

〈論 文〉

水理學的 洪水追跡에 의한 댐 放流時 下流水位 및 主要 河道區間別 洪水到達 時間의 豫測

Forecasting of Peak Flood Stage at a Downstream Location and the Flood Travel Time by Hydraulic Flood Routing

윤 용 남*, 박 무 중**

YOON Yong Nam and PARK Moo Jong

Abstract □ The peak flood discharge at a downstream station and the flood travel time between a pair of dams due to a specific flood release from the upper reservoir are computed using a hydraulic river channel routing method. The study covered the whole reservoir system in the Han River. The computed peak flood discharges and the travel times between dams were correlated with the duration and the magnitude of flood release rate at the upstream reservoir, and hence a multiple regression model is proposed for each river reach between a pair of dams. The peak flood discharge at a downstream location can be converted to the peak flood stage by a rating curve. Hence, the proposed regression model could be used to forecast the peak flood stage at a downstream location and the flood travel time between dams using the information on the flood release rate and duration from the upper dam.

요 지 : 상류댐에서의 홍수량에 의한 하류 지점에서의 침투 홍수량과 홍수 도달 시간은 수리학적 홍수추적방법에 의해 계산될 수 있다. 본 연구는 한강 유역의 전구간을 대상으로 시행되었다. 계산된 침투 홍수량과 댐사이의 홍수도달시간은 상류에서의 방류계속시간과 방류량의 크기에 관련되어 있고 각 댐구간 사이에서 이 관계를 이용하여 다중회기모형을 제안하였다. 댐하류에서의 침투홍수량은 수위-유량 관계식에 의해서 침투홍수위로 변환될수 있다. 그러므로, 제안된 다중회기모형은 상류댐에서의 홍수 방류량과 방류 계속시간에 의한 하류지점에서의 침투홍수위와 댐구간 사이의 홍수 도달시간을 예측하는데 이용 될 수 있을 것이다.

1. 서 론

대규모 댐에서 洪水를 放流할 때 下流의 主要地點까지 洪水가 到達하는데 소요되는 時間 (travel time of flood peak) 과 下流水位는 洪水豫警報 시스템이라던지 都市雨水排除시스템, 河川汚染物質의 除去施設 및 河川水文觀測網의 운영과 관리를 위해 대단히 중요하다.

河川에서의 洪水到達時間은 일반적으로 유속에 반비례하는 것으로 河道의 水理學적 特性和 홍수량의 크기에 의해 좌우된다. 본 연구에서는 다목적 댐구간에서 방류량의 크기에 따른 홍수도달시간과 주요지점에서의

홍수위를 추적하여 그 결과를 사용하여 실무에 적용할 수 있는 모형을 제안하고자 한다.

홍수방류시 상류댐으로부터 하류댐까지의 홍수도달 시간과 하류 임의지점에서의 홍수위변동의 예측을 위해서는 부정류인 홍수파의 전파양상을 우선적으로 계산해야한다. 이를 위해 본 연구에서는 홍수류의 연속 방정식과 운동방정식을 초기조건과 경계조건에 맞추어 수치해석적으로 푸는 이른바 수리학적 홍수추적방법을 사용기로 하였다.

2. 수리학적 홍수추적 이론

*고려대학교 공과대학 토목환경공학과 교수

**고려대학교 대학원 토목환경공학과 박사과정

수리학적 홍수추적방법은 부정류의 연속 및 운동 방정식인 Saint Venant 방정식을 수치해석으로 푸는 방법으로, 본 연구에서는 Implicit Method 중의 하나인 Weighted Four-Point Implicit Method 를 이용하였다 (Fread, 1988; Yoon and Chung, 1991).

이 모형에 의한 수치계산에서는 계산 시간 구간의 長徑을 길게 잡을 수 있을 뿐 아니라 계산 단면 간 간격도 일정하게 잡을 필요가 없어 계산에 융통성이 많을 뿐 아니라 모형의 범용화가 잘 되어있어 여러가지 경우에 대하여 실무 적용의 범위가 대단히 넓은 것으로 알려져있다. 즉, 이 모형은 하도에서의 여러 가지 불규칙 단면 형상이라든지, 조도 계수의 변화, 측방 유입홍수, 유수전환, 제내지 저류, 국지수두손실, 바람의 영향등 까지를 고려하여 실무 적용이 가능토록 되어있다. (Fread, 1978)

2.1 Implicit dynamic wave 模型의 기본 방정식

불규칙한 자연 하도의 급격한 지형적 변화, 유량 변화 및 경계 조건의 변화로 인한 불안정해를 피하기 위하여 지배 방정식인 Saint-Venant 방정식을 유속(V)보다 직접변량인 유량(Q)으로 유도하였으며 또한, 수면 표고를 직접 변수로 사용하여 하천 경사를 소거하고, 홍수류가 제방을 월류하거나 하도 용량을 초과 할때의 고수 부지의 저류효과를 고려하여 1次元 不定流 方程式으로서 연속 방정식과 운동 방정식을 구성하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial Q}{\partial X} + \frac{\partial(A+A_o)}{\partial t} - q = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial X} + gA \left[\frac{\partial h}{\partial X} + Sf + Se \right] - qV_x + Wf - B = 0 \tag{2}$$

여기서 Q는 유량, A는 횡단면적, A_o는 堤內地 貯溜 斷面積(off-channel cross-sectional area), q는 側方 流入 流量, X는 흐름 방향의 거리, t는 시간, g는 중력 가속도, h는 河川 水位, V_x는 側方 流入의 X방향 流速, Wf는 바람 마찰項, B는 유수 단면의 水面幅이며, Sf는 흐름의 마찰 경사로서 다음과 같이 정의된다.

$$Sf = \frac{n^2 Q |Q|}{A^2 R^{4/3}} \tag{3}$$

여기서 n은 Manning의 조도 계수이며, R은 動水半徑을 표시한다.

