

# 내배수 재해저감시설의 설치를 위한 지역구분 방안

## Study for Regionalization to Install Urban Flood Disaster Prevention Facilities

박민규<sup>1)</sup>, 유철상<sup>2)</sup>, 이창우<sup>3)</sup>

Minkyu Park, Chulsang Yoo, Changwoo Lee

### 요 지

본 연구에서는 타당성조사 수준의 재해저감시설 계획을 위한 지역구분을 시행할 때 지형자료 등 최소한의 자료만으로 객관성이 높고, 수문학적으로 의미있는 지역구분이 설정될 수 있도록 기준을 정립하고 그에 따른 근거를 설정하고자 하였다. 내배수 침수재해와 관련하여 기존의 치수계획이 빗물펌프장 등 일부 구조물에만 한정되어 해당 홍수방어시설에 과도한 부담을 주고 있으므로 유역내 저류지, 빗물탱크, 침투시설 등의 다양한 내배수 홍수분담시설의 설치 및 그에 따른 효과를 종합적으로 고려한 계획 수립이 필요하다. 또한 지속적으로 피해가 커지고 있고 피해원인 및 양상이 다양해지는 도시유역의 내배수 재해에 대한 대책으로 피해지역의 확인 및 관련 저감대책 수립을 위한 지역구분의 방안에 대한 연구가 최근들어 강조되고 있다. 내배수 재해에 대응하기 위해서 전체유역을 지형특성 및 재해저감 시설의 입지조건을 종합적으로 고려하여 보수, 우수, 저지지역의 구분 방안을 검토하였다. 저지지역 설정을 위한 기준으로 평균침수심을 활용하였고, 아울러 우수지역과 보수지역을 구분하기 위해서는 습윤지수를 활용한 지표의 포화여부와 한계경사를 활용하였다. 이러한 지역구분 결과는 내배수 재해저감시설의 설치를 위한 기초자료로써 활용 방안을 검토하였다.

**핵심용어:** 지역구분, 저지지역, 우수지역, 보수지역, 하도버퍼링, 습윤지수, 한계경사

### 1. 서 론

침수현황 및 원인분석을 통한 도시유역의 지역구분은 내배수 홍수분담 최적화 기술개발을 위해 가장 먼저 선행되어야 하는 필수적인 요소이다. 내배수 홍수피해의 발생특성을 분석하여 주로 피해가 일어나는 지역이 어디인지를 파악한다거나, 피해지역의 원인을 분석하여 피해저감에 기여할 수 있는 지역을 찾아내고 이들 지역의 입지특성을 검토하여 적절한 재해저감시설물과 연계시키는 것은 도시유역의 내배수 홍수피해에 대한 종합적인 홍수분담계획을 수립함에 있어 가장 중요한 부분이 된다. 도시지역에서 지역구분은 밀집된 인구나 다양한 토지이용형태를 계획적으로 관리하기 위한 수단으로 널리 사용되어 왔다. 지속적으로 피해가 커지고 피해원인 및 양상이 다양해지는 도시유역의 내배수 재해에 대한 대책으로 피해지역 및 저감대책 수립지역의 구분은 근래에 더욱 관심을 받고 있는 분야이다.

내배수 재해에 대응하기 위해 기존에 주로 사용되어온 지역구분 방안은 재해관리 측면에서 종합적인 정보를 파악하고 결정하기 위한 방안으로는 부족한 측면이 있거나 과거 통계자료나 그 신뢰도에 의문이 있는 경우 이를 통해 얻어진 지표에 대한 신뢰도가 의심받기 쉬운 단점이 있다. 그러므로 통계조사로 인해 자료를 획득할 수 밖에 없는 인문·사회적인 항목보다는 지형특성 등 객관적으로 즉시 확인할 수 있는 특성에 기초하여 정보를 추출하는 것이 필요하다. 특히, 내배수 재해와 같이 소규모 국지적인 피해가 주로 발생하고 다양한 원인을 가지는 피해가 예상되는 경우에는 이러한 정보의 활용성이 더

