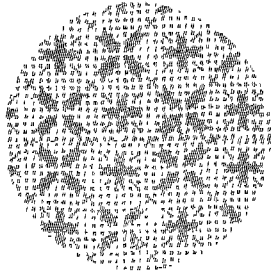


三浪津 揚水發電所 水車發電機 1 號機 設置까지

The Installation of Water
Turbine Unit # 1 on Sam
Rang Jin Pumped Storage
Hydro Plant



金 在 燮

三浪津揚水建設事務所 所長

우리 三浪津 揚水發電所 建設은 長期 電源開發計
劃에 따라 # 1 號機 竣工 1985. 9. 30, # 2 號機
竣工 1985. 12. 31 目標로 하여 最大 工期가 所要
되는 地下發電所 築造와 水車-펌프 및 發電-電動
機 設置를 爲하여 1979. 10 月 地下發電所에 進入되
는 進入터널 掘鑿工事의 着工으로 本工事が 始作되
었다. 또한 海拔 20m 에 建設될 下部댐의 基礎 掘
鑿工事が 着工되고 下部댐에서부터 海拔 400m 에 建
設될 上部댐까지 連結되는 約 8km 의 山岳道路도 同
시에 着工함으로써 조용하던 三浪津 地域에 發破와
重車輛의 경음소리와 함께 大役 工의 長程은 始作되
었다.

三浪津 揚水發電所는 國內에서 두번째로 建設되
는 純揚水式 地下發電所이기 때문에 下部 地域과 山
頂上에 高落差를 얻을 수 있도록 두개의 貯水池(丑
1)가 建設되어야 하는데 現地 및 地質等 여러 條
件에 適合한 中央 粘土心壁式 石塊댐의 型式으로서
下部댐은 79. 10 月에, 上部댐은 82. 1 月에 着工되
었다. 用地 및 粘土材 土量 確保等의 사소한 어려
움은 있었지만 大過없이 下部댐은 1984. 10 月에 完
工을 하였고 上部댐은 84. 12 月 竣工을 目標로 마
무리 作業이 한창이다. 下部 貯水池는 昨完工 7 個
月前인 84. 4 月부터 湛水가 開始되어 11 月現在 湛
水計劃量의 80%에 達하는 8,000,000m³가 貯水되어
85. 8 月부터 開始되는 # 1 號機 有水試驗(Wet T
Test)에 萬全을 기하고 있다.

〈表-1〉 貯水池 諸元

區 分	上 部	下 部
流域面積	1.5km ²	10.2km ²
滿水面積	0.24km ²	0.44km ²
滿水位	EL401.6m	EL68.20m
利用水深	27.20m	14.50m
總貯水量	6,320,000m ³	9,679,000m ³
有效貯水量	4,953,000m ³	4,953,000m ³
型 式	中央粘土心壁石塊댐	中央粘土心壁石塊댐
높 이	86m	78m
길 이	265m	529M
天端標高	EL404.6m	EL71.20m
體 積	1,687,000m ³	2,690,000m ³
余水路		重力式 Con'c 溢流堤 水門幅 8.5m × 高 6.0m × 2 件

揚水發電所는 上·下部 貯水池를 連結하는 水路系의 地形·地質 및 經濟性等을 감안하여 配置하며 地下發電所의 位置에 따른 分類(Head, Tail, Middle Type), 上部 貯水池의 流量 有無에 따른 分類(揚水 併用式, 純揚水式), Pump-Turbine의 種類 및 配置에 따른 分類(펌프-수차別置式, 펌프-水車 直結式, 펌프-水車 可逆式)로 區分할 수 있다.

三浪津揚水發電所는 中間型(Middle Type) 純揚水式 펌프-水車 可逆式으로 地下 約 20m에 發電所를 位置하며(그림 1) 이 地下發電所를 起點으로 하여 上流側으로는 水壓 管路와 導水路 터널을 通하여 上部 貯水池에 連結되며 下流側으로는 放水路 터널을 通하여 下部 貯水池에 連結되어 上部, 貯水池에서 下部 貯水池까지 地下 터널로서 延長만도 約 2,800m에 이르고 있다(표 2).

