

수혜 인원을 고려한 농업용 저수지의 최적 정비 모델 개발

Developing an Optimum Equipment Model for Agricultural Reservoir Considering Beneficiary

김시운* · 김종욱**† · 박승기** · 정남수** · 장우석* · 이세희* · 최원***
Kim, Si-Woon* · Kim, Jong-Ok**† · Park, Seong-Ki** · Jung, Nam-Su**
Jang, Woo-Seok* · Lee, Sae-Hee* · Choi, Won***

Abstract

The purpose of this study was to develop an optimum equipment model considering various objective functions and variables of agricultural reservoir. Traditional optimum function for feasibility assessment is based on economic benefit, but we tried new approach of feasibility assessment based on the number of beneficiary. The data of Yuraimi reservoir and Yongbong reservoir in Yesan-gun such as numbers of related people, construction costs, safe diagnosis have been gathered for applying developed model. Data are used for determining optimum strategy with restricted cost. For verifying results of optimum maintenance, real maintenance data of Yuraimi reservoir were compared with simulated strategy. Results show that simulated maintenance strategies are 3 times more effective than real maintenance data.

Keywords : Agricultural reservoir, Optimum equipment model, Benefit people

1. 서 론

우리나라 농업용저수지는 전국에 19,966개소가 존재하며, 여기에서 농업용수의 약 60%를 공급하고 있다(김진택, 2005). 농업용저수지는 농업용수 공급이라는 본래의 기능 이외에도 치수기능, 저수기능, 수

자원 함양기능, 친수기능, 환경보전기능, 관광자원으로서의 기능 및 다양한 생물종의 확보기능 등 인간 생활과 밀접한 관련이 있는 다양한 기능을 가지고 있다(천만복, 2001).

따라서 이들의 기능을 최대로 발휘 할 수 있도록 종합적으로 정비하여 효율적으로 활용할 수 있게 한다면 지금까지 농업용수원으로서의 단순한 기능 뿐만 아니라 농촌 어메니티의 향상, 그린투어리즘의 활성화, 농촌과 도시민의 삶의 질 향상 등에 큰 역할을 담당하는 중요한 자원으로 변모할 것이다.

그러나 현재 농업용저수지는 대부분 구조적 취약성을 나타내고 있어 안전을 위한 철저한 정비가 이루어져야 하며 수질관리, 퇴적물관리, 생태계관리 등과 같은 유지관리가 항상 이루어져야 한다(최원,

* 공주대학교 대학원 지역건설공학전공
** 공주대학교 산업과학대학 지역건설공학전공 교수
*** 서울대학교 대학원 지역시스템공학전공
† Corresponding author. Tel.: +82-41-330-1262
Fax: +82-41-330-1269
E-mail address: jokim@kongju.ac.kr

2008년 5월 30일 투고
2008년 9월 16일 심사완료
2008년 9월 16일 게재확정

2008). 이와 같은 저수지의 정비 및 유지관리를 위해서는 많은 비용이 요구되고 있으나 현재의 유지관리 비용은 이를 충당하기에 부족한 실정이다.

또한 농업용저수지는 농민, 지역주민, 도시민 등과 같은 그 이용 주체에 따라 이해관계가 다르며 저수지의 규모나 특성, 지리적 위치에 따라 이수, 치수, 친수, 환경보전, 관광 등의 여러 가지 이용 방안 중 어떠한 기능에 중점을 두어야 할지도 달라진다(장병관, 2008). 따라서 정비방안 수립 비용의 한계와 같은 제약조건이 있고, 저수지의 규모, 특성 및 위치와 같은 고려해야 할 요소와 이용 주체에 따른 요구 조건이 다양하기 때문에 이 요소들을 모두 충족시킬 수 있는 최적의 정비 방안을 과학적으로 도출해 내는 방법을 개발할 필요가 있으며 이와 같은 업무를 수행할 수 있는 모델의 개발이 요구된다.

