

낙동강수계 유출프로그램 개선

윤강훈*, 이은태**, 이주현***

1. 서 론

1986년 개발하여 현재까지 운영인 낙동강 홍수예경보 프로그램의 제반 모형 변수를 그동안의 유역상황의 변동에 맞추어 수정 보완하여, 보다 신빙성 있는 홍수예측 업무수행을 할 수 있도록 합과 동시에 향후 예측강우에 의한 홍수예경보 시스템 운영에 대비한 유역의 강우형태를 분석하였다. 또한 1994년도의 유래없는 가뭄으로 대두된 저수시의 유량측정을 위한 수위-유량관계곡선식의 저수부분 확장 기법에 대하여 연구하여 주요 지점에 대한 저수시의 H-Q 관계를 제시하였다.

2. 강우의 시·공간 분포형의 분석

낙동강 홍수예경보 시스템의 홍수예측 프로그램은 크게 강우예측 프로그램과 유출계산 프로그램으로 나눌 수 있다. 이중 강우예측 프로그램은 기상청의 기상예보와 경험적인 판단으로 강우의 지역적 분포 특성이 비슷한 지역으로 분할된 각 유역의 총 강우량, 강우 지속기간 및 강우의 시간분포형 등을 결정한 후 예측된 총 강우량을 강우의 시간 분포형에 따라 각 유역의 유역평균 시간우량으로 분포시켜 강우를 예측하고 있다.

강우 예측프로그램에서 계산된 예측우량은

홍수예측을 위한 유출계산 프로그램의 입력 자료가 된다. 따라서 홍수예측의 정확도를 향상시키기 위하여 유출계산 방식의 검토 뿐만 아니라 강우예측에 대한 검토가 필수적이라 할 수 있다. 그러나 유출계산과 달리 현재 강우예측은 아직 그 기술수준이 낮은 상황으로 예측의 정확도는 그리 높지 않다.

강우예측을 위하여 현 낙동강 홍수예경보의 강우예측 프로그램은 확정적인 강우의 시·공간 분포형을 필요로 하며 이들은 과거 자료의 분석에 의하여 선정된다. 그러나 시·공간 분포형들은 지형적, 기후적 조건 등에 따라 변화하기 때문에 이들을 하나의 특정분포형으로 결정하는 것은 불가능하다. 따라서 가능한 많은 과거의 호우자료로부터 어떤 시·공간 분포형들이 분포하였는가를 분석하여 해당 유역에 몇 개의 적합한 강우의 시·공간 분포형을 개발하게 된다.

본 연구에서는 강우의 시·공간 분포형을 분석하기 위하여 단일 호우사상의 선정기준에 대한 분석을 수행하고 이들에 의해 분석된 결과를 이용하여 단일 호우사상을 선정한 후 이들 호우사상들의 공간적 분포에 의하여 비슷한 강우특성을 가지고 있는 지역으로 낙동강 유역을 분할하였다. 그리고 이들 지역에 속한 기상청 우량 관측소들의 강우 자료를 이용하여 유역 평균우량을 산정한 후 강우의 시간

* 한국건설기술연구원 수자원연구실, 工博
** 경희대학교 공과대학 토목공학과 교수, 工博
*** 경희대학교 공과대학 토목공학과, 博士課程

분포형들을 제시하였다.

3. 유출 프로그램의 검토

3.2.1 유역유출모형의 변수결정

유역의 저류상수 결정시 사용된 소유역은 총 43개 소유역 중, 홍수시 유량자료가 있는 길안, 월포, 점촌, 개진, 태수 등 5개의 소유역과 선산, 동촌, 산청 등 3개의 합성소유역으로 결정하였다. 수문자료는 1987 ~ 1993년 동안의 T/M자료를 이용하였다. 유역평균 우량주상도와 홍수수문곡선을 분석하기 위하여 선정된 주요 홍수사상은 낙동강홍수에정보와 재해년보를 참고하여 1987 ~ 1993년 동안에 비교적 수문자료가 양호한 기간만을 선택하였다.