〈表- 2〉 水路터널 諸元

區分	型式	諸元
導水路 터널	円型壓 力터널	φ7.6m×1130m×1條 Y分岐 φ 5m×34m×2條
水壓 管路	鐵管 埋設型	φ 5.0m~2.82m (水平308m+垂直303m=611m)×2條
放水路	円型壓 力터널	φ 7.6m×756m×1條 Y分岐 φ 5.3m×112m×2條
水路중 단길이		2,772m

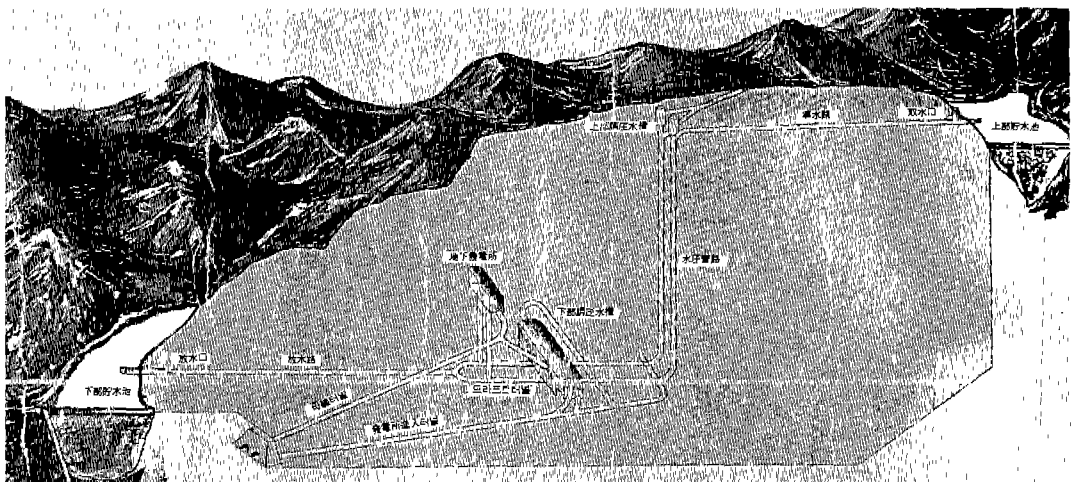
표 2에서 보는 바와 같이 導水路터널과 放水路터널은 斷面이 크고 7 kg/cm²의 水壓과 約 6 m/sec의 流速에 견딜 수 있도록 하기 위하여 全터널을 鐵筋 Con'c 로 施工하였으며 또한 長大터널이므로 터널 掘鑿과 Con'c Lining作業을 併行하는 것이 理想的인 工法이지만 斷面이 円型이므로 施工이 不可하여 全터널을 굴착한후 Con'c Lining을 施行하였다.

터널掘鑿은 全斷面工法으로 Drill Jumbo(3-Boom)로 穿孔하여 發破하고 Side Dump Loader(1.91m³)와 Dump Truck(8T)을 組合하여 버럭(發破岩)을 처리함으로써 1日平均 約 3.5m씩 掘進, 터널全延長을 掘鑿하였다.

Con'c Lining은 全斷面을 계속하여 Con'c을 充填하도록 円型의 自走式 鋼製거푸집(Needle Beam Type Circular Steel Sliding Form : 사진 1)을 導入하여 放水路터널을 施工한後 導水路터널에 投入하여 施工을 完了하였으며(표 3), # 1號機 設置完了 前인 85年 6月末 目標로 現在 取水口 構造物築造工事を 施行하고 있다.

導水路와 放水路터널을 施工하면서 Drill Jumbo와 Needle Beam Type Circular Steel Sliding Form을 처음 使用하는 것이므로 使用經驗이 있는 熟練工이 없어 처음에는 施工에 많은 어려움을 겪었다.

