

淸平發電所 第3號 發電機 設置場所 爆破作業에 관한 基本調査

報 告
15-5-2

禹 亨 疇*
(Woo Hyung Ju)

序 論

本調査研究는 韓國電力株式韓社의 委囑에 依하여 1967年 1月 初旬에서 中旬에 걸쳐, 서울 大學校工科大學 應用科學研究所의 廉永夏, 玄炳九, 金東基 諸教授와 같이 實施한 것이다. 즉 淸平發電所 第3號 發電機(40,000KW) 設置場所의 掘鑿作業이 既存施設 특히 第1號와 第2號 發電機 및 그 附帶施設에 미치는 影響을 조사하고, 掘鑿의 最的作業方法을 提示한 것이다.

이 報告는 主要點만을 간주했기 때문에, 實驗에 依한 主데이터나 圖表를 실지 못하므로, 仔細한 事項은 報告 謄本을 參照해주시기 바란다.

1 實驗裝置 및 測定法

1-1 實驗裝置

實驗裝置는 配電盤室에 설치했으며, 그 主要한 것은 아래와 같다.

- 12 Channel Seismograph amplifier 및 Oscillograph set 1臺
- Geophone 15臺
- Oscilloscope 및 Camera set 1臺
- Bibration recording machine 1臺
- Bibrometer 1臺
- Vacuum tube voltmeter, 0.001~300(V) 1臺
- 其他 35種의 機器

1-2 實驗方法

1-2-1 爆破方法

試驗爆破는 第1圖에 표시한 第3號機設置場所의 各點에서 行하였고, 그 中 20個 爆破의 衝擊波를 記錄測定하였다. Blast #1~#11은 1~2 lb의 Gelatine dynamite (韓國火藥 Co. 製品)를 各點에 裝藥하여 모래로 填塞하고 單發로 爆破하였다. 雷管은 전부 電氣雷管 No. 6를 使用하고, Blast #6, 8, 11은 Delay cap(0.3 sec)을 써서 段發로 하였으며, 한편 Blast #21~#29는 1/4~1 lb의 裝藥으로 單發爆破하였다.

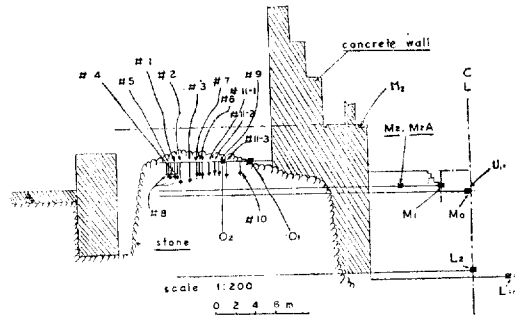


그림 1 發破와 지오폰位置의 側面圖

1-2-2 彈性波探查器(Seismograph)에 依한 測定法
 爆破로 인한 衝擊波가 發電機에 미치는 影響을 測定키 위하여 12 Channel portable Scismograph unit 및 Vertical velocity type(30 c/s), Horizontal velocity type (7.5 c/s), vertical pressure type (9.5 c/s)의 Geophone을 使用하였다. Geophone 位置는 第1圖에서 示한 10個所이며, 콘크리트 바닥에서는 直徑 15~20 cm, 길이 10 cm의 홈을 파고 진폭으로 密着시켰고, 發電機機體에는 클램프로 密着시켰다. Seismograph는 實驗前에 Test recording 하여 各 Trace가 同一條件下에 있게 한 후, Geophone 出力에 대한 增幅의 正確도와 波形歪曲度를 校正하였다. 그리고 發電機運轉時의 振動周波數를 分析한 결과 그 範圍가 20~40 c/s 間이므로, High cut-off filter를 全記錄測定에 使用하였다.

1-2-3 Oscillophoto에 依한 測定

H. P. model Oscilloscope 및 Camera를 사용하여 M2A Geophone 및 發電機回轉軸室에 장치한 Unbounded strain guage wire type accelerometer의 두 Pick-up으로 發電機運轉狀態와 運轉狀態에 衝擊波가 重複된 것을 Oscillophoto로 각각 撮影하여, 發電機에 誘發되는 加速度의 變化를 考察하였다.