한편, Se는 河道斷面의 急擴大나 急縮小로 인한 에너지 손실을 표시하는 傾斜로서

$$Se = \frac{Ke}{2g} \frac{\partial(Q/A)^2}{\partial X} \tag{4}$$

여기서 Ke는 단면 확대-축소계수이다.

2.2 Implicit dynamic wave 模型

Implicit 方法에 의한 有限 差分의 解는 한 時間 段階에서 모든 값이 前 時間 段階의 모든 값으로 표시되기 때문에 非線型 代數 方程式을 反復 計算에 의해 未知 數를 한꺼번에 구하게 된다. Implicit 方法으로 支配 方程式을 聯立하여 풀기 위해서는 그림 1 과 같은 格子 網을 사용하게 된다.

Weighted four-point implicit (Preissmann, 1961) 方法에 의하면 그림 1에서 M 點에서의 任意 未知 變數 &&의 偏微分과 &&의 크기는 다음과 같다.

$$\frac{\partial \Gamma}{\partial t} = \frac{\Gamma_{j+1}^{i+1} + \Gamma_{j+1}^{i+1} - \Gamma_j^i - \Gamma_{j+1}^i}{2\Delta t} \tag{5}$$

$$\frac{\partial \Gamma}{\partial x} = \theta \frac{\Gamma_{j+1}^{i+1} - \Gamma_{j+1}^{i+1}}{\Delta x} + (1-\theta) \frac{\Gamma_{j+1}^i - \Gamma_j^i}{\Delta x} \tag{6}$$

$$\Gamma = \theta \frac{\Gamma_{j+1}^{i+1} + \Gamma_{j+1}^{i+1}}{2} + (1-\theta) \frac{\Gamma_j^i + \Gamma_{j+1}^i}{2\Delta t} \tag{7}$$

式 5~7을 式 1~4에 대입하면 j+1 時間線상에서의 각 格點에서의 未知값인 Q와 h에 관한 2개의 비선형 대수 방정식을 얻게되며 j 時間線上的 모든 項은 計算의 初期 條件이나 前단계 計算결과로 얻은 既知의 값으로 표시된다.

이와같이 얻어진 2개의 연립 비선형 대수 방정식은 한개의 格子網(그림 1)을 고려할 때 j+1 시간에 i와 i+1 단면에서의 未知값 h, Q 를 포함하므로 4개의 미지값이 2개의 방정식에 포함되는 경우가 되므로 직접해를 구할 수 없다. (Ponce, 1978)

