

漢江流域 댐群의 水門操作方案에 관한 水文解析

A Hydrological Analysis on the Gate Operation Rule of Dams in Han River Basin

李	元	煥*
Lee,	Won	Hwan
趙	元	喆**
Cho,	Won	Cheol
李	在	浚***
Lee,	Jae	Joon
許	峻	行****
Heo,	Jun	Haeng

Abstract

This study is on the gate operation of dams, which are for the hydropower and multipurpose in Han River Basin, considering the safety under the emergency.

The results of the study on the safety of dams in Han River Basin associated with the gate operation of dams against the design flood flow and the combined inflow are as follows;

1) The empirical formula (1) can be used for gate operation with the informations of reservoir's water level and the inflow.

2) The applicability of the multiple regression formula (2) among the gate opening area, inflow, water level, and outflow is assured.

3) From the safety analysis of dams for the emergency by the procedures developed in this study, six dams are safe except Soyanggang, Euiam, and Cheongpyung Dam, but the above three dams can be safe with the lowering of the starting water level of gate opening by the pre-discharges.

要 旨

本 研究는 漢江流域 댐群의 非常事態下(큰 洪水波 流下時)에서의 水門操作 基準設定에 관한 것으로 얻어진 結果는 다음과 같다.

1) 水門操作을 貯水位와 流入量으로 實施할 수 있게끔 6개 댐(華川, 春川, 昭陽江, 衣岩, 淸平,

*正會員·延世大學校 工科大學 教授, 土木工學科

**正會員·延世大學校 工科大學 助教授, 土木工學科

***延世大學校 大學院 博士課程

****延世大學校 大學院 博士課程

八堂댐)에 대해 水門操作 基準를 數式化하였다.

2) 水門의 開放面積, 流入量, 貯水位, 放流量 간의 多重回歸分析에 의해서 얻어진 式으로 洪水追跡을 실시한 결과 그 適用可能性을 確認하였다.

3) 本 研究에서 얻어진 水門操作 基準과 洪水追跡方法을 使用하여 非常事態下(큰 洪水波 流下時)에서의 각 댐을 檢討한 바, 모두 安全하였으나, 昭陽江, 衣岩, 淸平댐만은 貯水池 初期放流水位를 미리 底下시킨 狀態에서 水門操作이 이루어져야 할 것이다.

1. 序 論

오늘날 國民經濟의 急速한 성장에 따라 水資源의 價値는 날이 갈수록 높아지고 있으며, 특히 近來에 와서는 農業用水를 비롯한 工業用水, 生活用水 등 各種 用水의 需要供給이 不足해 가고 있어서 水資源 用水供給問題는 심각한 段階에 놓여 있다. 이에 따라서 河川流下量을 고도로 調節하므로써, 洪水의 資源化를 기하고 漢江下流部の 洪水被害를 경감시키며, 필요한 生活用水 및 工業用水, 灌溉用水를 확보하게 하는 治水, 利水面에 균형이 잡힌 종합적인 계획의 수립으로 인해 漢江에 多目的댐들이 축조되거나 시공 및 계획중에 있으며, 과거에 水力發電을 목적으로 축조된 댐들과 함께 漢江流域의 댐 群을 형성하고 있다.

그러나 降水의 時間的 變動과 空間的 分布상황의 變動 및 不確實性으로 인해 洪水를 惹起시킬 豪雨狀況이 댐하류부에서도 발생할 수 있다는 점과 水資源 需要의 急增으로 인해 앞으로 각 댐의 貯水池에서 최대한도로 물을 저류하고 있을 경우에 발생할 수도 있음에 주목하고 보면, 댐의 건설만이 곧 洪水防災와 水資源의 確保에 대한 해결 방안은 아닐 것이다. 이는 댐의 水門操作의 효율적이고, 적절한 운영방안에 따라 큰 영향을 받으므로 이러한 관점에서 漢江流域의 계획 및 시공중인 댐을 포함한 9개 댐에 대해서 非常事態를 초래할 洪水가 漢江流域 全域에 도래할 경우에 대비하여 防災工學的인 側面에서, 댐의 安全基準를 檢討, 分析하고 水門操作基準를 設定하는 것은 중요한 당면 과제라고 생각된다.

漢江流域의 流域圖 및 9개 댐地點 概要圖는

그림 1과 같고, 각 댐의 諸元은 表 1과 같다.

1.1. 研究動向

물의 資源의 價値가 높아져 가면서 水資源의 고도 이용·개발을 목적으로 많은 댐이 만들어져 貯水池를 형성하게 되었으며, 이들 貯水池의 效果的인 운영을 위한 여러가지 방법들이 발표되고 있다.

