

댐의 홍수조절에 의한 경제적 효과분석

Analysis of Economic Effectiveness for Flood Control of Dam

최 승 안* / 이 충 성** / 심 명 필*** / 김 형 수****

Choi, Seung An / Yi, Choong Sung / Shim, Myung Pil / Kim, Hung Soo

Abstract

The studies on efficiency of flood control reservoir has been introduced into four categories including direct flood control contribution by reservoir, flow-duration change and environmental-ecological change in downstream of dam and flood damage estimation of flood plain. In spite of all the previous approaches, the quantification of the effect of reservoir on the flood control in planning stage is quite complex due to lack of a standard for quantifying feasibility of project. In this study, we develop a methodology that can clearly and accurately quantify the flood damage reduction together with the existing flood level reduction at downstream. The proposed approach uses three appraisal standards of flood control: "potential safety", "relative risk" and "absolute risk" according to the risk by stage. The developed methodology was applied to the Namhan river basin with the storm event of July, 2006. The result shows the damage reduction of 4,189 billion won was estimated. The economic benefits for the flood control effect by dam will greatly contribute to the public understanding of the importance and the effect of the flood control by dam.

keywords : flood control effect, flood level reduction, flood damage reduction, feasibility, economic benefits

요 지

기존의 댐 계획이나 운영에서는 댐의 홍수조절 효과분석을 위해 댐 홍수조절 기여도 평가, 유황변화, 환경생태학적 변화 및 댐 하류의 수위저감효과를 사용하고 있다. 그러나 이와 같은 분석방법은 댐의 홍수조절에 의한 경제적 효과를 명확하게 제시할 수 없기 때문에, 댐의 치수역할과 필요성에 대한 국민적 공감대 형성이나 댐 사업의 타당성을 정확하게 평가하고 알리기에는 한계가 있다고 판단된다. 따라서 본 연구에서는 댐의 홍수조절에 의한 효과를 보다 분명하고 정확하게 산정하기 위하여 기존의 수위저감효과와 더불어 홍수피해 절감량이 얼마나 발생하였는지를 정량화할 수 있는 방법론을 개발하였다. 제안된 방법론에서는 홍수위 조건에 따라 위험상태기준을 잠재안전, 상대위

* 한국개발연구원 공공투자관리센터 전문위원
Specialist, Dept. of PIMAC, KDI, Seoul 130-012, Korea
(e-mail: sachoi@kdi.re.kr)

** 인하대학교 사회기반시스템공학부 박사과정
Doctorate Candidate, Dept. of Civ. and Envir. Engrg., Inha Univ., Incheon 402-751, Korea
(e-mail: sung@inha.ac.kr)

*** 인하대학교 사회기반시스템공학부 교수
Prof., Dept. of Civ. and Envir. Engrg., Inha Univ., Incheon 402-751, Korea
(e-mail: shim@inha.ac.kr)

**** 인하대학교 사회기반시스템공학부 부교수
Assoc. Prof., Dept. of Civ. and Envir. Engrg., Inha Univ., Incheon 402-751, Korea
(e-mail: sookim@inha.ac.kr)

협, 절대위험의 세 가지 상태로 정의하여 이에 따라 홍수피해 절감량을 제시한다. 구축된 방법을 남한강 유역의 2006년 7월 집중호우를 대상으로 충주댐의 홍수조절에 의한 여주지점에서의 수위저감효과와 이에 따른 경제적 효과를 분석하였다. 적용결과 피해경감량은 4조 1,890억원으로 산정되었다. 본 연구에서 제시한 댐의 홍수조절에 대한 경제적 효과분석은 댐의 홍수조절 효과나 중요성을 이해하는데 큰 기여가 될 수 있을 것이다.

핵심용어 : 홍수조절효과, 수위저감효과, 피해저감효과, 타당성, 경제적 편익

1. 서론

댐은 여타의 구조물적 방안들보다 가장 큰 홍수량 분담을 담당함으로써 가장 큰 홍수조절 효과를 기대할 수 있는 방안이라고 할 수 있다. 기존의 댐 계획이나 운영에서 댐의 홍수조절 효과분석을 위해 댐 홍수조절 기여도 평가기법과 댐 하류의 수위저감효과 분석기법을 사용하고 있다. 그러나 이와 같은 분석방법은 댐의 홍수조절에 대한 효과를 분명하게 나타내는데 한계가 있다고 판단된다. 즉, 댐의 필요성에 대한 국민적 공감대 형성이나 댐 사업의 타당성을 평가하고 알리기에는 한계가 있다는 것이다. 따라서 기존 댐의 홍수조절 효과 분석이 보다 더 분명하고 공감대가 형성될 수 있는 기법으로의 개선 또는 개발이 필요하다고 사료된다.

국내에서는 댐 홍수조절에 따른 상·하류 효과분석의 연구는 치수측면(심명필과 권오익, 1996; 유주환 등, 2001) 및 유황변화측면(이진원 등, 1993; 안재현 등, 2001; 김태근 등, 2002)과 기법개발을 위해 필수적인 홍수피해액 산정(하천설계기준, 2000, 2002, 2004; 한국수자원공사, 1998; 건설교통부, 2001; 건설교통부, 2004)에서 매우 제한적으로 수행되었다. 홍수조절률, 저수공간이용률 등 댐의 홍수조절효과 기법과 댐 유무(有無)시 하류하천 수위저감량과 같이 댐 하류 홍수조절효과 기법 등 물리적 형태로만 단순 효과분석을 시행하였다. 간편법, 개선법, 다차원법 등 홍수피해액 정량화 방안이 제시되었지만 댐 홍수조절에 의한 수위저감에 따른 홍수피해액 경감의 정량화 방안 연구는 미흡한 실정이다.

국외에서는 댐 건설 전후의 환경·생태적 변화를 수리·수문학적 특성 분석을 통해 기대편익 위주의 효과로 연구하였다(Beilfuss and Bento, 1997; Juracek, 1999; Wüest et al., 2002; Simon et al., 2002; Mainigi and Marsh, 2002). 일본은 연평균 피해경감 기대액 산정방법(건설성, 2000), 미국은 범람감소편익(한국수자원공사, 1998), 호주는 발생빈도별 직접피해액 곡선(BTRE, 2002), 체코는 위험도-피해액 관계식 등 국외에서는 홍수피해액 경감의 정량화 방안이 마련되어 있다.

댐의 홍수조절 효과분석은 댐 하류지점의 수위저감 효과와 같은 물리적인 측면에서 주로 수행되어 왔다. 사실 이와 같은 물리적인 효과는 일반 국민들이 쉽게 받아들이기에는 한계가 있다고 사료된다. 그러나 수위저감 효과를 화폐 가치로 환산해 제시하여 준다면 일반 국민들은 보다 더 쉽게 댐의 홍수조절 효과를 느낄 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 수위저감 효과에 따라 실제 경제적 측면에서 얼마만큼의 편익이 발생하였는지를 산정하는 방법을 개발하고자 하였다.

경제적 측면에서 댐의 홍수조절 효과분석을 하기 위해서는 방법론 개발과 더불어 홍수범람추정 및 피해평가 방법에 대한 보다 세심한 연구가 필요할 것이다. 그리고 방법론과 홍수범람에 의한 침수요소 및 직접·간접 피해평가 방법이 설정된 후에는 다른 수계에 확대 적용함으로써 댐 홍수조절에 의한 경제적 효과분석 방법을 정착시킬 수 있을 것이다.

따라서 본 연구의 범위는 '댐의 홍수조절에 의한 경제적 효과를 어떻게 분석할 수 있는지?'에 대한 효과분석 방법론을 개발하는데 초점을 맞추었다. 이를 위하여 댐의 홍수조절로 인한 홍수위의 조건을 3가지로 구분하고, 홍수위 조건에 따라 댐의 홍수조절 효과가 얼마나 있는지에 대해 경제적 편익을 산정할 수 있는 방법을 개발하였다. 경제적 편익은 다차원법에 의해 홍수피해액을 산정하여 홍수피해관계식을 유도하고, 홍수위 조건에 따른 위험도를 고려하여 편익을 산정할 수 있는 조건부 비초과확률을 이용해 경제적 효과분석을 수행하였다. 마지막으로 개발된 방법의 적용성을 검토하기 위하여 충주댐 유역에 적용하였다.

