

# 小溪谷開發과 水力發電의 展望

—永久循環될 100萬kW의 에너지源—

—〈完〉—

—洪水調節되고 灌溉用水 얻게 돼—

## 라. 發電所의 位置

灌溉用 水路를 Dam, 低落差로서 發電하는 境遇 Dam지점을 選定하므로 發電所의 自然的으로 決定되는 Dam 지점으로서는 必要한 落差가 얻어져 排水가 上流에 惡影響을 주지않는 장소로 水槽, 그외의 施設이 만들어 질수 있는 餘裕가 있는 장소가 適合하다.

一般的으로 水路式 경우에는 發電所는 急斜面의 直下로 河岸에 가깝고 放水路가 짧아도 되는 곳을 택해야 한다.

그러나 洪水의 피해나 山沙汰에 대한 주의가 가장 重要하다.

## 마. 餘水路, 放水路

水槽의 餘水路로부터 배출되는 물을 가까운 支流小河川으로 끌어주기 위한 水路를 餘水路라 하며 水槽로부터 土沙도 함께 흘러내리는 構造로 稼動水門을 가진 터널이나 콘크리트관으로 만든다.

餘水路의 斷面은 發電最大使用水量보다 더 많은 水量을 安全하게 흘러버릴수 있도록 設計하고 工事費의 節約上 될수 있는대로 짧은 장소를 택한다.

放水路는 發電所의 水車로부터 나온 물을 河川이나 다른 水路로 흘리기 위한 것으로서 開渠 또는 暗渠로 만든다.

河川으로 放流할 경우에는 勾配를 緩慢하게 하고 斷面을 넓게하고 水深을 얇게하여 水位의 變動을 피하도록 한다.

水車가 反動水車인 경우에는 水車가 정지중에 도 吸出管의 하단이 水面上에 露出되지 않도록 放水路의 水面을 定하지 않으면 안된다.

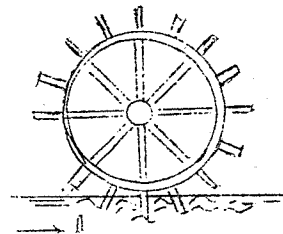
放水路의 出口를 放水口라 하고 土沙가 쌓이지 않는 곳에 만든다.

## 2. 水車와 發電機

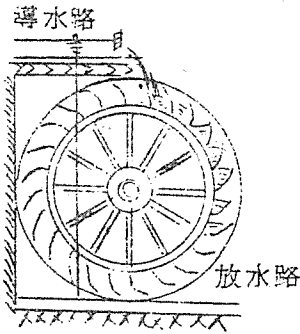
### 가. 水車の 發達

옛날에 水力의 利用方法은 대단히 原始的으로 그림 5-9와 같은 木材水車를 自然的으로 흐르는 물에 넣어 運動에너지 ( $V^2/2g$ ) 만을 利用하였으므로 出力은 적었다.

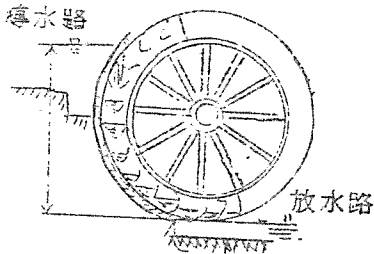
그후 물을 水路나 水路橋 (Duct)로 흘러 落差  $H$ 를 얻어 위치에너지를 利用하도록 進歩하고 流水利用水車, 물의 重力利用水車 ( $V^2/2g$ ), 流水와 重力을 함께 利用하는 水車가 이용되게끔 되었다.



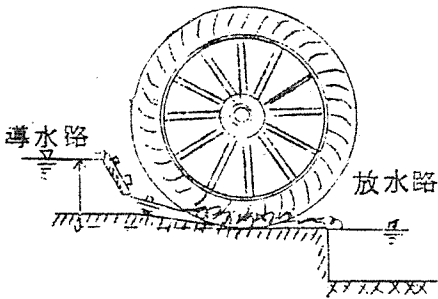
(1) 木製水車



(2) 上部動利用水車



(3) 動力과 水壓利用水車



(4) 流水利用水車

그러나 물의 重力利用, 水車, 流水와 重力을 함께 利用하는 水車로 큰落差  $H$ 를 利用하려고 한즉 水車의 直徑이 크게 되어 不經濟的이었다.