導水路터널과 地下發電所를 連結하는 水壓管路터널은 水平터널(ℓ=308m)과 垂直터널(ℓ=303m)로



〈그림- 1〉 三浪津揚水發電所 立体圖



〈사진-1〉 Needle Beam Type Circular Steel Sliding Form

〈表-3〉 터널施工 現況

區分		導水路터널	放水路터널
掘 鑿	斷面積	67 m ²	67 m ²
	1.發破長	3.4 m	3.4 m
	月平均掘進長	100 m	90 m
관 리 닝	1Block 길이	9 m	9 m
	1Block施工日	3.5日	3日
	月平均施工長	90 m	80 m

이어져 있으며 특히 垂直터널은 上部調壓水槽와 垂

직으로 連結되어 있어 垂直터널의 掘鑿施工 延長은 約 355m로서 獨立된 2個의 Line으로 構成되어 있다.

水壓管路터널은 $\phi 5.2\sim 6.2$ m로 全延長掘鑿을 施行한後 $\phi 2.82\sim 5.0$ m의 鐵管을 넣고 鐵管과 岩盤 사이의 空間은 Con'c로 充填하게 되어 있으며 鐵管과 岩盤 사이의 間격은 最少化 하였으므로 鐵管外部 熔接時에도 많은 어려움이 있었다.

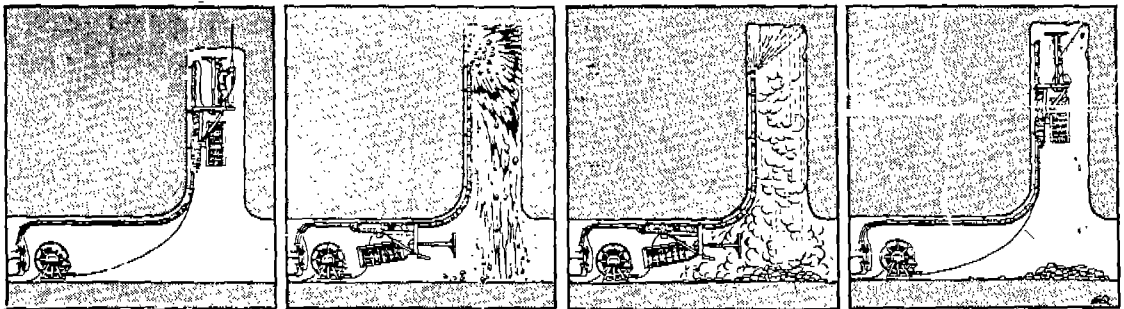
水平水壓管路的 掘鑿은 一般터널과 같이 全斷面으로 施工하였으나 垂直水壓管路는 發破壓의 처리를 容易하도록 1段階 Pilot掘鑿(下部에서 上部로 掘上) 2段階 Enlargang掘鑿(上部에서 下部로 掘下)으로 아래와 같이 施工 했다.

가. Pilot 掘鑿

Pilot는 掘鑿斷面 中央에 $2.4m \times 2.4m$ 크기로 垂直터널 下端에서 上部로 掘鑿하였고 掘鑿裝備는 Alimak Raise Climber를 使用하고 穿孔은 Leg Drill 및 Stopper을 使用하였다.

Raise Climber는 Guide Rail을 利用하여 막장까지 入力 및 鑿岩裝備 및 기타 資材를 運搬하는 役割을 한다.

Raise Climber를 利用하여 掘鑿하는 方法은 그림 2와 같다.



1. 安全Roof를 장치한 Platform을 利用하여 穿孔 및 裝藥을 한다. Guide rail에 장치된 Pipe로 Air 및 물을 공급하고, 장비자체 구동 電源은 별도의 Cable Reel에 의해 공급된다.
2. 穿孔과 裝藥이 끝나면 Raise Climber는 하부로 이동하여 대피하고 發破를 施行한다.
3. 發破가 끝나면 Air 와 Water spray를 분사하여 坑內 有毒Gas등을 제거하고 換氣狀態를 좋게 한다.
4. Raise Climber가 상승하여 부석파기, 면정리등을 기행하고, 하부에서는 버럭처리를 한다.

