

우리나라 揚水發電의 技術課題

Technological Problems for Korean Pumping-up water Power plant

崔 榮 博
Choi, Young Bak

1. 揚水發電의 長短과 內外 動向

揚水發電은 電力負荷가 많이 걸리는 尖頭負荷時에 대한 設備로서 主로 夜間의 剩餘電力을 揚水펌프에 對한 動力으로 하여 低地帶의 貯水池(下池)나 바다로부터 高地帶의 貯水池(上池)로 導水하여 貯藏하였다가 그물을 利用하여 尖頭負荷時을 위한 發電을 實施하게 된다. 그런데 이 경우 發電量은 投入된 電力의 65~65%(따라서 損失率 40~45%)에 불과하므로 揚水에 必要한 電力生産費가 저렴하여야만 그 效率性이 있다.

따라서 1974年 現在 水力 13.2% 對 火力 86.8%의 構成을 보이고 있는 우리나라 電源設備 構造에서는 油類를 使用한 電力生産費가 비싸서 經濟性에 問題가 있다. 그러나 1981년까지 發電原價가 저렴한 水力이 20.9%, 原子力이 24% 對比 火力 55.1%로 됨에 따라 生産價格이 저렴한 剩餘電力을 利用하여 揚水發電이 可能한 것이다. 揚水發電은 負荷變動에 對한 即應性이 良好하고 또한 一般水力에 比하여 建設費가 低廉한 長點이 있으므로 日本이나 美國 等 先進國은 最近의 電力供給方向으로 大容量 新銳火力이나 原子力에다 基礎負荷를 大容量 揚水에다 尖頭負荷를 分擔시키고 있다.

揚水發電은 펌프 水車의 技術의 進步가 顯著하여 高落差, 大容量인 것이 發掘되고 있고 特히 內外 로크·필댐 構築技術 및 機械化 土木 施工의 飛躍的 進步는 電力系統의 容量擴大에 수반하는 大容量 水力의 有利性에 注目하게끔 되었으며 이와 함께 揚水發電은 더욱

앞으로 發展될 것으로 展望되고 있다.

揚水機器로는 揚水用 펌프와 펌프·水車가 發明되었으며 揚水用 펌프는 揚程의 關係로 遠心 터빈·펌프가 많이 使用되고 揚程은 1段當 120m가 限度이며 高揚程인 境遇는 多段펌프가 必要하다. 펌프·水車는 펌프와 水車의 두가지 機能을 가진 것이다. 外國의 事例은 表-1.2와 같다.

2. 우리나라 長期電源 開發과 揚水發電

1960年代에 第1,2次 經濟開發計劃의 遂行으로 1965~72年의 過去 7年間의 GNP 成長率은 10%의 高度成長이었음에 比하여 에너지 消費增加率은 25%로서 우리나라 에너지 消費量은 GNP의 增加率을 훨씬 上廻하여 急激히 增加하고 있다.

1973年 現在 우리나라의 源別 에너지 供給은 無煙炭 16,113%, 電力 4,271千KW, 精油 395千BbLS로서 이中 에너지 輸入依存度는 54.9%이다. 하나 1973年 中東紛爭과 함께 世界的인 에너지 波動으로 商工部는 예

表-3 源別 發電設備 構成

單位: 千KW()안은 構成比로서 %

區分	年度	74	76	81	備 考
		(132)	(12.5)	(20.9)	
水 力		621 (132)	711 (12.5)	2,081 (20.9)	
原 子 力		(—)	595 (10.4)	2,395 (24.0)	
火 力		4,100 (86.8)	4,400 (77.1)	5,495 (55.1)	
計		4,721 (100)	5,706 (100)	9,971 (100)	

