.21	36.97	2	40	3.0	20	
-	5	0.45	1.6875	33.75	3.375	55.5	30.21	36.97	2	40	3.0	20	
-	6	0.26	4.5	135.0	9.0	81	27.0	38.89	4	120	4.5	30	
-	7	0.30	4.5	135.0	9.0	81	27.0	38.89	4	120	4.5	30	
-	8	0.23	5.0625	81.0	5.0625	55.5	24.67	32.29	4	64	6.0	16	
1.7	1	0.21	1.6875	33.75	3.375	64	34.84	42.63	2	40	3.0	20	
-	2	0.21	1.6875	33.75	3.375	64	34.84	42.63	2	40	3.0	20	
-	3	0.62	5.0625	81.0	5.0625	55.5	24.67	32.29	4	64	6.0	16	
-	4	0.52	1.6875	33.75	3.375	64	34.84	42.63	2	40	3.0	20	
-	5	0.08	5.625	202.5	16.875	185.5	45.16	72.18	4	144	6.0	36	B
1.9	1	0.62	5.625	180	11.25	60	17.89	26.80	4	128	6.0	32	
-	2	0.53	1.6875	48.9375	3.375	65	35.38	43.35	2	58	3.0	29	
-	3	0.57	1.6875	48.9315	3.375	65	35.38	43.35	2	58	3.0	29	
-	4	0.59	4.5	72.0	4.5	65	30.64	39.39	4	64	4.5	16	
-	5	0.81	5.625	50.625	9.5625	33	10.67	15.52	4	36	6.0	9	
-	6	1.40	5.625	50.625	5.625	33	13.92	18.57	4	36	6.0	9	

發破振動係數의 比較

條 件	雙龍東海공장		東洋 Cement 東海(三陟)		서울地下鐵공사		今般調査地域	
地質 조건 岩石名 단축압축강도(kg/cm²) P波速度(m/sec)	石灰石(Limestone) 400~1200 3200~5400		石灰石 820±150 6,000±500		花崗岩, 片 岩 350~1450, 850~1400		石灰質砂岩 700~900	
發破條件 火藥의 種類 運發當 最大裝藥量 (kg) 距離(m)	ANFO (起爆劑로 gelatine) 723~5920 331~2214		ANFO (起爆은 dynamite) 50~472.5 90~679		Gelatine, 초안爆藥 함수 爆藥등 Gelatine dynamite: 함수폭약: 0.20~2.25 8.2~84.2 (-30m)		Kovex Ⓐ-100m Ⓑ+100m 2.25~ 4.5~ 23.625 33.75 40~98 102~ 285.5	
發破常數 K -n b	D/∛W 513~648 1.88~1.64 1/3	D/∛W 24~48 0.997~1.46 1/2	D/∛W 45.24 1.80 1/2		dynamite 함수폭약 D/∛W 48~107 60~138 1.54~1.78 1.5~1.72 1/3		D/∛W 41 1.41 1/2	D/∛W 124 1.66 1/3
適合度 R	0.973~0.996 0.955~0.997							
備 考	長距離 底周波(20~30Hz) (S.N.U.)		위 값은 Vertical 방향의 경우이며 Rodial 方向은 K=8.3 n=1.2 임(S.N.U)		短距離, 少量 爆藥사용(30m, 5kg 정도) 周波數=±100Hz		편의상 D=100m를 基準으로 그 미만을 A地域, 그 以上을 B地域으로 區分 周波數 25-88Hz	

지만 大體的인 傾向性을 推定하는데 參考할 수 있을 것이다.

今般 總 實測자료는 表에서와 같이 總 88個이지만 換算距離(S.D)와 진동속도의 크기와의 關係에서 差異를 보이고 있어 便宜上 爆源과 測定支點間的 距離에 따라 100m 以上인 B地域으로 區分하였다.

한편 A地域의 자료 56個中 上下로 편차가 큰 19個를 除外한 37個 자료와 B地域의 29個中 2個를 除外한 27個의(88個 자료中 距離表示가 안된 12月 1日 자료 3個는 元來부터 除外) 자료를 Computer로 처리하여 얻은 發破振動式은 다음과 같다.

$$V=41(D/\sqrt[3]{W})^{-1.41} \dots\dots (7) -100m$$

$$V=124(D/\sqrt[3]{W})^{-1.66} \dots\dots (8) +100m$$

式(7) 및 (8)에서 R는 求한 直線式的 適合度를 나타내는 相關係數로 R=1인 때는 모든 測定資料가 하나의 直線上에 表示됨을 意味하며 그 값이 낮을수록 分散됨을 뜻한다.