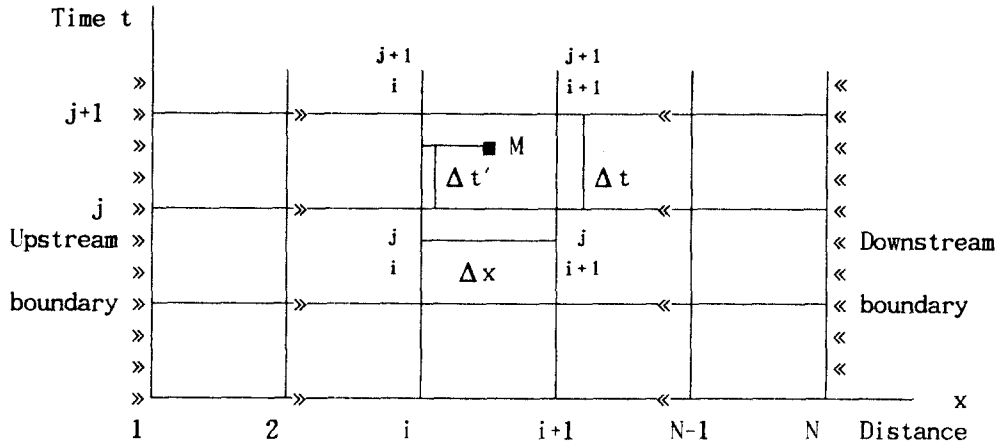


그림1 Implicit 方法 適用을 위한 格子網

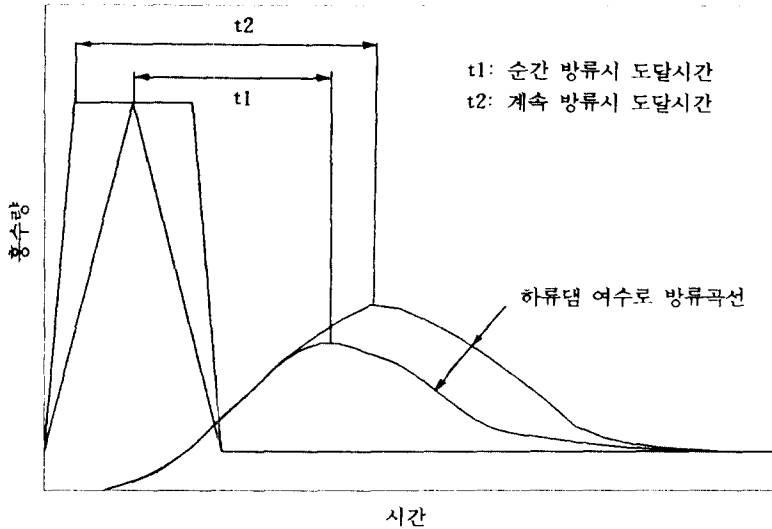


그림2 홍수도달 시간의 정의

그러나, N 개 단면으로 구성되는 $(N-1)$ 개의 ΔX 구간에 대하여 $(2N-2)$ 개의 방정식을 세울 수 있고 나머지 2개의 조건식은 각각 上限界條件과 下流端 경계 조건을 사용하면 $2N$ 방정식에 $2N$ 개의 미지수가 포함되는 결과가 되므로 연립 방정식을 풀면 $j+1$ 시간선에서의 각 단면에서의 解, Q , h 를 구할 수 있다. (Amein and Fang, 1970)

θ 는 시간에 따른 加重係數(weighting factor)이며 $\Delta t'/\Delta t$ 이다. θ 가 0이면 Explicit scheme이고 θ 가 0.5이면 Box scheme이며 $\theta=1.0$ 이면 Fully implicit scheme이

다. Fread에 의하면 計算의 正確度는 θ 가 0.5에서 1.0으로 增加함에 따라 減少하며 이런 結果는 時間 間隔이 增加함에 따라 더욱 確實하게 나타나게 되고, θ 가 0.5-1.0의 範圍에서는 安定한 結果를 얻을 수 있으며 0.55-0.6이 推薦되고 있으며 본 연구에서는 $\theta=0.6$ 의 값을 사용하였다. (Fread, 1978)

3. 댐 區間 洪水 到達 時間의 定義

일반적으로 洪水 到達 時間(travel time)은 河道의 어

表1 對象河川區間的 特性

區 間	區間距離(km)	最深河床(EL.m)	區間標高差(m)	河床傾斜
화천댐-춘천댐	33.20	108.40 74.50	33.90	0.001020
춘천댐-의암댐	19.40	74.50 54.71	19.79	0.001020
의암댐-청평댐	43.80	54.71 22.30	32.41	0.000740
청평댐-팔당댐	26.50	22.30 11.70	10.60	0.000400
소양강댐-의암댐	21.50	81.20 54.71	26.49	0.001232
충주댐-팔당댐	107.05	64.95 11.70	53.25	0.000497

자료: 北漢江 河川 調査 報告書, 建設部, 1990.8
北漢江, 昭陽江 河川 整備基本計劃, 建設部, 1990.12

表2 댐 구간별 계산 구간 거리 및 입력 단면수

구 간	$\Delta x(km)$	입력단면수	구 간	$\Delta x(km)$	입력단면수
화천댐-춘천댐	2.5	13	청 평 댐-팔 당 댐	0.5	54
춘천댐-의암댐	2.1	9	충주댐-여주수위표	1.2	43
소양댐-의암댐	1.5	14	여주수위표-팔당댐	1.3	79
의암댐-청평댐	1.0	46			

면구간을 洪水波가 통과하는 데 소요되는 시간으로 정의되며 上流端에서의 홍수 수문 곡선의 尖頭 流量 발생 시각에서부터 하류단 통과 홍수 수문곡선의 첨두 유량 발생 시각까지의 時間長徑으로 代表되거나, 혹은 上下流端 홍수 수문 곡선의 質量 重心 時間간의 시간 간격으로 대표 되기도 한다. 그러나, 상류 댐으로부터 홍수를 放流할 경우 하류단 地點까지의 洪水 到達 時間에 대해서는 아직 구체적으로 정의된 바 없으며 통상적인 개념의 홍수 도달시간과는 상이하므로 그림 1에서와 같이 정의 하기로 한다.

그림 1에서와 같이 댐 구간내의 초기 하도유출 조건 하에서 上流댐의 여수로 수문을 개방하여 최대 방류량에 도달한 직후 수문을 다시 폐쇄하여 초기 유출상태로 복귀할 경우 (瞬間放流)의 홍수도달시간은 통상적인 概念의 洪水波 전파시간 t_1 으로 정의하기로 한다. 그러나 대부분의 경우 홍수시 댐 放流는 댐 여수로의 수문을 어떤 開度로 상당시간 개방하여 繼續 放流하는 것이 통상이며, 이 경우 그림 2 에 표시한 바와 같이

最大 放流 始點 時刻으로부터 하류단 하류로의 尖頭 放流 (最大 貯水位) 時刻까지의 時間 長徑 t_2 를 洪水 到達 時間으로 정의 하기로 한다.

