

# 특수한 상황을 고려한 중소하천 홍수예경보



**이 정 호 ▶▶▶**  
국립한밭대학교 조교수  
leejh@hanbat.ac.kr



**박 무 중 ▶▶▶**  
한서대학교 교수  
mjpark@hanseo.ac.kr



**주 진 길 ▶▶▶**  
전북과학대학교 조교수  
jgjoo@jbsc.ac.kr

## 1. 서론

우리나라는 연간 강수량의 편차가 커 홍수와 가뭄이 반복적으로 발생하고 있다. 특히 연 강수량의 약 70%가 집중되는 6월부터 9월 사이에 홍수 발생 빈도가 증가함에 따라 이를 정확히 예측하고 홍수 발생 상황에 대하여 예보할 수 있는 기술이 필수적이다. 그러나 기존의 홍수에 대한 투자 및 예경보 시스템은 주로 국가하천을 중심으로 이루어져왔으며, 상대적으로 중소하천에 대한 예경보시스템은 매우 부족한 실

정이다.

중소하천에서의 홍수피해 저감을 위한 효율적인 수방대책 수립을 위해서는 수계의 기상, 수리, 수문 특성을 고려한 통합적인 홍수예경보가 필수적이며, 이러한 통합적인 홍수 예경보시스템의 구현을 위해서는 작은 단위지역별, 재해특성별 수요자의 요구상황에 맞는 시스템 개발이 요구된다. 이에 최근에는 미계측 소유역에서의 홍수유출 예측 및 돌발홍수에 관한 연구가 다양하게 수행되고 있으며(국립공원관리공단, 2003; 신현석 등, 2004C; 이연길 등, 2003), 본 연구단에서는 전국의 모든 중소하천을 대상으로 홍수예경보 모형을 구축 및 적용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다(소방방재청, 2012). 특히, 본 연구단의 일부 과제는 전국의 모든 중소하천에 대하여 유출에 영향을 미치는 인자들(유역면적 등)과 유출 양상간의 상관관계를 분석하여 개략적인 회귀식을 통한 하천 위험유량 및 경보 발령 기준 강우량을 도출하고자 연구를 진행 중에 있다. 그런데, 이러한 연구의 분석 결과는 미계측 유역, 다수의 중소하천에 대한 방대한 정보의 획득이라는 장점을 가지고 있는 반면, 몇몇 특수한 상황이 야기되는 중요 하천 지점에서의 보다 정확한 홍수예경보 정보의 도출은 어려운 단점을 가지고 있다. 이러한 특수한 상황이 고려되어야 할 하천 유역이란 우선 일반적인 자연하천의 유출 양상과 달리 도시 유출의 특수성을 포함하는 하천 유역이 이에 해당한다. 이러한 도시하천 유역은 우수관거, 빗물펌프장 등의 인위적인 배수계통에 의한 도시 하천 유량의 변동

특성을 갖기 때문이다. 또 다른 특수한 상황이 고려되어야 할 유역은 자연하천이되 하류수위에 의한 배수위 영향이 있는 하천 유역에 해당하며, 이때 배수위 영향을 유발하는 양상은 저수지, 조위, 하천분류 등으로 구분될 수 있다. 이러한 유역들에서는 강우-유출 관계 및 유량-수위 관계가 특수한 형태를 띠고 있어, 미계측유역의 개략적인 회귀식에 의한 홍수예경보에 무리가 있으며, 따라서 이러한 특수한 상황을 고려하여 보다 정확하고 효율적인 예경보를 위해서는 별도의 홍수예경보 기술을 적용해야 한다.