2. 기존분석 기법의 현황 및 개선방향

댐 건설 전후의 수위저감 뿐만 아니라 수위저감에 따라 감소되는 홍수피해 절감액 산정으로 홍수조절 효과분석이 수행되어야 하지만 이에 대한 적절한 분석방법이 아직 수립되지 못하여 댐 홍수조절 기여도 및 댐 하류 하천의 주요지점 수위저감효과로 대체하고 있다.

2.1 기존 홍수조절 효과분석 방법

2.1.1 댐 홍수조절 기여도 평가

홍수기 중 댐관리자는 홍수조절시 본댐의 홍수조절 용량(계획홍수위~홍수기제한수위 용량)을 최대한 활용하여 홍수조절을 시행하고 있으며, 이를 객관화하기 위해 홍수조절용량 활용에 대한 계량가능 지표로서 Eq. (1a)과 같은 홍수조절률을 사용 중에 있다. 보조적 지표로서 Eqs. (1b)~(1d)와 같은 저수공간이용률, 방류율, 저류율 등의 개념을 활용하고 있다.

$$\text{홍수조절률(\%)} = \frac{\text{첨두유입량} - \text{최대방류량}}{\text{첨두유입량}} \times 100 \quad (1a)$$

$$\text{저수공간이용률(\%)} = \frac{f_{\text{저수량}}(\text{최고수위}) - f_{\text{저수량}}(\text{제한수위})}{f_{\text{저수량}}(\text{계획홍수위}) - f_{\text{저수량}}(\text{제한수위})} \times 100 \quad (1b)$$

$$\text{방류율(\%)} = \frac{\text{총방류량}}{\text{총유입량}} \times 100 \quad (1c)$$

$$\text{저류율(\%)} = \frac{\text{총저류량}}{\text{총유입량}} \times 100 \quad (1d)$$

2.1.2 댐 하류 수위저감효과 분석방법

기존의 수위저감 효과분석은 현재 홍수예보시스템에 활용중인 저류함수법을 이용하여 댐 상·하류 강우-유출분석을 실시 후, 댐 상류단 유입량에 대하여 기 산정된 도달시간을 고려하여 수문학적 하도추적으로 하류하천 주요지점에 대한 수위저감효과를 산정한다. 댐 하류 수위저감효과 분석방법은 사전준비단계와 댐 하류 수위저감효과 분석단계의 2단계로 이루어져 있으며, 다시 댐 하류 수위저감효과 분석방법은 4가지 세부절차로 구분될 수 있다. 첫 번째는 홍수분석을 통한 댐 방류량을 결정하고, 두 번째에서는 댐 방류시 주요하천 수위 및 유량환산 자료조사를 통해 얻어진 결과를 이용하여 댐 운영시 수위를 산정한다. 세 번째에서는 댐 방류량 대신 댐으로 유입되는 유입량을 이용하여 댐 건설전의 수위를 산정하고 네 번째는 댐 건설후 수위와 댐 건설전의 수위차를 산정하여 홍수조절 효과를 산정한다.

그러나 분석의 단계는 세부적으로 구분되어 있으나 사전준비 단계시 작성되어야 하는 홍수피해관계식(수위-피해 관계식)을 산정하기 위한 방법이 수립되지 못하

여 대부분의 경우 댐 하류 수위저감효과 분석만이 수행되고 있는 실정이다.

2.2 기법의 한계점 및 개선방향

댐 홍수조절 기여도, 댐 하류 홍수경감효과와 같은 현재 사용 중인 댐 홍수조절 효과분석방법은 각각의 필요성에 따라 개발되었으나, 홍수피해 절감이라는 댐 본연의 목적에 부합되는 직접적이고 구체적인 결과를 제시하지 못하는 것이 사실이다.

댐 홍수조절 기여도에서 제시되는 지표는 댐 자체에 대한 운영기준이 될 수 있으나, 홍수조절 운영결과의 정량적 평가기준으로는 부족하다 할 수 있다. 댐 하류 수위저감효과 분석방법에서는 댐이 없을 경우 홍수량 추정결과에 대해 비교, 평가할 수 있는 분석방법이 필요하며, 수문학적 하도추적에서는 하천 내 입의지점 홍수량 추정이 불가하므로 수리학적 하도추적 기법 도입이 필요하다.

홍수피해 위험도 및 피해추정은 분석내용이나 방법이 수립되지 못한 실정이기 때문에, 기존의 댐 하류 하천에서의 수위저감효과만으로는 전달되는 체감효과가 미흡하므로 이를 더 구체적으로 정량화하는 차원에서 댐의 홍수조절에 의한 경제적 효과분석 방법의 필요성이 높다 할 수 있다.

3. 홍수조절의 경제적 효과분석 방법개발

3.1 분석조건 및 위험상태기준

홍수시 댐의 홍수조절에 의한 댐 하류지역의 효과를 나타낼 수 있는 지표를 개발하기 위하여, 저수지 운영 방식에 따라 댐 하류 수위지점(또는 피해지점)의 수위가 달라질 수 있으나, 발생되는 모든 호우에 대하여 적절한 저수지 운영이 수행되었다는 가정 하에 현재의 제방상태에서 댐 유무에 따라 댐 하류에 미치는 효과를 분석하는 것으로 하였다.

댐 홍수조절에 의하여 효과가 발휘되는 범위는 댐 하류 전체유역이 될 수 있으나, 모든 댐 하류 하천의 하도에 대하여 효과분석을 실시하는 것은 대상유역에 대한 자료의 세분화 정도 및 정밀수준과 이를 처리하기 위한 적절한 방법론의 부재로 경제적 효율성이 떨어지기 때문에, 유역 내 수위관측소와 같은 대표지점을 선정하였다.

일반적으로 치수경제성 분석은 홍수피해관계식(또는 수위-피해 관계식)에 의해 수행되어 지는데 본 연구에서도 이와 같은 관계식을 이용하고자 한다. 즉, 댐 건설

전 홍수위, 댐 건설후의 조절수위, 그리고 임계수위를 정의하고, 이들 수위에 따라 댐 하류지점의 위험상태 기준을 분류하며, 수위 조건에 따른 홍수피해 양상을 정의하였다.

그리고 Table 1을 토대로 앞에서 언급한 3가지 수위에 대한 정의를 다음과 같이 하고자 한다. 즉, 댐 건설 전 홍수위는 대상 하천의 댐 건설 예상지점 하류에 있는 어떤 수위관측지점의 댐 건설전에 대한 홍수위를 나타낸다. 즉, 100년 빈도의 홍수위를 기준으로 하는 하천이라면 댐이 건설되기 전 관측지점에 대한 100년 빈도

에 해당하는 홍수위를 나타낸다. 댐 건설후 조절수위는 댐이 건설되기 전의 100년 빈도 홍수위가 댐이 건설되어 홍수조절용량 만큼 조절이 된 댐 하류 관측지점에서 홍수위를 말한다. 그리고 임계수위란 피해발생이 시작되는 수위로서 제방의 높이나 무해빈도에 해당하는 수위를 의미한다.

현재 댐이 있는 상태를 기준으로 댐 건설전 홍수위, 댐 건설후 조절수위, 임계수위의 3가지 수위의 조건에 따라 Table 1에서 보는 것처럼 임계수위(제방고)을 기준으로 위험상태기준을 아래와 같이 분류하였다.

Table 1. Details of methodology for flood damage reduction by flood control of reservoir

	Classification	Flood Damage Reduction
(a) Potential Safety		$DR = PDR = DFS \times RRR$ DR : Damage Reduction PDR : Potential Damage Reduction DFS : Damage to Flood Stage RRR : Risk Reduction Rate
(b) Relative Risk		$DR = PDR + HDR$ HDR : Hypothetical Damage Reduction
(c) Absolute Risk		$DR = ADR$ ADR : Actual Damage Reduction

- ① CASE 1. 잠재안전(potential safety condition) : 잠재안전은 댐 건설전 홍수위나 댐 건설후 조절수위가 모두 하류의 임계수위(제방고)를 초과하지 않을 경우의 조건을 의미한다.
- ② CASE 2. 상대위험(relative risk condition) : 상대위험은 댐 건설전의 홍수위는 댐 하류의 임계수위(제방고)를 초과하여 범람을 하지만 댐 건설후에는 임계수위(제방고)를 범람하지 않는 경우의 조건을 의미한다.
- ③ CASE 3. 절대위험(absolute risk condition) : 절대위험은 댐 건설전의 홍수위와 댐 건설후의 조절수위 모두 댐 하류의 임계수위(제방고)를 초과하여 범람하는 경우의 조건을 의미한다.

