



농업수리구조물의 가뭄 영향 및 기능개선 효과 분석

Evaluation of Drought Impact and Function Improvement Effect of Agricultural Hydraulic Structures

이재영* · 김황희* · 신형진** · 김해도** · 권형중*** · 전종찬**** · 차상선**** · 박찬기****,†

Lee, Jae-young · Kim, Hwang-hee · Shin, Hyung-jin · Kim, Hae-do · Kwon, Hyung-joong · Jeon, Jong-chan · Cha, Sang-sun · Park, Chan-gi

Abstract

Recently, the frequency and intensity of drought have been increasing due to the sudden abnormal climate in Korea. The occurrence of agricultural drought has been steadily increasing from 5 times in the 1980s to 2000s in 20 years, 6 times in the 10 years from 2000 to 2010, and 4 times in the recent period from 2011 to 2015. Therefore, this study analyzed the effect of water shortage caused by drought by improving the function of agricultural reservoir.

The target area analyzed the data such as "Comprehensive Information System for Rural Water" operated by Korea Rural Community Corporation. As a result, we selected the target area as Wanju - gun, Jeollabuk - do in consideration of the rate of water storage compared with the normal 25 years, the completion year of the facility, the area of coverage per reservoir site and the low capacity. As a result of evaluating the improvement effect of agricultural facilities, it was analyzed that the irrigation area increased by about 25.7% when the water level was increased by 1m and the irrigation area increased by about 51.3% when the water level was increased by 2m. The results of the drought impact assessment after improving the function of the agricultural facilities were analyzed that it was effective to improve the function after more than 4m depth.

Keywords: Agricultural reservoir; resilience; improvements; drought

1. 서 론

기후변화는 자연계의 변화뿐만 아니라 인간 활동에 직·간접적으로 영향을 미치고, 세계 인류를 포함한 지구상의 모든 생물들의 생존 여부를 위협 할 것으로 예측되면서 21세기 최대 과제로 대두되고 있는 실정이다. 그 중 가뭄은 홍수와 더불어 우리나라를 대표하는 기상재해 중 하나로 장기적이고 광역적으로 발생함에 따라 구체적인 발생 시기, 장소, 원인을 규명하는 것이 어렵고 그 피해와 영향력도 막대하다 (Bae et al., 2016).

한반도 역시 지구온난화와 엘니뇨 현상 등 이상기후로 인한 영향과 심각성은 여러 분야에서 다양한 형태로 나타나고 있는데, 가뭄 등과 같은 자연재해가 속출하여 이로 인한 피해가 두드러지게 나타나고 있다 (Shin et al., 2017). 급격한 이상

기후로 가뭄의 발생빈도와 강도가 증가하고 있으며, 농업가뭄발생은 1980~2000년 20년 동안 5 회에서 2000~2010년에 가뭄이 6회, 최근 2011~2015년에는 4회가 발생하는 등 가뭄 발생 빈도가 꾸준히 증가하고 있다 (Lee et al., 2016). 최근 여름에는 계속된 폭염과 5월부터 6월까지 이어진 강수량 부족 현상으로 전국 대부분의 지역에서 저수율 부족으로 논, 밭작물들이 말라가는 피해로 가뭄에 대한 사회적 관심이 크게 고조되었으며 이에 대한 대책이 시급한 실정이다.

국토교통부에 따르면 서울, 부산, 강릉, 전주의 가뭄 발생을 예측한 결과, 기후변화로 인해 미래 (2061~2090년)에는 과거 (1977~2006년)에 비해 가뭄 발생기간이 3.4배 증가할 것으로 전망했다. 2008년 남부지방에서부터 시작된 가뭄은 2008년말 평년 대비 강수량의 78 %인 1,024 mm를 기록 (평년 1,307.3 mm)하였고, 전국 주요댐의 저수율이 47 %로 예년보다 10 % 정도 낮은 수준을 유지하였다. 이러한 강수량 및 저수율의 저하는 농업용수, 공업용수, 생활용수의 부족으로 확대될 수 있으며, 이로 인해 농산물 및 공산물의 생산량 감소와 제한 급수 지역 발생을 초래하여 심각한 사회문제를 발생시킬 수 있다 (Kim et al., 2016). 2015년의 경우에는 전국적으로 심한 가뭄으로 인해 소양강댐이 1978년 이후 역대 최저 수위에 도달하는 등, 장마 기간 동안에도 전국평균 강수량이 60 % 수준에 머물러 최근 들어 가뭄 피해가 자주 발생하는 실정이다. 또한

* Research Center, Contecheng Co., Ltd
** Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation
*** Research Center, Yooil Co., Ltd
**** Kougju National University
† **Corresponding author**
Tel.: +82-41-330-1266 Fax: +82-41-330-1260
E-mail: cgpark@kongju.ac.kr

Received: November 3, 2017
Revised: November 17, 2017
Accepted: December 22, 2017

같은해 (2015년) 봄에는 인천·경기·강원·충북·경북 등 5개 시·도, 39개 시·군 7,358 ha (논 2,822 ha, 밭작물 시들음 4,536 ha)에서 가뭄이 발생하고 있지만 (Lee et al., 2016), 현재는 가뭄예방보다는 가뭄이 발생 후 조치/지원하는 사후대응에 중점을 두고 있다. 특히, 용수공급시설을 갖춘 관계전 (田)은 140천 ha로 전국 밭 면적의 18.5 % 수준 (2015년 7월 행정조사)으로 논에 비해 열악하다 (LEE et al., 2015). “2016년 이상기후보고서, 관계부처 합동”에 의하면 폭염의 지속으로 8월의 강수량이 1973년 이래 가장 적었으며, 장마의 경우 전국 평균 강수량 332.1 mm로 평년 (356.1 mm) 대비 적었다고 보고되었다.

그동안 국내의 가뭄관리 기관에서는 가뭄으로 인한 피해를 최소화하고자 다양한 업무를 수행해왔다. 대표적으로 기상청, 국토교통부 (K-water), 농림축산식품부 (한국농어촌공사) 및 행정안전부에서는 다양한 가뭄정보를 각각의 고유 목적에 맞게 정보를 생산하고 이에 맞는 가뭄대책을 수립해왔다. 하지만 가뭄에 의한 피해는 여전히 계속되고 있으며, 특히 기후변화의 영향으로 향후 가뭄 발생이 더욱 빈번할 것이라는 견해

가 제기되고 있어 가뭄 대응을 위한 지속적인 노력이 요구된다 (Bae et al., 2016).

