

GIS와 MD-FDA를 연계한 예상침수지역의 경제성 분석 Economic Analysis of Floodplain Forecast using GIS and MD-FDA

최 현¹⁾ · 안창환²⁾

Choi, Hyun · Ahn, Chang Hwan

Abstract

Among natural disasters that lead to devastating damage, floods from heavy rains have been causing hundreds of victims and a great loss of their properties every year. Basically, there is no other way to deal with the problem considering the characteristics of natural disaster, but more specific studies for a preventive measure of flood has been in progress so far. However, the controversy over the problem is going on due to the objection of some environmental organizations or some economic reasons. The key point is to select the most likely area for a preventive measure of floods where a huge amount of the national budget is put into it. This is the factor which judges whether it would be a success or failure. This study aims to provide some basic data for deciding the priority order in a disaster preventing plan by drawing more potential damage areas from the connection with GIS and using them into the economic analysis for flood prevention industries.

Keywords : GIS, MD-FDA, Forecast floodplain, Flood prevention industries

초 록

매년 막대한 피해를 초래하는 자연재해 중 집중호우로 인한 홍수피해는 이를 근본적으로 대처할 수 있는 방안은 없으나, 보다 구체적인 홍수방재대책에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다. 그러나 홍수방재사업의 진행시 환경파괴에 대한 환경단체의 반대, 또는 치수사업의 경제성 문제로 논란이 끊이지 않고 있다. 막대한 국가예산이 투입되는 홍수방재대책에서의 최적지 선정은 홍수방재대책의 성공여부를 가능하는 핵심적인 요소이다. 따라서 본 연구에서는 1차원 수문해석 프로그램인 HEC-RAS와 GIS를 연계하여 예상침수지역을 추출한 후 이를 홍수방재사업의 경제성 분석에 활용하였다. 또한 홍수방재사업의 경제성 분석에 있어 「치수사업 경제성분석 개선방안 연구」의 방법을 보완한 「치수사업 경제성분석 방법 연구-다차원 홍수피해 산정방법」을 적용하여 경제성 분석을 실시함으로써 방재사업의 우선순위 선정 시 필요한 기초데이터를 제공하는데 그 목적이 있다.

핵심어 : GIS, 다차원 홍수피해 산정법, 예상침수지역, 홍수방재사업

1. 서 론

자연재해는 그 특성상 피해자체를 근본적으로 대처 할 수 있는 방안은 없으나, 최근에는 보다 구체적인 홍수방재대책을 수립함으로써 피해규모를 최소화시키는 방안이 다각도로 연구진행 되고 있다.

홍수방재대책은 국가의 발전단계에 따라 후진국형, 개발도상국형, 선진국형의 3단계로 나뉘는데 먼저 후진국형은 어떠한 재해가 발생하면 그에 따른 복구 및 구호대

책을 세우는 것이 재해대책의 주요 수단이 되는 단계이고, 개발도상국형은 법의 제정, 제방구축, 하천개수, 댐 건설 등의 구조적인 방재대책이 수립되는 단계로 많은 노력과 자본이 투입되는 단계이다. 마지막으로 선진국형은 구조적 대책이 수립되었음에도 불구하고 구조적 대책만으로는 재해피해를 경감한다는 것이 비효율적임으로 토지이용규제 및 개발규제를 통한 홍수위 관리와 홍수보험 제도 등 비구조적 대책이 마련되는 단계이다.(국립방재연구소, 1998) 그림 1은 구조적·비구조적 홍수방어 및 조절

1) 정희원 · 경남대학교 공과대학 토목공학과 교수(E-mail:hchoi@kyungnam.ac.kr)

2) 연결저자 · 정희원 · 경남대학교 공과대학 토목공학과 박사과정(E-mail:survey21c@kyungnam.ac.kr)

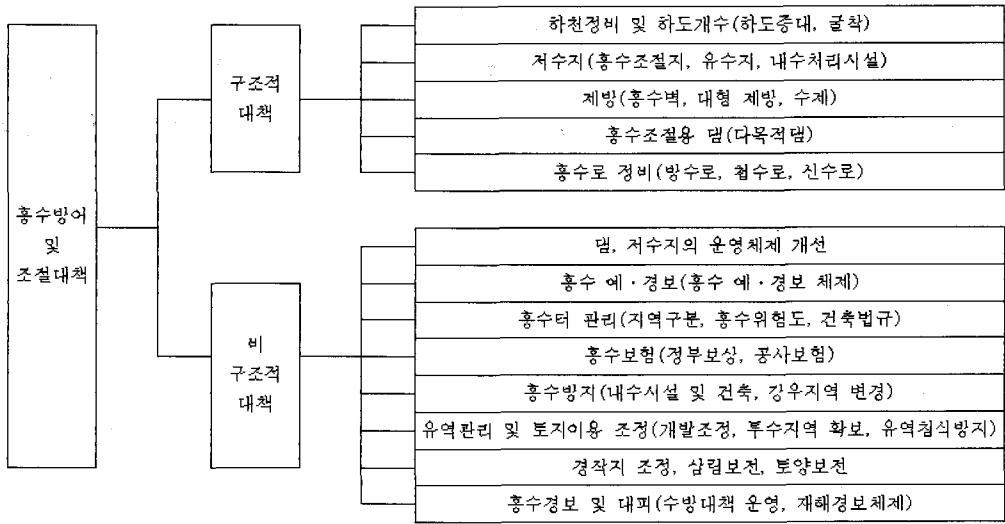


그림 1. 홍수방어 및 조절대책의 구분(하천설계기준, 건설교통부, 2005)

대책에 대한 것으로 현재 우리나라의 경우는 구조적 대책과 비구조적 대책을 병행하여 방재사업의 실시하고 있다.

홍수방재사업의 성공여부는 정확하고 합리적인 경제성 분석 방법에 의해 객관적인 분석결과를 제시하여야하며 이에 따라 사업의 타당성을 판단하여야 한다. 이를 위해서는 공학적 측면 중 수리수문학적 분석에서는 빈도별 범람 홍수위 산정과 침수예측이 필요하고, 지형공간정보학적 분석에서는 연구대상지역의 공간적 접근을 통한 범람 지역 추정 및 범람지역 자산의 공간적 분포 분석이 필요하다. 그리고 경제적 측면에서는 범람지역의 자산 가치에 대한 직·간접적 예상피해액을 화폐단위로 정량화하여 홍수방재사업의 타당성에 대한 검토가 필요하다. 그러나 국내·외 사례에서 보더라도 일련의 과정에 대한 개념적 정의는 제시되어 있으나 조사범위가 광범위한 뿐만 아니라 적용하는 데에는 현실적으로 어려움이 따른다.

예상침수지역에 선정에 대한 최근의 연구동향을 살펴보면 Sato 등(1989)은 2차원 흐름해석을 위한 일반적인 방법으로 천수방정식에 의한 해석을 실시하였으며, 한건연 등(2000)은 홍수터에서의 범람 홍수류에 대한 2차원 수치모의를 실시하였다. 이후 지리정보시스템의 개발로 이주현 등(2003)은 남한강의 양화천 유역으로 HEC-RAS 모형과 GIS를 연계하여 통합적 홍수범람 시스템을 구축하였으며, 정상만 등(2004)은 WMS를 이용하여 홍수위별 홍수범람도를 작성한바 있다. 치수사업 타당성 평가에 대한 연구로는 이충성 등(2005)은 AHP와 MAUT를 비교

분석하여 치수사업의 최선대안 선정 및 투자우선순위 결정을 위한 다기준 의사결정모형을 개발하였으며, 이충성 등(2006)은 GIS기반의 분포형 홍수피해산정 기법을 개발하여 안양천 유역에 적용하였다.