따라서 댐 건설에 따라 피해가 발생하지 않는 경우 ①, ②와 피해가 발생하는 경우③로 기준을 설정할 수 있다. 또한, 댐의 홍수조절에 의한 피해경감량을 산정할 필요가 있는데 이는 각각의 위험상태기준에 따라 달라지므로 피해경감량에 대한 용어 설명이 필요하며 본 연구에서 사용할 용어에 대한 정의를 다음과 같이 하고자 한다. 즉, 본 연구에서 잠재피해경감량, 가상피해경감량, 그리고 실제피해경감량의 3가지 용어를 사용하고자 한다.

잠재피해경감량은 댐 건설전 홍수위와 댐 건설후 조절수위가 임계수위보다 낮아서 피해가 발생되지 않으나, 수위저감이 홍수방어능력측면에서 위험도를 감소시킨 만큼을 임계수위에 대한 피해액을 근거로 나타낸 잠재적인 값이며, 가상피해경감량은 댐 건설전 홍수위가 임계수위보다 높아서 댐이 없었을 경우의 피해를 나타낸 가상적인 값이다. 그리고 실제피해경감량은 댐 건설전 홍수위와 댐 건설후 조절수위가 임계수위보다 높아서 실제로서 발생된 피해를 나타낸 값이다.

3.2 방법 및 절차

댐의 홍수조절 효과분석을 크게 두 개의 그룹으로 나눌 수 있다. 이 두 개의 그룹은 서로 독립적 효과분석이라기보다 순차적인 효과분석 관계라 할 수 있을 것이다. 지금까지 수행된 댐 홍수조절 효과분석은 주로 수위저감 효과분석을 위주로 하였고, 본 연구에서 제시하고자 하는 것은 댐의 홍수조절에 의한 경제적 효과분석을 다루고자 한다.

- ① 수위저감 효과분석 : 댐운영 → 수위결정 → 수위저감정도
- ② 경제적 효과분석 : 홍수피해액 산정 → 홍수피해관계식 작성 → 적정성 평가(댐 건설 전후의 홍수위 비교) → 위험상태기준에 의한 경제적 효과분석

본 연구에서는 수위저감 효과분석을 정량화하기 위한 방안으로 화폐적 가치를 이용한 경제적 효과분석 방법을 개발하였으며, 이를 적용하기 위해서는 세 가지 단계가 필요하다. Fig. 1은 댐의 홍수조절에 의한 경제적 효과분석 방법의 절차를 나타내고 있으며, 이를 설명하면 다음과 같다.

- ① 침수구역 설정과 홍수피해액 산정
- ② 댐 건설 전후의 홍수량 산정 및 비교
- ③ 조건부 비초과확률을 이용한 위험도 분석 및 경제적 효과분석

우선적으로 경제적 효과분석을 적용하기 위해서는 사전단계로 홍수피해액 산정, 홍수피해관계식 작성 및 분석대상지점에 대한 위험도 분석을 실시한다. 임의의 홍수사상이 발생되어 강우예측, 강우분석, 저수지 모의 운영, 댐 방류량 결정 등의 댐 운영을 통하여 결정된 댐 건설전 홍수위와 댐 건설후 조절수위를 다중선형회귀분석을 통하여 추정된 수위와 비교를 통하여 적정성을 검토한다.

이후 댐 건설전 홍수위, 댐 건설후 조절수위, 해당구역의 임계수위의 수위조건의 비교를 통하여 위험상태 기준을 선정한다. 선정된 위험상태 기준에 따라 각각 잠재피해경감량, 가상피해경감량, 실제피해경감량을 산정한다. 여기서, 댐 건설전 홍수위와 댐 건설후 조절수위의 차이로서 수위저감효과를 제시하고 이와 더불어 위험도 경감효과를 나타낸다.

4. 충주댐 홍수조절의 경제적 효과분석

Fig. 2와 같이 충주댐이 위치하고 있는 남한강유역에 대하여 본 연구에서 개발한 댐의 홍수조절에 의한 경제적 효과분석 방법을 적용하였다. 우선적으로 경제적 효과분석을 하기위한 시스템 구축을 위하여 분석대상지역에 대한 특성을 분석하고 침수구역 범위를 설정하기 위하여 수리해석모형인 HEC-RAS를 이용하였다. 설정된 침수구역에 대한 홍수피해액 산정은 다차원 홍수피해산정방법을 사용하였으며, 댐 건설 전후의 홍수량 산정을 위하여 다중선형회귀분석방법을 사용하였다. 마지막으로 충주댐 홍수조절의 경제적 효과분석에 위험도를 고려하기 위하여 여주지점에 대한 조건부 비초과확률을 산정하였다.

이와 같이 구축된 시스템을 이용하여 2006년 집중호우(2006. 7. 9 10:00 ~ 2006. 7. 20 00:00)에 대하여 충주댐의 홍수조절에 의한 여주지점의 수위저감 효과와 이에 따른 경제적 효과를 분석하였다.

4.1 대상구역

Fig. 2와 같이 충주댐이 위치한 남한강은 유로연장이 375km이고 유역면적이 약 12,929km²이다. 오대산에서 발원하여 서쪽으로 흐르다가 충주 부근에서 북서로 전류하여 북한강과 합류한다. 충주 다목적댐은 남한강 상류, 충주시 북동쪽 약 9km 지점에 위치하며 좌안은 충주시 중민동, 우안은 충주시 동량면과 접한다. 본 유역의 상류부는 고산지대로 V자형을 이루는 협곡으로 되어 있으며 제천, 충주, 여주, 이천 지역은 넓은 준평원 지대를 이루고 있다. 이 지역의 평균 하폭은 약 600m, 하천

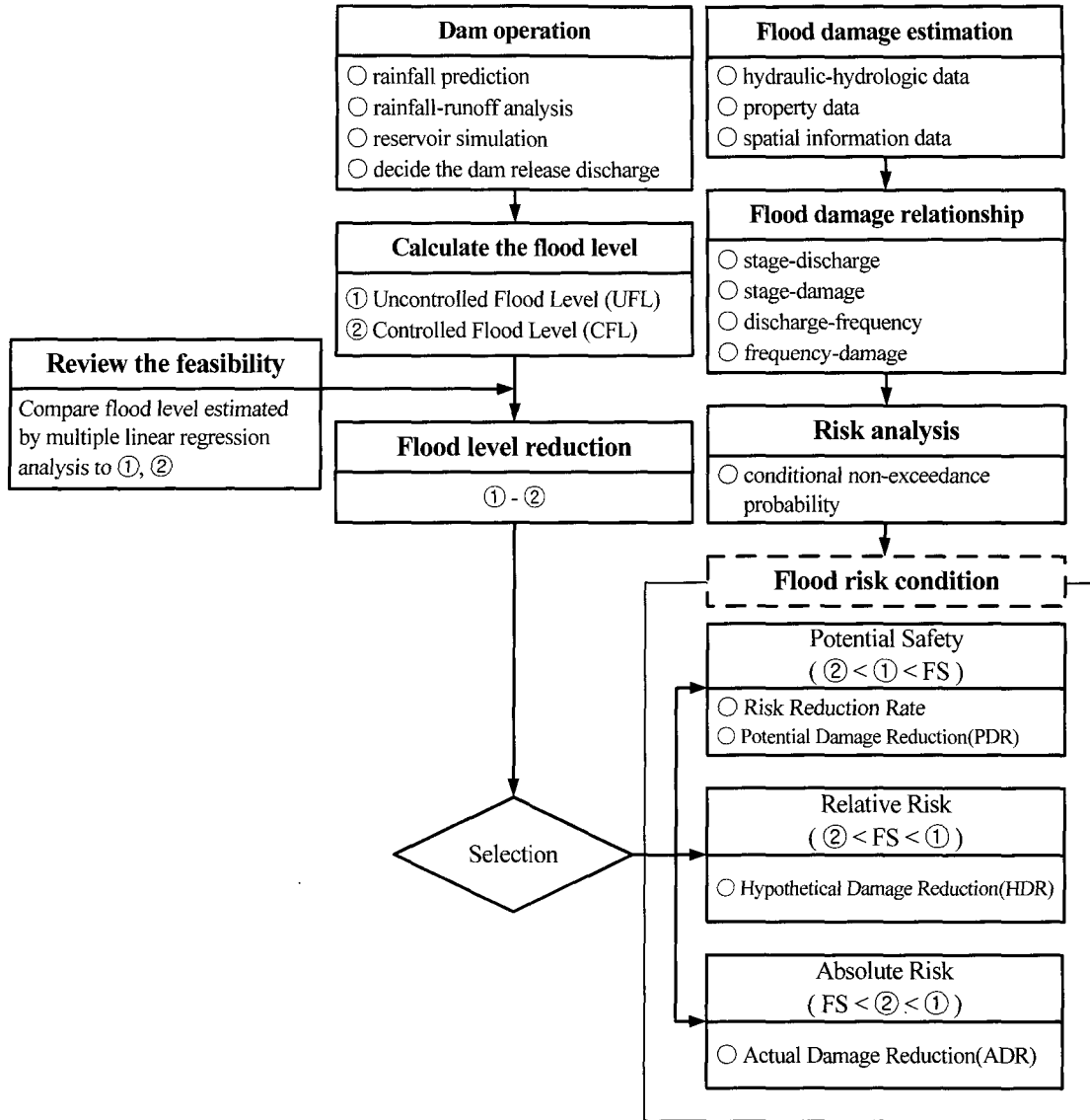


Fig. 1. The Application Procedure of the Analysis of Economic Effectiveness for Flood Control of Dam