따라서 본 연구에서는 가뭄에 대응하고 한정된 농촌용수의 합리적 관리를 위한 농업수리구조물의 가뭄 영향 분석기술을 확보하고 뚝높이기 또는 준설 등 농업수리구조물 기능개선에 대한 효과를 분석하고자 한다.

II. 농업수리구조물 기능개선 사례

1. 저수지 뚝높이기

국토교통부에서는 과거 「4대강 살리기 프로젝트」를 발표 하면서 농업용 저수지 96개소에 대한 뚝 높이기 계획을 제시 하였으며, 제시한 96개 저수지의 뚝 높이기로 가둘 수 있는 저수공간은 한강 0.1 억m³, 낙동강 0.9 억m³, 금강 0.6 억m³, 영산강 0.7 억m³, 섬진강 0.1 억m³ 등 총 2.9 억m³으로 우리나라 장래 물 부족 8 억m³의 36 %에 해당하는 수량이다 (Hong, 2011). 이외에 4대강 밖 대상지로 17개 저수지를 선정하여 0.5

Table 1 A case of low capacity according to the Increase of reservoir dike

Area	Boundary	Water system	Drainage area (ha)	High (m)	Bank heightening (m)	Total storage(1,000 m ³)			Full level (EL.m)
						Pre-existence	Addition	Total	
Gyeonggi-do	Geumsa	Hangang (River)	794	37.4	5	2,982	1,312	4,294	134.3
	Daepyong		725	14.5	2.3	637	382	1,019	90.8
Gangwon-do	Gungchon	Hangang (River)	2,066	16.9	3	620	469	1,094	148.3
	Bangye		2,500	17.7	3	1,780	1,088	2,789	79.0
Chungcheong buk-do	Gwanghye	Geumgang (River)	1,040	22.5	3	3,166	1,682	4,848	129.5
	Jangchan	Geumgang (River)	3,547	36	3.1	3,923	1,010	4,933	166.0
	Chupyong	Hangang (River)	1,610	26	3	3,809	1,888	5,697	139.5
Chungcheong nam-do	Hangye	Geumgang (River)	545	18.7	3	875	549	1,611	162.0
	Gyeryong		1,574	14.3	2	3,413	1,393	4,806	61.0
	Dorim		650	37	3.1	3,250	839	4,089	91.0
	Boksim		1,785	10.7	5.7	2,386	4,337	6,723	20.0
	Yongam		1,620	17	2	4,143	1,802	5,945	60.5
	Hanchun		700	23.0	6	1,213	1,372	2,585	85.0
Jeollabuk-do	Chunchun	Yeongsan (River)	1,350	32	5.1	1,027	726	1,753	424.8
Jeollanam-do	Yutang		910	20.4	5	714	768	1,482	121.3
	Jangchi	2,262	15.3	14	1,347	14,451	15,798	123.5	
Gyeongsang buk-do	Cuchun	Nakdong (River)	1,692	16.6	8	796	2,589	3,385	378.8
	Unam		1,320	20	10.81	830	2,524	3,354	220.5
	Changpyeong		1,850	19.7	14.9	554	2,544	3,098	308.6
Gyeongsangnam-do	Woongyang	Nakdong (River)	1,160	47.5	5	2,280	890	3,170	403.0
	Jillye		450	36	12	1,074	1,490	2,564	131.0

억³을 추가로 확보하였다 (Sim, 2012). Table 1은 저수지 독 높이기에 따른 저수용량 확보 사례를 나타낸 것이다.

2. 저수지 준설

전 세계의 많은 대형 저수지는 퇴적물이 쌓여 수명이 현저하게 줄어들어 전 세계 여러 지역의 저수율이 줄어들고 있다. 전 세계적으로 설치된 저수용량과 관련한 연간 손실률은 일반적으로 연간 약 40~80 km³의 저수용량 손실이 발생하며, 총 저수용량의 0.5~1.0 % 범위로 추정되고 있다 (Richard Herweynen, 2017). 저수지 건설 후 시간 경과에 따라 퇴사로 인하여 저수용량이 많이 감소하게 된다. 따라서 정기적인 준설로 저수용량을 증대시킬 수 있다. 이 방법은 기존 저수지의 용량증대보다는 용량보전의 방법이다.

저수지가 축조되면 종래의 하천유황이 변하여, 새로운 평형관계를 얻기 위해 저수지로 토사가 유입되어 퇴적현상을 유발되며, 이러한 퇴적토사는 저수용량을 감소시킴으로서 관개, 발전, 생활, 공업용수를 위한 이수 등 본래의 저수기능 저하, 저수지 부대구조물의 기능 장애를 유발, 저수지 유입부위의 퇴적토사 영향으로 하상 상상에 따른 홍수범위 확대 등 치수 및 관리상의 문제를 야기한다 (Park et al., 2008). 일반적으로 자연호보다 인공호에서 연평균 퇴적량이 높게 나타나기 때문에 인공호가 많은 우리나라에서는 퇴적물 침전에 의한 저수용량 감소현상이 빠르게 나타난다.

우리나라 18,000여 개소 저수지의 대부분은 1980년대 이전에 설치된 소규모 저수지로 설치당시의 기준으로 단위저수용량이 300~400 mm/ha에 불과하여 영농패턴 변화, 벼 품종 개량, 조기이앙 등 농업여건변동으로 물 소비량이 많아지고 물 사용 시기도 집중되어 최근에는 800~900 mm/ha까지 증가되었다. 그러나 대부분 소규모 저수지의 단위 저수용량은 현재의 기준에 비하여 절반정도에 그치고 있어 저수지로서의 기능을 제대로 발휘하지 못할 뿐만 아니라 못자리 용수도 모자라는 저수지도 상당히 존재하는 실정이다 (Koo, 2009).

