

비용편익 분석을 통한 소하천유역의 저류조 설치 타당성 분석연구

서세덕* · 이승욱** · 박형근***

Seo, Se-Deok*, Lee, Seung-Wook**, Park, Hyung-Keun***

Using Cost-Benefit Analysis for a Feasibility Study on Constructing a Storage Facility in the Small River Basin

ABSTRACT

This study aims to analyze the feasibility of installing a storage facility and make recommendations based on a cost-benefit analysis regarding the installation of a storage facility capable of preventing both floods and droughts. The capacity and installation costs are specified for the storage facility necessary to prevent floods, and a cost-benefit analysis is conducted by calculating the costs and benefits for each cost or benefit factor such as loss amounts, recovery costs, and drought prevention. The information can be used as the basic data for suggesting the feasibility of installing a multipurpose storage facility capable of preventing floods and droughts simultaneously. Also, this study expects to utilize its detailed results in a number of different ways including the prediction of loss amounts from natural disasters.

Key words : Storage facility, Cost-benefit analysis, Benefit-cost, Regression analysis

초 록

본 연구의 목적은 소하천유역의 홍수와 가뭄 예방을 목적으로 설치하는 저류조에 대하여 비용·편익분석을 통해 경제적 타당성을 분석하는데 있다. 소하천유역의 홍수예방이 가능한 저류조 용량에 따른 설치비용을 도출하고, 저류조 설치를 통해 도출될 수 있는 편익요소인 피해금액 및 복구금액, 가뭄예방으로 인한 요소별 편익비용을 적용하여 비용·편익분석을 실시하였다. 이는 홍수와 가뭄을 동시에 예방할 수 있는 다목적 저류조 설치의 타당성을 제시하는 기초자료로 활용할 수 있으며, 세부 연구결과로 자연재해의 피해금액 예측 등 다방면으로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

검색어 : 저류조, 비용편익분석, 편익비용, 회귀분석

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 이상기후의 영향으로 홍수피해와 가뭄피해가 빈번히 발생하고 있다. 홍수 피해 및 가뭄피해의 빈도는 점점 증가하고 있으며 자연재해로 인한 피해액 및 복구액 또한 증가하고 있다. 지난 10년간 자연재해로 인한 피해액은 6조9천억원으로 집계되었으며, 피해 복구액으로는 13조2천억원의 천문학적 비용이 투입되었다(재해연보, 2014). 특히 전체 피해액 중 85.5%에 해당하는 5조 9천억원은 태풍과 집중강우로 인한 피해금액이다. 여기에 산술적 집계가 어려운 가뭄으로 인한 농작물 생산성 저하 등의 피해액을 추가하면

* 정희원·충청권 국토교통기술 지역거점센터 선임연구원, 공학석사 (Chungbuk National University·seosd82@naver.com)

** 충청권 국토교통기술 지역거점센터 연구원, 공학석사 (Chungbuk National University·swlee4796@hanmail.net)

*** 종신회원·교신저자·충북대학교 토목공학부 교수, 공학박사 (Corresponding Author·Chungbuk National University·parkhk@chungbuk.ac.kr)

Received November 27, 2015/ revised December 23, 2015/ accepted December 27, 2015

그 피해 금액은 더욱 더 증가할 것으로 예상된다.

가뭄피해 예방을 위한 연구동향을 살펴보면 학교 운동장이나 주차장 부지를 활용하여 우수저장소를 설치하고 가뭄시에 저류된 용수를 활용한다는 계획이 있다(한국위기관리논집, 2013). 우리나라 농업 특성상 대부분의 농경지는 농업용수 확보를 위해 소하천 주변에 분포하는 형태를 보이기 때문에 이와 같은 방법으로는 가뭄시 농업 경작활동에 도움을 주기 어렵다고 보여진다.

