

# 지형공간정보체계와 경제성분석을 활용한 유역단위 홍수저감시설 규모결정 방안 연구\* - 댐증고사업을 중심으로 -

최천규<sup>1\*</sup> · 김길호<sup>2</sup> · 여규동<sup>3</sup> · 심명필<sup>2</sup> · 최윤석<sup>1</sup>

## Optimal Size Determination of Flood Mitigation Facilities in a Watershed Using Geo-Spatial Information System and Economic Analysis: Focused on Dam Height Raise Project \*

Cheon-Kyu CHOI<sup>1\*</sup> · Gil-Ho KIM<sup>2</sup> · Kyu-Dong YEO<sup>3</sup> ·  
Myung-Pil SHIM<sup>2</sup> · Yun-Seok CHOI<sup>1</sup>

### 요 약

다양한 단위사업안이 고려되는 유역치수계획에서 경제적 효율성이 높고 최적규모를 나타내는 최적 투자대안의 결정은 사업의 시행여부를 판단하는 매우 중요한 절차이다. 치수계획 수립시 투자대안은 다수의 단위사업간 관계를 고려하여 1개 이상의 단위사업으로 조합된 의사결정안을 의미하며, 이때 홍수저감시설의 종류와 규모별로 구성되는 단위사업의 수가 많아 최적 투자대안을 결정하는 것은 어려운 것이 현실이다. 따라서 본 연구는 경제적인 측면에서 최적 투자대안을 결정하기 위하여 홍수저감시설 중 댐증고사업을 대상으로 경제성 분석을 통해 최적규모를 결정하는 방안을 제시하고자 한다. 영산강 유역의 4개 댐의 증고높이를 결정하기 위해 단위사업별 홍수저감량을 산정하는 '시나리오1'과 단위사업의 조합에 의해 구성된 투자대안별 홍수저감량을 산정하는 '시나리오2'를 비교하였다. 연구결과 '시나리오2'에 의해 최적 규모를 결정하는 것이 '시나리오1'을 이용하는 것에 비해 유역 전체의 상황이 종합적으로 고려된 경제적인 규모결정에 적합한 것으로 나타났다.

2013년 8월 23일 접수 Received on August 23, 2013 / 2013년 10월 7일 수정 Revised on October 7, 2013 / 2013년 11월 5일 심사완료 Accepted on November 5, 2013

\* 본 연구는 한국건설기술연구원 13주요-시드사업(과제명-지방하천 홍수위험지도 제작기술 개발)과 국토해양부가 출연하고 건설교통기술평가원에서 위탁시행한 건설기술혁신사업(08기술혁신F01)에 의한 차세대홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

1 한국건설기술연구원 수자원연구실 Water Resources Research Division, Korea Institute of Construction Technology

2 인하대학교 토목공학과 Civil Engineering, Inha University

3 노아솔루션 NOAA Solution Co. Ltd.

※ Corresponding Author E-mail : ckchoi@kict.re.kr

주요어 : 최적규모, 경제성 분석, 지형공간정보체계, 댐증고사업

## ABSTRACT

To achieve economic efficiency in a basin flood mitigation planning, it is important to determine optimal sizes of investment alternatives. Investment alternative means decision proposals composed with one more individual proposals, and it is not easy to determine an optimal one because there are so many individual proposals. This study aims to propose the approach of determining the optimal project size for raising dam height. This study applies two scenarios to determine investment alternatives for the 4 dams in the Yeongsan River basin. 'Scenario1' calculates flood mitigation for each individual proposal. And 'Scenario2' calculates that for each investment alternative composed with one more individual proposals. As the results, 'Scenario2' is better than 'Scenario1' for selecting a economically optimal dam height considering watershed conditions comprehensively.

**KEYWORDS** : *Optimal Size, Economic Analysis, Geo-Spatial Information System, Dam Height Raise Project*

## 서 론

최근의 치수계획은 과거 소극적인 홍수방어 개념에서 유역 내 저류기능을 확대하여 홍수량을 근본적으로 저감하는 유역 단위의 치수계획 기조로 패러다임이 변화하고 있다. 이와 같은 환경변화는 2001년 하천법 11조 2에 신설된 하천유역종합치수계획의 수립 관련 조항을 근거로 최근까지 유역종합치수계획이 수계별로 수립 및 진행되는 등 국가적으로 최선의 투자대안을 수립하여 홍수피해를 최소화하는 노력으로 나타나고 있다. 여기서 투자대안은 기술적, 경제적으로 예산투입을 고려할 수 있는 단위사업안들로 조합된 선택 가능한 의사결정안이며(Thuesen and Fabrycky, 1993; Lee *et al.*, 2005), 이러한 대안들로부터 해당 유역의 치수환경에 적합한 최적의 대안을 결정하는 것은 치수계획에서 매우 중요한 문제이다.

유역단위 치수계획에서 치수기능을 향상시키기 위해서는 유역 및 하도에서 분담할 수 있는 홍수량 분석을 바탕으로 다양한 구조물적 홍수

방어시설물들의 홍수저감량을 분석해야 한다. 이러한 치수계획을 수립함에 있어서 구조물적 홍수방어시설물은 각각의 단위사업안으로 구성되며, 대상이 되는 단위사업안은 하천개수, 신규댐 건설, 기존 댐의 증고 및 수문 설치 등을 고려할 수 있다. 수자원 단위사업의 최적규모 또는 최적조합결정 관련 연구를 살펴보면, James and Lee(1971)는 이수, 치수, 환경 등 수자원 계획에 대하여 경제학 이론을 소개하고, 치수 목적의 저류시설과 하천개수를 대상으로 경제적으로 최적의 조합을 결정하는 방법을 제시한 바 있으며, Heaney *et al.*(1978)은 도시 우수로부터 유입되는 오염물질 정화를 위한 처리시설의 최적규모를 결정하기 위해 시설용량과 처리율의 조합으로 경제적 최적규모를 결정하는 연구를 수행한 바 있다. Moglen and McCuen(1990)은 홍수와 유사조절 목적의 우수지에 대해 경제학적으로 최적규모를 결정하는 방안을 제시하였다. McKinney and Sanistcky(2006)는 수자원 경제성 분석에 필요한 비용편익분석, 물의 수요 및 생산에 관한 경제학적 이론과 적용방안, 물 배분 및 수질관

리 같은 문제를 종합적으로 다루었다. 국내에서는 Kim *et al.*(2007)이 소수력 개발에 경제성 분석을 이용하여 최적규모를 결정하는 방안을 제시한 바 있으며, Lee *et al.*(2010)은 유역치수계획을 수립함에 있어서 각 단위사업별 편익 및 비용의 단순합을 이용하여 단위사업인들의 조합이 경제적 효율성을 갖도록 하는 대안수립 방법을 제시하였다. 이와 같이 대부분은 최적 투자대안을 결정하는 방안 연구보다는 수리·수문학적 측면에서 저류지의 최적규모와 위치 선정에 관한 연구가 이루어져 왔다.