저수지 용수공급능력은 2007년 한국농촌공사에서 조사한

결과 저수지 중 용수공급능력이 부족한 저수지는 Table 2의 저수량 규모별 용수부족률에 제시된 바와 같이 1,211개소 (36 %)이며 부족량은 61백만 m³이다. 이는 건설 당시 설계기준과 현재 기준의 차이와 저수지 노후화 및 토사 퇴적으로 인한 저수량이 감소하며, 저수지 규모가 작을수록 용수부족이 심한 것으로 나타났다 (Kim et al., 2009).

토사 퇴적으로 저수량이 감소된 저수지는 1,349개소이며, 총 퇴적량은 약 41 백만m³으로 경과년수가 오래될수록 저수지의 퇴적률이 증가하였다. 규모별 퇴적현황의 경우 저수량 10 만m³ 미만의 저수지 평균 퇴적률이 18.4 %인 반면, 저수량 1,000 만m³ 이상의 저수지 평균 퇴적률은 2.1 %인 것으로 나타났다. 저수량 50 만m³ 미만 저수지 평균퇴적률 12.9 %로 저수량 50 만m³ 이상 저수지 평균 퇴적률 4.6 %의 2.8배인 것으로 조사되었다 (Kim et al., 2009). 또한 국내의 경우 퇴적물의 축적으로 연간 2.6 %의 저수용량이 감소하는 것으로 보고되고 있다 (Hwang, 2009). 따라서 저수지 준설은 저수용량 확보에 유효한 방법이다.

III. 재료 및 방법

1. 대상지역 선정

농업가뭄발생지역 현황을 파악하기 위해 농업적 가뭄의 판단기준인 해당지역의 저수지 저수율을 10년간 조사하여 농업가뭄발생지역 조사하였다. 조사결과는 Fig. 1에 제시하였으며, 상세자료는 한국농어촌공사의 농업농촌관련 정보 통합서비스에서 2007년부터 2016년까지 1주일 단위로 지역별 평년 대비 저수율을 조사하여 정리하였다. 그 결과 2015년 전북 약 120일, 충남 약 100일, 충북 약 80일이 경계단계 이하를 유지하였으며, 2016년 전북 3주간, 충남 6주간, 전남 3주간의 경계단계 이하를 유지하였다.

가뭄발생빈도가 높았던 지역으로 전북과 충남지역을 선정, 가뭄발생빈도가 낮았던 지역으로 경북, 경남지역으로 선정하

Table 2 Water shortage rate by scale (Unit: number)

Watershortage rate	storage capacity	storage capacity					
		계	less than 100,000 m ³	100,000~500,000 m ³	500,000~1,000,000 m ³	1,000,000~10,000,000 m ³	more than 10,000,000 m ³
Total		1,211	723	274	113	100	1
less than 10%		593	311	141	68	72	1
10~20%		188	102	52	16	18	-
20~30%		130	73	39	15	3	-
more than 30%		300	237	42	14	7	-

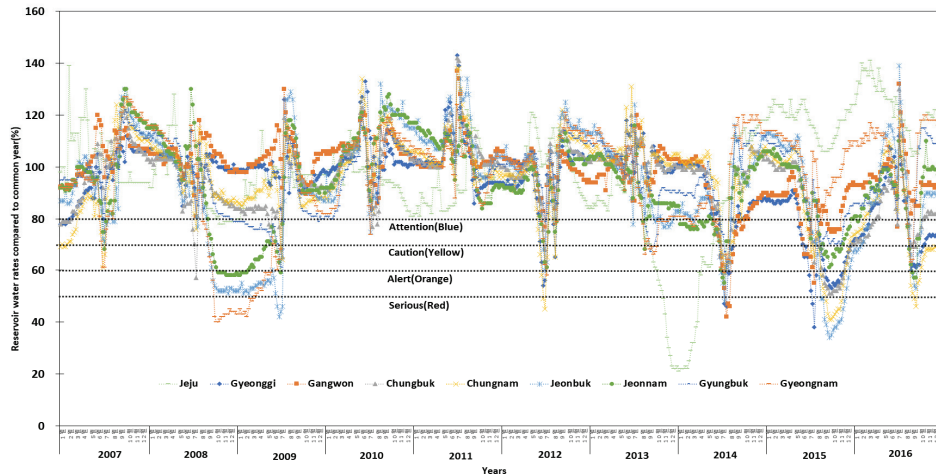


Fig. 1 Average amount of water stored in the region for the last 10 years

여 저수율 및 강수량을 조사하였다. 그 결과 전라북도 지역에서 평균저수율이 45.1 %로 가장 낮았으며, 한국농어촌공사에서 운영 중인 “농촌용수종합정보시스템”와 “농어촌알리미”의 자료를 분석하여 최근 25년간의 평년대비 저수율, 시설물의 준공년도, 저수지 개소당 수혜면적 및 저수용량 등을 고려하여 전라북도 완주군으로 분석되었다. 따라서 농업수리구조물 기능개선 대상지역은 전라북도 완주군으로 선정하였다.

2. 대상지역 현황

Table 3은 최근 10년간 완주군 소재 저수지의 현재 저수율을 나타낸 것이다. 분석결과 주로 1종 저수지의 저수율은 2015년 22 %, 2016년 47 %로 2종 저수지 (2015년 53 %, 2016년 94 %) 대비 절반수준인 것으로 분석되었다. 그 결과를 토대로 가뭄영향평가와 기능개선효과분석은 저수율이 심각한 수준인 1종 시설물에 대해서 실시하였다.

3. 가뭄영향평가

현재 전라북도 완주군의 농업수리구조물들의 가뭄에 대한 적응능력을 평가하기 위해 가뭄영향평가를 실시하였다. 가뭄영향평가 조사항목은 강수량, 경지면적, 퇴적량을 고려한 유효저수용량, 용수 수요량, 현재 저수용량, 증발산량 등 6개 항목으로 구성되어 있다. 이러한 항목들의 변화를 확인하기 위해 식 (1)에 제시된 수식을 활용하였으며, 도출된 값은 5등급으로 구분하여 Table 4에 제시된 바와 같이 변화지표 수준을 도출하였다 (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2016 and 2017).

$$\text{Change Indicator} = \frac{\text{5-Years average}}{\text{Reference value (Survey period)}} \quad (1)$$

Table 3 Reservoir storage rate of Wanju county (Unit: %)