우리나라의 홍수예방을 위한 저류조 설치 및 가뭄대비 저류조 설치 사업은 설치 대상지역을 선정하여 그 대지 크기에 맞게 설계 및 설치하는 방법을 사용하고 있다. 하지만 좀 더 효율적인 설치를 위해서는 홍수피해 저감 및 가뭄피해 예방을 위해 필요한 저류조 설치 가이드라인이 필요하다고 판단된다.

따라서 본 연구의 목적은 홍수와 가뭄을 동시에 예방이 가능한 저류조가 설치되었을 경우 비용편익분석을 실시하여 다목적 저류조 설치의 타당성을 분석하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구 범위는 현재 가뭄으로 인한 피해가 가장 심한 충청남도 중 과거 침수실적 보고서를 활용하여 실제 침수가 발생했던 부여군 사동천 인근이 공간적 범위이다. 또한, 타당성 분석을 위한 비용편익 분석 중 비용항목인 저류조 설치비를 산정하고 설치 후 예측 가능한 편익을 요소별로 분석하여 비용편익분석을 실시하였다.

연구의 방법으로는 첫째, 연구대상지의 수해를 예방하기 위한 저류조 체적 및 설치비용을 산정하고 둘째, 재해연보 데이터를 수집하여 연구 대상지의 침수피해를 형태별로 추출한다. 추출된

데이터는 회귀분석을 통하여 소규모 지역의 피해 금액과 복구 금액을 예측할 수 있도록 회귀분석을 실시하여 회귀식을 유도하였다. 셋째, 가뭄피해를 예방할 수 있는 논외 농업용수 필요량 산정 및 저류조의 용수를 활용한 농업용수 활용가능 면적 산출, 파우일수 변화에 따른 피해금액 산출, 물부족으로 인한 노동증가비용 추론과 생활용수 활용에 따른 예방비용 및 주민교통 비용 등 기타 예방비용을 산출하였다.

마지막으로 물가상승률 및 실질할인율 등을 반영하여 비용편익 분석을 실시하였다.

본 연구를 위한 연구흐름도는 Fig. 1과 같다.

2. 이론적고찰

비용편익 분석은 사업에 투입되는 비용과 그 사업을 시행함으로써 얻어지는 편익항목을 금전적 단위로 계량화하고 할인율(discount rate)을 적용하여 현재가치(present value)로 환산하여 그 결과를 토대로 평가지표인 순현재가치(net present value) 및 편익-비용비(benefit-cost ratio)를 구하여 경제성을 분석하는 한편, 미래의 다양한 변동 상황이 사업에 어떤 영향을 미치는가를 분석하는 민감도 분석(sensitivity analysis)을 실시하여 가장 올바른 대안을 선정하는 분석방법이다.

비용편익분석에 대한 선행연구들을 살펴보면, Choi (2002)는 ‘개발사업의 비용편익분석에 대한 평가 : 분석과정과 활용방안을 중심으로’라는 주제로 국가주도의 개발사업에서 효율성을 평가하기 위하여 비용편익분석의 유용성과 문제점을 사례분석을 통해 밝히고 문제점을 보완할 수 있는 방안을 제시하는 것을 목적으로 하였다. 이는 비용편익분석이 사업의 효율성을 분석하고 평가하는데 있어서 대단히 유용한 기법인 것은 사실이지만, 제대로 사용하지 못한다면 그 유용성이 반감됨은 물론, 경제성 없는 사업을 채택하게 하는 등 더 심각한 문제를 야기할 수 있다고 판단된다.