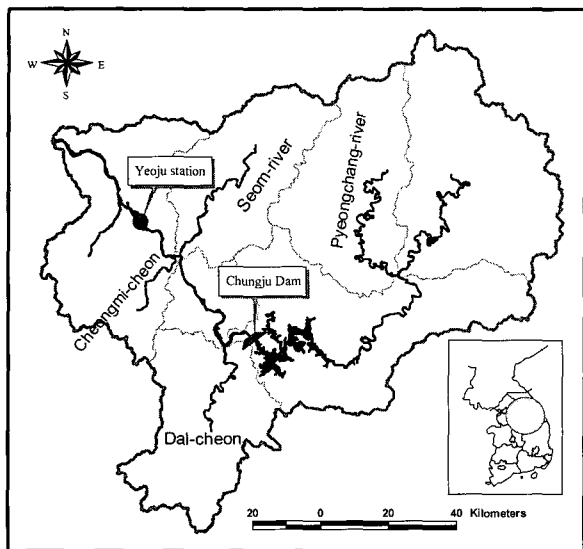


Fig. 2. Namhan river basin

구배는 0.8~4.3m/km로서 상류로 올라 갈수록 급격히 증가한다.

충주댐은 높이 97.5m, 길이 447m, 체적 902,000m³인 국내 최대의 콘크리트 중력식 댐이다. 충주댐 유역면적은 6,648km²이고 연평균 강수량은 1,198mm이며 연평균 유입량은 4,888백만m³에 이른다. 총저수용량은 2,750백만m³이고, 유효저수용량은 1,789백만m³에 이르며, 홍수 조절용량은 616백만m³이다.

4.2 홍수피해액 산정

4.2.1 수리·수문분석 자료

수리·수문자료는 기본적으로 댐 건설 설계당시 댐 건설로 인한 하류 하천의 영향분석과 관련하여 제시되나, 충주댐의 경우 완공된 지 오래된 댐으로 하류부 상변동, 하천 지형의 변화, 토지이용상태의 변화 등 물

리적 특성변화로 인하여 기존의 자료사용이 어려웠다.

따라서, 수문자료는 한강수계치수기본계획 - 하천정비기본계획(건설부, 1992)에서 남한강유역에 설정한 50년, 80년, 100년, 150년, 200년 기본홍수량과 설계홍수량을 이용하였으며, 이를 근거로 1차원 수리해석 모형인 HEC-RAS를 이용하여 댐 건설 전후의 수위변화와 댐 하류 하천에 대한 침수구역 범위를 설정하였다.

4.2.2 대상지역 자산조사

침수심을 고려한 다차원 홍수피해산정방법은 범람지역내의 피해자산을 산정하여 침수심에 맞는 피해율을 곱해서 직접피해를 산정하는 방법으로 이를 적용하기 위해

서는 건물, 건물내용물, 농경지, 농작물, 사업소 유형·재고자산에 해당되는 피해지역 자산자료가 필요하다.

이러한 자료를 획득하기 위하여 수리해석모형에서 설정된 침수구역을 포함하는 행정구역에 대하여 인터넷을 통하여 피해지역의 시군구청 웹사이트를 통하여 제공되는 시군통계연보로부터 대상지역 자산자료를 획득하였다.

다차원 홍수피해산정방법(건설교통부, 2004)에 제시된 절차에 따라 건물, 건물내용물, 농작물, 유형 및 재고자산에 대한 가치를 산정하였다. Fig. 3은 조사된 항목별 자산가치의 행정구역별 분포를 나타내고 있다.

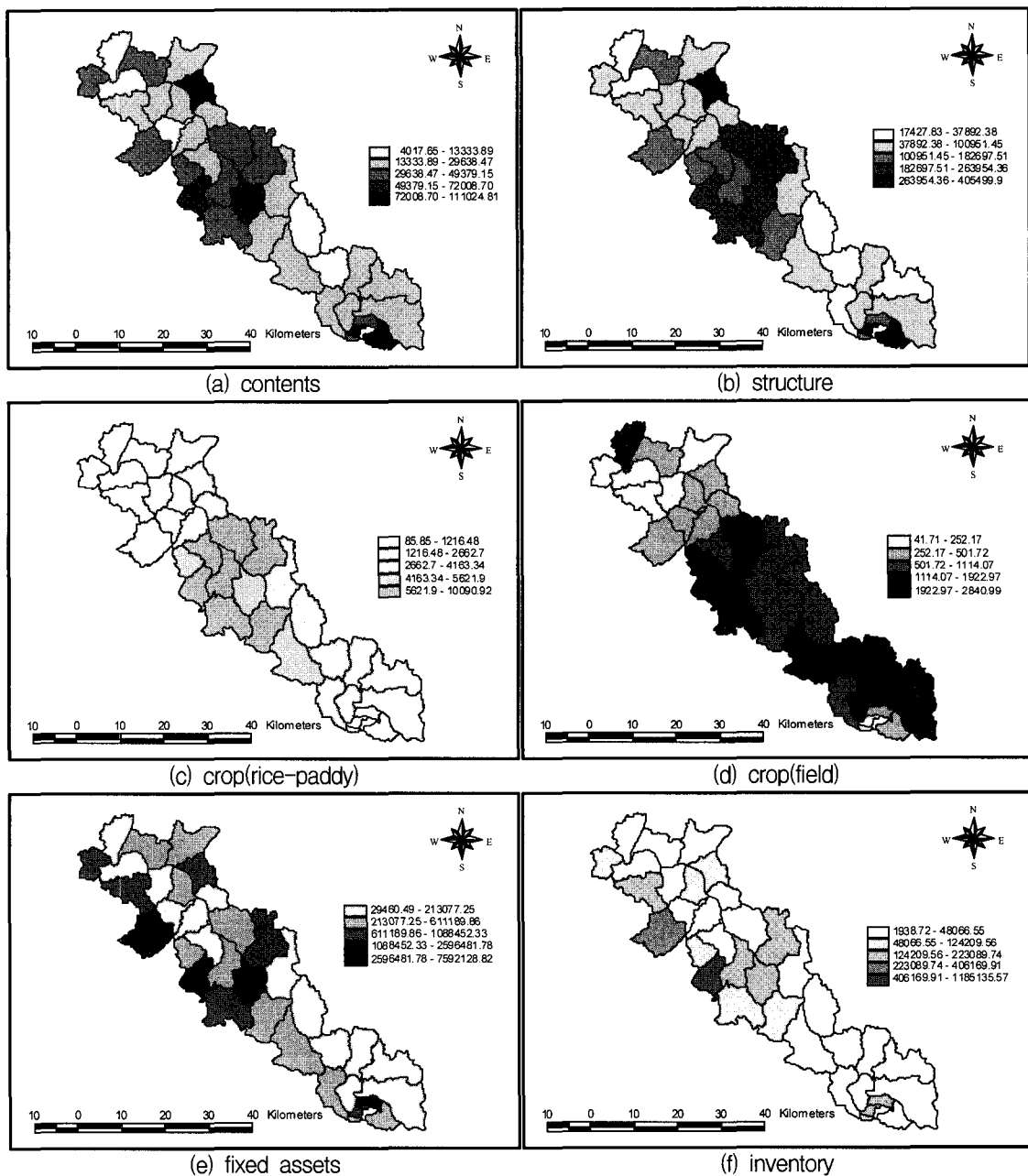


Fig. 3. The value distribution of damage category by administrative district

4.2.3 공간정보 자료를 이용한 침수구역도 작성

침수구역의 설정은 피해액 산정의 과정 및 체계에서 제시된 절차에 따랐으며 자료처리를 위해서는 ArcView-GIS 3.2a를 활용하였다. 먼저 홍수위 분포를 나타내기 위해서는 수리·수문자료과정에서 산정된 댐 건설 전후의 50년, 80년, 100년, 150년, 200년의 빈도별 홍수위 자료를 사용하였다. Fig. 4는 하천횡단면 측선에 따라 빈도별 홍수위를 입력한 것으로 측선은 홍수위 분

포를 제내지까지 나타내기 위하여 연장한 것이다.

