

한강수계에서의 댐의 영향을 고려한 홍수추적

Flood Routing Analysis Considering the Effects of Dams in Han River

한 건 연* / 최 규 현** / 김 원*** / 김 동 현****

Han, Kun Yeun / Choi, Kyu Hyun / Kim, Won / Kim, Dong Hyun

Abstract

This study has performed flood routing computations considering the upstream and intermediate dams in Han River using DAMBRK. Hypothetical reservoirs with variable dimensions are used to compare the validity of the reservoir routing methods, that are storage routing and dynamic routing. The flood events in September, 1990 and August, 1995 are used to verify the applicability of the model. The model performs the flood analysis more accurately considering multiple dam effects in Han River. The methodologies presented in this study will give a good contribution for basin-wide flood forecasting in Han River basin.

keywords : flood routing, reservoir flood routing, intermediate dam, DAMBRK model

요 지

본 연구에서는 한강수계를 대상으로 1차원 동역학적 홍수추적모형인 DAMBRK 모형을 이용하여 상류댐 및 중간댐의 영향을 고려한 홍수추적을 실시하였다. 또한 중간댐에서의 홍수추적기법의 타당성을 검토하기 위해서 다양한 형태의 가상의 저수지에 대한 dynamic routing과 storage routing에서의 유출량을 검토하였다. 모형의 적용성을 검증하기 위해서 1990년 9월 및 1995년 8월 홍수사상에 대한 홍수추적을 실시하여 실측값과 비교·검토하였다. 한강수계에 극한홍수사상과 각 하천의 설계홍수량을 적용하여 중간댐들의 영향을 고려한 홍수추적을 수행하여 그 결과를 도시하였다. 본 연구를 통해서 향후 한강유역에서의 홍수예경보와 효율적인 홍수조절을 통한 홍수정보시스템 확립에 크게 기여할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 홍수추적, 저수지 홍수추적, 중간댐, DAMBRK 모형

1. 서 론

최근에 들어서 엘니뇨와 라니냐 현상과 같은 이상기

후에 따른 집중호우의 영향과 하천에 인접한 제내지에서의 토지 이용도 극대화 등으로 인하여 하천 연안지역에서의 홍수피해가 증가하고있다. '96년 임진강 유역

* 정회원, 경북대학교 공과대학 사회기반시스템공학과 교수
Professor, Dept. of Civil Eng., Kyungpook National Univ., Daegu 702-701, Korea.
(e-mail: kshanj@knu.ac.kr)

** 정회원, 건설교통부 한강홍수통제소 하천정보센터 토목연구사
Researcher, River Information Center, Han River Flood Control Office, MOCT, Seoul, 137-049, Korea
(e-mail: khchoi@moct.go.kr)

*** 정회원, 한국건설기술연구원 수자원연구부 수석연구원
Research Fellow, Water Resource Research Dept., KICT, Koyang, Gyeonggi, 411-712, Korea
(e-mail: wonkim@kict.re.kr)

**** 정회원, (주)도화종합기술공사 수자원부
Engineer, Water Resources Dept., Dohwa Consulting Engineers Co.,Ltd., Seoul, Korea
(e-mail: jacket@dohwa.co.kr)

의 홍수, '98년의 전국적인 홍수, 그리고 '99년과 '02년의 전국적인 홍수로 인한 피해는 막대하게 나타나고 있다. 이와 같은 홍수의 발생으로 많은 제방과 저수지가 붕괴되어 수많은 가옥과 농경지가 침수되었으며 특히 '99년 9월 태풍 바트의 영향으로 인한 집중호우로 낙동강 중하류 지역이 엄청난 피해를 입었으며 '02년 9월 태풍 루사의 영향으로 낙동강 인근 지역과 강릉 지역은 엄청난 피해를 입었다. 특히 김천과 강릉지역에서의 호우사상은 이 지역에서 기상 관측 이래 발생한 사상 중 시간당 최고치를 기록하였다.

이와 같은 홍수피해를 줄이기 위해서는 하천제방의 정비, 하도개수 및 관리대책의 수립, 홍수조절 및 방어 계획과 관련한 방재대책을 수립하여야 한다. 또한 유역 전반의 홍수피해를 경감하기 위한 홍수조절용 댐의 건설 등 구조적인 대책뿐만 아니라 강우 및 유출의 분석에서부터 관측자료의 체계적인 분석 및 관리, 홍수 방어시설의 설계기준 강화, 홍수 예·경보 시스템 구축 등의 비구조적인 대책을 포함하는 종합적인 대책이 절실히 필요하다. 특히 국내 하천유역에서 댐에 의한 홍수조절효과는 큰 것으로 나타나고 있으며, 이에 따라 댐 방류에 의한 하류부 홍수파 전달양상의 파악은 매우 중요한 일이다. 그러나 하천수계에서 상류의 댐 방류와 중간댐의 홍수조절에 의한 영향분석에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 이에 따라 정교한 하천홍수해석이 수행되고 다양한 수리현상을 모의할 수 있는 연구의 수행이 필요한 상황이다.

하천에서의 부정류에 관한 연구는 Saint-Venant에 의한 1차원 방정식이 유도되면서 본격적으로 이루어지기 시작하였다. 하천의 홍수추적에 관한 수리학적 연구로는 Amein과 Fang(1970)의 유한차분법에 기초를 둔 양해법과 음해법에 관한 연구가 있으며, Price(1974)는 홍수추적을 위한 수치해석에서 해의 안정성, 수렴성 및 계산시간에 관한 연구를 실시하였고, Fread(1985)는 동역학적 홍수추적을 위해 DAMBRK 모형을 개발하였다. 국내에서는 80년대 초부터 수치해석기법을 이용한 하천의 홍수추적에 관한 연구를 수행해 왔으며, 특히 한강수계에 대한 수치해석 모형의 적용에는 많은 연구가 있었다(김상호와 김원, 2002; 김원 등, 2001; 이정규와 이창현, 2004). 특히 유명관과 전경수(2004)는 중간댐을 고려한 한강유역에서의 부정류 해석을 실시하였다. 그러나 지금까지 우리나라 한강유역에 대해서 상류단 댐 및 중간댐의 영향과 저수지의 홍수추적에 따른 홍수파 해석을 수행한 연구는 드문 실정이며, 중간댐의 영향을 내부경계조건으로 처리하여 전체 하도 내에서 동시에 부정류 해석을 실시한 연구는 매우 미비하였다.

본 연구에서는 한강수계에 대한 상류단 및 중간댐에서의 홍수 방류, 지천의 유입량 등을 종합적으로 고려하여 홍수파가 하류부에 미치는 영향을 DAMBRK 모형을 이용하여 수지상 하도에 적용할 수 있도록 확장해 발하였다. 기존의 DAMBRK 모형의 경우 측방유입량의 고려는 가능하나 지류의 해석이 불가능하였는데, 본 연구에서는 사용자가 지정하는 수만개의 지류 하천에 대한 동역학적 홍수추적이 가능하도록 모형을 확장하였고, 홍수로 인한 본류부 수위상승에 따른 지류 합류점에서의 역류 흐름해석이 가능하도록 구성하였으며 이를 한강유역에 적용하였다. 또한 본 연구에서는 저수지 홍수추적 기법에 따른 다양한 조건에서의 저수지에서 여수로 및 댐 붕괴로 인한 유출수문곡선을 유도하였다. 본 연구를 통해 향후 한강 및 중간댐들의 영향을 고려한 하천에서의 정확한 홍수위 예측을 통하여 유역에서의 홍수예경보와 효율적인 홍수조절을 통한 홍수정보시스템 확립에 크게 기여할 것으로 사료된다.

2. 홍수추적

본 연구에서는 댐으로부터의 유출수문곡선을 분석하고 하류단으로 유출되는 홍수를 수리학적으로 추적하기 위해 DAMBRK 모형을 이용하였다. 모형의 지배방정식은 1차원 Saint-Venant 방정식이며, 댐 및 교량과 같은 구조물은 내부경계조건으로 처리가 된다. 댐 지점에서의 유출수문곡선이 구해지면 하류부에서의 홍수파의 도달시간, 홍수유량, 홍수위 등이 하도의 홍수 추적과정을 통하여 예측될 수 있다. 극한홍수로 인한 홍수파의 경우 첨두유량의 값이 과거에 동일유역에서 발생되었던 강우-유출에 의한 홍수의 경우보다도 그 값이 수배 이상 크고, 수문곡선의 상승기점에서 첨두발생까지의 시간이 매우 짧게 나타나, 매우 큰 가속성분의 영향이 발생한다. 그러므로 극한홍수로 인한 홍수파의 경우에 있어서는 동역학적 방법에 의한 수리학적 홍수추적 방법을 사용하여야 하며, 이 방법은 관성력과 자유수면에서의 영향도 해석할 수 있어 매우 효과적이다.

