

## 남한강 지류 합류부의 실시간 홍수위 예측

### Real-time Flood Stage Forecasting of Tributary Junctions in Namhan River

김 상 호\* / 현 진 섭\*\* / 김 지 성\*\*\* / 전 경 수\*\*\*\*

Kim, Sang Ho / Hyun, Jin Sub / Kim, Ji-Sung / Jun, Kyung Soo

#### Abstract

The backwater effect at a tributary junction increases the risk of flood damage such as inundation and levee overflow. In particular, the rapid increase in water level may cause injury to persons. The purpose of this research is the development of the real-time flood forecasting technique as a part of the non-structural flood damage reduction measures. To this end, the factors causing a water level rising at a junction were examined, and the empirical formula for predicting flood level at a junction was developed using the calculated discharge and water level data from the well-constructed hydraulic model. The water level predictions show that average absolute error is about 0.2~0.3 m with the maximum error of 1.0 m and peak time can be captured prior to 0~5 hr. From the results of this study, the real-time flood forecasting system of a tributary junction can be easily constructed, and this system is expected to be utilized for reduction of flood inundation damage.

**Keywords** : Namhan-River, Hydraulic Model, Junction, Backwater effect, Flood Forecasting

#### 요 지

상대적으로 홍수량의 규모가 작은 지류 하천에서는 합류부 배수영향으로 제내지 침수 및 제방 범람에 의한 홍수피해의 위험이 가중되고 있다. 특히 지류 합류부에서는 본류와 지류의 홍수유하 조건에 따라 수위가 급격히 증가하므로 인명피해의 가능성 또한 높다. 따라서 본 연구에서는 비구조적 홍수피해저감대책의 일환으로 지류 합류부의 실시간 홍수위 예측기술을 개발하고자 한다. 이를 위하여 지류 합류부 수위의 주요 영향인자를 검토하였고, 잘 구축된 수리학적 모형으로부터 계산된 본류 및 지류의 유량과 합류부 수위자료를 이용하여 홍수위 예측을 위한 경험식을 개발하였다. 개발된 식에 의한 예측결과는 최대 1.0m의 수위오차를 포함하고 있었으나, 평균 0.2~0.3m의 절대오차를 나타내었고, 발생시각은 0~5 hr 앞서 예측 가능한 것으로 나타났다. 본 연구결과로부터 홍수예측 시스템이 구축되지 않은 지류 합류부에서도 쉽게 실시간 홍수예측이 가능하며, 구축된 시스템은 지류의 홍수범람 및 침수피해 예방에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

**핵심용어** : 남한강, 수리학적 모형, 합류부, 배수영향, 홍수예측

\* 상지대학교 건설시스템공학과 교수 (e-mail: kimsh@sangji.ac.kr)

Professor, Department of Civil Engineering, Sangji University

\*\* 상지대학교 건설시스템공학과 연구원 (e-mail: princejudy@naver.com)

Researcher, Department of Civil Engineering, Sangji University

\*\*\* 교신저자, 한국건설기술연구원 하천해안연구실 수석연구원 (e-mail: jisungk@kict.re.kr)

Corresponding Author, Senior Researcher, River and Coastal Research Division, Korea Institute of Construction Technology

\*\*\*\* 성균관대학교 공과대학 수자원대학원 수자원학과 교수 (e-mail: ksjun@skku.edu)

Professor, Graduate School of Water Resources, Sungkyunkwan University

## 1. 서론

하천의 본류와 지류가 만나는 합류부에서는 본류의 흐름과 지류의 흐름이 충돌하여 흐름정체가 빈번하게 발생하며, 본류에 비하여 상대적으로 홍수량의 규모가 작은 지류에서는 합류부 배수영향을 크게 받게 되므로 유속저하와 수위증가가 발생함으로써 홍수피해 위험이 증가하게 된다(Choi et al., 2010). 1996년 집중호우시 임진강과 그 지류인 문산천의 수위상승은 문산천 합류부 인근에 침수 및 범람피해를 발생시켰고(MOLIT, 2013), 2006년 태풍 에위니아 기간 동안 경상남도 남강의 지류에서는 합류부에서의 배수영향으로 제방 유실 및 침수피해가 가중되었으며(Kang, 2011), 2011년 수도권 집중호우는 경안천의 지류인 곤지암천과 목현천 합류부에서 수위상승에 의한 범람 피해를 유발하였다(Lee et al., 2011). 합류부에서는 인근 지역의 강우조건 뿐만 아니라 합류점 상류 각 유역의 강우로 인한 유출이 중첩되기 때문에 급격한 수위상승이 나타날 수 있으며, 급격한 수위상승은 고수부지 침수 또는 제내지 범람에 대한 신속한 대응의 부족으로 홍수피해를 가중시킬 수 있을 것이다.

최근 4대강살리기 사업 완공 후, 하천구역 내 친수공간 조성을 통한 지역경제 활성화에 관한 사회적 관심이 증가하고 있다. 이는 비교적 침수빈도가 낮은 고수부지에서 경작 위주의 단순한 하천이용에서 벗어나, 인간과 자연을 위하여 하천이 제공하는 환경 및 친수기능을 강화하는 방향으로 하천관리 패러다임이 변화하였기 때문이다. 일례로 Fig. 1과 같이 국가하천 섬강살리기(13공구) 사업에서는 남한강과 섬강 합류점에서 약 2km 상류 섬강변 좌안 고수부지에 오토캠핑장과 생태공원을 조성하였다. 이 부지는 합류점에서의 50년 빈도 홍수위보다 낮은 표고를 나타내고 있으므로 계획홍수(100년 빈도) 이하의 홍수규모에서도 침수될 수 있는 위험을 내포하고 있다. 이는 기존

계획홍수량 규모 기준으로 설정되어 운영되고 있는 홍수예보체계 및 기술의 한계를 의미하며, 홍수위가 급격히 상승하는 합류부 흐름특성을 반영한 실시간 홍수예측 기술의 개발이 필요함을 나타낸다.

홍수예보란 피해가 예상되는 지점의 홍수위를 미리 예측하고 전파하는 것을 의미하며, 유역에 내린 현시점까지 또는 향후 예상되는 강우에 의한 유출량을 추정하는 우량식 홍수예측 방법과 하도 내에서의 홍수추적에 의한 수위식 홍수예측 방법으로 구분할 수 있다. 도달시간이 짧은 유역에서 발생하는 돌발홍수예측에는 우량식 홍수예보가 이용되며, 하도내 상류지점에서 하류지점까지의 유하시간이 충분하고 상류의 유량(수위) 정보가 하류의 유량(수위)과 상관성이 높은 경우 수위식 홍수예보가 이용된다. 현재 국내 국가하천 홍수예보에는 강우-유출 해석에 의한 우량식 홍수예측 방법과 하도내 동역학적 수리해석에 의한 수위식 홍수예측 방법을 혼합하여 사용함으로써 홍수예측의 신속성과 정확성을 모두 확보하고자 노력하고 있다. 한편 지류 하천의 합류부에서는 본류 수위에 의한 배수영향을 직접 받게 되므로 동일한 유량에서도 다양한 범위의 수위를 나타내게 된다. 따라서 일대일 관계의 수위-유량 관계곡선 개발이 어려우며, 합류부 수위예측은 배수영향을 반영할 수 있는 동역학적 수리해석 방법에 의존하고 있는 실정이다(Barkau, 1993; Fread and Lewis, 1998; Holly and Parrish, 1993; Schaffranek, 1987).