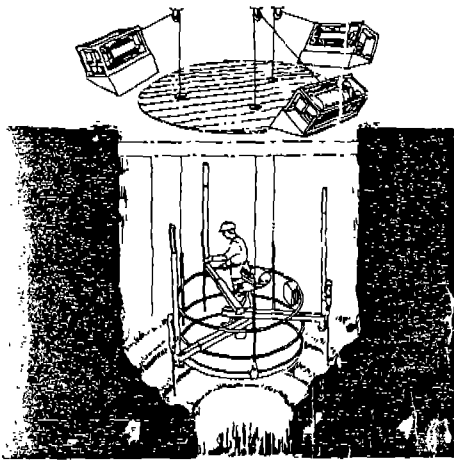
〈그림-2〉 Pilot掘削作業圖

Raise Climber의 안전한 運搬裝備를 利用하기 때문에 直接的으로 掘進하는데는 어려움이 없었으나 岩盤內 누수로 因하여 分무현상이 發生되어 錐를 이용한 在來式 方法으로 밖에 測量을 할 수가 없어 正確하게 測量을 할 수 없는 어려움이 있었다.

나. Enlarging 掘鑿

Pilot가 貫通되면 穿孔用 Drill이 裝着된 Enlarging用 Platform을 使用하여 上端에서 下端으로 向해 Enlarging굴착을 하였으며 垂直터널 上部 作業場에 Stationary Hoist Tower를 設置하고 여기에 Winch를 敷設하여 Platform을 上·下로 移動할 수 있도록 하였다(그림 3).

發破된 버럭은 Pilot Hole을 통해 下部로 떨어져 수시 버럭 運搬을 하므로 穿孔作業에 버럭處理의 影響이 없어 能率의인 掘進作業이 되는 長點이 있다. Enlarging作業時 落石의 危險을 防止하기 爲하여 垂直터널 全區間에 安全鐵綱을 取附하고 특히 岩盤이 나쁜곳은 円形 Steel Support 支保工을 施工하였다. Pilot掘鑿과 Enlarging掘鑿의 施工 實績은 아래 표 4와 같다.



〈그림-3〉 Enlarging Platform의 作業圖

〈表-4〉 垂直 水壓管路 掘鑿 施工實績

區分	Pilot 掘鑿	Enlarging掘鑿	備考
掘鑿斷面	2.4m×2.4m	φ 6.2~5.7m	
1發破長	1.1m	0.5m	
1日掘進長	2.5m	3.5m	

水壓管路 터널掘鑿이 完了된 후 鐵管을 設置하고 Con'c로 空間을 充填하였다.

三浪津 揚水發電所의 水壓管路는 約 47kg/cm² (수직압력 포함)의 高壓을 받을뿐더러 斷面이 크기 때문에 鋼材의 材質은 SWS 58Q 및 SWS 50B의 高張力鋼을 使用하였고 岩盤의 狀態도 어느 程度는 良好한 편이므로 水壓의 40%는 岩盤이 받도록 하여 鐵管은 60%만 견디도록 設計하였다. 水平 垂直 水壓管路 共히 6m관 3個씩 18m를 1Block으로 하여 設置하고 Con'c를 充填하였으며 水平水壓管路는 進入터널에서 分岐된 作業터널을 利用 運搬하였고 垂直 水壓管路는 上部調壓水槽에 設置된 Hoist Tower를 통해 Winch로 垂直터널內의 上部에서 下部로 運搬하여 抵抗에서부터 設置하였다. Con'c의 充填作業은 水平區間은 Con'c Placer Trolley (3m³)로 垂直區間은 1.5m³ Bucket를 利用, Con'c를 打設하고 있으며 84年末 完工에 定이다. 水壓管路의 施工實施은 아래 표 5와 같다.