表-1 펌프 使用의 外國例

發電所名	國名	펌프		프		水車			運轉開始年
		揚程 (m)	揚水量 (m ³ /s)	모터 (MI)	回轉數 (r.p.m)	型式	容量 (MW)	有效落差 (m)	
Hausern	獨逸	210	551.03	19.7	333	프랑스	34.3	210	1930
Witzman	"	248	8.0	29.3	333	"	55.9	260	1943
Lvnersee	오스트리아	970	3.1	41.1	750	펠톤	47.1	750	1956
Waldshuf	獨逸	167	9.62	8.1	250	프랑스	45	143	1956
Limbery	오스트리아	385	13.2	63.8	500	"	57.8	364	1955
Altendorf	瑞西	486	—	18.7	500	펠톤	165	478	1947
Efestinig	英國	326	17—19	61.9	428	프랑스	75	326	1962
Pargneres	프랑스	400	—	1×5.2 4×10.45	1,600	"	73	400	1953
小口川第三	日本	668	0.4	3.8	1,200	펠톤	8.95	625	1931
洛決沼	"	211	7.9	21	500	프랑스	23	200	1951
諸塚	"	241	18.6	55	300	"	54	2,264	1961

表-2 펌프·水車 使用의 外國事例

發電所名	國名	P:펌프 T:水車	揚程 (m)	容量 (m)	펌프回轉數 (r.p.m)	型式	臺數	完工年度
PePreira	브라질	P T	23.8	12.1	150	從軸 프랑스	3	1953
			24.4	14.2	150			
Hiwasec	美國	"	62.5	75.0	105.9	"	1	1956
			73.2	89.5	105.9			
大森川	日本	"	127.8	14.3	400	"	1	1959
			118	14.8	400			
Providenza	伊太利	"	262	—	375	"	1	1961
			259	52.2	375			
火田新第一	日本	"	103.2	34.8	200	"	3	1961
			101.9	45.2	200			
Snith Mountain	美國	"	12.5	—	105.9	"	2	1961
			54.9	65.0	105.9			
Taumsauk	"	"	235	—	200	"	2	1961
尖木澤	日本	"	85	—	150	"	3	1964
			81	73.5	150			
城山	"	"	158	—	—	"	4	1964
			153	64.5	—			
Str Aden Beck	카나다	"	27.4	41.0	92.3	"	6	1957
			25.3	33.6	92.3			
Valdecamas	스페인	"	72.8	82.0	150	"	3	1962
			74.1	82.0	150			
穴内川	日本	"	71.0	13.0	360	"	1	1963
			69.5	13.2	360			

너지 綜合對策을 樹立하고 國內에너지 資源의 最大限 開發活用策으로 첫째 石炭生産의 極大化와 함께 둘째로는 揚水發電을 包含의 水力發電의 優先開發을 基本指針으로 하는 長期電源開發計劃을 樹立한 바 있다. 이리하여 1974年 現在 水力 13.2 對 火力 86.8%의 火力水從型의 開發方式에서 1981년에는 水力 20.9%, 原子力 24.0% 對比 火力 55.1%의 源別 發電設備 構成으로

策定하였 ..

長期 電源開發計劃으로 1974—81년까지 新規로 原子力 4 個所로서 2,395千KW, 水力 5 個所로서 440千 KW, 火力 7 個所로서 1,863千KW, 揚水發電 3 個所로서 1,020千KW로 總 19個 發電所 建設로서 5,718千 KW 出力 增加를 新規로 計劃하고 있다. 여기서 水力은 1976년까지 安東水力 90千KW, 1978년까지 大清水

力 90千KW, 1979년까지 陝川水力 80千KW, 1980년까지 臨溪水力 150千KW, 1981년까지 驪州水力 30千KW이며, 揚水發電으로는 1978년까지 300千KW의 揚水發電 #1, 1979년까지 揚水發電 #2 및 1981년까지 420千KW의 驪州 發電所建設을 計劃하고 있다. 여기서 水力發電所 計劃은 調節能力이 높은 巨大 礮式을 中心으로 하는 火主 水從式型으로 基底負荷를 火力發電所에 尖頭負荷를 礮式 水力에 負擔시키는 것이 가장 經濟的이라는 先進國의 見地에서 策定되었다고 判斷된다.