치수계획에서는 단위사업의 최적규모를 결정하기 위해서 수리·수문학적 분석, 경제성분석 및 사회·환경적 영향 등의 다양한 분석을 통하여 최적 투자대안을 결정하고 있다. 이 중 경제성분석을 수행하기 위한 홍수피해액 산정은 지형공간자료를 활용한 다차원홍수피해산정법(Multi-Dimensional Flood Damage Analysis; MD-FDA)이 활용되고 있다(MLTM, 2009). 공간정보와 MD-FDA를 활용한 연구로 Lee *et al.*(2006)은 지형공간자료와 MD-FDA를 이용하여 도시지역에 적용이 가능하도록 MD-FDA의 산정 요소를 보정하여 홍수피해액을 산정하였으며, Lee and Park (2011)은 FLDWAV 모델을 이용하여 침수구역도를 생성하고 GIS자료와 MD-FDA를 통하여 홍수피해액을 산정하였으며 이를 통하여 각 빈도별 홍수피해액을 비교 분석한 바 있다. Kim *et al.*(2012)은 낙동강의 황강과 남강사이 구간에 대하여 경제성 측면에 대하여 제방사업과 주민이주사업을 비교 연구한 바 있으며, 경제성분석에 지형공간자료와 MD-FDA를 활용한 바 있다. Lee *et al.*(2006)은 MD-FDA를 이용한 홍수피해 산정에 GIS를 활용하여 분포형 분석기법을 제시하였으며, Kim(2010)은 MD-FDA를 활용한 홍수피해액 산정시 불확실성 고려여부에 따른 홍수피해액을 산정결과를 비교한 바 있다. Choi *et al.*(2007)은 충주댐의 홍수조절에 따른 홍수저감효과를 산정하고, 지형자료와 MD-FDA를 이용하여 경제성측면에서 홍수저감효과를 평가하였다. 이와 같이 GIS자료와 MD-FDA를

활용한 기존의 연구는 주로 홍수피해액 산정과 이를 이용한 단일사업에 대한 경제성 평가 위주로 수행되어 왔으나, 유역 전체에서 다수의 홍수저감시설 단위사업의 규모를 종합적으로 고려한 최적규모 결정 방안에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 홍수방어시설물 중 댐을 중심으로 다수의 댐증고사업을 종합적으로 고려한 최적규모 결정방안을 제시하고자 한다. 댐증고사업의 최적규모 결정을 위한 경제성분석은 두 개의 시나리오를 적용하였으며, 이때 홍수피해액 산정은 지형공간자료를 활용하는 MD-FDA를 이용하였다. '시나리오1'에서는 단위사업별 홍수저감량을 산정한 후 편익과 비용을 단순합하여 경제성분석을 수행하고, '시나리오2'에서는 단위사업의 조합에 의한 홍수저감량을 산정한 후 경제성분석을 수행한다. 본 연구에서는 두 시나리오에 의한 댐증고사업을 평가하고, 최적규모 결정 방안을 제시하였다.

## 대상 유역 및 연구방법

### 1. 대상 유역

본 연구에서는 경제성분석에 의한 유역 내 댐증고사업의 규모를 결정하기 위하여 영산강 유역 내에 존재하는 장성댐, 나주댐, 함동댐, 광주댐을 선정하였으며, 그림 1은 영산강 유역에서 하천과 인접한 행정구역도와 대상 댐의 위치를 나타낸 것이다. 영산강 유역은 우리나라의 4대강 중 하나로 한반도 남서부 전라남·북도에 위치하며, 유역면적은 3,469.6km<sup>2</sup>, 유로연장은 136.0km이며, 전체 유역면적 임야와 농경지가 전체 유역면적의 51% 와 34%이며, 도시지역이 7%를 차지하여 유역의 대부분을 임야와 농경지로 구성되어 있다.

영산강 유역에서 공간적인 유출 특성을 반영하기 위하여 영산강 유역종합치수계획보고서(MLTM, 2008b)에서 제시된 17개 지점을 홍수량 산정지점으로 선정하였으며, 그림 2는 각 홍수량 산정지점의 위치를 나타낸 것이다. 홍수

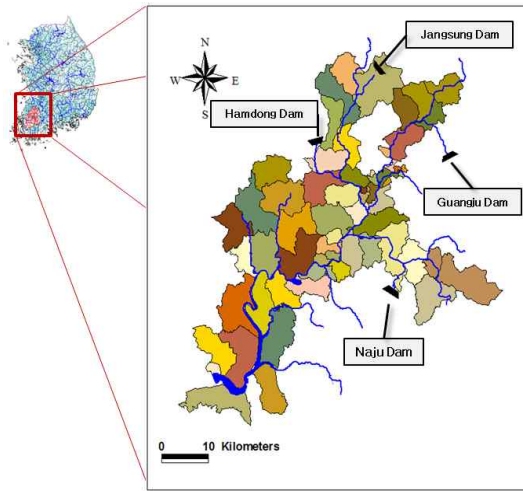


FIGURE 1. Administrative district and Dam's location

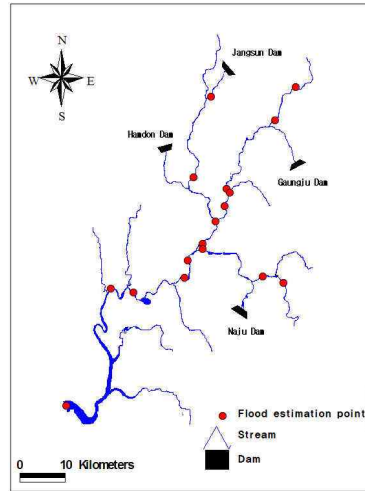


FIGURE 2. Location of flood estimation point

량 산정지점은 빈도별 홍수량을 산정하여 빈도별 홍수피해액과의 관계곡선을 작성하는데 이용된다(MLTM, 2008a).

## 2. 연구 절차

본 연구에서는 공간정보와 경제성분석을 이용한 댐증고사업의 규모를 결정하기 위하여 2

개의 투자대안 평가 시나리오를 구성하여 비교하였으며, 그림 3은 연구절차를 나타낸 것이다. 먼저 댐증고사업 대상 댐을 선정하고 증고높이에 따른 단위사업안을 구성하였다. 이때 단위사업안은 다른 댐에 미치는 영향을 판단하여 크게 독립안과 종속안으로 구분되며, 종속안은 배반안과 부가안으로 나누어 구성한다. 단위사업

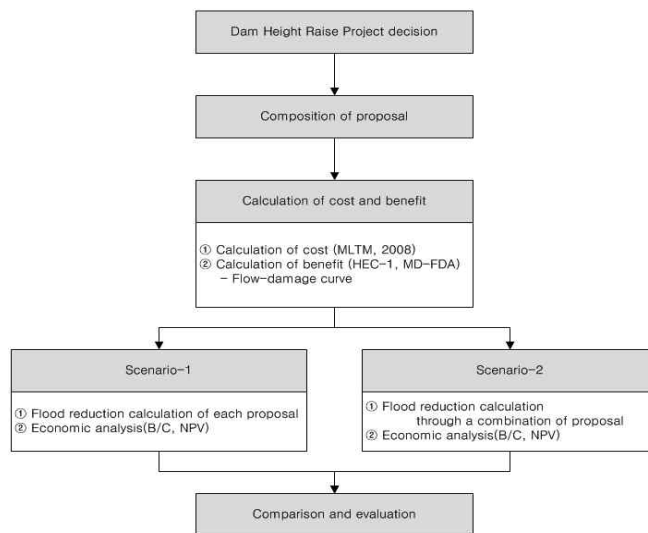


FIGURE 3. Research flow chart

안을 이용하여 투자대안을 구성할 때에는 단위사업안 간의 배타적 관계설정과 실현불가능한 조건(과대비용이 도출되는 단위사업안, 사업 시행시 홍수저감량에 영향을 미치지 않는 단위사업안 등)과 같은 제한조건을 설정하여 효율적인 평가를 위한 투자대안을 구성한다. 다음으로 각 단위사업별 비용과 치수편익을 산정한다. 치수편익 산정 시 지형공간자료를 이용하여 홍수피해액을 산정하는 MD-FDA를 활용하였으며, 빈도별로 산정한 치수편익을 이용하여 댐증고사업전 각 홍수량 산정지점에서의 유량-홍수피해액 관계곡선을 작성하였다. 투자대안 평가 시나리오는 단위사업별 홍수저감량을 산정하는 '시나리오1' 과 단위사업의 조합에 의한 홍수저감량을 산정하는 '시나리오2' 로 구성하였으며, 마지막으로 두 시나리오를 비교평가 하였다.