기존의 연구동향에서 보는 바와 같이 2차원 확산과 및 운동과 천수방정식을 통한 제방붕괴나 월류에 따른 홍수파 해석에 따른 침수해석기법이 활발하게 연구, 진행되고 있으나 이는 경제성 분석만의 목적으로 예상침수지역을 선정함에 있어서 기술적 난이도가 높고 경제적, 시간적 제약으로 비효율적인 측면이 있다. 또한 MD-FDA(다차원홍수피해산정법)에서는 과거의 방법보다 조사항목이 많고, 침수지역의 공간적 접근이 필요함으로 GIS와의 연계가 필수적이라 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 HEC-RAS와 GIS를 연계하여 예상침수지역을 분석하는데 있어 기존의 방법보다 효율적으로 적용할 수 있는 방안을 제시하였으며, MD-FDA와 GIS를 연계하여 자산가치평가 및 피해함수를 도출함으로써 실무 적용시 정확도의 확보와 활용도를 높일 수 있도록 하였다.

2. 예상침수지역 피해산정 이론

2.1 GIS를 이용한 예상침수구역 설정

예상침수구역의 설정에 있어 특정구역의 홍수파 해석에 사용되는 FLUvial Modelling ENgine(Flumen)이나

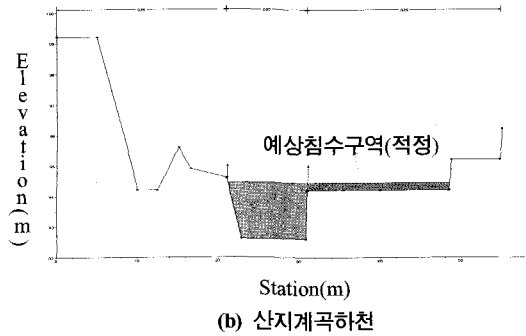
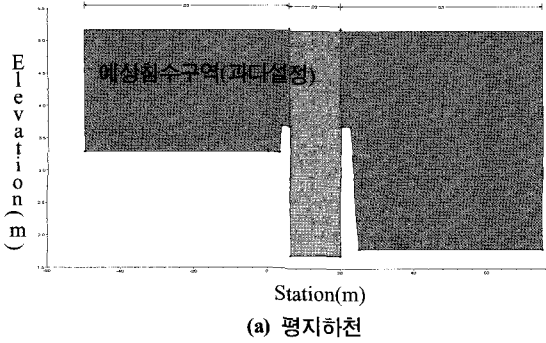


그림 2. 홍수위를 제내지로 연장하여 예상침수구역 설정

Surface water Modeling System(SMS)을 연구대상지역 전체 구간에 적용할 경우 기술적 난이도가 상당히 높을 뿐 아니라 필요이상의 정확도로 산출되어 비효율적일 수 있다. 이와 같은 이유로 본 연구에서는 연구대상지역의 수문분석을 실시한 후 HEC-RAS를 이용하여 빈도별 홍수위를 산출하여 이를 제내지에 연장하는 방법을 사용하여 예상침수지역을 선정하였다.

그림 2는 산지계곡하천과 평지하천에서 각각 홍수위를 제내지로 연장하여 예상침수지역을 산출하는 방법을 비교한 것이다. (a)평지하천에서는 홍수위를 제내지로 연장하였을 때 제내지의 전 구간이 침수지역으로 설정되어 홍수피해를 과다하게 산정하는 오류를 범할 수 있으나, 본 연구대상지역과 같이 지형적 특성상 굴입하도의 형상을 갖는 (b)산지계곡하천은 홍수위를 제내지로 연장하는 방법을 사용하더라도 큰 오류는 없을 것이라 판단되며, 홍수피해 경제성분석의 범위가 최대 위험치를 고려해야 하는 특성상 본 연구의 목적과 부합한다고 볼 수 있다.

2.2 다차원 홍수피해액 산정방법

예상침수지역에 대한 경제성 분석은 범위가 넓은 뿐만 아니라 지형적인 특성과 수리·수문학적 분석 및 다양한 사회경제적 피해를 정량·정성적으로 계량화하는 절차 및 방법에 대한 체계가 아직까지는 확립되었다고 보기는 어렵다. 여기서 정량적 피해란 경제적 피해로서 화폐가치로 계량화 할 수 있는 직간접피해를 의미하고, 정성적 피해는 피해주민의 정주안정성과 관련한 정서적 불안과 사회갈등가능성 등 계량화하기 힘든 간접피해를 의미한다(이충성 등, 2006).

2004년 건설교통부에서 발간한 “치수사업 경제성분석 방법 연구: 다차원 홍수피해산정방법”에 따르면 기존의

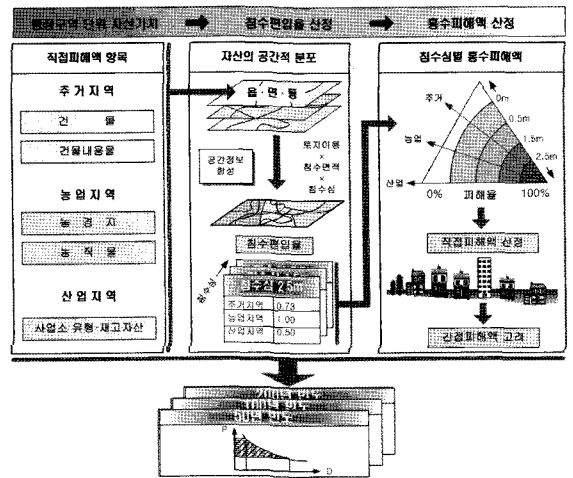


그림 3. 다차원 홍수피해액 산정방법(건설교통부, 2004)

피해지역을 단순하게 5등급으로 나누어 특별별 가중치나 속성값에 침수면적을 곱하여 피해액을 계산하는 단순한 방법을 보완하여 제시하였다.

그림 3은 다차원 홍수피해액 산정방법의 절차를 나타낸 것이고, 표 1은 침수면적을 산정을 위한 GIS자료의 항목을 나타낸 것이다.

침수피해액의 산정은 식 (1)과 식 (2)와 같다.

식 (1)에서 산정한 주거지역, 농업지역, 산업지역에 대한 일반자산 피해액에 인명/이재민 피해액, 공공시설물 피해액을 고려하여 식 (2)와 같이 총 피해액을 계산한다. 일반자산 피해액은 침수면적과 침수피해율을 고려하여 산출하고, 공공시설물 등의 피해액은 (일반자산피해액)×1.694(일본에서 사용하고 있는 비율¹⁾)로 산정하며, 인명피해액은 개선법(건설교통부, 2002)에 제시한 방법을 사용한다.

$$M_i = \sum_{i=1}^n [RD_i + AD_i + ID_i] \quad (1)$$

$$R = (1 + \alpha) M_i + P \quad (2)$$

여기서, M_i : 일반자산피해액,

RD_i : 건물, 건물내용물 피해액 함수,

AD_i : 농경지, 농작물 피해액 함수,

ID_i : 사업체유형, 재고자산 피해액 함수,

n : 해당 읍면동 개수

α : 일반자산피해액에 대한 공공시설물 피해액의 비율,

R : 직접피해액, P : 인명피해액,

$$B/C \text{ ratio} = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}} \quad (4)$$

$$IRR = \sum_{t=1}^n \frac{NB_t}{(1+r)^t} = 0 \quad (5)$$

여기서, B_t : t 차년도에 발생하는 편익,

C_t : t 차년도에 발생하는 비용,

NB_t : t 차년도에 발생하는 순편익 또는 순가
($= B_t - C_t$), n : 분석기간,

r : 할인율

S_n 은 감가상각비를 고려한 잔존가치

2.3 경제성 평가

여러 가지 투자계획 중에서 하나를 선택하거나 또는 최적 규모로 결정된 시설에 대한 경제성 평가를 위해서는 일반적인 기준이 필요하다. 이러한 기준을 평가기준(Evaluation Criteria), 평가지표(Evaluation Indicator) 또는 투자기준(Investment Criteria)이라고도 하며, 아래 식 (3)-(6)과 같이 순현재가(NPV; Net Present Value), 편익비용비(B/C; Benefit-Cost ratio), 내부수익률(IRR; Internal Rate of Return)의 세 가지가 주로 이용되고 있다.

$$NPV = \sum_{t=0}^n \left[\frac{NB_t}{(1+r)^t} \right] + \frac{S_n}{(1+r)^n} \quad (3)$$

다차원 홍수피해산정법은 기존의 경제성 분석의 단점을 보다 구체적이고 일괄적으로 해결할 수 있는 방안을 제시하였다고 평가받고 있으며, 간략한 절차로 쉽게 피해액을 산정할 수 있는 장점은 있으나 적용항목이 구체화된 만큼 전처리 과정 및 피해액 산정과정에서 다소 복잡해진 단점이 있다.