Kim (2004)은 ‘환경을 고려한 공공개발사업의 비용-편익분석에 관한 고찰 : 새만금 간척사업을 사례로’에 대한 주제로 삶의 질 향상을 넘어 생존의 문제로 다가온 환경문제가 심각성은 환경보존과 경제발전을 조화롭게 추구하고자 하는 ‘지속가능한 개발’이란 새로운 패러다임을 요구하고 있다고 주장하며 지속가능한 개발이란 환경적 지속가능성·경제적 효율성·사회적 형평성간의 조화를 통해 달성할 수 있는 복합적이고 다차원적인 개념이라고 밝혔다. 새만금 간척사업과 관련된 논쟁이 사회 문제화되면서 개발사업 도중 환경적 문제로 중단되는 사례가 종종 발생되면서 이와 같은 문제의 발생은 정부나 사업 관계자들의 환경적 기능과 가치에 대한 이해부족과 공공 개발사업으로 인한 피해비용이 적절히 반영되지 못했기 때문으로 사료된다.

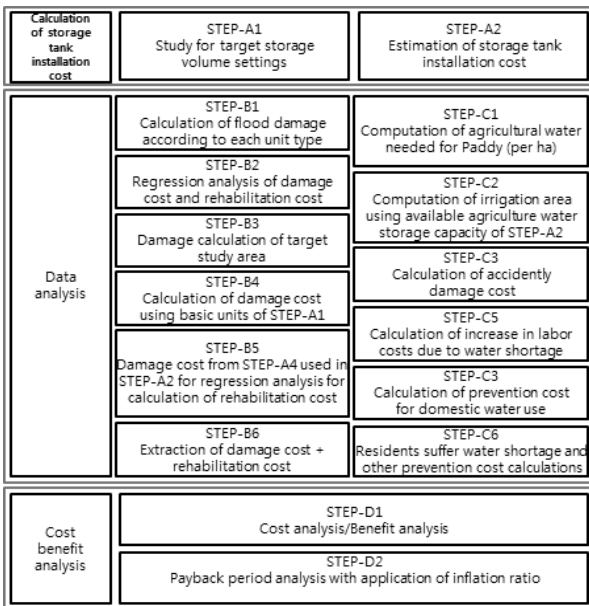


Fig. 1. Research Methodology and Process

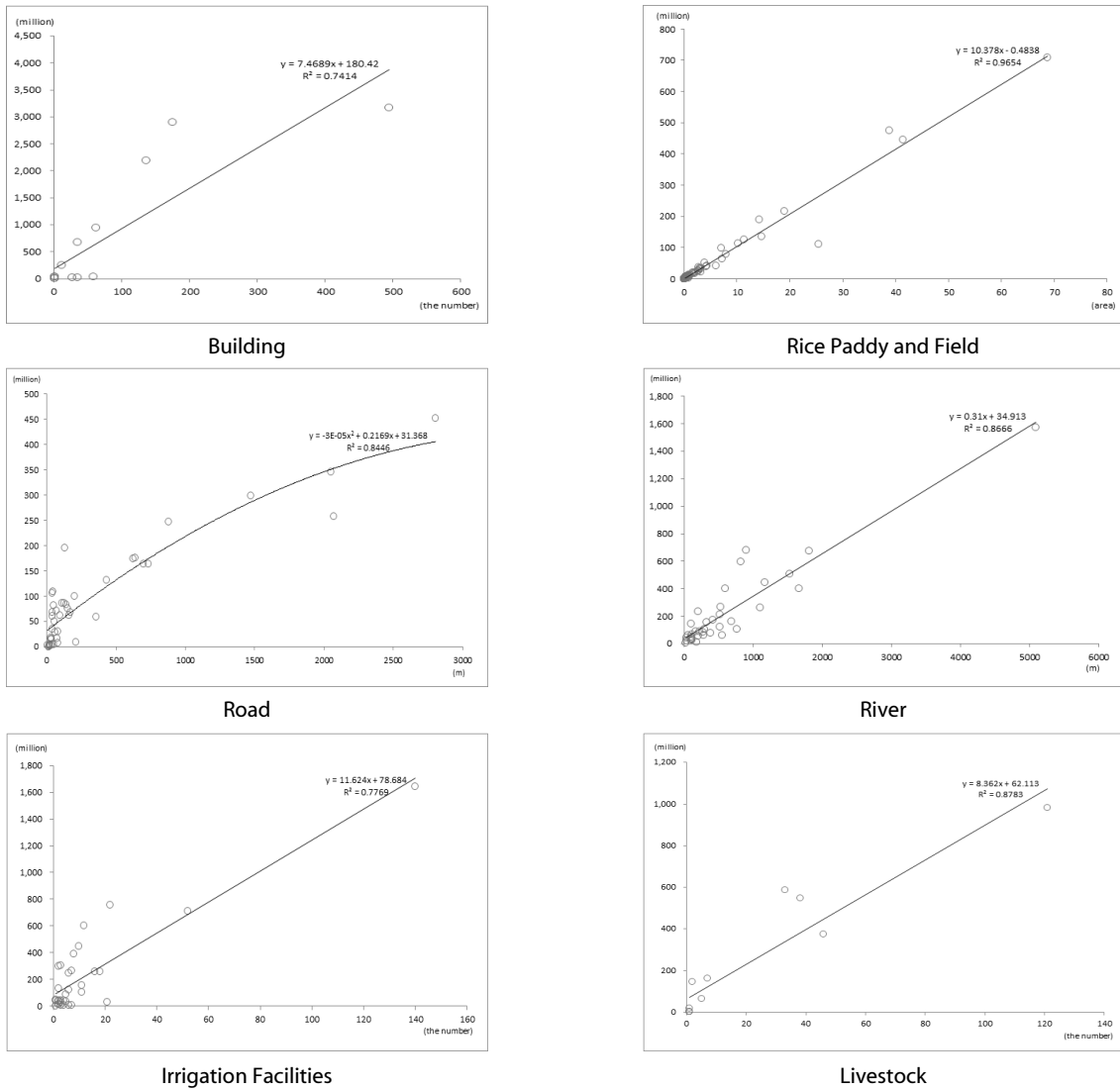


Fig. 2. Regression Analysis Based on Damage

3. 피해산정 방법

3.1 홍수피해에 대한 산정

3.1.1 침수 피해별 원단위 산정

홍수시 침수피해는 가옥피해 뿐만 아니라 농경지, 도로, 하천, 학교시설, 수리시설, 사방, 개인시설, 축사시설, 비닐하우스 시설 등 다양하게 존재한다. 