## 투자대안 평가 시나리오 구성

### 1. 투자대안의 구성

본 연구에서 단위사업은 실현가능성이 있는 각 댐의 증고높이를 의미한다. 그러므로 단위사업은 홍수저감효과가 미미하거나 투자비용이 높아 실현가능성이 작은 증고높이를 제외하고 구성해야 한다. 따라서 단위사업 선정을 위해 상한 증고높이와 하한 증고높이를 결정하였다. 각 댐의 상한 증고높이는 영산강 유역종합치수계획보고서(MLTM, 2008b)에 제시된 각 댐의 비용-홍수조절용량 곡선의 기울기가 급격히 증가하는 지점을 기준으로 하였으며, 이 지점은 댐의 홍수조절용량이 늘어나면서 수몰면적과 수몰세대수가 급격히 증가하기 시작하는 위치를 나타낸다. 하한 증고높이는 모든 단위사업에

대해 댐증고에 따른 홍수저감량을 확인할 수 있는 나주수위표를 기준으로 50% 이상의 홍수조절효과를 나타내는 증고높이로 선정하였다. 각 댐의 단위사업은 0.5m 간격으로 증고높이를 검토하였으며, 검토결과 증고높이는 0.5m~3.5m 범위로 설정되었다. 각 댐별로 선정된 단위사업은 표 1과 같다. 표 1에서 제시된 16개의 단위사업(증고높이)은 댐증고사업의 투자대안을 구성하며, 동일 댐의 단위사업은 상호 배타적인 관계에 의해 서로 중복되지 않게 투자대안을 설정한다. 이와 같이 구성된 투자대안은 경제성분석에 의해 우선순위를 선정하여 댐증고사업의 증고높이를 결정하는데 활용된다. 본 연구에서 설정된 상호배타적 투자대안의 개수는 식 (1)을 통하여 산정되며(Thuesen and Fabrycky, 1993), 이로부터 총 575개의 투자대안을 구성하였다.

$$N = \left( \prod_{j=1}^S (M_j + 1) \right) - 1 \quad (1)$$

$$= (M_1 + 1)(M_2 + 1)(M_3 + 1)(M_4 + 1) - 1$$

여기서,  $N$  : 투자대안의 개수,  $S$  : 대상 댐의 수,  $j$  : 대상 댐,  $M_j$  : 대상 댐의 단위사업안 수

### 2. 유량-피해액 관계 설정

댐증고사업의 결과로 감소되는 홍수량에 의한 홍수피해저감액을 산정하기 위해서는 홍수량에 대응하는 홍수피해액 관계곡선이 필요하다. 홍수피해액을 산정하기 위하여 건설교통부(2004)에서 개발한 MD-FDA를 이용하였으며,

TABLE 1. Decision individual proposal and relationship of dam

Dam	Proposal(Height)	Relationship
Jangsung( $M_1$ )	1.0m, 1.5m, 2.0m	mutual exclusive relation
Naju( $M_2$ )	1.0m, 1.5m, 2.0m	mutual exclusive relation
Guangju( $M_3$ )	1.0m, 1.5m, 2.0m, 2.5m, 3.0m	mutual exclusive relation
Hamdong( $M_4$ )	1.5m, 2.0m, 2.5m, 3.0m, 3.5m	mutual exclusive relation

그림 4는 본 연구에서 유량-피해액 관계곡선을 작성하는 절차를 나타낸 것이다. MD-FDA를 이용하여 홍수피해액을 산정하기 위해서는 행정구역별로 작성된 통계자료를 이용하여 자산 조사를 하고, 이를 바탕으로 자산가치를 산정한다. 산정된 자산가치를 공간적으로 분포시키기 위하여 GIS(Geographic Information System) 자료인 행정구역도를 활용하며, 이를 빈도별 침수구역도 및 토지피복도와 중첩하여 침수면적과 침수심에 따른 홍수피해액을 산정한다. 다음으로는 MD-FDA에 의해 산정된 홍수피해액과 빈도별 홍수량을 이용하여 유량-피해액 관계곡선을 작성한다. 이때 빈도별 홍수량 사이의 홍수피해액은 직선보간 방법을 통하여 산정하였다(MLTM, 2008a; Lee *et al.*, 2010).

본 연구에서는 행정구역별 자산조사를 위하여 2008년을 기준으로 영산강 유역 내 행정구역별(6개 읍, 27개 면, 29개 동) 통계자료를

활용하였다. 이를 바탕으로 MD-FDA의 가치 평가 주요 대상인 주거자산, 농업자산, 산업자산에 대한 가치를 선정하였으며(MLTM, 2008a), 그림 5는 영산강 유역에서 하천과 인접한 범람구역을 포함하는 행정구역에 대해 산정된 각 자산가치의 공간분포를 나타낸 것이다. 그림 6은 침수편입을 산정에 적용한 빈도별 침수구역도와 환경부의 중분류 토지피복도를 나타낸 것이다. 침수구역도는 영산강 유역종합치수계획보고서(MLTM, 2008b)에서 제시된 소구역 치수단위구역도를 바탕으로 제작된 빈도별 침수구역도를 활용하였으며, 토지피복도의 속성은 주거지역(110), 공업지역(120), 논(210), 밭(220)을 추출하여 침수편입을 계산시 적용하였다(MLTM, 2008a). 침수편입을 산정을 위해서는 행정구역별 자산가치를 속성으로 포함하고 있는 행정구역도(그림 1), 중분류 토지피복도(그림 6(e)) 및 침수구역도(그림 6(a)~그림 6(d))를 중첩연산 해야 한다. 이리