4. 대상유역 및 적용

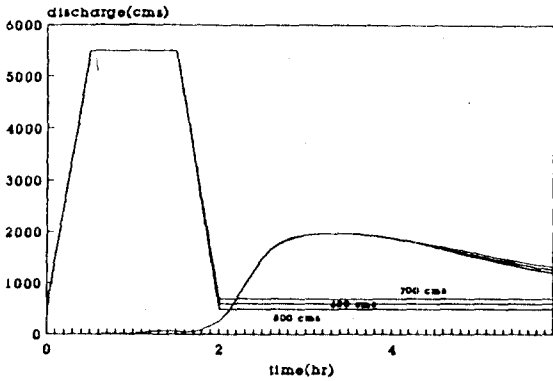
4.1 對象 河川 區間

洪水時 댐 放流로 인한 下流水位와 洪水 到達時間의 推定을 위한 對象 河川 區間은 화천댐-춘천댐, 춘천댐-의암댐, 의암댐-청평댐, 청평댐-팔당댐, 소양강댐-의암댐 및 충주댐-팔당댐의 6개 區間이며 表 1은 각 구간의 特性 諸元을 표시하고 있다.

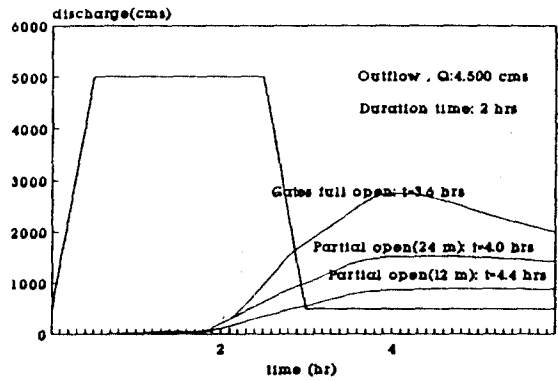
4.2 주요입력 자료

4.2.1 初期條件

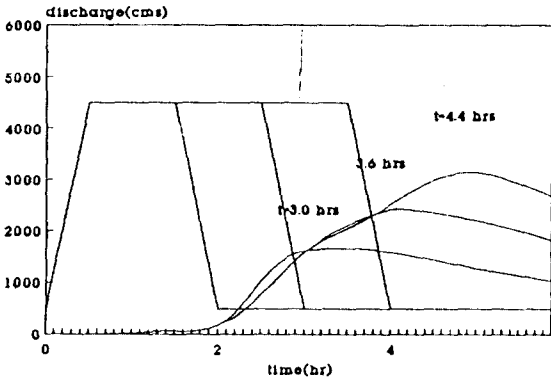
초기조건은 洪水流의 계산 初期의 河道 區間에서의



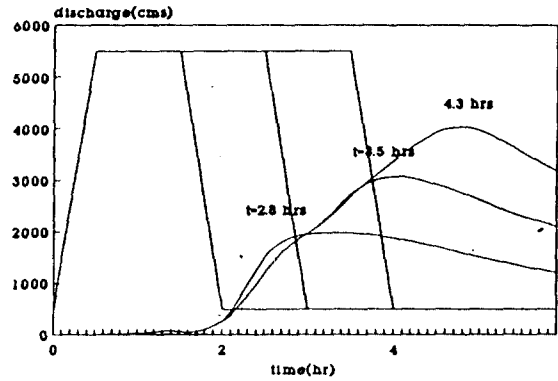
(그림3) 하도내 초기유량의 영향(화천댐-춘천댐 구간)



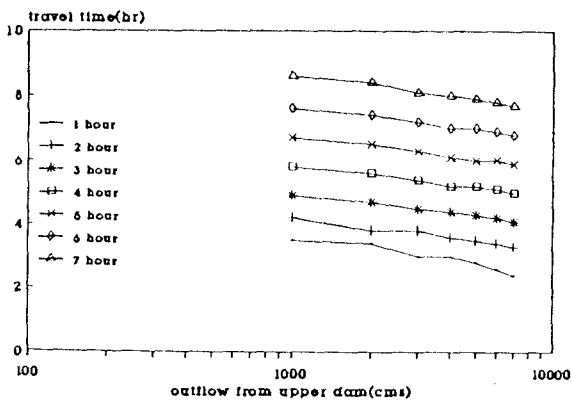
(그림4) 하류댐 여수로의 수문개도 영향(화천댐-춘천댐 구간)



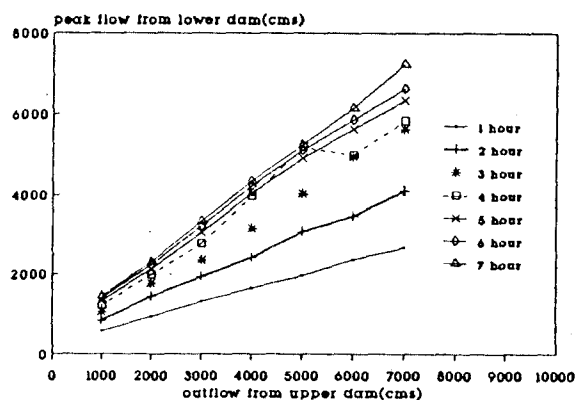
(그림5) 상류댐 방류시간의 영향(화천댐-춘천댐 구간: 방류량 4, 000m³/sec)



(그림6) 상류댐 방류시간의 영향(화천댐-춘천댐 구간: 방류량 5, 000m³/sec)



(그림7) 홍수도달시간-방류량-방류계속시간 관계(화천댐-춘천댐 구간)



(그림8) 침투홍수량-상류댐방수량-방류계속시간 관계(화천댐-춘천댐 구간)

단면별 流量-水位 관계를 말하며 본 연구에서는 가정 유량에 대한 정상 부등류계산(背水計算)으로 단면별 수위를 계산하여 수위-유량관계를 얻었다.