1) 정회원·고려대학교 사회환경시스템공학과 박사과정·E-mail : mkhoin@korea.ac.kr  
2) 정회원·고려대학교 사회환경시스템공학과 교수 ·E-mail : envchul@korea.ac.kr  
3) 정회원·고려대학교 사회환경시스템공학과 석사과정·E-mail : brighttrain@korea.ac.kr

욱 강조된다. 따라서 본 연구에서는 일본의 도시하천 종합치수대책이나 우리나라의 유역종합치수계획에서 이용되는 보수, 우수, 저지지역의 3가지 구분과 관련하여 지형자료에 기초한 적절한 구분근거를 제시하였다. 여기서, 보수지역이란 주로 우수를 일시적으로 침투 또는 지체하는 기능을 지수상 확보하고 증대시킬 필요가 있는 지역이며, 우수지역은 우수가 유입될 때 일시적으로 저류하는 기능을 가지고 있는 지역 그리고 저지지역은 지역내의 우수가 하천으로 유출하지 않거나 하천의 범람으로 인하여 침수될 우려가 있는 지역 중 적극적으로 침수방지를 도모해야 할 필요가 있는 지역을 말한다. 이러한 지역 구분의 결과는 내배수 재해저감시설의 특성과 연계하여 대상 시설의 입지에 대한 기초자료로써 활용방안을 검토한다.

## 2. 지역구분의 설정 기준

### 2.1 저지지역의 설정

수치표고모형(DEM)을 이용하여 저지지역을 판별하기 위한 표고차를 결정하기 위해서는 내수침수가 발생할 경우의 침수심, 침수시간, 침수면적과 그 때의 피해액 등을 검토하여 그 피해특성에 기초하여 기준설정을 하는 것이 바람직하다. 이러한 검토를 위해 삼교천 유역종합치수계획시 검토된 펌프장이 설치되어 있는 강제배제구역 32개소의 내수침수피해 검토결과를 기초로 관련 인자들의 상관성을 검토하였다. 유역면적을 별도로 고려하였는데 아래 그림과 표는 유역면적과 비배수능력(배수능력/배수유역면적) 관계를 산포도로 도시한 것이다. 일반적으로 배수유역면적이 클수록 비배수능력이 작게 나타나 배수유역 면적이 큰 지역의 저지대일수록 침수피해가 크게 발생할 위험이 높을 것임을 예상할 수 있다.

32개 배수유역을 대상으로 유역면적과 평균침수심, 그리고 평균피해액의 관계를 도출하였다. 그 결과 유역면적 10km<sup>2</sup> 이내에서는 약간의 등락을 보이기는 하지만 일정한 값을 가지다가 유역면적 10km<sup>2</sup>를 초과하면 평균침수심이 증가하는 것으로 나타났으며 유역면적과 평균피해액의 관계도 동일한 경향을 보이는 것으로 나타났다. 유역면적에 대한 평균침수심의 회귀식을 유도한 결과는 Fig. 2와 같고 결정계수는 0.84로 얻어졌다.

유역의 DEM에서 하천유로라고 판단되는 최저표고점을 기준으로 하도버퍼링을 실시할 때 저지지역의 기준 설정은 내수침수에 대한 취약지구라고 판단할 수 있다. 따라서 유역면적이 10km<sup>2</sup>보다 작을 경우 동일한 기준표고를 적용하더라도 무난한 것으로 검토되었으며 1.0 m를 기준으로 할 때의 재현기간 특성은 약 80년빈도 내외에 해당하는 것으로 추정할 수 있다. 유역면적이 10km<sup>2</sup>보다 클 경우 회귀식을 이용하여 면적크기에 따라 그 값을 증가시켜서 적용할 수 있다.

