금강하류부 하도의 수리학적 홍수예측모형 개발

Development of Hydraulic Flood Forecasting Model for the Lower Geum River

송재현*·윤광석**·김주영***·여규동****

Jae Hyun Song·Kwang Seok Yoon·Joo Young Kim·Kyu Dong Yeo

요 지

금강 홍수예보시스템의 유출모형은 이미 구축되어 있던 한강의 홍수예보시스템과 마찬가지로 저류함수법과 단위도법에 의한 홍수 유출 모형을 근간으로 구성되어 있다. 홍수시 금강하구둑으로 인한 홍수시 하류부의 조위 또는 하구둑의 내수위 변화가 상류부에 미치는 영향을 현재 운영되고 있는 홍수예보 시스템의 저류함수모형으로는 반영하지 못하기 때문에 하류부의 조위 변화에 영향을 받는 구간에서의 홍수예측에 많은 문제점을 초래하고 있다. 이와 같은 수문학적 상황으로 인하여 하구둑 저수지에 의한 배수 영향은 저류함수법에 의한 홍수예측의 정확도를 저하시키는 요인으로 작용하고 있으므로 수리학적 홍수예측모형의 개발을 필요로 하고 있다. 따라서, FLDWAV 모형을 적용하여 개발한 수리학적 홍수예측모형으로 배수영향을 받는 홍수예보지점인 규암, 강경지점을 모의하였다. 이를 통해 근본적으로 수문학적 모형이 해결할 수 없는 한계를 없애고, 수문학적 모형과 병용함으로써 더 정확하고 효과적인 홍수예보업무가 될 것이라고 판단된다.

핵심용어 : 홍수예보, 금강 하구둑, FLDWAV

1. 서 론

금강홍수통제소는 금강 유역의 홍수피해 절감을 목적으로 1990년 출범하였으며, 개소된 이래로 현재까지 홍수예보 및 수문 관측 업무를 수행하여 왔다. 금강홍수예보 시스템의 유출모형은 이미 구축되어 있던 한강의 홍수예보시스템과 마찬가지로 저류함수법과 단위도법에 의한 홍수 유출 모형을 근간으로 구성되어 있다. 금강하구둑은 서해의 해수유입을 차단하여 금강연안의 농경지 침수를 예방하고 담수호를 이용하여 농업 및 생공용수를 공급하기 위하여 1990년에 완공되어 현재까지 운영되고 있다. 하구둑에는 수문이 설치되어 있으며, 상류 홍수 피해의 방지와 외수위 상승에 따른 해수의 침입 방지라는 상반된 목적을 달성하기 위하여 인위적으로 수문을 조작하고 있다. 따라서 홍수시 하구둑으로 인한 배수 효과에 의한 상류 구간의 홍수위 상승을 방지하고 홍수 기간중 적절한 방류 계획을 설정함으로써 가용한 수자원을 최대한 확보하는 것이 금강 유역 관리의 지대한 관심사라고 할 것이다. 그러나 현재 운영되고 있는 홍수예보 시스템에 적용되어 있는 저류함수모형은 홍수시 하류부의 조위 또는 하구둑의 내수위 변화가 상류부에 미치는 영향을 반영하지 못하기 때문에 하류부의 조위 변화에 영향을 받는 구간에서의 홍수예측에 많은 문제점을 초래하고 있다.

이와 같은 수문학적 상황으로 인하여 하구둑 저수지에 의한 배수 영향은 저류함수법에 의한 홍수예측의 정확도를 저하시키는 요인으로 작용하고 있으므로 수리학적 모형의 개발을 필요로 하고 있다. 따라서 본 연구에서는 금강 하구둑에 의한 배수영향을 받는 구간인 규암과 강경지점의 수위의 예측정도를 높이기 위해 수리학적 해석을 위한 대상구간의 입력자료를 구축하고, 금강 하구둑 수문조작에 따른 내수위(하류경계조건)를 예측하여 하구둑 운영을 고려한 연계모형을 이용하였다. 상류경계는 미호천이 합류하기 전인 대청조정지

* 정회원·유량조사사업단 유량조사실 연구원·E-mail : k6zero@kict.re.kr

** 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원 ·E-mail : ksyoon@kict.re.kr

*** 정회원·한양대학교 토목공학과 박사과정 ·E-mail : becool@hanyang.ac.kr

**** 정회원 ·한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원 ·E-mail : ykd@kict.re.kr

댐과 미호천 합류후인 금남수위표를 고려할 수 있도록 하였으며, 측방유입량은 수문학적 모형에서의 각 지류 및 소유역 유출량을 이용하였다.