4.2.2 境界條件

境界條件은 洪水流 計算區間의 上流端과 下流端에서 의 흐름조건을 말하며 上流端 境界條件은 上流端 壩 餘水路를 통한 放流量 曲線을 사용하였으며 下流端 境

界條件으로는 下流댐의 餘水路 Rating-Curve를 사용하였다.

4.2.3 기타 主要 入力資料

본 研究에서 댐 區間別 부정류 계산을 수행함에 있어서 入力시켜 주어야 할 주요자료는 계산의 초기조건, 상.하류 경계조건, 단면자료, 조도계수, 계산 시간구간(Δt) 및 거리구간(Δx)등의 계산조건 등이다.

—계산의 초기 조건으로는 區間 河道內的 초기유량을 $500\text{m}^3/\text{sec}$ 로 일정하게하고 하류 댐 지점에서의 貯水位를 댐 일류부의 頂點標高보다 약간 낮게 가정 入力시켜 줌으로서 초기유량에 적정한 구간 전체에 걸친 초기조건을 계산하여 사용하였다.

—계산의 상류 경계 조건으로는 초기 유량에서 시작하여 30분에 걸쳐 一定率로 수문을 개방하여 最大 放流量에 도달시킨후 임의 방류 시간동안 일정 방류한 후 수문을 30분내에 폐쇄하여 초기 유량 조건으로 되돌아가는 사다리꼴 방류를 하는 것으로 가정하였다.

—계산의 하류 경계조건으로는 댐구간의 하류댐 여수로의 水門完全開放時의 Rating-Curve를 사용하였으며, 팔당댐의 경우는 실제 수위의 변화가 거의 없게 방류를 하므로 수위를 EL. 25.5m로 하여 하류 경계조건으로 하였다.

—댐 구간내에 선정된 단면에서의 단면자료로는 河川整備 基本計劃에서 측량된 충분한 數의 단면의 水面標高別 수면폭 자료를 획득하여 入力시켰다.

—區間別 粗度係數(Manning's n)는 河道內 유량의 증가에 따라 n 값이 커지는 관계를 하천정비 기본계획 성과로부터 채택하여 계산에 사용하였으며 $n=0.027\sim 0.033$ 의 범위에 들었다.

—계산의 시간구간(Δt)은 0.1hr(6分)으로 하였고 시간 가중 계수 $\theta=0.55\sim 0.60$ 으로 하였으며 계산구간거리(ΔX)는 댐 구간별로 表 2와 같이 실측단면을 충분히 대표할수 있는 0.5km \sim 2.5km로 하였다.

4.3 댐 區間 洪水 到達時間에 영향을 미치는 因子 分析

상류 댐으로부터의 방류에 의한 댐 구간 홍수 도달 시간은 자연 하천에서의 홍수파의 전파와는 달리 여러 가지 인자에 의해 영향을 받을 것으로 판단된다. 첫째

로, 댐 放流를 시작하기 이전의 河道內 初期 流量條件을 들 수 있으며, 둘째로는 최대 방류량의 크기, 셋째로는 放流 繼續 時間, 넷째로는 下流 댐 여수로의 水門開度, 마지막으로는 하도구간으로 유입하는 側方流入量등을 들 수 있다. 이들 因子중 側方 流入量의 영향은 洪水時 支流 流域의 降雨및 流出 特性에 따라 各樣의 영향을 미칠 것이므로 확실적인 영향을 분석하기가 어려워 本 研究에서는 일단 고려하지 않기로 하였으며, 나머지 인자들의 영향에 대하여 각각 살펴 본 결과는 다음과 같다.

4.3.1 河道內 初期 放流 條件의 영향

洪水時 河道內 초기 유량은 發電 放流量과 河道 區間的 基底 流量으로 구성되며 洪水 放流量의 일반적인 크기에 비해 상대적으로 작으므로 下流 댐의 流出量에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 예상 하였으며 계산 결과 중 화천댐-춘천댐 구간에 대한 계산 예를 보면 그림 3 과 같다. 그림 3 에서 보는 바와 같이 화천댐의 수문을 30분에 걸쳐 개방하여 $5,000\text{m}^3/\text{sec}$ 로 1시간 방류한 후 30분에 걸쳐 수문을 완전 폐쇄할 경우 춘천댐의 수문 완전 개방시 초기 유량이 증가함에 따라 洪水 到達 時間이나 尖頭 放流量의 크기에 큰 변화를 주지 못하고 있음을 알 수 있다.

4.3.2 下流댐 餘水路 水門開度の 영향

댐 區間 洪水 到達 時間은 上流 댐의 放流量이 일정할 때 下流댐의 餘水路 水門 開度の 크기에 따라 상당한 영향을 받는 것으로 나타났다. 그림 4는 화천댐-춘천댐 구간에 대해 화천댐으로부터 $4,500\text{m}^3/\text{sec}$ 로 2時間동안 방류할 경우 水門開度を 각각 12m(1m \times 12門), 24m(2m \times 12門) 및 完全 開放 했을 경우의 춘천댐 방류량 곡선을 표시하고있다.

그림 4에서 볼수있는 바와같이 수문을 완전개방할 경우에는 저수지를 포함하는 댐 河道 區間的 貯溜 效果가 약화되어 洪水 到達 時間이 짧아 지면서 下流 댐의 尖頭 放流量이 커지나 水門 開도가 감소할수록 댐 河道 區間的 貯溜 效果가 증가되어 홍수 도달 시간은 길어지면서 尖頭 방류량은 작아지는 것으로 해석된다.