本 報告에서는 相關係數가 자승근 換算距離때 보다는 立方根 때가 더 높기 때문에 發破振動式을 立方根($D/\sqrt[3]{W}$)으로 表示하였다.

특히 A地域에서는 R=0.69인데 比하여 爆源과 測定地點間的 距離가 100m 이상으로 A地域보다 멀리 떨어진 B地域에서는 R=0.782로 比較的 높은 값을 보이는 것은 振動成分中 高周波成分의 상당량이 감쇄를 당하기 때문으로 생각된다.

國內資料를 比較한 發破振動係數에서 다음 事項을 推定할 수 있다.

- 1) 測定距離가 길어지면 高周波는 減少되고 低周波數만이 計測되어 그 適合度는 상대적으로 높아진다.
- 2) K값은 距離가 길어질수록 爆源의 威力이 커질수록 증가하는 傾向을 보인다.
- 3) 감쇄지수 n는 大體的으로 1.6을 中心으로 變化하나 어떤 傾向을 찾기 어렵다.

따라서 Sweden의 Langefords는 이 n값을 1.6으로 固定하고 發破때마다 K값을 구하고 있다.

$$즉 V=K(D/\sqrt[3]{W})^{-1.6} \dots\dots (9)$$

4) 大規模 發破일수록 地形, 穿孔배열등의 요인에 대한 영향이 적어져서 適合度가 높은 發破진동식을 구할 수 있고 이에 依한 보다 正確한 發破진동의 豫測이 가능하다. 그러나 거리가 짧고 小量의 爆藥을 이용하는 경우 各 測定項目의 오차에 따라 큰 分散을 나타내므로 計測時 이 點에 유의해야 할 것이다.

5. 結 論

5-1 發破振動實驗式

發破振動式에서 이미 알려진 점으로는 瑞典 Langefors式 $V=400 \times (W/(D^{3/2}))^{0.5}$ 日本吉川式 $V=40 \times (W/(D^{3/2})^{1/2}$ Ambraseys & Hendron式 $V=360 \times (D/(W/3))^{-1.6}$ Devine式 $V=121.1 \times W^{0.75} \times D^{-1.5}$ 그리고 最近 世界的으로 가장 널리 通用되고 있는 美國의 USBM公式 $V=160(D/W)$ 등이 있으나 모든 주어진 여건이 그나라 나름대로의 輿件 밑에서 誘導해낸 公式으로 充分한 消化없이 結果만 가지고 우리나라에서 順用한다는 것은 危險한 생각이다.

遲發當裝藥量, 爆源과의 距離 및 振動值間的 函數關係 實驗式 即 發破振動式에서 爆源으로부터의 30m 以上에 適用되는 實驗式은 30~100m까지와 100m 以上 2種으로 兩分하였다.

土木現場에서 30m 以內는 小착암기(Jack leg) 빗트徑 ϕ 36mm 에다 爆藥 ϕ 25~ ϕ 28mm 을 使用하고 30m 以上の 遠距離에는 中大型착암기(Crowler Drill) 빗트徑 65~75mm 이다. 爆藥 ϕ 50mm 를 使用하고 있음은 實驗式 適用面에서나 施工面에서 이미 現實化되어 있는 問題로 思料되나 今般 研究調査에서 -100m 와 +100m 로 兩分한 것은 學者에 따라서 意見이 있을 수 있으나 振動值와 距離(爆源과 測定點間的 距離)에서 거리에 따라 周波數가 變化하며 差異를 보여주고 있음을 알았다. 따라서 單一公式으로 採擇하는 것보다 兩分함으로서 보다 더 높은 適合度를 얻을 수 있음으로 다음과 같이 誘導하였다.