따라서 본 연구과제에서는 전국 대상의 미계측 중소하천 유역들에 대한 개략적 홍수예경보 모형의 적용이 곤란한 특수상황 유역을 대상으로 이에 적합한 특수상황지역 홍수예경보 적용 기법을 수립하고자 한다. 이를 위하여 현재 연구 첫해의 증반을 지난 본 과제에서는 특수한 상황으로서 고려되어야 할 케이스를 체계적으로 구분하였으며, 구분된 각각의 케이스별 적합한 분석 기법을 수립하였다. 또한 올해의 적용대상 수계인 낙동강유역에 대하여 위험도 분석 결과로 나타난 위험유역들에 대하여 특수 상황지역 10개소를 선정하였으며, 선정된 유역들에 대한 수리·수문학적 분석 데이터들을 구축하여 홍수예경보 상황을 모의하고 있다. 이때 분석 결과로 제시되는 최종 산물은 각 특수상황 유역별 하천 지점에서의 예경보 발령 기준 수위에 대한 지속시간별 경보발령 예상 강우량의 형태가 된다. 이러한 분석 결과로 제시되는 예경보 기준 강우량은 실제 상황지역에서 레이다 강우예측 시 향

후 하천 수위가 경보 발령 기준수위에 도달할지 여부에 대한 판단 기준이 된다.

## 2. 특수상황 소유역

### 2.1 특수상황 소유역 구분

본 과제에서의 특수한 상황이 고려되어야 할 유역은 앞서 언급하였듯이 도시하천에서의 인위적인 배수계통에 의한 유량 변동이 고려되어야 할 유역과, 저수지, 조위 및 하천분류 등에 의한 배수위의 영향을 받는 유역 등으로 구분하였다. 이것을 다시금 정의하면 배수계통에 의한 도시하천 등에서의 강우-유출 관계가 특수한 형태와 배수위의 영향에 의한 유량-수위 관계가 특수한 형태로 구분할 수 있다.

강우-유출 관계가 특수한 유역으로는 우수관망에 의한 우수배출 등 인위적인 영향에 의한 유출이 일어나 HEC-GeoHMS와 같은 일반적인 자연유역 유출 모의나 Clark 방법 등의 단위도 적용이 곤란한 도시유역 하천 소유역으로 선정하였다. 또한 유량-수위 관계가 특수한 유역으로는 저수지, 분류하천 및 조위 등 다양한 원인으로 인하여 하류의 수위가 높아져 배수위 영향으로 유출이 지체되어 유역의 지형학적 특징에 따른 유량-수위 관계의 적용이 곤란한 지역으로 선정하였다. 이에 따라 본 연구에서는 다음의 표 1과 같이 특수상황 유역을 총 5가지 형태로 구분하였다.

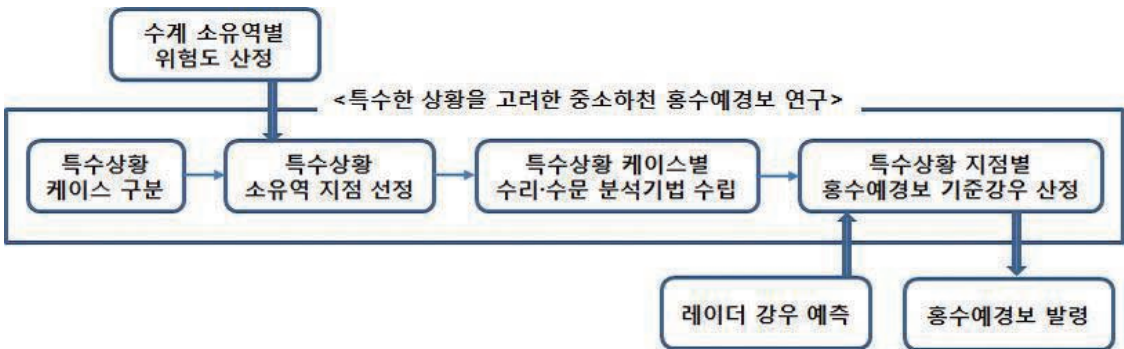


그림 1. 연구절차 및 과제간 관계

표 1. 특수상황 유역 구분 기준

구분	Class A	Class B
유역구분 기준	강우-유출과정 특수상황	유량-수위관계 특수상황
대상유역 예시	A-1 : 유역면적의 상당부분이 도시유역인 하천 유역 A-2 : 빗물펌프장, 수문 등 인위적인 영향을 받는 유역	B-1 : 하류의 댐 수위에 의하여 영향을 받는 유역 B-2 : 본류 하천 수위에 의하여 영향을 받는 유역 B-3 : 바다로 직접 유입되어 조위의 영향을 받는 유역