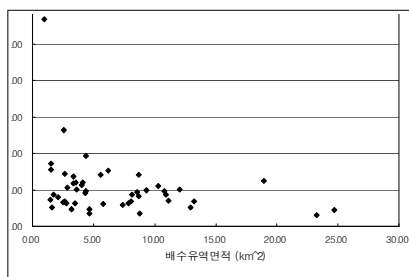


Fig. 1. 배수유역면적과 비배수능력 관계 (삼교천 유역종합치수계획)

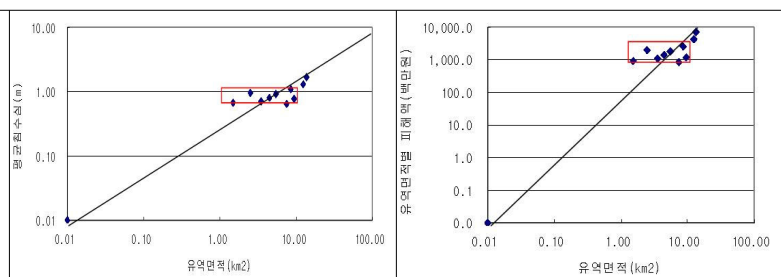


Fig. 2. 유역면적별 평균침수심과 예상피해액(30년 빈도)

본 연구에서 시도한 저지지역의 구분방법은 하도를 기준으로 일정 표고 이내에 있는 상대적으로 저지대에 위치하고 있는 지역을 선정하는 것이다. 구체적으로 GIS를 활용하여 DEM 자료에 기초한 수문지형 분석기법이 이용된다. 이는 하도버퍼링(Elevation Buffering)기법으로 명명된 것으로 미국의 텍사스 A&M 대학의 Damon Holzer교수가 개발한 buffbyrise 프로그램을 이용하였다.

### 2.2 우수·보수지역의 설정

### 2.2.1 지표의 포화여부에 의한 유수·보수지역의 설정

Beven과 Kirkby(1979)에 의해 제안된 습윤지수는  $\ln(A_i/\tan\beta_i)$ 로써 지형의 포화정도를 설명한다고 알려져 있으며 자연의 지형 특성을 반영하는 인자로서 유출 등의 수문현상을 모의하는데 사용되어 왔다(김상현 등, 2003; 한지영 등, 2003). 여기서  $A_i$ 는  $i$  지점의 상부사면 기여면적을 나타내고,  $\tan\beta_i$ 는  $i$  지점과 하부사면 인접지점 사이의 경사이다. O'Loughlin(1986)은 습윤지수를 유도하는 과정에서 다음과 같은 관계를 이용하였다. 토양의 포화는 상부사면으로부터의 누적 배수유량이 국부 경사도와 토양 투수량 계수의 곱보다 큰 지역에서 발생한다(O'Loughlin, 1986; Bariling 등, 1994). 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$A_i \cdot q_i \geq T_i \cdot \tan\beta_i \quad (1)$$

여기서,  $A_i$ 는  $i$  지점의 상부사면 기여면적,  $q_i$ 는  $i$  지점의 단위면적당 배수유량,  $T_i$ 는 투수량 계수,  $\tan\beta_i$ 는 국부경사도이다. 위의 식에서 단위면적당 배수유량은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$q_i = \frac{T_i}{W_i} = \frac{K_s \cdot b}{W_i} \quad (2)$$

여기서,  $b$ 는 투수 저해토층의 깊이,  $K_s$ 는 포화투수계수,  $W_i$ 는 정적습윤지수이다. 또한, Darcy법칙으로부터 유도된 지표하 흐름 속도  $v_i$ 는 다음과 같다.