본 연구에서는 이를 보완하기 위하여 GIS를 이용하여 분석을 실시하였으며, 예상침수지역의 통계연보를 통한 자산 가치와 지역특성을 피해액 산정에 반영하여 보다 구체적인 예상홍수피해액을 산정함으로써 전체 피해지역을 단일특성으로 분석하였다.

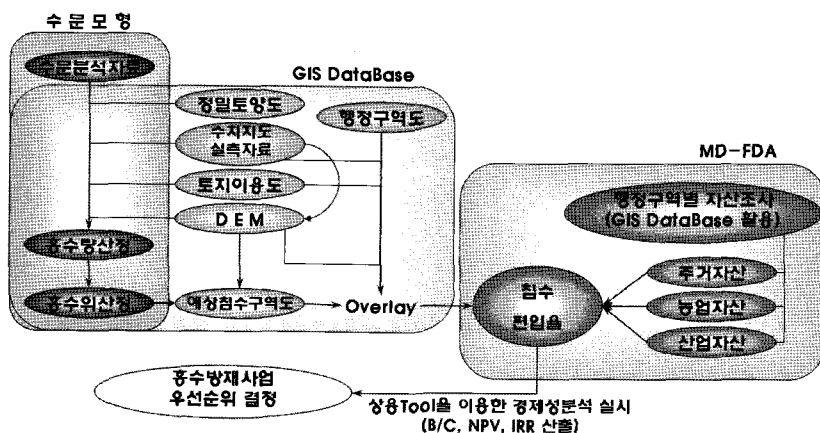


그림 4. GIS를 적용한 다차원홍수피해산정법 적용과정

- 1) 공공시설물 피해액은 일반자산 피해액에 일정비율을 곱하여 산정하며, “치수사업 타당성 분석방법 개선방안연구, 건설교통부, 2002”에서는 2002년 재해연보를 분석하여 일반자산 피해액에 대한 공공시설물 피해액의 비율을 1:6.01로 사용토록 제시하고 있으나, 이는 과다 산정의 우려가 있어 본 연구에서는 “치수사업경제성분석 방법연구, 건설교통부, 2004”의 3장 p95, 부록 B-15에서 제시하고 있는 일본 자료인 1:1.694를 적용하였다.

3. 예상침수지역 선정

3.1 연구대상지역 개요

연구대상지역은 우산천 유역으로 경위도상 동경 128° 32'40"~128°33'30", 북위 30°07'30"~30°11'10" 사이에 위치하고 있으며, 남북의 길이는 약 7.5km, 동서의 길이는 약 4.8km로서 남북으로 뻗어 있는 형상을 이루고 있으며 북쪽에서 남쪽을 향해 유로가 형성되어 있다. 행정 구역상 경상남도 마산시 일부로서 총 4개동에 속하고 총 가구수는 668호이고 거주인구는 2,309인이며, 유역의 총 면적은 17.4km², 총 유로연장은 8.9km이다(마산시, 2001).

우산천 유역은 현재 마창대교 건설과 신항만, 신도시 개발에 따른 인근에 장기적인 도시개발 가능성이 없어 개발가치가 큰 지역이며, 마창대교 접속도로 및 현동IC, 마

산밸리등의 공사가 진행 중이고 현동, 우산동 일대에 한국주택공사와 경남개발공사가 공동으로 국민임대주택 9천21가구를 2011년까지 건립예정으로 연구가치가 큰 지역으로 판단된다.

3.2 지형정보처리

연구대상지역의 예상침수지역 해석을 실시하기 위하여 대상지역의 제내지에 대한 현황, 종·횡단 세부측량 자료와 1/5,000 수치지도를 이용하여 수치표고모형(DEM; Digital Elevation Model)을 생성하였으며, 분석결과의 정확도 분석을 위하여 현지 침수흔적조사를 실시하여 분석 결과치와 비교하였다.

그림 6은 분석대상지역의 3차원 지형분석 자료이고 표 1은 그림 6을 통해 도출된 우산천의 수문지리정보 인자값이다.

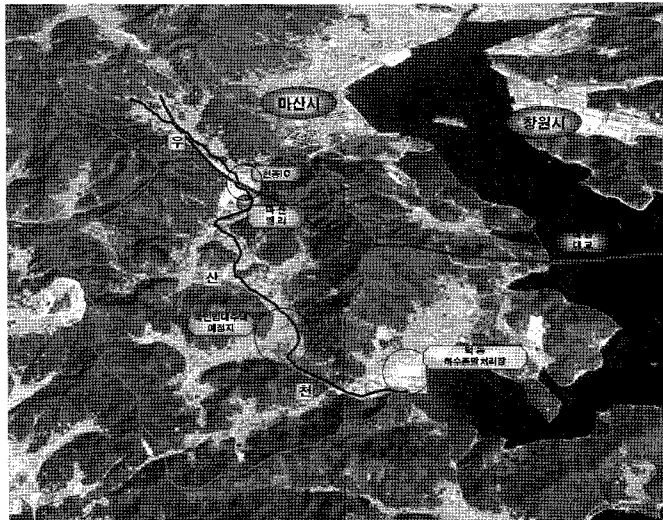
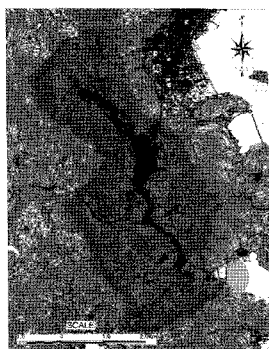
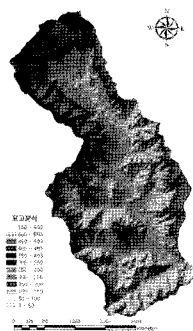


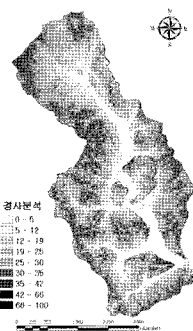
그림 5. 연구대상지역 위치도



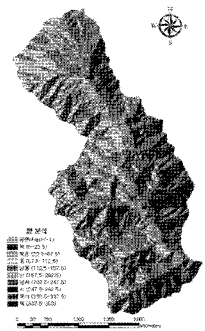
(a) 수치지도+실측현황평면도



(b) 유역내 표고분석



(c) 유역내 경사분석



(d) 유역내 향분석

그림 6. GIS를 이용한 연구대상지역 지형분석

표 1. 연구대상지역 유역특성인자

| 유역면적(km ²) | 유로연장(km) | 평균경사(%) | 평균향 | 최저/최고고도(m) | 평균고도(m) |
|------------------------|----------|---------|--------|---------------|---------|
| 17.4 | 8.9 | 20.47 | 154.38 | 0.00 / 565.00 | 133.81 |

3.3 SCS방법에 의한 유출계수 및 도달시간 산정

호우로 인한 유출자료가 없어 직접유출량을 결정하지 못하면 초과강우량의 산정이 불가능하다. 이와 같이 유출자료가 없는 경우 미국토양보전국(U. S Soil Conservation Service, SCS)에서는 유역의 토양특성과 식생피복상태 등에 대한 상세한 자료만으로도 총우량으로 초과강우량을 산정할 수 있는 방법을 개발하였으며, 현재 미계측유역의 초과 강우량(혹은 유효우량)의 산정에 널리 사용되고 있다. SCS방법에서는 유효우량의 크기에 직접적으로 영향을 미치는 인자로서 유역을 형성하고 있는 토양의 종류와 토지이용, 혹은 식생피복의 종류, 처리상태 및 토양의 수문학적 조건 등을 고려하여 인자들이 직접유출에 미치는 복합적인 영향을 정량적으로 표시하고자 하였으며,

강우가 발생하기 이전에 선행 토양함수조건(Antecedent moisture condition)도 고려하였다.