1-2-4 Vibro-recording 및 Dial indicator에 依한 測定

G. E. model vibration recorder의 Pick-up point를 rotor에 一定壓力으로 접촉시켜, Pick-up point의 半徑方向振動을 記錄紙에 기록하여 Horizontal geophone에 의한

* 서울大學校 工科大學 電氣工學科 教授 正會長

Seismogram 과 비교하였다. 또한 Differential transformer and dial indicator assembly 로 indicator 의 Spindle 部를 rotor 에接觸시켜 Oscilloscope screen 에 Rotor swing 을測定토록 하였다.

1-2-5 Vibrometer 에 의한 上下振動測定

Vertical type rotor 의 上下振動을 Starret type vibrometer 에 의하여 정밀하게測定하였다.

2 實驗結果 및 考察

2-1 試驗爆破結果 및 考察

試驗爆破場所는發電機室 Retaining wall 外部의 北側岩盤인데, 岩石은 黑雲母, 石英, 長石을 主成分으로 하는 華片麻岩으로서 片理가 매우 발달되어 있다. 그리고 이 岩盤表面部에는 많은 節理가 발달되어 있으며 風化로 인하여 많이 弱화되었으나, 表面下 약 4m 부터는 좋은 岩盤을 形成하고 있다. Blast # 1(1lb)은 대체로 標準裝藥이었고, Blast # 2, 3(0.5 lb)은 弱藥의이었으며, 이試驗結果에서 爆破係數 C는 平均 0.327 이 되었으므로, 裝藥量은 爆破公式에 의하여 $L=0.327 w^3 [kg]$ (W, 表面과 裝藥과의 最短距離 [m])이 된다. 그런데 이 값은 비교적 岩盤上部에서의 값이므로, 風化和 節理가 적게 발달한 岩盤下部에서는 C의 값을 더 크게 잡아야 할 것이다. 따라서 下部에 갈수록 同一爆破孔長에 대한 裝藥量을 증가하든가, 또는 裝藥量이 같을 때는 爆破孔長을 짧게 해야 한다.

2-2 彈性波探查記錄器(Seismograph)에 의한 結果 및 考察

Seismograph 를 利用하여 다음과 같이 項目別로 結果값을 算出 및 考察하였다.

2-2-1 發電機定常運轉時的 振動

Geophone 은 주로 Vertical particle velocity type 을 使用하였으므로, Seismograph 로 軸振動의 Absolute amplitude 를 직접 測定할 수 없으나, Vibrometer 로 實測한 Particle displacement 값(15/1,000 mm)을 基準으로 하여 第 2, 3 圖의 Seismogram 에 나타난 曲線으로부터 Particle acc-

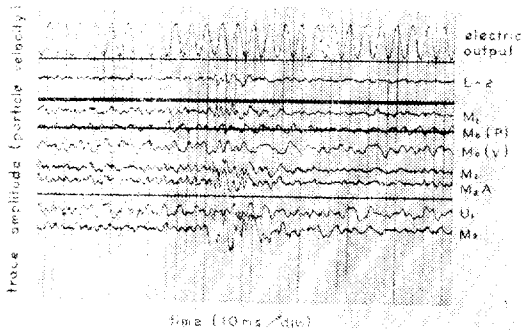


그림 2. 振動圖(0.5 Lb 發破時)

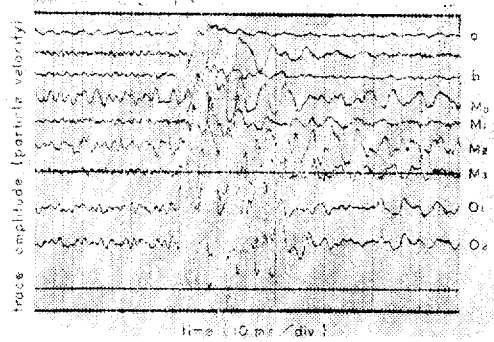


그림 3. 振動圖(1.5 Lb 發破時)

eleration 을 算出하고, 이것을 便宜上 g(980 cm/sec)로 換算하여 表 1 과 같은 結果를 얻었다.