## 2.2 특수상황 소유역 선정

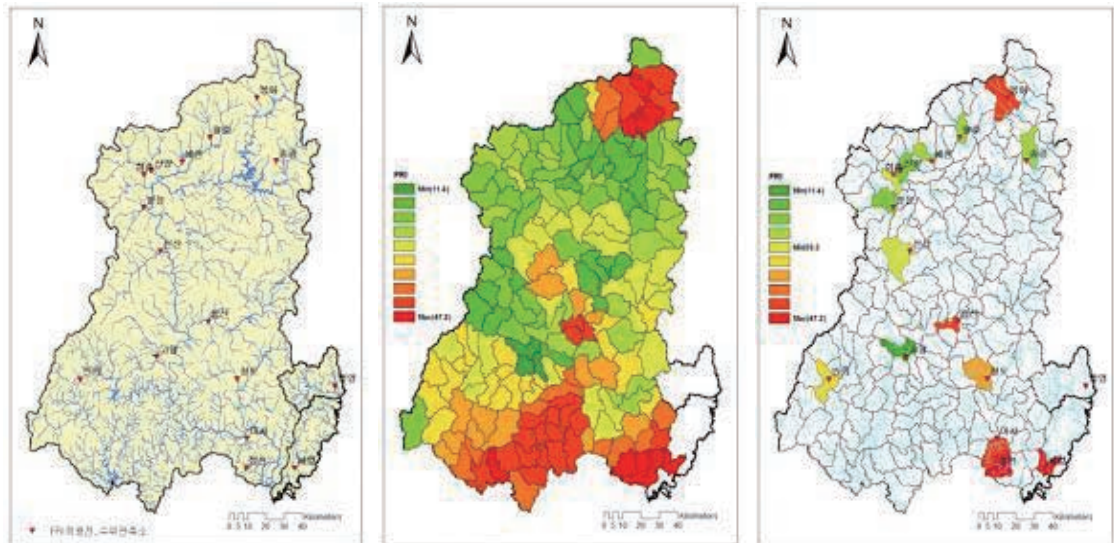
본 연구에서는 특수상황 유역에 대한 홍수예경보의 정확성을 향상시키고 향후 지속적인 관측기록의 수집을 통하여 매개변수 검보정을 수행할 수 있도록 수위-유량 관측지역을 중심으로 적용 대상 지점을 선정하였다. 현재 낙동강, 형상강 그리고 태화강에서 국토해양부와 수자원공사가 운영중인 수위관측소는 총 172개로 이들을 대상으로 유역의 수리·수문 데이터 획득 가능성, 본 연구의 적용 타당성 등을 검토하여 16개의 수위관측소 지점을 우선 선정하였다(그림 2a). 또한 16개의 수위관측소 중 FRI(홍수위험도) 평가에 따른 상대적 위험도를 검토하였으며(그림 2b), 이때 FRI 위험도 평가방법은 상대적인 위험도지수에 따라 11.4부터 47.2까지 분포되어 있으며, 이 중 위험

도지수가 평균(20.2) 이상인 유역을 우선대상지역으로 선정하였다. 또한, 위험도지수는 20.2이하이지만 댐에 의한 배수위영향을 받는 특수상황지역인 용천천 유역을 추가하여 10개소의 대상유역을 선정하였다(그림 2c)(표 2).

