

낙동강홍수예보시스템 개선

Improvement of Flood Forecasting System in the Nakdong River

윤광석*, 이민호**, 이병수***

Kwang Seok Yoon, Min Ho Lee, Byung Soo Lee

요 지

홍수로 인한 국민의 재산과 인명피해를 방지 또는 최소화하기 위한 방법으로 주요지점을 선정하여 홍수예보를 수행하고 있다. 이러한 홍수예보는 초기 강우법, 수위법 등의 단순한 방법으로 수행되었으나, 컴퓨터가 발달되면서 여러 형태의 홍수유출모형이 개발되어 현재에는 홍수유출모형을 이용한 홍수예보를 수행하고 있다. 낙동강홍수예보 시스템은 1987년 낙동강홍수통제소의 개소시 42개소의 수위관측소와 54개소의 우량관측소를 중심으로 43개 소유역을 구분하고 티센망을 구성하여 홍수예보시스템을 구축하였다.

홍수예보시스템이 구축된 후 여러 차례의 매개변수 개선과정을 거쳐 운용하고 있다. 반면, 지속적인 수문관측소의 증설이 이루어졌으나 이를 모형에 반영하지 않아 증설된 수위관측소를 반영하여 114개 소유역으로 구분하고 추가된 우량관측소를 이용하여 티센망을 구성하였으며, 당초 반영되지 않았던 소규모댐을 모형에 추가하여 예측의 정확도를 재고하였다. 증설된 수문관측소를 모형에 반영과 함께 우량자료의 신뢰성 및 안정성을 확보하기 위한 우량관측소의 확장방안을 제시하였다.

본 연구에서 수행한 낙동강홍수예보 시스템의 소유역을 114개로 나누고 기존의 유효우량산정법, 유역유출모형, 하도유출모형의 매개변수를 전통적인 방법으로 재산정하여 홍수기에 적용한 결과 당초의 홍수예보시스템으로 예측한 결과보다 소유역의 적절하게 재구성하는 것으로도 예측의 정밀도가 개선되었음을 확인할 수 있었다. 그러나, 소유역의 수와 하도의 수가 증가하면서 발생하는 오차를 감소시킬 필요성이 있으며, 이는 지속적인 시스템의 운용을 통하여 모형구성을 개선함으로써 어느 정도 개선될 것으로 판단된다. 그밖에 기존의 매개변수산정을 전통적인 방법에서 우리나라 하천 또는 낙동강유역의 하천에 적당한 방법을 개발하여 개선시킬 필요성이 있다.

핵심용어 : 홍수예경보 시스템, 소유역 구분, 홍수유출모형, 수문관측소

1. 서 론

본 연구는 낙동강, 형산강, 태화강유역의 수문관측소 증설에 따른 수문관측소 현황을 조사·분석하여 홍수예측모형을 개선 또는 보완하고 이에 따른 소유역 및 하도를 재구성하여 모형상수를 산정하는 것이다. 홍수예보 정확도 향상을 위하여 기존 유출모형의 모형상수를 재검토하여 정비하고, 하도특성을 반영하여 모형상수를 개선한다. 또한, 기존 홍수예측모형에 제외되었던 영천댐, 운문댐, 밀양댐 3개 댐을 모형에 반영하여 홍수예보업무에 활용할 수 있도록 했으며, 향후 지속적인 홍수예보의 정확도 및 신뢰도 향상을 위하여 체계적인 수문관측소 증설 및 확장을 위한 계획을 수립하였다.

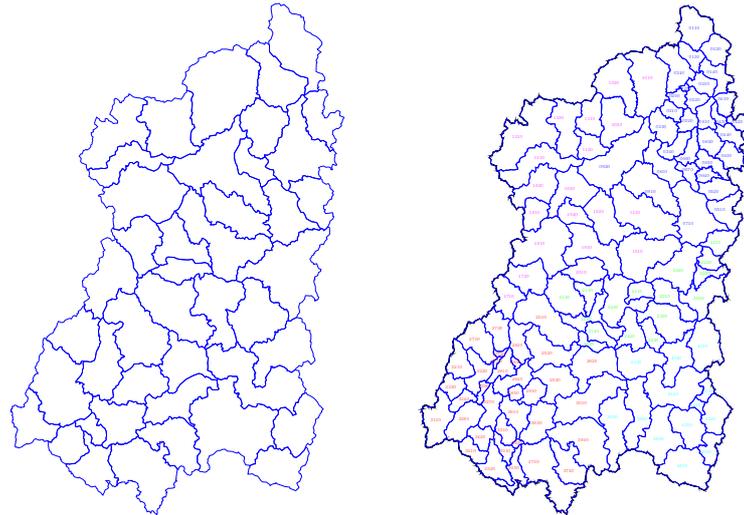
2. 홍수예보시스템 개선

* 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원·E-mail : ksyoon@kict.re.kr
** 정회원·한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원·E-mail : 518minho@kict.re.kr
*** 건설교통부 낙동강홍수통제소 조사과 주사·E-mail : ibs403@moct.go.kr