본 연구에 대한 유출수문곡선지수는 국토지리정보원에서 발행한 1:25,000 정밀토양도와 토지이용현황도를 이용하여 토양영향별 성질을 고려한 4개의 토양군과 11개의 토지피복상태로 분류하였다.

그림 7은 정밀토양도와 토지이용현황도를 중첩하여 유출곡선지수(CN)를 구하는 과정이며, 표 2는 그림 7을 통하여 산출한 유출곡선지수(CN)와 유출계수(C)를 도표화한 것이다.

본 연구에서는 GIS를 이용한 예상침수지역 설정 및 경계 분석임으로 효율적인 수문해석을 위하여 실시하는 GIS를 활용한 SCS방법에 의한 미계측유역 유효우량 산

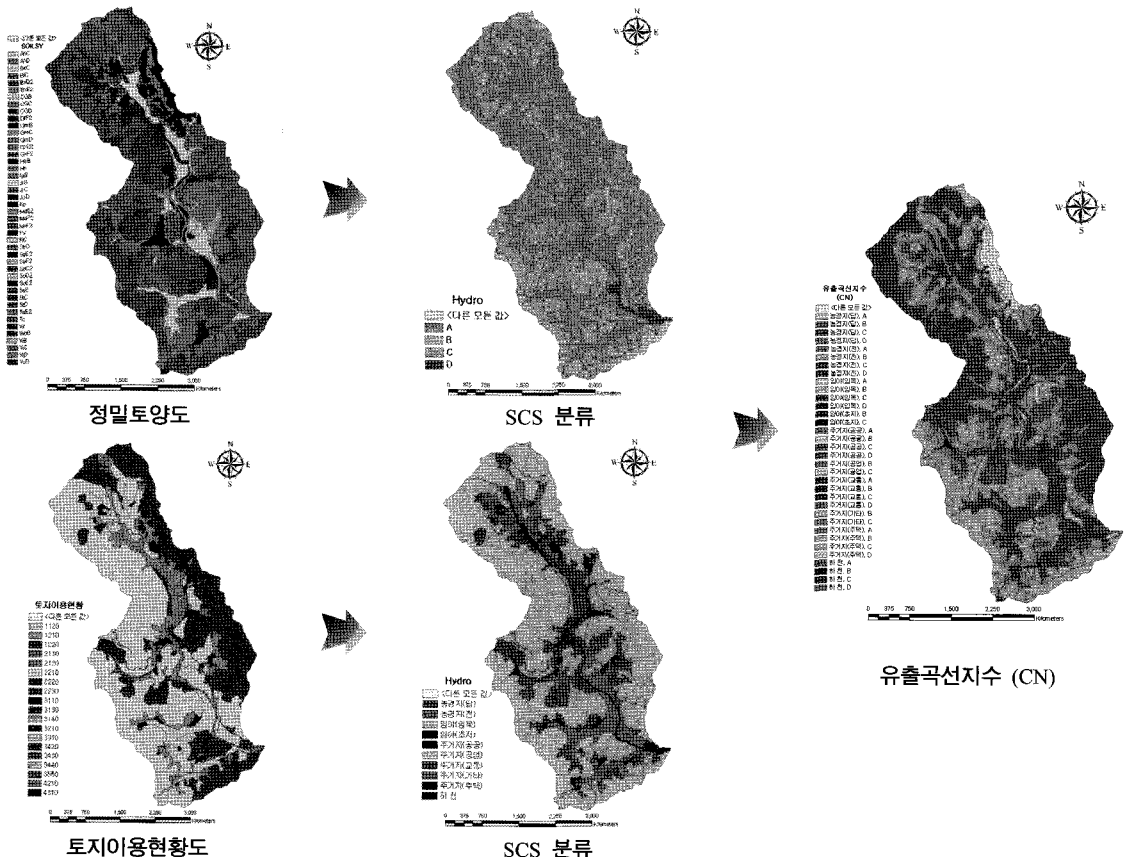


그림 7. SCS방법에 의한 미계측유역 유효우량 산정

표 2. 유출곡선지수(CN) 및 유출계수(C) 산정

| 토지이용상태 | 총면적 (km ²) | 토 양 군 | | | | | | | | 평균CN (AMC-II) | 유출계수 C |
|---------|---------------------------|--------------------------|-----|--------------------------|-----|--------------------------|-----|--------------------------|-----|------------------|-----------|
| | | A | | B | | C | | D | | | |
| | | 면적 (km ²) | CN | 면적 (km ²) | CN | 면적 (km ²) | CN | 면적 (km ²) | CN | | |
| 계 | 17.39 | | | | | | | | | 82.16 | 0.77 |
| 농경지(답) | 4.71 | 0.17 | 67 | 2.70 | 78 | 1.76 | 85 | 0.08 | 89 | 80.43 | 0.80 |
| 농경지(전) | 2.34 | 0.05 | 63 | 1.06 | 75 | 1.10 | 83 | 0.13 | 87 | 79.20 | 0.75 |
| 주거지(주택) | 1.99 | 0.03 | 77 | 0.92 | 85 | 1.02 | 90 | 0.02 | 92 | 87.49 | 0.50 |
| 주거지(공공) | 0.20 | 0.02 | 81 | 0.02 | 88 | 0.08 | 91 | 0.08 | 93 | 90.78 | 0.70 |
| 주거지(공업) | 0.05 | 0.00 | 81 | 0.03 | 88 | 0.02 | 91 | 0.00 | 93 | 88.98 | 0.50 |
| 주거지(기타) | 0.38 | 0.00 | 89 | 0.13 | 92 | 0.25 | 94 | 0.00 | 95 | 93.30 | 0.60 |
| 주거지(교통) | 1.15 | 0.03 | 98 | 0.61 | 98 | 0.43 | 98 | 0.08 | 98 | 98.00 | 0.85 |
| 임야(초지) | 0.10 | 0.00 | 49 | 0.07 | 69 | 0.03 | 79 | 0.00 | 84 | 72.33 | 0.70 |
| 임야(임목) | 5.59 | 0.12 | 57 | 3.46 | 73 | 1.95 | 82 | 0.07 | 86 | 75.96 | 0.80 |
| 임야(기타) | 0.00 | 0.00 | 68 | 0.00 | 79 | 0.00 | 86 | 0.00 | 89 | 0.00 | 0.70 |
| 하천 | 0.87 | 0.07 | 100 | 0.20 | 100 | 0.49 | 100 | 0.12 | 100 | 100.00 | 1.00 |

정 중 유역전체에 대한 부분만 언급하고, 각 지점별 유효 우량 산정 및 이 외의 강우분석, 홍수위 산정등의 수문해석에 대한 구체적인 언급은 생략하였다. GIS기법과 침수에 예측을 위한 수리모형의 연계는 예상침수지역의 자료획득 및 처리과정이 복잡한 다차원 홍수피해산정법의 단점을 보완할 수 있었으며, 보다 공간적인 측면에서의 접근이 가능하였다.