Type	Name	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
1 species	Kyungchun	75	43	55	89	58	96	64	71	24	28
	Gwanggok	100	60	60	100	51	98	62	85	2	46
	Gui	100	56	50	100	42	84	83	64	23	63
	Daea	84	39	54	69	56	68	23	30	6	32
	Dongsang	100	52	55	86	47	90	82	62	26	58
	Bibong	100	90	75	95	73	93	63	75	33	58
	Andeok	100	82	74	100	44	91	62	91	22	45
	Yongjin	100	68	83	92	73	96	100	83	34	46
	Hwajung	100	86	73	97	91	99	83	78	31	47
	Average	95	64	64	92	59	91	69	71	22	47

Type	Name	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
2 species	Gamok	100	61	69	94	85	97	75	70	54	90
	Galwoo	100	74	80	98	85	96	78	73	53	100
	Kangdaebong	100	76	70	100	90	99	68	-	-	100
	Gwangasuk	100	80	70	100	59	80	50	46	53	61
	Gunmok	100	75	79	97	85	96	75	71	58	72
	Geumbyeong	100	81	75	96	100	82	78	74	65	70
	Myeongseok	100	77	74	98	85	98	78	72	57	97
	Baewol	100	86	70	95	80	96	75	70	57	100
	Bingdeung	100	81	68	100	60	98	68	80	56	94
	Sudang	100	79	67	88	85	99	72	80	60	100
	So	100	82	84	100	85	97	78	72	54	100
	Songhak	100	90	74	95	85	88	72	70	54	88
	Sinbong	100	79	80	96	85	98	80	73	57	97
	Sinjiam	100	75	80	98	85	98	80	73	53	100
	Sinpyong	100	77	83	97	85	96	70	77	53	100
	Ado	100	77	70	100	0	99	38	100	76	87
	Yeongok	100	76	81	96	85	96	78	74	53	100
	Ori	100	74	80	97	85	97	78	71	52	100
	Wangsuk	100	85	60	70	70	55	55	71	54	100
	Yokgol	100	78	70	100	90	99	77	73	55	100
	Yongbok	100	60	81	100	85	97	78	71	53	100
	Woongok	100	74	73	95	85	98	80	73	54	100
	Wolsan	100	90	60	70	70	56	65	71	54	92
	imun	100	83	68	100	60	75	78	81	56	94
	Jisa	100	80	69	100	60	94	78	73	58	100
	Jiam	100	74	80	97	85	98	78	68	53	100
	Hachi	100	79	70	100	80	99	78	76	52	100
	Hakdong	100	85	60	70	70	53	56	91	56	100
Hansu	100	76	75	98	75	97	78	75	53	100	
Haegyo	100	77	74	100	39	94	57	74	28	86	
Average		100	78	73	95	76	91	72	71	53	94

Table 4 Level of change indicator by survey item (Kim et al, 2016)

Range	Level of change indicator
-5~1	Safety
1~2	Apprehension
2~3	Low risk
3~4	Danger
4~5	Very dangerous

가뭄영향평가 조사항목들의 변화지표 수준을 파악한 후 종합한 결과를 식 (2)를 활용하여 가뭄영향 종합 지표를 산정하였으며 (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2016 and 2017), 본 연구에서는 Table 5 제시한 바와 같이 4등급으

로 구분하여 농업수리구조물이 가뭄 영향 수준을 결정하였다.

$$Y = \sum_{i=1}^n \alpha_i \quad Y = \text{Drought impact indicator, } \alpha = \text{Average of each change indicator} \quad (2)$$

4. 농업수리구조물 기능개선효과 평가 방법

농업수리구조물의 기능개선은 유입수량을 저수지에 의한 저류 및 물막이 등 용수가 부족한 가뭄시 공급하여 지속적인 비강우시에도 관개가 가능하도록 하는 것이 목적이다. 따라서 기능개선을 통해 저수용량을 증대시킬 경우 그에 대한 효

Table 5 Drought impact level

category	Influence indicator	Optimization criteria	Remarks
Type 1	$5 \leq Y$	<ul style="list-style-type: none"> - Supply is lower than demand for agricultural water - Precipitation can not supply enough agricultural water 	<ul style="list-style-type: none"> - It is necessary to supply underground water by using groundwater, water from nearby areas, etc.
Type 2	$0 \leq Y < 5$	<ul style="list-style-type: none"> - Supply is lower than demand for agricultural water - Precipitation is sufficient to supply enough agricultural water 	<ul style="list-style-type: none"> - To improve the function of existing facilities, it is necessary to raise storage capacity or to build additional agricultural reservoirs to secure sufficient agricultural water
Type 3	$-5 \leq Y < 0$	<ul style="list-style-type: none"> - Although the supply amount is higher than the demand amount of agricultural water, the agricultural water loss and leakage 	<ul style="list-style-type: none"> - Reasonable water management and remodeling of repair facilities should be carried out.
Type 4	$Y < -5$	<ul style="list-style-type: none"> - Supply volume is higher than demand for agricultural water - Agricultural water loss and no leakage. 	<ul style="list-style-type: none"> - Reasonable water management

과를 평가하였다.

평가 방법은 대상지역인 전라북도 완주군 소재 1종 저수지 9개소에 대해 수위가 1~2 m 추가 확보 하였을 경우를 산술적 계산을 통해 현재 관개면적 대비 기능개선 후 관개면적을 산출하여 수심 추가 확보에 따른 추가적인 용수확보가 가능한지 여부를 평가하였다.

5. 농업수리구조물 (저수지)의 경제성분석

농업수리구조물 (농업용저수지)의 신설과 득높이기 등 기능개선에 대한 직접공사비를 비교하여 경제성 분석을 실시하였다 (KDI, 2010; National Environmental Industry Technical Information System). 대상저수지는 저수지 개발사업을 진행하지 않은 저수지 중 수혜면적이 가장 큰 구이저수지를 대상으로 기능개선 비용과 기능개선 후 증가된 유효저수용량과 동일한 저수지를 신설하였을 경우로 구분하여 비용을 산정하였다. 또한 편익비용비율 (B/C)를 산정하기 위해 용수공급편익 (대체시설법)을 적용하였다(Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2013).

