

□ 特輯：代替에너지 □

우리나라의 小水力發電

金 景 德

(現代엔지니어링(株) 理事)

■ 차 례 ■

- | | |
|-------------|---------------|
| 1. 序 言 | 4. 小水力開發展望 |
| 2. 小水力發電이란? | 5. 小水力開發의 經濟性 |
| 3. 小水力開發現況 | 6. 結 言 |

1 序 言

水力은 地球表面에 存在하는 물의 Energy로서 水力利用의 最初의 方法은 대나무 또는 나무로 만들어진 水車를 直接 河川이나 運河의 流水에 依해서 運轉한 것이었다. 金屬製 水車, 特히 1824年 불란서에서의 反動水車發明과 電力輸送의 長距離化 成功에 依해서 水力利用이 本格化되었고 그後 各國의 水力發電事業은 急速히 發展하였다.

우리나라의 水力發電은 北漢江水系 化川에 댐을 築造하고 東海로 放流하는 流域變更式 水力發電所인 施設容量 7,000 Kw 의 中臺里發電所가 最初로서 1916年 6月 着工되어 1925年 4月에 竣工되었다. 그 後 鴨綠江水系에서 가장 먼저 開發된 赴戰江水力을 目標로 하여 잠자고 있던 우리나라는 放大한 潛在水力이 資源으로 認識되고 日本에 比하여 發電規模가 크고, 적은 補償費와 低廉한 工事費等, 有利한 條件 때문에 日本資本이 우리나라에 進出하게 되었다. 赴戰江水力發電所는 鴨綠江의 第2支流인 赴戰江上流 高原地帶에 댐을 築造하고 24 Km의 터널을 通하여 東海岸으로 流域變更하는 過程에 4個所의 發電所를 設置한 總落差 1,028 M, 施設容量 200,700 Kw 의 發電所로서 1926年 2月에 着工하여 1929年 10月에 第1號發電所를 竣工한바 興南窒素肥料工場을 비롯한 硫安工場等에 送電하였다. 鴨綠江 本流에는 1937年 10月 世界屈指의 水壘댐이 着工된바 댐높이 106

M, 댐길이 900 M, 總貯水容量 111.6 億M³, 發電 施設容量 700,000 Kw 로서 1941年 1, 2號機가 竣工되었다. 그 後 淸平, 華川 및 七寶發電所等이 築造되었으며 1945年 解放 當時 29個地點 1,744,800 Kw 의 水力이 開發됐고 10個地點, 1,346,700 Kw 가 工事中이었는데 全包藏水力의 80%以上이 北部地域에 偏在해 있어 南農北工 政策을 誘導하게 되었을 뿐만 아니라 光復後에는 南北間의 심각한 電力不均衡을 露呈하였다.

現在 우리나라의 水力發電 設備現況은 依岩, 八堂等, 發電專用 댐의 施設容量이 777,770 Kw 이며 南江, 昭陽江, 安東, 大清等 多目的댐의 施設容量이 423,960 Kw 로서 總水力發電 施設容量은 1,201,730 Kw 이다.

1960年代 以後 우리나라는 持續的인 經濟成長과 더불어 電力需要가 繼續해서 增加되어 오고 있으며 1970年代에는 2次에 걸친 石油波動으로 全世界와 마찬가지로 우리나라에도 에너지難을 극복하기에 腐心하고 있으며 이의 대처방안으로서 代替에너지開發, 石油火力發電所의 代替를 爲한 原子力, 石炭火力 및 水力發電所 開發等의 政策이 強力히 施行되고 있다.

1982年 3月에는 國內賦存小水力開發 추진을 爲한 開發方案이 樹立되어 現在 施行中에 있을뿐 아니라 大規模의 水力開發도 早期開發하려고 政府에서 推進中에 있다.

本稿은 우리나라의 小水力開發現況과 展望에 對하여 略述한 것으로서 動力資源部의 小水力發電開發方

案, 韓國動力資源研究所의 研究報告書, 1984年 2月 싱가포르에서 開催된 國際小水力會議에 發表된 資料 및 其他 海外文獻을 參考로 記述한 것이다.

2 小水力發電이란?