2. 수리학적 홍수예측모형의 구축

2.1 FLDWAV 모형

FLDWAV 모형은 Fread가 20여년에 걸쳐 개발한 일차원 하천 모형이다. 기존에 일차원 흐름 모형으로 많이 사용된 바 있는 DWOPER 모형의 단점을 보완하고 댐 파괴시에 발생하는 급격한 홍수파 해석 프로그램인 DAMBRK를 통합하여 개발한 모형이다.

2.2 고정입력자료의 구성 및 변수의 결정

수리학적 홍수예측모형을 구축하기 위해 필요한 자료는 크게 고정입력자료와 가변입력자료로 구분할 수 있다. 고정입력자료는 일단 모형이 구축되고 나면 변하지 않는 자료로서 하천단면자료와 모형에 필요한 각종 변수를 말하며, 가변입력자료는 모형 실행 때마다 변화하는 유량, 수위 등 수문자료와 조도계수를 말한다.

2.2.1 하천단면자료

대청 조정지댐에서 금강하구둑까지의 금강하류부에 대한 구간 거리는 130.79㎞이고, 단면의 개수는 302개이다. 금강 하류부에 대한 단면의 형태를 그림 1과 같은 HEC-2 단면자료를 이용하여 그림 2와 같이 하폭-표고관계로 변환한 후 표고에 따라서 하폭의 변화가 선형관계가 되도록 8개의 점을 선택하여 단면자료를 결정하였다.

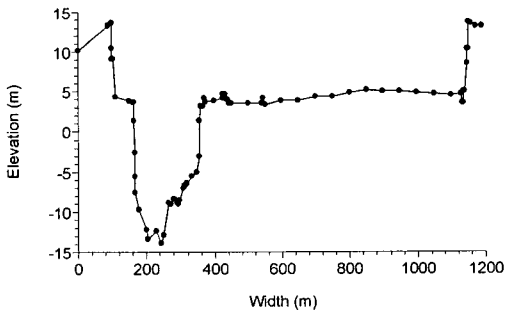

그림 1. 강경 수위표지점의 횡단면

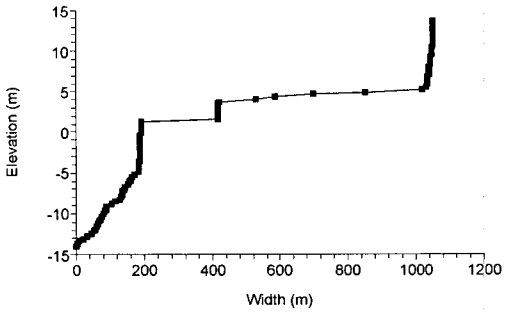

그림 2. 강경 수위표지점 횡단면 자료변환

2.2.2 상·하류경계조건

FLDWAV 모형에서 상·하류경계조건의 형태는 수위수문곡선, 유량수문곡선, 수위-유량관계곡선식 및 Manning의 식을 선택적으로 이용할 수 있다. 본 연구에서는 상류경계조건으로 대청 조정지댐 방류량을 사용하였고, 하류경계조건으로 금강 하구둑 내수위를 사용하였다. 상류경계조건은 대청 조정지댐의 예측방류량을, 하류경계조건은 하구둑 수문조작에 따른 내수위 예측프로그램으로 예측되는 값을 사용하였다.

표 1. 회귀식에 사용되는 종속 및 독립변수 목록

종속변수	변수코드	독립변수	변수코드	회귀계수코드
관측외수위(t)	Y	관측외수위(t-3) ~ 관측외수위(t-1)	X_1 ~ X_3	β_1 ~ β_3
		예측조위(t-2) ~ 예측조위(t)	X_5 ~ X_7	β_5 ~ β_7
		예측입포유량(t-3) ~ 예측입포유량(t)	X_8 ~ X_{11}	β_8 ~ β_{11}

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_n X_n \tag{1}$$

내수위를 예측하기 위해서 사용된 외수위 예측은 하구둑 내측으로 유입되는 유입량과 예측 조위가 실제 관측되는 외수위와의 상관관계에 대한 회귀분석을 수행하였다. 금강 하구둑 지점의 예측조위는 하구둑에서 가장 가까운 군산외상 조위관측소의 조위자료를 조화상수를 이용하여 예측조위값을 산정하였고, 회귀분석방법으로는 다중선형회귀분석(Multiple Linear Regression Analysis, MLRA)와 단계적 선형회귀분석(Stepwise Linear Regression Analysis, SLRA)을 사용하였다. 표 1은 회귀식에 사용된 종속 및 독립변수 목록이고, 식 (1)은 다중선형회귀분석의 일반적인 형태이다. 예측외수위와 관측외수와의 분석결과 R^2 값이 MLRA는 0.958, SLRA는 0.962 이고, RMSE 값은 MLRA와 SLRA 둘 다 0.294의 값의 결과를 나타내어 예측외수위를 적용함에 있어 적합하다고 판단되었다.