2.1 저수지 홍수추적

댐으로부터의 유출수문곡선을 유도하기 위해서는 저수지 내로의 유입량과 유출량에 따른 저수용량의 변화가 고려된 저류방정식이 사용되어야 한다. 임의의 시간 t 에서의 총유출량 Q 는 붕괴부를 통한 유출량 Q_b 와 여수로와 방수로 등의 비붕괴부를 통한 유출량 Q_s 의 합으로 표시될 수 있다. 월류에 의한 붕괴의 경우에는 넓은 마루웨이의 공식, 파이핑의 경우에는 오리피스

유량공식이 사용되었는데, 이들은 저수지내의 수위, 붕괴부의 형상 및 하류부 수위 등의 함수로서 Eqs. (1) and (2)에 의해서 결정되며, 여수로를 통한 유출이 수중으로 유출되는 경우 잠수보정계수는 Eq. (3)에 의해 계산될 수 있다.

$$Q_b = C_1\beta(h-h_b)^{1.5} + C_2\beta(h-h_b)^{2.5} \quad (1)$$

$$Q_s = C_3(h-h_s)^{1.5} + C_4a(h-h_g)^{0.5} + C_5(h-h_{dm})^{1.5} + Q_t \quad (2)$$

$$\beta = \frac{Q}{Q'} \leq 1.0 \quad (3)$$

여기서 a = 수문의 유출 단면, C_1 = 넓은 마루 직사각형 웨어의 유량계수, C_2 = 넓은 마루 삼각형 웨어의 유량계수, C_3 = 여수로에 대한 유량계수, C_4 = 수문에 대한 유량계수, C_5 = 댐 마루부에서의 유량계수, h = 시간 t 에서의 저수지의 수위, h_b = 시간 t 에서의 붕괴부의 표고, h_g = 수문의 표고, h_s = 여수로의 표고, Q_t = 저수지의 수위와 무관한 기타 유출량, β = 잠수보정계수, Q = 잠수 상태에서의 유출량, Q' = 자유유출 상태에서의 유출량을 나타낸다.

저수지에서의 저류방정식은 질량보존법칙에 의하여 다음 Eq. (4)로 표현될 수 있다.

$$ds/dt = Q_i(t) - Q_b(h,t) - Q_s(h,t) \quad (4)$$

여기서 ds/dt = 시간에 따른 저류용량의 변화율, $Q_i(t)$ = 저수지내로의 유입량, $Q_b(h,t)$ = 붕괴부를 통한 유출량, $Q_s(h,t)$ = 비붕괴부(여수로 및 방수로 등)를 통한 유출량을 나타낸다.

붕괴 및 여수로 유출에 따른 저류방정식이 유도되고 붕괴부 수위와 하류 수위와의 관계에 의한 잠수보정계수가 결정되면 시간에 따른 저수지로부터 유출수문곡선이 유도될 수 있다. Eq. (4)를 유한차분형태로 나타내면 다음 Eq. (5)와 같이 표시되는데 여기서 A_s 는 저수지의 수표면적을, (*)표시는 초기 상태를 나타낸다.

$$\frac{\Delta s}{\Delta t} - \frac{Q_i^* + Q_i}{2} + \frac{Q_s^* + Q_s}{2} + \frac{Q_b^* + Q_b}{2} = 0 \quad (5)$$

여기서 $\Delta s = \{(A_s^* + A_s)/2\}(h^* - h)$ 를 나타낸다.

Eqs. (1) and (2)를 Eq. (5)에 대입하여 정리하면 다음 Eq. (6)을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} & 1/\Delta t (A_s^* + A_s)(h^* - h) + C_1\beta(h-h_b)^{1.5} \\ & + C_2\beta(h-h_b)^{2.5} \\ & + C_3\beta(h-h_s)^{1.5} + C_4a(h-h_g)^{0.5} \\ & + C_5(h-h_{dm})^{1.5} + Q_t \\ & + Q_b^* + Q_s^* - Q_i^* - Q_i = 0 \end{aligned} \quad (6)$$

Eq. (6)에서 A_s 는 수위 h 의 함수이고 h 이외의 다른 값들은 기지이기 때문에 미지의 h 에 대하여 Newton-Raphson 반복 계산법을 이용하여 그 해를 구할 수 있다. 보통 5~6회 정도의 반복계산으로 구해진 h 값을 Eqs. (1) and (2)에 대입하여 임의의 시간 t 에서 댐 지점에서의 총유출량 Q 를 구하면 댐 지점의 유출수문곡선이 유도될 수 있다.

2.2 하도 홍수추적

댐 지점에서의 유출수문곡선이 구해지면 하류부에서의 홍수파의 도달시간, 홍수유량, 홍수위 등이 하도의 홍수 추적과정을 통하여 예측될 수 있다. 하도 홍수추적의 경우에 있어서는 동역학적 홍수추적 방법을 사용하였으며, 이는 관성력과 자유수면에서의 영향도 해석할 수 있어 매우 효과적이다. 부정류 해석의 기본적인 천수방정식은 Eqs. (7) and (8)의 연속방정식과 운동방정식으로 구성된다.

$$\frac{\partial(s(A+A_o))}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial(sQ)}{\partial t} + \frac{\partial(\beta Q^2/A)}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial H}{\partial x} + S_f + S_e \right) = 0 \quad (8)$$

여기서 A = 흐름단면적, A_o = 저류단면적, q = 측방 유·출입량, β = 운동량 보정계수, g = 중력가속도, H = 수위, Q = 유량, s = 사형계수, S_e = 단면 확대·축소에 의한 손실경사, S_f = 마찰경사, t = 시간, x = 거리를 의미한다.

Eqs. (7) and (8)로 구성된 천수방정식은 비선형, 쌍곡선형, 편미분방정식으로서 Preissmann의 4점 가중 음해 유한차분법을 사용하여 차분화하여 비선형 대수방정식을 유도되고, Eq. (9)와 같은 Newton-Raphson 기법에 의해 그 해를 구할 수 있었다.

$$[\zeta]_{2N,2N} \{\Psi\}_{2N,1} = -\{\xi\}_{2N,1} \quad (9)$$

여기서 $[\zeta]$ = 4개의 미지수 각각에 대한 연속 및 운동량방정식의 편미분치로 구성된 Jacobian 행렬

$$\{\Psi\} = \begin{Bmatrix} \Delta Q_1 \\ \Delta H_1 \\ - \\ - \\ \Delta Q_N \\ \Delta H_N \end{Bmatrix}, \{\xi\} = \begin{Bmatrix} \text{하도구간1에 대한 식 (7)} \\ \text{하도구간1에 대한 식 (8)} \\ - \\ - \\ \text{하도구간2N-1에 대한 식 (7)} \\ \text{하도구간2N-1에 대한 식 (8)} \end{Bmatrix}$$

3. 저수지 홍수추적 기법 비교 및 분석

홍수시 여수로를 통한 방류량을 결정하기 위한 저수지 홍수추적방법으로는 동역학적 추적(dynamic routing)과 저류량 추적(storage routing)이 주로 이용되는데, 저류량 추적은 저수지 전체의 저류를 동일한 수위값을 가지는 것으로 가정하는 해석기법이다. 홍수추적에 사용된 저류량-방류량 관계나 저수위-방류량 관계가 마찰이나 하상경사와 통합되어 있지 않지만 운동량의 영향이나 시간미분항을 포함하지 않기 때문에 level pool routing으로 간주되어진다. 저류량 추적은 일반적인 저수지 홍수추적을 위한 대부분의 적용에 적합한 것으로 알려져 있다. 그러나 극한홍수사상으로 인한 유출량과 같이 흐름의 동역학적 특성이 강하게 나타나고, 시간변동성의

영향이 큰 경우에는 저류량 추적은 실제 물리현상을 나타내는데 한계를 가질 수 있겠다. 본 연구에서는 DAMBRK 모형을 이용하여 동역학적 추적과 저류량 추적에 의한 유출수문곡선을 비교하였다.

동역학적 추적과 저류량 추적을 비교하기 위하여 다양한 크기와 형태의 저수지를 고려하였다. 저수지 형상은 Fig. 1에 나타난 것과 같이 직사각형, 프리즘형, 홍수터형 저수지로 가정하였고 저수지 단면은 직사각형 형태로 가정하였다. 유입수문곡선은 Fig. 2에서 보여진 것과 같이 삼각형 분포의 적절한 매개변수로 가정하고 침투도달시간(T_p)는 1.0, 5.0, 15.0, 30.0hr, 침투유량(Q_p)은 3,000, 10,000, 30,000m³/s로 가정하였다.