우리나라에 있어서 小水力發電이란 3,000 Kw以下 小容量의 水力發電을 말하며 그 以上の 容量 即, 大水力發電과는 發電容量 뿐만 아니라 發電設備 및 運轉方式等에 差異가 있으므로 既存大水力의 縮小形으로만 생각하는 것은 무리가 있다. 美國에 있어서는 15,000 Kw 以下の 水力發電을 小水力으로 보고 있으며 日本에 있어서는 5,000 Kw 以下를 小水力으로 보는 등 國家에 따라 差異가 있다.

一般的으로 水力을 利用한 發電方式에는 다음과 같이 4種으로 大別할 수 있다.

1) 水路式

河川에 보를 設置해서 取水口, 沈砂池를 經由, 緩勾配의 水路로 導水하여 落差를 얻어 發電하는 方式

2) 댐식

河川에 댐을 築造해서 落差를 얻어 發電하는 方式

3) 댐水路式

水路式과 댐식을 結合한 것으로서 댐의 築造에 依하여도 落差를 얻고 水路에 依해서도 落差를 얻어 發電하는 方式

4) 揚水式

深夜等の 剩餘電力을 利用하여 高地帶에 있는 貯溜池 或은 天然湖沼等에 물을 揚水, 貯溜했다가 尖頭負荷時에 發電하는 方式

이밖에도 干満의 差가 많은 곳에서 潮汐의 昇降을 利用해서 發電하는 潮力發電等이 있다.

小水力發電의 境遇에는 水路式, 댐식, 댐水路式의 3種이 該當된다.

한便 發電出力은 다음과 같이 算出된다.

$$P = 9.8 \times Q \times He \times \eta$$

위에서 P : 發電出力 (Kw)

Q : 使用水量 (m³/sec)

He : 有効落差 (m)

η : 水車, 發電機效率

(1) 使用水量

河川의 어떤 地點을 通過하는 流量은 그地點의 流域內에 내린 雨量에 依하여 決定된다. 그러나 流域內에 내린 雨量이 全部 流出이 되는 것은 아니고

一部는 蒸發하고 一部는 地下로 浸透되어 地下水가 되며 地下水는 一部가 다시 地表로 流出되어 河川에 흐르는 流量이 된다. 水力發電의 計劃에 있어서 河川에 흐르는 流量으로 부터 使用水量을 定하기 爲해서는 流量을 圖示化할 必要가 있다. 1年을 100%의 時間으로 한 時間比率에 따른 流量을 크기 順序로 整理하면 流況曲線圖를 作成할 수 있다. 우리나라와 같이 年間 流量의 變化가 심한 곳에서는 最大使用水量을 크게 잡을 수 없다. 따라서 流況曲線에서 25% 時間의 流量을 最大使用水量으로 取하기도 한다. 그리고 最小使用水量은 常時保障 發電量을 決定 짓게 되고 이에 따라 年間發電量의 變化를 가져오므로 여러가지를 考慮하여 適切히 定하여야 한다. 即, 最小使用 水量이 最大使用水量의 50%以下가 되면 固定피치날개의 프로펠러水車는 水車의 特性的 制限要素로 말미암아 運轉이 不可能하고 30%以下에서는 어떠한 水車도 運轉이 不可能하다. 그러므로 多小 水車發電機의 設備費가 많이 든다고 하더라도 經濟性이 許容하는 範圍에서 水車의 臺數를 2臺以上으로 假定하여 流況曲線圖상의 90% 時間의 流量을 最小使用水量으로 하는 것이 좋을 것이다.

(2) 落差

落差란 물을 利用함에 있어서 두地點 間의 高低差를 말하며 다음과 같이 區別된다.

○總落差: 取水되는 水面과放水되는 水面과의 差

○有効落差: 實際로 水車에 미치는 落差로서 總落差에서 損失落差를 뺀 값

○損失落差: 물이 取水口를 通하여 利用되고放水될 때 까지의 여러가지 水頭損失을 합한 값으로 取水口損失, 水路損失 및放水路損失 등이 있다.

가) 댐식發電

大體로 滿水位時의 最大落差는 水車의 制限的 要素로 말미암아 平均有効落差의 115%를 넘어서는 안되며 最低落差는 平均有効落差의 60%以下가 되어서는 안된다. 따라서 平均有効落差는 最大落差의 約 87%를 取한다.