이는 우리나라가 大容量 貯水池를 위한 巨大礮을 建設하는 技術이 其間 南江 및 昭陽江 多目的礮 建設의 經驗에서 確立된 것과 다른 理由로는 海外的 높은 熱效率化의 大容量의 新銳火力發電所 技術導入으로 充分히 長期間의 轉運轉이 可能하여 信賴度가 높아지고 또한 水力礮 下流의 逆調整池로부터 下流의 流量을 年中 平準化하는 것이 可能해진 背景에서이다. 따라서 韓國電力에서는 揚水發電에 對한 經濟的 妥當性을 銳意 調査 檢討중이다(表 1~3參照).

3. 揚水發電의 問題點과 技術 對策

가. 揚水發電 計劃

(1) 揚水發電 計劃은 一般 水力地點 計劃과는 매우 相異하며 揚水發電所의 最大能力이나 池容量은 自然히 地形, 地質의 制約條件에서 許容된다면 매우 自由度가 있게 計劃할 수 있으나 最終規模나 發電量에 對하여서는 電力系統 全體로 본 經濟評價를 한 後 最終點으로 決定한다.

(2) 揚水發電所는 한번 建設되면 長期에 亘한 電力系統의 運用이나 經濟性에 큰 影響을 미치므로 揚水地點計劃에 있어서 經濟的인 揚水發電 地點, 包藏量 豫想을 推定하여 全般的으로 比較展望한 後 個別 揚水地點의 規模와 經濟性的의 試算을 할 것이다.

(3) 揚水發電所는 固定費가 定價인 것이 第一條件이므로 建設費를 가장 低廉하게 하기 爲하여

(가) 落差가 크고 落差當 水路 길이(L/H)가 짧은 地點에 着目할 것

(나) 上池 下池로서 天然 湖沼 或은 바다 或은 既設礮을 利用할 것

(다) 可能的인 限 電力 需要地와 揚水動力 供給電源에 가까운 地點에 設置한 것 등 以外の 設計面에서 機器의 簡素化와 大容量化에 努力하여야 한다.

(4) 個別地點의 規模는 上池와 下池의 容量에 따라

決定되며 經濟性은 池를 만들기 爲한 建設費에 크게 左右된다. 揚水發電所는 系統에 있어 揚水投入 比率이 크게 될수록 必要한 池容量은 增大하므로 池建設費가 增加하고 揚水動力費가 增大하여 經濟性도 漸次低下한다.

나. 揚水發電 設備

揚水發電用 設備는 一般水力에 比하여 揚水用의 機械設備와 發電所의 構造에 特徵이 있고 水路設備에도 揚水發電所의 獨自的인 問題가 있다.

(1) 貯水池와 礮은 純揚水式 以外는 一般水力和 別로 相異한 點은 없다. 純揚水式에서는 落差만이 開發方式이 되고 台地上에 貯水池를 掘入하고 周圍에 堤防(輪中堤)를 둘러 쌓는 形式으로 하는 것이 많고 掘入式 貯水池에는 堤體의 貯水池周邊에서 漏水防止를 爲한 아스팔트工 基礎, 其他 表面遮水工이 必要하다. 또 急激한 水位變化가 豫想되므로 輪中堤의 比탈面安定을 爲하여 堤體材料에 알맞는 斷面選定이나 排水設備가 必要하다.

(2) 貯水池에 流入하는 河川이 없을 境遇 運轉始動의 펌프 回轉이 不可能하므로 어떤 方法으로든지 充水하는 것을 考慮하여야 한다. 河川이 있더라도 流量이 적은 境遇는 總雨量에 對한 有効雨量을 調査하여 確實한 運轉이 되도록 한다.

(3) 發電所의 水壓 鐵管에 있어서는 高落差이고 單機容量이 크게 되면 水壓鐵管의 管 두께가 增加되고 設計上 制約을 받는다. 또 펌프運轉中 振動에 對하여 鐵管의 固有振動數와 펌프중의 水壓波가 共鳴하지 않도록 補強하여야 한다. 發電所가 地形과 構造物의 配置關係로 地下式이 되는 境遇가 많은데 大容量이면 鐵管路를 包含한 構造物이 掘鑿土量이 膨大하여 工程과 工事費가 큰 影響을 주게 되어 機械의 高速化와 配置의 適正化를 維持하는 同時에 發電所 位置 選定에 留意하여야 한다. 또한 下池의 水位變化와 펌프의 押込 높이의 關係로 發電所 周壁의 作用水壓이 數 10m가 될 것이므로 防水工, 排水工 施工에 特別히 留意하여야 한다.

