

수리학적 모형을 이용한 낙동강 하류구간에서의 홍수도달시간 시나리오 분석

Scenario Analysis of Flood Travel Time using Hydraulic Model in Downstream of Nakdong River

최현구* / 이을래**
Choi, Hyungu / Lee, Eulrae

Abstract

Modification of travel time is necessary in all Nakdong river basin because hydrological conditions of Nakdong river basin were changed after major rivers project. Also calculation of flood travel time at between sections of weirs is necessary. In this study, flood travel time was calculated using hydraulic model and the latest topographical data from Changnyeong-Haman weir to Nakdong river estuary bank. Analysis of discharge and stage conditions were carried out. 84 of the scenarios were organized according to flow rate, discharge type, boundary conditions, and tributary conditions. Flood travel time of initial and peak were calculated with discharge and stage conditions, respectively. The results of this study will be available in practical business work such as flood forecast warning and weir operation on algae removal.

Keywords : travel time, hydraulic model, scenario analysis

요 지

대하천사업 이후 낙동강 유역의 수문환경이 변화함에 따라 낙동강 전 유역에 대한 도달시간 재산정도 필요한 사항이며 보와 보 사이 구간에 대한 홍수도달시간 산정도 필요한 현실이다. 이에 본 연구에서는 대하천사업 이후의 지형을 반영하여 창녕함안보에서 하구둑까지 홍수도달시간을 수리학적 모형을 이용하여 산정하였으며, 유량조건과 수위조건의 경우로 나누어 분석하였다. 본 연구에서는 방류유량, 방류형식, 하류단 경계조건, 지류의 유무에 따라 총 84개의 시나리오를 구성하여 유량과 수위에 대해 초기홍수도달시간과 첨두홍수도달시간을 각각 산정하였다. 본 연구에서 분석된 다양한 시나리오들은 홍수에경보시스템, 조류배제운영 등 현장에서 활용 가능할 것으로 사료된다.

핵심용어 : 도달시간, 수리학적 모형, 시나리오 분석

1. 서 론

홍수의 도달시간은 하도의 어떤 구간을 홍수파가 통과

하는데 소요되는 시간으로서 상류단에서 홍수수문곡선의 첨두유량 발생시각부터 하류단 통과 홍수수문곡선의 첨두유량 발생까지의 시간을 나타내는 것으로 볼 수 있으며

*K-water 연구원 위촉선임연구원(e-mail: choihg@kwater.or.kr)
Senior researcher, K-water Institute, Daejeon 305-730, Korea

**교신저자, K-water 연구원 책임연구원 (e-mail: erlee@kwater.or.kr, Tel: 8242-870-7433)
Corresponding Author, Principal researcher, K-water Institute, Daejeon 305-730, Korea

대규모 댐, 보 및 하천에서 상류 유출량이 하류 주요지점까지 도달하는데 소요되는 시간으로 정의될 수도 있다. 홍수파의 도달시간은 홍수에경보시스템, 도시우수배제시스템, 하수오염물질의 소거시설 및 하천 수문관측망의 운영과 관리에서 상당히 중요한 요인이 된다. 이는 수공구조물의 최적운전을 위해 필요할 수 있으며, 하천유량을 조절하기 위한 기초자료로 활용이 가능하다.

그간 홍수도달시간 산정에 관한 연구를 살펴보면, Lee (2002)는 금강유역에서 Muskingum 모형, 운동파 모형, FLDWAV 모형, 상관계수 방법을 이용하여 도달시간을 산정 및 비교하여 FLDWAV 모형의 결과가 가장 정확도가 높게 산정되었다. Kang (2008)은 대청댐 수문방류에 의한 하류 주요지점의 방류수 도달시간을 FLDWAV, LOOPNET, HEC-RAS, Muskingum 방법에 의해 산정하였다. Hwang et al. (2008)은 기존 HEC-RAS 모형으로 산정한 금강유역의 홍수도달시간의 신뢰도를 높이기 위하여 실시간 계측 장비를 이용하여 모형의 매개변수 검보정을 수행하였으며, Kim and Lee (2011)도 센서 부자를 이용하여 남한강 유역의 도달시간을 실측하여 유출량별 평균도달시간 관계식을 보완하였다. Kim et al. (2010)은 경험식에 의한 홍수도달시간 산정의 정확도를 높이기 위하여 상세 지형정보를 활용하는 연구를 수행하였으며, Choi et al. (2011)은 DAMBRK 모형을 이용하여 저수지 가상붕괴 시나리오 해석을 수행하여 하류지역에 홍수파 도달시간을 산정하였다.

홍수도달시간은 유역의 하류로 물이 이동하는 시간이 아니라 홍수파가 이동하는데 걸리는 시간으로서 홍수파는 물입자보다 빠르게 이동하기 때문에 도달시간은 수로의 유속으로 계산하는 것 보다 빨리 도달하게 된다. 통상 하천의 관측수문곡선을 통해서 홍수도달시간을 산정할 수 있는데, 하도구간 상류침두유량과 하류침두유량을 회귀분석하여 홍수도달시간을 구하는 방법이 있고, 상류최고수위와 하류최고수위를 회귀 분석하여 구할 수도 있다. 이처럼 침두유량의 변화치를 적용할지, 최고수위의 변화치를 적용할 지는 아직까지 정형화되어 있지 않고 있는 실정이다.

또한 일반 하천에서의 홍수도달시간과는 달리, 상류댐으로부터 홍수를 방류할 경우 하류 지점까지의 홍수도달시간에 대해서는 아직 구체적으로 정의된 바가 없으며, 통상적인 개념의 홍수도달시간과는 상이하기 때문에 개념을 정리할 필요가 있다(Ministry of Construction & Transportation, 2006).

대하천사업 이후 낙동강 유역의 수문환경이 변화함에

따라 낙동강 전 유역에 대한 도달시간 재산정도 필요한 상황이며 보와 보 사이 구간에 대한 홍수도달시간 산정도 필요한 현실이다. 이에 본 연구에서는 대하천사업 이후의 지형을 반영하여 창녕함안보에서 하구둑까지 홍수도달시간을 수리학적 모형을 이용하여 산정하였으며, 유량조건과 수위조건으로 나누어 분석하였다. 빈도별 홍수량뿐만 아니라 저유량 방류의 경우도 모의를 수행하여 향후 조류방류를 위한 flushing 운영에도 참고할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 홍수도달시간의 정의