2.1 수문관측소 증설에 따른 소유역, 하도 및 티센망 재구성

수문관측소의 증설과 신설댐, 그동안 예측모형에서 제외되었던 영천댐과 운문댐을 예측모형에 추가함으로써 예측모형의 정확도를 제고할 필요가 있다. 홍수예측업무의 효율적인 수행을 위하여 그림 1에 보인 바와 같이 낙동강유역을 5개 대유역, 14개 중유역, 114개 소유역으로 구분하였다. 댐유역의 유입량을 보다 정확하게 산정하기 위하여 댐상류 유역에 대한 소유역을 세분하였다.

기존의 소유역 개수에 비해 새로 분할되는 소유역이 많아 대유역의 경우 A, B, C, D, E유역으로 나누었으며, 중유역의 경우 01~14 중유역으로 나누어 유역을 분할하였다. 각각의 중유역은 소유역으로 구성되어 있으며 총 114개로서 각 중유역 내에서 01번 소유역부터 순차적으로 유역번호를 부여하였다.



(a) 개선전 (b) 개선후
그림 1. 개선 전·후 홍수예보시스템의 소유역구분

하도는 84개로 분할되었고, 증가된 소유역 114개소에 대해서 2003년도에 신설된 우량관측소를 포함하여 티센망을 작성하였으며 또한 소유역·관측소별 티센계수와 RDS 보완값을 산정하였다.