(4) 海水揚水에 있어서 우리나라의 東海岸 및 南海岸은 山地가 海岸에 매우 接近하여 斷崖形으로 바다에 落下되는 地形이 많으므로 이와같은 地點에서는 比較的 짧은 水路로서 高落差를 얻을 수 있으므로 바다를 下池로 利用하는 海水揚水 發電所의 可能性의 展望이 밝다. 海水揚水發電은 下池인 바다의 流量이 無限大이고 特히 水位變動이 적은 곳에 利點이 있다. 한편

現在로는 特異한 問題點의 解決이 必要하며 앞으로의 技術面에서 아래와 같은 研究開發이나 導入이 必要하다.

- (가) 通水 및 接水 構造物의 腐蝕
- (나) 構造物에 海中生物의 附着
- (다) 海岸漂砂
- (라) 貯水池에서 海水가 滲透流出되어 生기는 山林이나 田畝의 鹽害
- (마) 構造物의 海中施工
- (바) 海岸放水 附近에서의 水溫, 流速의 變化가 養

殖物이나 魚類에 미치는 影響

다. 펌프 運轉의 過渡現象

펌프 運轉中 事故로 停電하는 경우 逆流 逆轉性能과 밸브의 閉鎖時間에 依한 水位上昇의 問題이다. 이 現象의 事例를 보면 3~4sec로 急閉鎖할 때 水位上昇은 200%를 超過할 때가 있다. 따라서 大型의 模型試驗이나 電子 計算機의 解析으로 펌프 運轉의 過渡現象에 對한 精密한 解明이 必要하다.

〈國際 심포지움 參加者 名單〉

75.12.1~8까지 東京에서 開催하는 流域의 '물' 循環과 그 變化에 關한 國際學術大會에 本會에서는 다음 會員이 參加하여 學術發表키로 하고 主催側에 發表論文을 提出하였음을 알립니다.

다 음

- 崔 榮 博 (本會副會長·高大教授·理博) 學術發表
- 李 元 煥 (本會理事·延大教授·工博) //
- 尹 龍 男 (// ·陸士·副教授·工博) //
- 鮮 干 仲 皓 (// ·서울大助教授·工博) //
- 李 舜 鐸 (// ·嶺南大副教授·工博) //
- 尹 泰 勳 (正會員·漢陽大助教授) //
- 朴 成 宇 (本會理事·서울大教授·農博) 參加
- 安 守 漢 (// · // ·工博) //
- 李 潤 植 (正會員·建設部水資源局) //

表-3 揚水發電地點 踏査 總括 結果表(韓國電力)(案)

地 點	UA-1	CP-1	PD-1	NJ-1	SS-3
事業地帶:					
河 川 位 置	北 漢 江 西 爾 地 區	北 漢 江 西 爾 地 區	漢 江 西 爾 地 區	洛 東 江 釜 山 地 區	洛 東 江 釜 山 地 區
集 水 面 積(km ²)	1.1	2.1	2.9	1.5 : 10.5	1.6
上 池:					
H. W. S (m)	212	248	152	386.5	217.5
L. W. S (m)	169	218	128.5	316.0	189.5
利 用 水 深(m)	43	30	23.5	25.5	34.0
總 貯 水 量(m ³)	6,620,000	5,110,000	8,480,000	2,950,000	4,410,000
有 效 貯 水(m ³)	6,100,000	4,280,000	6,660,000	2,420,000	3,870,000
貯 水 面 積(m ²)	270,000	22,000	405,000	145,000	180,000
下 池:					
H. W. S (m)	71.5	51	25.5	51.5	4.5
L. W. S (m)	66.3	46	25	43.0	-0.7
				85	
總 貯 水 容 量(m ³)	(衣 岩)	(淸 平)	(八 堂)	4,920,000	(바 다)
有 效 貯 水 量(m ³)				2,520,000	
貯 水 面 積(m ²)				335,000	
上 池 埤:					
型 式	아스팔트表面處理	아스팔트表面處理	中 心 處 理	아스팔트表面處理	아스팔트表面處理
높 이(m)	35	77	60	70	82
마 루 길 이(m)	364	260	320	218	375
體 積(m ³)	2,070,000	1,040,000	1,390,000	1,000,000	1,560,000
下 池 埤:					
型 式				中 心 心 壁	
높 이(m)				33	
마 루 길 이(m)				490	
體 積(m ³)				1,200,000	
揚 水 管:					
數		1		1	
內 徑 × 長 이		6.2×1,405		4.7×1,280	
水 壓 管:					
數	2	2	2	2	2
內 徑 × 長 이	5.15×200	4.3×238	5.4×202	3.25×4.02	4.1×305
放 水 管:					
數	1	1	1	1	1
內 徑 × 長 이	7.55×1,785	6.3×982	7.9×1,380	4.75×920	6.0×2,030