2.2.3 측방유입량

금강하류부의 지류 및 미계측 소유역으로부터 유입되는 유입량을 수문학적 홍수예측모형인 저류함수모형으로 계산되는 값을 측방유입량으로 입력하여 사용하였다.

2.2.4 조도계수

FLDWAV 모형과 같은 부정류 계산모형의 경우에는 운동량 방정식의 에너지 경사, 또는 마찰 경사 항에 포함되는 조도계수가 지배적인 매개변수가 된다. 본 연구에서 적용된 금강하류부 구간별 유량규모별 조도계수의 범위는 표 2와 같다.

표 2. 구간별 유량규모별 조도계수 범위

구간	유량규모(m³/s)					
	0 ~ 200	200 ~ 600	800 ~ 1500	2000 ~ 3000	4000 ~ 5000	8000 ~ 15000
대청조정지 - 매포	0.200 ~ 0.160	0.045 ~ 0.040	0.035 ~ 0.028	0.030 ~ 0.023	0.018 ~ 0.016	0.016 ~ 0.013
매포 - 부강	0.200 ~ 0.160	0.036 ~ 0.032	0.031 ~ 0.026	0.025 ~ 0.021	0.018 ~ 0.016	0.016 ~ 0.013
부강 - 금남	0.200 ~ 0.160	0.045 ~ 0.040	0.035 ~ 0.028	0.026 ~ 0.023	0.018 ~ 0.016	0.016 ~ 0.013
금남 - 마어구	0.200 ~ 0.160	0.050 ~ 0.032	0.035 ~ 0.027	0.027 ~ 0.019	0.019 ~ 0.018	0.018 ~ 0.013
마어구 - 공주	0.200 ~ 0.160	0.050 ~ 0.032	0.031 ~ 0.027	0.027 ~ 0.025	0.025 ~ 0.022	0.018 ~ 0.013
공주 - 진두	0.200 ~ 0.160	0.040 ~ 0.033	0.030 ~ 0.029	0.030 ~ 0.024	0.023 ~ 0.019	0.018 ~ 0.013
진두 - 규암	0.200 ~ 0.160	0.040 ~ 0.031	0.029 ~ 0.027	0.027 ~ 0.025	0.027 ~ 0.025	0.018 ~ 0.013
규암 - 반조원	0.200 ~ 0.160	0.036 ~ 0.032	0.032 ~ 0.030	0.029 ~ 0.022	0.021 ~ 0.020	0.019 ~ 0.013
반조원 - 강경	0.200 ~ 0.160	0.040 ~ 0.032	0.031 ~ 0.027	0.029 ~ 0.022	0.021 ~ 0.020	0.019 ~ 0.013
강경 - 입포	0.200 ~ 0.160	0.050 ~ 0.048	0.045 ~ 0.029	0.037 ~ 0.027	0.026 ~ 0.025	0.019 ~ 0.013
입포 - 하구둑	0.200 ~ 0.160	0.060 ~ 0.040	0.045 ~ 0.029	0.027 ~ 0.022	0.021 ~ 0.020	0.019 ~ 0.013

3. 수리학적 홍수예측모형의 검증

본 연구에서는 2006년 7월 14일 ~ 7월 20일의 홍수사상을 이용하여 규암 및 강경지점의 수위자료와 비교 검토하였다. 그림 3과 4는 수리학적 홍수예측 모형의 모식도와 개발된 프로그램 메인화면이다.