수리학적 모형 구축에 대한 국내 연구로 Kim et al. (1996)은 한강 하류부의 홍수 특성 분석을 위하여 1차원 부정류 모형을 이용하였고, Kim et al. (2003)은 서해안의 조위가 한강과 임진강에 미치는 영향에 대하여 수리학적 모형을 구축하여 분석하였으며, Kim and Kim (2013)은 수리학적 모형을 이용하여 충주댐 방류에 따른 댐 상하류 홍수위 영향분석을 수행하였다. Lee and Lee (2004)는 수리학적 모형을 이용하여 한강하류부의 조도계수 산정을 위한 연

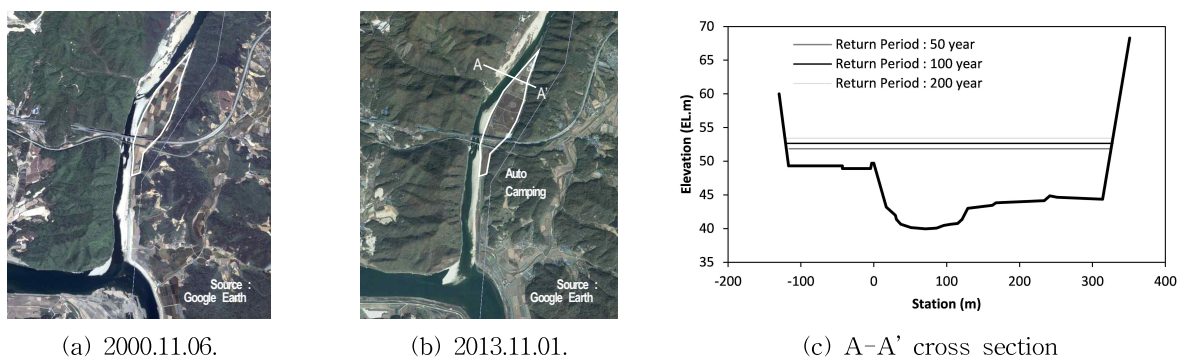


Fig. 1. Seom River Auto-Camping Site

구를 수행하였고, Lee et al. (2005)은 수리인자를 이용하여 한강에서의 홍수위 영향분석을 실시하였다. 이처럼 동역학적 해석에 의한 수리학적 모형은 조석영향이나 배수 영향을 잘 재현할 수 있으나, 하도 단면의 기하형상 적용, 홍수해석을 위한 경계조건 및 초기조건 지정, 그리고 각 단면간 구간의 조도계수 산정 등 계산의 정확성과 안정성 확보에 많은 시간과 주의가 요구된다. 또한 수리학적 모형을 이용한 홍수예측 시스템 구축은 모형의 안정화 및 실용화를 위하여 충분한 검증 기간이 필요하다.

본 연구에서는 지류 합류부의 수문자료를 이용한 실시간 홍수위 예측방법을 개발하기 위하여 MLTM (2009)에서 충주댐~팔당댐 구간을 대상으로 구축한 수리학적 모형을 이용하였다. 이는 현재 수문관측이 수행되고 있지 않는 합류부 수문자료로 잘 보정된 수치해석 결과를 활용하기 위함이다. 달천, 섬강, 청미천 등 주요 지류의 합류점을 기준으로 본류 및 지류의 상류 유량과 합류부에서 해석된 수위 결과의 상관성을 분석함으로써 합류부 수위를 예측하는 경험식을 개발하였고, 개발된 식으로부터 예측된 합류부 수위를 수리학적 모형에 의한 해석결과와 비교함으로써 예측의 정확도 및 적용성을 검증하였다.

## 2. 수리학적 모형을 이용한 합류부 배수영향 분석

MLTM (2009)에서는 미 기상청에서 개발된 DWOPER

모형(Fread, 1987)을 이용하여 가용한 최신의 남한강 및 각 지류 지형자료로부터 수리학적 모형을 구축하였고, Fig. 2와 같이 충주댐 방류량을 본류 상류단 경계조건, 팔당댐 저수위를 하류단 경계조건으로 활용하며, 달천, 섬강, 청미천, 북한강, 북한강, 경안천 등 6개 주요 지류의 유량을 지류 상류단 경계조건으로 반영한 수치상 하천 네트워크를 구성하였다. 구축된 모형은 2006년에서 2008년의 3개 홍수사상으로 보정되었고, 1990년부터 2005년까지의 14개 홍수사상에 대하여 검증되어 남한강 본류구간의 5개 수위 관측소(목계, 우만, 여주, 이포, 양평)에서 평균 0.3m 이내의 수위오차를 나타내었다. 수치모의에 사용된 구간별, 유량규모별 조도계수는 MLTM (2009)를 참고할 수 있다.

우선 각 합류부 수위에 영향을 줄 수 있는 충주댐의 방류량, 팔당댐의 저수위, 그리고 지류 상류에서 유입되는 유량 등 3가지 경계조건을 이용하여 남한강 본류와 지류에 대한 흐름특성을 살펴보았다. 수리학적 모형에 대한 모의 조건은 정상상태(Steady-state) 흐름을 기준으로 하였고, 모의를 위한 경계조건은 평상시 유량/수위 조건으로부터 계획홍수량/댐 만수위 조건까지 다양한 규모별로 구분하여 설정하였다. Fig. 2는 남한강 지류의 합류부 수위 예측을 위해 충주댐과 지류의 유량과 팔당댐의 저수위 등 경계조건이 변화하는 경우(Case 1, 2, 3)를 구분하여 나타내고 있다. 여기서 Case 1은 충주댐 방류량 변화 조건의 경우를 의미하고, Case 2는 팔당댐 저수위 변화 조