피해 시설의 다양성으로 인하여 단순 면적×피해액은 정확한 피해 금액을 예측하기 어렵기 때문에 (케이스 스터디)본 연구에서는 지난 2010~2014년까지의 재해연보 사·군·구별 피해자료를 선정 회귀분석을 실시하여 각각 시설별로 면적/개소 등의 피해 원단위를 산정하였다. 회귀분석에 사용된 자료는 요소별로 60~150개이다.

Table 1. Regression Analysis by Damage

Division	Regression	R^2
Building	1) $y = 7,468.9x + 180,420$	0.7414
Rice Paddy and Field	2) $y = 10,378x - 483.85$	0.9654
Road	3) $y = -0.0297x^2 + 216.93x + 31,368$	0.8446
River	4) $y = 309.98x + 34,913$	0.8666
Irrigation Facilities	5) $y = 11,624x + 78,684$	0.7769
Livestock	6) $y = 8.362x + 62.113$	0.8783

회귀분석을 통해 도출된 피해 종류별 회귀식은 Fig. 2 및 Table 1과 같다.

3.1.2 침수 피해 대비 복구비용 비율

재해연보에서는 앞서 분석한 침수피해별 피해금액 및 복구금액이 명시되어 있다. 따라서 재해로 인한 피해액 대비 복구비용을 회귀분석하여 피해액이 발생하였을 경우 개략적인 복구 금액을 구할 수 있도록 회귀식을 산출하였다. 피해액 대비 복구액 회귀분석은 다음 Fig. 3과 같다.