$$v_i = K_s \cdot \tan\beta/\eta \quad (3)$$

여기서,  $\eta$ 는 공극률을 나타낸다. 이와 같은 토양의 특성을 나타내는 계수들은 하천설계기준(2005)의 수문학적 토양군의 분류를 활용하였다. 각 수문학적 토양군에 적합한 대표 토양을 설정하여 그에 상응하는 토양특성 값을 사용하였다. 상기의 식으로 구한 지표하 흐름 속도  $v_i$ 와 단위면적당 배수유량  $q_i$ 는 같은 차원 [ $LT^{-1}$ ]을 가지며, 이를 활용한 지표의 포화여부로 유수지역과 보수지역을 설정하였다. 단위면적당 배수유량  $q_i$ 이 지표하 흐름속도  $v_i$ 보다 작은 경우 토양이 포화되지 않아 우수가 침투할 수 있는 보수지역을 나타내고, 반대의 경우는 유수지역을 나타낸다. 이와 같은 지표의 포화여부에 의한 유수, 보수지역의 설정은 지표하 흐름을 고려하여 산정하므로 투수지역으로 형성된 유역에서 지역구분을 할 때 적절하다.

### 2.2.2 한계경사를 이용한 유수·보수지역의 설정

수리학적으로 상류와 사류를 구분하는 한계경사를 유수지역과 보수지역을 설정하는 기준으로서 검토하였다. 한계경사는 각 격자에 대하여 Manning식과 한계류가 발생하는 조건( $Fr = 1$ )인 조건을 활용하여 구하였다.

$$V_c = \frac{1}{n} R_{hc}^{2/3} S_c^{1/2}, \quad V_c = \sqrt{gD_c} \quad (4)$$

수심에 비해 폭이 대단히 큰 광곡구형단면의 경우에는  $D_c \approx R_{hc} \approx y_c$ 로 가정할 수 있으므로 위의 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_c = \frac{n^2 g}{R_{hc}^{1/3}}, \quad R_{hc} = \left( \frac{n^2 g}{S_c} \right)^3 \quad (5)$$

또한 단위폭당 유량  $q$ 는 합리식을 활용한 유출량  $Q$ 를 이용하여 격자별로 산정하였다. 합리식에서의 유출계수  $C$ 는 침투가 없는 것으로 가정하여 1.0을 적용하였고, 강우강도  $I$ 는 재현기간 30년의 값을 사용하였으며 유역면적  $A$ 는 상부사면 기여면적을 활용하였다. 이와 같은 방법으로 구한 단위폭당 유량  $q$  ( $m^3/sec/m$ )과 Manning식을 활용하여 한계경사  $S_c$ 를 산정하였다.

$$q = 1 \cdot R_{hc} \cdot \frac{1}{n} R_{hc}^{2/3} S_c^{1/2} = \left( \frac{n}{S_c^{1/2}} \right)^9 g^5, \quad S_c = \left( \frac{n^9 \cdot g^5}{q} \right)^{2/9} \quad (6)$$

위와 같은 절차로 구하여진 각 지점에서의 한계경사  $S_c$ 와 실제 그 지점에서의 경사  $S_i$ 를 비교하여 한계경사보다 지점에서의 경사가 큰 지역은 사류가 발생하는 지역이므로 보수지역으로 설정을 하고 반대

의 경우는 우수지역으로 설정을 한다. 아울러, 한계경사를 활용한 우수, 보수지역의 설정은 침투를 고려하지 않으므로 불투수지역으로 형성된 유역을 지역구분 할 때 적절하다.

### 3. 지역구분의 적용

본 연구에서는 지역구분을 적용성을 확인하기 위하여 안양천의 지류인 오류천 유역에 상기에서 소개된 기준을 적용하였다. 오류천은 유역면적 6.63km<sup>2</sup>, 유로연장 4.7km인 지방2급하천으로, 유역의 평균 고도는 EL.38m이며, 하도경사는 중하류부는 1/280~1/470, 상류부 1/100~1/190 정도이다. 전체유역의 약 70%가 도시화가 진행되어 있고, 지방2급 하천연장 4.67km 중에서 2.3km는 복개되어 있다. 상기의 지역구분의 방법의 적용 결과는 Fig. 3과 같다.