水門 開度の 조건은 수없이 많은 경우로 나누어 생각해야 하므로 以下의 홍수 도달시간 계산에서는 모든

댐 區間에 대하여 下流댐 여수로의 完全 開放 條件을 전제로 하였다. 다만, 팔당댐의 경우는 潛堰의 특성상 水門 完全 開放의 경우란 있을수 없으며 실제로 저수지의 수위를 일정 범위(EL. 24.5~26.5m) 내에 유지할 수 있도록 水門開度를 조절하여 방류하고 있으므로 下流端의 境界 條件으로는 貯水位 EL. 25.5m로 일정하다는 가정하에 계산하였다.

4.3.3 上流댐 放流量의 크기와 放流 時間의 영향
 댐 구간 洪水 到達 時間은 다른 조건이 일정할 경우 上流댐의 放流量의 크기가 증가함에 따라 감소하는 성향으로 나타났으며 화천댐-춘천댐 구간에 대한 計算 例는 그림 5 및 그림 6에 표시한 바와 같다.

그림 5에서 보는 바와같이 上流댐으로 부터의 放流量을 4,000m³/sec로 일정하게 유지하면서 방류 시간을 증가 시키면 下流댐 에서의 尖頭 放流量의 크기는 증가하며 발생 시각 또한 늦어져서 댐 區間 洪水 到達 時間이 길어짐을 알 수 있다.

또한, 그림 5 와 그림 6 을 비교해보면 방류량을 4,000m³/sec에서 5,000m³/sec로 증가시키면서 동일 放流 時間동안 방류하면 洪水 到達 時間은 짧아짐을 알 수 있다. 이는 最大 放流量이 커짐에 따라 洪水波의 區間 전과 속도가 빨라지기 때문인 것으로 생각된다. 이상과 같은 홍수도달시간-방류량-방류시간 관계를 고려하여 나머지 댐 구간에 대하여 부정류 계산으로 이들 관계를 수립하였다.

5. 댐 區間別 上流댐 放流量-放流 繼續 時間-洪水 到達 時間 關係의 분석

이상에서 언급한 댐 구간의 洪水 到達 時間에 미치는 영향 因子들을 고려하여 댐 區間別로 上流댐의 放流 條件, 下流댐 境界 條件 및 河道의 初期 條件下에 不定流 計算을 실시 하였으며 계산결과 얻어진 區間別 上流댐 放流量(Qo)-放流 繼續 時間(to)-洪水 到達 時間(tp)-下流端 尖頭 流量(Qp) 관계 자료중 화천댐-춘천댐 구간의 계산 결과를 표 3에 수록 하였다. 팔당댐의 경우 실제 홍수 상황하에서는 저수지로의 홍수유입량을 고려하여 저수위를 EL. 24.5~26.5m의 범위내에 유지할 수 있도록 댐 수문의 개도를 조절하여 홍수를 방류하

게 되어 있으므로 댐 단면에서의 下流端 境界 條件으로는 貯水位 EL. 25.5m로 일정하게 유지하는 것으로 하였다.

표 3의 부정류 계산으로 얻어진 결과중 tp-to-Qo 관계를 분석하기 위하여 이들 관계를 그림으로 표시한 것이 그림 7 이다.

그림 7에서 볼 수있는 바와같이 홍수 도달 시간은 방류 계속 시간이 일정할 경우 상류댐 방류량이 증가할수록 짧아지며, 상류댐의 방류량이 일정할 때에는 방류 계속 시간이 길어질수록 홍수 도달 시간도 길어짐을 알 수 있다. 또한, 이들 관계는 그림 7에서 볼 수 있는 바와같이 tp-Qo의 관계가 半對 數方眼紙 상에서 tp를 제3의 변수로하는 直線形 關係임을 알 수 있다. 따라서, 다음과 같은 식에 맞추어 多重 線形 回歸 分析을 실시하였으며 그 결과는 표 4에 수록되어있다.

$$t_p = a + b \cdot t_o + c \ln Q_o \quad (8)$$

여기서 a, b, c는 回歸常數이고 tp와 to는 시간, Qo는 m³/sec의 단위를 갖는다.

표 4의 댐 區間別 多重 回歸 分析결과를 보면 모든 구간의 경우 相關 係數가 상당히 높은 것으로 나타났으므로 식 8의 관계에 의한 홍수도달시간의 추정은 신뢰도가 높을 것으로 보인다.

따라서, 홍수시 댐 管理者의 홍수도달시간 推定을 돕기위해 식 8의 회귀 방정식과 표 4의 회귀 상수를 사용하여 화천댐-춘천댐 구간의 홍수 도달 시간 조건표를 작성할 수 있을 것이다.

5.1 댐 下流 主要 地點의 水位變動 分析

상류댐 방류시 댐 하류에 위치한 임의 지점에서의 수위에 영향을 미치는 因子는 댐 구간의 홍수 도달 시간에 영향을 미치는 인자와 동일하다고 말할 수 있다. 또한, 지점별 수위는 홍수와의 진행 시간에 따라 변동하므로 홍수 관리 측면에서 중요한 의미를 가지는 침투 홍수위만이 관심사이기도 하다.