또한 流水利用水車는 落差 $H$ 에 의해 發生되는 分類의 속도  $V = \sqrt{2gH}$ 에 해당하는 運動에너지를 利用하므로 出力도 적고 效率도 낮다.

따라서 종래의 水車로는 큰 動力을 얻기는 곤

란하였는데 水力發電의 盛行됨에 따라 水車의 研究도 進步하고 落差도 流量의 大小에 따라 適當한 형이 固案되고 效率이 좋은 水車가 原動機로서 利用되도록 되었다.

나. 水車의 種類

水車는 動作原理에 의해서 반동水車와 충동水車로 大別된다.

反動水車: 反動水車는 落差의 에너지를 壓力型으로 利用한다.

물은 水車의 Runner의 외주로부터 들어가고 水車의 內部를 충만하여 흐르고 Runner 내를 흘러 지나는 사이에 壓力, 流速, 流量을 變化시켜 反動力이 생기고 Runner 날개를 돌려 回轉시킨다.

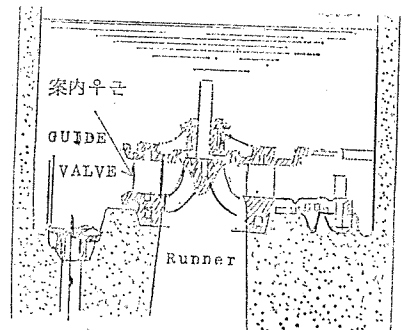
이러한 種類의 水車路는 Fransis 水車 Propeller 水車가 있다.

Fransis 水車는 Runner의 날개가 Guidering에 의해 連結되고 물은 Runner의 外周로부터 流入하여 Runner 속에서 軸方向으로 方向을 바꾼다.

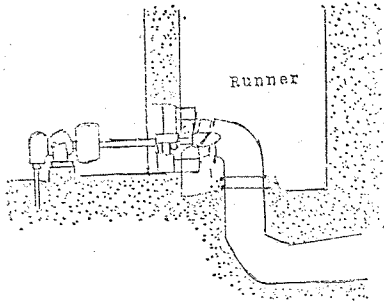
Runner수에 따라 단류형, 2이류형.

Runner의 편측으로부터 放流되는 단류형, 兩測으로부터 放出되는 복류형이 있고 그외에 外皮가 없는 露出型과 外皮가 있는 고리환형, 압입형 옆입형등으로 分類되고 縱축형과 橫축형이 있다.

Propeller 水車의 原理는 Fransis 水車와 거의 유사하지만 Runner날개의 외단에 Guide ring이 不必要하며 물이 Runner를 軸方向으로 통과하는 水車이다.



5-10. 수직축 露出型 Fransis 水車



5-11. 橫軸露出型 Propeller

Runner의 날개가 배의 Propeller 같은 썰을 하고 있으며 固定型和 可動型이 있다.

固定날개는 소용량, 중용량에 사용되고 可動날개는 運轉中 水車의 負荷에 따라 날개를 움직일 수 있다.

Caplan 水車는 가동날개의 대표적인 것이다.

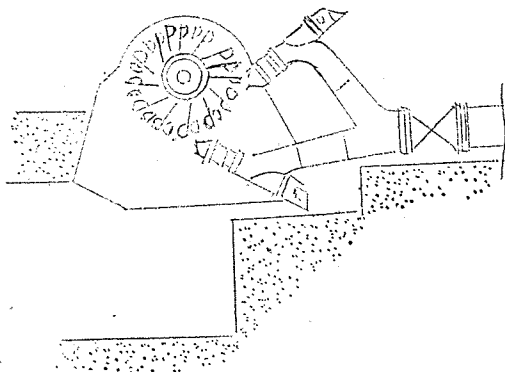
다. 衝動水車

衝動水車는 落差의 에너지를 전부 速度에너지로 바꾸어 利用한다.

流水를 “노즐”로부터 分出시키고 이 분사된 물을 Runner의 외주에 붙인 Bucket에 衝突시켜 回轉시킨다.

이 種類는 Pellton 水車가 있다.

Pellton 水車는 高落差에 使用되며 Runner의 數에 따라 단륜형, 2륜형 Nozzle수에 따라 단사형, 복사형, 다사형으로 分類된다. 그리고



5-12. 횡축=운사 Pellton 水車

Pellton 水車에는 중축형과 횡축형이 使用된다.