3.4 예상침수지역 산정

예상침수지역의 산정을 위해서 우선 HEC-RAS를 이용

하여 200m 단위로 측선을 배치한 후 빈도별 홍수위를 산출하였다. 그리고 홍수위의 연장선을 이용하여 홍수위 격자(GRID: 5m×5m)를 생성한 후 이를 연구대상지역의 수치표고모형 격자(DEM GRID: 5m×5m)와 중첩하여 홍수위보다 낮은 지형은 침수구역으로 설정하였다.

그림 8은 HEC-RAS를 통해 홍수위 연장선을 제내지에 연결하여 예상침수지역을 설정하는 것이고, 그림 9는 홍수위 격자(GRID)와 수치표고모형 격자(DEM GRID)를 나타낸 것이다.

그림 10은 DEM 분석을 통하여 산출한 각 빈도별 예상

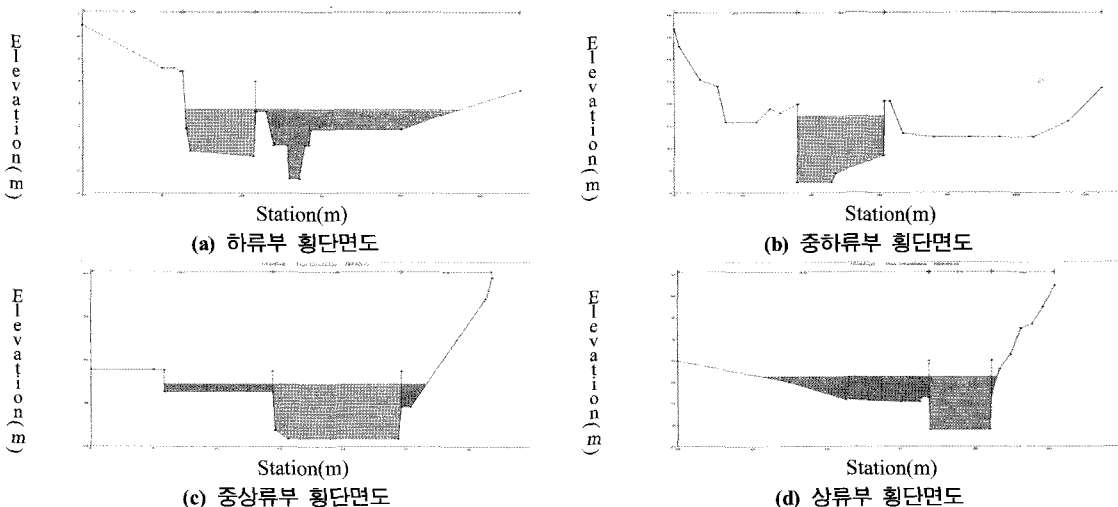


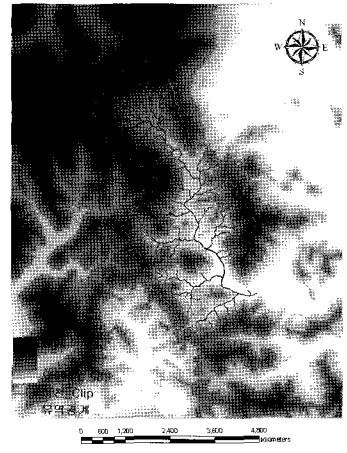
그림 8. 연구대상유역 HEC-RAS 분석



(a) 홍수위 축선망



(b) 홍수위 격자(GRID: 5m×5m)



(c) 수치표고모형 격자(DEM GRID: 5m×5m)

그림 9. 연구대상유역 DEM 분석



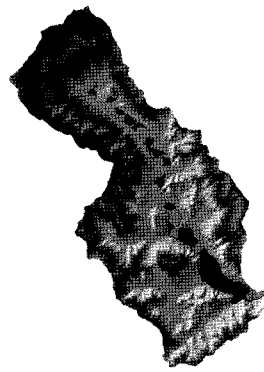
(a) 30년 빈도



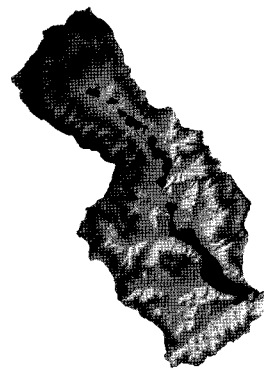
(b) 50년 빈도



(c) 80년 빈도



(d) 100년 빈도(기준년)



(e) 150년 빈도

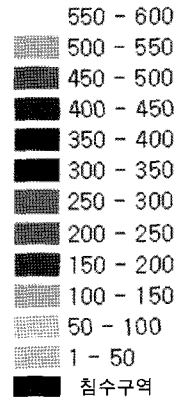


그림 10. GIS기법을 이용한 예상침수지역 도식화

침수지역을 도식화하였으며, 경제성 분석의 기준년은 지방2급 하천의 기준년인 80~100년 빈도 중 연구대상지역의 특성상 100년 빈도로 설정하였다.

GIS기법을 이용하여 예상침수지역을 도식화 한 결과 하류부는 모든 빈도년에서 피해면적이 광범위하게 나타남으로써 우선적인 치수사업이 필요할 것으로 판단된다.

그리고 중류부는 80년 이후의 빈도년에서 침수피해가 나타나고 상류부는 100년 이후의 빈도년에서 침수피해가 발생하는 것으로 나타나는 것을 볼 수 있다. 따라서 본 연구대상지역의 기준년을 100년 빈도로 설정할 경우 전 구간에 대해서 치수사업이 필요할 것으로 판단된다.

4. 경제성 분석 및 치수사업 우선순위 결정

4.1 경제성 분석을 위한 지구별 인자결정

예상침수지역은 연구대상지역의 분석을 통하여 총 4개 지구로 구분하였으며, 분석 기준년은 100년 빈도이고, 각 지구당 예상침수면적은 ArcGIS를 이용하였고 인구, 세대수는 통계연보를 참조하였다.

경제성 분석을 위한 홍수피해주기는 년 1.5회이고, 경제지표는 할인을 6.0%, 건설업 Deflator보정지수 133.40%이다. 그리고 자산별 상대 소비자물가지수(Consumer Price Index)는 건물내용물 122.73%, 산업자산 113.17%, 농경

지와 농작물 100%이다. 또한 인명보호편의 기준가격은 사망 2억5천만원, 부상 2천만원이며, 이재민 발생방지편익에서 기준가격은 일 2.70만원/명이고, 평균대비일수는 10일이다. 구조물에 대한 잔존가치는 축제공 80%, 호안공 10%, 구조물공 0%, 보상비 100%이다.(통계청, 2000)

표 4-표 12는 다차원 홍수피해 산정방법에 의한 연구대상지역의 자산가치 및 침수면적, 개략공사비, 년차별 투자계획을 나타낸 것이다.

표 4는 연구대상지역의 단위면적당 농작물 생산량과 단가를 나타낸 것으로 통계연보를 참조하였다.

표 5에서는 농경지 피해액 산정은 비닐하우스 재배를 고려하지 않은 일반적인 재배의 경우로써 논과 밭의 침수심에 따른 피해는 동일한 기준을 적용하고, 홍수피해의 경계선을 침수심 1m로 정한다. 침수심 1m 이하에서는 논이나 밭이 침수되기는 하지만 농경지 침수에 의해서는 피해액은 발생하지 않으나 농작물 피해는 발생한다.