## 3. 특수상황 소유역 홍수예경보 기법

### 3.1 특수상황 소유역 수리·수문 분석기법

본 과제에서 구분한 특수상황 유역들에 대한 수리·수문 해석은 가장 일반적인 해석 모형인 HEC-HMS, SWMM 및 HEC-RAS 모형들을 상호 연계하는 분석 체계를 수립하였다. 즉, 대상유역에서 자연유



(a) 특수상황 소유역 1차 선정(16개소)

(b) 낙동강 유역 FRI

(c) FRI를 반영한 대상유역 최종선정(10개소)

그림 2. 특수상황 소유역 홍수예경보 모형 적용 대상지역 선정

표 2. 특수상황 소유역 선정 지침

특수상황		수위표	수계	하천명	주소
Class A (강우-유출)	A-1. 도시유역	-	낙동강	신어천	경남 김해시 삼안동
	A-2. 도시+펌프장	-	낙동강	성당천	대구광역시 달성구 월성동
Class B (유량-수위)	B-1. 자연+저수지	송강	낙동강	용전천	경북 청송군 파천면 송강리 송강2교
	B-2. 도시+본류	봉화	낙동강	내성천	경북 봉화군 봉화읍 내성리 봉화대교
	B-2. 자연+본류	선산	낙동강	감천	경북 구미시 고아면 오소리 선주교
	B-2. 도시+본류	침산	낙동강	신천	대구 북구 산격1동 성북교
	B-2. 자연+본류	마사	낙동강	화포천	경남 김해시 한림면 금곡리 오서교
	B-3. 도시+조위	정천	서낙동강	조만강	경남 김해시 장유면 내덕리 정천교
	B-3. 자연+조위	병영	태화강	동천	울산 중구 동동 병영교
B-3. 도시+조위	세병	수영강	온천천	부산 연제구 거제동 세병교	

역은 HEC-HMS 모형을 사용하여 유출을 모의하고, 배수계통을 통하여 유출되는 도시유역은 도시유역에서의 유출을 정확하게 모의하는 것으로 알려져 있는 SWMM을 사용하여 유출을 모의하였다. 또한 HEC-HMS 모형과 SWMM을 통해 산정한 유량이 하도에 흐를 때의 지점별 수위는 HEC-RAS 모형을 사용하여 결정하였다(그림 1). 배수위에 의한 수위영향은 HEC-RAS 모형의 기점수위를 시나리오별로 조정하여 반영하였다. HEC-RAS 모형의 부정류 모의 기능을 사용하여 하천 수위 모의하면 실제 상황에 가장 가까운 모의가 가능하나, HEC-RAS 모형의 부정류 모의에 많은 시간이 소요된다. 따라서 본 연구에서는 하류 수위에 따른 상류 배수위 영향을 시나리오별 정상류 모의로 수행하였다. 정상류 모의시 다양한 수위에 따라 모의 수행횟수가 많아지나, 부정류에 비하여 비교적 간단하게 모의가 가능한 장점이 있다.



그림 3. HMS - RAS - SWMM 모형 연계

### 3.2 홍수예경보 기준강우 산정 기법

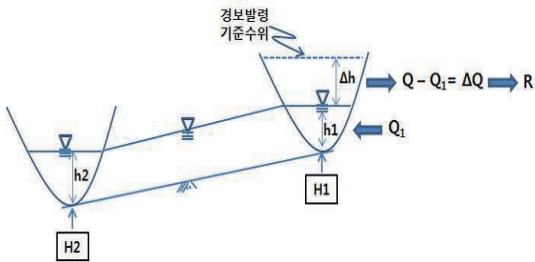
본 연구의 홍수예경보 기준 강우량 산정 절차는 기본적으로 유역의 유출량 산정을 위한 매개변수 검정과 하천정비기본계획을 토대로한 홍수위 산정 절차를 거치게 되나 이와 관련해서는 일반적인 내용에 해당하므로 관련 기술을 생략하였다.

본 연구에서의 구체적인 분석 기법의 설명은 자연 유역에서 본류 하천의 배수위 영향을 고려한 지점 홍수예경보 기준 강우량 산정 절차를 대표로 기술하였다.