저수지로부터 방류되는 유출수문곡선에 영향을 미치는 요소로서 저수지 유입수문곡선, 저수지 길이, 하상경사 그리고 저수지 형태로 가정하였고 저수지 홍수추적 모의결과와의 비교를 위해서 Eq. (10)과 같은 유출량 변동치를 계산하였다.

$$\text{유출변동(\%)} = \frac{\text{저류량 추적 침투유출량} - \text{동역학적추적 침투유출량}}{\text{동역학적 추적 침투유출량}} \times 100 \quad (10)$$

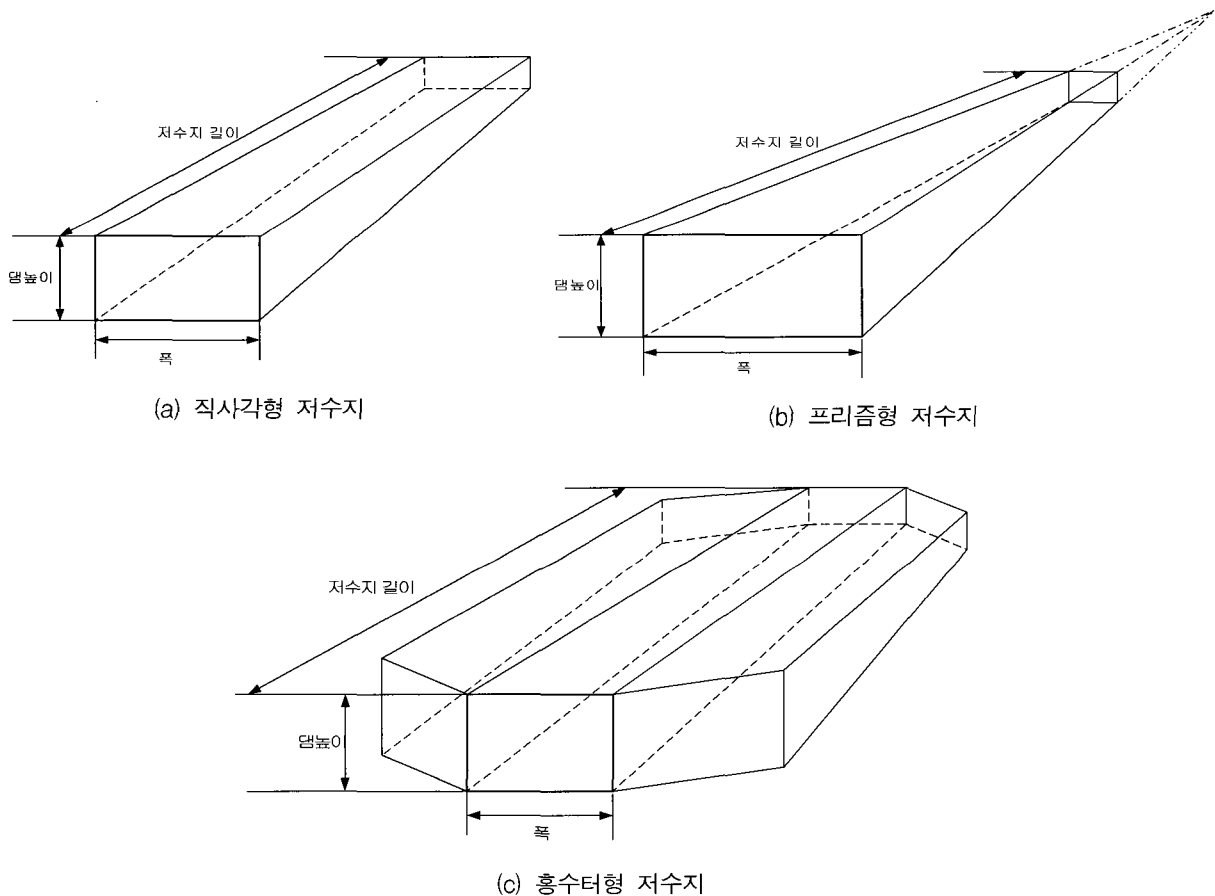


Fig. 1. 수치실험을 위한 저수지 형상

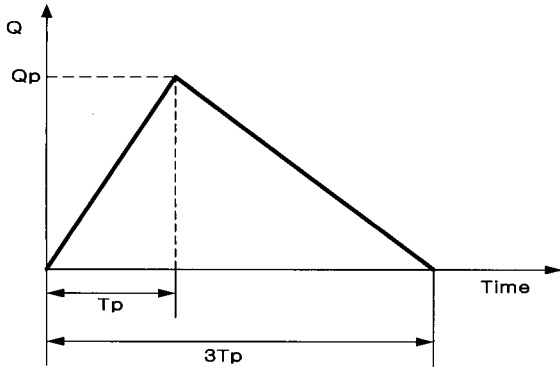


Fig. 2. 저수지 유입수문곡선

직사각형의 자유 여수로를 가지는 가상의 댐에 대해 동역학적 추적과 저류량 추적이 의한 유출량의 차이를 계산하였는데, 여수로 정부 높이는 80m이고, 저수지 초기수위는 여수로 정부 표고와 동일한 것으로 가정하

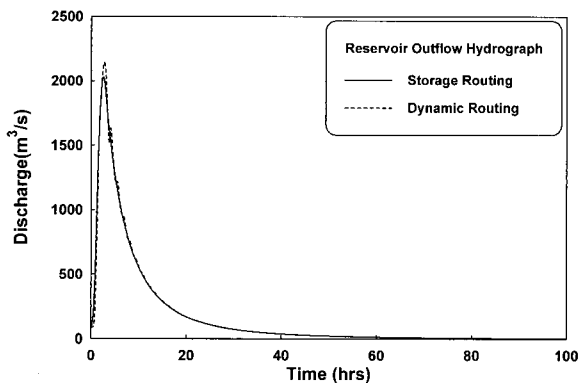
여 계산을 수행하였다.

먼저 프리즘형 저수지, 직사각형 저수지 및 홍수터형 저수지에서의 저수지 길이 및 유입수문곡선의 첨두시간에 따른 유출량의 변화를 계산해보았다. 저수지의 하상 경사는 0.001로 동일하며, 다양한 첨두유량 및 첨두시간에 대한 저수지의 길이가 10km인 경우와 50km인 두 경우에 대해서 결과를 비교·검토하였다. Table 1은 다양한 저수지 형태에서 저수지 길이에 따른 유출오차를 나타내고 있으며, Fig. 3은 저수지 길이가 50km인 경우에 있어 유입수문곡선의 첨두시간에 따른 유출수문곡선을 나타내고 있다.

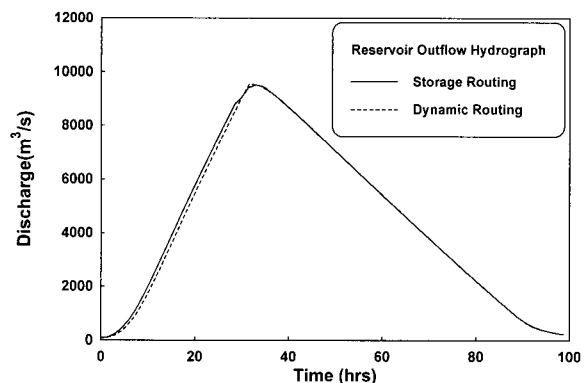
또한 저수지 하상경사에 따른 유출량의 변화를 살펴 보기 위해서 직사각형 저수지의 길이가 1km, 10km 및 30km인 각각의 경우에 대한 하상경사에 따른 모의를 수행하였으나, 저수지의 형태나 경사에 따른 유출량에는 뚜렷한 차이를 발견할 수 없었다.

Table 1. 저수지 길이에 따른 유출오차 비교

T_p (hrs)	저수지 길이(10km)			저수지 길이(50km)		
	Q_p (m ³ /s)			Q_p (m ³ /s)		
	3,000	10,000	30,000	3,000	10,000	30,000
프리즘형 저수지						
1	0.06%	-0.05%	-0.22%	-4.22%	-5.18%	-5.02%
5	0.00%	-0.04%	-0.01%	-0.48%	-0.83%	-0.90%
15	-0.07%	0.19%	-0.47%	-0.08%	-0.25%	-0.85%
30	0.30%	-0.01%	-0.24%	-0.11%	-0.17%	0.02%
직사각형 저수지						
1	0.41%	0.36%	0.25%	-5.40%	-6.30%	-5.40%
5	0.08%	0.11%	-0.22%	0.00%	-0.08%	0.02%
15	-0.10%	-0.48%	-0.06%	0.14%	0.05%	0.09%
30	-0.20%	0.08%	-0.35%	0.04%	-0.05%	-0.62%
홍수터형 저수지						
1	0.35%	0.17%	0.02%	-6.84%	-9.27%	-5.46%
5	0.17%	0.14%	0.23%	-0.17%	-0.04%	-0.04%
15	0.12%	-0.02%	-0.68%	0.22%	0.24%	0.26%
30	-0.07%	-0.26%	0.07%	0.21%	0.21%	0.25%