라. 水車의 特有速度

水車는 同一落差, 水量의 경우에서도 回轉數에 따라 Runner의 形상이 서로 달라진다.

따라서 落差와 水量이 다르면 각각의 경우에 따라 최적 回轉數와 최적 Runner의 形象이 있지만 이러한 Runner들을 직접 비교하는 것은 곤란하다. 그렇기때문에 Runner를 비교할 수 있는 共通의인 標準이 必要로 한다.

그러므로 이 目的에 따라 생각되어 지는것이 水車의 特有速度이다.

水車 Runner의 形象이 서로 같으면 그 썰의 大小에 관계없이 거의 동등한 性質을 가지므로 水車와 같은형의 水車를 만들어 落差 1m로 좋은 效率로 운전하여 出力 1KW를 내는데 必要한 回轉數를 測定하여 이것을 공동標準으로 한다.

이 回轉數를 水車의 特有速度라 한다. 또한 水車의 出力, 落差, 回轉數를 알면 그 特有速度  $N_s$ 는 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$N_s = \frac{n \sqrt{P}}{H_e^{5/4}}$$

$N_s$  : 特有速度(每分回轉數, m-kw 단위)

$n$  : 水車의 每分回轉數

$H_e$  : 有效落差(m)

$P$  : 水車出力(kw)

Pransis 水車의 경우에는 단륜, Runner 경우에는 1개의 出力 복륜 Runner의 경우에는 Runner 1개의 出力  $\frac{1}{2}$ 로 한다.

Pellton 水車의 경우에는 “노즐” 한개의 出力으로 計算하며 또한 特有速度의 한계치는 다음식에 따라 決定된다(m-kw단위)

$$\text{Francis 水車: } N_s \leq \frac{1.3000}{H_e + 20} + 50$$

$$\text{Propeller 水車: } N_s \leq \frac{20.000}{H_e + 20}$$

$$\text{Pellton 水車: } 12 \leq N_s \leq 21$$

마. 水車의 選定

水車는 效率이 좋고 價格이 싸고 構造가 간단

## 小溪谷發電

하고 取扱이 容易하며 壽命이 긴 것 일수록 좋다.

또한 回轉數는 運轉보수에 지장이 없는 한 많은 편이 좋다.

回轉數가 많은 水車를 選定하면 水車發電機가 소형으로 되며 價格도 싸므로 저낙차의 경우에는 特有速度가 높은 水車를 使用한다.

그림 5-13은 有効낙차와 使用水量으로부터 각종 水車의 적용범위를 보여주는 것이다.

Propeller 水車는 特有速度가 가장 빠르고 초저落差에 적합하며 그 落差는 소용량인 것으로 10m以下, 水量이 많고 馬力이 커짐에 따라 15m以上에서도 使用할 수 있다.

Francis 水車는 落差의 범위가 광범위 하여 대개 有効落差 10m以上 300m 정도까지 使用할 수 있다.

Pelton 水車는 고낙차에 使用되어 大發電所에서는 一般的으로 200m以上에 使用된다.

그러므로 小水力發電에서는 底落差의 경우가 많으므로 펠톤水車는 거의 쓰여지지 않고 있다.

露出型 후렌시스 水車는 초저낙차에 適當하며 構造도 간단하고 水壓管水車의 외각부가 必要없

으므로 小水力發電에 適當한 것이다.

底落差 水車로서 카프란水車의 利用으로 管内에 水車發電機를 포함한 튜블러 水車發電機. 방식이 가장 效率이 좋은 것으로 알려져 있다.

### 바. 發電機

水車에 의해 發生된 機械的 에너지는 發電機로 電機的에너지로 바꿀 수 있다.

一般的으로 發電은 교류方式으로 하고 發電機는 교류동기 發電機로 하며 교류동기 發電機라고 한다.

이외에 유도 發電機도 있으나 잘 쓰이지 않는다.

#### (1) 發電機의 電壓

표준정격電壓은 110V, 220V, 3,300V, 6,600V인데 發電機 容量이 5KVA 以下인 것은 110V, 20KVA~50KVA 정도까지는 220V 또는 120V/208V를 쓰고 50KVA 以上の 出力인 경우에는 3,300V 發電을 많이 쓴다.