地 點	UA-1	CP-1	PD-1	NJ-1	SS-3
發電所建物：					
型 式	地 下 式	地 下 式	地 下 式	地 下 式	地 下 式
發電設備：					
容 量(MW)	300	300	300	300	300
펌프·水車：					
型 式	프란시스	프란시스	프란시스	프란시스	프란시스
數	2	2	2	2	2
水車定格：					
常時有效落差(m)	122.0	174.0	111.5	309.0	193.0
最大使用水量(m ³ /sec)	141	99	154	56	895
最大出力(KW)	154	154	154	154	154
펌프定格：					
總 揚 程(m)	139.3	199.1	125.9	341.2	219.8
揚 水 量(m ³ /sec)	107	75	119	44	68
發電機：					
型	鉛 直 軸	鉛 直 軸	鉛 直 軸	鉛 直 軸	鉛 直 軸
	2	2	2	2	2
發電機定格：					
容 量 (MVA)	165	165	165	165	165
모터定格：					
出 力(MW)	165	165	165	165	165
主變壓器：					
型 式	屋 外	屋 外	屋 外	屋 外	屋 外
數	2	2	2	2	2
容 量 (MVA)	170	170	170	170	170
位 置	配 電 盤 安 養	地 下 式 安 養	配 電 盤 安 養	地 下 式 東萊·梁山	地 下 式 東萊·梁山
送 電 線：					
2次變電所電壓(KV)	154	154	154	154	154
數	3	2	2	2	2
길 이 (km)	100	65	50	30	30
總建設費：					
金 額 (10 ³ 원)	13,578	12,018	12,309	12,009	12,768
建設單電(\$/KW)	150.9	133.5	136.8	133.4	141.9
B/C比：	1.22	1.35	1.33	1.36	1.28