나) 水路式發電

水路의 형태가 터널, 管水路, 또는 開水路의 형태로 나누어 지는 水路式發電에 있어서는 平均有効落差는 最大落差에서 取水口, 水路, 水壓管,放水路 등의 損失落差를 뺀 값을 利用한다.

管水路에서의 損失落差는 다음과 같다.

$$\text{損失落差} = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g}$$

위에서 D : 管徑 (M)
 L : 管路의 길이 (M)
 V : 流速 (M/sec)
 g : 重力加速度 (m/sec²)
 f : 摩擦係數

年間發電量 = 施設容量 × 稼動率 × 8760 (時間)

稼動率은 各地域마다 地域의 特性, 即, 流況曲線圖의 形態等에 따라 달라지나 大體로 우리나라의 境遇는 0.4의 값을 利用하는 것이 無難하다.

③ 小水力開發現況

(3) 水車發電機效率
 水車發電機의 效率는 容量과 機種에 따라 效率의 差異가 있으나 다음의 基準을 適用해도 좋을 것이다.

<出力에 따른 水車發電機 效率>

理論出力	水車發電機效率
300 Kw 以下	0.75
300 ~ 1000 Kw	0.78
1,000 ~ 2,000 Kw	0.80
2,000 Kw 以上	0.82

(4) 年間發電量

年間發電量의 算出은 年平均使用水量을 求하여 算出하는 方法과 發電設備稼動率을 利用하여 算出하는 方法이 있다. 年平均使用水量은 앞에서 言及한 바와 같이 流況曲線圖로부터 求할 수 있다. 따라서 年間發電量은 다음과 같이 表示된다.

現在 우리나라의 小水力 開發狀況을 보면 開發의 初期段階로서 既設發電所로서는 慶尙北道 울릉도의 錐山發電所 (施設容量 1400 Kw) 와 江原道 橫城郡의 安興發電所 (施設容量 450 Kw) 의 2 個發電所 뿐이다. 現在 特定電氣事業許可 및 댐新築許可를 得하여 工事中에 있는 發電所로는 現代建設에서 開發中에 있는 京畿道 漣川郡 全谷面의 全谷水力發電所를 爲始하여 몇 個 發電所가 工事中에 있다. 現在 特定電氣事業許可 및 댐新築許可를 받은 小水力 發電地點은 모두 6 個所로 施設容量은 11,980 Kw이며 許可檢討中인 것이 5 個所, 8,025 Kw이다. 그동안 審査를 거친 것이 總29件으로서 政府의 多目的댐과 重複되는 地點이 5 個所, 韓電의 댐計劃과 重複되는 地點이 4 個所, 文化財 保護區域과 重複 또는 軍作戰地域과 重複되는 地點이 8 個所, 計 17 個地點 (施設容量 19,438 Kw) 이 返戻되었다.

既許可地點 및 許可檢討中인 地點은 다음表와 같다.

<小水力 許可地區>

發電所名	開發者	施設容量	位 置			工 期	許可日字
전 곡	현대건설	6,000 Kw	경기	포천	청산	83.6 ~ 84.10	82. 12. 27
정 읍	문화실업	1,420	전북	정읍	정우	84.10 ~ 86.4	83. 4. 19
영 북	삼정슈나이더	880	경기	포천	영북	84.2 ~ 84.11	83. 10. 18
임 기	대동기업	1,100	경북	봉화	소천	83.12 ~ 84.12	83. 11. 4
덕 송	영동소수력	930	강원	정선	정선	84.6 ~ 86.6	83. 12. 29
영 정	한성건설	1,650	강원	정선	정선	84.9 ~ 86.8	84. 8. 31
계		11,980					

<許可 檢討中인 地區>

發電所名	開發者	施設容量	位 置		
연 당	한성건설	1,500 Kw	강원	영월	남면
도 원	한국소수력	620	강원	영월	수주
삼 옥	합정건설	1,355	강원	영월	영월
안 동	안동소수력	1,650	강원	정선	정선
운 산	현대건설	2,900	경기	포천	창수
계		8,025			

한便 1982年12月27日 動資部の 特定電氣事業許可를 取得하고 1983年4月27日 漣川郡의 댐新築許可를 取得하여 同年 6月에 着工한 現代建設의 全谷水力發電所는 今年末에 竣工豫定인바 事業概要를 紹介하면 다음과 같다.