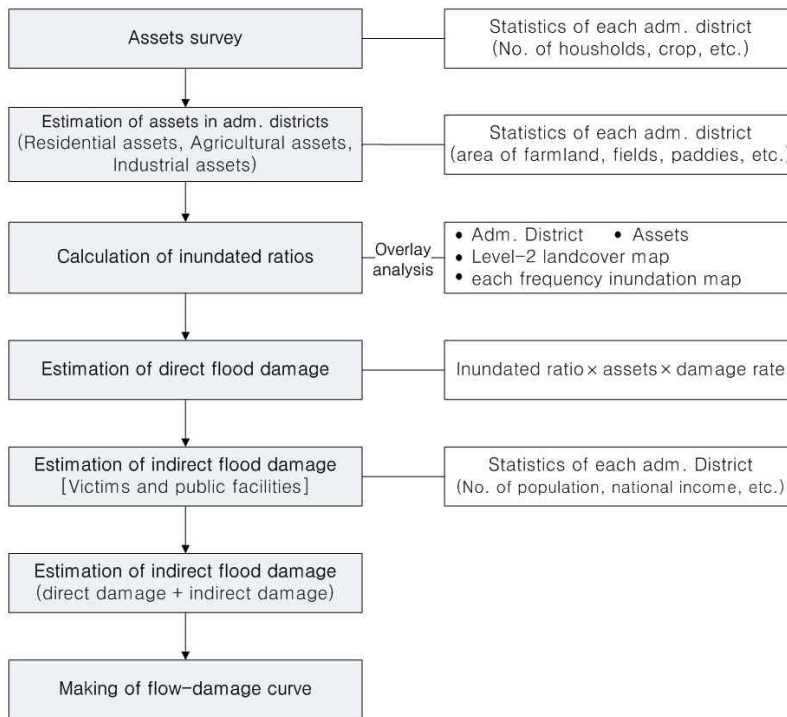


FIGURE 4. Estimate procedure of discharge-flood damage curve

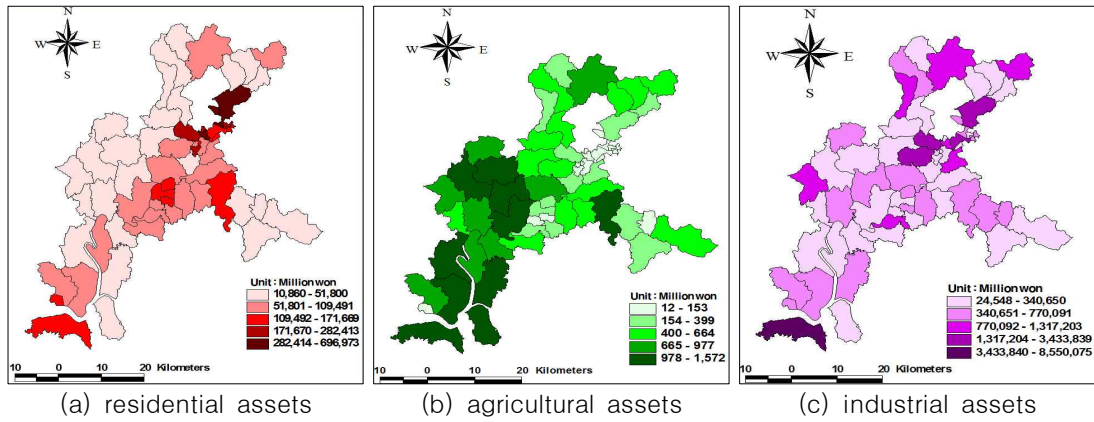


FIGURE 5. Spatial distribution of assets by administrative district

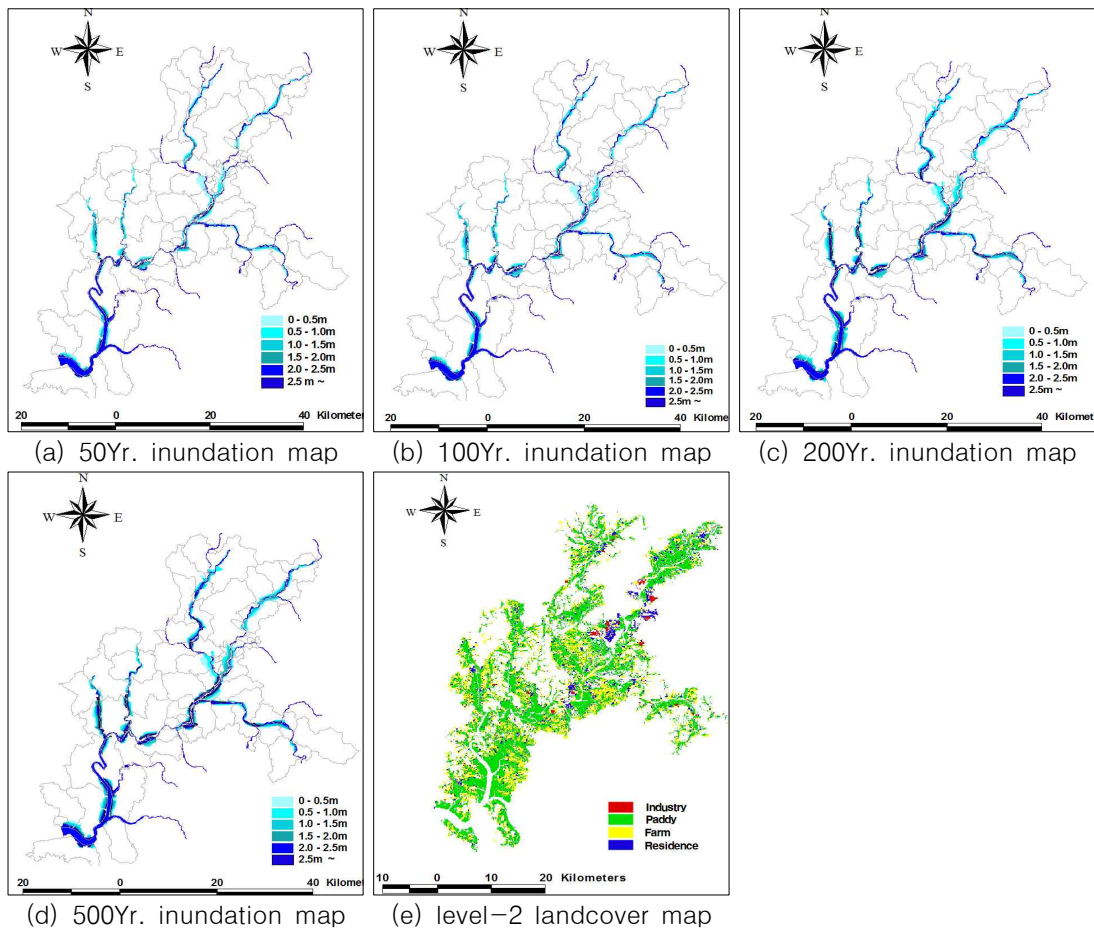


FIGURE 6. Each frequency inundation maps and level-2 landcover map



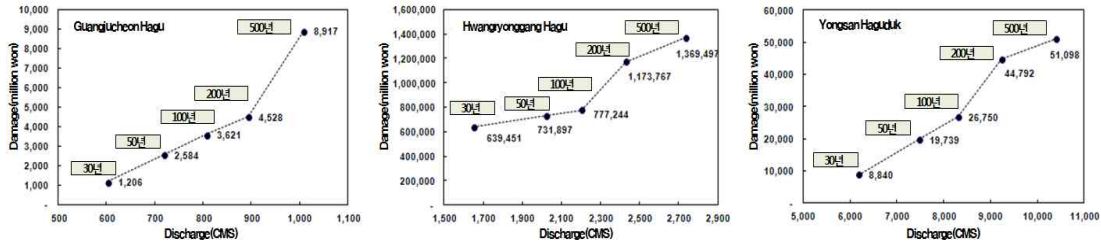


FIGURE 7. Discharge-flood damage curve(Choi, 2011)

한 자료는 다수의 폴리곤과 속성을 포함하고 있으며, 이를 중첩하기 위하여 GIS tool인 ArcView 3.2(a)를 이용하였다. 직접홍수피해액은 침수편입율과 자산가치, 침수피해율 등을 이용하여 산정하였으며, 간접홍수피해액과 합쳐서 최종 홍수피해액을 산정하였다(MLTM, 2008a).

빈도별 유량자료와 해당 빈도에 대한 홍수피해액(직접홍수피해액+간접홍수피해액)을 이용하여 홍수량 산정지점에 대한 유량-피해액 관계곡선을 작성하였으며(Lee *et al.*, 2010), 그림 7은 홍수량 산정지점 중 자산가치가 큰 황룡강 하구 지점, 광주천 하구 지점 및 영산강 하구둑 지점에서의 댐증고사업전의 유량-피해액 관계곡선을 나타낸 것이다. 유량-피해액 관계곡선을 작성하기 위해 빈도별 홍수량은 영산강 유역종합치수계획보고서(MLTM, 2008b)에서 HEC-1에 의해 산정된 17개 지점별 50년, 100년, 200년, 500년 빈도의 홍수량을 이용하였다. 그림 7의 댐증고사업전 유량-피해액 관계곡선은 시나리오별 댐증고사업에 따른 빈도별 홍수피해저감액을 산정하는데 활용된다.