洪水時에 多段階 貯水池群을 조작하는 最適方案을 결정하는 문제는, 짧은 시간내에 조절 방법을 결정하기 위해서도 중요하며 non-linear, closed-loop feedback, stochastic optimization problem으로 나타낼 수가 있다. Windsor(1973)⁽¹⁾와 Yazicigil(1980)⁽²⁾은 linear programming(LP) technique을 사용하여 저수지 운영에 관한 연구를 하였으나, 현재 저수지 운영을

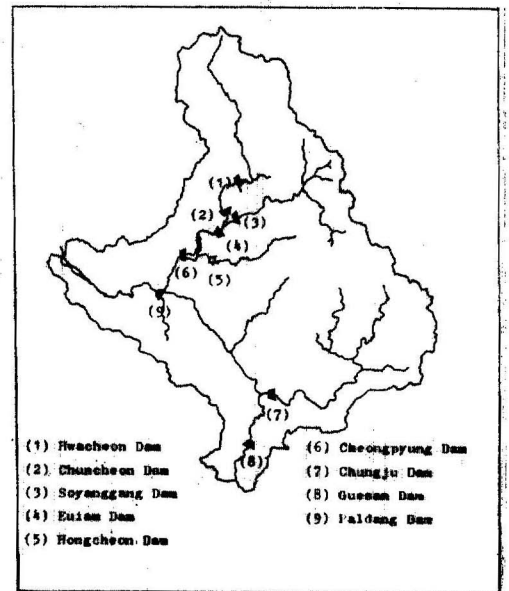


그림 1. Han River Basin

表 1. Characteristics of Dams in Han River Basin

	Hwa Cheon	Chun Cheon	Soyang Gang	Eui Am	Hong Cheon	Cheong Pyung	Chung Ju	Gue San	Pal Dang	
FWL(El. m)	183.0	104.90	198.0	73.36	123.60	52.0	145.0	136.925	29.50	
Area(FWL) (km ²)	38.15	14.32	70.0	15.0	51.0	17.6	97.0	1.8	36.5	
NWL (El. m)	181.0	103.0	193.5	71.5	121.0	51.0	141.0	135.65	25.5	
WSWL (El. m)	175.0	102.0	191.0	70.05		50.0	138.0	134.0	24.5	
Spillway Crest (EL. m)	173.0	90.8	185.5	57.0	106.8	41.0	123.0	128.65	9.0	
Catchment Area (km ²)	3901	4736	2703	7909	1473	9921	6648	671	23800	
Gate	Type	Roller	Tainter	Tainter	Roller	Tainter	Roller	Roller	Roller	Tainter
	b ^m × h ⁿ (gate No.)	12×8(4) 12×6(12)	12×12.9 (12)	13×13 (5)	13×14.5 (14)	12.5×16.925 (3)	12×10 (24)	15×17.9 (6)	8×7 (7)	20×16.75 (15)
Design Flood Flow (m ³ /sec)	9500	12600	10500	16000	5390	20000	16000	2711	38000	
Flood Control Capacity (10 ⁶ m ³)	215	—	500	—	126	—	600	—	—	

최적화시키는 데는 dynamic programming(DP) technique가 널리 응용되고 있다. dynamic programming technique를 이용한 既往의 研究에는 implicit stochastic optimization technique [Young(1967)⁽³⁾, Hall et al.(1968)⁽⁴⁾, Roefs and Bodin(1970)⁽⁵⁾]과 explicit stochastic optimization technique [Gablinger and Loucks(1970)⁽⁶⁾, Harboe et al.(1970)⁽⁷⁾, Loucks and Falkson(1970)⁽⁸⁾, Joeres et al.(1971)⁽⁹⁾] 그리고 alternate stochastic optimization technique [Croley(1974)⁽¹⁰⁾] 등이 발표되어 있다.

또한 確率論에 바탕을 둔 chance-constrained dynamic programming[Askew(1974)⁽¹¹⁾, Rossman(1977)⁽¹²⁾]과 reliability programming [Colorni and Fronza(1976)⁽¹³⁾]이 개발되었으며, discrete differential dynamic programming [Hall et al.(1969)⁽¹⁴⁾, differential dynamic programming [Jacobson and Mayne(1970)⁽¹⁵⁾, Dyer and McReynolds(1970)⁽¹⁶⁾], incremental dynamic programming [Larson(1968)⁽¹⁷⁾] 그리고 progressive optimality algorithm [Turgeon(1981)⁽¹⁸⁾]이 발표되어 있다. 그리고 최근에는 Wasimi 와 Kitanidis(1983)⁽¹⁹⁾가 discrete-time linear quadratic Gaussian stochastic control을 사용하여 洪水期間동안의 多段階 貯水池群의 短期 운영 문제에 관해 시도하였다.

그러나 이제까지 발표되어 있는 댐저수지 운

영조작에 관한 연구는 거의 대부분이 水資源 利水面만을 고려한 내용들이고 극한상황에서의 즉, 防災工學의인 면에서의 水門操作을 提示하여 貯水池를 운영하는 내용은 검토되어 있지 않은 實情이다.

1.2. 研究目的

본 연구는 漢江下流部 首都圈地域의 防災對策을 수립하기 위하여 常時滿水位를 유지하고 있는 상류부 각 댐에 最大流入量(計劃洪水量 또는 그 이상의 超過洪水量)이 도래하였을 때 각 댐의 洪水流下 狀況과 水門操作에 관한 安全指針을 設定·提示코자 함에 그 目的이 있다.

1.3. 基本假定

본 연구 수행시 基本假定은 다음과 같다.

- 1) 하류댐의 流入量을 상류댐의 計劃洪水量(但, 昭陽江댐의 경우는 spillway 最大放流量)으로 본다.
- 2) 두개 이상의 상류댐으로부터 하나의 하류댐으로 放流量이 유입될 경우, 상류댐들의 放流量을 각각 計劃洪水量까지 증폭시켜 조합한 放流量을 하류댐의 流入量으로 간주한다.
- 3) 유량의 增幅에는 增幅係數(=計劃洪水量/最大放流量)을 사용한다.
- 4) 水門操作은 원칙적으로 surcharge 부분에 대해서 실시한다.
- 5) 河道의 橫流入量은 增幅시킨 放流量에 포함된 것으로 간주한다.