表 1 定常運轉 및 發破時的 振動

測定場所	發電機定常運轉時 (g)	發破時 (g)		
		0.5 lb	1~1.5 lb	2 lb
L ₂ (地下室)	0.01~0.04	0.03~0.06	0.04~0.11	0.04~0.12
M ₀	0.02~0.05			
U ₁ (發電機上部브래킷)	0.03~0.55	0.05~0.07	0.06~0.07	
M ₁	0.02~0.045	0.03~0.07	0.06~0.12	0.07~0.11
M ₂	0.025~0.06	0.04~0.15	0.10~9.18	0.14~0.20
M ₃	0.02~0.05	0.05~0.15	0.02~0.22	0.18~0.25

이상의 結果를 다음과 같이 解析할 수 있다.

모든 點에서의 平均振動範圍가 0.04 g 以下로 發電機製作所에서 提示한 許容範圍 0.05 g 以內에 있으나, 그 餘有는 비교적 작은 편이다. M₂ 에서 振動範圍가 0.06 g 까지 미친 것은 建物外部의 壓을 따라 實施하고 있는 Boring 作業에서 오는 雜音의 影響이라고 본다.

2-2-2 發破時的 振動

第 2 및 3 圖에서 算出된 各 Geophone 位置에서의 Particle acceleration 을 測定位置 및 裝藥量別로 表示한 것이 表 1 이되고, 이를 解析하면 아래와 같다.

a) 裝藥量이 증가할수록 構造物에 미치는 Particle acceleration 이 급격히 증가한다.

b) 發電機構造物上의 M₀ 및 U₁ 에서의 發破에 의한 振動影響은 다른 測定位置의 값보다 적으나, 發電機構造物에 대한 許容範圍 0.05 g 를 基準으로 하려면 裝藥量을 0.5 lb 로 限定시켜야 한다.

c) L₂ 에서의 裝藥量別 Particle acceleration 은 表 1 과 같으므로, 發破로 인한 構造物의 疲勞度를 생각할 때, 孔當 2lb 로 계속 發破하면 基岩盤에 異常이 생길 수 있으며, 1lb 일 때도 그 安全性은 보장하기 어렵다고 생각된다.

d) M₁ 에 대해서도 c)에서와 같이 孔當 1lb 以上은 構

造物의 安全을 보장하기 힘든다고 생각된다.

e) M₂에서는 0.5 lb를 제외하고는 加速度가 0.1 g를 초과한다. 이것은 定常運轉時의 振動 level이 높은 것과 發破作業場에서 비교적 가깝기 때문이다.

f) M₃는 建物內壁인데, 0.5 lb일 때에도 0.148 g나 되어 異常을 갖어 올 수 있을 것이다.

g) 爆破로 인한 發電機의 出力破形의 變動如否를 조사한 결과, 第2圖에서와 같이 衝擊波가 測定位置에 도달하는 瞬間, 弦統波에 歪曲이 생기나, 이는 Blasting Circuit의 Triggering mechanism에 의한 것임이 別途로 행한 Oscillograph에 의하여 判明되었다.

上記分析을 종합하면 孔當 1 lb 發破로 岩盤 및 發電機 機構에 異常을 갖어 올 우려가 있으나, 0.5 lb일 때 發電機軸에서 약 4 m 半徑까지는 許容範圍內에 있으므로 0.5 lb가 적합한 裝藥量이라고 할 수 있다.

2-2-3 發破時彈性波의 Energy burst 및 Frequency component

發破로 인하여 測定位置에 미치는 彈性波의 순서는, 가장 빠른 것이 P wave(longitudinal wave), 다음이 S wave(transverse wave 이나 확인하기 고난하였음), 그리고 surface wave(Rayleigh wave)이다. 裝藥量에 따라 Energy burst와 Frequency component가 다르나, 대략 P wave의 周波數範圍는 200~70 c/s로 裝藥量이 적을수록 周波數範圍가 높고, 平均해서 약 100 c/s이다. 한편 Surface wave는 Dispersion 現象이 현저하며, 周波數範圍는 70~20 c/s(이 때도 적은 裝藥量은 비교적 높은 周波數範圍를 주고있음)로 平均 40~35 c/s이다. 따라서 運轉時振動과 發破에 의한 振動의 Response는 그리 중요하지는 않으며, 특히 0.5 lb에서는 문제가 되지 않는다.

