

수리시설개보수사업이 호우피해에 미치는 효과 분석

임청룡 · 이향미 · 이석주
농어촌연구원

A Study on Effect of Repair and Improvement for Irrigation Facilities on Heavy Rain Damage

Lim, Cheong-Ryong · Yi, Hyang-mi · Lee, Seok-Joo

Associate Researcher, Rural Research Institute Korea Rural Community Corporation

ABSTRACT : The purpose of this study is to identify the factors related to the heavy rain damage and to identify effect of repair and improvement for irrigation facilities on heavy rain damages. The results of the analysis are as follows. First, the imbalance of precipitation became worse over time from using the coefficient of variation. Second, the analysis using Spearman correlation coefficient shows positive relationship between heavy rain damage amount and precipitation amount, and negative correlation between heavy rain damage amount and repair and improvement for irrigation facilities cost. Third, the analysis of the panel regression model shows that the negative impact of the repair and improvement for irrigation facilities cost on the heavy rain damage, which means that the increase of the repair and improvement for irrigation facilities cost can reduce the heavy rain damage.

Key words : Repair and Improvement for Irrigation Facilities, Heavy Rain Damage, Spearman Correlation, Panel Regression.

1. 서 론

탄소배출량 증가로 인한 지구 온난화 심화와 최근 들어 빈번하게 발생하는 이상기후 등으로 인해 국내 농업생산 불확실성은 갈수록 증가하고 있다.

이러한 기후변화에 적절하게 대응하기 위해 산업분야 별로 다양한 대책들을 강구하고 있으며, 농업분야에서는 호우피해를 최소화하기 위해 수리시설의 효율적인 설치 및 운영을 통한 대응노력을 기울이고 있다.

국내 호우피해 관련 연구들은 다양한 분야에서 활발하게 진행되고 있었다. 저수지와 댐과 관련된 연구 중 Jang et al.(2007)은 홍수조절기능을 가진 저수지를 치수 및 이수 목적으로 운영·관리할 수 있는 시스템을 구축하고자 하는 연구를 수행하였다. Ko et al.(2013)은 농업용 저수지에 사이펀 여수로를 설치함에 따라 저수지 수위하강 및

하류하천의 홍수부담 경감 등 홍수조절 효과를 분석하였다. Choi et al.(2012)은 이상홍수 발생 시 댐의 하류 유출량을 최소화하는 것을 목적으로 최적화 기법인 선형계획법과 퍼지제어기법을 적용한 퍼지최적저수지운영기법을 개발하는 연구를 수행하였다.

또한 홍수 범람 피해예측 및 저감과 관련한 연구 중 Kim et al.(2016)은 국가재난 및 수자원관리시스템과 연계하여 공공시설물 중 가장 많은 피해액이 발생하고 있는 하천시설에 대해서 호우 태풍으로 인한 홍수피해 함수를 개발하였다. Kang et al.(2007)은 홍수범람분석 모형인 FLUMEN 모형을 이용하여 진위천 하천 구간에 관한 홍수범람해석에 관한 연구를 수행하였으며, Kim et al.(2010)은 집중호우 발생 시 홍수피해를 저감시키기 위한 방안으로 지하저류조의 설치에 따른 침수피해 저감효과에 대한 연구를 수행하였다. Lee et al.(2016)은 강우데이터, 호우침수이력, 피복구성 등 자료를 활용하여 서울지역 각 자치구의 상대적 호우침수위험도를 예측해 볼 수 있는 분석모형을 개발하였다.

선행연구들에서는 홍수피해와 관련된 다양한 연구들

이 수행되었지만, 농업용 저수지를 비롯한 수리시설의 노후화로 인한 기능저하를 방지하기 위한 개보수 등과 같은 세부사업이 집중호우로 인한 피해에 미치는 영향에 대한 연구들은 수행되지 않았다.

따라서 본 연구에서는 수리시설개보수 사업과 호우피해와의 상관관계 존재여부를 분석하고, 더 나아가서 수리시설개보수사업이 호우피해에 미치는 영향을 계량적으로 분석하고자 한다.