현재 일반적으로 사용하고 있는 상류댐 방류시 홍수도달시간은, 댐구간내의 초기하도 유출조건하에서 상류댐의 여수로 수문을 개방하여 최대방류량에 도달한 직후 수문을 다시 폐쇄하여 초기 유출상태로 복귀할 경우, 상·하류 지점의 침두사이의 시간간격을 통상적인 개념의 홍수파전파시간 t_1 으로 정의하기도 한다. 그러나 대부분의 경우 홍수시 댐방류는 댐 여수로의 수문을 어떤 등급을 가지고 상당기간 개방하여 연속 방류하는 것이 통상이며 이 경우 Fig. 1에서 나타난 t_2 에 표시한 바와 같이 최대 방류시점시각으로부터 하류댐 하류로의 침두방류(최대수위) 시각까지의 시간간격을 홍수도달시간으로 정의한다(Yoon and Park, 1992).

t_3 과 t_4 는 본 연구에서 사용한 일시방류와 연속방류시의 초기홍수파 도달시간으로 일반적으로 EAP(Emergency Action Plan)에서 주로 사용하며 최초홍수파 도달시간이라고도 한다. 초기홍수파 도달시간은 침두홍수파가 도달하기 전에 해당 지역에서 대피를 하거나 수문구조물의 운영에 사용된다. 초기홍수파 도달시간은 일반적으로 주요지점에서 수문곡선이 상승곡선으로 바뀌는 변곡점으로 도달시간을 제시하나 본 연구에서는 많은 시나리오에서 각 시나리오별로 변곡점을 찾기에는 주관적인 요

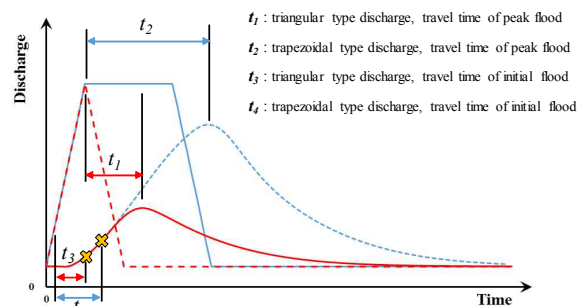


Fig. 1. Definition of Travel Time

소가 많이 개입될 것으로 판단되었다. 이에 본 연구에서는 일반적인 초기홍수와 도달시간 보다 짧을 수는 있으나 객관성을 유지하기 위해서, 기저유량과 첨두홍수량의 차이에서 10% 유량이 증가하는 시간을 찾아 초기홍수와 도달시간으로 적용하였다.

3. 대상구간 및 조도계수의 보정

현재 실무에서 주로 활용되고 있는 홍수도달시간의 분석방법으로는 경험공식에 의한 도달시간 산정 방법과 전파속도 C를 이용하는 방법, 1차원 하도추적 모형을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션 방법, 실측에 의한 도달시간 산정 방법 등이 있다.

수리학적 모형을 이용하는 방법은 하도단면, 방류수문곡선, 지류유입곡선, 하류수문곡선을 활용하여 시뮬레이션을 수행하며, 부정류 해석을 통해 홍수와의 전파양상을 산정할 수 있다. 국내에서 주로 사용하는 1차원 부정류 해석 모형은 미국육군공병단에서 개발한 HEC-RAS 모형과 미국기상청에서 개발한 FLDWAV 모형이 있다. 본 연구에서는 FLDWAV 모형을 이용하여 다양한 시나리오 해석을 통해 도달시간을 산정하였다.

3.1 대상구역 및 적용사상

도달시간을 산정하기 위한 대상구역은 낙동강 하류의 창녕함안보에서 낙동강 하구둑을 대상구간으로 선정하였다. 모형에 적용된 하도단면은 2012년에서 2013년 사이에 실측된 낙동강 단면을 이용하였다. 대상구간에서 하천연장은 약 75.7km이며, 주요 지류로는 청도천, 밀양강, 양산천이 낙동강으로 합류한다. 상·하류단 경계조건 사이에 6

개 지점을 설정하여 유출수문곡선의 변화와 도달시간을 분석하였다. 주요 지점은 Fig. 2와 같이 상류로부터 임해진 수위표 지점(5.16 km), 청도천 합류후 지점(10.53 km), 밀양강 합류후 지점(29.69 km), 양산천 합류후 지점(54.26 km), 구포대교 지점(63.43 km), 낙동대교 지점(70.34 km)으로 선정하였다.

모형의 보정의 경우에는 창녕함안보의 실측유량이 WAMIS에 표기되지 않아 부득이하게 임해진수위표의 실측자료를 상류단 경계조건으로 지정하였으며, 임해진수위표 지점의 수위-유량관계곡선을 이용하여 수위실측자료를 유량으로 환산하여 이용하였다. 보정결과는 수산수위표, 삼랑진수위표, 월촌수위표, 구포수위표 지점의 실측자료와 비교하였다.

모형 보정에 적용된 사상으로는 2012년 9월에 남부지방에 집중호우를 내린 태풍 ‘산바’ 사상을 적용하였다. 태풍 ‘산바’ 사상을 적용한 이유는 대하천사업 이후에 우리나라를 지난 태풍으로 Fig. 3과 같이 대상유역을 통과하였고, 수위실측자료의 활용이 가능하였기 때문에 선택하였다. 태풍 ‘산바’는 2012년 9월 11일에 발생하여 17일 12시에 경남 남해군으로 상륙하여 18일에 9시에 소멸하는 동안 경상남북도와 강원도 일대를 통과하였고, 특히 낙동강 유역에 많은 비를 내렸으며 삼랑진 446 mm, 산청 304 mm, 합천 295 mm의 강우량을 기록하였다.

모형의 보정은 태풍 ‘산바’의 진행경로와 활용가능한 실측자료들을 고려하여 2012년 9월 11일 1시부터 20일 5시까지 총 221시간의 모의시간을 설정하였고, 상류단 경계조건으로는 임해진 수위표 지점의 유량자료, 하류단 경계조건으로는 하구둑의 실측 수위자료를 이용하여 보정을 수행하였다.