표 6의 인명 및 이재민 피해는 과거 30년간의 자료를

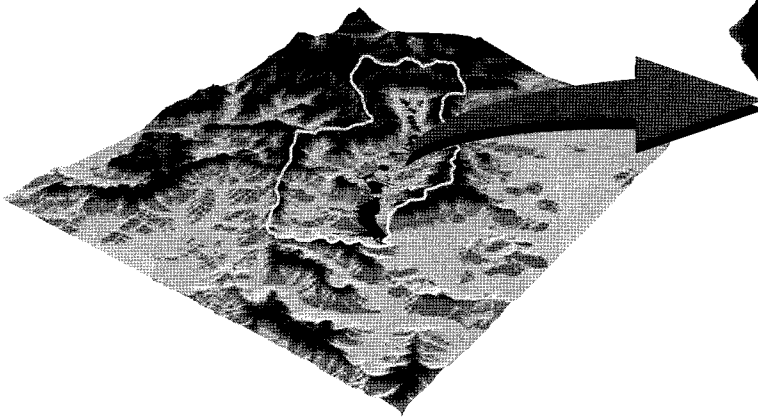


그림 11. 우산천 유역 3D 도식화

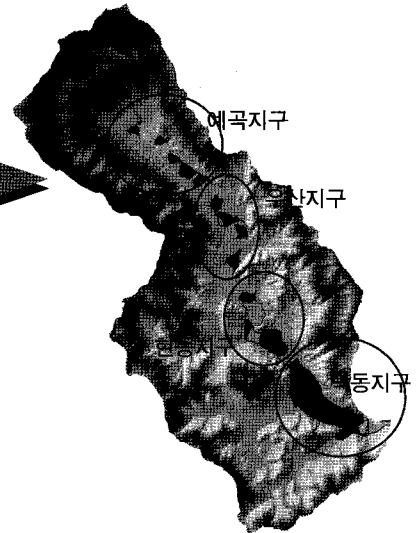


그림 12. 예상침수지역(4개지구)

표 3. 예상침수지구 개요

| 지역명 | 예상침수면적(ha) | | | | 인구 | 세대수 |
|------|------------|--------|------|----|-----|-----|
| | 계 | 농지 | 택지 | 기타 | | |
| 계 | 125.00 | 124.98 | 0.02 | - | 200 | 75 |
| 덕동지구 | 54.00 | 54.00 | - | - | 70 | 28 |
| 현동지구 | 33.00 | 33.00 | - | - | 60 | 22 |
| 우산지구 | 18.00 | 17.98 | 0.02 | - | 33 | 12 |
| 예곡지구 | 20.00 | 20.00 | - | - | 37 | 13 |

표 4. 농작물 별 생산량(kg/10ha), 단가(원/kg), 면적비율

| 작물분류 | -5년 | -4년 | -3년 | -2년 | -1년 | 단가 | 면적비 |
|------|------|------|------|------|------|-------|------|
| 미곡 | 446 | 446 | 395 | 476 | 451 | 2202 | 0.8 |
| 맥류 | 210 | 239 | 248 | 180 | 354 | 4375 | 0.14 |
| 마늘 | 1141 | 1158 | 981 | 1030 | 1155 | 6152 | 0.02 |
| 양파 | 3 | 742 | 1766 | 1500 | 1235 | 1435 | 0.01 |
| 고추 | 283 | 461 | 350 | 280 | 164 | 10435 | 0.01 |
| 참깨 | 57 | 53 | 61 | 55 | 58 | 20442 | 0.02 |

출처 : 마산시 통계연보, 2006

표 5. 침수기간별 농경지 답, 전 피해율(%)

| | 1일 이하 | 1-2일 | 3-4일 | 5-6일 | 7일 이상 |
|---|-------|------|------|------|-------|
| 논 | 14 | 27 | 47 | 77 | 95 |
| 밭 | 35 | 51 | 67 | 81 | 95 |

주) 농업재해피해조사보고요령에서 농작물 피해율 산정기준 참조

표 6. 인명 및 이재민 피해(인/ha)

| | 대도시 | 중소도시 | 전원도시 | 농촌지역 | 산간지역 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 사망 | 0.004 | 0.004 | 0.001 | 0.002 | 0.002 |
| 부상 | 0.002 | 0.002 | 0.001 | 0.001 | 0.002 |
| 이재민수 | 1.85 | 1.17 | 0.27 | 0.37 | 0.98 |

출처 : 치수사업 경제성 분석 개선방안 연구, 건설교통부, 2001

표 7. 도시분류별 가정용품 평가액(천원/세대당)

| | 대도시 | 중소도시 | 전원도시 | 농촌지역 | 산간지역 |
|-----|----------|----------|----------|----------|---------|
| 평가액 | 27,402.9 | 22,329.4 | 17,255.9 | 12,182.4 | 7,108.9 |

출처 : 치수사업 경제성 분석 개선방안 연구, 건설교통부, 2001

표 8. 건축연면적별 가구수비 및 주택형태별 가구수, 건축단가(철근조 기준, 원/m²)

| | 7평미만 | 7~9 | 9~14 | 14~19 | 19~29 | 29~39 | 39~49 | 49~69 | 69~99 | 99이상 | 계 | 가구수 | | | | 건축단가 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|----|----|----|---------|
| | | | | | | | | | | | | 덕동 | 현동 | 우산 | 예곡 | |
| 단독주택 | 0.0058 | 0.0122 | 0.0588 | 0.1242 | 0.2737 | 0.1603 | 0.1179 | 0.1383 | 0.0719 | 0.037 | 1.0001 | 26 | 21 | 11 | 12 | 722,822 |
| 아파트 | 0.0007 | 0.0288 | 0.1233 | 0.3569 | 0.3706 | 0.0699 | 0.0409 | 0.0086 | 0.0004 | 0 | 1.0001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 566,001 |
| 연립주택 | 0.0016 | 0.0048 | 0.1413 | 0.3722 | 0.3931 | 0.0584 | 0.0128 | 0.0123 | 0.0034 | 0 | 0.9999 | 1 | 1 | 1 | 1 | 566,001 |
| 다세대주택 | 0.0029 | 0.0095 | 0.2585 | 0.3984 | 0.2851 | 0.0342 | 0.006 | 0.0043 | 0.001 | 0 | 0.9999 | 0 | 0 | 0 | 0 | 722,822 |
| 영업용주택 | 0.0352 | 0.0332 | 0.1015 | 0.1201 | 0.2431 | 0.191 | 0.1082 | 0.0976 | 0.0408 | 0.0293 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 537,593 |

출처 : 주택총조사보고서(5년주기), 통계청, 2002

평균한 값으로 2001년 건설교통부에서 제시한 “치수사업 경제성 분석 개선방안 연구”에 따른다.

표 7의 가정용품평가액은 2001년 건설교통부에서 제시한 “치수사업경제성분석 개선방안 연구”중 도시분류별로 최대평가액에서부터 최소평가액까지 등간격으로 차등을

두어 제시하였다.

표 8의 건축형태별 연면적은 해당 읍면동의 시군통계연보를 근거로 평수별 가구수에 관한 자료를 바탕으로 산정하여야 하나 연구대상지역은 통계자료가 없어 전국평균자료를 이용하여 산정하였다.

표 9의 산업분류별 사업체 1인당 유형자산 및 재고자산 평가액은 통계청의 국부통계조사보고서(1999)에서 제시한 산업별 사업체 유형고정자산 및 재고자산을 산업분류별 종사수로 나누어 산정하였으며, 연구대상지역의 지역별 편차를 감안한 값을 제시하였다.

표 10의 빈도별 침수면적은 ArcGIS를 이용하여 산출한 값으로 총 4개 지구로 구분하여 빈도별로 산출하였다.

표 11의 공종별 사업비는 “우산천 하천정비 기본계획, 2001”에서 제시한 개략공사비를 총 4개 지구로 구분하여 빈도별로 산출한 자료이다.