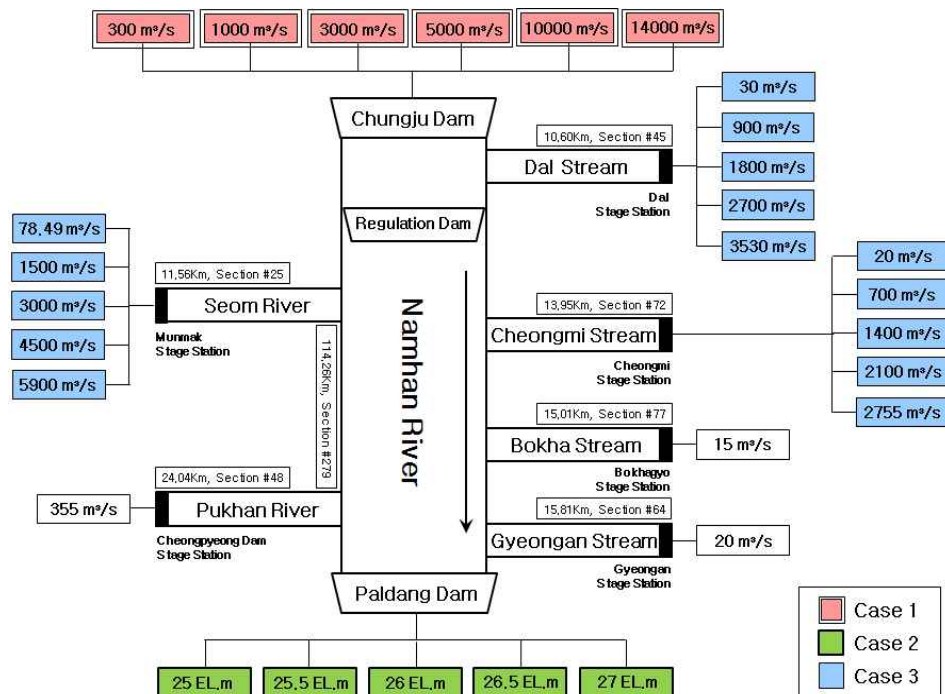


Fig. 2. River Network of Study Area and Scenarios of Boundary Conditions

건의 경우, 마지막으로 Case 3은 지류 상류의 유입유량 변화 조건의 경우를 의미한다.

### 2.1 충주댐 방류량 변화에 따른 영향(Case 1)

충주댐 방류량 변화에 대한 지류의 배수영향을 살펴보기 위하여 충주댐의 유량을 평수량인 300m<sup>3</sup>/s부터 기왕의 최대 방류량인 14,000m<sup>3</sup>/s(1990년)까지 총 6개(300, 1,000, 3,000, 5,000, 10,000, 14,000m<sup>3</sup>/s) 유량등급으로 구분하여 모의를 수행하였다. 각 지류의 상류단에서는 평수량이 지류별로 유입되는 것으로 가정하였으며, 대상구간의 하류단인 팔당댐에서는 저수위(25.0 EL.m)를 지정하였다. 모의결과 각 지류에서 발생하는 수면곡선은 Fig. 3과 같다. 댐 방류량 증가로 인한 본류 유량이 증가함에 따

라 합류부 수위도 일정하게 증가하였고, 지류의 하류부는 합류부 배수영향으로 상류방향으로 거의 일정한 수위를 나타내었다. 한편 충주댐 방류량 변화에 따른 합류부 수위 영향은 달천, 섬강, 청미천이 큰 것으로 나타났다.

### 2.2 팔당댐 저수위 변화에 따른 영향(Case 2)

팔당댐 저수위 변화에 따른 지류 합류부 수위 영향을 살펴보기 위하여 저수위 25 EL.m부터 계획홍수위 27 EL.m까지 총 5개(25.0, 25.5, 26.0, 26.5, 27.0 EL.m) 조건으로 구분하여 모의하였다. 본류의 상류경계조건인 충주댐에서는 평수량이 방류되는 것으로 가정하였고, 각 지류의 상류단에서도 평수량이 유입되는 것으로 가정하여 모의를 수행하였다. 각 지류에서 발생하는 수면곡선은 Fig. 4와