○ 분석대상 소유역별 저류상수의 결정

유역 유출량을 계산하기 위해서는 강우 및 유역 유출기구의 특성에 따라 각각 다른 값을 가지는 저류함수모형의 상수 K , P 및 지체시간 T_1 이 소유역별로 결정되어야 하며, 현재 한강유역 및 섬진강, 금강, 영산강유역 유출모형의 변수결정시에는 상수고정법을 이용하고 있다. 본 유역에서도 과거 수문자료의 축적정도 및 정확도등 제반여건을 고려해 본 결과 상수고정법을 이용하는 것이 타당한 것으로 판단되었으며, 상수고정법을 통하여 분석대상 소유역별 홍수기록으로부터 그 소유역에 대한 저류상수 K , P 및 지체시간 T_1 을 구한 결과를 다음의 상관관계식을 제안하였다.

$$K = 60.598 C^{0.5035}$$

$$P = 0.2277 C^{-0.2647}$$

$$T_1 = 0.0085 L^{1.4749}$$

SCS방법에 의한 일차유출을 f_1 , 포화유출을 f_{∞} 및 포화우량 R_{∞} 의 결정은 호우에 의한 유출기록이 없어 실측자료로부터 상기 상수값들

의 결정이 불가능한 경우에도 사용할 수 있다. 본 연구에서는 낙동강 전역에 걸쳐 내린 과거의 주요 호우사상을 선별하고 낙동강 홍수에정보 프로그램내에 사용되고 있는 디센계수로 유역평균우량을 산정하고 총우량-유효우량 관계곡선을 사용하여 43개 분할 소유역에 대한 f_1 , f_{∞} , R_{∞} 를 결정하였다.

3.2.2 하도유출모형의 변수결정

본 유역에는 1986년 낙동강 홍수에정보 프로그램 개발시 하도의 유출모형개발시 하도구간에 대한 홍수추적을 축차적으로 시행하기 위하여 시행한 소유역의 분할결과를 토대로한 28개 하도구간과 그후 홍수에정보 운영상 추가된 4개의 하도구간이 합쳐져 총 32개의 하도구간을 존재한다. 그러나 실제 하도특성에 대한 자료는 낙동강 하천정비기본계획에서만 얻을 수 있으며, 하천측량성과가 있어서 하도의 지형인자를 구할 수 있는 9개 하도구간을 제외한 나머지 하도구간은 실측자료분석에서 제외하였다.

제외된 하도구간에 대한 저류상수 K 는 지체시간은 기무라(木村) 공식을 사용하고 조도계수는 한강공식을 사용한 결과를 이용하여 하도구간의 저류상수 K 를 하도길이 L 및 하도평균경사 i 의 관계식으로 상관분석하여 다음과 같이 산정하였다.

$$K = 2.2204 L i^{-0.1909}$$

3.3 저류함수법 매개변수 조정방안

본 연구에서는 저류함수법을 이용하여 유역 및 하도의 유출분석시 입력자료로 사용되는 매개변수들에 관한 각각의 민감도를 분석하므로써 매개변수 조정시의 우선순위와 조정폭을 결정하는데 지침을 제시하였다.

유출분석시 사용되는 매개변수로는 유역과 하도로 나누어서 생각할 수 있으며, 유역유출 모형의 매개변수로는 저류상수 K, P 및 지체 시간 T_1 과 포화유량 R_{ss} , 일차유출율 f_1 , 포화 유출율 f_{ss} 등이 있고 하도유출모형의 매개변수로는 저류상수 K, P 및 지체시간 T_1 등이 있다. 따라서 본 유역의 모의유출계산(Test Run) 시의 계산결과를 토대로 각각의 변수들에 대한 민감도를 분석 제시하였다.

4. 저수시 수위-유량관계식 보정

본 연구에서는 낙동강유역의 유량관측지점의 저수시 유량환산을 위하여 필요한 자료들을 수집 분석하여 그 타당성과 적합성을 기술하였으며, 저수시 수위-유량관계식 보정이 가능한 지점에 대하여 그 식을 제시하였다.

○ 저수시 수위-유량관계식 보정방안 검토

낙동강에서 한국수자원공사의 일부 지점을 제외하고 수위자료가 있는 지점은 모두 67개 지점으로 자료년수는 모두 1,761년에 이른다. 지점당 평균 자료년수는 26.3년이며, 일수위 자료가 가장 많은 지점은 낙동으로 71년의 자료가 있다. 67개 지점 가운데 유량측정성과가 있는 지점은 모두 47개 지점이며, 지점당 평균 122개의 유량측정성과가 있다. 유량측정성과가 가장 많은 지점은 진동으로 371개가 있으며, 가장 작은 지점은 수산으로 3개이다.