본 연구는 복합적인 제약조건과 여러 가지 고려 요인 및 농촌 어메니티 향상과 같은 다양한 요구조건을 충족하는 농업용저수지의 최적 정비 방안 수립을 위한 모델을 개발하기 위하여 농업용 저수지 정비 방안 및 영역을 설정하며, 저수지를 대상으로 제한된 경비로 최적의 정비방안을 도출하는 최적 정비모델을 개발하고 개발된 모델을 한국농촌공사 예산지사에서 관리하는 저수지에 적용하여 최적정비방안을 도출한다. 그리고 모델에 의한 결과와 기존의 방법에 의한 정비방안을 비교 검토하여 개발된 모델의 적용가능성을 확인하고자 한다.

II. 최적 정비 모델의 개발

1. 모델의 구성

농업용 저수지의 최적 정비 방안을 수립할 수 있는 모델 개발을 위한 연구의 방법은 다음과 같다. 농업용저수지의 최적정비모델을 개발하기 위하여 농업용 저수지의 시스템분석을 통해 농업용저수지의 효용함수와 제약조건을 유도하여 최적식을 정식화하였으며, 개발된 모델의 적용을 위하여 한국농촌공사 예산지사에서 관리하는 2개 저수지에 대한 안전진단결과, 수혜인원 등을 조사하였으며 모델수행 결과의 검증 을 위하여 충남 예산의 여래미지에 대하여 개보수

내역과 사업비 등을 조사하여 비교하였다.

농업용 저수지의 다원적 기능으로는 농업용수를 공급하는 이수기능, 홍수조절을 위한 치수기능, 아름다운 경관형성과 휴식공간을 제공하는 친수기능, 동·식물 보호 및 생물다양성 확보 등의 환경보전기능, 관광 자원적 기능 등으로 분류 할 수 있으며, 본 연구에서는 이 중에서 이수기능, 치수기능, 친수기능을 위주로 주요 시설을 정리하였다.

2. 농업용 저수지의 기능특성과 수혜자

농업용저수지는 농업용수공급 이외에 치수기능, 친수기능, 수질보전, 생태계보전, 관광공간제공, 공익적 기능이 있다. 각 기능에 대한 수익자를 Table 1과 같이 결정할 수 있다. 즉, 이수기능은 물을 이용하는 농민에게 유용하며, 수익이 발생하는 시간은 저수지의 방류일로 볼 수 있다. 치수기능은 하류부 거주민의 침수방지와 재해예방에 도움을 주며 수익이 발생하는 시간은 홍수기로 볼 수 있다. 친수기능은 가까운 곳에 거주하는 주민에게 이익이 되고 수익시간은 방문일수로 볼 수 있다. 본 연구에서는 이러한 각각의 기능을 동일한 차원에서 다루기 위하여 수혜인원과 수혜일수를 곱한 수혜인일이란 개념을 정의하였다.

Table 1 Benefit people of agricultural reservoir by function

Function	Beneficiary	Beneficiary days per year
water use	farmer	farmer numbers × water supply days
flood control	resident	resident numbers × flood days
water friendly	neighborhood	neighborhood numbers × visiting days

3. 목적함수

목적함수는 저수지 시설 개보수와 친수시설 설치를 통해 수혜인일을 최대화 하는 것으로, 사용자의 요구를 반영한 최적식은 (1)과 같이 결정하였다.

$$Max.(UP+DP+FP) \quad (1)$$

where, UP : water use days, DP : flood control days, FP : water friendly days

이수수해인일은 시설별 개보수 물량과 시설물이 이수에서 차지하는 비중치를 곱함으로써 구할 수 있고 식 (2)와 같이 결정하였다. 친수수해인원은 식(3)과 같이 시설별 개보수 물량과 시설물이 친수에서 차지하는 비중치를 곱함으로써 구할 수 있고 친수수해인원은 친수시설 물량과 친수시설의 일일수용인원과 체류시간에 365일을 곱함으로써 구할 수 있으며 이는 식 (4)로 나타낼 수 있다.