댐地點: 左岸: 京畿道 抱川郡 青山面 宮坪里
右岸: 京畿道 漣川郡 全谷面 薪沓里
發電所地點: 京畿道 抱川郡 青山面 長灘里

貯水池

流域面積: 1,838.3 Km²
滿水位: E L 50.0 M
低水位: E L 45.0 M
滿水面積: 3.95 Km²
總貯水容量: 33 × 10⁶ M³
有効貯水容量: 13 × 10⁶ M³
年間總流入量: 2,494.5 × 10⁶ M³

댐

型式: 콘크리트 重力式댐
댐높이: 22 M
댐길이: 210 M

餘水路

型式: CHUTE式
頂幅: 88.5 M
門扉: 11.3 × 10.5 M × 7 連
計劃洪水量: 5,230 M³/sec (200年頻度)

導水路

種類: 터널式
延長: 2,663 M
直徑: 4.2 M

調壓水槽

種類: 單動式
높이: 8.0 M
断面: 円形
直徑: 16.8 M

水壓管路

條數: 2 條
直徑: 4.2 ~ 2.2 M

發電所

型式: 地上式
水車種類: KAPLAN水車, 回轉數 450rpm
使用水量: 最大 35.4 M³/sec,
常時 17.7 M³/sec

平均有効落差: 21.09 M

施設容量: 3,000Kw × 2Unit = 6,000Kw
年平均發電量: 28.9 × 10⁶ KwH

變電所

種類: 絶緣 變壓機
容量: 7,500 KVA
電壓: 6.6 KV/ 66 KV
相: 三相

周波數: 60 Hz

臺數: 1 臺

送電線

延長: 約 1 Km(長灘里 - 全谷里)
送電容量: 線路電流 190 A

4 小水力開發展望

앞에서도 言及한 바와 같이 우리나라의 小水力은 이제 始作하는 段階에 있어 開發狀況은 微微한 狀態에 있다.

外國의 中小水力 開發現況을 보면 日本의 境遇, 平均單位容量이 5,000 Kw, 1,350 基로서 總施設容量이 7,000,000 Kw, 中共이 平均單位容量 60Kw, 88,000 基로서 總施設容量이 5,380,000Kw, 佛蘭西가 平均單位容量 800Kw, 2,000 基로서 總施設容量이 1,800,000Kw 라고 하는바 外國의 開發狀況에 比較하면 極히 微微한 狀態이다.

現在까지 調査된 우리나라의 小水力 賦存資源은 總 2,400 個地點에 施設容量 583,000Kw 로 規模別로는 다음表와 같다.

1982年3月 動資部の 小水力開發方案이 確定 施行된 以來 많은 地點의 開發申請이 있었으나 그間 國際原油價格의 下落으로 經濟性이 弱화된에 따라開

<우리나라의 小水力賦存資源>

出力	地點	容量
100 Kw 未滿	1,530 個所 (63.8 %)	82,000 Kw (14.0 %)
100 ~ 1,000 Kw	763 個所 (31.7 %)	238,000 Kw (40.7 %)
1,000 Kw 以上	107 個所 (4.5 %)	263,000 Kw (45.3 %)
計	2,400 個所 (100.0 %)	583,000 Kw (100.0 %)

發이 活發하지 못하였다.

그러나 許可申請書類의 簡小化와 韓電의 小水力發電 購入電力料金を 前年度 韓電石油火力燃料費의 100%로 上向調整하고 小水力開發을 爲한 建設費를 에너지 節約施設資金中에서 融資支援하는等, 動資部의 積極인 支援에 따라 앞으로 小水力開發이 活發해질 것으로 期待되며 1,000Kw의 小水力開發時 6,900 Bbl의 기름을 節減하여 높은 石油代替效果를 가져 도게 된다.

지금 까지의 調查結果에 依하면 小水力候補地 約 20個所, 發電施設容量 13,000Kw는 經濟性이 매우 좋아 가까운 將來에 開發될 것으로 展望된다.