### 3. 비용 산정

댐의 증고높이에 따른 비용은 2002년 기준으로 산정된 각 댐의 개략사업비(MLTM, 2008b)를 건설업 GDP 가격변동지수(deflator)를 이용하여 식 (2)와 같이 비례식을 이용하여 2008년 기준 비용으로 환산하였다. 댐 증고높이별 비용은 투자대안에 대한 경제성 평가시 평가기준을 산정하는데 이용된다.

$$C_{2008} = C_{2002} \times \frac{D_{2008}}{D_{2002}} \quad (2)$$

여기서,  $C_{2008}$  : 2008년 기준으로 환산된 개략사업비,  $C_{2002}$  : 2002년 기준으로 산정된 개략사업비,  $D_{2008}$  : 2008년 건설업 GDP 가격변동지수,  $D_{2002}$  : 2002년 건설업 GDP 가격변동지수

### 4. 시나리오 구성

유역단위 치수계획시 다양한 단위사업의 최적규모 결정은 각 단위사업이 조합된 투자대안에 대하여 분석이 이루어져야 하지만, 단위사업을 조합한 다수의 투자대안의 평가는 많은 시간과 노력이 필요하게 된다. 본 연구에서는 다수의 댐증고사업시 경제적인 측면에서 각 댐의 최적 증고높이 결정을 위한 투자대안의 선정 방안을 제시하기 위하여 두 개의 시나리오를 구성하였으며, 이를 통하여 단위사업별 경제성 분석을 통한 최적 투자대안 선정방법(시나리오 1)과 단위사업이 조합된 투자대안별 경제성 분석을 통한 최적 투자대안을 선정하는 방법(시나리오 2)을 비교하였다.

‘시나리오1’은 투자대안을 구성하는 각 단위사업안에 대하여 독립적으로 분석하여 투자대안을 평가하는 방법이며, ‘시나리오2’는 각각의 투자대안별로 분석하여 최적 투자대안을 결정하는 방법이다. 유역 치수계획 수립시 단위사업이 많아지면 투자대안의 개수가 급격히 증가하게 된다. ‘시나리오1’은 각 단위사업별로



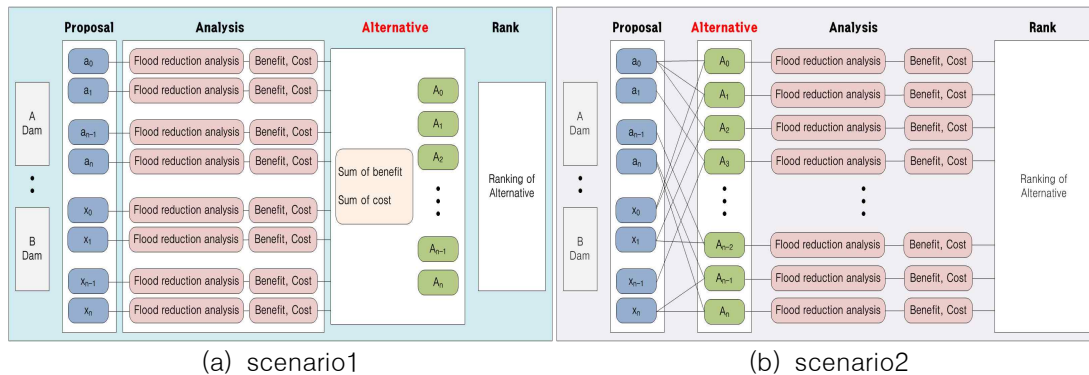


FIGURE 8. Each scenario analysis method

분석하기 때문에 단위사업의 개수에 비례하여 분석량이 증가하지만 ‘시나리오2’는 단위사업이 조합된 투자대안별로 분석하기 때문에 분석량도 급격히 증가하게 된다. 또한 ‘시나리오1’은 단위사업별로 분석하기 때문에 다른 단위사업과의 연계효과를 분석할 수 없으나, ‘시나리오2’는 단위사업을 조합한 투자대안별로 분석하기 때문에 단위사업의 효과를 종합적으로 분석할 수 있다. 그림 8은 본 연구의 ‘시나리오1’과 ‘시나리오2’의 분석방법을 나타낸 것이다.

‘시나리오1’에서는 단위사업의 빈도별 홍수량을 산정하기 위해 단위사업(증고높이)에 따른 댐방류량을 산정하고, 댐방류량과 빈도별 강우량을 이용하여 홍수량 산정지점에 대한 빈도별 홍수량을 산정한다. 댐방류량 산정에는 Auto-ROM 방식을 적용하여 HEC-5 모델을 이용하고 홍수량 산정지점에 대한 50년, 100년, 200년, 500년 빈도의 홍수량 산정은 HEC-1 모델을 이용한다. 산정된 빈도별 홍수량을 유량-피해액 관계곡선에 대입하여 홍수피해액을 산정하고 사업후의 홍수피해경감편익을 도출하였다. 다음으로는 경제성분석을 이용하여 투자대안을 평가한다(Choi, 2011).

‘시나리오1’은 각 단위사업별로 홍수량을 산정하여 댐 하류부에 미치는 홍수저감량을 반영하지만 ‘시나리오2’는 단위사업(증고높이)을 조합한 투자대안에 따른 댐 하류부의 홍수저감량에 의해 치수편익을 산정한다. ‘시나리오

2’는 575개의 투자대안에 대한 빈도별 홍수량을 산정해야 하지만 많은 시간이 필요하게 된다. 따라서 ‘시나리오1’과 비교하기 위해 ‘시나리오1’에서 선정된 10개의 상위 투자대안을 이용하며, 투자대안을 구성하는 단위사업의 4개의 댐증고 높이별 댐방류량을 HEC-1의 입력자료로 활용하여 50년, 100년, 200년, 500년 빈도의 홍수량산정지점의 빈도별 홍수량을 산정한다. 이와 같이 산정된 빈도별 홍수량을 유량-피해액 관계곡선에 대입하여 홍수피해액을 산정하고 사업후의 홍수피해경감편익을 도출하고 경제성분석을 통하여 투자대안을 평가한다.

### 시나리오에 따른 댐증고사업의 규모결정

#### 1. 시나리오1 분석

‘시나리오1’을 적용하기 위해서 각 댐의 증고높이별 16개의 단위사업(표 1)에 대하여 각각의 비용과 편익을 산정하였다. 먼저 HEC-1을 이용하여 단위사업별로 댐증고사업에 의해 영향을 받는 홍수량 산정지점에서의 빈도별 홍수량을 산정하고, 댐증고사업전 유량-피해액 관계곡선에 산정된 빈도별 홍수량을 대입하여 사업 후의 홍수피해액을 결정하였다. 또한 사업전과 사업후의 홍수피해액의 차이를 계산하여 각 단위사업별 연평균경감기대액을 산정하였다.