表-4 揚水發電所包

No	河川水系	地點名	位置	上池		下池		最大總落差 (H)
				水位	댐 길이	水位	댐 길이	
現存貯水池 利用點								
1	漢江	CC-1	오월리	E. L245	270	E. L103	春川	142
2	"	UA-1	득두원리	E. L212	360	E. L 71	衣岩	142
3	"	CP-1	회곡리	E. L248	260	E. L 51	清平	197
4	"	CP-2	호명리	E. L516	210	E. L 51	"	465
5	"	PO-1	신원리	E. L152	330+170	E. L 26	八堂	126
6	"	PD-2	도수리	E. L183	290	E. L 26	"	157
計劃中의 貯水池 利用地點								
7	漢江	SH-2	용산리	E. L700	200	E. L280	臨溪	420
8	"	SH-3	기시리	E. L740	330	E. L300	寧越	440
9	蟾津江	SJ-1	산천리	E. L280	500	E. L140	원당	140
10	"	SJ-2	태평리	E. L380	300	E. L100	高城	280
上下池要建設地點								
11	漢江	HC-1	군배리	E. L 880	300	E. L400	350	480
12	"	CP-3	상명리	E. L 623	280	E. L222	260	401
13	"	SH-1	상산미리	E. L 780	500	E. L380	250	400
14	襄陽	YY-1	오가리	E. L 880	300	E. L300	200	580
15	남평	RP-1	송예리	E. L 800	1,000	E. L120	300	680
16	금	KG-1	오동리	E. L 860	450	E. L460	350	400
17	"	KG-2	포내리	E. L 840	250	E. L280	300	460
18	洛東江	ND-1	사곡리	E. L 700	400	E. L240	250	460
19	"	ND-2	중	E. L1,000	550	E. L420	400	580
20	"	NJ-1	안대리	E. L 387	220	E. L 52	500	335
21	"	NJ-2	내포리	E. L 353	310	E. L 81	340	272
22	"	NJ-3	이천리	E. L 780	500	E. L360	350	420
23	"	NJ-4	사천리	E. L 480	270	E. L160	200	320
海水揚水發電地點								
24	東海岸	SE-1	임원리	E. L160	350	± 0	바다	160
25	"	SE-2	노곡리	E. L185	370	"	"	185
26	"	SE-3	구문리	E. L147	270	"	"	147
27	南海岸	SS-1	비봉리	E. L260	350	"	"	260
28	"	SS-2	맹시리	E. L180	330	"	"	180
29	"	SS-3	동리등	E. L218	380	"	"	218
30	"	SS-4	남양리	E. L200	400	"	"	200
31	"	SS-5	봉화리	E. L200	300	"	"	200
河川 自流混合 地點								
32	漢江	CP-4	홍천	E. L120	400	E. L 51	清平	69
33	洛東江	ND-3	陝川	E. L180	95	E. L 90	75	90

4. 地點에서 最近接負荷中心地까지 近似的으로 測定된 直線距離임.

藏 地 點 (韓 國 電 力) (案)

水路길이 (L)	L/H		電 力 負荷中心 까지距離	備	考
	m	km			
2,350	16.5		90	落差에 비해 水路가 너무 길다. (possible 地點으로 採擇)	
2,050	14.4		90	(")	
2,580	13.1		55	(")	
3,000	6.5		70	터빈펌프의 使用에는 吸上高가 너무 높다(possible 地點으로 採擇).	
1,640	13.0		55	(")	
3,050	19.5		55	落差에 비해 水路가 너무 길다.	
1,700	4.1		180	負荷中心地에서 너무 遠距離이고 펌프 터빈을 使用 吸上高가 너무 높다.	
3,200	7.7		160	上	同
2,000	14.3		170	負荷中心地에서 너무 遠距離이며 下池建設이 要된다.	
2,300	8.2		160	上	同
3,500	7.3		130	負荷中心地에서 너무 遠距離이고 吸上高가 펌프 터빈 使用에는 너무 높다.	
4,170	10.4		70	吸上高가 펌프 터빈으로서는 너무 높다. (possible 地點으로 採擇)	
2,000	5.0		190	負荷中心地에서 너무 遠距離에 있고 吸上高가 可逆式 펌프터빈 으로서 너무 높다.	
1,800	31		160	上	同
3,700	5.5		180	上	同
2,400	6.0		145	上	同
1,500	3.3		145	上	同
3,100	6.7			負荷中心地에서 너무 遠距離이고 吸上高가 펌프터빈의 使用에 너무 높다.	
4,500	7.7		130	上	同
2,500	7.5		25	(possible 地點으로 採擇)	
2,200	8.1		20	(")	
1,500	3.6		30	吸上高가 可逆式 펌프 터빈의 使用에는 너무 높고 낮아지기 쉽다.	
1,800	5.6		5.5	낮아지기 쉽다.	
3,000	18.7		220	負荷中心地에서 너무 遠距離이고 落差에 비해 水路가 너무 길다.	
2,700	14.5		220	負荷中心地에서 너무 遠距離이다. (possible 地點으로 採擇)	
1,700	11.6		160	上 同 (")	
2,700	10.4		185	上 同 (")	
2,200	12.2		60	島嶼에 位置	
3,000	13.7		20	(possible 地域으로 採擇)	
2,050	10.3		110	島嶼에 位置	
2,400	12.0		110	上 同	
--	--		75	補償費가 過大하다	
--	--		100	建設部에서 檢討中	