II. 호우피해 및 수리시설개보수 현황

1. 호우피해 현황

호우피해를 일으킬 수 있는 연간 강수량을 살펴보면 2007년부터 2016년 사이 1,029mm~1,631mm로 연간 불규칙적으로 변화하는 것으로 나타났다. 변이계수를 활용한 지역별 변동성을 살펴보면 변이계수가 장기적으로 증가하였으며, 이것은 지역별 강수량 차이가 갈수록 심해지는 것을 의미한다(Table 1).

Table 1. Annual Basic Statistics of Precipitation

Year	Mean (mm)	Standard Deviation	Coefficient of Variation
2007	1,494.360	288.490	0.193
2008	1,035.350	234.870	0.227
2009	1,267.790	283.114	0.223
2010	1,487.100	332.360	0.223
2011	1,631.850	328.003	0.201
2012	1,523.660	319.257	0.210
2013	1,166.180	208.172	0.179
2014	1,248.650	379.199	0.304
2015	1,028.810	355.871	0.346
2016	1,327.790	353.356	0.266

Source: kosis.kr

연도별 호우피해액은 선증가 후감소 경향을 보이고 있었으며 변동성은 비교적 큰 것으로 나타났다(Table 2).

Table 2. Annual Sum of Heavy Rain Damage

Year	Damage (million won)
2007	47,839
2008	55,674
2009	223,895
2010	154,463
2011	444,771
2012	34,109
2013	147,342
2014	38,416
2015	1,186
2016	34,618

Source: kosis.kr

2. 수리시설개보수 사업 현황

수리시설개보수사업은 노후 또는 파손, 홍수배제 능력이 부족한 수리시설의 보수보강 등을 통해 재해대응과 영농편의 등을 위해 추진하는 사업이다.

세부적으로 시설물 개보수, 흡수로 현대화, 양배수장 리모델링, 준설 등의 내용들을 포함하고 있으며, 안전진단 및 정밀점검 등을 통해 개보수 방법 등을 결정하고 있다.

수리시설개보수사업은 100% 국고지원을 받아 한국농어촌공사에서 사업을 대행하고 있으며, 중장기계획에 따라 피해 잠재성이 높은 저수지 등 재해취약시설을 우선 정비하고, 부분 땀질식 개보수를 지양하며, 사전개보수 실시로 재해 최소화하기 위해 추진하고 있다.

수리시설개보수사업비는 두 가지 분야로 구분되고 있으며, 재해대응분야는 저수지 양배수장에 대한 개보수 사업비로 활용되는 부분이고 영농편이분야는 용배수로 개보수 사업비로 나눌 수 있다.

농업 생산 효율성 증대보다 갈수록 심해지고 있는 이상기후 등에 대한 대응책의 일환으로 수리시설개보수 사업비는 2007년의 3,492억 원에서 2016년의 4,704억 원으로 장기적으로 증가하는 추세를 보이고 있었다. 또한 연간 전체 사업비 중에서 재해대응분야 사업비 비중 또한 2007년의 62.74%에서 2016년의 73.38%로 장기적으로 증가하는 것을 알 수 있다(Table 3).

Table 3. Annual Cost of Repair and Improvement for Irrigation Facilities (unit: 1,000won)

Year		Convenience	Prepare for Disaster	Total
2007	sum	130,117	219,110	349,227
	%	37.26	62.74	100
2008	sum	119,581	231,749	351,330
	%	34.04	65.96	100
2009	sum	147,829	283,909	431,738
	%	34.24	65.76	100
2010	sum	107,503	270,176	377,679
	%	28.46	71.54	100
2011	sum	86,574	155,921	242,495
	%	35.7	64.3	100
2012	sum	110,818	237,812	348,630
	%	31.79	68.21	100
2013	sum	147,631	253,742	401,373
	%	36.78	63.22	100
2014	sum	151,725	295,149	446,874
	%	33.95	66.05	100
2015	sum	257,480	527,826	785,306
	%	32.79	67.21	100
2016	sum	125,217	345,228	470,445
	%	26.62	73.38	100

Source: Korea Rural Community Corporation

III. 분석방법 및 자료

1. 분석방법

이 연구에서는 수리시설개보수사업이 호우피해에 미친 영향을 분석하기 위해 지역별 연도별로 구성된 패널자료를 활용하여 패널회귀분석을 수행하고자 하며, 다음 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$y_{it} = \alpha + \beta x_{it} + u_i + e_{it}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad t = 1, 2, \dots, T_i \quad (1)$$