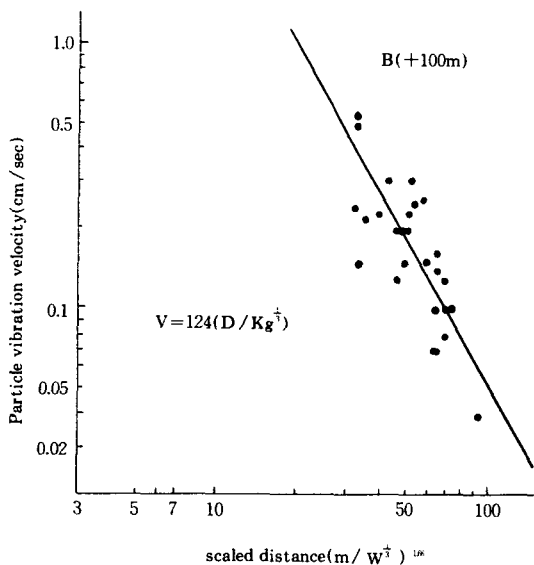
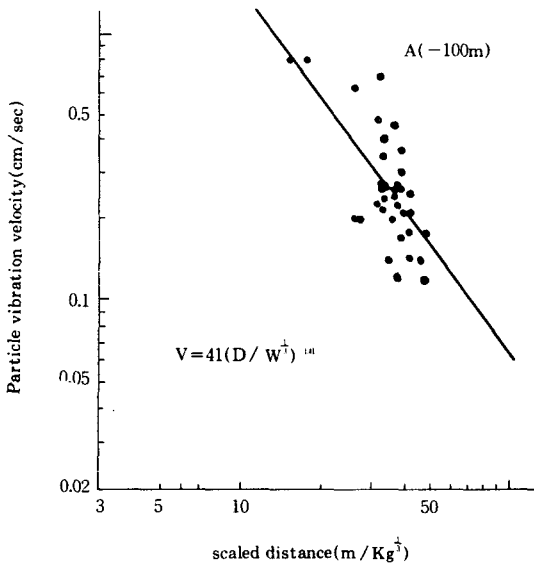
$$發破振動實驗式
+30m \sim -100m$$

$$V=41(D/W^{1/3})^{-1.41} \dots\dots\dots R=0.69$$

+100m

$$V = 124(D/W^{1/3})^{-1.86} \dots\dots\dots R = 0.782$$

金般 實驗式에 있어서도 앞으로 岩種에 따르는 K 值를 細部化해야할 課題는 있으나 上式을 通用 發破作業을 施工한다면은 큰 問題는 없을 것으로 思料되며 今般 施工한 實驗發破作業으로 最大振動值가 ±0.5cm/sec 임을 감안할 때 振動으로 인한 影響이 1, 2號機 發電所機器 및 構造物을 비롯



하여 3, 4號機 地盤基礎地耐力(100^r/cm²)에도 振動影響이 미치지 않는 것으로 思料되나이다.

5-2 發破作業으로 인한 #2 Turbine 稼動影響 調査

韓電에서 提示한 主터빈의 振動許容値는 警報值 5mils(127 μ m=0.127mm)停止는 10mils(254 μ m) 그리고 터빈自體振動은 最大 0.081mm이다. 1月 9日 調査者가 試驗發破施 計測된 變位值 最大 0.055mm 임으로 自體變動變位量(0.081mm)+發破振動變位值(0.055mm)는 都合 0.136mm 이나 上記 警報值 0.127mm보다 變位值(displacement)가 上向했는데 調査者는 警報가 울리지 않을 것으로 알고 있다.(90. 1.9-16: 41: 54) 터빈 및 機器設備 등의 稼動安全度檢査는 機器의 固有振動(Natural Frequency), 基礎構造物에 따르는 振動減衰 및 精密發破로 因한 周波數 領域에 따른 轉波關係等 別途의 研究 Project가 檢討되어야 確認될 것으로 思料된다.

6. 謝 辭

本 報文 作成에 協調해 주신 林漢旭博士 李英一 技師 兩同門께 謝意를 表한다.

References

1. Papers: A determination of vibration equation by empirical methods at Toronto ISRM '87
Some Factors Affecting the Level of Blasting-Induced Vibration in Urban Area at Orlando Feb, '90 SOEE
The Construction of Seoul Subway Line 3 and 4 at Beijin ISRM nove, '86 by GINN Huh, K W Lee
PSPL(MAX) 89 db
and H U Lim
2. Rock Mechanics '85 Ginn Huh
Rock Mechanics hand book '87 Ginn Huh
Blasting '81 Ginn Huh
Blasting '82 Ginn Huh

INSTANTEL DS477 BLASTMATE

VIBRATION RECORD 1

SERIAL # 678 V 3.1
 TRIGGERED tran. at 04 : 19 : 12
 09 Jan. 1990

	TRAN	VERT	LONG	
PPV	6.201	3.225	2.853	mm/s
FREQ	>100	51	64	hz
TIME	388	387	659	ms
ACCEL	0.42	0.18	0.11	9
PK DISP:				
1/4 WAVE	0.019	0.011	0.009	mm
TOTAL	0.075	0.000	0.062	mm
PVS	0.896mm/s at 388 ms			
PSPL(RMS)	86 db			
PSPL(MAX)	89 db			