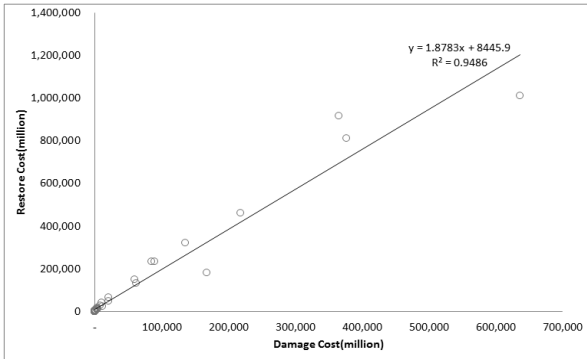


Fig. 3. Recovery Cost by Damage Regression Analysis

산출된 식은 다음과 같다.

$$y = 1.8783x + 8445.9 \quad (1)$$

3.1.3 연구대상지 형태별 피해현황 추출 및 저류조 용량 산정

다음 Fig. 4는 과거 침수피해가 발생한 연구대상지의 침수면적을 시각적으로 표현한 것이며 Table 2는 피해 형태별 면적 및 개소를 나타낸 것이다.

연구대상지의 총 침수면적은 24.41ha였으며 평균 침수심은 0.5m였다. 따라서 총 침수량은 122,052.5m³으로 개략적으로 계산할 수 있다.

위와 같은 침수 피해를 예방하기 위한 저류조 설치비용은 Table 3과 같다.

Table 3과 같이 저류조의 설치비용은 1m³ 당 450천원이었으며, 침수량을 100%예방하기 위해서 필요한 저류조 설치비용은 54,923,400천원으로 계산되었다. 건설계약관리연구소의 평균 낙찰비율(85.5%)를 적용하면 저류조 설치에 필요한 비용은 46,959,507천원으로 계산된다.

Table 3. Storage Installation Cost

Total (won/m ³)	Material Cost (1,000won/m ³)				Construction Cost (1,000won/m ³)				
	Sub Total	Cast Iron	Plastic	Resin	Sub Total	Earth Worker	Foundation Engineer	Sheet Establish	Structure Installation
450	379	84	212	83	71	16	7	30	18



Fig. 4. Flooding Area of Study Subjects

Table 2. Damage by Type Area and Place

Division	Area·Place
Building	28place
Rice Paddy and Field	19.44ha
Road	191m
River	1.5ha
Irrigation Facilities	1.82ha
Livestock	3place

3.1.4 연구대상지 홍수피해금액 및 복구금액 산정

3.1절에서 산정된 회귀식에 의거하여 피해금액을 산정하면 총 피해 금액은 883,580천원으로 계산되었다. 또한 3.2절에서 산정된 회귀식에 의거하여 피해금액 대비 복구 금액을 산정한 결과 1,739,628천원으로 계산되었다. 따라서 홍수피해 금액과 복구금액을 합한 비용은 2,623,208천원이다.

3.2 가뭄피해에 대한 산정

3.2.1 노동증가비용 피해금액 산정

가뭄으로 인한 피해비용 산정은 정량화하기 어려우나 본 연구에서는 각종 연구결과를 바탕으로 개략적인 가뭄피해 비용을 산정하였다. 또한, 논의 경우 기상상황이나 기타 요인에 의거하여 농업용수 사용량 계산 또한 어렵다. 다만 국토교통부에서는 다음과 같이 농업용수가 부족할 경우 m³당 인건비 증가 비율을 계산하였다.

국토교통부에서 제시한 농업용수 m³당 인건비 증가비용은 다음과 같다.

부족수량 1m³당 증가노동비용
= 1,012원(2015년 인건비상승률 포함)

따라서, 저류조에서 확보된 용량으로 피해를 감소할 수 있는 노동 증가비용은 123,517천원으로 예측할 수 있다.