한편 衝擊波 Energy burst를 Seismogram에 의하여 측정하면, 0.5 lb일 때 약 100 [m sec]이며, 裝藥量이 증가할수록 Rayleigh wave의 Dispersion으로 Time duration이 커지므로 0.5 lb일 때는 速發破時 0.3 sec delay cap을 사용하면 충분하다고 생각된다.

2-3 Oscillophoto에 의한 結果 및 考察

2-3-1 構造物에 대한 發破影響

20,000 KW 出力時에 發電機構造物에 가까운 位置에 있는 M₂A에 Blast #1~11의 衝擊波가 미치는 振動影響을, Geophone으로 캐취하여 Oscilloscope로 比較한 것이 表 2와 같다.

이 結果를 Seismograph에 의한 것과 比較할 때, 0.5 lb가 타당한 것으로 推定된다. 第 4 및 5圖는 Blast No. 0과 1의 경우이다.

表 2 發破에 의한 Oscillophoto 데이터

發破番號	最高破 (mV)	最高變位標準變位 (%)	爆破孔深
0	0.649×100=64.9	100	※ 發電機振動
1	4.2×10=42	646	1 lb, 125 cm
2	1.0×10=10	153.8	0.5 lb, 200 cm
3	2.5×10=25	384.6	0.5 lb, 202 cm
4	0.55×100=55	846	1.5 lb, 115 cm
5	—	—	—
6	5.8×10=58	892	1.5 lb, 2 연발
7	—	—	—
8	5.9×10=59	900	2 lb, 3 연발
9	0.75×100=75	1154	2.5 lb, 153 cm
10	5.2×20=104	1600	2 lb, 148 cm
11	3.8×20=76	1170	2.5 lb, 3 연발

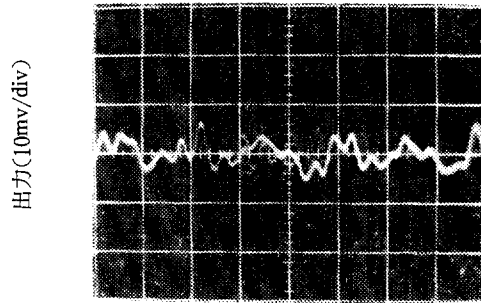


그림 4. 發電機 振動圖

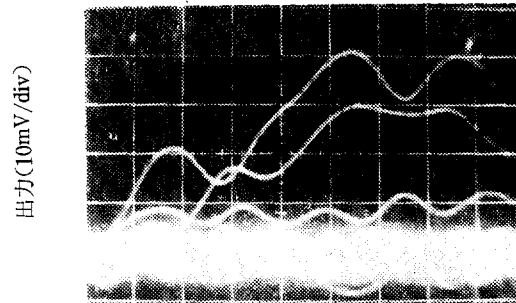


그림 5. 發破圖(1 Lb)

2-3-2 發破에 의한 發電機의 加速度變化

a) 發電機의 軸方向振動

Accelerometer로 測定한 運轉狀態의 發電機加速度는 0.041 g로 許容範圍內에 있으나, 爆破에 의한 發電機의 軸方向加速度는 定常값의 120~240%까지 증가하므로 (0.5~1 lb 使用時), 0.5 lb以下에서 危險度가 비교적 적다.

b) 發電機軸의 橫方向振動

爆破에 의한 橫方向加速度의 變化는 基準加速度의 135~265%에 도달하고 있다.

2-4 Bibro-Recorder 에 의한 測定結果 및 考察

20,000 KW 出力時의 Swing 의 平均값이 약 0.219 mm 이므로 Rotor dia=620 mm 에 대한 Rotor bearing clearance 는 0.219/2 mm 가 되어 一般機械로서는 비교적 적은 橫振動으로 運轉되고 있다. 그러나 그림 6 을 參照하면 이 Swing 값은 定常狀態에서도 發電機로서의 規定값을 훨씬 넘고 있다. 그러므로 여기에 爆破가 겹치면 Radial 方向의 Rotor clearance 가 큰 Bearing 部に Strain hardening 을 일으키기 쉽고, 摩耗로 인한 Wear land 또는 Pressure weld damage 를 일으키는 原因이 될 수 있다.