6) 非常時를 고려하여, 河道의 貯留能力은 무시하기로 한다.

2. 基本資料

본 연구 수행에 있어서 사용된 기본자료는 漢江流域의 既往의 洪水實績資料로서, 洪水기간중 每 時間別로 水門의 開度, 流入量, 流出量, 貯水位의 기록이 있는 1975~1984 년까지의 11 개 洪水資料로서 각 홍수의 기록상황은 表 2 와 같다.(20,21).

또한 큰 洪水量이 流下하는 非常事態下에서의 각 댐의 대처상황을 검토하기 위해서는 最上流에 위치하고 있는 댐에 대한 流入水文曲線이 필요하므로, 既存 댐인 華川, 昭陽江에서는 計劃洪水量을 超越한 바 있는 實績洪水水文曲線(1984. 8. 31~1984. 9. 4 의 水文曲線)을, 槐山댐에서는 計劃洪水量을 流入水文曲線으로 채택하였다. 計劃 및 施工중인 忠州, 洪川댐에 대해서는 design flood hydrograph 를 流入水文曲線으로 채택하였다. 그리고 나머지 4개 댐에 대해서는 基本假定 1)~3)에 의거하여 상류댐으로부터의 放流量을 하류댐의 流入量으로 취급하여 연구를 수행하였다.

表 2. Flood Records in Han River Basin

Data No.	Flood Records
1	1975. 7. 10~7. 31
2	1975. 9. 13~9. 22
3	1976. 8. 12~8. 20
4	1978. 7. 9~7. 21
5	1979. 6. 20~7. 1
6	1979. 7. 30~8. 10
7	1980. 7. 19~7. 26
8	1980. 8. 22~8. 30
9	1981. 8. 28~9. 7
10	1982. 7. 1~7. 16
11	1984. 8. 31~9. 4

3. 水門操作 基準의 數式化

본 연구는 利水目的下에서의 각 댐의 貯水位가 常時滿水位를 유지하고 있을 때 漢江全域에 걸쳐 洪水가 도래할 경우, 적절한 水門操作을 통해 洪水를 安全하게 流下시킬 수 있도록 水門操

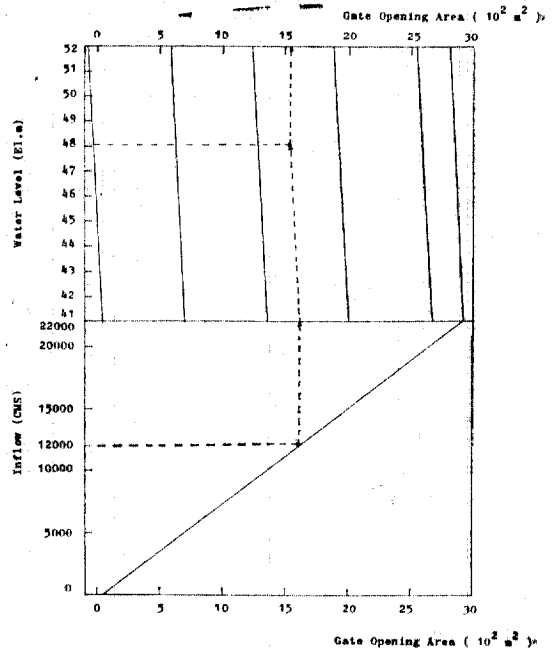


그림 2. Nomogram of Formula(1) (Cheongpyung Dam)

(Example) Inflow : 12000(CMS)
Water Level : 48(El. m)
Gate Opening Area : 15.4(10²m²)

作基準을 설정하고자 하는 것이다. 따라서 본節에서는 既往의 洪水實績資料가 있는 6개 댐(華川, 春川, 昭陽江, 衣岩, 淸平, 八堂)에 대해서는 그동안의 水門操作資料를 바탕으로 式(1)과 같은 관계를 얻었다.

$$A_i = C_0 + C_1 I_i + C_2 H_i \quad (1)$$

여기서, C_0, C_1, C_2 ; partial regression coefficients

A_i ; 水門의 開放面積(m²)

I_i ; 流入量(m³/sec)

H_i ; 貯水位(El. m)

6개 댐에 대한 式(1)의 回歸係數 및 多重相關係數는 表 3과 같다. 表 3의 係數로써 얻어지는 각 댐에 대한 式(1)을 가지고, 漢江洪水統制所에서 通報 받은 流入量과 貯水位의 상태를 파악함으로써 그 때의 水門開放面積을 결정할 수 있다. 여기서 얻어지는 水門開放面積을 水門의 幅으로 나누면 水門의 開도가 결정되므로, 水門開도를 조합시키는 既存 rule에 맞추어서 소요

表 3. Regression Coefficients and Correlation Coefficient of Formula(1)

Dam	Coeff.			Multiple Corr. Coefficient
	C ₀	C ₁	C ₂	
Hwa Cheon	- 3838.62	0.18997	22.66080	0.79468
Chun Cheon	352.01	0.12790	- 3.85351	0.98738
So Yang Gang	-25353.47	-0.00061	131.57369	0.97332
Eui Am	1676.24	0.12556	-24.55968	0.98258
Cheong Pyung	494.63	0.13060	-10.82928	0.98940
Pal Dang	- 3361.57	0.12990	127.21854	0.97196

Formula : $A=C_0+C_1I+C_2H$

되는 開度만큼 水門을 조작하면 된다. 그림 2는 淸平댐에 대한 式(1)의 Nomogram으로 실용성이 있을 것이다.