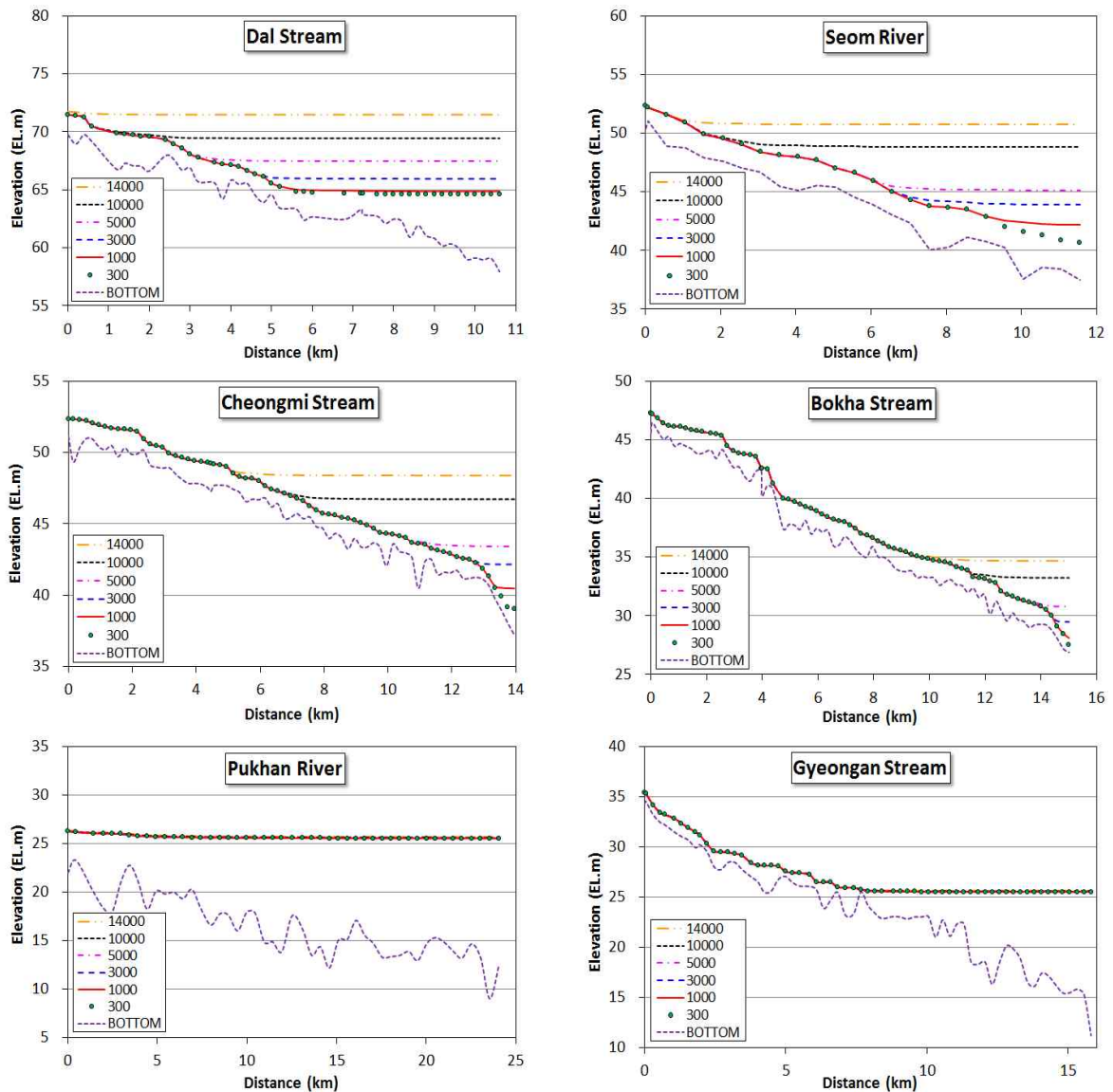


Fig. 3. Water Surface Profiles according to Upstream Chungju Dam Releases



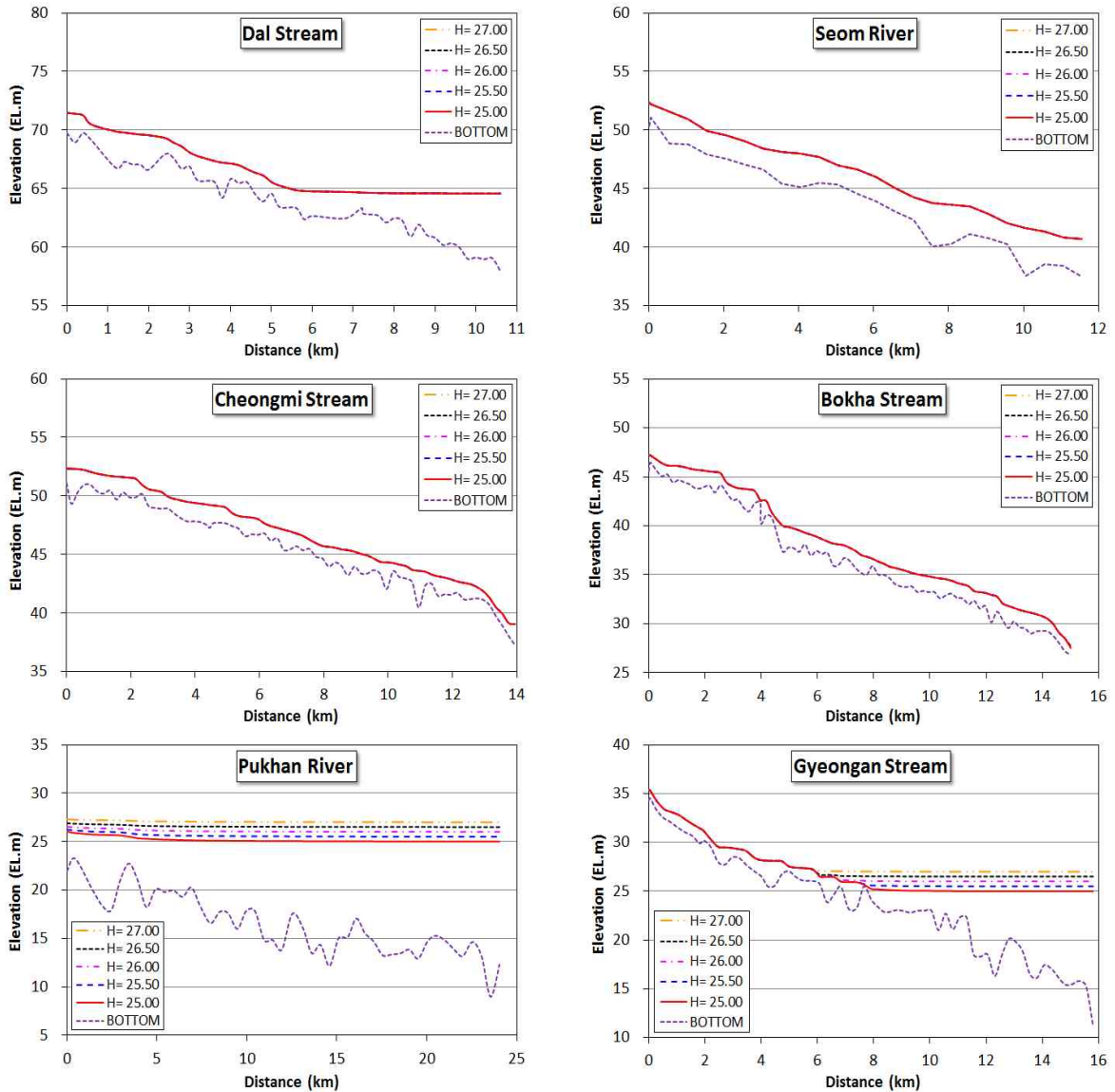


Fig. 4. Water Surface Profiles according to Downstream Paldang Dam Stage

같다. 모의결과, 달천에서부터 북하천까지는 팔당댐 저수위 변화가 지류 합류부 수위 변화에 미치는 영향이 거의 없는 것으로 나타났으며, 북한강의 경우 팔당댐의 수위가 청평댐까지 직접 영향을 미치는 것으로 나타났다.

### 2.3 지류 유량 변화에 따른 영향(Case 3)

남한강 본류의 유량 크기는 충주댐 방류량뿐만 아니라 각 지류에서 유입한 유량 또한 합산되어 결정된다. 따라서 충주댐 방류량에 따른 지류 합류부 수위영향이 비교적 크게 나타나고, 팔당댐 저수위 변화에는 영향을 거의 받지 않는 달천, 섬강, 청미천을 대상으로 지류 유량규모 변화에 따른 합류부 수위영향 분석을 실시하였다.

달천 합류부에서 유량규모 변화에 따른 홍수위 영향을 살펴보기 위하여 본류의 충주댐 방류량은 6개(300, 1,000, 3,000, 5,000, 10,000, 14,000 m<sup>3</sup>/s) 유량규모로 나누고, 달천 유량은 평수량부터 계획홍수량까지 5개(30, 900, 1,800, 2,700, 3,530 m<sup>3</sup>/s) 유량규모로 구분하여 모의를 실시하였다. 이 때, 충주댐 방류량 및 달천 유량을 제외한 나머지 지류의 유량은 모든 경우에 평수량을 지정하였으며, 팔당댐 저수위는 25.0 EL.m를 지정하였다. 섬강 합류부 수위영향 분석에서는 달천에서의 유입되는 유량을 고려하여 본류 유량 조건을 최대 7개(18,000 m<sup>3</sup>/s)로 설정하였으며, 청미천은 달천 및 섬강에서 유입되는 유량을 고려하여 본류 유량 조건을 최대 8개(21,000 m<sup>3</sup>/s)로 설정하였다. 모

의결과 본류 및 지류의 유량이 증가할수록 합류부 수위가 증가하였으며, 본류 및 지류의 유량 조건에 따라 각 지류의 최 하류단에서 계산된 합류부 홍수위는 Table 1~3과 같은 조건표로부터 예측될 수 있다.

### 3. 합류부 홍수위 예측식 개발

#### 3.1 선형 회귀분석에 의한 이변량 일차방정식 개발

본류 및 지류 유량 크기에 따른 합류부 수위 예측을 위해 개발된 조건표의 활용성을 높이고자 선형 회귀분석을

통한 이변량 일차방정식을 Table 4와 같이 개발하였다. 개발된 식으로부터 남한강 본류 유량과 지류 유량을 알고 있을 경우, 지류 합류부에서 발생 가능한 홍수위를 쉽게 산정할 수 있다. 여기서, Y는 각 지류 합류부(Fig. 3의 최 하류단)에서의 수위이고, Q1은 남한강 본류 유량, Q2는 지류 유량을 의미한다.