3.2.2 농작물 가뭄피해 예방금액 산정

과우란 평균 강우량보다 적은 강우가 발생하는 것을 의미하며, 과우일수의 산정 방법은 5~8월의 일강우자료를 기준으로 단독 1일 동안이나, 연속 2일 동안에 5mm 이하인 경우에 무강우로 취급한다(Kim, 1995). 오태석 등은 과우기준치를 다음과 같이 제시하였다.

$$150(\text{mm, 표토층의 경운깊이}) \times 0.6(\text{공극율}) \times 0.5(\text{포화율}) / (1.0 - 0.25(\text{손실율})) = 60\text{mm} \quad (2)$$

제시된 60mm를 기준으로 과우일수를 산정하여 식물생장에 영향을 주지 않는 최대 과우일수를 23.3일로 제시하였다. 따라서, 충남지역 평년의 과우일수인 39일보다 적어 매년 가뭄으로 인한 위험이 존재한다고 판단된다. 충남지역의 평균 과우일수와 식물생장에 영향을 주지 않는 최대 과우일수의 차는 15.7일으로써 이 기간 동안 저류조의 저류수를 농경지에 줄 수 있는 면적을 산출하였다.

장정렬 등이 제시한 백미의 농업용수량은 23,577m³ha/yr이다. 또한, 농촌진흥청에서 제안하는 ‘농작업일정’에서는 실제 논에 필요한 논용수활용은 약 140일간 필요하므로 1일 필요량을 개략적으로 계산하면 약 168.4m³로 계산된다. 이 값을 앞서 제시한 과우일수의 차인 15.7일에 적용하고 본 연구에서 제시한 저류조 용량을 적용하면 약 46ha에 해당하는 농지에 가뭄피해 없이 용수를 공급할 수 있다.

2013년 통계청 보고에 의하면 논 1ha당 재배되는 쌀의 평균 생산량은 508kg이며, 2015년 현재 백미의 거래금액은 20kg당 40,000원이다. 앞서 산출한 46ha에서 재배 가능한 쌀의 양은 23,368kg이며 금액으로는 46,763천원을 가뭄에도 보호 할 수

있는 금액으로 가정 할 수 있다.

3.2.3 가정용수 활용시 예방금액

가뭄시 저류조의 저류수는 비상용 상수원으로도 사용가능하다. 환경부(2015)에서 발표한 전국 상수도 평균요금은 482.8원/m³이며, 하수도요금은 356.9원/m³, 물이용부담금은 160원/m³이다. 이 금액을 저류조 용량으로 환산하면 122,016천원의 예방금액을 확보 할 수 있다. 또한, 서순덕 등은 용수부족으로 인한 고통비용을 1일 1인 급수량을 시간당 급수량으로 전환하여 고통비용을 산정하여 1시간당 고통비용 16,666.67원을 제시하였다. 현재 우리나라의 1인 1일 평균 급수량 335L이다. 따라서 1시간 급수량은 약 13.95L로써 연구대상지 인구 331명으로 환산하면 4,617L로써 26.5시간의 고통비용을 예방할 수 있다. 이에 따른 고통예방 비용은 146,192천원으로 계산된다. 상·하수도 요금당 고통비용은 Table 4와 같다.

3.3 기타 절감비용

기타 절감비용은 빗물이용으로 인한 댐 건설비용, 댐 주변 지원비용, 상수원보호구역 지원비용, 댐 주변 관리비용 등을 들 수 있으며 Table 5와 같다.

저류조 설치시 확보될 수 있는 저류 용량을 위 표의 절감액으로 산출하면 33,911천원의 절감비용이 계산된다.

4. 비용편익분석

앞서 산출한 저류조 설치비용과 저류조 설치로 인해 편익으로 발생할 수 있는 피해금액 및 예방금액, 기타 가뭄관련 금액을 분석하였다. 연구 대상지의 홍수를 예방하기 위해서 필요한 저류조를 설치하는데 소요되는 비용은 46,959,507천원이었으며, 시설물의 효율적인 운영 및 유지관리를 위한 비용을 실질할인율 1.17%를 적용하여 산출하였으며, 산출근거는 Table 6과 같다.