〈表-5〉 水壓鐵管 諸元 및 施工現況

區分	水平水壓管路	垂直水壓管路	備考
管徑	φ2.82~4.5M	φ4.5~5.0M	
管두께	35~26% _m	26~15% _m	
個當管長	6m	6m	
1Block長	18m	18m	
1Block施工日	10	12	

水壓管은 大斷面厚管이기 때문에 陸上運搬을 고려 韓國重工業(株) 昌原工場에서 3m로 製作하여 現場에 運搬後 2個를 熔接하여 6m管으로 만들어 現場設置를 하였으며 특히 垂直水壓管路 設置工事에서는 벽체에서의 漏水와 狹小空間에서의 熔接 및 落石에 對한 安全問題等 부대적인 작업의 어려움이 있었다.

300,000kW의 大容량 펌프/수차와 發電/電動機(표 4)가 配置될 地下發電所는 內幅 21.5m, 높이 43m 길이 92m의 크기로 地下 約 200mm 位置하고 있으며 모든 機資材는 進入터널을 통하여 Erection Bay로 運搬토록 되었으며 發電所內에서의 主機器設置를 爲하여 2臺의 265屯 天井 크레인을 設置하고 있다.

地下發電所內의 機械搬入 및 主進入路의 進入터

〈表-4〉主機器 諸元

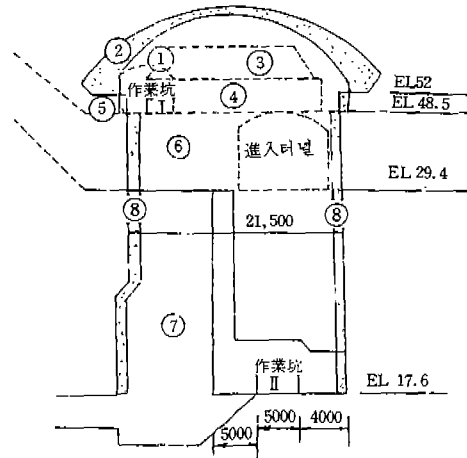
區 分	內 容
Pump/水車	型式：立軸可逆式Fransis型 台數：2台 定格出力：310,000kW 回轉數：300R. P. M 最大有效落差：345m 最大使用水量：242m ³ /sec (121m ³ /sec × 2台) 最大揚程：355m 最大揚水量：206m ³ /sec (103m ³ /sec × 2台)
發電 / 電動機	型式：三相交流同期發電電動機 台數：2台 定格容量：發電機容量 335,555kVA 電動機出力 294,752kW 電壓：18kV 回轉數：300RPM 周波數：60Hz 力 率：0.9

널(412m)은發電所 및 周邊 他工事의 作業坑으로도 사용되었으며 그림5와 같은 作業順으로 81年4月 地下發電所 掘削工事を着手하여 82年8월에完了하고 83年3月 Wall Concrete 他設을完了하였다.

發電所內 Main Body掘削時 上下流壁체에 Anchor를設置하여 Extension Meter로 壁체의 變形을測定하면서 掘進速度 및 發破量을 調整하여 施工함으로써 最終壁体 Concrete打設이完了될때까지 別途 岩盤補強作業 없이 28%以內로 變形이 오도록 하여 地下에 大空洞의 構造物을 築造하였다.

主變壓器(표5)가 地下發電所內 設置되므로 Power Cable이 敷設될 416m의 母線터널이 進入터널 左側部分에 別途로 築造되었으며 또한 이 터널에는 屋外에 位置한 제어실까지 連結되는 Control Cable도 敷設된다.

壁体콘크리트가完了된後 EL50m位置에 引場荷重 265TON天井크레인(2대)을設置하였고 이어서 #1號機 Draft Tube設置가 始作되어 現在 #1號機는 펌프水車設置가完了되어發電電動機設置用 Barrel을 Con'c 打設中이고 #2號機는 Spiral Casing設置가完了되어 周圍콘크리트를 打設하고있