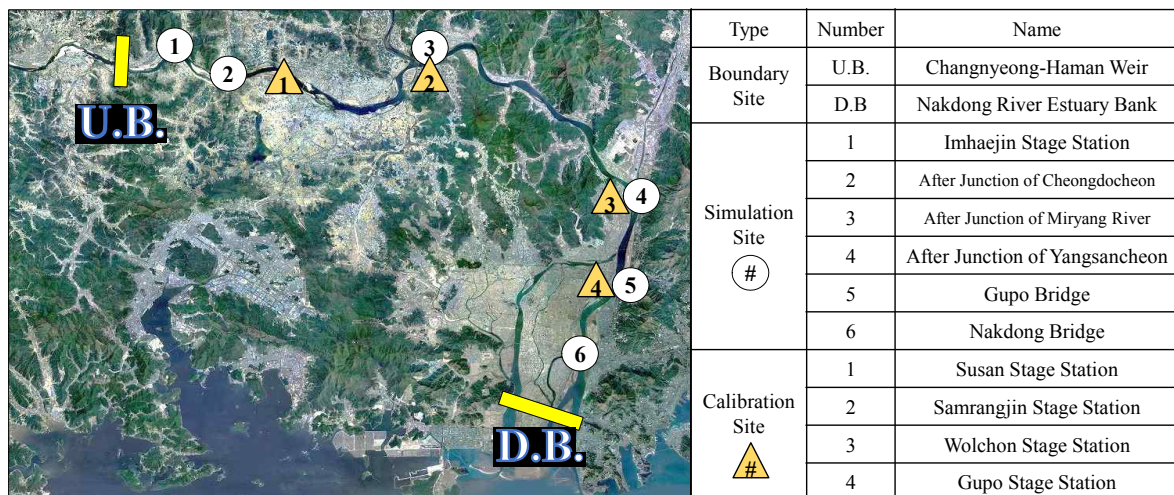


Fig. 2. Study Area

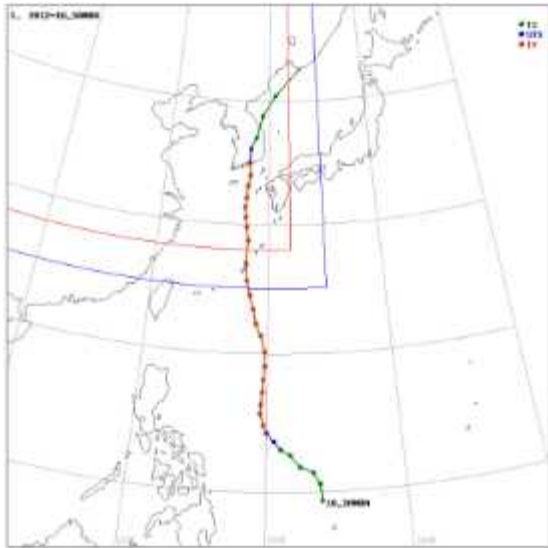


Fig. 3. Typhoon 'Sanba' Track

3.2 조도계수의 보정

1차원 부정류해석 모형에서 조도계수는 유량과 수위를 결정하는 중요한 매개변수로 작용한다. 통상적으로, 1차원 부정류해석 모형을 이용하여 부정류해석을 수행할 때 모든 경우가 동일하고 조도계수만 다르게 설정하는 조건에서 높은 조도계수의 결과와 낮은 조도계수의 결과를 비교해보면 다음과 같다. 조도계수가 낮을 경우에는 상류부의 침투수위는 낮아지며, 하류쪽으로 내려갈수록 침투유량은 커지는 결과를 나타내며, 반대로 조도계수가 높을 경우에는 상류부의 침투수위는 높아지고, 하류쪽으로 갈수록 침투유량은 작아지는 결과를 초래한다.

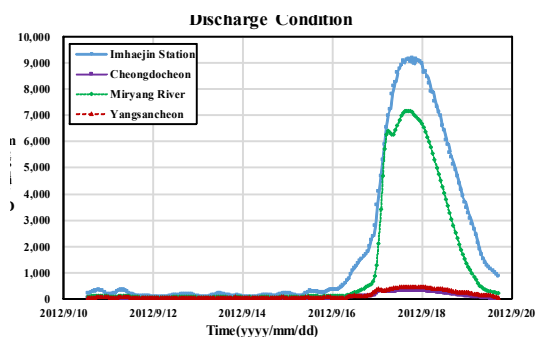
정확한 모의 결과를 얻기 위해서는 적절한 조도계수의 보정이 필요하며 본 연구에서는 낙동강수계 하천기본계획 보고서(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2009)를 참고하여 조도계수를 유량의 함수로 적

용하는 옵션을 선택하였다. Fig. 4의 (a)와 같이 상류단의 유량은 $63 \sim 9,169 \text{ m}^3/\text{s}$ 의 범위이며, 주요지류의 유량은 양산천, 밀양강, 청도천 각각 $20 \sim 443$, $33 \sim 7,159$, $3 \sim 312 \text{ m}^3/\text{s}$ 의 범위로 '산바'의 영향 전에는 대상유역에서는 $63 \sim 200 \text{ m}^3/\text{s}$ 정도의 저유량이 흐르며, 대상유역의 지형이 Fig. 4의 (b)와 같이 역경사가 많아 저유량에서 발산하는 문제가 발생하여 모형의 발산을 방지하기 위해 적정 범위의 조도계수를 사용하기 어려운 상황이다. 초기 발산을 방지하기 위해서 $0 \sim 100 \text{ m}^3/\text{s}$ 구간에서는 조도계수를 0.065를 적용하였고, $100 \sim 200 \text{ m}^3/\text{s}$ 구간에서는 0.055를 사용하였으며, 이외의 유량구간에서는 0.026~0.036의 범위로 적용하였다.

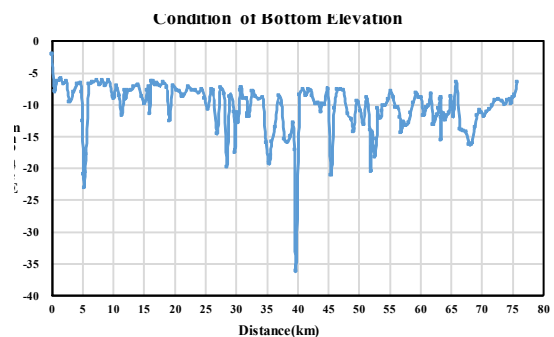
실측자료와 비교한 보정결과는 Fig. 5에 도시하였으며 결과의 통계치는 Table 1에 제시하였다. 보정결과는 실측 자료에 비해 수위가 상승하는 시간이 조금 늦었으며, 삼랑진수위표 지점에서는 모의결과의 침투값이 실측자료의 침투값보다 높은 값을 나타내었다. 결정계수(R^2)와 Nash-Sutcliffe 효율계수(NSEC)는 전 지점에서 높은 값으로 산정되었으며, 구포수위표 지점에서 가장 높은 값을 나타내었다. 평균제곱근오차(RMSE)는 수산수위표 지점이 가장 크게 나와 오차가 가장 큰 것으로 나타났으며, 반대로 구포수위표 지점이 가장 작은 값으로 산정되어 구포수위표 지점에서 오차가 가장 적은 것으로 나타났다. 모의결과와 실측결과 사이에 오차가 존재하나 조도계수의 적용범위가 적당한 것으로 판단하여 시나리오 분석에 적용하였다.