小水力發電에서는 發電機의 容量이 적으므로 6,600V 以上은 사실상 쓰이지 않고 있으나 10KW 以上の 것에서는 22.9KV, Y 配電을 하게 되면 農漁村 電化事業 配電선에 편입배전은 고려할 수 있으며 갈수기 또는 農業용수로 물이 부족할때 韓電 電源을 수전하기 용이할 것이다.

#### 사. 發電機의 回轉數

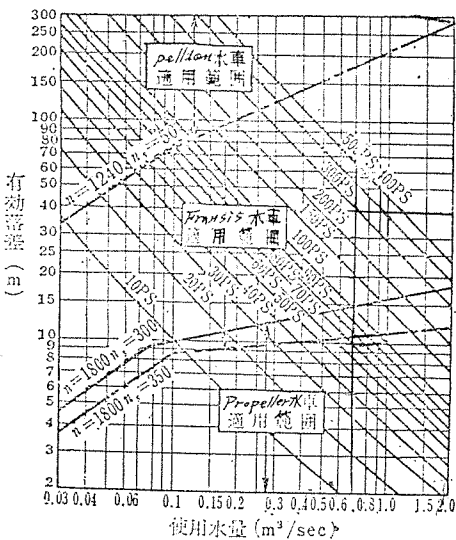
10KW 以下の 小發電機는 水車와 벨트로 연결하여 運轉되고 있는데 그것보다 큰 發電機는 水車와 直結하여 運轉하는 편이 보수상 便利하다.

近來 페차량 부속품으로 손쉽게 轉達장치를 할 수가 있다.

A.C發電機는 正弦波로서 나타내고 매분 回轉數  $n$ 과 發生周波數+ (60cycle) 과의 사이에는 자극수를  $P$ 라 하면 다음과 같은 關係가 있다.

$$n = \frac{120f}{2} (R.P.M)$$

따라서 磁極數에 따라 回轉數는 다음 과와 같다.



5-13. 各種水車의 適用範圍

|              |       |       |     |     |     |     |     |     |     |
|--------------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 자극수<br>cycle | 4     | 6     | 8   | 10  | 12  | 14  | 16  | 18  | 20  |
| 60           | 1,800 | 1,200 | 900 | 720 | 600 | 514 | 450 | 400 | 360 |

交流發電機와 磁極數와 每分 回轉數와의 關係

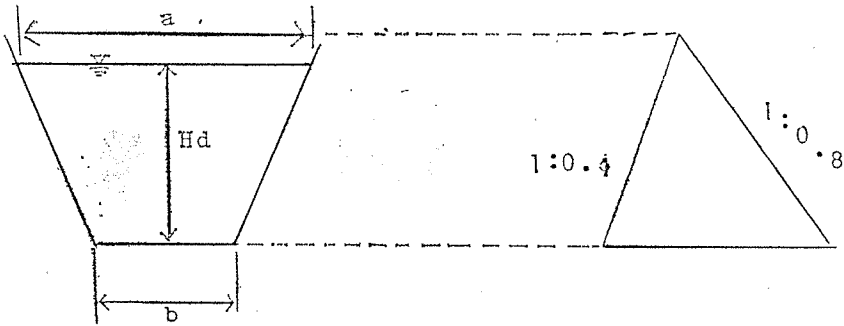
이 回轉數中 運轉보수상 편리한 범위로 될수 係를 보여주는 것으로 發電機容量이 크면 클수  
 있는한 많은 回轉數를 택하도록 한다. 아래표는 록 回轉數는 작아진다.  
 發電機容量과 運轉보수상 편리한 回轉數와의 關

|        |          |       |       |        |        |
|--------|----------|-------|-------|--------|--------|
| 水 車    | 馬 力 數    | 0~15  | 12~75 | 60~500 | 500 以上 |
| 發 電    | (KVA)    | 10 以下 | 75    | 400    | 400 以上 |
| 最高 回轉數 | 60 cycle | 1,800 | 1,200 | 900    | 720    |