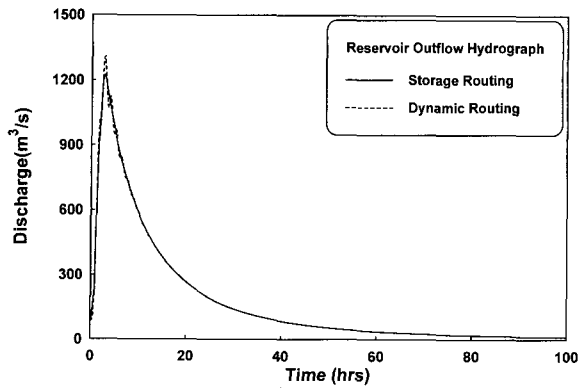


(a) 프리즘형 저수지(50km) 첨두시간 = 1hr

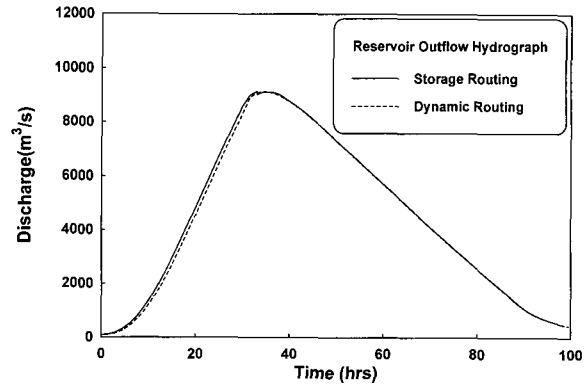


(b) 프리즘형 저수지(50km) 첨두시간 = 30hr

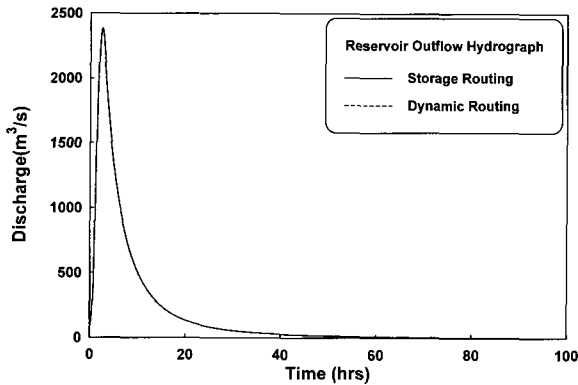
Fig. 3. 첨두시간에 따른 유출수문곡선 비교(계속)



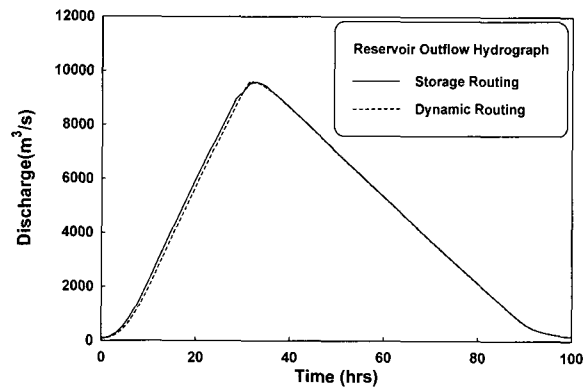
(c) 직사각형 저수지(50km) 첨두시간 = 1hr



(d) 직사각형 저수지(50km) 첨두시간 = 30hr



(e) 홍수터형 저수지(50km) 첨두시간 = 1hr



(f) 홍수터형 저수지(50km) 첨두시간 = 30hr

Fig. 3. 첨두시간에 따른 유출수문곡선 비교

모의결과를 종합해 볼 때, 저수지로의 유입수문곡선의 첨두시간이 클 경우에는 저수지의 하상경사나 저수지의 길이에 따른 두 기법의 유출량 변동이 $\pm 0.5\%$ 로서 거의 유사하게 나타났다. 하지만, 저수지 유입수문곡선의 첨두시간이 1시간인 경우에는 그 변동치가 조금 더 크게 나타났다. 즉 저수지의 길이가 30km인 경우의 유출량 변동은 $-1.0 \sim -3.0\%$ 로 나타났으며, 저수지의 길이가 50km인 경우의 유출량 변동은 $-5.0 \sim -10.0\%$ 로서 산정되었다. 본 모의결과를 통해서 저수지의 길이가 50km 이상이고, 저수지로의 유입수문곡선의 첨두시간이 1시간 미만인 경우 저류량 추적으로 계산한 첨두유출량이 동역학적 추적으로 계산한 첨두유출량보다 과소계산됨을 확인할 수 있었다. 따라서 저수지의 길이가 50km 이상이고, 유입수문곡선의 첨두시간이 1시간 미만인 경우에는 저수지 홍수추적에 있어서 저수지에서의 흐름의 동역학적인 특성과 시간변동성의 영향으로 인하여 동역학적 추적이 의한 홍수추적기법이 타당한 것으로 사료된다. 따라서 극한홍수나 유량상승폭이 큰 홍수에 대해서 한강유역에 위치한 중간댐들에 대한 모의시에는 동역학적 추적 기법을 적용하는 것이 합당한 것으로 판단되었다.

로 판단되었다.

4. 댐의 영향을 고려한 홍수추적

4.1 실제 홍수사상에 대한 적용

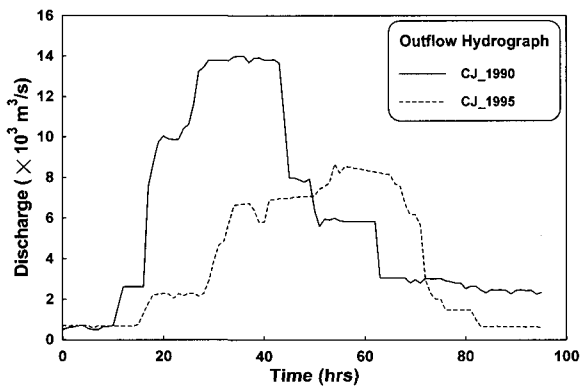
본 연구에서는 저수지에서의 동역학적 추적을 이용하여 한강수계에서의 중간댐들의 영향을 고려한 동역학적 홍수추적을 실시하였다. 모의는 1990년 9월 9일~15일 및 1995년 8월 22일~28일간의 남한강 및 한강분류의 홍수자료를 이용하여 수행하였으며, 이용된 자료로는 충주댐과 팔당댐의 방류량 자료, 월곶리에서의 조위 자료, 달천, 청미천, 경안천, 왕숙천, 탄천, 중랑천, 안양천 등의 지천 유입량의 실측자료가 사용되었다. 하도단면 자료는 한강유역에서 조사된 최근의 자료를 이용하였으며, 동역학적 홍수추적을 위해서 하도내의 홍수류의 주방향을 수치지도로부터 파악하여 주수로부, 좌·우 홍수터부 및 저류부 자료를 각각 추출하였다. 즉 하도단면 자료는 기존의 하천정비자료를 이용하였으며, 1:5,000 수치지도를 이용하여 유역의 DEM 자료를 추출하였고, 생성된 DEM 자료를 바탕으로 하도단면자료와

동일선상에 있는 좌·우 홍수터 자료를 추출하여 하천에서의 제방의 위치를 고려한 하도단면자료를 생성하였다. 또한 모형에서의 조도계수는 대부분 하천정비기본계획에서 제시된 값을 기본으로 이용하였는데, 특히 팔당댐 하류부~인도교 구간에 대해서는 한강홍수통제소(1991)에서 제시한 구간별 유량별 조도계수 자료를 활용하였으며, 좌·우 홍수터에 대한 조도계수는 한미연합사에서 제시한 자료(한미연합군사령부, 1994)를 적용하였다.

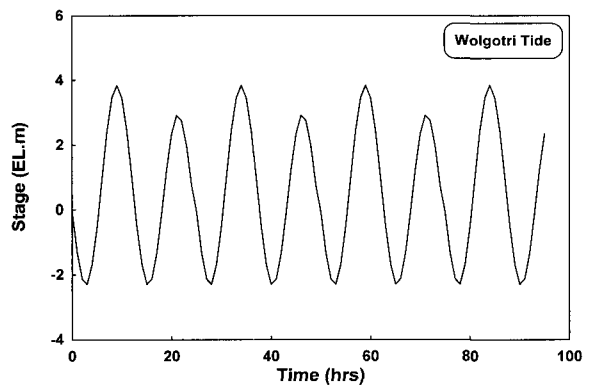
홍수추적은 남한강 유역 충주댐~팔당댐~월곶리에

이르는 204.3km 구간에 대해서 실시하였으며, 평균 계산거리간격과 시간간격은 DAMBRK 모형내에서 최적의 값으로 자동적으로 계산하는 기능을 활용하였다. Fig. 4는 모형에서 이용된 상·하류단 경계조건을 나타내고 있는데, 각각 충주댐의 방류량 유량수문곡선과 월곶리에서의 조석에 의한 수위수문곡선을 나타내고 있다.