그러나 앞으로 小水力의 開發을 좀더 活發하게 促進하기 爲하여는 다음과 같은 配慮가 要望된다.

1) 工事費를 低廉하게 하기 爲하여는 大規模의 水力과 같은 設計, 施工方式에는 問題가 있고 機器의 簡素化 및 標準化가 바람직 할 것이다. 예를 들면 主變壓器의 省略, 油壓裝置의 省略, 發電所建物의 簡素化等이다.

2) 維持管理費를 줄이기 爲하여 故障發生이 적은 簡素한 機器設計等 技術開發이 必要하다.

3) 開發意欲을 높이기 爲하여는 開發에 必要한 時間短縮이 必要하며 許可書類의 大폭적인 簡素化와 迅速化가 要望된다.

4) 融資制度의 扩充等, 財政的인 支援策이 要望된다.

5 小水力開發의 經濟性

投資의 效率性을 極大化하고 事業의 適格性을 判定키 爲해 事業의 技術的, 經濟的 妥當性을 分析 評價하는 것은 重要한 作業이다. 이와 같은 評價를 거침에 따라 經濟性이 없는 地域의 投資抑制 및 事業의 부실화를 防止하며 各種 開發候補地中 開發 우선 順位를 定할 수 있으며 事業判斷 및 開發에 對한 基本資料를 체계적으로 提示할 수 있으므로 小水力 開發候補地의 經濟性分析은 매우 重要하다.

小水力開發候補地의 經濟性을 評價하는 方法에는 各候補地의 開發規模의 適正線, 建設單價, 發電單價等과 같이 技術的 事項에 基礎를 두는 評價와 開發된 小水力發電所의 總投資費用과 投資로서 얻어지는 收益과의 比를 判斷하는 經濟的 評價가 있다. 小水力開發에서의 建設費는 初期 建設에 投資되는 모든 費用 卽, 壩部門, 導水路 및 터널部門, 發電 및 送電部門等이 包含된다.

小水力發電所의 運營 및 維持管理費는 小水力開發에 對한 建設事業 完工後의 發電所 運營에 所要되는 모든 費用을 計算하여야 한다.

이외의 小水力開發의 總投資費에는 開發을 爲한 土地購入費, 設計監理費, 融資에 對한 利子 및 減價償却費等이 考慮되어 決定된다.

總投資費用이 決定되면 小水力發電所 運營에 따라 直接 發生하는 便益은 電力販賣量 推定에 依해 計算할 수 있으며 費用 對 便益의 比率를 求할 수 있게 된다. 이比率는 運營期間 동안의 費用 便益의 흐름을 現在價值로 換算하여 얻는 指標가 되며 投資된 總費用보다 總便益이 크게되면 經濟性이 있다고 判斷할 수 있다.

一般的으로 經濟性 檢討의 過程은 別圖와 같으며 利子率等 計算에 必要한 常數는 다음과 같이 假定하면 좋을 것이다.

利子率 : 年10%

發電所稼働率 : 40%

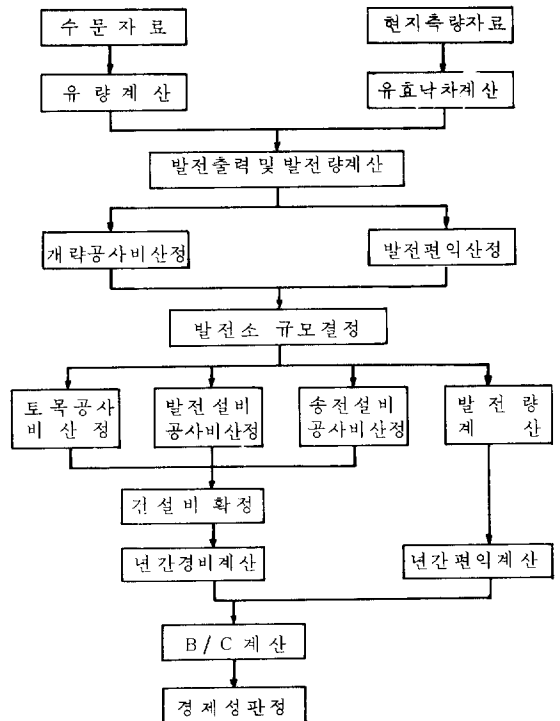
維持管理費 : 投資費의 5%

耐用年限 : 土木構造物 : 50年

水車發電機 : 35年

電力販賣價格 : 40.29 원 / Kwh (1984年)