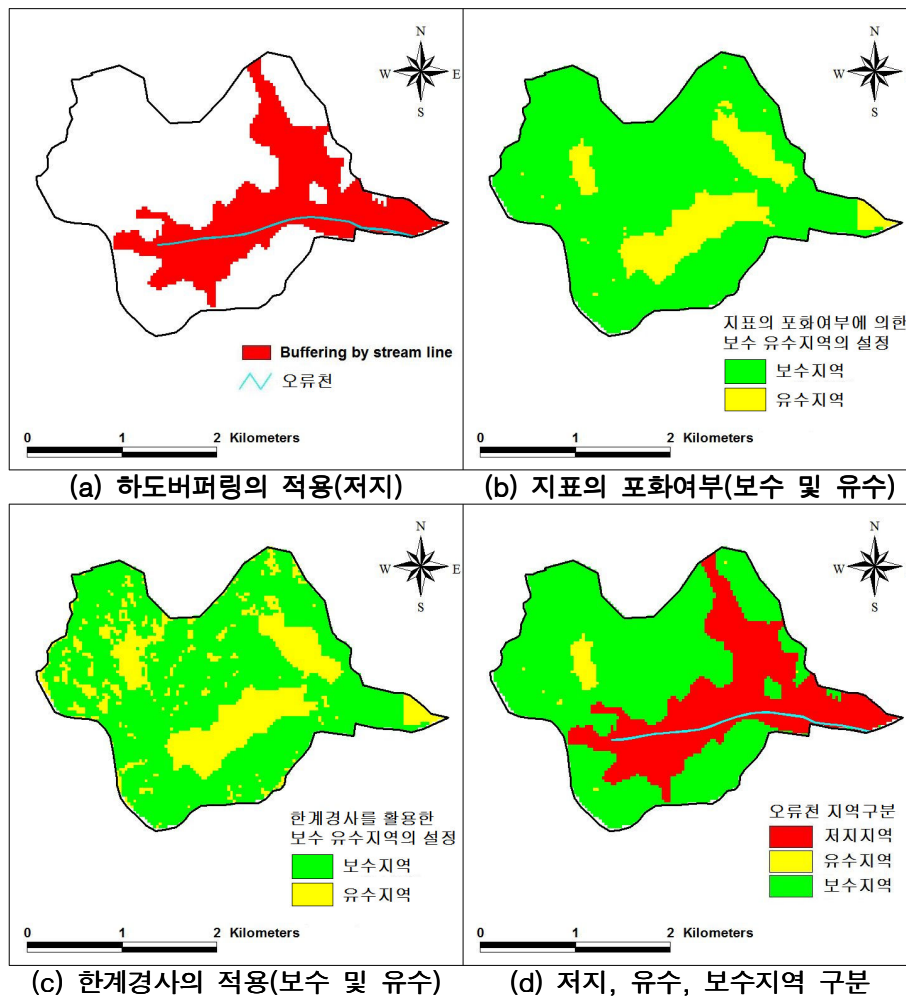


Fig. 3. 오류천 유역의 지역구분 결과

### 4. 지역구분 결과의 활용

지역구분의 결과를 도시지역의 내배수재해를 관리하기 위한 수단으로 활용하기 위해서는 설정된 지역의 주요재해특성 및 이와 관련된 재해저감을 위한 저감대책의 수립방안이 병행되어야 한다. 내수침수의 원인은 저지대 등 지형적인 원인, 토사로 인한 유입구·유출구 폐색, 하수 역류 등 여러 가지를 들 수 있으나 가장 큰 원인으로는 우배수 관망과 배수펌프장 등 내수배제시스템의 용량부족을 들 수 있다. 따라서 도시지역의 침수원인 분석에는 이러한 내수배제시스템의 평가가 반드시 포함되어야 하며

이를 통해 부족한 지점과 용량을 찾아 요구되는 바에 대한 치수안전도를 갖출 수 있는 다각도의 대책을 세우도록 해야 할 것이다.