표 12의 년차별 투자계획은 지방자치단체의 여건에 따라 달라질 수 있으나, 실시설계나 수해상습지 개선사업에서 제시하는 통상적인 계획을 적용하였다.

표 9. 산업분류별 사업체종사자의 1인당 유형/재고자산(천원) 및 종사자수(인)

| 산업분류 | 유형자산 | 재고자산 | 종사자수 | | | |
|-----------------------------|-----------|---------|------|----|----|----|
| | | | 덕동 | 현동 | 우산 | 예곡 |
| A. 농업, 임업 | 6,383,463 | 546,964 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| B. 어업 | 295,847 | 13,437 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C. 광업 | 102,124 | 3,998 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| D. 제조업 | 179,216 | 37,041 | 16 | 14 | 8 | 8 |
| E. 전기, 가스, 수도사업 | 1,596,787 | 4,812 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F. 건설업 | 58,920 | 17,613 | 3 | 3 | 1 | 2 |
| G. 도소매, 수리업 | 23,596 | 14,519 | 15 | 13 | 7 | 8 |
| H. 숙박, 음식점업 | 38,385 | 63 | 11 | 9 | 5 | 6 |
| I. 운수, 창고, 통신업 | 60,890 | 2,138 | 7 | 6 | 3 | 3 |
| J. 금융, 보험업 | 42,641 | 954 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| K. 부동산임대, 사업서비스업 | 51,518 | 3,197 | 4 | 4 | 2 | 2 |
| L. 공공, 국방, 사회보장행정 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| M. 교육서비스업 | 44,825 | 60 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| N. 보건, 사회복지사업 | 49,264 | 1,375 | 3 | 2 | 1 | 1 |
| O. 기타공공, 사회, 개인서비스, 오락, 문화업 | 91,207 | 1,968 | 7 | 6 | 3 | 4 |

출처 : 통계청(1999). 국부통계조사보고서

표 10. 빈도별 침수면적(ha)

| 빈도 | 덕동지구 | | | 현동지구 | | | 우산지구 | | | 예곡지구 | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1m이하 | 1m초과 | 계 | 1m이하 | 1m초과 | 계 | 1m이하 | 1m초과 | 계 | 1m이하 | 1m초과 | 계 |
| 30년 | 7.4 | 34.6 | 42.0 | 4.5 | 21.1 | 25.7 | 2.5 | 11.5 | 14.0 | 2.7 | 12.8 | 15.6 |
| 50년 | 8.1 | 39.9 | 48.0 | 5.0 | 24.4 | 29.3 | 2.7 | 13.3 | 16.0 | 3.0 | 14.8 | 17.8 |
| 80년 | 9.3 | 41.7 | 51.0 | 5.7 | 25.5 | 31.2 | 3.1 | 13.9 | 17.0 | 3.4 | 15.4 | 18.9 |
| 100년 | 11.3 | 42.7 | 54.0 | 6.9 | 26.1 | 33.0 | 3.8 | 14.2 | 18.0 | 4.2 | 15.8 | 20.0 |
| 150년 | 13.1 | 44.9 | 58.0 | 8.0 | 27.4 | 35.4 | 4.4 | 15.0 | 19.3 | 4.9 | 16.6 | 21.5 |

표 11. 공종별 사업비(백만원)

| 빈도 | 덕동지구 | | | | | | 현동지구 | | | | | |
|------|-------|--------|-------|-------|-------|---------|-------|--------|-------|-------|---------|---------|
| | 축제공 | 호안공 | 구조물공 | 보상비 | 기타 | 계 | 축제공 | 호안공 | 구조물공 | 보상비 | 기타 | 계 |
| 30년 | 505.5 | 608.7 | 574.8 | 246.2 | 844.4 | 2,779.6 | 798.9 | 1879.5 | 469.4 | 393.5 | 1,573.9 | 5,115.2 |
| 50년 | 521.9 | 628.4 | 574.8 | 254.1 | 862.6 | 2,841.8 | 813.9 | 1913.8 | 472.6 | 400.7 | 1,600.2 | 5,201.2 |
| 80년 | 538.3 | 648.2 | 572.1 | 262.1 | 879.2 | 2,899.9 | 828.9 | 1948.1 | 475.9 | 407.8 | 1,626.4 | 5,287.1 |
| 100년 | 546.5 | 658.1 | 574.8 | 266.1 | 889.5 | 2,935.0 | 837.4 | 1967.7 | 477.5 | 394.9 | 1,641.3 | 5,318.8 |
| 150년 | 558.8 | 672.2 | 574.8 | 271.2 | 902.8 | 2,979.8 | 850.2 | 1997.7 | 480.2 | 418 | 1,663.3 | 5,409.4 |
| 빈도 | 우산지구 | | | | | | 예곡지구 | | | | | |
| | 축제공 | 호안공 | 구조물공 | 보상비 | 기타 | 계 | 축제공 | 호안공 | 구조물공 | 보상비 | 기타 | 계 |
| 30년 | 266.5 | 1106.2 | 171.7 | 114.2 | 772.0 | 2,430.6 | 436.9 | 2267.2 | 364.5 | 310.8 | 1,534.1 | 4,913.5 |
| 50년 | 267.9 | 1111.8 | 171.7 | 114.8 | 775.4 | 2,441.6 | 439.1 | 2278.6 | 364.7 | 312.3 | 1,541.1 | 4,935.8 |
| 80년 | 269.2 | 1117.4 | 171.7 | 115.3 | 779.0 | 2,452.6 | 441.3 | 2289.9 | 364.9 | 313.9 | 1,548.0 | 4,958.0 |
| 100년 | 270.5 | 1122.9 | 171.7 | 115.9 | 782.6 | 2,463.6 | 443.5 | 2301.4 | 365.1 | 315.5 | 1,554.8 | 4,980.3 |
| 150년 | 271.9 | 1128.5 | 171.7 | 116.5 | 786.0 | 2,474.6 | 445.7 | 2312.8 | 365.3 | 317.0 | 1,561.8 | 5,002.6 |

표 12. 년차별 투자계획(%)

| | 축제공 | 호안공 | 구조물공 | 보상비 | 기타 |
|-----|-----|-----|------|-----|-----|
| 1년차 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 |
| 2년차 | 100 | 100 | 100 | 0 | 100 |

4.2 경제성 분석 결과

구체적인 편익·비용분석의 기준 또는 지표로는 편익·비용비(B/C ratio; Benefit-Cost ratio), 순현재가(NPV; Net Present Value) 및 내부수익률(IRR; Internal Rate of Return) 과 같은 기법들이 이용되고 있는데 적용하는 목적과 투자 사업의 특성에 따라 각각 장단점을 갖고 있다. 이러한 평가방법은 투자사업을 평가하는데 서로 배타적인 개념이 아니라 보완적인 기준으로 쓸 수 있다. 표 13은 경제성분석의 기법별 특징을 비교분석한 것이다.

아래 표 14는 연구대상지역의 경제성 분석결과이다.

경제성 분석의 근본적인 목적은 국가경제의 전체적인 입장에서 사업의 타당성을 분석하는 것이다. 이를 위해서는 사업 전후의 각종 편익과 비용을 추정한 후, 순현재가치(NPV, Net Present Value), 내부수익률(IRR, Internal

Rate of Return), 비용편익비(B/C, Benefit-Cost ratio)등의 경제성 평가지표를 활용하여 경제성을 평가한다. 본 연구대상지역의 각 빈도별 예상침수지구의 경제성분석을 실시하여 침수사업의 우선순위를 결정하였다. 따라서 본 연구의 침수사업 우선순위 결정은 위의 3가지 기법 중 여러 가지 사업을 객관적인 입장에서 비교할 수 있는 비용 편익비(B/C, Benefit-Cost ratio)를 적용하였다.