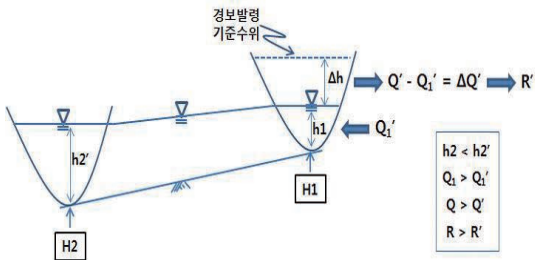
특수상황 지역에 대한 홍수 예경보는 기본적으로 그림 4(a)에서와 같이 두 개의 수위표 지점을 대상으로 한다. 이때 H1 지점이 예경보 대상 지점이 되며, H2는 H1지점에 배수위 영향을 발생시키는 하류단 기점수위표 지점으로 실시간 수위 관측이 가능한 지점임을 가정한다. 홍수예경보 분석 절차를 단계화하면 다음과 같다.

- (1) 두 개의 수위표 H1 및 H2에서 각각 현재 수위  $h_1$  및  $h_2$ 가 관측되었다.
- (2) 기 분석된 수리·수문 분석 결과들을 토대로 현재의 H1지점 통과 유량  $Q_1$ 을 산정한다.
- (3) 현재의 H1지점 수위  $h_1$ 으로부터 경보발령 기준 수위까지의 도달 수위  $\Delta h$ 를 산정한다.
- (4) 기 분석된 수리·수문 분석 결과( $h_2$  수위에 따른 H1지점 경보발령 수위 형성을 위한 총 유입

- 유량 Q)들을 토대로  $\Delta h$  수위 상승을 위해서는 추가로 유입되어야할 유량  $\Delta Q$ 를 산정한다.
- (5) 기 분석된 수리·수문 분석 결과(유역에서의 발생 강우량별 유출량)들을 토대로 유입 유량  $\Delta Q$ 를 추가로 유역에서 직접유출로 발생시키기 위한 지속시간별 강우량 R을 산정한다.
  - (6) 레이다 강우 예측이 해당 강우량 R일 경우 경보를 발령한다.



(a) 배수위 조건에 따른 경보발령 강우 분석 개념도



(b) 배수위 조건 변화에 따른 경보발령 강우 분석  
그림 4. 배수위 조건별 경보발령 강우 분석

이러한 분석 절차에 있어서 해당 예경보지점에 대하여 기 구축되어야할 분석 자료들은 H2 지점의 배수위 조건( $h_2$ )에 따른 H1 지점의 수위( $h_1$ )별 유입유량(Q) 데이터들이다. 이는 그림 4(b)에서와 같이 하류단 H2 지점의 배수위 조건이 변화하면( $h_2'$ ) 상류 H1 지점의 동일한 수위 조건( $h_1$ )에서의 현재의 유입 유량은 달라지기 때문이다( $Q_1 \neq Q_1'$ ). 이러한 경우 경보발령 기준 수위까지 동일한 수위 상승( $\Delta h$ )에 대한 추가 유입유량( $\Delta Q'$ ) 및 총유량( $Q'$ )이 변화하므로( $Q \neq Q'$ ) 경보발령 기준 강우량 또한 달라지게 된다( $R \neq R'$ ). 즉, 하류단의 배수위가 상승하게 되면 상류단은 동일

한 수위에 대해서도 상대적으로 적은 현재의 유입유량이 형성되며, 따라서 상대적으로 작은 강우의 발생에도 경보발령 기준 수위에 도달할 수 있게 된다.

따라서 H2 지점의 배수위 조건별 H1 지점의 각각의 수위 형성에 따른 유입 유량(Q) 조건을 HEC-RAS에 의하여 모든 케이스별 분석 결과가 도출된 상태에서, 또한 경보발령 기준 수위까지의 상승 수위( $\Delta h$ )에 따른 추가 유입유량( $\Delta Q$ )을 총유량(Q)과 현재 유입유량(Q)의 차로 산정한다. 또한 추가 유입유량( $\Delta Q$ )을 발생시키기 위한 강우조건 또한 HEC-HMS를 통하여 기 분석된 지속시간별로 발생 강우량(R) 결과들로부터 도출될 수 있다. 다만, 본고에서는 본 과제가 현재 진행중인 관계로 실제 유역에 대한 구체적인 결과를 수록하지는 않았다.