홍수추적에 대한 검증은 여주 및 인도교 지점에 대한 '90년 9월 및 '95년 8월 수위수문곡선 자료와 비교함으로써 수행하였다. Fig. 5는 여주 및 인도교 지점에 대한 실측수위와 계산된 수위수문곡선을 나타내고 있는

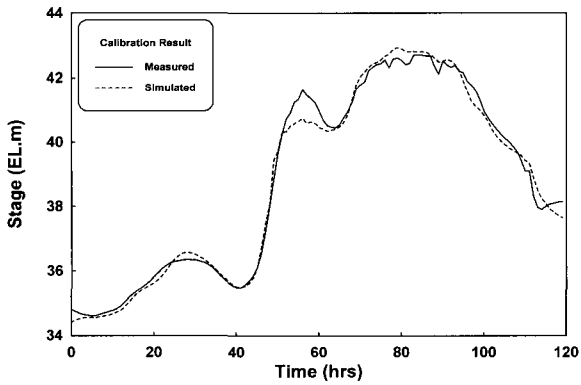


(a) 충주댐 방류량 수문곡선

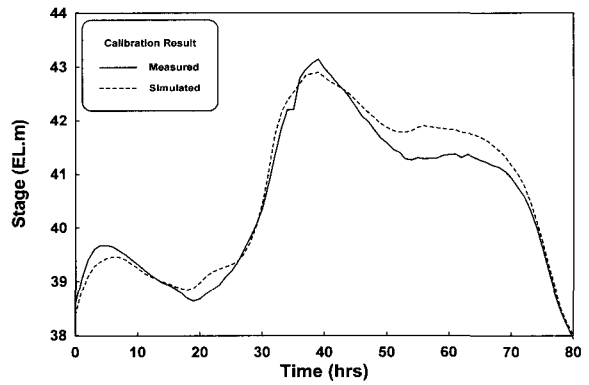


(b) 월곶리 수위 수문곡선

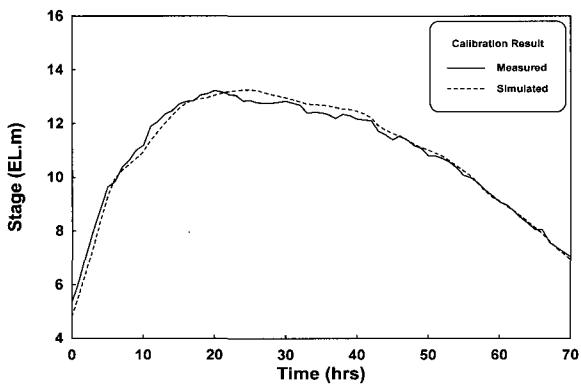
Fig. 4. 모형에서 이용된 상·하류단 경계조건



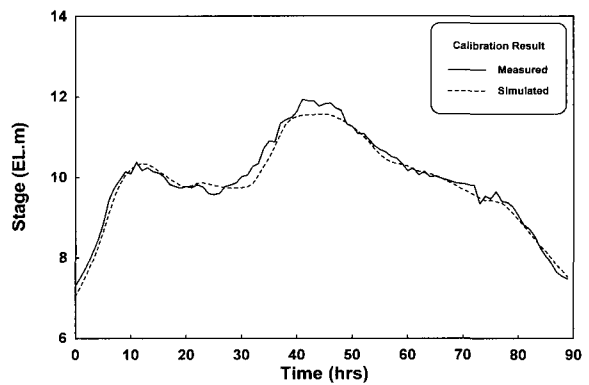
(a) '90년 9월(여주 지점)



(b) '95년 8월(여주 지점)



(c) '90년 9월(인도교 지점)



(d) '95년 8월(인도교 지점)

Fig. 5. 모형의 검증 결과

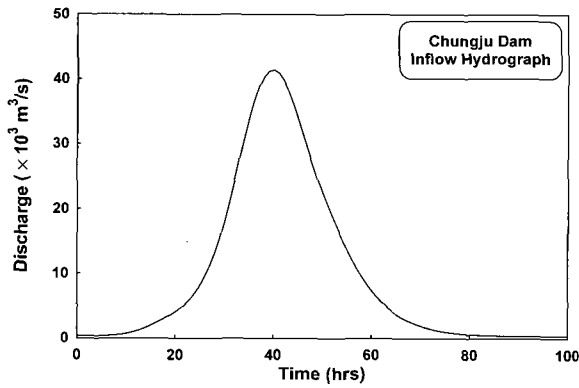
데, 그림에서 확인할 수 있듯이 모의결과는 실측치와 상당히 잘 일치하는 것으로 나타났다.

4.2 남한강에 대한 홍수파 해석

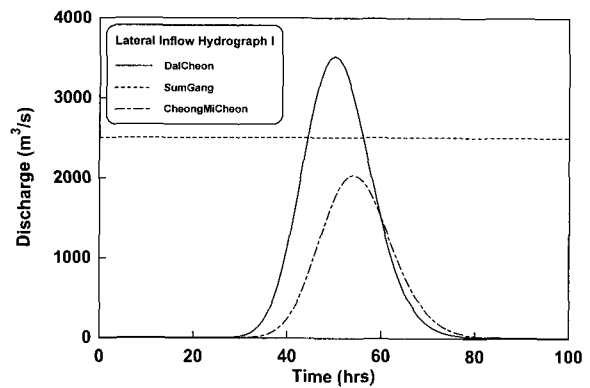
남한강에서의 댐 영향을 고려한 홍수파 해석을 실시하였다. 적용구간은 충주댐~월곶리의 총 204.3km이며 전체 사용단면 개수는 102개이다. 평균 계산거리간격과 시간간격은 DAMBRK 모형내에서 최적의 값으로 자동적으로 계산하는 기능을 활용하였으며, 이 구간내의 중간댐으로는 팔당댐이 존재한다. 상류단인 충주댐으로의 유입유량은 가능최대홍수량으로 가정하였으며, 모의구간내의 주요 지천인 달천, 섬강, 청미천, 흑천, 경안천, 왕숙천, 탄천, 중랑천 및 안양천은 측방유입량으로 고려하였으며, 북한강을 지류로 고려하였다. 각 지천에서의 유량수문곡선은 해당 설계빈도에서의 홍수량을 이용하

였으며 본류부에서의 홍수와 도달시간을 고려하여 유량수문곡선을 적용하였다. 댐에서의 방류량은 여수로를 통한 자유일류식으로 운영되는 것으로 본 모의에서는 가정하였으며, 홍수모의에 있어 하류단 경계조건은 한강 하류부 월곶리에서의 고극조위 조석곡선을 합성하여 적용하였다. Fig. 6은 모형에 이용된 상류단 및 지천에서의 유입수문곡선을 나타내고 있다.

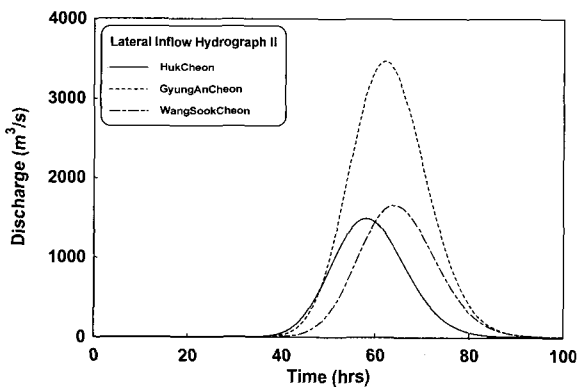
남한강에서의 홍수파 해석은 Table 2와 같이 지류인 북한강과 주요지천에서의 유입유량에 따른 4가지 모의기준에 의해서 실시하였다. Table 3은 4가지 모의기준에 대한 주요지점별 유량 및 수위수문곡선을 통해 얻은 결과로서 첨두유량, 첨두유량 도달시간, 첨두수위, 첨두수위 도달시간을 각각 나타내고 있다. 표에서 확인할 수 있듯이 대부분의 경우 홍수파가 지나가고 난 후 하천수위가 최고치에 도달함을 알 수 있다.