그런데 17,500 KW 出力時의 Rotor 振幅이 平均 0.14 mm 이므로 出力이 증가함에 따라 Swing 이 증가하는 傾向이 있다. 따라서 發破時에는 出力을 減少시키는 것이 좋다고 생각된다.

2-5 Bibrometer 의 測定結果 및 考察

前述한 2-2-5 方法으로 20,000 KW 出力時 發電機 및 터빈 Rotor 의 上下振動을 測定한 結果는 發電機 Frame 에서 약 0.015 mm 의 값을 갖는데 各種機械의 振動許容限界를 표시한 第6圖에 의하면 160 rpm 의 水力터빈의 許容振幅이 대략 0.035 mm 이므로, 軸振動은 이 範圍內에 있으나, Oscillophoto 에서 보면 爆破로 인한 衝擊波振幅이 定常狀態의 最高 15 倍에 달하므로 許容

表 3 地震強度等級表

等級	사람에 對한 影響	構造物에 對한 影響	particle acceleration g
6	모든 사람이 느낄 수 있고 怖感을 준다	石碁가 무너짐	0.01~0.025
7	방에서 뛰어나가고, 車中에서 느낄 수 있다	中等程度被害	0.025~0.05
8	廣範圍하게 느껴진다	破壞的이고, 弱한 構造物은 大破, 強構造物은 약간의 被害	0.05~0.1
9	恐 慌	弱構造物의 全破, 強構造物에 相當被害	0.1~0.25
10	恐 慌	石造 및 鐵筋構造物이 보통정도 破壞, 좋은 構造物만 남으나 基礎가 무너지고, 地殼은 크게 금이 간다	0.25~0.5

範圍를 벗어 나고있다. 따라서 Rotor 의 上下振動은 Bearing 部に Impact hammering effect 를 미치게 하며, 이로 인하여 Repeat impact fatigue 가 생길 것이다. 이와 같은 現象 때문에 Rotor 와 Bearing 이 損傷되고 疲勞破損을 일으킬 염려가 있다.

끝으로, 參考로한 MERCALLIS 및 CANCANI 의 地震強度等級表의 一部分, 1966年度版 實用機械振動 Handbook 中の 回轉數와 振幅의 關係를 다음에 실는다.

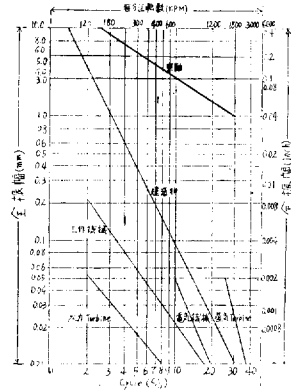


그림 6. 實用機械振動의 範圍

3. 推薦事項

淸平發電所 第3號發電機設置工事を 위한 爆破作業에 關하여 다음 事項을 推薦한다.

- 1) 爆破는 發電機에서 20 m 以內에서는 禁止해야 한다. 즉 Retaining wall 바깥의 岩盤을 對象으로 해야 한다.
- 2) 爆破는 原則的으로 單發 또는 0.3 秒以上의 遲延時을 갖는 Delaycap 으로 段發을 行하도록 해야 한다.
- 3) 各段의 裝藥量은 0.5 lb를 超過해서는 안된다.
- 4) 裝藥量의 깊이는 0.5 m 를 超過하지 않도록 하여야 한다.
- 5) 人工點火時는 原則的으로 1 人이 하고 多數人의 同時點火는 禁해야 한다. 이 作業을 위해서는 遲延點火器 및 電氣雷管의 使用을 推薦한다.
- 6) 爆破로 인한 影響에 關해서는 本調査方法을 參照하여, 定期的으로 發電機의 振動 및 出力波形을 測定할 것을 推薦한다. (1967年 2月 22日 接受)