결국 하나의 특수상황 소유역 지점에 대해서는 아래의 그림 5와 같은 기 분석 데이터들을 토대로 상하류 수위표 지점들의 현재 관측 수위로부터 경보발령 기준 강우량을 산정할 수 있다.

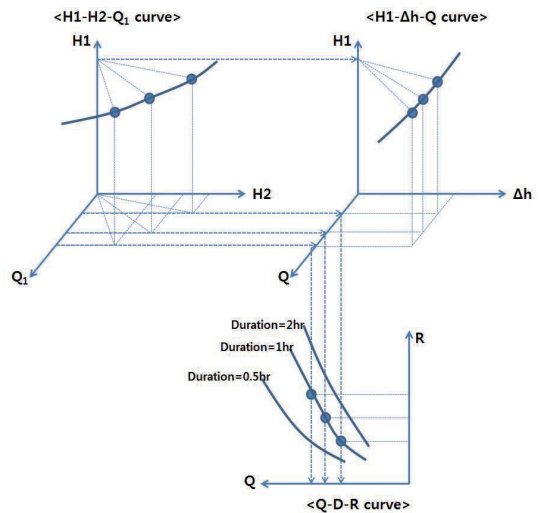


그림 5. 경보발령 기준 강우 산정 절차


#### 4. 맺음말

본 연구에서는 강우-유출 관계와 유량-수위 관계

가 특수한 유역으로 전국대상 공통 홍수예경보 모형의 적용이 곤란한 소유역을 구분하여 홍수예경보 모형을 구축하고, 경보발령 기준 강우의 산정 절차를 체계화시켰다. 또한 이를 위하여 전체 수계에서 상대적으로 위험도가 높은 10개 지점을 선정하여 각 지점별 특수상황을 고려한 다양한 분석 결과를 도출해냄으로써 향후 해당 지역에 홍수상황이 예측될 시 보다 신뢰성 높은 경보발령 의사결정의 기준을 제시하고자 함에 그 의의를 둘 수 있다. 다만, 국내의 수자원 현실이 다양한 수위표 지점에서의 양질의 관측데이터 수집 및 보관에 있어서 아직까지 미진한 상태이며, 또한 지속적인 관측과 이를 통한 홍수예경보 모형의 지속적인 검증 및 보완이 부족한 실정이다. 따라서 본 연구과제를 통해 도출되거나 도출될 예정인 예경보 기

법 및 분석 결과들은 향후 지속적인 관측 및 검증을 통해서만이 보다 그 가치를 발휘할 수 있을 것이다. 이러한 부분에 있어서 지속적인 관심과 지속적인 연구에 소홀하지 말아야 할 점이 바로 수자원 및 홍수방재에 관여하는 우리 모두가 항상 유념하여야 하는 부분이며, 본 연구를 수행하는 우리 연구진들 또한 그 노력을 아끼지 않을 것이다.

### 감사의 글

이 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업 [NEMA-자연-2011-45] 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다. 

### 참고문헌

1. 국립공원관리공단, **자동우량 경보시설 확충·보상설정에 따른 조사용역**, 2003
2. 이연길, 박성천, 이관수, “지리정보시스템을 이용한 소하천유역의 홍수유출 해석”, **한국지정보학회지**, 제6권, 제1호, pp.24-36, 2003
3. 소방방재청(2012) 홍수예경보 통합모형 기반기술 개발 (1차년도), **자연재해저감기술개발사업단**.
4. 신현석, 김홍태, 박무중, “GIS 및 GCUH를 이용한 돌발홍수 경보발령 기준우량 산정의 실유역 적용- 소백산 남천유역 중심.” **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제24권 제4B호, pp. 311-319, 2004c