위 식에서 하첨자 i 는 지역을 의미하고 하첨자 t 는

연도를 의미하며, x_{it} 는 특정연도 지역별 수리시설개보수사업비를 의미하여, y_{it} 는 특정연도 지역별 호우피해 금액을 의미한다. u_i 와 e_{it} 는 2개의 오차항으로 u_i 는 시간에 따라 변하지 않는 지역특성을 나타내는 오차항이고 e_{it} 는 연도와 지역에 따라 변화하는 패널 개체의 순수한 오차항이다. 오차항 u_i 를 확률변수(random variable)가 아니라 추정해야 할 모수(parameter)로 간주할 경우 고정효과모형이 되며 다음 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$y_{it} = (\alpha + u_i) + \beta x_{it} + e_{it} \quad (2)$$

고정효과 모형은 상수항이 고정되어(fixed)있다고 가정하며, 기울기 모수인 β 는 모든 지역에 대해 서로 동일하지만, 상수항 $(\alpha + u_i)$ 은 지역별로 다르게 된다. 이에 반해 u_i 를 확률변수로 가정할 경우 확률효과(random effects)모형이라 하며, 확률효과모형에서 오차항 u_i 에 대해 $u_i \sim N(0, \sigma_u^2)$, $e_{it} \sim N(0, \sigma_e^2)$ 로 가정하고 있다.

특정 데이터셋에 대해 고정효과모형과 확률효과모형 중 어느 모형이 보다 적합한가에 대해서 하우스만 검정(Hausman test)을 이용하여 가설검정 할 수 있으며, 하우스만 검정의 귀무가설과 대립가설은 다음 식(3)과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} H_0 : cov(x_{it}, u_i) &= 0 \\ H_1 : cov(x_{it}, u_i) &\neq 0 \end{aligned} \quad (3)$$

귀무가설이 정확하다면 확률효과 모형이 더 효율적이고, 귀무가설이 틀린다면, 즉 H_1 하에서는 일치추정량을 얻을 수 있는 고정효과 모형을 선택하게 되며, 하우스만 검정 통계량(H)은 다음 식(4)와 같이 계산 한다.

$$H = (\widehat{\beta}_{FE} - \widehat{\beta}_{RE})' [var(\widehat{\beta}_{FE}) - var(\widehat{\beta}_{RE})]^{-1} (\widehat{\beta}_{FE} - \widehat{\beta}_{RE}) \quad (4)$$

이 연구에서는 수리시설개보수 사업이 홍수저감에 미치는 영향을 한계효과와 사업비에 대한 호우피해저감 탄력성을 추정하고자 하는 모형은 다음 식(5)와 같다.

$$\begin{aligned} Model1 : y_{it} &= \alpha_1 + \beta_1 x_{it} + u_{1i} + e_{1it}, \\ Model2 : \ln(y_{it}) &= \alpha_2 + \beta_2 \ln(x_{it}) + u_{2i} + e_{2it}, \end{aligned} \quad (5)$$

식(5)에서 β_1 은 수리시설개보수 사업비에 대한 한계효과를

의미하게 되고, β_2 는 사업비에 대한 호우피해저감 탄력성을 의미하게 된다.

2. 자료

수리시설개보수사업 중 재해대응분야 비용(x_{it})만을 구분하여 2007년부터 2016년 간 지역별 평균을 살펴보면, 충남지역이 가장 많은 것으로 나타났고, 다음으로 전남 지역인 것으로 분석되었다. 호우피해(y_{it})에 있어서는 경기지역이 가장 높게 나타난 것을 확인 할 수 있었다 (Table 4).

Table 4. Regional Heavy Rain Damage and Repair and Improvement for Irrigation Facilities (unit: million won)

	Cost		Damage	
	Mean	Standard Deviation	Mean	Standard Deviation
Gangwon	18,025	3,410	18,313	19,463
Gyeonggi	21,643	5,874	46,323	84,149
Gyeongnam	38,571	15,662	15,388	19,919
Gyeongbuk	32,927	12,097	6,052	10,416
Jeonnam	56,572	32,701	9,397	13,604
Jeonbuk	39,407	7,350	10,747	19,128
Chungnam	57,479	22,571	7,352	7,968
Chungbuk	17,439	4,530	4,438	5,567

Source: Korea Rural Community Corporation, kosis.kr

IV. 분석결과 및 해석

1. 호우피해에 대한 상관관계분석

호우피해에 영향을 미치는 요인을 살펴보기 위해 호우피해액, 강수량 및 수리시설개보수 사업비에 대해 스피어만의 상관계수를 활용하여 상관관계 존재여부를 우선적으로 살펴보았다.