#### 3.2 개발된 경험식의 정확도 분석

경험식에 대한 검증을 위하여 Table 5의 과거 홍수사상에 대한 수리학적 모형 해석결과를 이용하였다. MLTM

Table 1. Reference Table of the Stage at Dal Stream Junction

Elevation (EL.m)		Discharge of Dal Stream (m <sup>3</sup> /s)				
		30	900	1,800	2,700	3,530
Discharge of Namhan River (m <sup>3</sup> /s)	300	64.59	64.96	65.45	65.96	66.61
	1,000	64.87	65.33	65.85	66.51	67.15
	3,000	65.95	66.64	67.34	68.02	68.55
	5,000	67.48	68.14	68.73	69.37	69.58
	10,000	69.44	69.96	70.47	70.95	71.35
	14,000	71.47	71.85	72.23	72.59	72.92

Table 2. Reference Table of the Stage at Seom River Junction

Elevation (EL.m)		Discharge of Seom River (m <sup>3</sup> /s)				
		78.43	1,500	3,000	4,500	5,900
Discharge of Namhan River (m <sup>3</sup> /s)	300	40.56	42.67	44.05	45.01	46.24
	1,000	42.15	43.39	44.55	45.59	46.86
	3,000	43.85	44.82	46.04	47.33	48.26
	5,000	45.09	46.47	47.72	48.58	49.38
	10,000	48.81	49.67	50.44	50.94	51.36
	14,000	50.72	51.17	51.59	51.93	52.13
	18,000	51.77	52.00	52.19	52.34	52.44

Table 3. Reference Table of the Stage at Cheongmi Stream Junction

Elevation (EL.m)		Discharge of Cheongmi Stream (m <sup>3</sup> /s)				
		20	700	1,400	2,100	2,755
Discharge of Namhan River (m <sup>3</sup> /s)	300	38.65	40.35	40.87	41.60	42.14
	1,000	40.39	40.87	41.60	42.18	42.67
	3,000	42.08	42.60	43.05	43.48	44.03
	5,000	43.33	43.92	44.49	45.08	45.52
	10,000	46.67	47.02	47.37	47.70	48.01
	14,000	48.38	48.60	48.83	49.04	49.23
	18,000	49.44	49.57	49.68	49.78	49.86
	21,000	49.77	49.85	49.92	49.99	50.04

(2009)에는 충주댐~팔당댐 구간 내 수위관측소에서 17개 과거 홍수사상에 대한 실측 수위 및 홍수예측을 위하여 구축한 수리학적 모형의 해석 수위 비교결과가 수록되어 있으며, 각 도표의 비교로부터 구축된 모형을 이용한 수위 해석결과의 정확성을 확인할 수 있다. 본 연구에서는 Table 5에 수록한 바와 같이 17개 과거 홍수사상의 해석 결과 가운데 달천, 섬강, 청미천 합류점에서 계산된 침투 수위와 침투수위가 발생한 시점의 합류점 직상류 본류 및 지류 유량을 추출하였다. 추출된 유량 자료를 이용하여

Tables 1~3의 조건표를 적용한 수위 결과와 Table 4의 경험식을 적용한 수위 결과를 수리학적 모형에서 계산된 침투수위와 비교하여 Fig. 5에 나타내었다. 여기서 FFM (Flood Forecasting Model)은 수리학적 모형 구축을 통해 산정된 수위를 나타내며, SR (Simulate Results)은 본 연구의 조건표 또는 경험식으로부터 산정된 수위를 나타낸다. 또한 Table 6은 조건표 및 개발식으로 산정한 합류부 홍수위(SR)와 수리학적 모형에 의한 수위 해석 결과 (FFM)와의 오차분석 결과를 나타낸다.

**Table 4. Fitting Equation for Prediction of Junction Stage**

Tributary	Developed Formula	R <sup>2</sup>
Dal Stream	$Y = 64.617 + (Q1 * 0.00048) + (Q2 * 0.00059)$	0.982
Seom River	$Y = 42.662 + (Q1 * 0.00049) + (Q2 * 0.00058)$	0.955
Cheongmi Stream	$Y = 40.786 + (Q1 * 0.00045) + (Q2 * 0.00058)$	0.973

**Table 5. Previous Flood Events data for Verification of the Developed Equations**

No.	Year	Flood Event	Dal Stream			Seom River			Cheongmi Stream		
			Q1 (m <sup>3</sup> /s)	Q2 (m <sup>3</sup> /s)	Y (EL.m)	Q1 (m <sup>3</sup> /s)	Q2 (m <sup>3</sup> /s)	Y (EL.m)	Q1 (m <sup>3</sup> /s)	Q2 (m <sup>3</sup> /s)	Y (EL.m)
1	1990	Sep. 09 ~ Sep. 19	13,792	2,210	72.38	16,064	189	51.23	16,224	631	48.89
2	1995	Aug. 20 ~ Sep. 02	6,736	3,049	70.55	9,461	1,507	49.38	10,949	414	46.98
3	1997	July 01 ~ July 10	618	985	65.36	764	1,504	44.19	2,246	2,859	43.53
4		Aug. 03 ~ Aug. 12	346	676	65.08	396	1,508	43.92	1,888	2,871	43.36
5	1998	Aug. 06 ~ Aug. 18	3,950	34	65.95	1,993	5,376	46.90	7,375	103	44.64
6	1999	Aug. 01 ~ Aug. 09	326	1,373	65.48	1,826	2,419	45.18	4,019	1,894	43.95
7		Sep. 20 ~ Sep. 28	2,964	373	66.22	3,311	435	44.43	3,744	138	42.56
8	2000	Sep. 14 ~ Sep. 20	2,147	678	65.95	2,739	656	44.22	3,390	318	42.45
9	2001	Jun. 30 ~ July 04	272	1,071	65.25	1,745	490	42.98	2,126	205	41.26
10	2002	Aug. 04 ~ Aug. 14	6,934	858	69.31	3,049	8,041	49.45	11,087	1,790	47.36
11	2003	Sep. 07 ~ Sep. 22	2,381	1,643	65.99	3,930	535	44.86	4,464	106	42.97
12	2004	Jun. 20 ~ Jun. 26	891	2,286	66.17	3,010	942	44.47	3,942	113	42.56
13		July 12 ~ July 22	463	1,176	66.04	2,540	2,413	45.46	4,830	629	43.69
14	2005	July 01 ~ July 15	384	1,422	65.96	2,574	532	44.00	3,061	615	42.43
15	2006	July 12 ~ July 24	8,983	3,099	70.66	5,514	7,640	51.02	14,266	971	48.52
16	2007	Sep. 15 ~ Sep. 21	3,439	1,272	67.27	4,661	1,385	45.95	6,021	217	44.00
17	2008	July 24 ~ July 31	1,703	1,809	66.49	1,910	1,676	44.54	3,562	777	42.82