4. 洪水追跡方法

현재 漢江流域의 洪水 豫·警報시스템은 漢江全域을 29개의 小流域과 23개의 河道로 나누어 貯留函數法에 의해서 실시되고 있으며⁽²²⁾, 이러한 시스템에 의한 洪水 豫·警報가 漢江流域에 실시된 것은 1972.8.19 洪水를 경험하고 난 1974년부터이며 그후에 발생한 수차례의 洪水에 대하여 아무런 지장없이 원만하게 그 기능을 발휘하여 왔다. 따라서 본 節에서는 그간의 11개 洪水實績資料로부터 水門의 開放面積, 流入量, 貯水位와 放流量간의 多重回歸直線式⁽²³⁾을 6개 댐(華川, 春川, 昭陽江, 衣岩, 淸平, 八堂)에 대해 유도하고, 이의 적용가능성을 검토하기 위하여 洪水追跡을 통하여 그에 대한 검토를 하고자 한다.

1974년 이후 11개 洪水實績資料로부터 산정한 基本式은 다음과 같다.

$$O_i = B_0 + B_1A_i + B_2I_i + B_3H_i \quad (2)$$

여기서, B_0, B_1, B_2, B_3 ; partial regression coefficients

O_i ; 放流量(m^3/sec)

A_i ; 水門의 開放面積(m^2)

I_i ; 流入量(m^3/sec)

H_i ; 貯水位(El. m)

또한 貯留方程式은 式(3)과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{(I_i + I_{i+1})}{2} - \frac{(O_i + O_{i+1})}{2} = \frac{(S_{i+1} - S_i)}{\Delta t} \quad (3)$$

여기서, I_i, I_{i+1} ; i 시간과 $i+1$ 시간에서의 流

入量(m^3/sec)

O_i, O_{i+1} ; i 시간과 $i+1$ 시간에서의 放流量(m^3/sec)

S_i, S_{i+1} ; i 시간과 $i+1$ 시간에서의 貯留量(m^3)

Δt ; 시간 간격

式(2)와(3)을 사용한 洪水追跡方法의 순서는 다음과 같으며, 이때 사용한 水門操作基準은 3節의 방법에 의한다.

最初の 貯水池 初期水位와 流入量은 알고 있으므로

① $t=t_0$ 時的 貯留量 S_i 를 貯留量-貯水位曲線에서 구한다.

② $t=t_0$ 時的 水門開放面積 A_i 를 式(1)에 의해서 결정한다.

③ 式(2)에 의해서 $t=t_0$ 時的 放流量 O_i 를 산정한다.

④ $t=t_0+\Delta t$ 時的 放流量 O_{i+1} 을 O_i 로 가정한다.

⑤ 貯留方程式(3)을 변형하면

$$S_{i+1} = S_i + (I_i + I_{i+1} - O_i - O_{i+1}) \frac{\Delta t}{2} \quad (4)$$

式(4)에서 S_{i+1} 을 산정한다

⑥ $t=t_0+\Delta t$ 時的 貯水位 H_{i+1} 을 貯留量-貯水位曲線에서 구한다.

⑦ $t=t_0+\Delta t$ 時的 水門開放面積 A_{i+1} 을 式(1)에 의해서 결정한다.

⑧ 式(2)에 의해서 $t=t_0+\Delta t$ 時的 放流量 O_{i+1} 을 산정한다.

⑨ 貯留方程式을 다시 변형하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \left(\frac{I_i + I_{i+1}}{2} \right) \Delta t + \left(S_i - \frac{O_i}{2} \Delta t \right) \\ & = \left(S_{i+1} + \frac{O_{i+1}}{2} \Delta t \right) \end{aligned} \quad (5)$$

式(5)의 좌·우변이 거의 같아질 때까지(許容誤差 $\epsilon \leq$ 저수위의 변화 $\Delta H = 0.005$ m에 대응하는 저류량의 변화 ΔS) (④項에서 가정한 O_{i+1} 을 수정해가면서 ⑤項부터 반복 계산한다.)

⑩ ⑨의 단계가 만족되면 I_{i+1}, H_{i+1} 은 다음 time step에서 I_i, H_i 가 되어 계속 처음부터 반복해가면서 洪水를 追跡한다.

이 方法은 자료의 統計的 處理에서 얻어진 多

表 4. Regression Coefficients and Correlation Coefficient of Formula (2)

Dam	Coeff.	B_0	B_1	B_2	B_3	Multiple Corr. Coefficient
Hwa Cheon		-59216.80	1.84840	0.13929	336.0822	0.97778
Chun Cheon		-3565.74	6.14268	0.22762	37.0646	0.99242
So Yang Gang		-20859.79	4.52997	0.04019	109.8459	0.98371
Eui Am		-1454.06	1.98114	0.74490	22.5763	0.99613
Cheong Pyung		-50.24	4.42761	0.42234	5.40771	0.99686
Pal Dang		8117.71	1.63871	0.79267	-314.4867	0.99242