IV. 결 과

1. 가뭄영향평가 결과

가뭄영향평가 중 변화지표수준 결과는 Table 6에 제시하였다. 강수량은 과거에서 현재까지 가뭄에 영향을 끼칠 정도로 적은 양은 아니었으며, 경지면적도 시간이 지남에 따라 안전한 것으로 분석되었다. 또한 용수수요량은 과거에서 현재로 시간 변화에 따라 적어지는 추세를 보여 안전수준을 나타내었다. 가뭄에 영향을 미칠 적으로 판단되었던 증발산량 역시

가뭄에 영향을 줄 정도는 아닌 것으로 분석되었다. 그러나 퇴적량을 고려한 유효저수용량은 퇴적물의 증가로 인해 시간이 지남에 따라 변화지표수준은 매우위험 수준으로 나빠졌으며, 현재 저수량 역시 최근 대상지역에 잦은 가뭄발생으로 인하여 위험수준을 나타내었다.

변화지표 결과를 바탕으로 실시한 가뭄영향평가의 결과는 Table 5 가뭄영향수준을 기준으로 식 (2)에 따라 결과를 도출하였다. 그 결과 가뭄영향지표는 0.053으로 Type 2 (기존 시설물의 기능개선을 통하여 물그릇을 키우거나 추가적으로 농업용저수지 등을 건설하여 충분한 농업용수를 확보하여야 함)와 같은 결과가 도출되었다. Table 7은 가뭄영향평가 결과를 나타낸 것이다.

2. 농업수리구조물 기능개선 평가 결과

가뭄영향평가결과 “기존 시설물의 기능개선을 통하여 물그릇을 키우거나 추가적으로 농업용저수지 등을 건설하여 충분한 농업용수를 확보하여야 함”이라는 결과가 도출되었다. 농업용 저수지를 건설하여 농업용수를 확보하는 것은 경제적으로 많은 비용이 투입되므로 기능개선을 통해 용수를 확보하는 것이 보다 경제적으로 유리 할 것으로 판단되어 기능개선을 통한 효과를 분석하였다. 대상지역 (완주군)의 1종 저수지 9개에 대하여 기능개선 효과를 분석한 결과는 Table 8의 기능개선을 통해 수위 1 m를 추가 확보하였을 경우와 Table 9의 수위 2 m를 추가 확보하였을 경우이다. 득높이기, 준설 등 기능개선을 통해 수위 1 m 추가 확보시 현재 수혜면적이 7,831.8 ha에서 9,841.6 ha로 약 25.7 %가 증가하는 것으로 분석되었으며, 수위 2 m 추가 확보시 1종 저수지는 7,831.8 ha에서 11,851.3 ha로 56.4 %가 증가하는 것으로 분석되었다. 다만 본 연구에서 기능개선을 통한 수혜면적 확보기준을 현

Table 6 Change indicator level results

Division	Level of change indicator					
	1986~1990	1991~1995	1996~2000	2001~2005	2006~2010	2011~2015
Amount of Rainfall	-0.09	2.48	-2.62	-1.12	0.64	0.70
	Safety	Low risk	Safety	Safety	Safety	Safety
Cultivation acreage	4.7	1.7	-0.3	-1.0	-2.2	-2.7
	Very dangerous	Concern	Safety	Safety	Safety	Safety
Effective storage capacity	-5.00	-3.76	-0.83	1.25	3.99	5.00
	Safety	Safety	Safety	Concern	Danger	Very dangerous
Water demand	1.9	1.5	0.3	-0.2	-1.6	-2.2
	Concern	Concern	Safety	Safety	Safety	Safety
The volume of water kept in store	4.6	-1.4	-4.7	-2.5	3.9	
	Very dangerous	Safety	Safety	Safety	Danger	
Evapotranspiration	-0.8	0.9	0.7	-0.6	-0.6	0.3
	Safety	Safety	Safety	Safety	Safety	Safety

Table 7 Drought impact assessment results

Division	1986~1990	1991~1995	1996~2000	2001~2005	2006~2010	2011~2015	Average
Amount of Rainfall	-0.1	2.5	-2.6	-1.1	0.6	0.7	-0.002
Effective storage capacity	-5.0	-3.8	-0.8	1.3	4.0	5.0	0.108
Cultivation acreage	4.7	1.7	-0.3	-1.0	-2.2	-2.7	0.033
Water demand	1.9	1.5	0.3	-0.2	-1.6	-2.2	-0.050
The volume of water kept in store	-	4.6	-1.4	-4.7	-2.5	3.9	-0.020
Evapotranspiration	-0.8	0.9	0.7	-0.6	-0.6	0.3	-0.017
Overall result	0.1	1.2	-0.7	-1.1	-0.4	0.8	0.053

재의 수해면적을 저수지 제체의 높이로 나누어 높이 1 m당 평균 수해면적으로 계산하였다. 또한 기능개선을 통하여 추가적으로 확보할 수 있는 수해면적을 상기에서 개선한 1 m당 평균수해면적으로 하였다. 따라서 농업수리구조물의 일반적으로 제체 상부 쪽으로 갈수록 하부보다는 저수량이 증가하여 수해면적이 더 커지는 것을 고려하지 않았기 때문에 실제의 기능개선효과는 본 연구의 확보수심보다 크다. 따라서 본 연구에서 제시한 수심보다 낮은 수심에서도 충분한 기능개선 효과를 나타낼 수 있다.

3. 농업수리구조물 기능개선 후 가뭄영향평가 결과

농업수리구조물의 기능개선 후 가뭄영향평가를 실시하였다. 용수수요량 및 증발산량은 2016년 자료가 없는 관계로 기존의 자료를 동일하게 적용하였다.