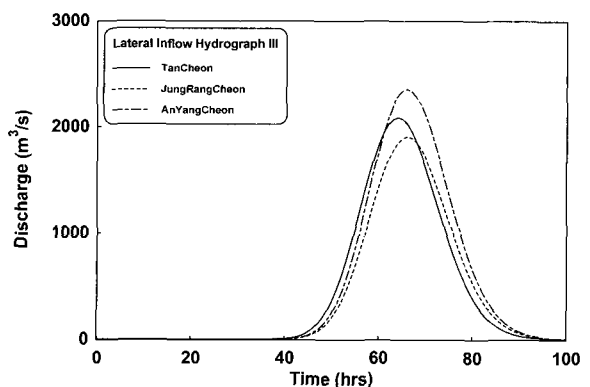
(a) 충주댐 유입수문곡선



(b) 주요 지천 유입수문곡선 - I



(c) 주요 지천 유입수문곡선 - II



(d) 주요 지천 유입수문곡선 - III

Fig. 6. 상류단 및 지천 유입수문곡선(남한강)

Table 2. 남한강 모의기준

모의조건	SH- I	SH- II	SH- III	SH- IV
북한강 유입유량(m ³ /s)	5,500	1,000	1,000	비고려
지천 유입유량(m ³ /s)	설계홍수량	설계홍수량	비고려	비고려

Table 3(a). 주요지점별 모의결과(SH-I 조건)

지점명	거리(km)	첨두유량(m ³ /s)	도달시간(hrs)	최고수위(m)	도달시간(hrs)
댐직상류부	0.0	19,787	—	147.28	—
여 주	62.4	27,101	4.0	46.26	6.0
양 평	88.4	27,657	8.0	36.86	10.0
팔당댐	112.3	35,303	12.0	31.61	12.0
인도교	148.8	38,937	16.0	15.31	18.0

Table 3(b). 주요지점별 모의결과(SH-II 조건)

지점명	거리(km)	첨두유량(m ³ /s)	도달시간(hrs)	최고수위(m)	도달시간(hrs)
댐직상류부	0.0	19,787	—	147.28	—
여 주	62.4	27,101	4.0	46.25	6.0
양 평	88.4	27,760	8.0	36.46	10.0
팔당댐	112.3	30,966	12.0	30.18	12.0
인도교	148.8	34,679	16.0	14.44	18.0

Table 3(c). 주요지점별 모의결과(SH-III 조건)

지점명	거리(km)	첨두유량(m ³ /s)	도달시간(hrs)	최고수위(m)	도달시간(hrs)
댐직상류부	0.0	19,786	—	147.28	—
여 주	62.4	19,414	6.0	44.47	6.0
양 평	88.4	19,112	10.0	33.69	10.0
팔당댐	112.3	19,813	12.0	26.16	12.0
인도교	148.8	19,306	16.0	10.86	20.0

Table 3(d). 주요지점별 모의결과(SH-IV 조건)

지점명	거리(km)	첨두유량(m ³ /s)	도달시간(hrs)	최고수위(m)	도달시간(hrs)
댐직상류부	0.0	19,800	—	147.29	—
여 주	62.4	19,416	6.0	44.47	8.0
양 평	88.4	19,142	10.0	33.66	10.0
팔당댐	112.3	19,031	12.0	25.85	12.0
인도교	148.8	18,481	16.0	10.62	20.0

Fig. 7은 충주댐에서의 저수위 수문곡선을 나타내고 있으며, Fig. 8은 시나리오별 주요지점에 대한 유량수문곡선을 나타내고 있다. 또한 Fig. 9는 지류 하류단에서의 유량 및 수위수문곡선을 나타내고 있는데, 본류부의 홍수량으로 인해 지류에서의 역류흐름이 발생되고 있음을 확인할 수 있으며, Fig. 10은 시나리오별 남한강 전체 하도구간에 대한 최고수위의 중단양상을 나타내고 있다.

4.3 북한강에 대한 홍수파 해석

북한강에서의 댐 영향을 고려한 홍수파 해석을 실시하였는데, 적용구간은 소양강댐~월곡리의 총 181.88km이며 전체 사용단면 개수는 97개이다. 평균 계산거리각과 시간간격은 DAMBRK 모형내에서 최적의 값으로 자동적으로 계산하는 기능을 활용하였으며, 이 구간내의 중간댐으로는 의암댐, 청평댐, 팔당댐 등 3개의 댐이

존재한다. 상류단인 소양강댐으로의 유입유량은 가능최대홍수량으로 가정하였으며, 모의구간내의 주요 지천인 가평천, 홍천강, 조종천, 경안천, 왕숙천, 탄천, 중랑천 및 안양천은 측방유입으로 고려하여 설계홍수량이 유입되는 것으로 가정하였으며, 남한강을 지류로 고려하였다.

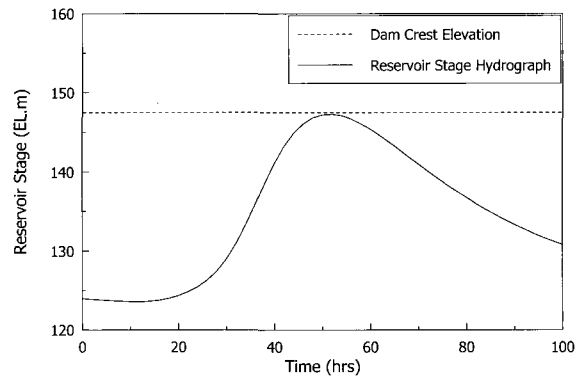
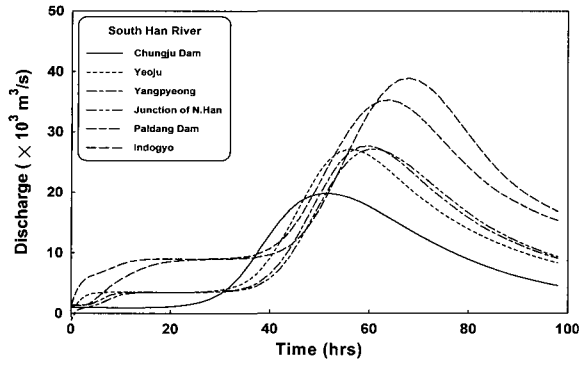
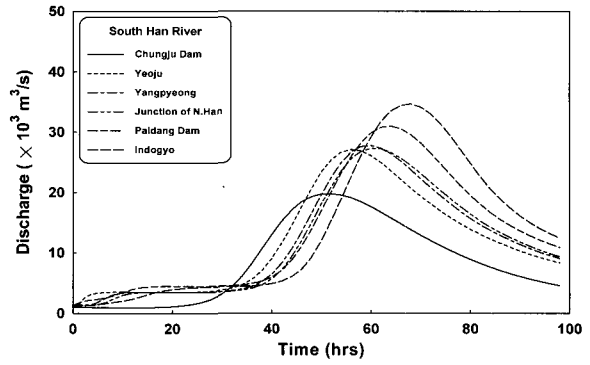