Formula : $O = B_0 + B_1A + B_2I + B_3H$

表 5. Minimum and Maximum Data of A, I, O, H in Each Dam

Dam	Range	Gate Opening Area A (m ²)		Inflow I (CMS)		Water Level H (El. m)		Outflow O (CMS)	
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Hwa Cheon		1	156	161	10179*	175.20	182.51	213	6668*
Chun Cheon		0.5	104	252	10320*	100.35	103.45	208	10185*
So Yang Gang		7	65	75	11994*	191.15	197.79*	603	5500*
Eui Am		0.5	148	95	16280*	68.87	71.56	300	15687*
Cheong Pyung		0.5	216	107	19655*	48.57	51.67	371	19072*
Pal Dang		0.5	225	697	32218*	23.05	26.82*	380	30134*

* : 1984. 8. 31~9. 4 flood data

重回歸式을 사용하는 것이므로 解析時 사용한 자료의 範圍를 벗어나는 부분에 대해서는 非定

常的인 값을 보일 때도 있으므로 다음과 같은 制限事項을 두어 洪水追跡을 실시하였다.

制限事項

수문개방면적 $\begin{cases} A_i \leq 0(\text{m}^2) \rightarrow A_i = 0(\text{m}^2) \rightarrow O_i = 0(\text{CMS}) \\ A_i > \text{최대개방면적 } A_{\text{max}} \rightarrow A_i = A_{\text{max}} \end{cases} \rightarrow \text{유입량 } I_i > 0 \text{ 이면 저수위 상승}$
 방류량 $\begin{cases} O_i \leq 0(\text{CMS}) \rightarrow O_i = 0(\text{CMS}) \\ O_i > \text{계획홍수량 } Q_d \rightarrow O_i = Q_d(\text{CMS}) \end{cases}$

北漢江水系の 既存 6개 댐에 대한 式 (2)의 각 回歸係數와 多重相關係數는 表 4와 같으며, 실용적인 목적을 위해 淸平댐에 대한 것을 Nomogram으로 도시하면 그림 3과 같다. 式 (1)과 (2)를 유도할 때 사용한 각 변수들의 자료 범위는 表 5와 같으므로 表 5의 範圍를 벗어나는 값에 대해 式 (1)과 (2)를 사용할 때는 주의를 필요로 할 것으로 생각된다. 그러나 洪水實績資料가 없는 忠州, 槐山댐 및 계획중인 洪川댐에 대해서는 洪水追跡方法으로 Puls method⁽²⁴⁾를 사용하였다. 이때의 水門操作基準는 水門의 最初開放水位와 完全開放水位를 미리 설정하여 각 水位에 따라 水門의 開放程度가 결정되도록 하고 그때의 流出狀態가 orifice인가 weir인가에 따라 放流量이 산정되도록 하였다. 이에 대한 貯留方程式은 式 (6)과 같다.

$$\frac{1}{2}(I_i + I_{i+1})\Delta t - O_R \cdot \Delta t + \left(S_i - \frac{O_i}{2}\Delta t\right) = \left(S_{i+1} + \frac{O_{i+1}}{2}\Delta t\right) \quad (6)$$

여기서, O_R : 수문에 의해 조절된 放流量(regulated outflow)

槐山, 忠州, 洪川댐의 제원은 表 1에서 보는 바와 같고, 表 1의 常時滿水位를 水門의 最初開放水位로 하고 計劃洪水水位를 水門의 完全開放水位로 설정하였으며, 그 사이의 水位에서는 비례적으로 水門을 開放하게끔 水門操作基準를 채용하여 既存 Puls method를 이용, 洪水追跡을 실시하였다.

5. 適用性 檢討

본 절에서는 3, 4 절에서 산정한 6개 댐에 대한 式 (1)과 (2)의 適用可能性을 검토하기 위하

여, 1984. 8. 31~9. 4의 洪水의 實績流入水文曲線을 대장으로 式 (1)과 (2) 및 4節에 기술한 洪水追跡方法을 사용하여 解析하였으며, 여기서 얻어진 放流量, 貯水位 水文曲線을 實測値와 比較하였다. 그중 華川, 昭陽江댐에 대한 것을 圖

示하면 그림 4~ 그림 7과 같고 그림에서 보는 바와 같이 1984. 8. 31~9. 4 洪水의 실제 방류량과 본 方法의 洪水追跡을 통해서 산정된 放流量이 상당히 잘 일치하고 있고, 貯水位變化도

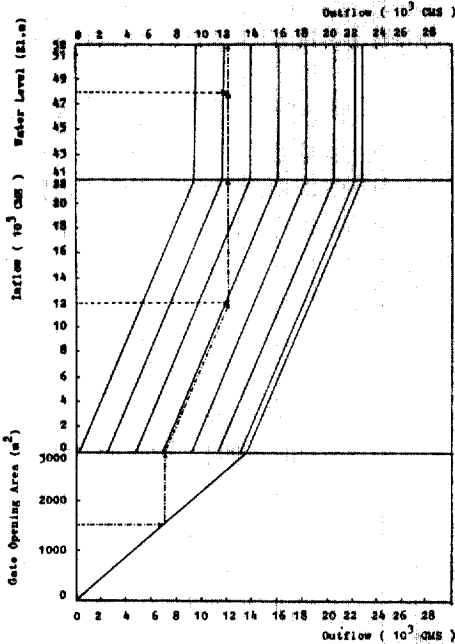


그림 3. Nomogram of Formula (2) (Cheongpyung Dam)
 (Example) Inflow : 12000(CMS)
 Water Level : 48(El. m)
 Gate Opening Area : 15.4(10³m²)