그 결과 Table 5의 가뭄영향수준에 제시된 가뭄영향 지표를 기준으로 등급 산정을 한 결과 농업수리구조물의 기능개선이 필요로 하여 기능개선 효과를 분석하였으며, 그 후 기능개선 후의 가뭄영향평가를 실시하였다. 그 결과는 Table 10의 기능 개선 후 가뭄 영향 평가 결과에 제시되어 있으며, 농업수

Table 8 Comparison of effectiveness after improvement of reservoir function (Depth 1m to secure additional)

Facility name	① Plan benefitted area [ha]	② Current benefitted area [ha]	③ Benefitted area after improvement [ha]	④ Benefitted area growth rate	Benefitted area ratio ③/①
Kyungchun	7,738.0	2,189.9	3,163.8	44%	40.9%
Gwanggok	185.0	85.5	106.8	25%	57.8%
Gui	2,753.2	1,740.0	2,192.6	26%	79.6%
Daea	8,040.0	2,548.7	2,876.5	13%	35.8%
Dongsang	1,673.0	966.9	1,115.0	15%	66.6%
Bibong	72.0	41.6	54.6	31%	75.8%
Andeok	109.2	49.4	64.6	31%	59.1%
Yongjin	104.9	48.3	63.1	31%	60.2%
Hwajung	342.0	161.5	204.6	27%	59.8%
Total	21,017	7,831.8	9,841.6	25.7%	46.8%

Table 9 Comparison of effectiveness after improvement of reservoir function (Depth 2m to secure additional)

Facility name	① Plan benefitted area [ha]	② Current benefitted area [ha]	③ Benefitted area after improvement [ha]	④ Benefitted area growth rate	Benefitted area ratio ③/①
Kyungchun	7,738.0	2,189.9	4,137.7	89%	53.5%
Gwanggok	185.0	85.5	128.2	50%	69.3%
Gui	2,753.2	1,740.0	2,645.1	52%	96.1%
Daea	8,040.0	2,548.7	3,204.3	26%	39.9%
Dongsang	1,673.0	966.9	1,263.1	31%	75.5%
Bibong	72.0	41.6	67.6	62%	93.8%
Andeok	109.2	49.4	79.7	61%	73.0%
Yongjin	104.9	48.3	78.0	62%	74.4%
Hwajung	342.0	161.5	247.7	53%	72.4%
Total	21,017	7,831.8	11,851.3	56.4%	51.3%

Table 10 Drought impact assessment results after improving function

Depth 1m to secure additional	Depth 2m to secure additional	Depth 3m to secure additional	Depth 4m to secure additional
0,909	0,557	0,156	-0,149

리구조물의 기능개선을 통해 수심 1~3 m 확보시 수혜면적이 증가하여 가뭄에 효과가 있을 것이라 보여지나, 가뭄영향평가결과에서는 수심 4 m 이상을 확보하여야 기능개선 효과가 있는 것으로 분석되었다. 다만 본 연구에서 기능개선을 통한 수위 확보기준을 현재의 저수량을 저수지 제체의 높이로 나누어 높이 1 m 당 평균 저수량으로 계산하였다. 또한 기능개선을 통하여 추가적으로 확보할 수 있는 저수량을 상기에서 개선한 1 m 당 평균저수량으로 하였다. 따라서 실제적으로 수시 시설물의 특성상 하부보다 상부 쪽으로 갈수록 저수량이 증가하는 것을 고려하지 않았기 때문에 실제의 기능개선효과는

본 연구의 확보수심보다 작아도 가뭄개선효과가 있을 것으로 기대된다.

4. 경제성 분석

농업수리구조물 (농업용저수지)의 신설과 득높이기 등 기능개선에 대한 공사비 및 유지관리비용에 대한 경제성 분석을 실시하였다.

저수지 규모 및 수혜면적이 가장 큰 대아저수지와 경천저수지는 득높이기 사업을 실시하여, 본 연구에서는 저수지 개발사업을 진행하지 않은 저수지 중 수혜면적이 가장 큰 구이

Table 11 Unit cost for improving function

Division	Additional water level(m)	Reservoir capacity (Million tons)	Increase Reservoir Capacity (Million tons)	Cost of construction (Million won)	unit price (Million won/ Million tons)
Naju Dam	2,0	106,3	16,2	39,087,0	2,406,8
Gwangju Dam	4,4	24,4	9,2	33,259,0	3,626,9
Hamdong Dam	4,8	16,0	8,6	25,906,0	3,022,9
Jangseong Dam	1,5	96,1	10,5	66,460,0	6,341,6
Damyang Dam	3,6	81,2	15,5	40,932,0	2,640,8
Average	3,3	64,8	12,0	41,128,8	3,429,7

Table 12 Unit price required for new reservoir construction

Division	Water source work	irrigation channel	Cost of construction (Million won)	unit price (Million won/ Million tons)
Gopum district	- Reservoir: 1 each (326,080 m ³) - inclined conduit : 1개소	7,4 km	7,774	23,841
Bukjang district	- Reservoir: 1 each (227,930 m ³) - inclined conduit : 1개소	4,3 km	7,357	32,277
Samsan district	- Reservoir: 1 each (464,000 m ³) - inclined conduit : 1개소	8,9 km	9,774	21,065
Sijun district	- Reservoir: 1 each (352,700 m ³)	6,8 km	8,684	24,621
Wolnam district	- Reservoir: 1 each (5,658,000 m ³)	-	45,486	8,039
Average			15,815	21,969

저수지를 대상으로 기능개선 비용과 기능개선 후 증가된 유효저수용량과 동일한 저수지를 신설하였을 경우로 구분하여 비용을 산정하였다. 가뭄영향평가에서 수심 4 m 이상 확보시 기능개선 효과가 있는 것으로 분석 되어 기능개선에 따른 비용산정시 수심 4 m 확보를 기준으로 산정하였다.

기능개선 소요 공사비 적용단가는 Table 11에서 제시하였으며, “영산강 유역 농업용저수지 독높임 사업 예비타당성 조사 보고서, 2010”를 참고하여 산정하였다. 또한 신설 저수지 공사비 산정은 Table 12에 제시하였으며 “국가환경산업기술 정보시스템”의 설계시공 DB를 참조하여 산출하였다.

저수지 신설과 기능개선비용을 비교분석한 결과는 Table 13에 제시되어 있으며, 기능개선을 통해 7.15백만톤의 유효저수용량이 증가 되어 기능 개선 소요 공사비 적용단가를 적용 시 24,525백만원이 소요되며, 증가된 유효수량 7.15백만톤 규모의 저수지를 신설할 시 저수지 신설 소요 공사비 적용단가를 적용하게 되면 157,078백만원이 소요된다.

공사비 및 유지관리비용을 산정한 연차별 비용투입계획 Table 14에 제시되어 있으며, 운영기간은 “댐 설계기준”에 제시되어 있는 경제적인 내용연수인 50년으로 선정하였다. 공

사비의 연차별 비용투입계획은 “영산강 유역 농업용저수지 독높임 사업 예비타당성 조사 보고서, 2010”에서 제시된 연도 별공사비 투입비율 30 %, 40 %, 30 %를 적용하였다. 연간 유지관리비용은 “수자원부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정보완 연구, 2008”에 의거하여 공사비의 0.5 %를 반영 하였다.