사업대상지구내에 기준년인 100년 빈도를 적용하였을 때 침수사업의 우선순위는 침수면적이 가장 넓은 덕동지구가 1순위로, 침수면적은 상대적으로 적으나 지구별 인구밀도가 가장 높은 우산지구는 2순위로, 상대적으로 침수면적이 적은 예곡지구는 4순위로 나타났다.

분석결과에서 1/5,000 수치지도의 주곡선 간격이 5m이므로 수문분석결과에 많은 오차를 포함하므로 이를 보완

표 13. 경제성 분석기법의 특징

| 방법 | 특징 및 장점 | 단점 |
|------------------|---|---|
| 순현재가(NPV) | <ul style="list-style-type: none"> 적용이 쉽다. 결과나 규모가 유사한 대안을 평가할 때 이용된다. 각 방법의 경제성 분석결과가 다를 경우 이 분석 결과를 우선으로 한다. | <ul style="list-style-type: none"> 투자사업이 클수록 크게 나타난다. 자본투자의 효율성이 드러나지 않는다. |
| 편익비용비(B/C ratio) | <ul style="list-style-type: none"> 적용이 쉽다. 결과나 규모가 유사한 대안을 평가할 때 이용된다. | <ul style="list-style-type: none"> 사업규모의 상대적 비교가 어렵다. 편익이 늦게 발생하는 사업의 경우 낮게 나타난다. |
| 내부수익률(IRR) | <ul style="list-style-type: none"> 투자사업의 예상수익률을 판단할 수 있다. NPV나 B/C 적용시 할인율이 불분명할 경우 이용된다. | <ul style="list-style-type: none"> 짧은 사업의 수익성이 과장되기 쉽다. 편익발생이 늦은 사업의 경우 불리한 결과가 발생한다. |

출처 : 침수사업 경제성분석 방법 연구 -다차원 홍수피해산정방법-, 건설교통부, 2004

표 14. 연구대상지역 경제성 분석결과

| 지구명 | 30년 | | | 50년 | | | 80년 | | |
|------|--------|------------|---------|--------|------------|---------|-----------------------|------------|---------|
| | B/C | NPV | IRR | B/C | NPV | IRR | B/C | NPV | IRR |
| 덕동지구 | 21.576 | 63,109.810 | 148.657 | 24.299 | 73,020.080 | 165.158 | 25.000 | 76,701.480 | 169.100 |
| 현동지구 | 7.121 | 34,685.630 | 52.585 | 8.087 | 40,826.720 | 59.594 | 8.345 | 43,007.390 | 61.448 |
| 우산지구 | 8.067 | 19,281.810 | 61.156 | 9.262 | 22,644.070 | 70.161 | 9.674 | 23,879.530 | 73.247 |
| 예곡지구 | 4.433 | 18,948.560 | 33.164 | 5.095 | 22,701.760 | 38.231 | 5.296 | 23,924.720 | 39.766 |
| 지구명 | 100년 | | | 150년 | | | 침수사업 우선순위 (100년빈도 기준) | | |
| | B/C | NPV | IRR | B/C | NPV | IRR | | | |
| 덕동지구 | 25.500 | 79,234.800 | 172.000 | 26.558 | 83,884.810 | 178.200 | 1 | | |
| 현동지구 | 8.553 | 44,512.650 | 63.077 | 8.880 | 47,205.150 | 65.288 | 3 | | |
| 우산지구 | 9.923 | 24,675.540 | 75.109 | 10.487 | 26,351.550 | 79.312 | 2 | | |
| 예곡지구 | 5.456 | 24,928.360 | 40.986 | 5.739 | 26,628.590 | 43.135 | 4 | | |

하기 위하여 제내지 100~150m에 대한 현황 및 중·횡단 세부측량자료를 지형도에 포함하여 분석을 실시하여 현 지 침수흔적조사와 비교분석 하였다. 추후 1/1,000 수치 지도 또는 Lidar등의 자료를 이용하여 예상침수지역에 대한 경제성분석을 실시한다면 분석결과에 대한 신뢰도가 높아질 것이다.

5. 결 론

본 연구는 GIS를 활용하여 연구대상지역의 수문지리정보자료를 생성한 후 예상침수지역을 산출하여 이를 바탕으로 예상침수지역의 경제성 분석을 실시한 것으로 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 본 연구에서는 2004년 건설교통부에서 발간한 “치수사업 경제성분석 방법 연구 : 다차원 홍수피해산정 방법”을 적용하였으며 예상침수지역의 통계연보를 통한 자산가치와 지역특성을 피해액 산정에 반영하여 보다 구체적인 예상홍수피해액을 산정함으로써 전체 피해지역을 단일특성으로 분석하였다.

둘째, 본 연구에서 수행한 GIS기법과 침수예측을 위한 수리모형과의 연계는 예상침수지역의 자료획득 및 처리 과정이 복잡한 다차원 홍수피해산정법의 단점을 보완할 수 있었으며, 빈도별 홍수위에 따른 침수범위예측등 공간적인 측면에서의 접근이 가능하였다.

셋째, GIS를 이용하여 산출한 결과를 기반으로 경제성 분석을 실시함으로써 실무에서 적용시 효율성을 높일 수 있는 방안을 제시하였다고 판단된다.

향후에는 홍수위를 제내지에 연결하는 방법의 적용으로 침수피해가 과다하게 산정된 단점을 보완할 수 있도록 제방붕괴나 월류에 따른 2차원 확산과나 운동과 및 침수 시간의 적용으로 보다 정확한 침수피해를 분석할 수 있는 체계를 갖추어 유역의 특성에 맞는 피해함수를 도출해야 할 것이며, 홍수에·경보 및 홍수 보험등에 확대, 적용할 수 있는 방안을 마련해야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2007년도 경남대학교 학술연구장려금 지원으로 이루어졌습니다.

참고문헌

- 건설교통부 (2001), 치수사업 경제성분석 개선방안 연구.
 건설교통부 (2004), 치수사업 경제성분석 방법 연구 -다차원 홍수피해산정방법-.
 건설교통부 (2005), 하천설계기준·해설.
 국립방재연구소 (1998), 홍수보험제도도입방안 연구.
 마산시 (2001), 우산천 하천정비기본계획.
 마산시 (2004, 2006), 우산천 재해위험지 정비공사 실시설계 용역.
 마산시 (2006), 마산시 통계연보.
 이주현, 최종진, 이희철, 이은태 (2003), 고해상도 수치고도모형을 활용한 홍수범람도의 작성, 대한토목학회논문집, 23(6B), pp. 471-478.
 이충성, 이상철, 김형수, 심명필 (2005), 치수사업을 위한 다기준 의사결정모형 개발, 대한토목학회논문집, 제 25권, 제5B호, pp. 337-346.
 이충성, 최승안, 심명필, 김형수 (2006), GIS기반의 분포형 홍수피해산정 기법, 대한토목학회논문집, 제 26권 제3B호, pp. 301-310.
 정상만, 김이형, 이주남 (2004), WMS모형에 의한 홍수위범람구역의 변화분석, 한국수자원학회 04학술발표회 특별세션, pp. 171.
 통계청 (1999), 국부통계조사 보고서.
 통계청 (2002), 주택 총조사 보고서.
 한건연, 정재학, 이을래 (2000), 홍수터에서의 범람 홍수류에 대한 2차원 수치모의, 한국수자원학회 논문집, 33권, 제4호, pp. 483-493.
 Sato, S., Imamura, F., and Shuto, N. (1989). Numerical simulation of flooding and damage to houses by the Yoshida River due to Typhoon No. 8610. *J. Natural Disaster Science*, Vol. 11, No. 2, pp. 1-19.

(접수일 2007. 8. 21, 심사일 2007. 10. 22, 심사완료일 2007. 11. 26)