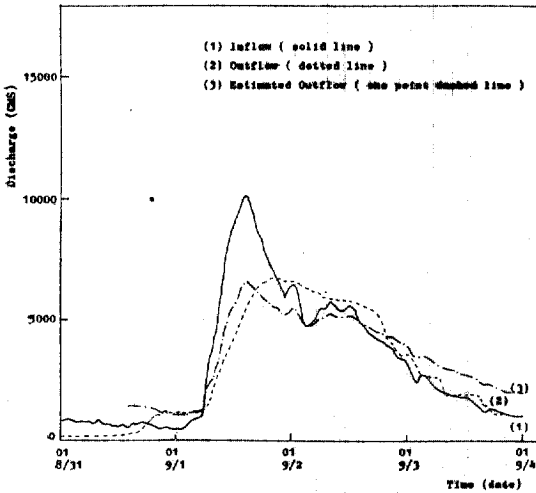


그림 4. Comparison of Observed Outflow and Estimated Outflow (Hwachoon Dam; 1984. 8. 31~9. 4)

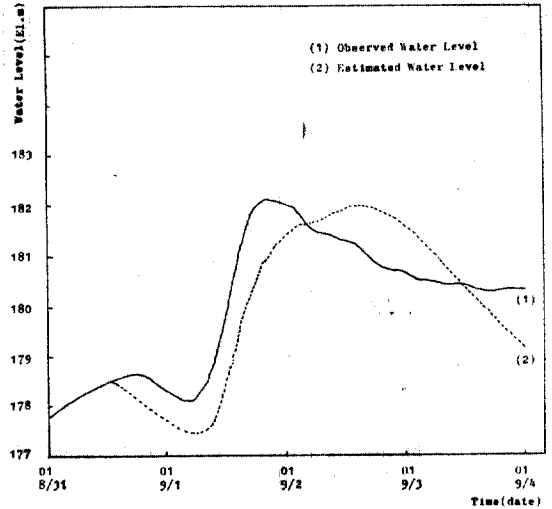


그림 5. Comparison of Observed Water Level and Estimated Water Level (Hwachoon Dam; 1984. 8. 31~9. 4)

잘 맞고 있어 본 연구에서 수행된 方法이 각 댐의 水門操作 基準과 洪水追跡方法으로 사용가능할 것으로 생각된다.

6. 非常事態下에서의 댐 安全性 檢討

본 節에서는 각 댐이 常時滿水位를 유지하고

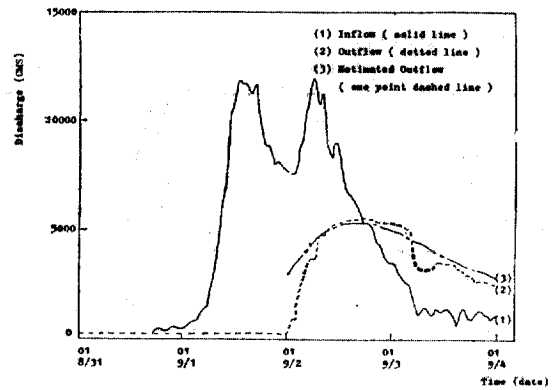


그림 6. Comparison of Observed Outflow and Estimated Outflow (Soygangang Dam; 1984. 8. 31~9. 4)

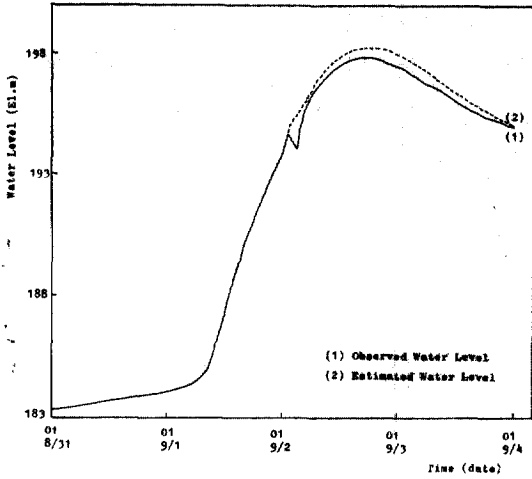


그림 7. Comparison of Observed Water Level and Estimated Water Level(Soyanggang Dam; 1984. 8. 31~9. 4)

있을 때, 漢江流域全域에 걸쳐 동시에 計劃洪水量 및 이를 超過하는 洪水量(예를들면 1984. 8. 31~9. 4 洪水時의 華川, 昭陽江댐)이 도래했을 때를 非常事態라고 가정하여 非常事態下에서의 댐 安全性을 검토하였다. 따라서 基本假定에서

와 같이 상류댐의 放流量이 流入量으로 되는 것으로 보고, 流入量이 計劃洪水量보다 작은 경우에는 增幅係數(=計劃洪水量/最大放流量)를 사용하여 計劃洪水量까지 증폭시켰으며, 두 개 이상의 상류댐으로부터 流入되는 경우에는 각 댐의 방류량을 같은 방법으로 증폭시켜 尖頭流量이 동시에 합쳐져 하류댐으로 流入된다고 가정하였다.