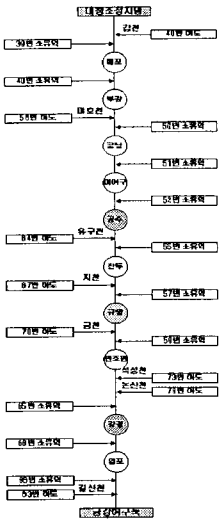

그림 3. 수리학적 모형 모식도

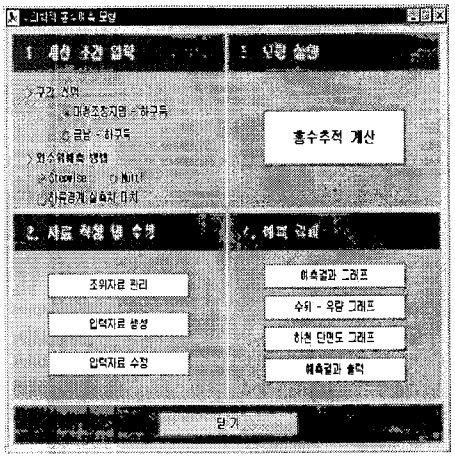

그림 4. 수리학적 홍수예측 모형 메인화면

그림 5와 6은 각각 규암과 강경지점에 대한 검증결과를 나타낸 것이다. 규암지점의 경우 실측 첨두수위(7월 17일 16시) 7.01m, 예측 첨두수위(7월 17일 16시 30분) 7.04m로서 수위차가 +0.03m 그리고 첨두발생시간 오차는 +30분 오차가 발생하였다. 강경지점의 경우 실측 첨두수위(7월 17일 22시) 6.53m, 예측 첨두수위(7월 17일 22시) 6.56m로서 수위차가 +0.03m 그리고 첨두발생시간은 일치하였다. 검증결과 규암과 강경지점의 실측 및 예측 첨두수위차가 0.03m 이하 정도의 오차를 보이고 있고, 그림 3과 4의 우량-수위곡선에서 전체적으로 실측 및 예측수위의 오차의 폭은 좁은 편인 것을 알 수 있다.

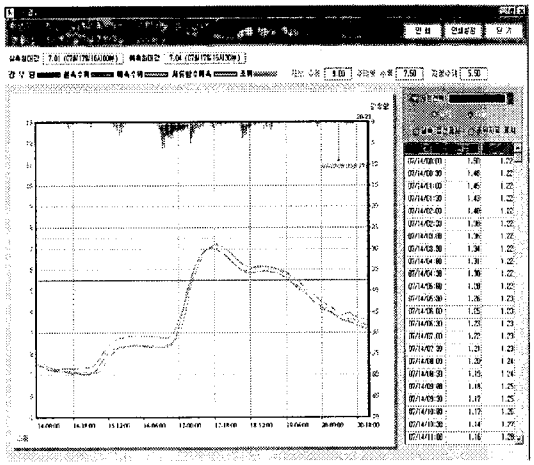

그림 5 규암지점 검증결과 (2006년 7월 14일 ~ 7월 20일)

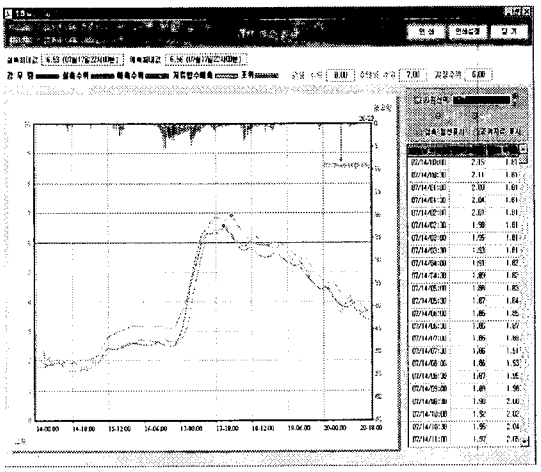

그림 6 강경지점 검증결과 (2006년 7월 14일 ~ 7월 20일)

4. 결론 및 향후과제

기존의 금강홍수예보시스템이 금강하구언의 수문개폐로 인한 배수영향을 반영하지 못하였다. 본 연구를 통하여 금강 하구둑의 영향을 고려한 수리학적 홍수예측모형을 개발하였다. 금강 하구둑에 의한 배수영향을 받는 구간인 규암과 강경지점의 수위의 예측정도를 높이기 위해 수리학적 해석을 위한 대상구간의 입력자료를 구축하고, 금강 하구둑 수문조작에 따른 내수위(하류경계조건)와 하구둑 내측 유입량과 예측조위간의 회귀분석을 이용한 외수위를 예측하여 하구둑 운영을 고려한 연계모형을 개발하였다. 상류경계는 미호천이 합류하기 전인 대청조정지댐과 미호천 합류후인 금남수위표를 고려할 수 있도록 하였으며, 측방유입량은 수문학적 모형에서의 각 지류 및 소유역 유출량을 이용하였다. 이를 통해 근본적으로 수문학적 모형이 해결할 수 없는 한계를 없애고, 수문학적 모형과 병용함으로써 더 정확하고 효과적인 홍수예보업무가 될 것이라고 판단된다. 또한 개발된 모형을 실제 홍수기때 운용하여 검증 및 보완작업을 수행하여야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부 금강홍수통제소(2006). 금강하류부 하도의 홍수예측모형 개발
2. 건설교통부 대전지방국토관리청(2002). 금강수계 하천정비기본계획.
3. 한국수자원학회(2006). 제15회 수공학 웍샵 교재.
4. Fread, D.L, and Lewis, J.M.(1998). NWS FLDWAV Model, NWS Report, Hydrologic Research Laboratory, NWS Office of Hydrology, NWA, Silver Spring, MD.