이 중 댐 수위표는 각 댐의 取水塔 부근에 설치되어 저수지 수위(저수위)의 변동을 측정하고 있으며 여주 수위표는 수위표 지점에서의 하천수위를 측정하고 있다.

청평댐-팔당댐 구간과 충주댐-팔당댐 구간의 경우는

표3 Q(t)-t(t_p-Q_p) 관계자료(화천-춘천)

(단위 : t₀ : 시간, t_p : 시간, Q_p : m³/sec)

Q ₀	1		2		3		4		5		6		7	
	t _p	Q _p	t _p	Q _p	t _p	Q _p	t _p	Q _p	t _p	Q _p	t _p	Q _p	t _p	Q _p
1000	3.5	575	4.2	828	4.9	1050	5.8	1222	6.7	1331	7.6	1404	8.6	1453
2000	3.4	942	3.8	1440	4.7	1768	5.6	1978	6.5	2123	7.4	2231	8.4	2310
3000	3.0	1330	3.8	1939	4.5	2351	5.4	2761	6.3	3036	7.2	3215	8.1	3332
4000	3.0	1664	3.6	2438	4.4	3157	5.2	3698	6.1	4035	7.0	4230	8.0	4344
5000	2.8	1975	3.5	3066	4.3	4026	5.2	3698	6.0	4902	7.0	5105	7.9	5240
6000	2.6	2375	3.4	3456	4.2	4932	5.1	4970	6.0	5621	6.9	5845	7.8	6142
7000	2.4	2678	3.3	4101	4.1	5623	5.0	5814	5.9	6323	6.8	6613	7.7	7227

표4 댐 區間別 t_p-t₀-Q₀ 關係의 回歸常數

댐 구간	회귀상수			다중상관계수
	a	b	c	
화천댐-춘천댐	5.611	0.860	-0.449	0.996
춘천댐-의암댐	3.584	0.938	-0.310	0.981
소양강댐-의암댐	4.370	0.887	-0.405	0.995
의암댐-청평댐	7.633	0.756	-0.586	0.988
청평댐-팔당댐	-0.024	0.976	0.072	0.994
충주댐-여주수위표	12.327	0.626	-0.977	0.962
충주댐-팔당댐	24.387	0.295	-1.729	0.955

전술한 바와 같이 홍수시 팔당댐의 수문을 조작하여 상류로 부터의 홍수 유입량에 따라 일정 범위의 저수위를 유지할 수 있도록 하고 있어서 본 연구에서는 팔당 저수지에서의 저수위를 EL. 25.5m로 고정시켰으므로 수위 변동 분석을 위한 대상 지점에서는 제외시켰다.

5.1.2 主要 地點別 尖頭 洪水位의 變動

표 5에 선정된 댐 및 하천 수위표 지점에 있어서의 尖頭 洪水位는 尖頭 洪水量에 해당하는 수위이므로 부정류 계산에 의해 상류댐의 방류량 별로 계산한 하류댐의 댐 수위표 지점 혹은 하천 수위표 지점에서의 홍수 수문 곡선상의 尖頭 放流量(혹은 洪水量)을 결정하여 이를 Rating-curve에 의해 저수위(혹은 홍수위)로 바꾸어 주면 된다.

따라서, 본 연구에서는 앞의 홍수 도달 시간 계산에서 전제한 조건에 대하여 부정류계산을 시행한 결과를 사용하여 主要 地點(혹은 댐 地點)에서의 침투 홍수위의 크기가 댐 방류량과 방류 시간의 길이에 따라 어떻

게 변화하는 지를 검토하였다.

5.1.1 댐 하류 主要地點의 선정

본 연구의 7개 대상 댐 구간에 대하여 구간별 하류 주요지점으로는 표 5와 같이 구간별 하류댐의 水位標 지점과 特定 河川 水位標 지점(여주 수위표)을 선정하였다.

전술한 바와같이 지점별 尖頭 洪水位는 댐 구간 홍수 도달 시간의 계산에서처럼 여러가지 因子에 영향을 받는다. 댐 하도 구간으로의 측방 유입을 고려하지 않고, 초기하도 유량을 500m³/sec로 잡고, 하류댐 수문의 완전 개방 조건을 상정하면 상류댐으로부터의 방류량과 방류시간 長徑에 따라 변화할 것임을 짐작할 수 있다. 따라서, 계산한 댐 구간별 방류량과 방류 시간에 따른 하류 댐의 홍수 방류 수문 곡선으로부터 침투 유량을 결정하여 화천댐-춘천댐 구간의 댐 방류량(Q_p)-방류시간(t_p)-하류지점 침투홍수량(Q₀) 관계를 그림 8에 표시하였다.