**Table 6. Error Analysis Results at Each Tributary Junction**

Tributary	Reference Table		Developed Formula	
	RMSE (m)	Mean Abs. Error (m)	RMSE (m)	Mean Abs. Error (m)
Dal Stream	0.42	0.31	0.42	0.31
Seom River	0.44	0.29	0.55	0.39
Cheongmi Stream	0.24	0.20	0.40	0.30

Fig. 5의 비교결과, 정상상태(Steady-state) 흐름조건으로 분석된 조건표와 경험식은 실제 홍수사상의 경우, 최대 약 1.0 m의 수위오차를 나타내고 있다. 이는 실제 홍수사상에서 발생하는 홍수파의 감쇠 및 각기 다른 도달시간으로 중첩되는 현상을 정상상태의 모의가 완전히 반영하지 못하기 때문인 것으로 판단되며, 하천관리자는 본 연구에서 합류부 홍수위 예측을 위하여 개발된 경험식의

최대 오차를 반드시 인지하고 있어야 한다. 한편 17개 홍수사상 전체의 침투수위 예측오차를 분석한 결과는 Table 6에 제시된 바와 같이 0.24~0.55m로 나타나, 홍수시 고수부지 침수피해 최소화를 위한 홍수예보에 적절히 활용될 수 있을 것으로 판단된다. Fig. 5와 Table 6을 살펴보면, 조건표보다 회귀분석 경험식에 의한 홍수위 예측의 정확도가 다소 부족하다는 것을 알 수 있으나, 두 방법

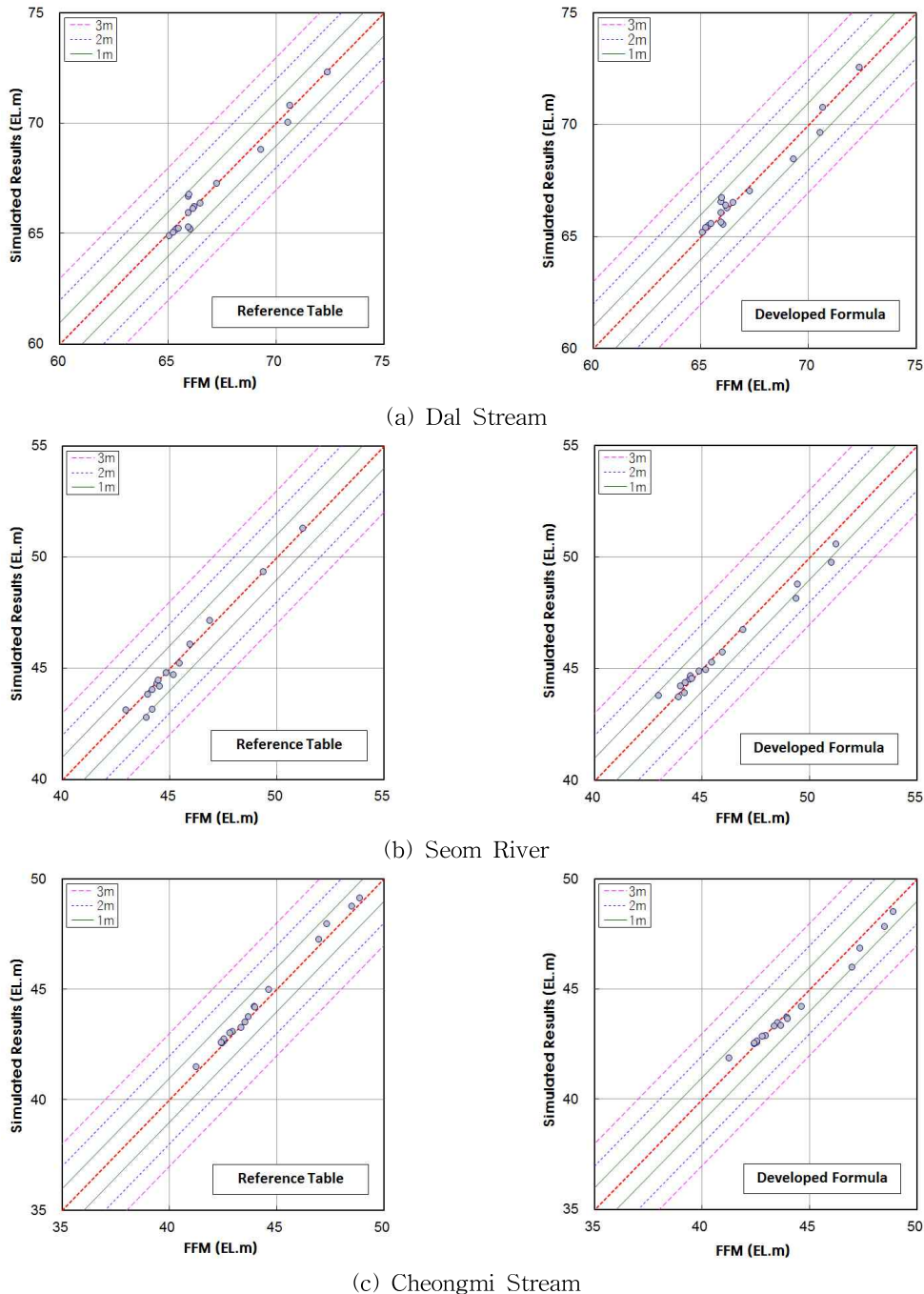


Fig. 5. Verification Results at Each Tributary Junction



모두 최대오차의 범위 내에 있으며, RMSE의 차이가 크지 않으므로, 합류부 수위예측에 이변량 일차방정식이 쉽게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 남한강 지류 합류부 실시간 홍수위 예측

실제 홍수 발생 시 달천, 섬강, 청미천 합류부의 분류 및 지류 유량을 연속적으로 측정하는 것은 자료의 활용도와 장비구축 비용을 고려할 때 현실적이지 못하다. 만약 유량 측정이 가능하다 하더라도 발생가능한 홍수피해에 대비한 선행 대응시간을 확보할 수 없으므로 홍수예측에 활용될 수 없다. 따라서 본 연구에서는 각 합류점 상류에 위치한 기존 유량측정 지점의 자료를 이용하여 합류점 홍수위를 예측하였고, 그 결과를 수리학적 모형으로 계산된 합류부 수위수문곡선과 비교하였다. 각 지류 합류점 상류의 분류 및 지류 유량 활용지점은 Table 7과 같으며, 각 지류 합류

점의 수위 예측을 위하여 Table 4의 경험식이 사용되었다.