이렇듯 지점으로 보면 유량측정을 실시한 수위관측소는 전체의 70% 정도로 적지 않음을 알 수 있다. 그러나 각 지점별로 유량측정성과의 내용을 살펴보면 그 내용이 만족스러운 지점은 많지 않다. 좀 더 구체적으로 살펴보기 위하여 지점별로 일수위와 유량측정성과의

수위자료를 비교하여 보았다.

그림(슬라이드 참조)은 일수위와 유량측정성과의 범위를 보다 구체적으로 파악하기 위하여 각 지점별로 일수위와 유량측정성과의 수위를 비교한 그림이다. 이 그림은 SAS (strategic application software)에서 제공하는 'box plot (schematic plot)'으로 자료의 분포를 파악하는데 유용하다.

박스의 아래와 위는 자료의 25% 및 75% 'percentile'에 해당하며, 양쪽에 '*' 표시가 있는 박스의 중앙선은 자료의 중앙값(median)을, 중앙의 '+' 표시는 자료의 평균값을 나타낸다. 박스에 수직으로 나있는 선은 'whiskers'라고 부르는데 자료 범위내에서 'interquartile(25%와 75% 사이의 거리)'의 1.5배에 해당하는 구간안에 있는 자료를 표시하는 선이다. 그밖에 그 수직선 밖의 '0' 표시는 'interquartile'의 3배에 해당하는 구간안에 있는 극치값들을 나타내며, '*' 표시는 그 구간밖에 있는 극치값들을 나타낸다.

그림에서 알 수 있듯이 일수위자료의 박스에 비하여 유량측정성과의 박스가 상위에 있는 것을 알 수 있다. 이는 저수위 부분의 유량측정성과가 현저히 부족하다는 것을 의미하며, 대부분의 지점에서 저수위에 대한 수위-유량관계 곡선식을 정상적으로 작성할 수가 없음을 알 수 있다.

따라서 저수위에서의 자료 부족으로 정상적인 방법으로 저수위에서의 수위-유량관계 곡선식을 작성할 수 없으며, 따라서 가용한 유량측정 성과와 하천단면 등의 하천특성을 이용하여 저수위에서의 수위-유량관계 곡선식을 작성하는 방법을 채택하였다. 이러한 자료의 한계로 인하여 다음과 같은 가정 아래 연

구를 수행하였다.

- 흐름이 0인 수위 (GZF, Gage height of Zero Flow)는 최근의 하천 단면을 참고하여 개략적으로 가정한다.
- 가장 최근에 제시된 수위-유량관계 곡선식이 가장 신뢰성이 있다는 가정 아래 이를 기준으로 저수위에 대한 수위-유량 관계곡선식을 작성한다.
- 수위-유량관계곡선식은 평수위 이상에서는 제안된 관계식을 그대로 사용하고 저수위에서는 관계표로 작성한다.

5. 결 론

5.1 강우의 시,공간 분포형의 분석

강우의 시, 공간 분포형을 분석하기 위하여 낙동강유역과 인근의 기상청 산하 20개 관측소, 측후소와 건설교통부 산하의 60개 T/M 우량관측소 강우자료를 수집분석하였다.

단일 호우사상 선정을 위한 분석을 실시하여, 연속강우자료에서 11시간 이상 무강우이면 단일호우로 판단할 수 있음을 알았으며, 이를 바탕으로 단일 호우사상을 선정하였다. 이들 단일호우사상을 분석하여 낙동강유역을 대구지점을 경계로 강우특성이 비슷한 두개의 지역으로 나눌 수 있었다.

이들 두 지역에 대하여 강우량 30mm 이상의 단일호우사상의 유역평균우량을 산정하여 월별, 지속시간별, 총강우량별, 호우원인별 강우시간 분포형을 제시하여 강우예측 프로그램 운영시 이용할 수 있도록 하였다.

5.2 유역과 하도에서의 유출모형변수 제안

저류함수모형을 이용하여 낙동강 수계에 대한 유출분석을 위해서는 유역의 유출분석과 하도의 유출분석으로 나누어서 시행하게 되며, 따라서 각각의 모형에 대한 낙동강 수계의 43개 분할 소유역 및 32개 분할 하도구간별 저류상수 K , P 및 지체시간 T_1 을 결정해야 한다. 이때 저류상수 산정시 이용된 유역의 지형학적 특성인자로는 유역경사 i 와 유역형상계수 C 가 검토되었으나 상관관계 분석결과 유역형상계수 C 와의 상관성이 다소 높은것으로 나타났고 지체시간 산정시 이용된 유역의 지형학적 특성인자로는 유로연장 L 이 이용되었다.