4. 시나리오 구성 및 분석

시나리오의 구성은 상류단 경계조건(방류유량, 방류형식), 하류단 경계조건, 지류의 유무에 따라 구분하였다. 상류단 경계조건에 해당하는 방류유량을 9개 조건으로 구분하였으며, 4가지의 가상방류량 조건과 5가지의 빈도홍수



(a) Discharge condition



(b) Condition of Bottom Elevation

Fig. 4. Condition of Discharge and Bottom Elevation

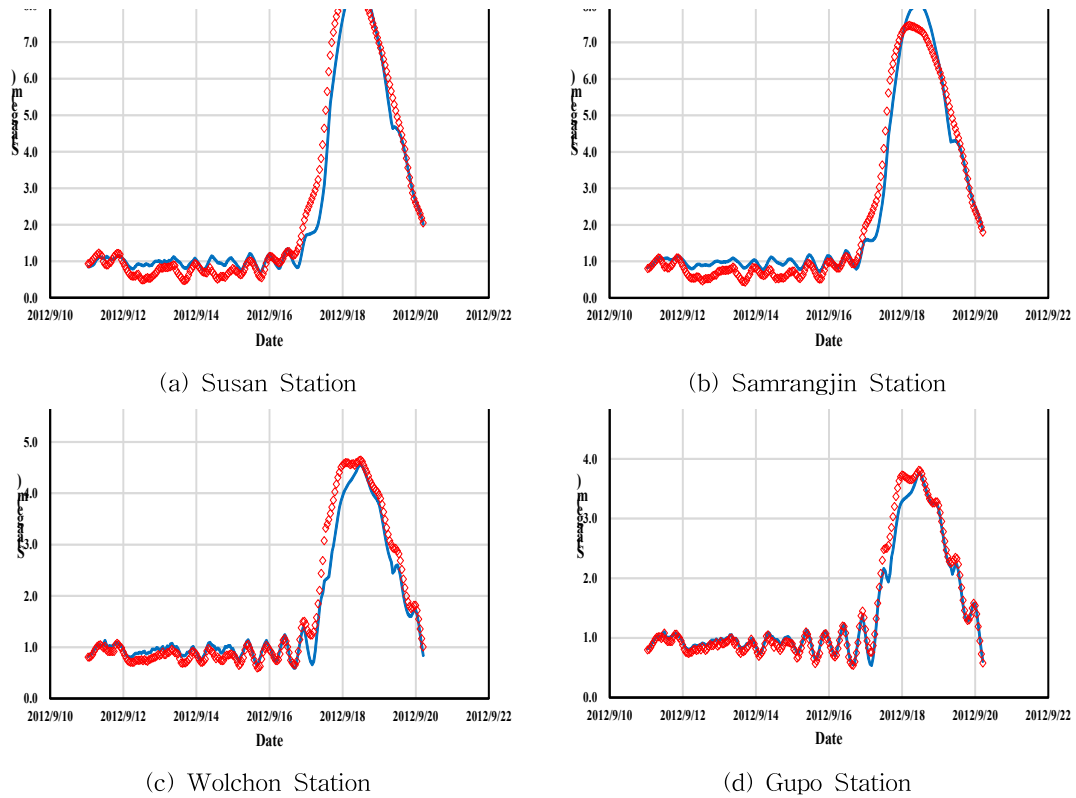


Fig. 5. Calibration Results (Typhoon 'Sanba' period)

Table 1. Relative Coefficients for Calibration Results

	Susan	Samrangjin	Wolchon	Gupo
R^2	0.973	0.970	0.971	0.985
RMSE (m)	0.460	0.418	0.283	0.150
NSEC	0.970	0.969	0.954	0.977

량을 사용하였다. 방류유량의 조건은 500 m³/s(기저유량 200 m³/s, 첨두유량 700 m³/s), 1,000 m³/s(기저유량 250 m³/s, 첨두유량 1,250 m³/s), 3,000 m³/s(기저유량 300 m³/s, 첨두유량 3,300 m³/s), 5,000 m³/s(기저유량 500 m³/s, 첨두유량 5,500 m³/s), 30년(14,000 m³/s), 50년(15,100 m³/s), 80년(16,100 m³/s), 100년(16,600 m³/s), 200년(18,100 m³/s) 빈도 홍수량을 적용하였다.

각 유량조건에서 유량방류형식은 사다리꼴 방류와 계단식 방류, 삼각형 방류형식으로 구분되었다. 방류형식의 차이는 첨두방류량이 지속되는 시간에 따라 분류되며, 삼각형 방류조건이 순간방류에 해당하며, 사다리꼴 방류형태는 첨두방류량이 일정시간 지속되었다가 다시 기저유량으로 방류되는 형태이고, 계단식 방류형태는 기저유량에서 첨두방류량에 다다르면 방류유량이 줄지 않고 계속

되는 형태의 방류조건이다.

하류단 경계조건으로는 500, 1,000, 3,000, 5,000 m³/s 방류량 조건에서는 낙동강 하구둑의 상시조절수위(1.0 m)를 적용하였으며, 빈도별 홍수량 조건에서는 각각의 홍수위(30년 2.27 m, 50년 2.50 m, 80년 2.71 m, 100년 2.81 m, 200년 3.11 m)를 적용하는 조건과 낙동강 하구둑의 500년 빈도 계획홍수위 3.70 m를 적용하는 조건으로 구분하였다.

모든 조건에서 각 구간에 합류하는 지류가 있는 경우와 없는 경우로 나누어 Table 2와 같이 총 84개의 시나리오 분석을 수행하였다. 지류의 유입조건은 낙동강수계 하천기본계획 보고서(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2009)를 참고하여 Table 3과 같이 구성하였다. 본류가 홍수량일 경우에는 각 빈도에서의 지류의 홍수량을 참고하였으며, 시나리오 1~4의 경우에는 30년 빈도 홍수

Table 2. Configuration Table of Scenario

Classification	D.B. (stage)	1.0 m				2.27 m	2.50 m	2.71 m	2.81 m	3.11 m	3.7 m				
	U.B. (discharge)	base flow/peak flow(m ³ /s)				frequency(yr)/flood frequency(m ³ /s)									
		200/700	250/1,250	300/3,300	500/5,500	30/14,000	50/15,100	80/16,100	100/16,600	200/18,100	30/14,000	50/15,100	80/16,100	100/16,600	200/18,100
Trapezoidal Type	Without Tributary	1_1	2_1	3_1	4_1	5_1	6_1	7_1	8_1	9_1	5_11	6_11	7_11	8_11	9_11
	With Tributary	1_2	2_2	3_2	4_2	5_2	6_2	7_2	8_2	9_2	5_21	6_21	7_21	8_21	9_21
Step Type	Without Tributary	1_3	2_3	3_3	4_3	5_3	6_3	7_3	8_3	9_3	5_31	6_31	7_31	8_31	9_31
	With Tributary	1_4	2_4	3_4	4_4	5_4	6_4	7_4	8_4	9_4	5_41	6_41	7_41	8_41	9_41
Triangular Type	Without Tributary	1_5	2_5	3_5	4_5	5_5	6_5	7_5	8_5	9_5	5_51	6_51	7_51	8_51	9_51
	With Tributary	1_6	2_6	3_6	4_6	5_6	6_6	7_6	8_6	9_6	5_61	6_61	7_61	8_61	9_61