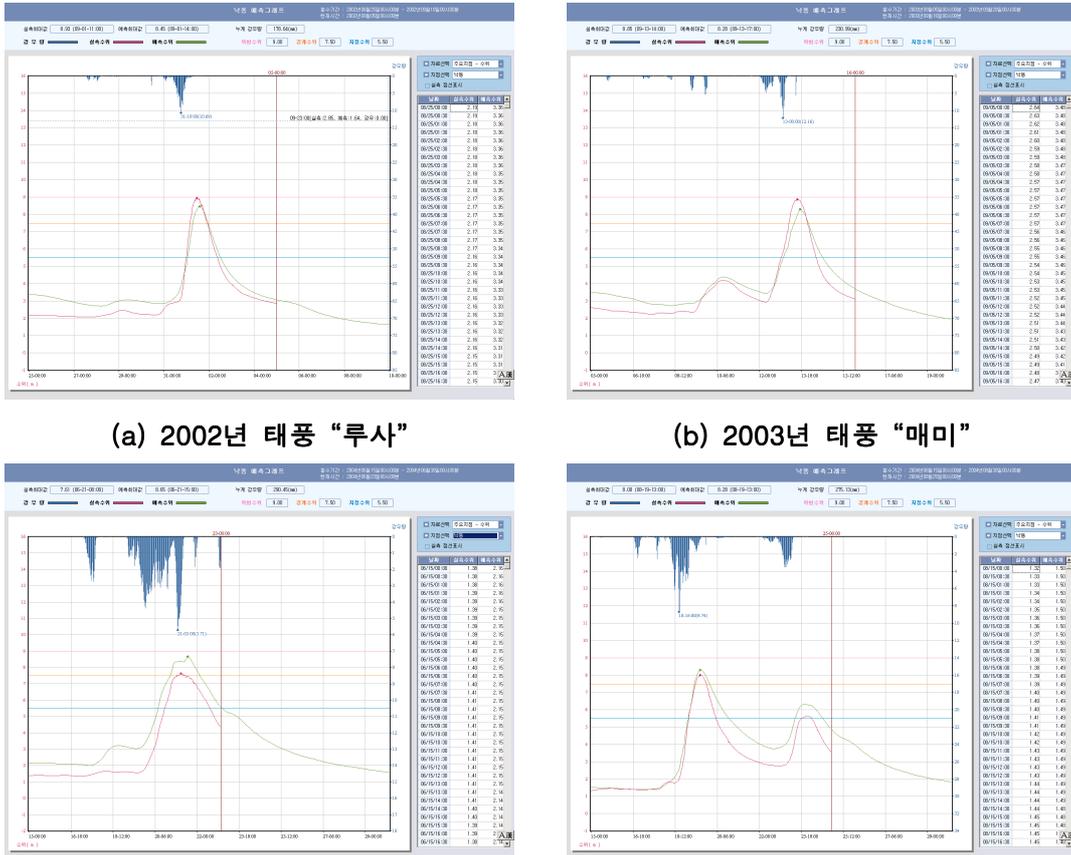
2.2 유출모형상수 개선

저류함수법을 이용한 홍수추적에서 모형상수의 검증은 대상 유역 혹은 하도에 대한 최적 모형상수를 결정하기 위한 것이다. 실제 홍수예측에는 유역내에 측정된 강우자료를 입력자료로 하여 먼저 유역추적에 의한 유역 유출량을 계산하고 이것을 하도의 유입량으로 하여 하도추적을 실시한다. 따라서 강우자료가 주어지면 초기 모형상수를 이용하여 유역내 마지막 하류지점까지 주어진 기간동안에 대한 유출량을 계산할 수 있다. 이 때 모형상수는 실측자료가 측정되고 예측치와 직접 비교해 가면서 수정하게 되는데 수정된 모형상수에 의해 유출량을 계산하여 실측치와 비교해 보고 결과가 좋지 않으면 다시 모형상수를 수정하여 계산을 실시한다. 따라서, 사용되는 모형상수는 유역이나 하도를 대표하는 값이어야 하며, 실제 홍수추적에서 모형상수는 홍수의 크기에 따라 변화할 수 있으나, 산정되어 있는 기본값으로부터 약간씩 변화를 주어 홍수예측을 하는 것이 정확도나 업무효율성 측면에서 유리하다. 따라서, 홍수예측 정확도 및 신속성 제고를 위해서는 매개상수 조정시 변화를 최소화시킬 수 있는 기본값의 설정이 중요하다.

모형상수의 검증을 위해서 2000년 이후의 홍수사상에 대하여 검토하였다. 홍수가 발생횟수는 2000년 3회, 2002년 2회, 2003년 2회 2004년 2회 등이다. 이들 홍수사상 중 개선된 모형을 검토하기 위해서는 유역의 현황이 비교적 최근과 유사한 홍수사상을 선택했다. 2002년 태풍 “루사”, 2003년 태풍 “매미”, 2004년 태풍 “디엔무”와 “메기”에 의한 호우를 선정하여 모형에 적용하였다.

그림 2는 주요 예보 지점인 낙동 지점에 대해 검토한 결과를 나타낸다. 낙동 지점은 본류의 달지 지점의 유출량과 12번 영강 유역, 13번 병성천 유역과 15, 16번 위천 유역의 유출량이 합쳐지는 지점으로 예측유입

량이 실제유입량의 차이를 보이는 홍수기는 2004년 태풍 “디엔무”때만 오차가 많이 발생하였다. 타 홍수기는 비교적 정확하게 예측이 가능하였으므로 낙동지점의 상류유역에 대한 매개변수는 적절히 산정된 것으로 판단된다. 그림에서 알 수 있듯이 같은 해에 발생한 홍수라도 홍수형태나 유역의 상황에 따라 전혀 다른 유출 양상을 보이고 있다. 따라서 홍수예측시 강우와 유역특성의 파악하고 적절히 모형을 운용하는 것이 매우 중요하다는 것을 알 수 있다.



(a) 2002년 태풍 “루사”

(b) 2003년 태풍 “매미”

(c) 2004년 태풍 “디엔무”

(d) 2004년 태풍 “메기”

그림 2. 낙동지점 기본값에 의한 예측결과

홍수기 모형상수의 적용은 홍수특성과 이에 따른 유역의 특성에 영향을 받고 있으므로 일반적인 모형상수의 적정치는 산정값을 기준값을 이용할 수 있으나 당시의 홍수특성과 유역특성을 파악하여 적절히 대처할 필요성이 있다.

2.3 대표홍수를 이용한 모형 운영

홍수가 발생할 경우 호우원인과 강우의 지역적 분포, 강우의 이동형태 및 AMC조건 등을 조사하여 호우의 특성을 파악하고 최적의 매개변수를 조정하여 유사한 홍수가 발생할 경우 이미 저장되어 있는 대표홍수의 매개변수를 호출하여 사용함으로써 매개변수의 수정시간을 단축하여 홍수예보가 보다 신속하게 실시할 수 있다.

표 1에 제시된 호우자료 중 자료의 형태 및 데이터베이스와 구조가 달라 개선모형으로 대표홍수를 분류할 수 있는 호우는 2002년부터 5개의 호우사상에 대하여 모형의 적용이 가능하며, 이들 홍수를 대표홍수의 유형별로 분류하여 제시하였다. 향후, 많은 홍수가 발생할 경우 추가적으로 대표홍수를 분류하여 이용할 수 있도록 한다.