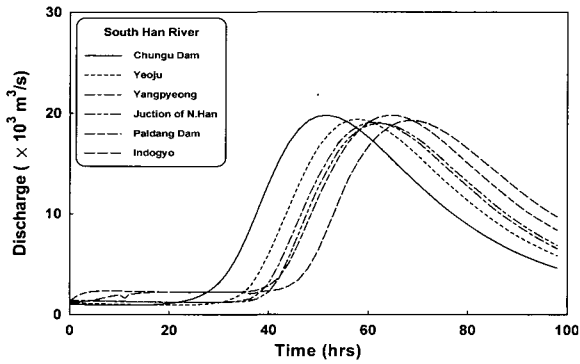
Fig. 7. 충주댐 저수위 수문곡선



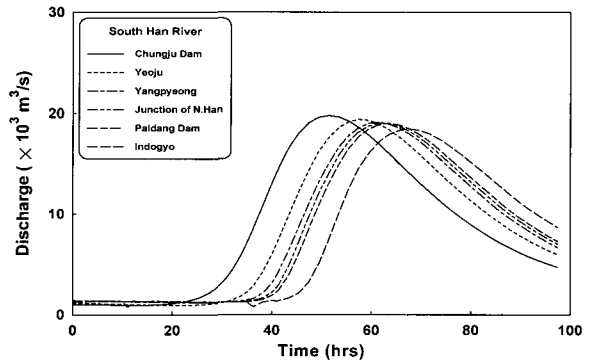
(a) SH-I 조건



(b) SH-II 조건

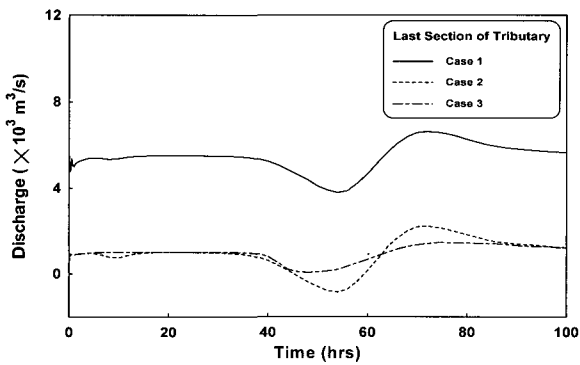


(c) SH-III 조건

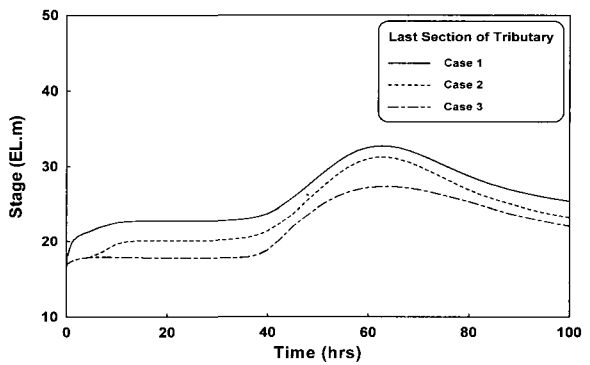


(d) SH-IV 조건

Fig. 8. 주요지점별 유량수문곡선 모의결과



(a) 유량수문곡선



(b) 수위수문곡선

Fig. 9. 지류 하류단 수문곡선

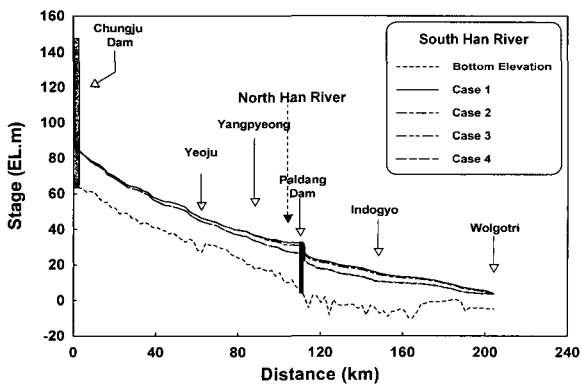
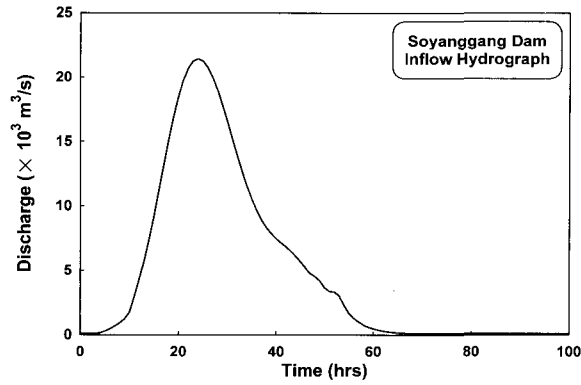


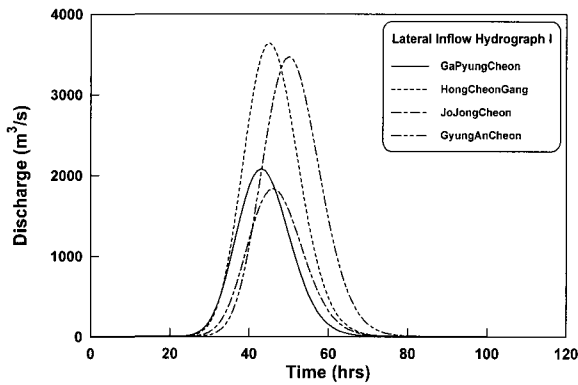
Fig. 10. 최고수위 종단양상

각 지천에서의 유량수문곡선은 해당 설계빈도에서의 홍수량을 이용하였으며 댐에서의 방류량은 여수로를 통한 자유유통식으로 운영되는 것으로 본 모의에서는 가정하였다. Fig. 11은 상류단 및 지천에서의 유입수문곡선을 나타내고 있다.

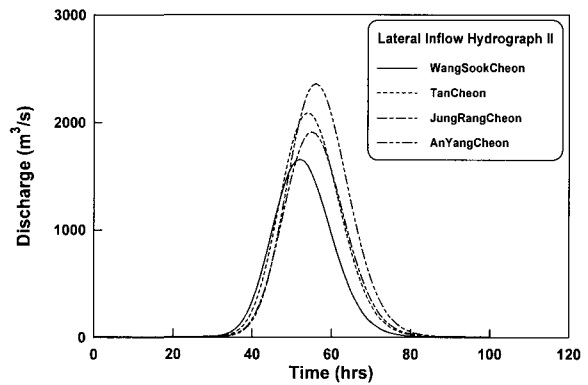
북한강에서의 홍수와 해석은 Table 4와 같이 지류인 남한강과 주요지천에서의 유입유량에 따른 4가지 모의기준에 의해서 실시하였다. Table 5는 4가지 모의기준에 대한 주요지점별 첨두유량, 첨두유량 도달시간, 첨두수위, 첨두수위 도달시간을 각각 나타내고 있다.



(a) 소양강댐 유입수문곡선



(b) 주요 지천 유입수문곡선 - I



(c) 주요 지천 유입수문곡선 - II

Fig. 11. 상류단 및 지천 유입수문곡선(북한강)

Table 4. 북한강 모의기준

모의조건	NH- I	NH- II	NH- III	NH- IV
남한강 유입유량(m ³ /s)	14,000	1,400	1,400	비고려
지천 유입유량(m ³ /s)	설계홍수량	설계홍수량	비고려	비고려

Table 5(a). 주요지점별 모의결과(NH- I 조건)

지점명	거리(km)	첨두유량(m ³ /s)	도달시간(hrs)	최고수위(m)	도달시간(hrs)
댐직상류부	0.0	7,563	—	201.86	—
춘천	10.9	7,548	2.4	74.91	2.4
의암댐	18.4	7,545	4.8	67.46	4.8
청평댐	61.3	12,798	7.2	49.63	7.2
팔당댐	89.9	30,996	12.0	30.19	12.0
인도교	123.98	34,782	15.6	14.52	18.0

Table 5(b). 주요지점별 모의결과(NH- II 조건)

지점명	거리(km)	첨두유량(m ³ /s)	도달시간(hrs)	최고수위(m)	도달시간(hrs)
댐직상류부	0.0	7,560	—	201.85	—
춘천	10.9	7,545	2.4	74.91	1.2
의암댐	18.4	7,544	3.6	67.45	3.6
청평댐	61.3	12,810	7.2	49.64	7.2
팔당댐	89.9	18,686	10.8	25.71	10.8
인도교	123.98	22,764	14.4	12.38	16.8

Table 5(c). 주요지점별 모의결과(NH-III 조건)

지점명	거리(km)	첨두유량(m ³ /s)	도달시간(hrs)	최고수위(m)	도달시간(hrs)
댐직상류부	0.0	7,563	—	201.86	—
춘천	10.9	7,548	2.4	74.92	2.4
의암댐	18.4	7,545	4.8	67.41	4.8
청평댐	61.3	7,480	9.6	46.95	9.6
팔당댐	89.9	8,828	13.2	21.28	13.2
인도교	123.98	8,613	19.2	7.82	24.0

Table 5(d). 주요지점별 모의결과(NH-IV 조건)

지점명	거리(km)	첨두유량(m ³ /s)	도달시간(hrs)	최고수위(m)	도달시간(hrs)
댐직상류부	0.0	7,564	—	201.86	—
춘천	10.9	7,551	2.0	74.92	2.0
의암댐	18.4	7,549	4.0	67.41	4.0
청평댐	61.3	7,484	8.8	46.95	8.8
팔당댐	89.9	7,456	12.4	22.54	12.4
인도교	123.98	7,171	18.4	7.21	24.4

Fig. 12는 소양강댐에서의 저수위 수문곡선을 나타내고 있으며, Fig. 13은 시나리오별 주요지점에 대한 유량 수문곡선을 나타내고 있다. 또한 Fig. 14는 지류 하류단에서의 유량 및 수위수문곡선을 나타내고 있는데, 본류

부의 홍수량으로 인해 지류에서의 역류흐름이 발생되고 있음을 확인할 수 있으며, Fig. 15는 시나리오별 북한강 전체 하도구간에 대한 최고수위의 종단양상을 나타내고 있다.

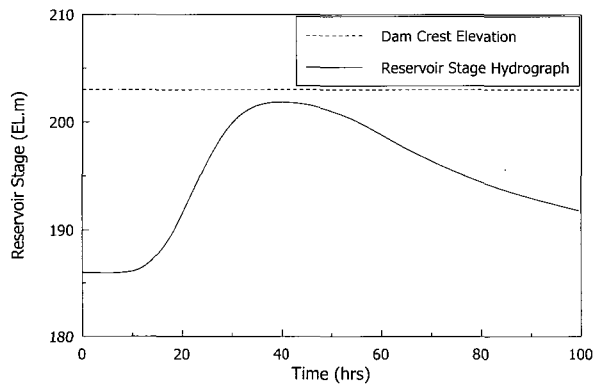
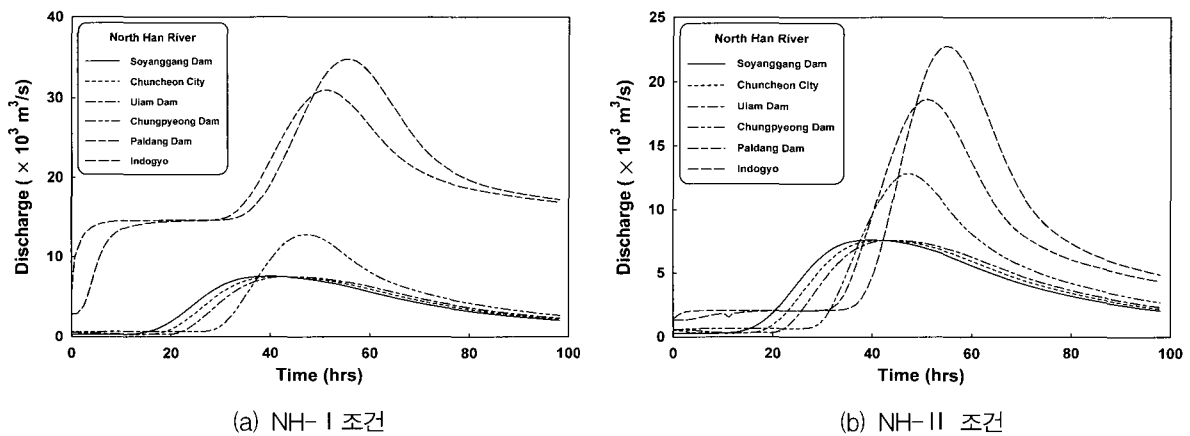