電機容量과 每分 回轉數

제 3 절 水力發電所 工事費 계산法

[ CONCRETE DAM ]



$$VC=0.18(a+2b) \times (Hd+11.5)^2 (m^3)$$

$$VE=0.3VC (m^3)$$

$$WG=0.109Qf (t)$$

$$Wr=0.04$$

EX

$$Hd=70m$$

$$a=200m$$

$$b=140m$$

$$Qf=1,200m^2$$

Concrete 重力 Dam 工事費

$$VC=441,000m^3$$

$$VE=132,300m^3$$

$$WT=131t$$

$$WR=53t$$

$$\text{Concrete비 } 8300W/m^3 \times 441,000 = 7,660,700,000$$

$$\text{굴착비 } 1400 \times 132,300 = 155,220,000$$

$$\text{gate비 } 250,000W/t \times 13.1 = 3,275,000$$

$$\text{철근비 } 40,000W/t \times 5.3 = 212,000$$

計

$$3,880,370,000$$

附帶工事費(計의 20%)

$$776,080,000$$

總工事費

$$4,656,470,000$$

工事費개요

VC(m<sup>3</sup>): Concrete量

VE(m<sup>3</sup>): 굴착工事 토량

WR(t): 철근량

WG(t): Gate 중량

WS(t): Screen 중량

WP(t): 水壓철근 중량

Concrete단가 : 800W/m<sup>3</sup>~9600(建設費포함)

굴착단가 : 1400~6000W/m<sup>3</sup>  
(地上) (地下)

철근단가 : 50,000 W/t(가공, 組立, 거치, 편양  
기포함)

Gate단가 : 250,000~300,000W/t  
(가공, 운반비포함)

Screen단가 : 180,000W/t

水壓철근단가 : 200,000W/t(운반치기포함)

水路式, 취수 Dam

$$VC = a(h_0 + 1)(2h_0 + 1)m^3$$

$$VE = 0.5Vc(m^3)$$

$$\text{철근 } WR = 0.3a(t)$$

$$WG = 0.2a(t)$$

승상 Gate설비

$$\text{배사문 } WG = 4(t/m) \times B(t)$$

$$WR = 1(t/m) \times B(t)$$

$$\text{월류폭 } B = \frac{Qt}{Cho} 2/2 - \frac{Qf}{2ho} 3/2$$

$$\text{땀저단장 } a = \frac{B}{0.8}$$

$Qf$  = 폭面積, m<sup>2</sup>

$no$  = 월류水深(m)

<取水口>

1) 水路式的 경우

$Q_0$  = 최대使用水量(m<sup>3</sup>/sec)

$r_0$  = 도수로 Tunnel 반경(m<sup>2</sup>)

토량  $VE = 525 \sqrt{r_0 Q_0}$  (m<sup>3</sup>)

Concrete  $Vc = 160 \sqrt{r_0 Q_0}$  (m<sup>3</sup>)

Gate중량  $WG = 0.5Q_0$  (t)

Screen  $Ws = 0.2Q_0$  (t)

철근  $WR = 0.05Q_0$

$$r_0 = \left( \frac{nQ_0}{2246 \sqrt{S_0}} \right)^{3/8}$$

마제형의 경우

$S_0$  : 水路경사

$n$  : 조도계수

$R_0$  : Tunnel 반경

$n = 0.015$

$$R_0 = \left( \frac{Q_0}{150 \sqrt{S_0}} \right)^{3/8}$$

2) Dam & Waterway의 壓力 Tunnel의 경우

$hd$  : 貯水地 利用水深 (m)

$r_0$  : 壓力 Tunnel 반경

$$VE : 1000 \sqrt{(hd + 2r_0) Q_0}$$

$$Vc : 330 \sqrt{(hd + 2r_0) Q_0}$$

$$WR : 1.33Q_0 \sqrt{(hd + 2r_0)}$$

圓型斷面壓力 Tunnel 반경 :  $r_0$ (m)

중수경사 :  $I$

水路의 조도계수 :  $n$

$$r_0 = \left( \frac{(n12)^{2/3} Q_0^{3/8}}{\pi \sqrt{I}} \right)$$

$n = 0.015$ 이면

$$r_0 = \left( \frac{Q_0}{132 \sqrt{I}} \right)^{3/8}$$

[水槽(水路式 Head Tank) 및 餘水路]