예를들어 淸平댐의 경우, 計劃洪水量 20,000 CMS가 最大流入量이 되는 것이 아니라 洪川댐의 最大放流量 3,194 CMS를 計劃洪水量 5,390 CMS로 증폭시켜 衣岩댐의 計劃洪水量 16,000 CMS와 합한 21,390 CMS가 最大流入量이 되는 것이다(表 6 참조).

이러한 假定에 바탕을 두고 각 댐에 洪水가 도래했을 때 유지하고 있는 貯水池 初期水位를 常時滿水位로 하여 水門操作을 하고, Puls method와 본 방법을 통하여 洪水追跡을 한 결과, 表 6에서 보는 바와 같이 華川, 春川, 洪川, 忠州, 槐山, 八堂댐은 最大流入量을 소통시킬 때의 貯水池 最大水位가 計劃洪水位보다 낮으므로 安全한 것으로 나타났으나 昭陽江, 衣岩, 淸平 댐은 常時滿水位에서부터 水門을 開放하면 각 댐의

表 6. Flow Analysis Using the New Gate Operation in Emergency

Dam		Water Stage (El. m)		Max. Inflow (m ³ /sec)	Max. Outflow (m ³ /sec)	Max. Stage (El. m)	Max. Storage (10 ⁶ m ³)
		Initial	Flood				
Hwa Cheon		181	183	10179 (9500)	6880	182.31	1030.13
Chun Cheon		103	104.9	9500 (12600)	9880	103.0	163.93
So Yang Gang	Case I	193.5	198.0	11994 (10500)	5500	200.24	3039.96
	Case II	181.5					
Eui Am	Case I	71.5	73.36	18100 (16000)	16000	74.77	131.91
	Case II	70.5					
	Case III	70.0					
Hong Cheon		121.0	123.6	5390 (5390)	3194	122.56	1332.06
Cheong Pyung	Case I	51.0	52.0	21390 (20000)	20000	52.94	181.57
	Case II	50.0					
Chung Ju		141.0	145.0	16000 (16000)	11660	143.46	2509.55
Gue San		135.65	136.925	2711 (2711)	2637	136.89	18.99
Pal Dang		25.5	29.5	38711 (38000)	38000	25.65	267.30

() ; Design Flood Flow, ()* ; Max. Outflow through the Spillway

CASE I에서 보는 바와 같이 貯水池 最大水位가 計劃洪水水位를 초과하게 되므로 貯水池 初期水位의 變化가 불가피하게 되었다. 그래서 가능한 最大流入量 소용시의 貯水池 最大水位가 計劃洪水水位를 초과하지 않는 범위내에서 貯水池 初期水位를 각 댐의 CASE II에서 보는 바와 같이 昭陽江댐(El. 181.5 m), 衣岩댐(El. 70.5 m), 淸平댐(El. 50.0 m)의 貯水池 初期水位를 下向調整하였다. 이들 3개 댐의 貯水池 初期水位의 下向程度를 보면 淸平댐은 制限水位(El. 50.0 m)에서, 衣岩댐은 制限水位(El. 70.05 m)보다 약간 높은 水位(El. 70.5 m)에서 安全하게 되어, 防災工學의 측면에서는 豪雨時에 한하여 現在의 夏季節 댐 操作運營時에 설정하는 制限水位로 常時滿水位를 설정하면 될 것으로 생각된다. 그러나 昭陽江댐의 경우에는 과다한 流入量과 水門의 放流能力때문에 spillway crest(El. 185.0 m)보다도 훨씬 낮은 水位(El. 181.5 m)까지 댐 貯留量을 낮추어 두어야만 되었다. 따라서 현재의 昭陽江댐의 既存設備와 施設能力으로 非常事態에 대처하기 위해서는 洪水期의 貯水位를 비교적 다른 댐들보다도 낮은 상태로 유지시켜야만 할 것으로 생각된다.

또한, 既往의 洪水實績資料가 없어서 水位 비례에 따른 水門操作 基準과 Puls method를 사용하여 洪水追跡을 실시한 槐山, 忠州, 洪川 댐에 대한 非常事態下에서의 결과도 表 6에 함께

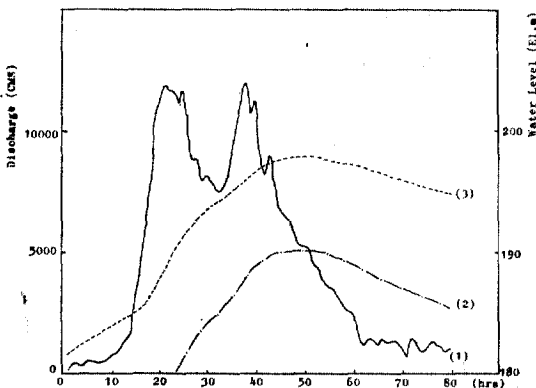


그림 8. Inflow, Outflow and Stage Hydrographs in Emergency (Soyanggang Dam)

- (1) Observed Inflow Hydrograph (solid line)
- (2) Estimated Outflow Hydrograph(one point dashed line)
- (3) Estimated Water Level(dotted line)

수록되어 있으며, 그 最大放流量과 最大貯水位의 값을 보면, 본 연구에서 채택한 水門操作 基準이 安全한 것으로 나타났다. 따라서 이들 3개 댐에 대해서는 水位 比例에 따른 水門操作 基準을 채택하면 무난할 것으로 생각된다.