Fig. 4(b)는 Fig. 4(a)의 빈도별 홍수위 자료로 TIN을 생성한 후 이를 10m×10m GRID로 변환한 것으로 댐 건설후 100년 빈도 홍수위 분포를 나타내고 있다. 이러한 자료처리 과정으로 침수구역 설정은 댐 건설 전후에 대하여 50년, 80년, 100년 150년, 200년 빈도에 대하여 나누어 실시하였다. 여기에 사용된 DEM Grid는 Fig. 4(c)와 같다.

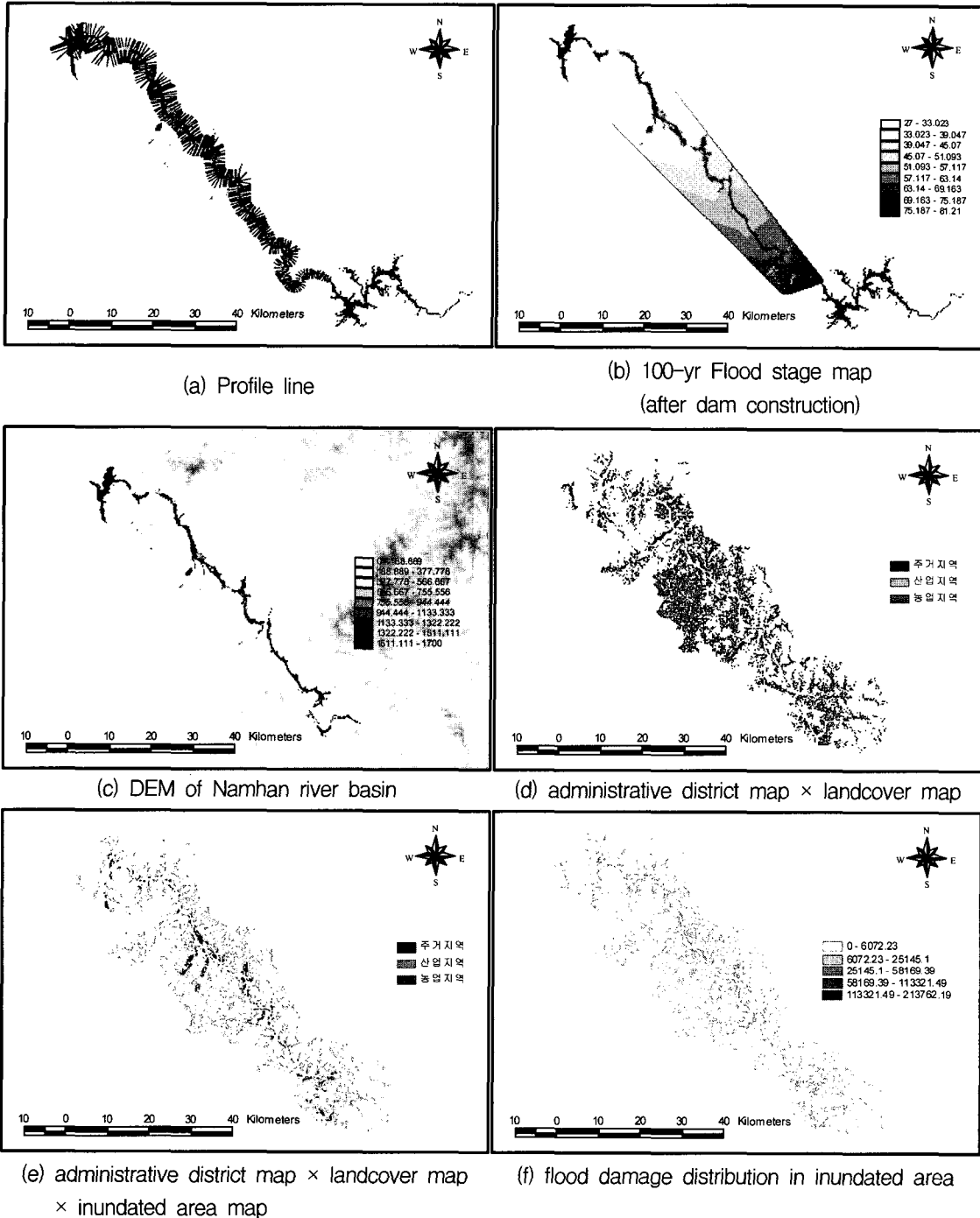


Fig. 4. Estimation of Flood Damage in inundated area using GIS Tool

4.2.4 홍수피해액 산정

피해액 산정을 위해 필요한 공간자료로는 앞에서 설정한 빈도별 침수구역도, 자산분포 정보를 나타내는 토지피복도(중분류), 자산조사 결과를 입력한 행정구역도를 사용하였다. 다만 토지피복도의 경우 주거항목이 건물형태별로 분류되지 않기 때문에 건설교통부(2004)에서 제시한 바 있는 수치지형도의 주택레이어를 추출해 사용하여야 하나 사업의 목적에 맞게 사용할 수 있다. 행정구역도는 1:25,000 수치지형도에서 추출한 행정자치부 기준의 행정동 체계 읍·면·동 경계를 사용하였다.

Figs. 4(d)~4(f)는 자산정보가 입력된 Fig. 3의 행정구역도와 토지피복도를 중첩하여 행정구역별·토지이용별 자산의 공간적 분포를 작성한 후, 이를 Fig. 4(b)의 빈도별 침수구역도에 다시 중첩시켜 행정구역별·토지이용별·침수구역별 자산의 공간적 분포를 산정해 내는 과정을 나타낸 것이다. Figs. 4(b) and 4(d)의 중첩 결과에서 피해항목별 침수편입률이 산정되며, 산정된 침수편입률을 Fig. 3에서 입력된 행정구역별 자산에 곱하여 Fig. 4(f)의 홍수피해액을 구할 수 있다.

여기서, 농업지역의 피해액 산정에서 농작물의 경우 농작물의 침수기간에 따라 피해액의 차이가 있으나 침수기간을 예측하는 데에는 보다 세부적인 분석이 필요하기 때문에 국내 하천의 홍수도달시간이 대개의 경우 장기간이 아닌 점과 남한강 유역이 대규모 유역인 점을 고려하여 3~4일로 가정하였으며 농지피해액의 경우 유실과 매몰의 평균값을 사용하였다.

공공시설물의 경우 침수피해액(일반자산피해액)에 대한 공공시설물의 피해액 비율인 1.694를 이용하여 산정하였다. 간접피해액의 경우 본 조사에서는 제외하였다. Fig. 5에 남한강유역에 대한 빈도별 피해액을 나타내었다.

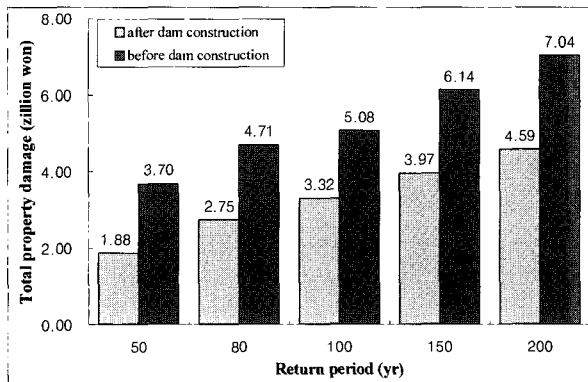


Fig. 5. The Results that the Flood Damages were Estimated by Several Flood Frequency

4.3 홍수피해관계식의 작성

Fig. 6와 같이 홍수피해액 산정단계에서 산정된 수리·수문 분석 및 피해액 자료를 바탕으로 수위-유량, 수위-피해, 유량-빈도, 빈도-피해 관계식(또는 함수)을 작성하였다. 본 연구에서 작성된 4가지 관계식은 경제적 효과분석을 하기 위하여 홍수피해액 산정을 시작한 50년 이상의 수위에 맞추어 도시한 것으로 일반적으로 저수위(저유량)~고수위(고유량)의 범위에 대하여 작성되는 관계식과는 차이가 있으며, 고수위 외삽범위의 일부분에 해당한다 할 수 있다.