본 연구에서 개발된 이변량 일차방정식의 실시간 홍수예보 활용성을 검토하기 위해 Table 5의 17개 홍수사상에 경험식을 적용하여 합류부 수위를 산정하였다. Fig. 6은

Table 7. Input Data for Flood Forecasting of Tributary Junction

Tributary	Q1*	Q2**
Dal Stream	QI	QII
IISeom River	QI+QII	QIII
Cheongmi Stream	QI+QII+QIII	QIV
Discharge Measuring Location	I : Chungju Dam II : Dal Stage Station III : Munmak Stage Station IV : Cheongmi Stage Station	

\*discharge in Namhan River

\*\*discharge in each tributary

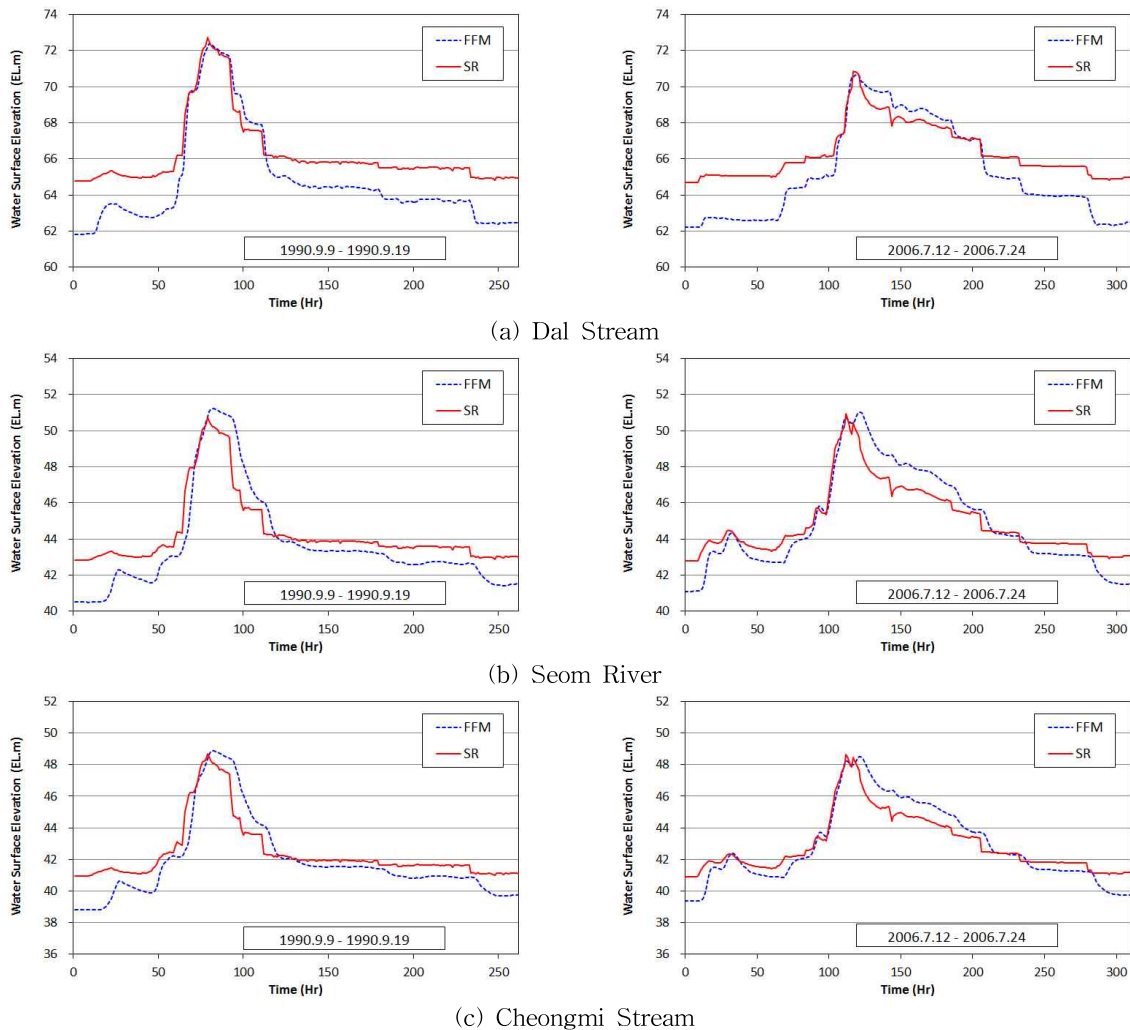


Fig. 6. Application of Developed Formula for Flood Forecasting at Each Tributary Junction

17개 사상 중 침투홍수량 규모가 가장 컸던 1990년과 2006년 홍수사상에 대한 합류부 수위예측 결과를 나타낸다. 전반적으로 본 연구에서 개발된 방법에 의한 홍수위 예측결과(SR)는 수리학적 모형에 의한 해석결과(FFM)와 홍수위 상승시점 및 침투수위의 크기에서 비교적 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 6의 모든 지점에서 수위 비교결과를 살펴보면, 고수위보다 저수위 구간에서 경험식에 의한 예측정확도가 낮음을 알 수 있다. 그러나 경험식으로 산정된 수위(SR)가 다소 높게 나타나 홍수예보 측면에서는 안전한 활용이 가능할 것이다. 또한 본 연구에서 개발된 방법에 의한 합류부 수위예측 결과(SR)는 수리학적 모형에 의한 해석결과(FFM)보다 빠르게 침투수위에 도달하는 것을 확인할 수 있다. 이는 분석에 사용된 합류부 상류의 본류 및 지류 실시간 유량은 합류점까지 도달하기에 각각의 유하시간이 소요되기 때문이다. Table 8에는 모든 홍수사상에 대한 침투수위 오차와 발생시간 차이를 나타내었다. 모든 합류점에서 평균 약 0.3m의 침투수위 오차를 나타내었으며, 약 2~3시간 앞서 침투수위를 예측할 수 있음을 알 수

있다. 침투발생 시간 차이가 0.0 hr인 경우에서도, Fig. 5와 Table 8에서 분석된 최대 홍수위 예측오차 1.0m를 충분히 감안한다면 적절한 홍수대비 시간을 확보할 수 있을 것으로 판단된다. 한편 1995년 홍수사상은 전 지점에서 홍수위 예측오차가 가장 큰 것으로 나타났으며, 이는 본 연구에서 사용한 선형 회귀분석에 의한 경험식 개발의 한계로 판단된다.