그 결과 저수지를 신설할 경우 공사비 포함 196,348백만원의 소요비용이 필요하며, 기능개선을 실시할 경우 30,655백만원이 소요되는 것으로 분석되었으며, 저수지를 50년간 운영 할 경우 약 84 %의 비용절감 되는 것으로 분석 되었다.

또한 구이저수지의 독높이기 사업 타당성 검토를 위한 편익비용을 고려한 편익/비용비율 (Benefit-Cost Ratio, B/C Ratio) 산정하였다. 편익/비용비율 산정기준은 Table 15에 제시하였으며, “농업기반시설의 재해대비용력에 대한 경제성 평가 기법 연구, 2013”를 참고하여 선정하였다.

본 연구에서는 가뭄의 기능개선 효율에 대한 연구이므로 홍수조절 편익 산정시 필요한 경제성장율과 홍수조절 편익은 제외 하였다. Table 15에 제시된 항목 중 용수공급편익 (수질 개선)은 “수자원부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정

Table 13 Comparative analysis of cost of new reservoir and function improvement reservoir

Division	New reservoir	Function improvement reservoir
Reservoir capacity (Million tons)	7.15	10,878
Reservoir capacity (Million tons)	-	7.15
Reservoir capacity after improvement (Million tons)	7.15	10,885
unit price (Million won/ Million tons)	21,969	3,430
Cost of construction (Million won)	157,078	24,525

· 보완 연구 (제4판, 2008)에 준하여 용수공급을 통한 하천 수질개선의 효과를 바탕으로 하수처리시설로 편익을 산정하였다.

댐의 내용연수를 50년, 하수처리장의 내용연수를 20년으로 하고, 하수처리장의 전체 대수선기간을 10년으로 하였다. 총 공사비 대비 대규모 수선비 비율이 43.35 %로 하며, 이를 고려하여 최초 시설설치 후 10년이 되는 시점에 총공사비의 43.35 %가 재투입되어 총 20년 동안 기능을 유지하는 것으로 하였다.

하수처리장 건설비용은 전라북도 통계연보 하수도 통계를 참고하여 Table 16에서 제시하였으며, 단가는 0.58백만원/톤/일로 산정되었다.

구이저수지의 농업용수 관개로 방류량은 0~4.0 m³/s로 변동이 심한 것으로 조사 되어 중간값인 2.0 m³/s를 기준 값으로 용수공급편익비용을 산정하였다. 그 결과 하수처리장 건설 단가는 시설용량 톤/일당 0.58백만원으로 산정되었으며 구이저수지의 방류량 2.0 m³/s을 1일 단위로 변환하면 172,800톤/일이며, 시설용량 172,800톤/일의 하수처리장 건설비용은

Table 14 Annual cost input plan (Construction cost + maintenance cost, constant price)

Division	New reservoir	Function improvement reservoir	
construction period	1 years	47,123	7,357.5
	2 years	62,831	9,810.0
	3 years	47,123	7,357.5
Operating period	1 years	785	122.6
	2 years	785	122.6
	3 years	785	122.6
	4 years	785	122.6
	5 years	785	122.6
	6 years	785	122.6
	7 years	785	122.6

	46 years	785	122.6
	47 years	785	122.6
	48 years	785	122.6
	49 years	785	122.6
	50 years	785	122.6
Total	196,348	30,655.0 (84.0% 절감)	

100,214백만원으로 산정되었다.

구이저수지의 독높이기 사업 편익/비용 산정결과는 Table 17에 제시하였으며, 기능개선을 실시한 구이저수지의 공사비를 포함한 50년간 운영비용은 30,655백만원 (불변가), 24,261백만원 (현재가)로 분석되었으며, 용수공급편익은 143,656백만원 (불변가), 105,760백만원 (현재가)로 분석되었다. 편익/비용비율 (B/C)은 비용의 현재가치에 대한 편익의 현재가치의 비율을 말하며, 편익비용 비율이 1보다 큰 대안은 일단 경제성이 있는 투자사업으로 시행 가능성이 있다고 판단하고 있다.

따라서 본 연구에서의 편익/비용비율은 4.36으로 구이저수지의 독높이기 사업은 타당성이 있다고 판단된다.

Table 15 Based on benefit / cost ratio

Division	Applicable standards	Apply
discount rate	- 5.5% until 30 years of operation, 4.5% after 20 years	Apply
rate of economic growth	- Considering economic growth rate when calculating flood control benefits(5.2% by 2012,-0.1% deduction by 2022, Equivalent to 4.2% from 2023)	Unapplied
Maintenance cost	- For dam or reservoir, the net construction cost is 0.5%(Differential application by project to prevent excessive calculation of maintenance cost, Applied 2% in case of river water project)	Apply
Flood control benefits	- Multidimensional Flood Damage Estimation Method	Unapplied
Water supply benefit (water quality improvement)	- Application of Alternative Facility Law (sewage treatment facility)	Apply

Table 16 Status of sewage treatment plant in main river basin of Mangyeong River

Treatment Plant Name	Facility capacity (ton / day)	Project cost (Million Won)	Treatment Plant Name	Facility capacity (ton / day)	Project cost (Million Won)
Jeonju	403,000	138,080	Okseo	1,600	11,634
Water quality restoration center	16,500	34,600	Hoehyeon	550	8,191
Chudong	60	1,123	Wonwoo	90	342
Ahjung,yonggye	75	1,400	Chang'o	92	400
Gongduk	40	1,011	Namsura	30	58
Samchun	30	517	Chunpochosam	50	184
Samgeo	45	803	Wanggungyeonjung	39	240
Wonsanjung	40	810	Chunpochangpyong	35	170
Ohmae	30	422	Chunpoipsuk	49	224
Dodo	30	1,204	Chunpowhapyong	49	223
Maeam	190	4,989	Chunposimam	49	375
Iksan	100,000	64,304	Chunposijeon	20	216
Iksan Northern	30,000	33,003	Chunpoduksil	30	151
Gumma	1,100	5,500	Chunposampo	20	174
Osan	490	7,384	DongsanYuchun	120	945
Wanggungsangbal	70	200	Hamrasinchon	53	190
Osanmunwha	100	1,345	Samgiganchon	160	331
Hamrasinham	60	240	Samgidaeje	52	609
Chunpopanmun	80	291	Average	15,001	8,700