① 水槽

$$VE = 2500Q_0^{3/4}$$

$$Vc = 350Q_0^{3/4}$$

$$WR = 0.1Q_0$$

$$WG = 0.5Q_0$$

$$WS = 0.2Q_0$$

② 餘水路—철근 Concrete개거

$$VE = 9.6(r_0 + t_0)^2 L$$

$$VC = 3.9 \{ (r_0 + t_0)^2 - r_0^2 \} L'$$

$$WR = Vc \times 2.5(\%) (t)$$

$L'$  = 여수로 길이

$R_0$  = 여수로 반경(m)

$$R_0 = \sqrt{\frac{Q_0}{20.2}}$$

$T_0$  = lining 두께(m)

$$T_0 = 0.75 - \frac{0.5}{\sqrt{r_0}}$$

③ 여수로, 철관로의 경우

$$W = 0.06t' r_0 L'(t)$$

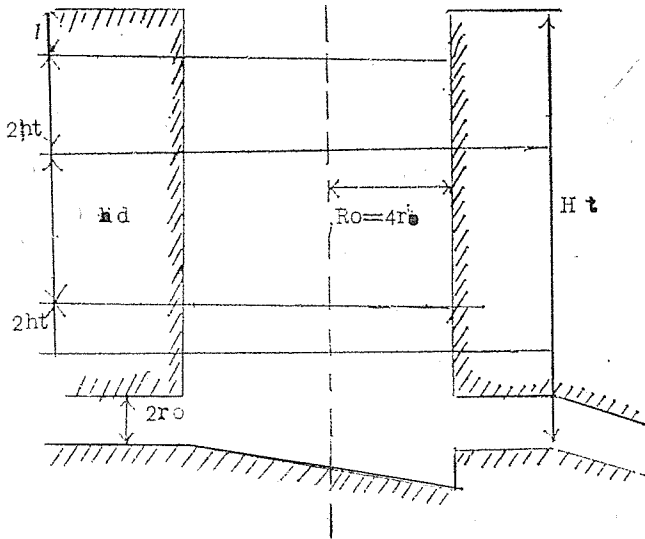
철근重量

$t'$  = 철관경 두께(mm)

$r_0$  : " 반경(m)

[Surge-tank] 단동 Surge tank

$R_0$  : Surge tank 직경(m)



- $R_0 = 4 r_0$
- Ht : Surge Tank 높이 (m)
- Ht :  $Hd + 2r_0 + 4ht + 2$
- $r_0$  : 압력 Tunnel 반경 (m)
- ht : Surging 반경 (m)
- $ht = 0.36 \frac{3\sqrt{Q_0}}{(\sqrt{LI} + 3\sqrt{LI})}$

[水壓철관 및 철관기초]

① 水壓철관

$WP: 0.044 \text{ } l_m \cdot r_m \cdot l_p \cdot n \cdot (t)$

$l_p$ : 水壓管길이 (cm)

$n$ : 水壓管조수

$R_m$ : 水壓管的 평균반경 (m)

$T_n$ : " 평균관 두께 (mm)

지금  $H_c$ 를 有效落差라 하면  $R_m, T_n$ 을 다음과 같이 구한다.

$r_2'$  = 水車축 水壓철관終點허용 최대반경

$r_2' = \frac{202}{H_c} \text{ (m)}$

$V_2 = 3.5 + \frac{H_c}{200} \text{ (m/sec)}$

수압관1조의 可能최대通水量 =  $\pi r_2'^2 V_2 \text{ (m}^3/\text{sec)}$

水壓철관水槽

$n \geq \frac{Q_0}{\pi r_2'^2 V_2}$

$H_1 = ha + 2r_0 + 2ht \text{ (m)}$

$V_1 = 3.5 + \frac{H_1}{200} \text{ (m/sec)}$

$R_1 = \sqrt{\frac{Q_0}{n\pi V_1}} \text{ (m)} \quad R_2 = \sqrt{\frac{Q_0}{n\pi V_2}} \text{ (mm)}$

$R_m = \frac{r_1 + r_2}{2} \text{ (m)}$

$T_1 = 0.163 H_1 r_1 + 2 \text{ (mm)}$

$T_2 = 0.163 H_2 r_2 + 2 \text{ (mm)}$

$T_n = \frac{T_1 T_2}{2} \text{ (mm)}$

② 水壓管철관기초

$VE = 2[(2rm + 1.5)(n(rm + 1) + 1 + 0.015)]$   
 $lp \text{ (cm}^3)$

$Vc = 0.025 Vlp \text{ (m}^3)$

$V$  = 고정대 1대의 體積 (m)