표5 댐 하류 주요지점의 선정

댐 구간	주요지점
화천댐-춘천댐	춘천댐 수위표
춘천댐-의암댐	의암댐 수위표
소양강댐-의암댐	의암댐 수위표
의암댐-청평댐	청평댐 수위표
충주댐-여주수위표	여주 수위표

(표6)

댐 구간별 $Q_p - t_0 - Q_0$ 관계의 回歸常數

회귀상수	d	e	f	다중상관계수
화천댐-춘천댐	-1305.878	0.736	422.250	0.924
춘천댐-의암댐	-210.163	0.939	189.806	0.981
소양강댐-의암댐	99.710	0.963	106.687	0.986
의암댐-청평댐	-2120.947	0.826	595.587	0.926
청평댐-팔당댐	-157.512	0.969	194.908	0.977
충주댐-여주수위표	-1455.751	0.854	450.403	0.919
충주댐-팔당댐	-2300.251	0.625	674.123	0.907

그림 8에서 볼 수 있는 바와같이 하류 지점에서의 첨두 홍수량(Q_p)은 상류댐의 방류 계속 시간(t_0)가 일정할 때 상류댐으로 부터의 放流量(Q_0)의 크기에 비례하여 커지며 방류 계속시간이 커짐에 따라서도 증가하는 성향을 보이고 있다. 따라서, 다음과 같은 다중 선형회귀식에 맞추어 부정류 계산으로부터 획득한 자료를 회귀분석 하였으며 그 결과는 표 6에 수록하였다.

$$Q_p = d - e t_0 + f Q_0 \quad (9)$$

여기서 d, e, f는 回歸常數이고 t_0 와 t_p 는 시간, Q_0 는 m^3/sec 의 단위를 갖는다.

표 6의 댐 구간별 다중 회귀 분석 결과를 보면 모든 구간의 경우 상관 계수가 대단히 높은 편이므로 식 9의 관계에 의한 하류 지점의 첨두 홍수량 추정은 신뢰도가 높을 것으로 생각된다.

따라서, 식 9의 회귀 방정식과 표 6의 회귀 상수를 사용하여 화천댐-춘천댐 구간의 첨두 홍수량을 계산하고 각 지점에서의 流量-水位 관계 곡선에 의해 尖頭貯水位로 환산이 가능하므로 이를 환산하여 하류 주요 지점별 尖頭 洪水位(H_p)가 상류댐의 방류량(Q_0)과 방류 계속 시간(t_0)에 따라 여하히 변동할 것인가를 예측할 수 있도록 조건표를 작성할 수 있을 것이다.

6. 결 론

본 연구에서는 홍수시 댐 방류로 인한 하류 수위와 도달 시간의 추정을 위해 한강 유역의 댐 구간에서 수리학적 홍수 추적을 실시하여 계산결과에 의해 다중 회귀분석을 통해, 장래에 있을 상류댐 방류에 의한 하류댐에서의 수위와 홍수도달시간을 추정할 수 있는 회

귀 방정식을 유도 하였다.

1. 上流댐 放流에 의한 하류댐에서의 流入量이나 洪水 到達 時間은 河道내 초기 방류량에 의해 커다란 영향이 없다고 볼 수 있었다.
2. 洪水시 하류댐 여수로의 水門 개도 정도에 따라 홍수 도달 시간은 큰 영향을 받는다. 즉, 수문개도가 증가 할수록 댐 하도 구간의 저류 효과가 감소하여 홍수 도달 시간은 짧아지고 첨두 홍수량은 커진다고 할수있다.
3. 홍수 도달 시간은 방류 계속 시간이 일정한 경우 상류댐 방류량이 증가 할수록 짧아지고, 첨두 홍수량의 크기는 커진다. 또 상류댐 방류량이 일정한 경우에는 방류 계속시간이 길어질수록 홍수 도달 시간도 길어짐을 알 수 있었다.
4. 洪水 到達 時間과 방류량의 관계가 반대수지상에서 방류 계속 시간을 제 3의 변수로하는 직선형 관계가 됨을 알수 있었고 이를 다중 회귀식으로 나타내어 본 결과 상관계수가 매우 높음을 알수 있었고 이에 따라 洪水 到達 時間 조건표를 작성할수 있으며 이러한 조건표는 洪水 到達 時間을 추정할수 있어 댐 조작측면에서 도움이 될수 있을 것이다.
5. 댐방류시 하류 지점에서의 첨두 홍수량을 상류댐의 방류 시간과 방류량에 따라 도시해보면 선형 관계가 있음을 확인할수 있었으며 다중 선형 회귀분석으로 첨두 홍수량을 추정할 수 있었다. 이를 유량-수위 관계곡선에 의해 하류 주요지점별 첨두 홍수위로 나타내고 이에 따라 상류댐의 방류량과 방류 계속 시간에 따라 변동을 예측할수 있었다.

감사의 글

본 연구는 건설부 한강홍수통제소의 1991년도 한강수계 유출 프로그램 개선 방안 연구 사업의 일부로 수행되었음을 밝히며 연구에 많은 지원을 아끼지 않은 한국건설기술연구원에 심심한 사의를 표합니다.

參考文獻

1. Amein, M., and Fang, C. (1970), "Implicit Flood Routing in Natural Channels" J. Hydr. Div., ASCE, 96 (HY12), December
2. Fread, D., L. (1988), "Dam Break Model", National Weather Service, June.
3. Fread, D. L., and Smith, G. F. (1978), "Calibration Technique for 1-D Unsteady Flow Models", J. Hydr. Div., ASCE, 104(HY7), July
4. Ponce, V. M., and Indlekofer H. (1978), "Convergence of Four-Point Implicit Water Wave Models", J. Hydr. Div., ASCE, 104(HY7), July
5. Preissmann, A. (1961), "Propagation of Translatory Waves in Channel and Rivers", Grenoble, France, PP. 433-442
6. Yoon, Yong Nam and Chung, Jong Ho (1991), "A Channel Flood Routing by the Implicit Dynamic Wave Model", Korean Journal of Hydroscience, Vol. 2