Table 17 Benefit / cost estimation result of bank heightening of gui reservoir

Division		Function improvement reservoir		Water supply benefit	
		Constant price	Current price	Constant price	Current price
construction period	1 years	7,358	6,974	30,064	28,497
	2 years	9,810	8,814	40,085	36,015
	3 years	7,358	6,266	30,064	25,603
Operating period	1 years	123	116	869	824
	2 years	123	110	869	781
	3 years	123	104	869	740
	4 years	123	99	869	701
	5 years	123	94	869	665
	6 years	123	89	869	630
	7 years	123	84	869	597

	46 years	123	16	869	115
	47 years	123	15	869	110
	48 years	123	15	869	105
	49 years	123	14	869	101
50 years	123	14	869	96	
Total		30,655	24,261	143,656	105,760

V. 결 론

가뭄으로 인하여 부족한 용수를 확보하기 위한 농업수리시설물(저수지)의 기능개선 효과를 평가한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 대상지역인 전라북도 완주군의 경우 최근 10년간 설계 유효저수량 30만톤이상인 1종 시설물에서 저수율 47%, 평년 대비 저수율 68%로 2종 시설물에 비해 저수량이 적었다.

2. 가뭄영향평가 결과 강수량과 증발산량, 용수수요량 등 관개용수와 깊은 연관이 있는 변화지표들은 대체로 가뭄에 직접적인 영향을 주지 않은 것으로 분석되었으나 종합결과는 0.053으로 기존 시설물의 기능개선을 통하여 물그릇을 키우거나 추가적으로 농업용저수지 등을 건설하여 충분한 농업용수를 확보해야 하는 것으로 분석되었다.

3. 가뭄영향평가 결과로 농업수리구조물의 기능개선이 필요로 하여 기능개선에 대한 효과를 평가한 결과 뚝높이기 또는 준설 등 기능개선을 통해 수위 1 m 추가 확보시 현재 수해면적 약 25.7% 증가하는 것으로 분석되었으며, 수위 2 m 추가 확보시 51.3%가 증가하는 것으로 분석되었다.

4. 농업수리구조물의 기능개선 후 가뭄영향평가를 실시한 결과 수심 1~3 m 추가 확보를 하였을 경우 수해면적이 증가하여 가뭄에 효과가 있을 것이라 보여지나, 가뭄영향평가결과에서는 수심 4 m 이상을 확보하여야 기능개선 효과가 있는 것으로 분석되었다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(PJ012569032017)과 한국농어촌공사의 연구용역의 지원을 받아 연구되었음

REFERENCES

1. Bae, D. H., and J. M. So, 2015. Meteorological drought information production and utilization technologies. *Journal of Disaster Prevention* 17(4): 14-22 (in Korea).
2. Bae, D. H., and J. M. So, 2016. Meteorological drought information production and utilization technologies. *Journal of Disaster Prevention* 18(2): 22-33 (in Korea).
3. Hong, S. B., 2011. Reservoir dam projects and improve riparian complex cultural space Composition. *KNCOLD Magazine* 35: 78-87 (in Korea).
4. Hwang, S. I., 2009. Research for rivers polluted soil management forum. Korea Environment Institute (in

- Korea).
5. Koo, B. C., 2009. Sound of the scene about “dredging the reservoir”, Korean National Committee on Irrigation and Drainage (in Korea).
6. Kim, P. S., S. J. Kim, and Y. G. Jee, 2009. A Study on the New Paradigm of Rubber Dam. Korea Water Resources Association. 2009-05: 1560-1564 (in Korea).
7. Korea Environment Institute, 2013 Improvement of agricultural reservoir function for securing agricultural water, 1. 2013-19. Korea Environment Institute (in Korea).
8. Kim, D. J., 2017. Feasibility Study on Agricultural Drought Index for Field Scale Applications. Ph.D. Diss., Kyung Hee University (in Korea).
9. Korea Development Institute (KDI), 2010. Preliminary feasibility study report (Yeongsan River Basin Agricultural Reservoir Project) (in Korea).
10. Korea Environment Institute, 2010. Water Resource System Network building for Climate Change I, 2. 2010-17 (in Korea).
11. Lee, K. Y., 2011. Development of management information system for operation of agricultural dam reservoir, 16. Korea Rural Community Corporation (in Korea).
12. Lee, G. Y., S. I. Lee, J. W. Do, and T. H. Ha, 2016. *Journal of disaster prevention* 18(2). Meteorological drought information production and utilization technologies, 47-60 (in Korea).
13. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2013. A Study on the Method of Economic Evaluation for the Agricultural Infrastructure, 92, Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (in Korea).
14. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2016. Development of Stability Evaluation and Management Technique for Agricultural Production Infrastructure Due to Climate Change Impacts, 4. 316034-3. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (in Korea).
15. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2017. Development of Stability Evaluation and Management Technique for Agricultural Production Infrastructure Due to Climate Change Impacts, 108. 316034-3. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (in Korea).
16. National Environmental Industry Technical Information System, Design construction DB (in Korea).
17. Park, T. S., 2008. Survey on water quality impact by dredging, 1. Tais Engineering (in Korea).
18. Relationship Joint Department, 2016. abnormal climate

- report 2016, 30. (in Korea).
19. Richard Herweynen, More water storage needed for a sustainable future.
<https://www.hydropower.org/blog/guest-blog-more-water-storage-needed-for-a-sustainable-future>. Posted on 8 June 2017.
20. Sim, J. G., 2012. Agricultural Reservoir dam raise Status and Future Challenges, *Rural Resources* 54(3): 2-10, Korean Society of Agricultural Engineers (in Korea).
21. Shin, H. J., H. D. Kim, J. N. Lee, and S. M. Kang, Evaluation of Agricultural Water Impacts due to Climate Chang of Precipitation.
http://www.kwra.or.kr/wonmun/KWRA_4_2017_05_203.pdf. 2017 (in Korea).