$V = 6rm(n(rm + 2)(5rm + 2) + 2(2rm + 1))$

<發電所建物>

① 地上式

$Vc = 27A \text{ (m)}$

$Vc = 10A \text{ (m)}$

$WR = 0.3A \text{ (t)}$

A: 發電所 平面積

$A = 20Q_0^{1/2} H_c^{1/3} \text{ (m}^2)$

② 地下式

$VE = \frac{1}{4} Ad + 27A + 0.015A^2 \text{ (m}^3)$

$Vc = 15A \text{ (m}^3)$

$WR = 0.6A \text{ (t)}$

$d$ : 地表로부터 P, S까지깊이 (m)

[電機工事]

$$W: 8Q_0^{3/4} Hc^{1/2} n^{1/4} (t)$$

Q: 최대使用水量

n: 水車, 發後機數

水車, 發電機소요기, 機重機, 별압기, 屋外 설 비포함

電機工事 1ton 당 653 원(日本)

[放水路]

① 개거의 경우

$$VE=11.3(r_0+t)^2L'$$

$$Vc=9.2\{(r_0+t_0)^2-r_0^2\}L'$$

$$WR_0=Vc \times 2\% (t)$$

L'=水路의 길이(m)

R<sub>0</sub>: 水路길이 반경

T<sub>0</sub>: 水路의 관두께

$$T_0: 0.9 - \frac{0.6}{\sqrt{r_0}}$$

② Tunnel의 경우

$$VE=3.36(r_0+t_0)^2L'$$

$$Vc=3.36\{(r_0+t_0)^2-r_0^2\}L'$$

[總工事費]

$$\Sigma VE, \Sigma VC, \Sigma WR, \Sigma Ws, \Sigma WG$$

$\left\{ \frac{1m^3}{1t} \right\}$  당 Unit Cost

C: 工事費

0.28C: 測量간독비 토사량비 保賞費 예비비

$$\text{總工事費} = 1.28C (1+0.04T)$$

T: 工期(年)

0.04T: 建設기간중 金利

제 4 장 結 論

금번 우리나라 全國의 小水力發電 立地조사에서 얻은 結果로는

1. 技術的으로 開發이 可能한 小水力은 2,601 개 地點에 總施設용량 94만KW이며

2. 經濟的으로 開發이 可能한 小水力은 2,400 개 地點에 總施設용량 58만KW로

예상보다 많은 小水力開發 可能候補地가 散在되어 있음을 파악하였다.

그러나 계속적인 세밀調查에 따라 보다 더 많은 후보지 및 總施設容量이 나타날 것으로 推算된다.

이상과 같은 經濟包藏 小水力 2,400개 地點 58만KW를 開發하면 다음과 같은 效果가 期待된다.

가. 發電量이  $4 \times 10^9$  KWh

나. 設備機械, 資材 및 技術의 國內調達의 可能에 따라 他方法에 의한 發電 및 에너지조달에 비하여 커다란 外貨절약을 할 수 있고 다. 부수적으로 새로이 얻어지는 農地面積이 약 17,000정보 논을 논으로 經營할 수 있는 農地面積 약 20,000정보, 담수어 養魚場이 약 25만평이 얻어지며

라. 새마을工場의 動力化등으로 얻어지는 農家소득 증대

마. 農山村의 上水道源의 확보 및 育成등 그 부대效果가 막대한 것이다.

이상과 같은 小水力發電을 구체화 하기 위하여서는 다음과 같은 研究調查開發을 수행하여야 한다.

가. 小水力發電의 技術的·經濟的資料를 수집하기 위하여 시범發電所의 建設運營이 絶실히 要望되며

나. 現在, 先進諸國에서는 이미 小水力資源을 거의 開發完了함에 따라 小水力用 發電機製作을 中斷하였으므로 이의 導入이 곤란하게 되었다.

따라서 小水力用 발전기기의 國產化를 위한 研究開發 및 國內産業에 의한 生産體制構성이 必要하며

다. 持續的인 小水力資源 調查등 多角的으로 研究事業을 展開해 나갈것이 絶실히 要望된다.

科學技術人的 總和로 國力培養하자!