이를 위해 내배수 재해 저감시설의 주요 입지를 해당특성의 재해저감특성에 비추어 보면 다음과 같다. 침투시설의 경우 하류지역에 대한 직접적인 홍수저감효과가 크지 않으나 주로 작은 규모의 홍수에 적절하고, 넓은 지역에 다수의 시설이 설치될 경우 유역전체의 홍수피해저감에 일정한 효과를 미칠 수 있어 보수지역을 주요 입지대상으로 할 수 있다. 한편, 저류시설의 경우 홍수피해에 대한 저감효과가 확실하나 재해저감 대상지역과 최대한 가까이 위치해야 하며 너무 상류지역에 위치할 경우 유입홍수량이 작아 유역비홍수량 측면에서 비효율적인 시설계획이 될 수 있다. 따라서 저류시설의 경우 유수지역이 적절한 입지로 판단된다. 마지막으로 저지지역은 해당 표고가 낮아 자연방류가 어려운 경우가 많으므로 빗물펌프장 등을 설치하는 방안이 도모되어야 하며, 이와 함께 지역의 중요도가 높은 주요 저지지역의 홍수방어계획은 유수지역에 주로 놓일 고지배수로 또는 저류지와 연계하여 홍수방어계획을 수립하는 것이 타당할 것이다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 타당성조사 수준의 재해저감시설 계획을 위한 지역구분을 시행할 때 최소한의 자료만으로 객관성이 높고, 수문학적으로 의미 있는 지역구분이 설정될 수 있도록 기준을 정립하고 그에 따른 근거를 설정하고자 하였다. 내배수 재해에 대응하기 위해서 기존에 사용되어온 지역구분 방안으로 전체유역을 지형특성 및 재해저감 시설의 입지조건을 종합적으로 고려해서 보수, 유수, 저지지역으로 구분하는 방안이 있다. 이와 관련한 기존의 지역구분은 경험에 기초하고 있는 경우가 많고 수문학적 근거 없이 이루어지고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 최소한의 지형자료를 활용한 지역구분의 방안을 제시하였다. 우선, 저지지역을 설정은 평균침수심을 활용한 하도버퍼링 기법을 적용할 경우 내수 침수에 대한 취약지구로서 의미 있는 저지지역을 식별할 수 있는 것으로 판단되었다. 다음으로 보수지역과 유수지역을 구분하기 위해 지표의 포화여부와 한계경사를 이용한 설정기준을 제시하였다. 또한, 이러한 지역구분 결과는 보수지역은 침투시설, 유수지역은 저류지시설, 저지지역은 펌프장 시설의 도입 가능성을 검토하는 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

## 감 사 의 글

이 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업(내배수 홍수분담 최적화 기술개발) 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. 김상현, 한지영, 이가영, 김남원(2003). 배수시간과 격자크기와 반동력학적 또는 동력학적 습윤지수에 대한 연구, 한국수자원학회 논문집, 제36권 제6호, pp. 949-960.
2. 한국수자원학회(2005). 하천설계기준.
3. 한지영, 김상현, 김남원, 김현준(2003). 유사 동력학적 습윤지수와 동력학적 습윤지수의 개발과 적용, 한국수자원학회 논문집, 제36권 제6호, pp. 961-969.
4. Bariling, R. D., Moore, I. D., Grayson, R. B.(1994). A quasi-dynamic wetness index for characterizing the spatial distribution of zones of surface saturation and soil water content, Water Resources Research, Vol. 30, No. 4, pp. 1029-1044.
5. Beven, K. J. and Kirkby, J. N.(1979). A physically-based, variable contributing area model of basin hydrology, Hydrological Sciences Bulletin, Vol. 24, pp. 43-69.
6. O'Loughlin, E. M.(1986). Prediction of surface saturation zones on natural catchments by topographic analysis, Water Resources Research, Vol. 22, No. 5, pp. 794-804.