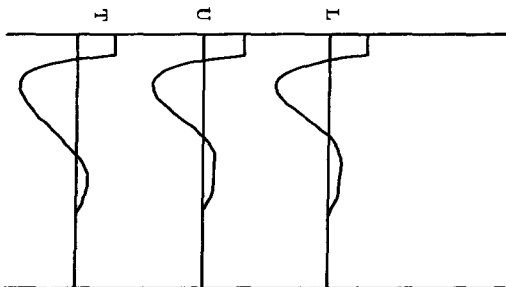
INSTANTEL DS477 BLASTMATE

VIBRATION RECORD 2

SERIAL # 678 V 3.1
 TRIGGERED long. at 04 : 24 : 55
 09 Jan. 1990

	TRAN	VERT	LONG	
PPV	4.093	2.853	5.333	mm/s
FREQ	73	51	37	hz
TIME	224	71	796	ms
ACCEL	0.23	0.18	0.27	9
PK DISP:				
1/4 WAVE	0.011	0.010	0.019	mm
TOTAL	0.077	0.088	0.081	mm
PVS	5.358mm/s at 796 ms			
PSPL(RMS)	86 db			
PSPL(MAX)	89 db			

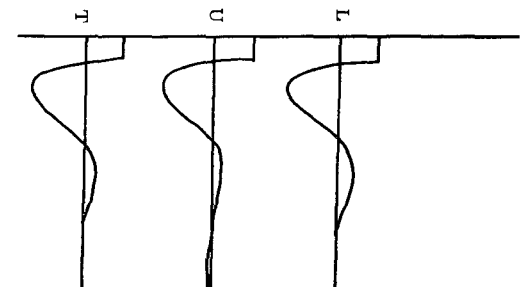
Sensorcheck [tm] Calibration



FT=74 OT=41 FV=74 OV=39 FL=72 OL=40
 FM=20 PM=1418 BL=63
 Geo sensors passed / Mic channel passed

Calibrated 22 June 1988
 by InstanTEL Inc.

Sensorcheck [tm] Calibration



FT=73 OT=41 FV=75 OV=39 FL=71 OL=40
 FM=20 PM=1416 BL=63
 Geo sensors passed / Mic channel passed

Calibrated 22 June 1988
 by InstanTEL Inc.

『投稿 歡迎』

會員 여러분의 投稿을 歡迎합니다.

種 類: 論文 工事報告, 翻譯門, 資料 其他

期 限: 隨時

掲載된 論文原稿에 대하여는 所定の 原稿料를 드립니다.

 * EMPIRICAL EQUATIONS FOR BLASTING VIBRATION *
 * BY LINEAR REGRESSION ANALYSIS *

*** D(m), W(kg), V(cm/sec), D/W(1/2), D/W(1/3) ***

102	23.625	.15	20.98526	35.54754
102	25.875	.55	20.05211	34.48578
150	25.3125	.2	29.81424	51.0873
150	20.25	.25	33.33333	55.03212
100	27.5625	.24	19.04762	33.10502
100	24.1875	.5	20.33314	34.57825
109	20.8125	.96	23.89265	39.62644
101.5	20.8125	.22	22.24866	36.89985
177.5	25.3125	.15	35.28019	60.45331
160.5	30.375	.15	29.12171	51.44024
143.5	33.75	.31	24.70103	44.40453
143.5	25.3125	.13	28.52229	48.87352
160.5	32.0625	.2	28.34499	50.52147
169	31.5	.3	30.11144	53.51184
168.5	16.875	.07	41.01833	65.69293
168.5	15.1875	.07	43.23712	68.04107
118.5	11.25	.23	35.32988	52.88521
168.5	15.75	.1	42.45801	67.22123
168.5	15.75	.16	42.45801	67.22123
109	6.05	.26	44.3148	59.81931
118.5	4.5	.13	55.86144	71.77627
185.5	20.25	.14	41.22222	68.05638
198.7	20.25	.1	44.15556	72.89921
200.5	20.25	.1	44.15556	73.5596
285.5	25.3125	.04	56.74644	97.23616
265.5	19.6875	.03	59.83692	98.32584
126	18	.2	29.69849	48.078
109	18	.23	25.69155	41.59129
185.5	16.875	.08	45.15668	72.3207

NO. OF DATA SETS 29

RESULTS

$$V = 61.42122 * (D / \hat{W}(1/2))^{-1.688127}$$

FITNESS R= 7567975

$$V = 465.4016 * (D / \hat{W}(1/3))^{-1.985374}$$

FITNESS R= .804651