Table 3. Tributary Conditions for Each Scenario

Classification	D.B. (stage)	1.0 m				2.27 m	2.50 m	2.71 m	2.81 m	3.11 m	3.7 m				
	U.B. (discharge)	base flow/peak flow(m ³ /s)				frequency(yr)/flood frequency(m ³ /s)									
		200/700	250/1,250	300/3,300	500/5,500	30/14,000	50/15,100	80/16,100	100/16,600	200/18,100	30/14,000	50/15,100	80/16,100	100/16,600	200/18,100
Choengdocheon	11	21	64	107	300	300	300	300	400	300	300	300	300	400	
Miryang River	61	121	364	607	1,700	2,000	2,300	2,400	2,700	1,700	2,000	2,300	2,400	2,700	
Yangsancheon	11	21	64	107	300	300	300	400	500	300	300	300	400	500	

량 14,000 m³/s와 방류량의 비를 이용하여 산정하였다.

Fig. 6은 시나리오 9의 모의결과이다. 시나리오 9는 상류단 경계조건으로 200년 빈도 홍수량을 적용하였고, 하류단 경계조건으로는 200년 빈도 홍수위 3.11m를 적용한 시나리오로 방류형태와 지류의 유무에 따라 6개의 세부시나리오로 구분된다. 사다리꼴 방류에서 지류가 없는 경우와 있는 경우가 각각 9_1과 9_2이며, 계단식 방류에서 지류가 없는 경우와 있는 경우가 9_3과 9_4이고, 삼각형 방류에서 지류가 없는 경우와 있는 경우가 9_5와 9_6이다.

Table 4는 시나리오 9에서 모의된 유량과 수위조건에서의 초기도달시간과 침투도달시간을 정리한 표이다. 시나리오 9_3과 9_4는 계단식방류의 결과로 Fig. 4. (c)와 (d)에서 보는 것과 같이 시간이 흐름에 따라 각 지점에서 유량이 수렴하는 것처럼 보이지만 모의결과에서 소수점 자리에서 계속 상승하는 것으로 나타나, 모의결과에서 침투도달시간이 모의 종료시간으로 나타나는 오류가 발생하여 표에서 정리하지 않았다. 또한 수위조건에서 하류단 경계조건 지점인 하구둑 지점에서는 수위를 3.11m로 정했기 때문에 도달시간이 '0'으로 표시되기 때문에 정리하

지 않았다.

홍수과의 도달시간을 살펴보면 각 지점에서 유량의 침투가 도달한 후에 수위의 침투가 도달하는 것을 알 수 있으며, 일시방류(삼각형 형태) 조건이 계속방류(사다리꼴 형태, 계단식) 조건보다 침투유량은 적으나 침투유량의 시간은 빠른 것으로 나타났다.

침투홍수과의 도달시간은 지류가 있는 경우가 없는 경우보다 짧은 결과를 보였으며, 유량이 증가함에 따라 유속도 빨라져서 도달시간이 짧아지는 것으로 생각된다. 반대로 초기홍수과의 도달시간은 '기저유량+(침투유량-기저유량)×0.1'이라는 가정 때문에 유량이 증가하는 하류로 갈수록 지류가 있는 경우에 지류가 없는 경우보다 도달시간이 더 늘어나는 것으로 나타났다. 초기홍수과 도달시간에 대해서는 더 객관적이고 신뢰도 높은 분석방법 제시가 필요할 것으로 판단된다.