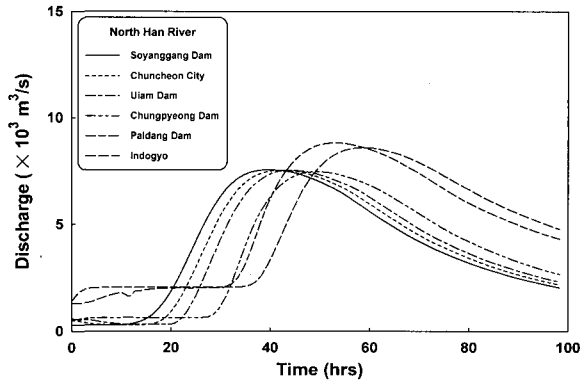
Fig. 12. 소양강댐 저수위 수문곡선



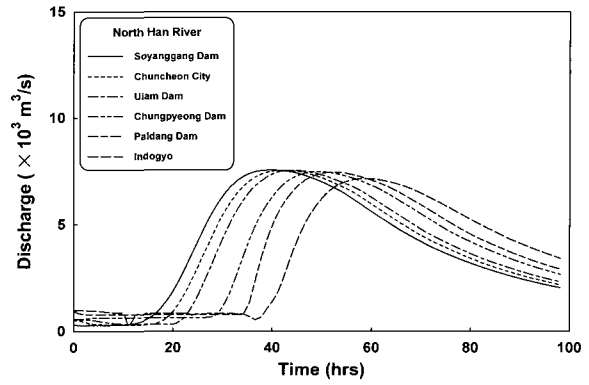
(a) NH- I 조건

(b) NH- II 조건

Fig. 13. 주요지점별 유량수문곡선 모의결과(계속)

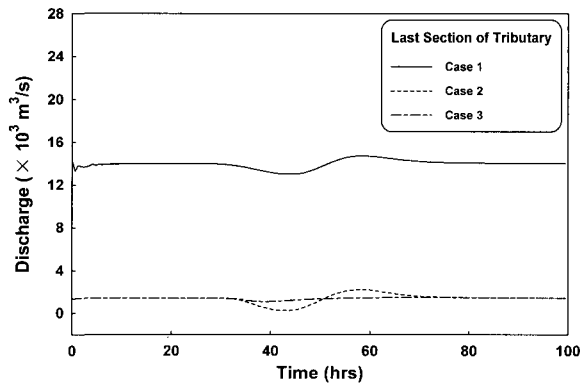


(c) NH-III 조건

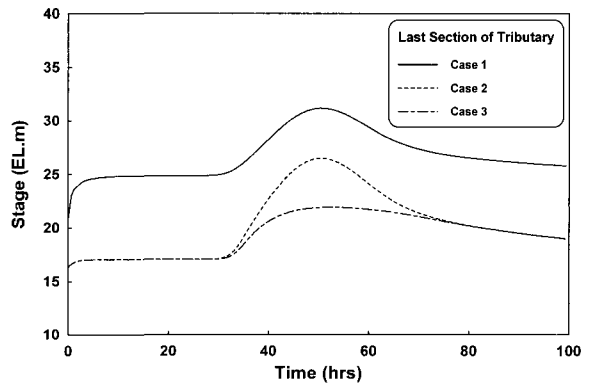


(d) NH-IV 조건

Fig. 13. 주요지점별 유량수문곡선 모의결과



(a) 유량수문곡선



(b) 수위수문곡선

Fig. 14. 지류 하류단 수문곡선

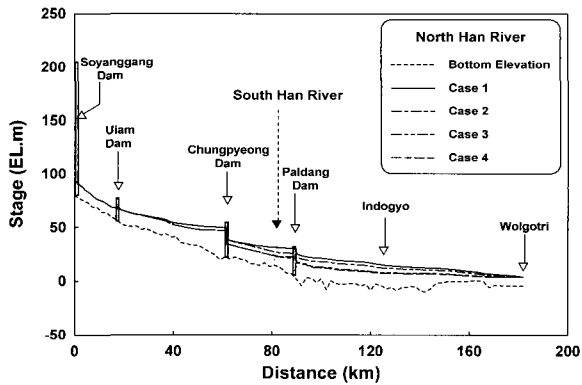


Fig. 15. 최고수위 종단양상

5. 결론

본 연구에서는 DAMBRK 모형을 이용하여 한강유역에 대한 댐의 영향을 고려한 동역학적 홍수추적을 실시하였다. 또한 다양한 형태의 가상의 저수지에 대한 동역학적 추적과 저류량 추적에서의 유출량을 검토하였는데, 본 연구를 통해서 얻은 주요 결론은 다음과 같다.

(1) 본 연구에서는 저수지에서의 홍수추적에 사용되

는 동역학적 추적(dynamic routing)과 저류량 추적(storage routing)을 이용하여 저수지에서의 유출량을 비교·분석함으로써 저수지 홍수추적 방법 선택의 기준을 제시하였다.

(2) 저수지의 길이가 50km 이상이고, 유입수문곡선의 침투시간이 1시간 미만인 경우에는 저수지 홍수추적에 있어서 저수지에서의 흐름의 동역학적인 특성과 시간변동성의 영향으로 인하여 동역학적 추적에 의한 홍수추적방법이 타당한 것으로 판단되었다.

(3) 동역학적 홍수추적 모형인 DAMBRK 모형을 1990년 9월과 1995년 8월에 한강수계에서 발생한 홍수에 대해서 적용하여 임의지점에서의 실측치와의 비교를 통한 모의의 적용성을 입증하였다.

(4) 남한강 및 북한강에서의 극한홍수조건에 대해서 중간댐들의 영향을 고려한 홍수추적을 실시하였으며, 주요지점별 홍수위, 침투유량 및 홍수파 도달시간 등을 산출하였다.

(5) 본 연구를 통해서 향후 한강 및 중간댐의 영향을

고려한 댐 하류부에서의 정확한 홍수위 예측이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업(03산학연C03-01)에 의한 도시홍수재해관리기술 연구사업단의 연구성과입니다.

참고 문헌

건설교통부, 한국수자원공사 (1997). **기존댐 용수공급 능력조사(한강수계)** 보고서.

건설교통부, 한강홍수통제소 (1991). **한강수계 유출 프로그램 개선방안**.

김상호, 김원 (2002). “한강 하류부 흐름해석을 위한 수리학적 모형의 구축.” **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제35권, 제5호, pp. 485-500.

김원, 김창완, 윤광석, 윤태훈 (2001). “신곡수중보와 조석운동을 고려한 한강 본류의 흐름특성.” **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제21권, 제3-B호, pp. 305-314.

유명관, 전경수 (2004). “홍수시 댐 운영방안을 내부 경계조건으로 포함하는 부정류 계산모형.” **한국수자원**

학회 논문집, 한국수자원학회, 제37권, 제12호, pp. 1043-1054.

이정규, 이창현 (2004). “수리학적 홍수추적 모형을 이용한 한강하류부의 조도계수 산정.” **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제24권, 제1-B호, pp. 25-32.

한미연합군사령부 (1994). **한강 통제체계 보고서(1) (한강유역 측량/조사)**

한국수자원공사 물관리종합상황실 (2000). **'00 다목적 댐 운영 종합 보고서**.

Amein, M. and Fang, C.S. (1970). “Implicit Flood Routing in Natural Channel.” *Journal. of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 96, No. HY12, pp. 2481-2500.

Fread, D.L. (1985). *DAMBRK: The NWS Dam-Break Flood Forecasting Model*. NWS Report, National Weather Service, Silver Spring, Maryland.

Price, J.T., Lowe, G.W. and Garrison, J.M. (1974). “Unsteady flow modeling of dam-break waves.” *Proceedings of Dam-Break Flood Modeling Workshop*, US Water Resources Council, pp. 90-130.

(논문번호:05-04/접수:2005.01.18/심사완료:2005.08.01)