非常事態下에서(1984년 9月初 洪水)의 昭陽江댐에 대한 流入, 流出, 水位水文曲線은 그림 8과 같다.

1) 水門操作을 貯水位와 流入量으로 實施할 수 있게끔 6개 댐(華川, 春川, 昭陽江, 衣岩, 淸平, 八堂댐)에 대해 水門操作 基準을 數式化하였다.

2) 水門의 開放面積, 流入量, 貯水位, 放流量간의 多重回歸分析에 의해서 얻어진 式으로 洪水追跡을 실시한 결과 그 適用可能性을 確認하였다.

3) 本 研究에서 얻어진 水門操作 基準과 洪水

7. 結 論

本 研究의 수행으로 얻어진 結果를 要略하면 다음과 같다.

追跡方術을 使用하여 非常事態下에서의 각 댐을 檢討한 바 모두 安全하였으나, 昭陽江, 衣岩, 淸平댐만은 貯水池 初期放流水位를 미리 底下시킨 狀態에서 水門操作이 이루어져야 할 것이다.

參 考 文 獻

1. Windsor, J.S., "Optimization Model for the Operation of Flood Control Systems," *Water Resour. Res.*, Vol. 9, No. 5, 1973, pp. 1219~1266.
2. Yazicigil, H., "Optimal Operation of a Reservoir System Using Forecasts," *Ph. D. thesis*, Purdue Univ., West Lafayette, Indiana, 1980.
3. Young, Jr., G.K., "Finding Reservoir Operation Rules," *J. Hydraul. Div., Am. Soc. Civ. Eng.*, Vol. 93(HY6), 1967, pp. 297~321.
4. Hall, W.A., W.S. Butcher, and A. Esogbue, "Optimization of the Operation of a Multiple-Purpose Reservoir by Dynamic Programming," *Water Resour. Res.*, Vol. 4, No. 3, 1968, pp. 471~477.

5. Roefs, T.G., and L.D. Bodin, "Multireservoir Operation Studies," *Water Resour. Res.*, Vol. 6, No. 2, 1970, pp. 410~420.
6. Gablinger, M., and D.P. Loucks, "Markov Models for Flow Regulation," *J. Hydraul. Div., Am. Soc. Civ. Eng.*, Vol. 96(HY1), 1970, pp. 165~181.
7. Harboe, R.C., F. Mobasher, and W.W.G. Yeh, "Optimal Policy for Reservoir Operation," *J. Hydraul. Div., Am. Soc. Civ. Eng.*, Vol. 96(HY11), 1970, pp. 2297~2308.
8. Loucks, D.P., and L.M. Falkson, "A Comparison of Some Dynamic, Linear and Policy Iteration Methods for Reservoir Operation," *Water Resour. Bull.*, Vol. 6, No. 3, 1970, pp. 384~400.
9. Joeres, E.F., J.C. Liebman, and C.S. Revelle, "Operating Rules for Joint Operations of Raw Water Sources," *Water Resour. Res.*, Vol. 7, No. 2, 1971, pp. 225~235.
10. Croley, T.E., "Efficient Sequential Optimization in Water Resources," *Hydrol. Paper 69*, Colo. State Univ., Fort Collins, 1974.
11. Askew, A.J., "Chance-Constrained Dynamic Programming and the Optimization of Water Resources System," *Water Resour. Res.*, Vol. 10, No. 6, 1974, pp. 1099~1106.
12. Rossman, L., "Reliability Constrained Dynamic Programming and Randomized Release Rules in Reservoir Management," *Water Resour. Res.*, Vol. 13, No. 2, 1977, pp. 247~255.
13. Colorni, A., and G. Fronza, "Reservoir Management via Reliability Programming," *Water Resour. Res.*, Vol. 12, No. 1, 1976, pp. 85~88.
14. Hall, W.A., G. Tauke, and W.W.G. Yeh, "An Alternate Procedure for the Optimization of Operations for Planning with Multiple-River, Multiple-Purpose Systems," *Water Resour. Res.*, Vol. 5, No. 6, 1969, pp. 1367~1372.
15. Jacobson, D., and D. Mayne, *Differential Dynamic Programming*, Academic, New York, 1970.
16. Dyer, P., and S. McReynolds, *The Computational Theory of Optimal Control*, Academic, New York, 1970.
17. Larson, R., *State Increment Dynamic Programming*, Elsevier, New York, 1968.
18. Turgeon, A., "Optimal Short-Term Hydro Scheduling from the Principle of Progressive Optimality," *Water Resour. Res.*, Vol. 17, No. 3, 1981, pp. 481~486.
19. Wasini, S.A., and P.K. Kitanidis, "Real-Time Forecasting and Daily Operation of a Multireservoir System During Floods by Linear Quadratic Gaussian Control," *Water Resour. Res.*, Vol. 19, No. 6, 1983, pp. 1511~1522.
20. 漢江洪水統制所, 浬放流量表, 1983. 12.
21. 漢江洪水統制所, 浬放流量表 (1984. 8. 30~9. 4), 1984.
22. 漢江洪水統制所, 漢江洪水豫警報, 1982. 12.
23. Kleinbaum, D.G., and L.L. Kupper, *Applied Regression Analysis and Other Multivariable Methods*, Duxbury Press, North Scituate, 1978.
24. National Environmental Research Council, *Flood Studies Report Vol. I, II, III*, Whitefriars Press, London, 1975.

(授受: 1985. 1. 4)