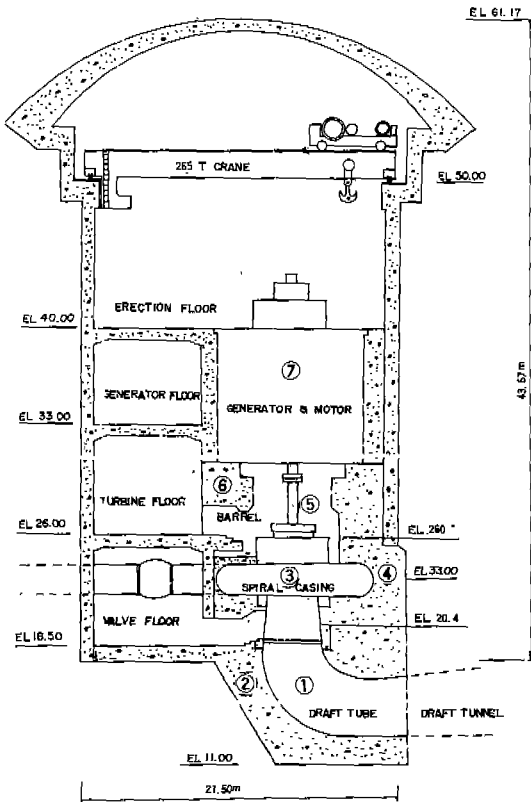
No.	工 程	머력搬出方法
①	Arch ring掘整	作業坑 I 利用
②	Arch Con'c打設	"
③	Core掘整(EL. 50以上)	"
④	Main body(1)掘整(EL. 52~EL. 48.5)	進入터널利用
⑤	Skirt wall con'c打設(EL. 52~EL. 48.5)	"
⑥	Main body(2)掘整(EL. 48.5~EL. 39.4)	"
⑦	Main body(3)掘整(EL. 39.4~EL. 17.5)	作業坑 II 利用
⑧	壁体Concrete打設(EL. 17.50~EL. 48.50)	進入터널利用

〈그림-5〉地下發電所 掘削作業

〈表-6〉主變壓器諸元

區 分	諸 元
型 式	屋內用 送油水冷式 三相 變壓器
台 數	2台
容 量	385,000kVA
電 壓	1次側 18kV 2次側 154kV

으며 이 主機器 設置作業 順序는 그림6 및 표7과 같다.



〈그림-6〉 地下發電所 主機器 및 Concrete 打設作業圖

發電所의 機器 組立場(Erection Bay)은 협소한 데다 當初 機器設置 工期도 餘裕가 없어 # 1, 2號 機器들이 거의 同時에 組立 設置하여야 하므로 主變壓器室 構造物을 事前에 完了하여 Stator 및 Runner等의 組立作業場으로 利用함으로써 협소한 地下의 空間을 最大한 活用하고 있다.

三浪津揚水發電所의 水車發電機는 國內 最大의 單位容量이 면서도 國産化率이 68.7%나 되어 大容量의 製作 經驗不足으로 現場에서 組立設置時 豫期

〈表-7〉 主機器設置 및 con'c 打設順序

區分	內 容
1	Lower Draft Tube 設置
2	Draft Tube 周圍 Con'c 打設
3	Stay Ring 組立 및 熔接 Spiral Casing 組立 및 熔接 Upper Draft Tube Linner 設置 Discharge Ring 組立 Spiral Casing 水壓試驗 Lower Pit Linner 組立設置
4	Spiral Casing 周圍 con'c 打設 (EL. 26.0) EL(+)26.0 SLAB con'c 打設
5	1. Guide Vane 設置 2. Main Shaft 및 Runner 設置 3. Head Cover 設置 4. Upper Pit Linner 組立設置
6	Barrel con'c 打設 (EL. 40.0) EL. 33.50 및 EL. 40.0 SLAB con'c 打設
7	Stator 設置 Lower Bracket 設置 Rotor 設置 Upper Bracket 設置 Pony Motor 設置 無水試驗 (Dry Test) 有水試驗 (Wet Test)

치 못한 問題點도 發生하고 있으며 또한 高度의 精密度를 要하는 機械 加工品도 運送관계상 分割製作하여 許容誤差內로 現場에서 再組立 設置하여야 하는 등 惡條件下에서 工期遵守 및 品價管理에 最善의 努力을 傾注하고 있다. *