TABLE 2. Economic analysis and ranking of the top alternative investment(Scenario1)

Alt.	Height(m)				Economic analysis(Million won)					RK	Alt.	Height(m)				Economic analysis(Million won)					RK <sup>1)</sup>
	JS	NJ	GJ	HD	Benefit	Cost	B/C	NPV	RK			JS	NJ	GJ	HD	Benefit	Cost	B/C	NPV	RK <sup>1)</sup>	
A457	1.5	1.5	1.5	2.0	830,497	170,021	4.885	660,476	1	A532	2.0	1.5	1.5	2.0	832,572	174,548	4.770	658,025	6		
A452	1.5	1.5	1.0	2.0	826,800	166,723	4.959	660,076	2	A432	1.5	1.0	1.5	2.0	822,064	164,413	5.000	657,651	7		
A458	1.5	1.5	1.5	2.5	832,905	173,590	4.798	659,315	3	A527	2.0	1.5	1.0	2.0	828,875	171,251	4.840	657,625	8		
A453	1.5	1.5	1.0	2.5	829,208	170,293	4.869	658,915	4	A459	1.5	1.5	1.5	3.0	832,906	175,592	4.743	657,315	9		
A462	1.5	1.5	2.0	2.0	831,325	173,229	4.799	658,096	5	A427	1.5	1.0	1.0	2.0	818,367	161,116	5.079	657,252	10		

※ · JS: Jangsung Dam, NJ: Naju Dam, GJ: Guangju Dam, HD: Hamdong Dam  
· RK : Rangking of NPV

이와 같이 산정된 편익과 비용을 이용하여 경제성분석을 수행하였으며, 투자대안의 우선순위를 결정하였다.

투자대안을 구성하는 단위사업의 비용과 편익을 합하여 575개의 투자대안별 비용과 편익을 산정하였으며, 경제성평가기법인 B/C (Benefit Cost ratio)와 NPV(Net Present Value)를 이용하여 경제성을 평가하였다. 단위사업을 이용하여 구성된 575개의 투자대안에 대하여 단위사업별 산정된 편익과 비용을 합산한 값을 NPV로 평가하였으며, 표 2는 ‘시나리오1’ 에서 NPV순위 상위 10개의 투자대안을 나타낸 것이다. ‘시나리오1’에서는 경제적인 측면(NPV)에서 가장 우수한 투자대안으로 A457이 평가되었으며 A457에서 각 댐의 증고높이는 장성댐 1.5m, 나주댐 1.5m, 광주댐 1.5m, 함동댐 2.0m로 나타났다.

## 2. 시나리오2 분석

‘시나리오2’에서는 ‘시나리오1’에서 선정된 10개의 상위 투자대안을 이용하였으며, 각

투자대안을 구성하는 단위사업의 조건(증고높이)을 HEC-1에 반영하여 대상 유역 내 홍수량 산정지점에서의 빈도별 홍수량을 산정하였다. 이와 같이 산정된 빈도별 홍수량을 댐중고사업전 유량-피해액 관계곡선에 대입하여 투자대안별 홍수피해액을 결정하였으며, 투자대안별 연평균경감기대액을 산정하여 편익을 산정하였다. 산정된 편익과 비용을 이용하여 경제성평가기법인 B/C와 NPV를 산정하였으며, 10개의 투자대안에 대하여 순위를 결정하였다.

표 3은 투자대안별 경제성분석에 의한 NPV 순위를 나타낸 것이다. ‘시나리오2’에서 선정된 최적 투자대안은 사업대안 경제성평가기법인 B/C와 NPV에 의해 A452로 평가되었으며, A452의 댐별 증고높이는 장성댐 1.5m, 나주댐 1.5m, 광주댐 1.0m, 함동댐 2.0m로 나타났다.

## 3. 시나리오 분석 결과 고찰

단위사업별로 홍수저감량을 산정하고 각각의 비용과 편익을 산정하는 ‘시나리오1’과 투자대안을 구성하는 단위사업의 조합을 이용하여

TABLE 3. Economic analysis and ranking of the top alternative investment(Scenario2)

Alt.	Height(m)				Economic analysis(Million won)					RK	Alt.	Height(m)				Economic analysis(Million won)					RK
	JS	NJ	GJ	HD	Benefit	Cost	B/C	NPV	RK			JS	NJ	GJ	HD	Benefit	Cost	B/C	NPV	RK	
A452	1.5	1.5	1.0	2.0	857,349	166,718	5.142	690,630	1	A432	1.5	1.0	1.5	2.0	852,895	164,400	5.188	688,495	6		
A457	1.5	1.5	1.5	2.0	859,800	170,006	5.057	689,794	2	A453	1.5	1.5	1.0	2.5	858,595	170,286	5.042	688,308	7		
A527	2.0	1.5	1.0	2.0	860,729	171,256	5.026	689,474	3	A458	1.5	1.5	1.5	2.5	861,275	173,574	4.962	687,701	8		
A427	1.5	1.0	1.0	2.0	850,421	161,112	5.278	689,309	4	A462	1.5	1.5	2.0	2.0	860,532	173,226	4.968	687,307	9		
A532	2.0	1.5	1.5	2.0	863,185	174,543	4.945	688,641	5	A459	1.5	1.5	1.5	3.0	861,348	175,574	4.906	685,774	10		

※ · JS: Jangsung Dam, NJ: Naju Dam, GJ: Guangju Dam, HD: Hamdong Dam  
· RK : Rangking of NPV

TABLE 4. Economic analysis comparing the results for each scenario (NPV)

Alternative investment	Benefit(Million won)		Cost (Million won)	NPV(Million won)		NPV Rangking	
	Scenario-2	Scenario-1		Scenario-2	Scenario-1	Scenario-2	Scenario-1
A452	857,349	826,800	166,718	690,630	660,076	1	2
A457	859,800	830,497	170,006	689,794	660,476	2	1
A527	860,729	828,875	171,256	689,474	657,625	3	8
A427	850,421	818,367	161,112	689,309	657,252	4	10
A532	863,185	832,572	174,543	688,641	658,025	5	6
A432	852,895	822,064	164,400	688,495	657,651	6	7
A453	858,595	829,208	170,286	688,308	658,915	7	4
A458	861,275	832,905	173,574	687,701	659,315	8	3
A462	860,532	831,325	173,226	687,307	658,096	9	5
A459	861,348	832,906	175,574	685,774	657,315	10	9

홍수저감량을 산정하고 이에 따라 편익과 비용을 산정하는 ‘시나리오2’를 이용하여 댐증고 사업의 규모를 결정하였으며, 표 4는 각 시나리오에 따른 경제성분석 결과를 비교한 것이다.

‘시나리오2’에 의한 치수편익은 ‘시나리오1’에 비해 평균적으로 약 300억원 정도 크게 나타났으며, ‘시나리오2’에 의한 NPV가 ‘시나리오1’에 비해 크게 산정되었다. 시나리오별 최적 투자대안을 비교해보면, ‘시나리오1’에서 최적 투자대안으로 평가된 A457은 ‘시나리오2’에서는 2위로 평가되었다. ‘시나리오2’에서 가장 큰 편익을 나타내는 A532는 편익은 크지만 댐증고에 드는 비용 또한 크게 소요되기 때문에 NPV순위가 높지 않은 결과로 나타

났다.