또한, 피해 및 복구금액, 노동비용 증가 금액, 농산물 피해 예방금액, 수도 및 하수도, 고통비용, 기타 금액 등의 합은 3,095,607천원으로 계산되었다. 해마다 발생하는 가뭄피해의 특성상 총 예방금액

Table 4. Pain Cost Per Water and Sewage Cost(1person/hr)

Division	Water Fee	Sewage Fee	Water Usage Charge	Pain Cost (1person/hr)
m ³	482.8won	356.9won	160won	16,666.67won

Table 5. Additional Reduction Cost

Division	Dam Construction Cost	Near-Dam Supporting Expense	Water Protection Area Supporting Expense	Near-Dam Management Expense	Total
Reduction Cost (won/m ³)	27.64	0.45	3.09	246.66	277.84

Table 6. Facility Calculation Basis

Division	Initial Costs (1,000won)	Maintenance Costs (1,000won)
First Installation	46,959,507	0
1year	0	513,464
2years	0	507,792
.	.	.
.	.	.
39years	0	336,660
40years	0	332,941

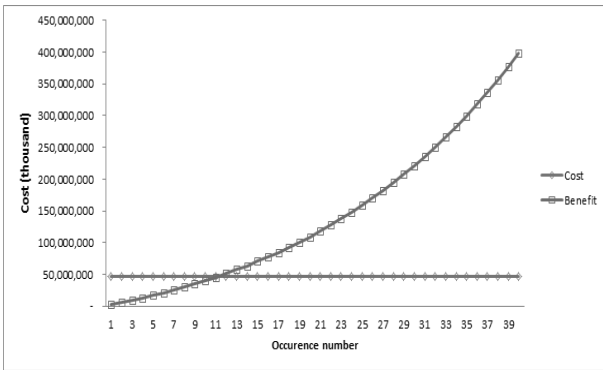


Fig. 5. Cost by Occurrence Number

은 과거 10년간 평균 물가상승률을 적용하여 피해발생 횟수마다 발생하는 편익에 적용하였으며 Fig. 5와 같이 12회를 기준으로 임계점이 형성되며 이후 매년 편익이 발생하게 된다.

따라서, 현재 재해복구 방법인 사후처리 방식보다 예산을 투입하여 다목적 저류조를 설치할 경우 보다 효율적인 피해예방 및 효율적인 예산활용이 가능할 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 과거 실제 홍수피해가 발생한 대상지를 연구대상지로 선정하고, 수해로 인한 피해금액을 산출하기 위하여 재해연보의 자료를 바탕으로 피해 요소별 회귀분석을 실시하였다. 회귀분석 결과 R²값이 모두 0.74이상으로 분석되어 상관성이 있다고 판단되며, 향후 소규모 지역의 피해 금액 및 복구 금액을 예측할 수 있는 자료로 활용이 가능하다.

비용편익 분석결과 홍수와 가뭄이 12회 발생을 기준으로 임계점이 형성되어 이후에는 매년 편익 비용이 증가하여 장기적인 측면으로는 저류조 설치의 타당성이 있다고 사료된다.

대상지의 특성상 피해 농작물을 백미로 분석하였지만, 고부가가치 농작물(밭)을 적용하면 저류조 설치금액의 회수기간은 좀

더 빨라질 것으로 판단된다. 또한, 인명피해등과 같이 금액 적으로 추론할 수 없는 요소는 배제하였다. 따라서 이와 같은 편익요소 또한 더욱 다양할 것으로 판단된다.