4.4 댐 건설 전후의 홍수량 산정 및 비교

다중선형회귀모형을 이용하여 검증홍수사상에 적용하여 회귀계수의 적합성을 판단하고, 회귀계수를 방류량 대신 각 지천의 유량, 강우량과 총주댐의 유입량을 독립변수로 하여 총주댐이 없을 경우의 여주지점의 유량을 추정하였다. Fig. 7은 2006년 집중호우사상에 대하여 여주지점의 관측수문곡선과 다중선형회귀모형으로 계산된 댐 건설 전후의 추정수문곡선을 나타내고 있다. 관측값과 회귀계수를 이용한 계산값과 총주댐이 없을 때 추정값을 그래프로 도시함으로써 홍수사상에 대한 회귀분석의 적용성과 총주댐의 홍수조절에 의한 수위저감 효과를 분석하였다.

Table 2는 평가지표에 따른 결과를 나타낸 표이다. Table 2에서 보는 바와 같이 전체적으로 3가지의 평가지표 모두 양호한 결과임을 알 수 있다. 이는 댐의 방류량 대신 유입량을 사용하여 댐 건설전 여주수위를 알아봄으로써 총주댐 건설 전후의 홍수조절에 의한 수위저감효과를 분석하는데 문제가 없음을 나타내는 것이다.

4.5 위험도를 고려한 경제적 효과분석

4.5.1 위험상태기준 선택

댐하류 대상지점에서 위험상태기준을 선택하기 위해서는 다중선형회귀분석을 통해서 산정된 댐 건설 전후의 홍수량을 수위-유량 관계식을 이용하여 댐 건설후 조절수위, 댐 건설전 홍수위를 찾아내고 비교 기준이 되는 임계수위를 결정해야 한다.

댐 건설후 조절수위는 대상지점이 대부분 수위관측소이기 때문에 관측수위를 이용할 수 있으나, 댐 건설전 홍수위와 위상을 맞추기 위해서는 다중선형회귀모형을 통해서 제시된 추정값을 이용하는 것이 보다 합리적이라 할 수 있다. 임계수위는 기존 자료로부터 제방고나 무해수위에 관련된 자료를 사용하면 된다. 남한강유역의 제방고 설치를 위한 기준은 100년 빈도 설계홍수

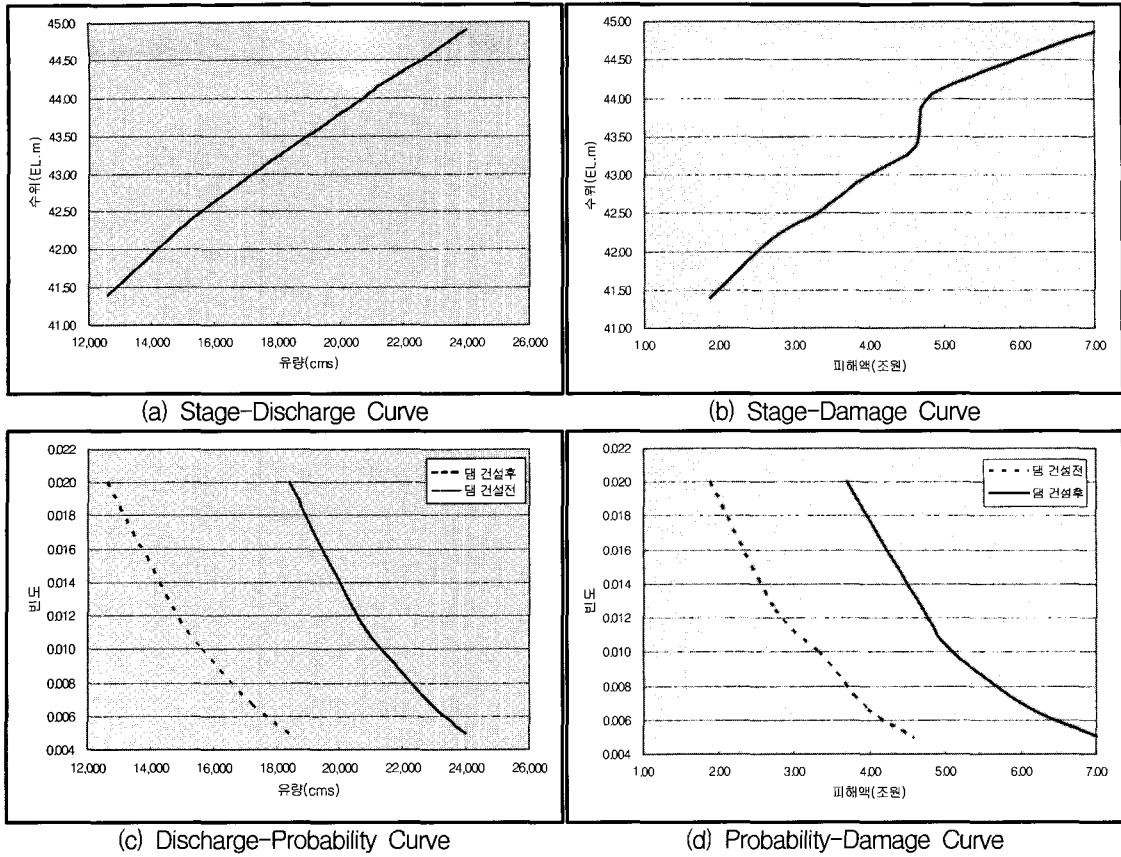


Fig. 6. Stage-Discharge-Damage-Probability curve in Yeosu gauging station

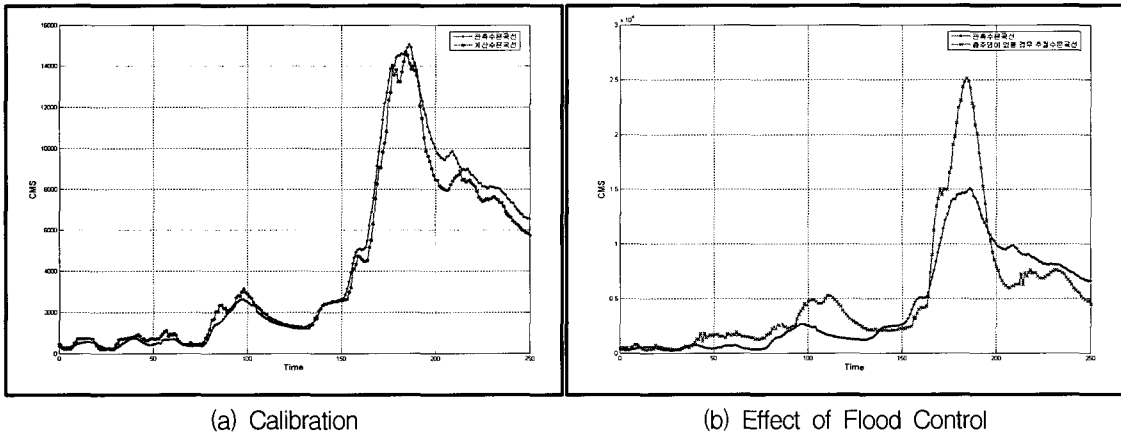


Fig. 7. Result for Calibration and Effect of Flood Control in Yeosu gauging station

Table 2. 검증홍수사상에 대한 평가지표의 결과

Event	R^2	NRMSE	RE
Storm event of July, 2006	0.9925	0.0416	0.0249

R^2 :coefficient of determination, NRMSE: Nondimensional Root Mean Square Error, RE:Relative Error of peak

량 $15,600 \text{ m}^3/\text{s}$ 을 채택하고 있으며, 이를 수위로 나타내면 10.1m가 된다. 댐 건설전 홍수위는 다중선형회귀분석을 이용하여 산정하였다.