## 5. 결론

본 연구에서는 남한강 주요 지류의 합류부 수위예측 방법을 개발하기 위하여 충주댐~팔당댐 구간에 구축된 수리학적 모형(MLTM, 2009)을 활용하였다. 우선 대상구간에서 지류 합류부 수위변화의 주요 영향인자인 충주댐 방류량, 팔당댐 저수위, 지류 유입량 등에 대한 합류부 수위변화를 분석함으로써 하류단 경계조건(팔당댐 저수위)에 의한 영향을 배제할 수 있는 달천, 섬강, 청미천을 대상 지류로 선정하였다. 합류부 배수영향을 받는 지점의 홍수위 산정을 위해서는 하도 내 유량뿐만 아니라 본류의 흐름조

Table 8. Results of Real Time Flood Forecasting at Each Tributary Junction

Event No.	Year	Dal Stream		Seom River		Cheongmi Stream	
		Abs. Peak Diff. (m)	Peak Time Diff. (hr)	Abs. Peak Diff. (m)	Peak Time Diff. (hr)	Abs. Peak Diff. (m)	Peak Time Diff. (hr)
1	1990	0.33	1	0.52	3	0.20	3
2	1995	0.84	0	1.08	0	0.81	4
3	1997	0.16	1	0.26	2	0.08	2
4		0.10	3	0.16	2	0.01	2
5	1998	0.61	3	0.50	1	0.76	1
6	1999	0.11	2	0.20	2	0.01	2
7		0.10	5	0.16	8	0.08	7
8	2000	0.10	2	0.23	9	0.10	6
9	2001	0.17	1	0.67	3	0.54	4
10	2002	0.74	5	0.25	2	0.16	3
11	2003	0.81	2	0.10	6	0.01	7
12	2004	0.09	2	0.13	5	0.03	5
13		0.13	2	0.30	4	0.32	5
14	2005	0.15	1	0.23	3	0.14	4
15	2006	0.18	0	0.09	0	0.13	0
16	2007	0.23	2	0.18	3	0.30	3
17	2008	0.08	2	0.33	2	0.27	5
Average		0.29	2.00	0.32	3.24	0.23	3.71
Minimum		0.08	0.00	0.09	0.00	0.01	0.00
Maximum		0.84	5.00	1.08	9.00	0.81	7.00

건을 함께 고려하여야 한다. 따라서 본류 및 지류 유량의 조합을 나타내는 시나리오 기반의 정상상태 분석을 수행하였고, 해석결과로부터 각 지류 합류부 수위예측을 위한 조건표와 이변량 일차방정식 형태의 경험식을 개발하였다. 과거 17개 홍수사상의 침두홍수위와 개발된 경험식의 해석결과를 비교한 결과, 달천 합류부의 RMSE는 0.42 m, 섬강은 0.55 m, 청미천은 0.40 m로 나타났으며, 평균 절대 오차는 달천 0.31 m, 섬강 0.39 m, 청미천 0.30 m으로 나타나 해석결과와 정확도를 확인하였고, 조건표와 경험식에 의한 홍수위 예측 결과의 정확도가 유사함을 확인함으로써 개발된 경험식을 이용한 지류 합류부의 실시간 홍수위 예측이 가능하였다. 실시간 홍수위 예측에는 각 합류점 상류에 위치한 본류와 지류의 실시간 유량을 입력자료로 이용하였다. 그 결과 침두수위는 평균 0.2~0.3 m의 절대 오차를 보였고, 발생시간은 0~5 hr 정도 앞서 예측 가능한 것으로 나타났다. 침두발생 예측시간 차이가 0 hr으로 나타난 사상은 본 연구에서 사용한 계산시간 간격을 1.0 hr으로 고정된 한계로 판단되며, 만약 본 연구에서 개발된 홍수위 예측 방법이 최대 1.0 m의 절대오차가 있을 수 있음을 하천 관리자 또는 친수시설 관리자가 사전에 인지하고 있다면, 시시각각으로 변화하는 홍수상황에 능동적으로 대응할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서 개발된 남한강 지류의 합류부 수위예측 경험식은 합류부 배수영향을 반영하기 위하여 본류 및 지류의 유량자료를 모두 입력자료로 사용한다. 두 유량자료를 이용하여 산정된 합류부 홍수위는 복잡하고 정교한 수리학적 모형에 비하여 정확도 높은 결과를 제시하지는 못하지만 고수부지 홍수위 상승의 사전예측에 충분히 활용될 수 있을 것이다. 향후 지속적인 유량측정 결과와 합류부 관측수위의 상관성 분석은 본 연구에서 제안된 합류부 홍수예측 경험식의 정확도 향상에 기여할 수 있을 것으로 판단되며, 홍수 전후 예상되는 하천지형의 변화가 합류부 홍수위에 미치는 영향의 정량적 분석 또한 가능할 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업(11기술혁신C06) 및 한국건설기술연구원 2014년 주요사업(2014-0107)의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

## References

Barkau, R.L. (1993). UNET One-Dimensional Unsteady

Flow through a Full Network of Open Channels User's Manual, *U.S Army Corps of Engineer*, Davis.

Choi, G.W., Chae, S.A., Chang, Y.G., and Hwang, Y.M. (2010). "An Experimental Study on the Change of Hydraulic Characteristics by the Training Wall." *Proceedings of the KWRA*, Korean Water Resource Association, pp. 561-564.

Fread, D.L. (1987). *National Weather service Operational Dynamic Wave Model*, National Weather Service, Silver Springs, MD.

Fread, D.L., and Lewis, J.M. (1998). *The NWS FLDWAV Model Quick user Guide*, NOAA, Silver Spring.

Holly, F.M., and Parrish, J.B. (1993). "Description and Evaluation of program, CARIMA." *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, Vol. 119, No. 4, pp. 703-713.

Kang, M. (2011). "Identifying the Damages and Causes of Floods and the Outlook for Future Floods in South Korea." *Korean Society of Civil Engineers Magazine*, Vol. 59, No. 1, pp. 111-118.

Kim, S.H., and Kim, J-S. (2013). "Effect of Chungju Dam Operation for Flood control in the Upper Han River." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 33, No. 2, pp. 537-548.

Kim, S.H., Kim, W., and Choi, H.S. (2003). "Analysis of Tidal Effect on the Han and Imjin River." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 36, No. 2, pp. 301-313.

Kim, W., Woo, H.S., and Kim, Y.S. (1996). "Analysis of Flood Flow Characteristics of the Han River using 1-Dimensional St. Venant Equations." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 29, No. 1, pp. 163-179.

Lee, D.S., Kwak, S.J., Chun, M.H., Yoon, K.S. (2011). "Heavy Rain Damage in the Middle Part of the Korean Peninsula in July 2011." *Water and Future*, KWRA, Korean Water Resource Association, Vol. 44, No. 10, pp. 44-48.

Lee, E.R., Kim, W., and Kim, S.H. (2005). "Effect of Flood Stage by Hydraulic Factors in Han River." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 38, No. 2, pp. 121-131.

Lee, J.K., and Lee, C.H. (2004). "Estimation of Roughness

- Coefficients in Downstream Part of the Han River using a Hydraulic Flood Routing Model.” *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 24, No. 1B, pp. 25-32.
- MLTM. (2009). Construction of Hydraulic Flood Forecasting Model in upstream and downstream reach of Chungju Dam, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM).
- MOLIT. (2013). Environmental Impact Assessment-Imjin River Maintenance Plan (Geoguk, Majeong Area) (Draft). Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT).
- Schaffranek, R.W. (1987). Flow Model for Open-channel Reach or Network, U.S. Geological Survey Professional Paper 1384, *U.S. Government Printing Office*, Washington.

논문번호: 14-038	접수: 2014.05.03
수정일자: 2014.05.23/06.05/06.09	심사완료: 2014.06.09