본 연구의 결과는 홍수와 가뭄을 동시에 예방할 수 있는 다목적 저류조 설치 타당성 제시의 기초자료로 활용할 수 있으며, 또한 향후 타지역에서의 저류조를 설치하는데 있어 저류지의 회귀분석을 통한 타당성을 제시하는 자료로도 활용될 수 있다고 판단된다. 또한, 세부 연구결과로 자연재해의 피해금액 예측 등 다방면으로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술지역특성화사업의 연구비지원(15RDRP-B066173-03)에 의해 수행되었습니다.

References

Choi, C. I. (2010). "Estimation of the drought damages with the case of taebaek." *Journal of Korea Planning Association* ISSN, Vol. 45, No. 4, pp. 171-181.

Choi, Y. H. (2002). "Study on cost-benefit analysis for regional development project : Practical Limitations and Alternatives." Yonsei University Graduate Institute, mater Thesis. pp. 1-4.

Jang, J. R., Lee, S. H., Cho, Y. K. and Choi, J. Y. (2014). "A calculation of agricultural water demand according to the farmland developing plan on the saemangeum tidal land reclamation project." *Korea National Committee on Irrigation and Drainage*, Vol. 21, No. 1, pp. 1-16.

Jang, O. J. and Kim, Y. O. (2009). "Flood risk estimation using regional regression analysis." *Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 9, No. 4, pp. 71-80.

Kim, B. S. (2004). "Study on environmentally adjusted cost-benefit analysis to public project : In the Case of the Sae-Man-Geum Reclamation Project." Korea University Graduate Institute, mater Thesis. pp. 1-3.

Korea Rural Community Corporation (2002). Construction of the disaster management system using weather information, pp. 1-2.

Kwak, J. W., Kim, D. G., Lee, J. S. and Kim, H. S. (2012). "Hydrological drought analysis using copula theory." *Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 32, No. 3B, pp. 161-168.

Kyeongnam development institute (2008). Drought study and Countermeasure in Kyeongnam, pp. 3-4.

Lee, S. H., Yoon, S. S., Maeng, S. J., Ryoo, K. S. and Joo, H. K. (2003). "Estimation of drought rainfall by regional frequency analysis using L and LH-Moments." *Journal of the Korean Society Og Agricultural Engineers*, Vol. 45, No. 5, pp. 97-109.

Lee, W. B., Kim, J. H., Kang, S. I., Jeong, H. C., Moon, H. S. and Hyun, C. T. (2012). "Installation criterion for rainwater harvesting

- facilities of multi-family housings using cost-benefit analysis.” *Architectural Institute of Korea*, Vol. 28, No. 10, pp. 121-130 (in Korean).
- Ministry of Public Safety and Security, Disaster years (2005-2014).
- Mun, J. S. and Han, M. Y. (2009) “An economical analysis of the rainwater harvesting (RWH) system at the S residential and commercial complex.” *Architectural Institute of Korea*, Vol. 25, No. 12, pp. 173-181.
- Oh, T. S., Moon, Y. I., Kim, M. S. and Park, M. S. (2009). “Division of drought area using continuous dry-day and cluster analysis in Korea.” *Journal of the KWRRA*, pp. 1551-1554.
- Rural Development Administration (RDA) (2014). cultivation method by direct sowing(seeding) manual, pp. 2-6.
- Seo, S. S., Kim, D. G., Lee, K. H., Kim, H. S. and Kim, T. W. (2009). “Estimation of drought damage based on agricultural and domestic water use.” Vol. 11, No. 2, pp. 77-87.
- So, J. M., Shon, K. H. and Bae, D. H. (2015). “Development and assessment of drought damage estimation technique using drought characteristic factors.” *Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 15, No. 2, pp. 93-101.
- Statistics, rise output survey results (2013).
- Yu, J. S., Kang, I. S., Park, J. I. and Shin, H. W. (1999). “Point drought frequency analysis by the method of L-Moment.” *Production Technology Research Center*, Vol. 15, pp. 183-189.