Table 3은 2006년 집중호우에 대하여 댐 건설전 홍수위, 댐 건설후 조절수위, 임계수위를 결정하고 수위조건에 따라 위험상태기준을 선택한 결과이다. 2006년 집

Table 3. Peak discharge and flood level in Yeosu gauging station

Event	After dam construction		Before dam construction		Flood stage (m)	Flood risk condition
	Peak discharge (cms)	Flood level (m)	Peak discharge (cms)	Flood level (m)		
Storm event of July, 2006	14,685	9.8	25,101	12.6	10.1	Relative risk

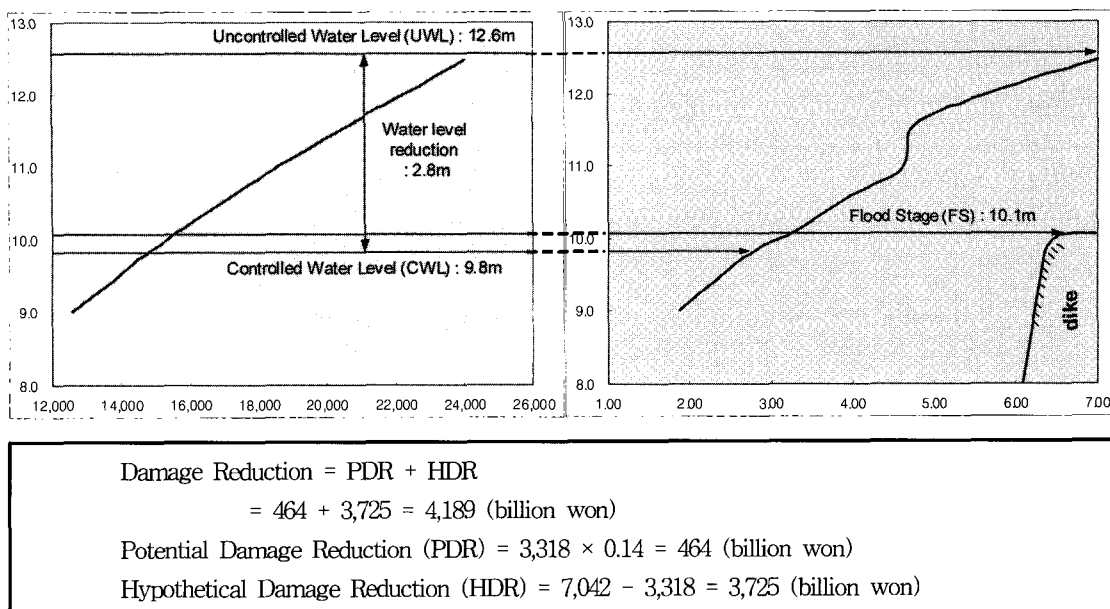


Fig. 8. The results that were calculated by the developed methodology

중호우의 경우 댐 건설전 홍수위는 임계수위를 초과하고 댐 건설후 조절수위는 임계수위 아래에 위치하므로 상대위험이 된다.

4.5.2 충주댐의 홍수조절에 의한 경제적 효과분석

여주시점에서 충주댐의 수위저감효과는 댐 건설전 홍수위와 댐 건설후 조절수위에 대한 차이를 계산하여 구할 수 있다. 즉, 댐 건설전 홍수위 12.6m에서 댐 건설후 조절수위 9.8m를 제하면 2.8m가 된다.

댐 건설전 홍수위, 댐 건설후 조절수위, 임계수위의 관계에서 상대위험을 앞에서 나타내었는데, 이러한 관계를 바탕으로 충주댐 홍수조절에 의한 경제적 효과를 도시하면 Fig. 8과 같다. 여기에서, 댐 건설후 조절수위와 임계수위에 대한 조건부 비초과확률은 각각 0.68, 0.54로 산정되었다. 댐 건설전 홍수위는 본 방법에 제시된 범위를 초과하였으나, 200년 빈도 이상에서는 피해의 변화가 거의 없으므로 200년 빈도에서 산정된 피해액을 사용하였다.

결과적으로, 본 연구에서 제시된 방법에 따라 2006년 집중호우에 대한 충주댐의 홍수조절에 의한 효과를 분석한 결과 수위저감효과는 2.8m가 되고, 위험도 경감효

과는 0.14(14%), 최종적으로 잠재피해경감량은 4,645억원, 가상피해경감량은 3조 7,245억원으로 계산되었다. Fig. 8은 이러한 계산과정을 나타내고 있다.

4.6 결과 및 고찰

치수경제성분석을 실시할 때와 마찬가지로 홍수피해액을 산정하기 위한 과정에서도 동일하게 침수구역 설정과 관련된 문제점이 제기된다. 일반적으로 침수구역은 지역의 지형지물과 방재시설을 고려하여 침수면적, 침수심, 침수시간의 3가지 항목을 산정하게 되므로 정확한 침수구역의 예측은 피해산정의 정확도와 무관하지 않다.

그러나 침수구역 설정이 경제성 분석이나 효과분석을 목적으로 한다면 경제적, 시간적으로 제한적인 상황을 감안하여 그 정도를 결정할 필요가 있다. 본 연구에서는 지형적인 특성에 따라서는 홍수피해를 과다산정할 수 있지만, 넓은 유역을 고려해야 하는 문제점을 극복하기 위하여 홍수위를 제내지에 연장하는 개략적 방법을 사용하였다. 치수계획의 목적이 가능한 위험의 최대치를 감안하여야 한다는 것인 만큼 효과분석의 관점에서는 큰 무리가 없을 것으로 판단하였으며, 수리·수

문 모형을 GIS와 연계 활용함으로써 효율성을 높일 수 있었다.

다차원 홍수피해산정방법에 의한 홍수피해액 산정방법을 소개하고 이를 보다 효과적으로 적용할 수 있도록 수리·수문모형, 공간정보와의 관계를 정립하여, 이러한 일련의 과정을 GIS툴을 이용하여 체계적으로 진행할 수 있도록 하였다. 홍수피해액 산정을 위한 방법으로 선택한 다차원 홍수피해산정방법은 침수구역 설정을 위해 사용되었던 GIS툴과 부합되어 홍수피해액 산정의 대상으로 제시한 댐 건설 전후의 50년, 80년, 100년, 150년, 200년에 해당하는 여러 번의 반복 작업을 가능하게 하였다.

다차원 홍수피해산정방법의 절차에 따라 침수구역의 자산조사에 의해 산정된 건물, 건물내용물, 농경지, 농작물, 유형 및 재고자산에 대한 가치에 빈도별 침수 편입률과 자산유형별 침수심에 따른 피해율을 곱하여 남한강유역에 대한 빈도별 피해액을 산정하였다. 공공시설물의 경우 침수피해액(일반자산피해액)에 대한 공공시설물의 피해액 비율인 1.694를 이용하여 산정하였으나, 이는 일본의 피해액 산정지침에서 제시되는 비율로써 그 사용에 세심한 주의가 요구된다. 다차원 홍수피해산정방법의 한계점으로 지적되었던 간접피해의 산정은 고려되지 못하였으나, 이러한 피해에 대한 가능성을 감안한다면 보다 많은 피해를 야기 시킬 것으로 판단된다.

Fig. 6에 제시된 것과 같이 댐 건설 전후를 비교했을 때 각 빈도별로 약 2배 정도의 피해액 차이가 발생하였다. 그러나, 여기에서 제시된 피해액 중 50년, 80년의 경우 제방유무를 고려하지 않고 산정한 값으로써 실제 피해를 나타내는 것이 아니라 50년 빈도의 홍수가 발생되었을 때 침수로 인한 가상적인 피해를 산정한 것이다. 따라서, 이러한 제방을 고려하지 않은 가상적인 피해를 감안하기 위해서 경제적 효과분석을 실시할 때 임계수위(본 연구에서는 100년 빈도의 수위를 임계수위로 선택함)이하의 피해에 대해서는 위험도 분석을 통한 방법을 사용하게 되었다.

댐 건설후 조절수위, 댐 건설전 홍수위, 임계수위 조건에 따라 잠재안전, 상대위험, 절대위험을 결정하고 각 경우에 대해서 수위저감효과, 위험도 경감효과, 피해경감량과 같은 댐 홍수조절 효과에 따른 지표를 산정하였다.

본 연구에서 피해산정의 대상빈도를 50년, 80년, 100년, 150년, 200년을 기준으로 하였기 때문에, 이 범위 내에서 효과분석을 실시하였으나 잠재안전인 경우에 적용을 위하여 더 낮은 피해빈도를 산정해야 하거나, 기

상이변 등으로 인한 큰 홍수의 발생시 절대위험에 대한 효과분석을 수행하기 위하여 보다 높은 피해빈도를 고려해야 한다.