5. 시나리오 결과 분석 및 고찰

하류에 유량과 수위의 상승에 영향을 가장 많이 주는

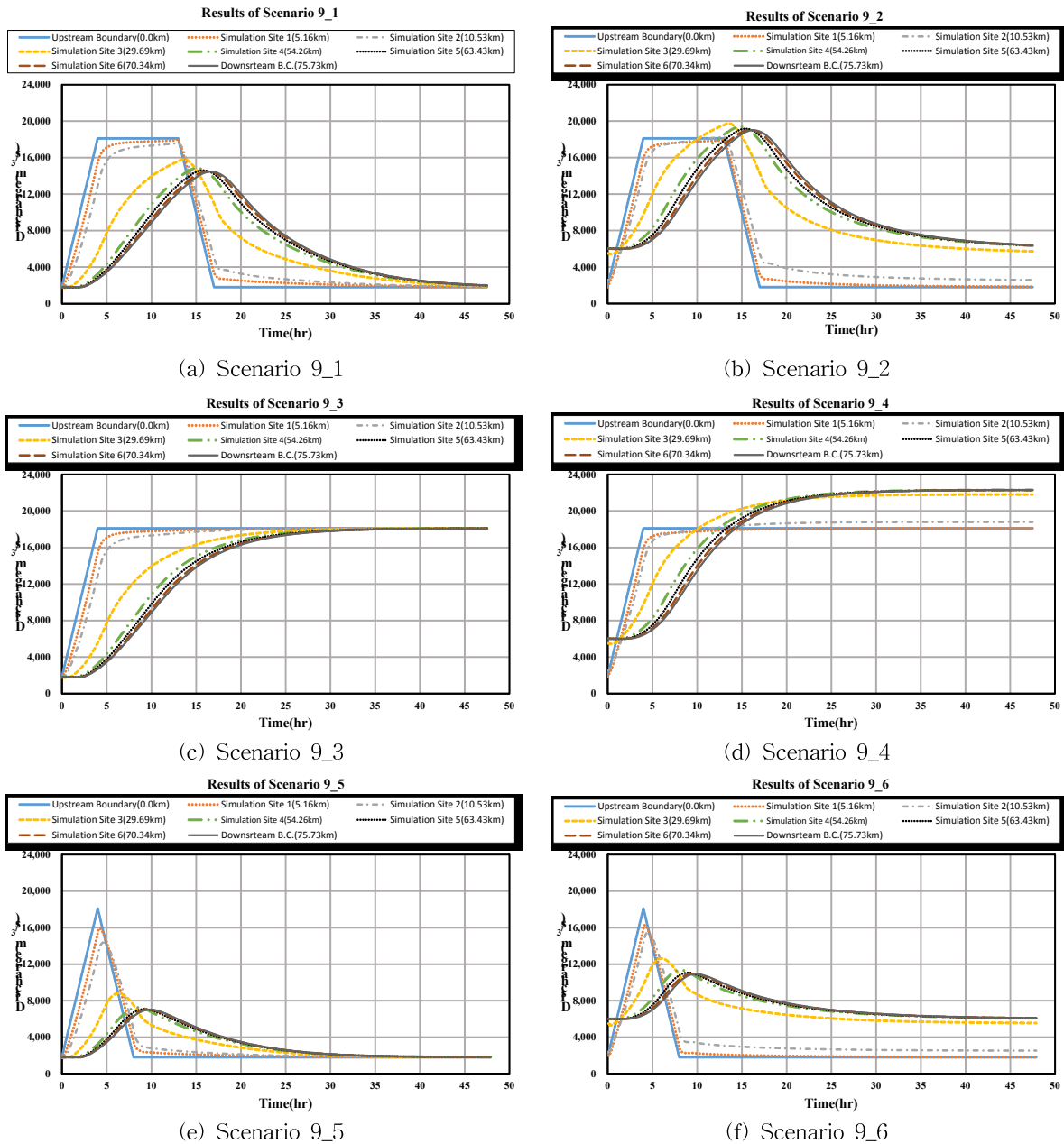


Fig. 6. Results of Scenario 9

방류형태는 계단식 방류형태이며, 다음으로 사다리꼴, 삼각형 방류의 형태인 것으로 분석되었다. 그렇지만 계단식 방류형태에서 침투홍수와 도달시간은 미세하게 수렴하렴하지 않아 제시하지 못하였다. 또한 계단식 방류와 사다리꼴 방류의 경우 기저유량에서 침투유량까지 상승하는 방류곡선형태가 동일하기 때문에 초기홍수와 도달시간은 일치하는 것으로 분석되었다.

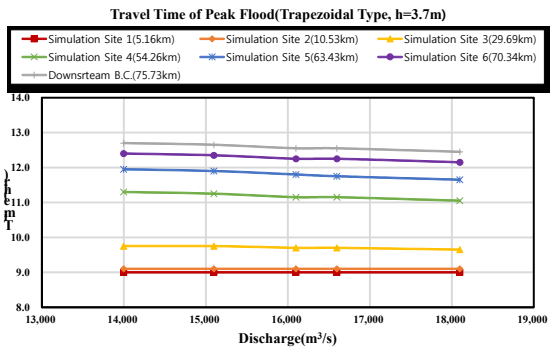
시나리오 1~4의 경우 빈도별 홍수량에 미치지 못하는 저유량을 방류하는 조건이며, 하류단 경계조건을 하구둑

의 상시조절수위 1.0m로 설정한 조건으로 이 경우에는 방류량이 늘어남에 따라 도달시간이 늘어나는 것을 확인할 수 있었으며, 또한 지류가 없는 경우보다 있는 경우에서 도달시간이 하구둑을 기준으로 0.15~0.20시간 더 늘어나는 것으로 확인되었다. 이는 유량이 늘어나는 것보다 하류단 경계조건에 영향을 더 큰 것으로 판단된다.

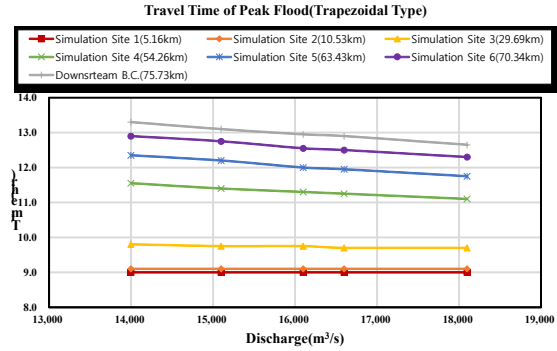
Fig. 7~10은 시나리오 5~9의 결과를 지점별로 유량과 도달시간과의 상관관계를 도시한 그래프이며, 빈도별 홍수량일 때 하류단 경계조건에 따라 도달시간의 패턴분석

Table 4. Travel Time Results of Scenario 9 (unit : hr)

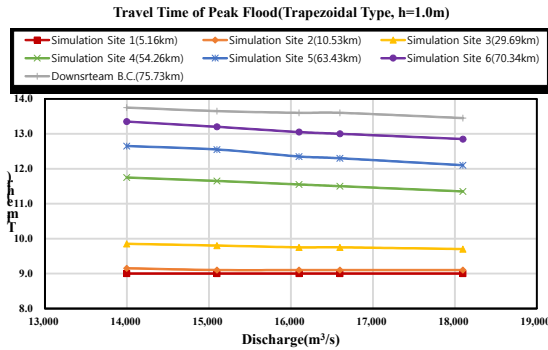
Classification		Discharge Condition						Stage Condition					
		9_1	9_2	9_3	9_4	9_5	9_6	9_1	9_2	9_3	9_4	9_5	9_6
Simulation Site 1 (5.2 km)	initial	0.35	0.27	0.35	0.27	0.29	0.21	0.74	0.80	0.74	0.80	0.52	0.50
	Peak	9.00	9.00	-	-	0.15	0.15	9.10	9.10	-	-	0.85	0.80
Simulation Site 2 (10.5 km)	initial	0.71	0.50	0.71	0.50	0.58	0.40	1.21	1.20	1.21	1.20	0.86	0.77
	Peak	9.10	9.10	-	-	0.65	0.50	9.30	9.30	-	-	1.40	1.40
Simulation Site 3 (29.7 km)	initial	2.09	1.84	2.09	1.84	1.45	1.21	2.68	2.35	2.68	2.35	1.98	1.70
	Peak	9.70	9.60	-	-	2.30	2.00	10.25	10.05	-	-	3.50	3.15
Simulation Site 4 (54.3 km)	initial	3.45	3.74	3.45	3.74	2.48	2.66	4.33	4.18	4.33	4.18	2.97	3.12
	Peak	11.10	10.80	-	-	4.55	4.20	11.70	11.40	-	-	5.10	4.90
Simulation Site 5 (63.4 km)	initial	3.84	4.38	3.84	4.38	2.82	3.22	4.86	4.71	4.86	4.71	3.18	3.49
	Peak	11.75	11.40	-	-	5.25	5.00	12.20	11.85	-	-	5.50	5.40
Simulation Site 6 (70.3 km)	initial	4.04	4.76	4.04	4.76	2.98	3.55	5.45	5.35	5.45	5.35	3.35	3.92
	Peak	12.30	11.90	-	-	5.65	5.50	12.55	12.20	-	-	5.75	5.75
Downstream Boundary (75.7 km)	initial	4.15	4.99	4.15	4.99	3.07	3.76	-	-	-	-	-	-
	Peak	12.65	12.30	-	-	5.85	5.85	-	-	-	-	-	-