전반적인 회귀분석결과를 분석하여 볼 때 동일한 유역에서 저류상수 및 지체시간이 갖는 범위가 너무 크게 나타났으며 그 이유로는 첫째로, 유출분석에 사용된 강우자료 및 수위자료의 정확도 문제를 생각할 수 있고 둘째로, 수위를 유량으로 환산하는 과정에서 이용되는 수위-유량 관계식의 신뢰성 등이 문제가 있음을 생각할 수 있다.

따라서 유역의 저류상수 및 지체시간을 산정하는 방법으로, 본 연구에서는 확보된 자료의 한계성으로 인하여 상수고정법을 이용하였으나 보다 많은 양질의 수문자료가 수집된다면 유역의 저류상수 및 지체시간이 유량의 규모 및 누가우량과 상관관계가 있다는 이론에 입각한 초기유량평가법을 이용할 때 보다 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이다.

따라서 하천측량자료가 있는 9개 하도구간에 대하여 하천의 기하학적 자료를 사용한 저류상수 및 지체시간 추정방법을 이용하였으

며, 이를 하천의 지형학적 특성인자와 상관시켜 도출한 상관관계식을 이용하여 나머지 하도구간의 저류상수를 산정하였다.

하도의 각 매개변수에 대한 조정방안을 검토하여 본 결과, 매개변수 산정시 가장 신중하게 검토되어야 하는 부분은 하도의 저류상수 K , P 이며, 따라서 하도의 저류상수 산정은 하천의 기하학적 자료를 이용하는 방법보다는 실측유량을 이용하여 추정하는 방법이 검토되어야 할 것이다.

이를 위해서는 앞서서도 언급한 바와 같이 각 수위표 지점에서의 수위-유량 관계곡선의 재정비와 더불어 부족한 수위표 지점의 확충이 선행되어야 할 뿐만 아니라, 유역의 경우에 있어서도 유역전반에 걸친 도시화 및 유역상황의 변화에 따른 유출조건의 변화를 고려하기 위해서는 43개 분할 소유역별 유출지수의 조정이 이루어져야 한다.

5.3 저수시 수위-유량관계식 보정방안 검토

낙동강 유역에서 저수시의 적절한 유량환산을 위해서 기존의 관련 자료로서 일수위와 유량측정 성과의 수위자료를 검토하고 이를 분석함으로써 저수위 부분에서 수위-유량관계곡선을 연장할 수 있는 지점을 찾아보았다. 자료분석 결과, 저수위 부분에서 자료에 근거하여 수위-유량관계곡선을 제대로 연장할 수 있는 지점은 없었다.

따라서 저수위에서의 수위-유량관계곡선을 연장하는 방법론에 따라 관련자료가 비교적 많은 진동과 왜관 지점에 대하여 수위-유량관계곡선을 연장하였다. 그러나 관련자료의 절대적인 부족으로 유도된 수위-유량관계곡선의

신뢰도에는 문제가 있다.

이는 자료의 부족으로 다른 대안이 없기 때문인 것으로 판단되며, 다만 방법론을 충실히 따라서 저수위 부분에서 수위-유량관계곡선을 유도하는 절차를 보였으므로 차후 이에 대한 절차를 수행할 때에는 좋은 예제가 될 것으로 판단된다. 아울러 적절한 유량환산을 위하여 시급히 개선해야 할 사항은 다음과 같다.

- (1) 유량측정성과를 포함한 수위-유량환산 관계식 구축에 필요한 충분한 수문자료를 확보하여야 한다.
- (2) 실시간 유량환산을 통하여 자료의 신뢰도를 향상하여야 한다.
- (3) 유량측정을 위한 전문가를 육성하고 전담기관을 설립운영하여야 한다.

끝.

감사의 글

본 연구는 '건설교통부 낙동강홍수통제소'의 수탁과제로 수행되었으며, 관계 공무원과 수문자료제공에 협조하여 주신 한국건설기술연구원 '수자원관리기법' 팀에게 깊은 謝意를 표합니다.