2006년 7월에 발생한 집중호우에 대하여 여주지점에서 효과를 분석하였다. 본 연구에서는 여주지점을 분석대상지점으로 선정하여 충주댐에 의한 효과분석을 실시하였으나 보다 세부적인 효과를 분석하기 위해서는 보다 많은 분석대상지점을 선정하여야 한다. 또한, 이러한 여러 곳의 분석대상지점의 선정은 홍수피해액 산정단계와도 관련이 있기 때문에 적용상의 방법수정이 수반되어야 한다.

결과적으로, 경제적 효과분석방법에 따라 2006년 7월 집중호우로 인한 충주댐의 홍수조절에 의한 효과를 다시 한번 정리하면 수위저감효과는 2.8m가 되고, 위험도 경감효과는 0.14(14%), 최종적으로 잠재피해경감량은 4,645억원, 가상피해경감량은 3조 7,245억원으로 계산되었다. 여기에서 잠재피해경감량과 가상피해경감량을 합한 피해경감량을 사용할 경우 특성이 다른 피해경감량의 조합으로 이루어져 있기 때문에 지역에 따른 피해경감량이나 홍수사상에 따른 피해경감량을 비교할 때는 추가적인 설명을 필요로 한다.

또한, 본 연구에서 제시하는 잠재피해경감량, 가상피해경감량 및 실제피해경감량은 분석유역에서 홍수시 내수침수, 제방월류 및 붕괴가 단일 또는 복합적으로 전유역에 발생할 수 있는 최대피해를 나타낸 것이다. 따라서, 각각의 피해원인별로 보다 세분화된 피해산정이 가능하다면 현실에 가까운 피해액을 도출할 수 있으며 이에 따라 효과분석에 의한 피해경감량 또한 정확도가 높아지리라 판단된다.

5. 결 론

댐 건설로 인해 하류와 주변에 미치는 효과에 관한 연구는 지금까지 주로 환경생태적인 변화에 초점을 맞추었으며, 댐 건설 전후의 수리·수문학적 특성변화가 이러한 환경생태적인 변화양상에 어떠한 영향을 끼치는지의 분석을 위한 목적으로 수행되었다. 또한, 댐 계획이나 운영에서도 대부분의 연구가 댐 홍수조절의 기여도 평가 및 홍수조절에 의한 하류의 수위저감분석에 대하여 이루어졌기 때문에 댐의 홍수조절에 의한 경제적 효과를 명확하게 제시할 수 없었다. 그러므로 댐 사업의 타당성평가 및 댐 운영에 의한 사후적 효과분석을 수행하기에는 한계가 있었다.

따라서 본 연구에서 기존에 사용하고 있는 수문학적 홍수조절 효과분석기법과 치수경제성분석 방법을 고려

하여 경제적 측면에서 댐의 홍수조절 효과를 정량적으로 제시할 수 있는 방법을 개발하였다. 댐의 홍수조절에 의한 경제적 효과분석을 수행하기 위해서 사전준비 단계로 분석대상지역에 대한 특성, 침수구역 산정을 위한 수리해석모형으로 HEC-RAS, 홍수피해액 산정을 위한 다차원 홍수피해산정방법, 댐 건설 전후의 홍수량 산정을 위한 다중선형회귀분석방법, 위험도를 고려하기 위한 조건부 비초과확률 산정 및 경제적 효과분석 방법과 같은 구성요소를 구축하였으며, 이를 충주댐이 위치한 남한강 유역에 적용하였다. 위와 같이 댐의 홍수조절에 의한 경제적 효과분석방법의 개발 및 적용을 통해서 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 본 연구에서 개발한 경제적 효과분석방법은 홍수 피해액 산정시 반복적인 작업이 수행되는 한계점을 감안하여 수리·수문 모형을 GIS와 연계 활용함으로써 효율성을 높였기 때문에, 적절한 정밀도를 제시할 수 있었다.
- 2) 홍수위 조건에 따른 위험상태기준은 잠재안전, 상대위험, 절대위험의 세 가지로 구분하였고, 이는 댐 건설 전후의 홍수위에 따른 모든 상황을 고려할 수 있으며 상태별 피해경감량을 적절하게 산정할 수 있었다.
- 3) 남한강 유역의 2006년 7월 집중호우를 대상으로 충주댐의 홍수조절에 의한 여주지점에서의 수위저감 효과와 이에 따른 경제적 효과를 분석한 결과에 의하면, 충주댐의 여주지점에서 수위저감효과는 2.8 m이다. '상대위험' 상태로서 댐 건설전 홍수위는 200년 빈도까지 제시된 범위를 초과하였다. 충주댐의 홍수조절에 의한 수위저감으로 나타난 위험도 경감효과는 14%이고, 잠재피해경감량은 4,645억원, 가상피해경감량은 3조 7,245억원으로 산정되었다.
- 4) 댐의 홍수조절에 의한 피해경감량은 분석유역에서 발생될 수 있는 빈도별 최대피해를 대상으로 하고 있다. 실제로 홍수발생양상은 내수침수, 제방월류 및 붕괴가 단일 또는 복합적으로 전 유역에 걸쳐 발생하는 것이 아니라, 대부분이 가장 취약한 구역에서 발생되므로 각각의 피해원인별로 보다 세분화된 피해산정이 가능하다면 보다 현실적인 피해액을 도출할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- 건설부 (1992). 한강수계치수기본계획 - 하천정비기본계획.
- 건설교통부 (2001). 치수사업 경제성 분석 개선방안 연구.
- 건설교통부 (2004). 치수사업 경제성분석 방법연구.
- 김태균, 윤용남, 안재현 (2002). "댐 건설에 따른 하류 유황의 변화 분석." **한국수자원학회논문집**, 제35권, 제6호, 한국수자원학회, pp. 807-816.
- 심명필, 권오익 (1996). "화천댐 및 평화의 댐 연계운영에 의한 홍수조절효과 분석." **한국수자원학회 학술 발표회논문집**, 한국수자원학회, pp. 431-437.
- 안재현, 유철상, 윤용남 (2001). "물수지 방정식을 이용한 대형댐 건설에 따른 수문환경의 변화 분석." **한국수자원학회논문집**, 제34권, 제3호, 한국수자원학회, pp. 217-229.
- 유주환, 박창근, 조효섭 (2001). "평화의 댐 홍수지체 효과에 따른 화천댐 계통 이수 능력의 증대에 대한 검토." **한국수자원학회논문집**, 제34권, 제6호, 한국수자원학회, pp. 617-625.
- 이진원, 김형섭, 우효섭 (1993). "댐 건설로 인한 5대수계 본류의 유황변화 분석." **대한토목학회논문집**, 제13권, 제3호, 대한토목학회, pp. 79-91.
- 한국수자원공사 (1998). 수자원개발의 경제성 분석모델 개발 - 다목적댐 편익산정을 중심으로.
- 建設省 (2000). 치수경제조사 매뉴얼(안).
- Beilfuss, R.D., and Bento, C.M.(1997). "Impacts of hydrological changes onthe Marromeu complex of the Zambezi delta, with special attention to the Avifauna", Workshop on the Sustainable Use of Cahora Bass Dam and the Zambezi Valley, Songo, Mozambique.
- BTRE (2002). *Benefits of flood mitigation in Australia*. Bureau of Transport and Regional Economics Report 106.
- Juracek, K.E.(1999). "Channel Stability of the Neosho RiverDownstream From John Redmond Dam, Kansas.", USGS Fact Sheet FS-088-99, USGS, Lawrence, Kansas.
- Maingi, J.K., and Marsh, S.E.(2002). "Quantifying hydrologic impacts following dam construction along the Tana River, Kenya." *Journal of Arid Environments*, Vol.50, pp. 53-79.

Simon, A., Robert, E. T., Curini, A., and Shields Jr, F.D.(2002). "Case Study: Channel Stability of the Missouri River, Eastern Montana.", *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, Vol. 128, No. 10, pp. 880-890.

Wüest, A., Matzinger, A., Pieters, R., Ashley, K., Lawrence, G., and Zeh, M.(2002). "*Effects of Damming on the functioning of Downstream*

-Lakes: The Arrow Lakes Reservoir(CAN) and Brienzensee(CH).", 4th International Conference on Reservoir Limnology and Water Quality, Institute of Hydrobiology, Academy of Sciences of the Czech Republic.

(논문번호:07-23/접수:2007.03.22/심사완료:2007.05.02)