표 1. 대표홍수의 영향인자

호우원인	지역적 분포	AMC 조건	강우 진행방향	누가우량(mm)
태풍	경상북도 일대	I	상류에서 하류로 이동	< 200
장마	경상남도 일대	II	하류에서 상류로 이동	200 ~ 300
집중호우	유역 전반	III	이동 없음	300 <

앞에서 제시한 대표홍수의 영향인자에 따라 2000년 7월 홍수부터 2004년 태풍 “메기”에 의한 호우를 대상으로 총 9개의 대표홍수를 분류하였다. 표 2는 각 대표홍수의 원인, 지역적 분포, 토양함수조건, 강우진행방향 및 누가우량 등을 나타낸 것이다.

표 2. 낙동강유역의 대표홍수 분류

대표홍수	원인	지역적 분포	AMC	강우진행방향	누가우량
2000년 7월 홍수	장마	낙동강 중·상류	III	상류 → 하류	190
2000년 8월 홍수	호우	전유역	III	-	154
2000년 사오마이	태풍	낙동강 중·하류	III	하류	220
2002년 8월 홍수	호우	전유역	II	-	400
2002년 루사	태풍	낙동강 상·하류	III	하류 → 상류	200
2003년 8월 홍수	호우	낙동강 중·상류	III	정체	180
2003년 매미	태풍	낙동강 하류	III	정체	230
2004년 디앤무	태풍	낙동강 상류	II	하류 → 상류	250
2004년 메기	태풍	낙동강 중·하류	III	하류	280

그림 3은 2002년 태풍 “루사”에 의한 호우시 홍수예측곡선과 등우선도를 나타낸다. 강우기간은 8월 30일 17시경부터 9월 1일 11시경까지이며, 낙동강 상류유역의 총 누가우량은 180 mm정도이고, 하류유역은 200 mm 이상을 기록했다. 표 2에 나타낸 바와 같이 호우 분포는 낙동강 상·하류 유역에 고루 분포하며 선행토양함수조건(AMC)는 III인 경우이며, 강우진행방향은 하류에서 상류이다. 이렇게 강우분포나 선행토양함수조건 및 강우진행방향을 고려하여 홍수예보업무를 수행한다면 정확도나 신속성을 향상시킬 수 있으리라 판단된다.