분석결과 호우피해액과 강수량은 1% 유의수준에서 통계적으로 유의한 정(+)의 상관관계가 존재하는 것을

알 수 있었고, 호우피해액과 수리시설개보수사업비 간에는 5% 유의수준에서 음(-)의 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 그러나 강수량과 수리시설개보수사업비 간에는 통계적으로 유의한 상관관계가 존재하지 않는 것으로 나타났다(Table 5).

Table 5. Results of Spearman Correlation Test

	damage	scost	rain
damage	1	-0.2204**	0.55037***
scost	-	1	-0.1015
rain	-	-	1

** : $p < 0.05$, *** : $p < 0.01$

이러한 이변량 상관분석 결과는 두 변수 간에 어떠한 연관성이 존재하는가에 대한 정보를 제공해주지만 두 변수 간 인과관계에 대한 정보를 제공해주지 못하는 한계점이 존재한다. 따라서 본 연구에서 관심을 가지고 있는 호우피해액에 영향을 주는 요인을 확인해보기 위해 패널회귀모형을 통한 추가적인 분석을 수행하고자 한다.

2. 호우피해에 대한 패널회귀분석

본 연구에서는 "수리시설개보수 사업비가 호우피해액에 미치는 영향"을 분석함에 있어서, 계량분석에 사용하고자 하는 데이터의 양적인 한계로 다양한 독립변수를 고려하지 못한 단변량 패널회귀모형을 사용하였다.

한계효과를 추정하기 위한 모델1의 추정결과를 살펴보면, 고정효과모형과 확률효과모형 모두 수리시설개보수사업비는 10% 유의수준에서 통계적으로 유의하게 나타났으며, 음(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이것은 수리시설개보수사업비가 증가할수록 호우피해액이 감소하게 된다는 것을 의미하게 된다(Table 6).

또한 두 모형 중에서 어떠한 모형이 데이터에 보다 적합한가에 대해 하우스만 검정을 수행한 결과 카이제곱 통계량이 0.01로 5% 유의수준에서 귀무가설을 기각시키지 못하여, 확률효과모형 결과를 사용하는 것이 보다 적절하다는 것을 알 수 있다.

한계효과를 의미하는 추정계수가 -0.313으로 나타났으며, 이것은 수리시설개보수 사업비 1억원 추가투입으로 호우피해를 0.313억원 감소효과가 발생하는 것으로 해석할 수도 있다.

Table 6. Results of Panel Regression Model1

	Fixed effect Model		Random effect Model	
	Coef.	Std.	Coef.	Std.
cost	-0.31	0.238	-0.313*	0.19
constant	25.548***	9.234	25.792***	8.219
sigma_u	12.553		8.076	
sigma_e	34.426		2.793	
rho	0.117		0.052	

hausman test: $H=0.01$

* : $p<0.1$, ** : $p<0.05$, *** : $p<0.01$

탄력성을 살펴보기 위해 추정된 모델2에 있어서 고정 효과모형과 확률효과모형 모두 수리시설개보수사업비는 10% 유의수준에서 통계적으로 유의하게 나타났으며, 음(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이것은 수리시설개보수사업비가 증가할수록 호우피해액이 감소하게 된다는 것을 의미하게 된다(Table 7).

또한 두 모형 중에서 어떠한 모형이 데이터에 보다 적합한가에 대해 하우스만 검정을 수행한 결과 카이제곱 통계량이 2.04로 5% 유의수준에서 귀무가설을 기각시키지 못하여, 확률효과모형 결과를 사용하는 것이 보다 적절하다는 것을 알 수 있다.

탄력성을 의미하는 추정계수가 -0.313으로 나타났으며, 이것은 수리시설개보수 사업비 1% 증가로 호우피해를 1.119%를 감소시키는 효과가 발생할 수도 있음을 의미한다.