<소수력 발전소 경제성분석 흐름도>



⑥ 結 言

우리나라의 小水力 開發現況은 鎭山發電소가 1,400 Kw, 安興發電소가 450Kw, 計 1,850 Kw 가 既設發電所이고 許可를 取得한 地點이 6 個所에 11,980 Kw로서 開發의 初期段階에 있다.

우리나라의 小水力 賦存資源은 總 2400地點에 施設容量 583,000Kw로서 動資部의 積極的인 支援에 따라 約20地點, 施設容量 13,000Kw는 經濟性이 좋

아 가까운 將來에 開發될것으로 展望된다.

그러나 앞으로 小水力의 開發을 좀더 活發하게 促進하기 爲하여는 다음과 같은 配慮 및 技術開發이 要望된다.

- 1) 機器의 簡素化 및 標準化
- 2) 故障發生이 적은 簡素한 機器設計等, 技術開發
- 3) 許可書類의 簡素化 및 迅速化
- 4) 融資制度의 補充等 財政的인 支援策

◆ 꼬 마 상 식 ◆

엔코오더에 의한 太陽熱發電의 實用化

美國에너지省에서는 數年前부터 推進해 온 大形反射鏡을 利用한 太陽熱發電플랜트에 注目하고 있는데 이것은 太陽에너지를 헬리오 스태필드 中央塔에 集中시킨 後 蒸氣를 發生시켜서 터빈 發電機를 驅動하는 方式이라고 한다. 反射鏡은 太陽方位와 高度의 兩方向에 대하여 컴퓨터로서 制御되고 있는데 에너지省에서는 連續的으로 10,000 kw의 出力을 發生하는 太陽發電裝置를 California 州 Barstow에 建設하고 있다.

특히 이 시스템에서는 恒常 反射鏡을 太陽에 正面하도록 하는 制御方式이 重要함과 同時에 塔上의 集光要求와 헬리오스태의 距離로부터 $\pm 0,767 \times 10^{-3}$ 라디안이라는 精度가 要求되고 있다.

그런데 이 反射鏡의 制御를 Martin Marietta 社와 2年前부터 共同으로 研究하고 있는 BEI Electronics 社에서는 價格과 信賴度兩面에서 滿促할 만한 簿号變換技術을 開發하였다. 從來의 交番 2進코오드의 簿号器를 이 시스템에 適用하는데는 高價가 되므로 2⁶(64 카운트)의 交番 2進 코오드를 開發한 後 最後로 2048 카운트의 BEI 인크리멘탈形을 選擇했다고 한다.

한편 이 方式은 當初 工作機械나 工業프로세스 制御용으로 設計된 簿号器이기 때문에 大量生産을 하였으나 多小 修正을 加한 後 利用이 可能하였다고 한다.

예를 들면 이 簿号器는 12時間마다 온 오프의 反復을 假定해서 無保全으로 30年의 壽命과 -10℃ ~ 70℃의 溫度範圍에서 作動의 安定性이 保證되어 있다. 또한 高速의 信号檢出에 對處하기 위하여 檢出器에는 포토트랜지스터를 使用하고 있으며 太陽熱發電 시스템과 같은 高溫乾燥狀態上에서 使用하기 위하여는 軸受의 潤滑에 2黃化 몰리브덴 베이스의 그리스를 使用하고 있다고 한다.

그러나 이 시스템과 같이 簿号變換器의 回轉用度가 限定되어 있고 運動速度가 매우 緩慢한 경우의 軸受의 潤滑과 經年變化의 關係는 아직도 데이터가 없다고 한다. 한편 砂嵐이나 塩分을 含有하고 있는 霧圍氣에서 回轉軸의 封入이나 簿号器에 組入된 電子部品の 壽命과 簿号器의 平均故障間隔이 131,400時間에 견디어야 하는 問題가 있어서 Mastin Marietta 社에서는 耐候環境試驗을 行하고 있다고 한다.