또한 각 시나리오에서 최적 투자대안으로 선정된 A452와 A457가 시나리오에 따라 순위가 달라진 원인을 분석하기 위하여 홍수량 산정지점에서의 홍수량과 홍수피해액의 차이를 비교하였으며, 그림 9는 200년 빈도와 500년 빈도에 대한 홍수량과 홍수피해액의 차이를 나타낸 것이다. 비교결과 홍수량산정지점 중 광주광역시에 위치한 마륵수위표에서 홍수피해액의 차이가 가장 크게 발생하였으며, 홍수량 산정지점 중 A457과 A452의 홍수량 차이가 마륵수위표보다 큰 광주천합류전은 대부분 농업지역으로 도심지역에 위치한 마륵수위표보다 추정된 자산가치가 상대적으로 낮아 두 투자대안의 홍수

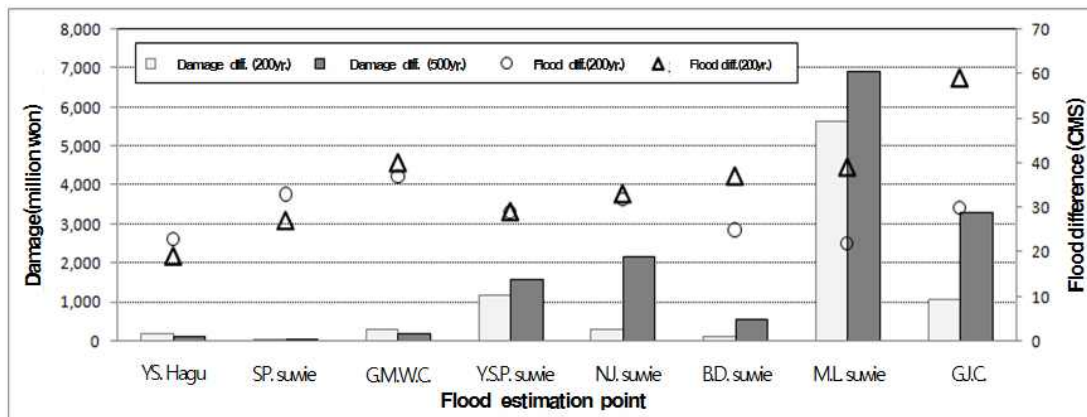


FIGURE 9. A452 and A457 comparison of flood and flood damage

피해액의 차가 크지 않음을 알 수 있었다. ‘시나리오1’은 투자대안을 구성하는 단위사업의 공간적, 수문학적으로 연관성을 고려하지 않은 개별적인 홍수량 저감 효과가 반영되어 최적규모 결정시 투자대안의 순위에도 영향을 미치게 된다. 반면에 ‘시나리오2’는 투자대안별로 홍수량 및 홍수피해액을 산정하기 때문에 단위사업을 모두 고려하게 되어 서로 공간적, 수문학적으로 연관성이 높다. 이는 자산가치가 큰 도심지역이 넓게 분포한 유역에서의 홍수저감시설에 대한 규모결정시 ‘시나리오1’과 ‘시나리오2’방법에 따라서 편익의 차가 크게 나타날 가능성이 있다. 이에 따라 경제적인 최적 투자대안의 결정에도 영향을 미칠 것으로 판단되었으며, 유역 단위의 다수의 홍수저감시설 최적규모 결정은 단위사업이 서로 연관성을 갖는 ‘시나리오2’에 의한 규모결정 방안이 더 타당할 것으로 판단되었다.

실제 유역내의 홍수량은 하천 경사, 하천 형태, 형상계수 및 본류와 지류와의 합류점 위치, 도달시간 등의 여러 요소들이 작용하게 된다. 이러한 유역의 특성을 반영하지 않고 투자대안을 선정할 경우에는 최적의 투자대안이 선정되지 않을 가능성을 내포하고 있다. ‘시나리오2’에 의해 최적 투자대안으로 평가된 A452는 ‘시나리오1’에서보다 광주댐의 증고높이가 0.5m 낮게 평가되었으며, 이는 광주댐의 증고높이를 0.5m 정도 낮게 설정해도 단위사업을 종합적으로 고려할 경우 충분한 경제성을 갖는 투자대안을 선정할 수 있음을 의미한다.

따라서 본 연구의 ‘시나리오2’방법을 이용할 경우 다수의 댐중고사업 계획 시 유역의 상황을 반영하여 경제적인 측면에서의 적절한 댐 증고 높이를 제시할 수 있을 것으로 나타났다. 그러나 ‘시나리오2’에서는 단위사업안의 개수가 많아지면 투자대안의 수가 급격히 증가하여 많은 투자대안에 대해 각각의 빈도별 홍수량을 산정해야 하는 절차상의 단점이 있으며, 이는 댐중고사업 계획시 많은 시간이 필요하게 된다. 이에 비해 ‘시나리오1’에서는 단위사업별 홍수량을 분석하기 때문에 해당 단위사업의 개수

만큼의 빈도별 홍수량을 산정한다. 그러므로 효과적인 댐중고사업의 규모를 결정하기 위해서는 ‘시나리오1’방법을 이용하여 투자대안을 선정하고, 선정된 투자대안에 대하여 ‘시나리오2’방법을 적용하여 최적규모를 결정하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

## 결 론

본 연구에서는 영산강 유역의 4개 댐을 대상으로 댐중고사업의 규모를 결정하기 위한 투자대안 시나리오를 구성하고, 지형공간정보체계와 MD-FDA를 활용하여 각 시나리오별 최적 투자대안을 선정하였다. 각 시나리오별 최적 투자대안을 평가하였으며, 이를 통해 댐중고사업의 최적규모 결정방안을 제시하였다. 본 연구의 결론은 다음과 같다.

첫째, ‘시나리오1’은 단위사업별 홍수저감량에 의한 치수편익을 산정하여 댐중고사업별 규모를 결정하는 방법이다. ‘시나리오1’의 최적 투자대안은 A457로 나타났으며, 최적 증고 높이는 장성댐 1.5m, 나주댐 1.5m, 광주댐 1.5m, 함동댐 2.0m로 결정되었다. ‘시나리오2’는 단위사업 조합에 의한 홍수저감량을 산정하고 이를 통하여 치수편익을 산정함으로써 댐중고사업의 규모를 종합적으로 결정하는 방법이다. ‘시나리오2’의 최적 투자대안은 A452로 나타났으며, 댐별 증고높이는 장성댐 1.5m, 나주댐 1.5m, 광주댐 1.0m, 함동댐 2.0m로 결정되었다. ‘시나리오2’에서는 ‘시나리오1’보다 광주댐의 증고높이가 0.5m 낮게 산정되었다. 이는 광주댐의 증고 높이가 0.5m 낮게 설정되더라도 경제적인 효과가 있으며, 유역 차원에서의 홍수저감량을 만족시킬 수 있음을 나타내는 것이다.

둘째, ‘시나리오1’에 의한 댐중고사업의 규모결정 방법은 각 댐의 증고높이만을 고려한 규모결정이며, 전체 유역의 상황이 반영되지 않아 유역 전체의 홍수저감량이 작게 산정될 수 있다. 하지만 실제 유역은 유역의 수문학적 요소들이 종합적으로 작용하며, 홍수저감시설 규

모결정시 이를 적절히 반영해야 한다. ‘시나리오2’는 각 단위사업을 조합한 투자대안에 대한 홍수저감량이 산정되므로 전체 유역의 상황이 반영되어 경제적인 증고높이를 결정할 수 있음을 확인할 수 있었다.

셋째, ‘시나리오2’ 방법은 단위사업의 수가 많을수록 투자대안의 수가 급격히 증가하고, 이에 따라 투자대안별 수리·수문학적 분석과 경제성 분석을 수행하기 때문에 많은 시간과 비용이 소요된다. 그러므로 ‘시나리오1’ 방법에 의해 상위 투자대안을 우선적으로 선정하고, 선정된 상위 투자대안에 대해 전체 유역의 상황을 종합적으로 반영하기 위하여 ‘시나리오2’ 방법을 적용하여 댐증고사업의 최적규모를 결정하는 절차가 적합할 것으로 판단된다.