Table 7. Results of Panel Regression Model2

	Fixed effect Model		Random effect Model	
	Coef.	Std.	Coef.	Std.
log(cost)	-2.281**	1.023	-1.119*	0.619
constant	38.054***	10.552	26.080***	6.390
sigma_u	1.152		0	
sigma_e	2.793		2.793	
rho	0.145		0	

hausman test: $H=2.04$

* : $p<0.1$, ** : $p<0.05$, *** : $p<0.01$

V. 요약 및 결론

이 연구에서 호우피해액과 관계된 요인들을 확인함과 동시에 호우피해액 변화에 영향을 줄 수 있는 요인의 영향수준을 확인해보고자 하였으며, 분석결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 변이계수를 활용한 지역별 강수량을 살펴본 결과 시간이 지나갈수록 강수량의 불균형이 갈수록 심해지는 것으로 나타났다.

둘째, 스피어만 상관계수를 활용한 분석결과 호우피해액과 강수량은 양(+)의 관계를 가지고 있으며, 호우피해액과 수리시설개보수사업비 간에는 음(-)의 상관관계를 가지고 있는 것을 알 수 있었다.

셋째, 패널회귀모형에 대한 분석결과 수리시설개보수사업비와 호우피해액에 음(-)의 영향을 미치는 것을 확인하였으며, 이것은 수리시설개보수사업비의 증가는 호우피해액을 줄일 수 있다는 것을 의미한다.

따라서 지속적인 이상기후로 인한 강수량 불균형으로 인해 발생하는 호우피해에 적절하게 대응하기 위해서는 수리시설개보수사업을 확대 시행할 필요가 있음을 알 수 있다.

그러나 이 연구에서 자료수집의 어려움으로 인해 호우피해에 영향을 미치는 다양한 요인을 포함시키지 못한 것과 도단위 지역 구분으로 인해 지역별 차이를 세부적으로 확인하지 못한 한계점을 가지고 있으며, 이러한 문제점을 해소하기 위한 연구가 추후에 이루어질 필요가 있다고 여겨진다.

이 논문은 한국농어촌공사 농어촌연구원 자체연구사업 (과제번호: N2017-0041)의 지원에 의해 이루어진 것임.

References

1. Choi, C. W, Yu, M. S., Yi, J. E., 2012, Fuzzy Optimal Reservoir Operation Considering Abnormal Flood, JOURNAL OF THE KOREAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS, 32(4B), 221-232.
2. Jang, S. H., Yoon, J. Y., Kim, S. D., Yoon, Y. N., 2007, An Establishment of Operation and Management System for Flood Control and Conservation in

- Reservoir with Gate : II. Establishment of Efficient Reservoir Management and Operation System, JOURNAL OF THE KOREAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS, 27(2B), 141-150.
3. Kang, S. M., Park, M. J., Kim, S. H., Kim, S. J., 2007, A Study on the Mitigation of Inundation Damage Using Flood Inundation Analysis Model FLUMEN - For the Part of Jinwicheon Reach-, JOURNAL OF THE KOREAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS, 27(6B), 583-590.
 4. Kim, S. H., Lee, C. H., Kim, Y. S., Hwang, S. B., 2016, A Study on Development of Flood Damage Estimation Function for River Infra Structure with NDMS and WAMIS, J. Korean Soc. Hazard Mitig., 16(4), 81-87.
 5. Kim, Y. J., Han, K. Y., Cho, W. H., 2010, Analysis on the Effects of Flood Damage Mitigation according to Installation of Underground Storage Facility, JOURNAL OF THE KOREAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS, 30(1B), 41-51.
 6. Ko, S. H., Kim, J. Y., Lee, G. H., 2013, Analysis on Flood Control Effect of Siphon Spillway by Reservoir Routing, Journal of the Korean Geo-Environmental Society, 14(11), 55-63.
 7. Lee, H. J., Ryu, S. H., Won, S. H., Jo, E. J., Kim, S. W., Joe, G. H., 2016, A Study on Model of Heavy Rain Risk Prediction Using Influencing Factors of Flood Damage, J. Korean Soc. Hazard Mitig., 16(3), 39-45.
-
- Received 31 October 2017
 - First Revised 11 January 2018
 - Finally Revised 2 February 2018
 - Accepted 3 February 2018