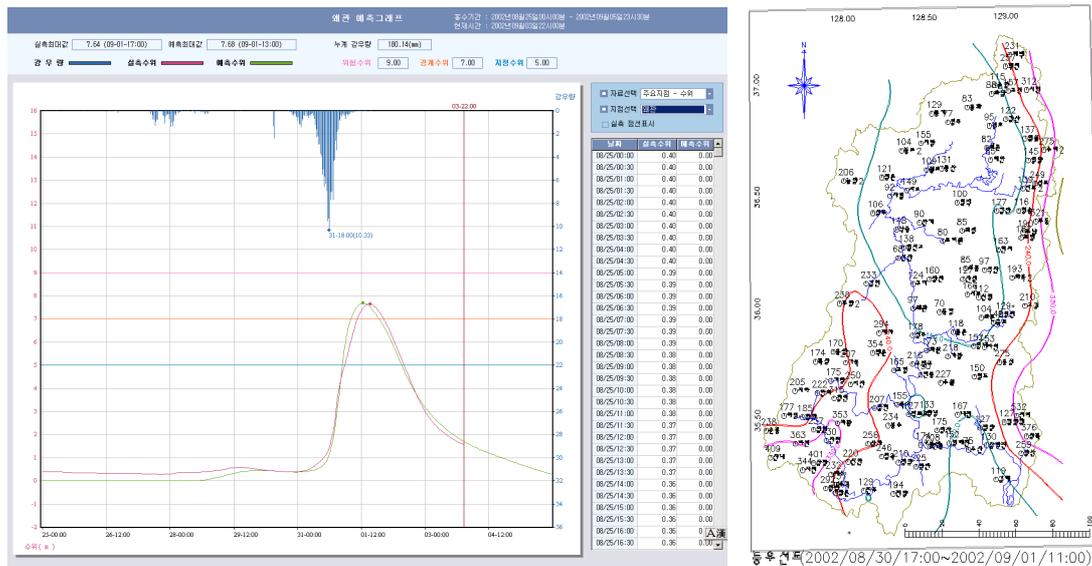


그림 3. 2002년 태풍 “루사” 내습시 예측그래프와 등우선도

2.4 중소하천 유역에 대한 통계적 홍수예측 방법

형산강과 태화강은 낙동강과는 달리 유역면적이 비교적 작은 하천으로 강우가 짧은 시간에 집중되면 상류로부터 예보지점까지 도달시간이 짧아 홍수예보시 선행시간 확보에 어려움이 따른다. 이러한 문제점 때문에 수위가 급격하게 상승할 경우 홍수주의보를 발령하지 않고 바로 홍수경보를 발령할 수 있도록 하천법시행규칙을 개정한 바 있다. 이러한 제도적인 개선과 더불어 강우예측자료에 의존해야 하는 형산강과 태화강 홍수예측모형의 취약성을 보완하기 위하여 과거의 수문자료의 분석을 통한 통계적인 방법을 검토하였다. 분석을 위하여 형산강과 태화강 유역의 수문자료를 수집하였다. 2002년 이전에는 수문자료가 1시간 단위로 관측되었으나, 2002년부터 30분 단위로 수문자료가 관측되고 있다.

형산강유역은 대송지점과 안강지점, 태화강유역은 울산지점을 대상지점으로 하였으며, 각 지점의 상류에 위치한 우량관측소의 우량자료를 이용하여 평균강우량을 산정하고, 현재시간의 수위와 현재시간으로부터 3시간 전의 누가우량을 이용하여 1시간 후의 수위와 상관관계는 다음과 같이 도출하였다.

$$\text{대송} : y_{n+1} = 1.1467y_n + 0.0041R_3 - 0.3783, R^2 = 0.9131 \quad (1)$$

$$\text{안강} : y_{n+1} = 0.9878y_n + 0.0182R_3 - 0.5171, R^2 = 0.9035 \quad (2)$$

$$\text{울산} : y_{n+1} = 1.1286y_n + 0.0002R_3 - 0.0306, R^2 = 0.9334 \quad (3)$$

여기서, y_{n+1} 은 1시간후 예상되는 수위(m)이며, y_n 은 현재시간의 실시간 수위(m)이고, $R_N = \sum_{i=1}^n R_i$ 은 1시간 전으로부터 n 시간동안 누가우량(mm)이다.

같은 방법으로 현재시간의 수위와 3시간 전까지의 누가우량을 이용하여 2시간 후의 수위와의 상관관계를 분석하면 대상지점별로 다음과 같은 관계식을 도출할 수 있다.

$$\text{대송} : y_{n+2} = 1.1512y_n + 0.0086R_3 - 0.4835, R^2 = 0.7968 \quad (4)$$

$$\text{안강} : y_{n+2} = 0.8860y_n + 0.0314R_3 - 0.5573, R^2 = 0.8277 \quad (5)$$

$$\text{울산} : y_{n+2} = 0.9761y_n + 0.0073R_3 + 0.3135, R^2 = 0.8431 \quad (6)$$

여기서, y_{n+2} 는 2시간후 예상되는 수위(m)이다.

대상지점의 1시간 후, 2시간 후 수위와 현재수위 및 누가우량과의 상관계수를 살펴보면 1시간 후를 예측할 경우 0.9이상으로 높은 상관관계를 보였으며, 2시간 후를 예측할 경우도 0.8정도의 상관관계를 보이고 있다. 낙동강홍수통제소 전산실에 실시간으로 전송되고 있는 TM관측소의 수문자료와 연계하여 주의보수위 낮은 수위에서 강우가 발생할 경우 위에 제시된 식으로부터 수위를 계산하여 홍수예보시 선행시간을 확보하는데 도움이 될 것으로 판단된다.

3. 결 론

본 연구에서는 낙동강의 홍수예측 정확도 향상을 위하여 소유역, 하도 및 티센망을 재구성하였다. 또한, 유역특성변화에 따라 유출모형상수를 재산정하였으며, 신속한 홍수예측업무를 위하여 대표홍수개념을 도입하여 실무에 적용할 수 있도록 하였다. 도달시간이 짧은 중소하천 유역에 대해서는 통계적인 방법을 이용하여 주요지점에 대한 1, 2시간 후의 대략적인 수위변화를 예측할 수 있는 관계식을 도출하였다.

향후, 홍수예측 업무를 수행에 있어 선행 또는 병행되어야 할 사항들로 (1) 유량측정 지점 및 횡수의 확대, (2) 수리학적 모형의 개선, (3) 중소하천 특성에 적합한 새로운 홍수예측모형 개발 등을 있으며, 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부 낙동강홍수통제소(1998-2003). 洛東江洪水豫警報(洛東江·兄山江·太和江).
2. 한국건설기술연구원(2004). 낙동강홍수예보시스템 개선. 건설교통부 낙동강홍수통제소.