(a) D.B.: h=3.7m

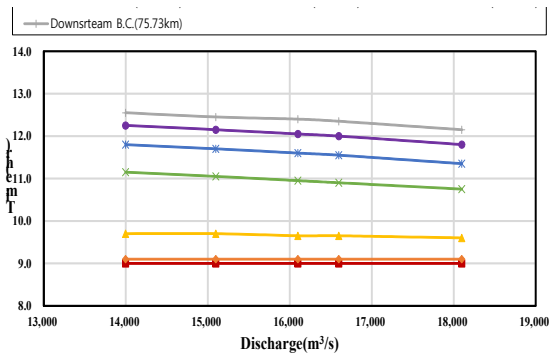


(b) D.B.: Flood Stage

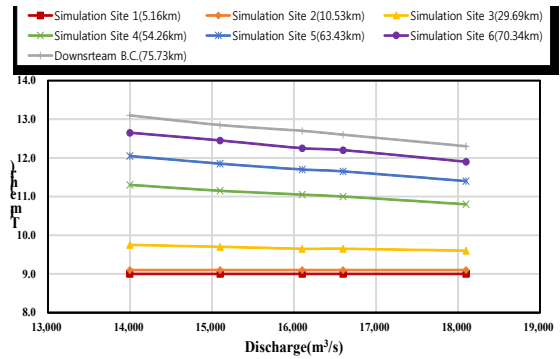


(c) D.B.: h=1m

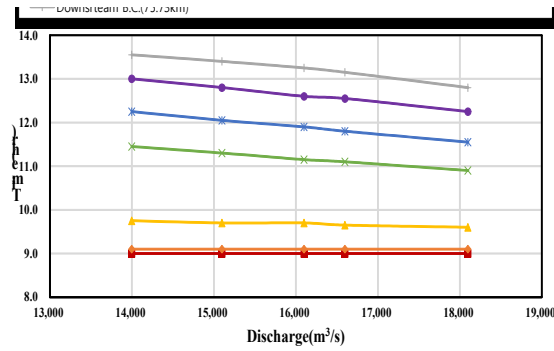
Fig. 7. Travel Time of Peak Flood at Each Site (Trapezoidal Type, Without Tributary)



(a) D.B.: h=3.7m

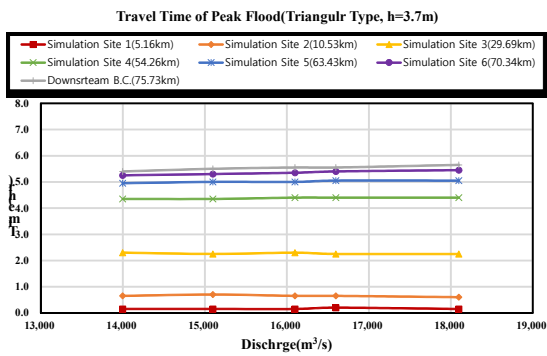


(b) D.B.: Flood Stage

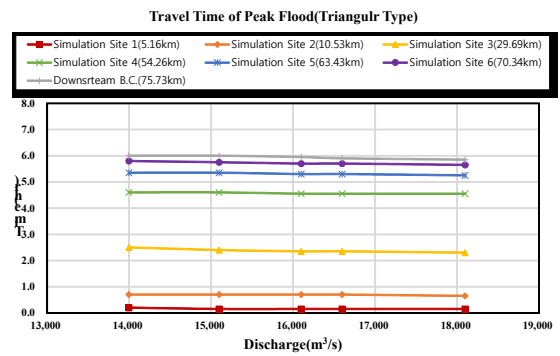


(c) D.B.: h=1m

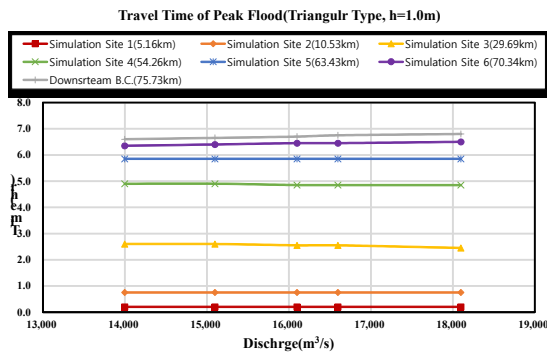
Fig. 8. Travel Time of Peak Flood at Each Site (Trapezoidal Type, With Tributary)



(a) D.B.: h=3.7m



(b) D.B.: Flood Stage



(c) D.B.: h=1m

Fig. 9. Travel Time of Peak Flood at Each Site (Triangular Type, Without Tributary)

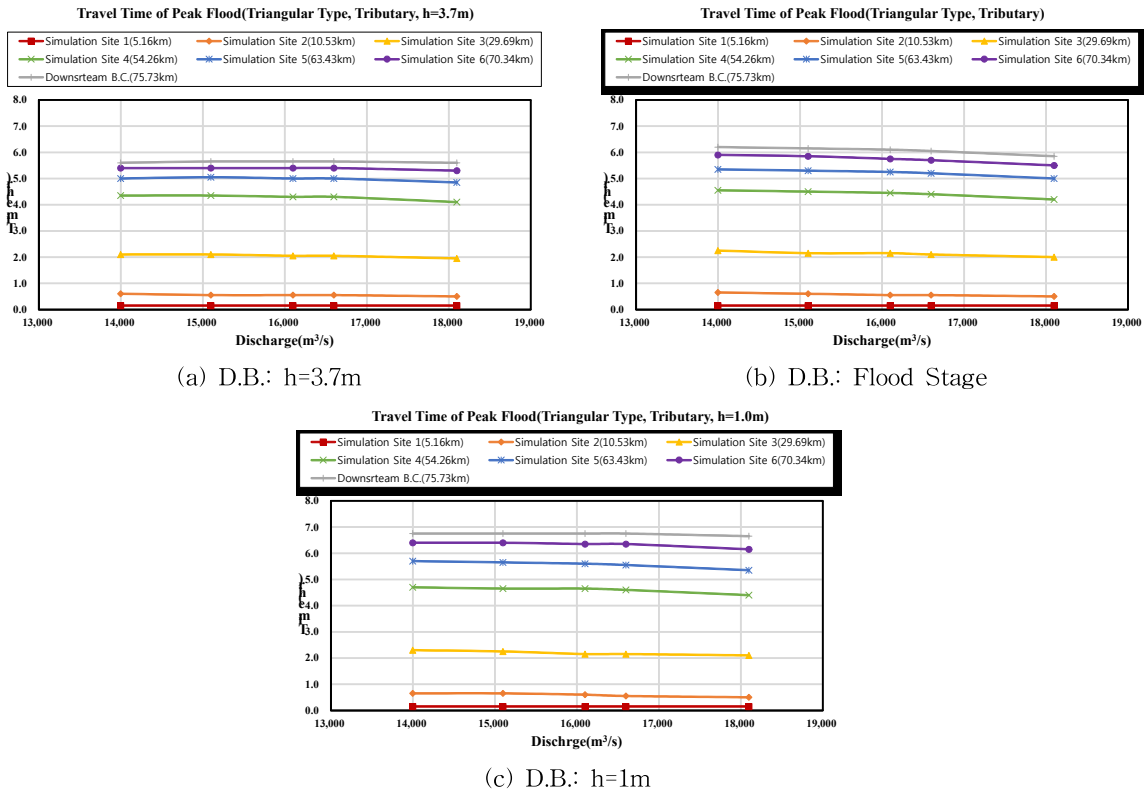


Fig. 10. Travel Time of Peak Flood at Each Site (Triangular Type, With Tributary)

을 위해서 하구둑의 상시홍수조절수위 1.0m 조건을 추가적으로 모의하여 분석하였다. 방류형태와 지류조건에 따라 분류하였으며, 각 그림의 (a)는 하류단 경계조건을 하구둑의 계획홍수위(500년 빈도 홍수위) 3.7m로 고정된 결과이며, (b)는 빈도별 홍수위를 각각 적용한 결과이고, (c)는 하구둑의 상시홍수조절수위 1.0m를 적용한 결과이다.