넷째, 본 연구에서는 지형공간정보체계를 활용하여 홍수피해액을 산정하는 MD-FDA를 활용하였다. 지형공간정보체계를 이용한 침수편입을 산정은 기존의 단순법이나 간편법에 의한 홍수피해액 산정보다 유역차원에서 보다 객관적인 홍수피해액을 효과적으로 산정할 수 있으며, 자산가치의 공간분포와 댐의 위치가 유역에 미치는 영향 등을 손쉽게 파악할 수 있었다. 이는 유역차원에서 다수의 홍수저감시설의 위치선정 및 홍수저감대책 수립시 의사결정에 효과적으로 활용될 수 있을 것이다.

다섯째, 유역차원의 치수계획 수립시 홍수저감을 위해서는 댐증고사업, 저류지, 방수로 등의 다양한 단위사업이 고려될 수 있다. 그러므로 본 연구의 결과는 댐증고사업 뿐만 아니라 다양한 단위사업의 규모결정시, 유역 전체에 대한 경제적인 치수사업 계획에 기여할 수 있을 것이다. **KAGIS**

## REFERENCES

Choi, C.K. 2011. Determination of dam height raise through the estimation of flood control benefit in the watershed. Master Thesis, Inha University, Korea

(최천규. 2011. 홍수조절편익을 통한 유역단위 댐증고 사업 규모결정. 인하대학교 대학원 석사학위논문).

Choi, S.A., C.S. Lee, M.P. Shim and H.S. Kim. 2007. Analysis of economic effectiveness for flood control of dam. Journal of Korea Water Resources Association 40(5):383-396 (최승안, 이충성, 심명필, 김형수. 2007. 댐의 홍수조절에 의한 경제적 효과분석. 한국수자원학회논문집 40(5):383-396).

Heaney, J.M., S.J. Nix and M.P. Murphy. 1978. Storage-treatment mixes of stormwater control. Journal of Environmental Engineering 104(EE4):581-592.

James, L.D. and R.R. Lee. 1971. Economics of Water Resources Planning. McGraw-Hill Inc., New York.

Kim, D.S. 2010. Estimation of annual expected damage using MD-FDA and uncertainty analysis. Master Thesis, Inha University, Korea (김동수. 2010. 다차원법과 불확실성분석을 통한 치수경제성 분석. 인하대학교 대학원 석사학위논문).

Kim, G.H., C.K. Choi, C.S. Yi and J.H. Lee. 2012. Cost-effective for evaluating utility of river levee in policy aspects. Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation 12(3):247-254 (김길호, 최천규, 이충성, 이진희. 2012. 하천제방의 정책적 효용 평가를 위한 비용·효과 분석. 한국방재학회논문집 12(3):247-254).

Kim, K.H., C.S. Yi, J.H. Lee and M.P. Shim. 2007. Framework for optimum scale determination for small hydropower development using economic analysis. Journal of Korea

- Water Resources Association 40(12): 995-1007 (김길호, 이충성, 이진희, 심명필. 2007. 경제성분석에 의한 소수력 개발의 최적규모 결정 방안. 한국수자원학회논문집 40(12):995-1007).
- Lee, C.S. 2007. Decision making model for most preferable alternative in basin-wide flood damage reduction planning. Ph.D. Dissertation, Inha University, Korea (이충성. 2007. 유역치수계획 최적대안 결정을 위한 의사결정모형의 개발. 인하대학교 대학원 박사학위논문).
- Lee, C.S., J.H. Lee and M.P. Shim. 2010. GIS-based distributed technique for assessing economic loss from flood damage: pre-feasibility study for the Anyang Stream Basin in Korea, Nat Hazards 55(2):251-272.
- Lee, C.S., M.P. Shim and S.W. Lee. 2010. Alternatives development for basin-wide flood mitigation planning by determining economic optimal project size. Journal of Korea Water Resources Association 43(5):498-505 (이충성, 심명필, 이상원. 2010. 최적사업규모 결정을 통한 유역치수계획의 대안수립 방안. 한국수자원학회논문집 43(5):498-505).
- Lee, C.S., S.A. Choi, M.P. Shim and H.S. Kim. 2005. Multi-criteria decision making model for flood control project: 2. selection of most preferable alternative and determination of investment priorities. Journal of the Korean Society of Civil Engineers 25(5B):347-354 (이충성, 최승안, 심명필, 김형수. 2005. 치수사업을 위한 다기준의사결정모형 개발: 2. 최선대안 선정 및 투자우선순위 결정. 대한토목학회논문집 25(5B):347-354).
- Lee, C.S., S.A. Choi, M.P. Shim and H.S. Kim. 2006. GIS based distributed flood damage assessment. Journal of the Korean Society of Civil Engineers 26(3B):301-310 (이충성, 최승안, 심명필, 김형수. 2006. GIS기반의 분포형 홍수피해 산정 기법. 대한토목학회논문집 26(3B):301-310).
- Lee, G.S. and J.H. Park. 2011. Flood damage assessment according to the scenarios coupled with GIS data. The Journal of Korean Society for Geographical Information System 19(4):71-80 (이근상, 박진혁. 2011. GIS 자료와 연계한 시나리오별 홍수피해액 분석. 한국지형공간정보학회지 19(4):71-80).
- Lee, K.H., S.A. Choi, H.S. Kim and M.P. Shim. 2006. Application of multi-dimensional flood damage analysis for urban flood damage. Journal of the Korean Society of Civil Engineers 26(4B):363-369 (이건행, 최승안, 김형수, 심명필. 2006. 다차원 홍수피해산정방법을 이용한 도시지역의 홍수피해액 산정. 대한토목학회논문집 26(4B):363-369).
- McKinney, D.C. and A.G. Sanistcky. 2006. Basic optimization models for water and energy management. The University of Texas at Austin Technical Report.
- Ministry of Land, Infrastructure and Trnsport. 2004. A study on the economic analysis in flood control project (건설교통부. 2004. 치수사업 경제성분석 방법 연구).
- MLTM(Ministry of Land, Transport and Maritime). 2008a. Improving measures of feasibility study for water resources project (국토해양부. 2008a. 수자원사업의

- 타당성분석 개선방안 연구).
- MLTM(Ministry of Land, Transport and Maritime). 2008b. Flood management in Yongsangang(Riv.) river basin (국토해양부. 2008b. 영산강 유역종합치수계획 보고서).
- MLTM(Ministry of Land, Transport and Maritime). 2009. River design criteria-explanation (국토해양부. 2009. 하천설계 기준·해설).
- Moglen, G.E. and R.H. McCuen. 1990. Economic framework for flood and sediment control with detention basins. *Water Resources Bulletin* 26(1):145-156.
- Shim, S.B., J.H. Kim, G.S. Lim and D.K. Oh. 2003. Analysis of flood inundation using GIS. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 6(1):132-142 (심순보, 김주훈, 임광섭, 오덕근. 2003. GIS를 이용한 홍수 범람 분석. *한국지리정보학회지* 6(1):132-142).
- Shin, S.Y., C.G. Yeo, C.H. Baek and Y.J. Kim. 2005. Mapping inundation areas by flash flood and developing rainfall standards for evacuation in urban settings. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Association of Geographic Information Studies* 8(4):71-80 (신상영, 여창건, 백창현, 김윤중. 2005. GIS를 이용한 도시지역 돌발홍수 침수예상지도 작성 및 대피강우 기준 개발. *한국지리정보학회지* 8(4):71-80).
- Thuesen, G.J. and W.J. Fabrycky. 1993. *Engineering Economy*. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliff, New Jersey, U.S.A. 