시나리오 5~9의 경우 상류단 경계조건으로 빈도별 홍수량을 적용하고, 하류단 경계조건으로는 각 빈도별 홍수위를 적용한 경우이다. 이 경우에는 Fig. 7~10의 (b)와 같이 상류보에서 방류하는 홍수량이 증가할수록 각 주요지점별 도달시간이 짧아지며, 지류가 있는 경우에 도달시간이 더 짧아지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 유량이 증가의 영향과 하류단 경계조건이 상승하는 영향을 복합적으로 작용하는 것을 알 수 있다.

시나리오 5_1~9_1의 경우 상류단 경계조건으로 빈도별 홍수량을 적용하고, 하류단 경계조건으로는 하구둑의 계획홍수위 3.7m를 적용한 경우이다. 이 경우에는 Fig. 7~10의 (a)와 같이 상류보에서 방류하는 홍수량이 증가할수록 각 주요지점별 도달시간이 짧아지며, 지류가 있는 경우에 도달시간이 더 짧아지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 시나리오 1~4와 같이 하류단 경계조건이 동일하나

방류유량이 훨씬 크며, 하류부의 수위도 2.7m 높기 때문에 하류단 경계조건보다는 유량의 영향을 더욱 많이 받는 것으로 판단된다.

Figs. 7~10을 살펴보면 빈도별 홍수량에 해당하는 홍수위 조건을 상·하류 경계조건으로 적용한 (b)에서 유량이 증가함에 따라 도달시간이 두드러지게 짧아지는 것을 확인할 수 있으며, 상류단 경계조건이 같은 경우 하류단 경계조건이 높을수록 도달시간이 짧아지는 것을 알 수 있었다. 삼각형방류 조건에서는 Fig. 8의 (c)와 같이 하류단 경계조건이 1m로 낮은 경우 유량이 증가해도 도달시간이 더 늘어나는 경우도 발생하였다.

6. 결론

창녕함안보에서 낙동강 하구둑까지 구간에 대해서 1차원 부정류모형을 이용하여 다양한 시나리오 분석을 통해 주요지점에서의 홍수와 도달시간을 산정하였다. 본 연구에서 도출된 연구결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) 본 연구에서는 방류유량, 방류형식, 하류단 경계조건, 지류의 유무에 따라 총 84개의 시나리오를 구성하여 유량과 수위에 대해 초기홍수도달시간과 침투

홍수도달시간을 각각 산정하였다.

- 2) 시나리오 분석을 수행하기 전 조도계수를 태풍 '산바'사상으로 보정하였으며, R^2 , NSEC, RMSE 등 실측자료와 비교결과에서 조도계수의 적용성이 있는 것으로 판단되어 유량에 따라 0.026에서 0.065 범위에서 조도계수를 시나리오 분석에 적용하였다.
- 3) 홍수과의 도달시간을 살펴보면 각 지점에서 유량의 침두가 도달한 후에 수위의 침두가 도달하는 것을 알 수 있으며, 일시방류(삼각형 형태) 조건이 계속방류(사다리꼴 형태, 계단식) 조건보다 침두유량은 적으나 침두유량의 시간은 빠른 것으로 나타났다. 침두홍수과의 도달시간은 지류가 있는 경우가 없는 경우보다 짧은 결과를 보였으며, 유량이 증가함에 따라 유속도 빨라져서 도달시간이 짧아지는 것으로 사료된다.
- 4) 초기홍수과의 도달시간은 가정 때문에 유량이 증가하는 하류로 갈수록 지류가 없는 경우보다 지류가 있는 경우에 도달시간이 더 늘어나는 것으로 나타났다. 초기홍수과 도달시간에 대해서는 더 객관적이고 신뢰도 높은 분석방법 제시가 필요할 것으로 판단된다.
- 5) 본 연구에서 분석된 다양한 시나리오들은 홍수예경보시스템, 조류배제운영 등 현장에서 활용 가능할 것으로 생각되며, 향후 다른 구간에서도 홍수도달시간 분석이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(11기술혁신C06)에 의해 수행되었습니다.

References

Choi, H.S., Maeng, S.J., and Kim, B.J. (2011). "Flood Analysis at Dam Downstream Area using DAMBRK." *Journal of safety and crisis management*, Vol. 7, No. 1, pp. 159-174.

- Hwang, E.H., Kwon, H.J., Lee, G.S., and Koh, D.K. (2008). "Measurement of floodwater reach time in Gum river using Ubiquitous technology." *Journal of Korea Water Resources Association Conference*, pp. 2238-2243.
- Kim, G.S., Kim, J.P., and Choi, K.H. (2010). "A Study on Estimating Time of Concentration using Topographical Data with Fine Spatial Resolution." *Journal of Korea Water Resources Association Conference*, pp. 1191-1195.
- Kim, J.Y., and Lee, C.G. (2011). "A study on the estimation of the downstream arrival time with the upstream flow by utilizing u-IT equipments." *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 2, No. 8, pp. 3594-3602.
- Kang, K.S. (2008). "Application of Flood Concentration Time of Daechung Dam Considering Outflow of Youngdam Dam." *Journal of Korea Water Resources Association Conference*, pp. 1249-1253.
- Lee, E.S. (2002). A Study on Determining the Flood Concentration Time in Geum River Basin Using Flood Routing Methods. Master dissertation, Yonsei University.
- Ministry of Construction & Transportation (2006). Geum River Watershed Survey Report.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2009). Basic Plan for River Maintenance of Nakdong River.
- Yoon, Y.N., and Park, M.J. (1992). "Forecasting of Peak Flood Stage at Downstream Location and the Flood Travel Time by Hydraulic Flood Routing." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 25, No. 3, pp. 115-124.

paper number : 14-125

Received : 17 December 2014

Revised : 23 January 2015 / 13 February 2015

Accepted : 13 February 2015