본 연구에서는 체류시간이 1시간 이상이면 1인이 1일 방문하는 것으로 가정하여 그 단위를 ‘인일’로 하였다.

$$UP = \sum F_i \times PUP \times M_i / TM_i \quad (2)$$

where, F_i : structure weighting, PUP : potential water use days,
 M_i : repair amount, TM_i : total amount

$$DP = \sum S_i \times PDP \times M_i / TM_i \quad (3)$$

where, S_i : structure weighting, PDP : potential flood control days

$$FP = \sum BPD_i \times T_i \times 365 \times M_i \quad (4)$$

where, BPD_i : occupancy of water friendly facility, T_i : visiting time

4. 제약조건

수해 인원을 고려한 최적 정비 모델에서 제약조건 내용은 다음과 같다. 사업비는 주어진 조건 내에서 집행해야 하며, 저수지의 물을 이용하는 농민과 하류부 주민, 주변주민의 수와 현재의 수해 정도에 따라 사업의 효용이 결정되며, 현재의 수해 정도는 저수지의 노후화정도, 친수시설 정도에 따라 결정된다는 것이고, 친수시설설치에 따른 친수수해인원의 증가는 저수지의 잠재친수인원 이내에서만 발생한다는 것이다. 최적식의 적용을 위한 저수지의 부위별 상한 제약조건은 저수지의 사양에 따라 결정될 수 있다. 해당년도의 개보수 공사비에 대한 제약조건은 식 (5)와 같이 결정하였다. 초기 공사비에 대한 5%를 년간 유지보수비율로 가정하였으며, 인플레이션과 물가상

승률을 고려해서 7%의 이자율을 사용하였다. 또한, 식 (6)과 같이 총 공사비는 개별공사비의 단순 합으로 가정하였다.

$$TMC < (I \times MR) \times (IR)^{nyear - cyear} \quad (5)$$

where, TMC : total repair cost, I : initial construction cost, $nyear$: present year, $cyear$: construction year, MR : repair ratio, IR : interest ratio

$$TMC = \sum M_i \times C_i, \quad (6)$$

where, C_i : unit repair cost

저수지 개보수 및 친수시설 설치에 따른 효용의 한계를 잠재이수수해인일, 잠재친수수해인일, 잠재친수수해인일로 정의하고, 식 (7), (8), (9)와 같이 농업용수를 이용하는 농민수와 친수기능을 활용하는 하류부 주민수, 친수기능을 활용하는 주변주민수를 이용한 총수해인일에서 저수지 기능저하에 따른 감소를 고려하였다.

$$PUP < TUP - CUP \quad (7)$$

where, PUP : potential water use days, TUP : total water use days, CUP : current water use days

$$PDP < TDP - CDP \quad (8)$$

where, PDP : potential flood control days, TDP : total flood control days, CDP : present flood control days

$$PFP < TFP - CFP \quad (9)$$

where, PFP : potential water friendly days, TFP : total water friendly days, CFP : present water friendly days

현재수해인원은 식 (10), 식 (11)와 같이 안전진단 결과를 토대로 저수지 부위별 노후화 정도와 부위별 기능, 안전의 비중치를 고려하여 현재수해인일을 결정할 수도 있다.

$$CUP = \sum TUP \times F_i \times D_i \quad (10)$$

where, D_i : deterioration degree

Table 2 Optimum equipment model of agricultural reservoir

object function	$Max. (\sum_{i=1}^n PUP \times F_i \times \frac{M_i}{TM_i} + \sum_{i=1}^n PDP \times S_i \times \frac{M_i}{TM_i} + \sum_{i=n+1}^m BPD_i \times T_i \times 365 \times M$
Constraints	$\textcircled{1} TMC = \sum M_i \times C_i, TMC < \sum_{year=n-5}^{nyear} (I \times MR) \times (IR)^{nyear - cyear}$ $\textcircled{2} PUP < TUP - CUP, PDP < TDP - CDP, PFP < TFP - CFP$ $\textcircled{3} CUP = \sum TUP \times F_i \times D_i, CDP = \sum TDP \times S_i \times D_i, DFP = \frac{TFP}{3}$ $\textcircled{4} \sum_{i=n+1}^m BPD_i \times T_i \times 365 \times M_i \leq PFP$

Table 3 General characteristics of target reservoir

Name	Location	Permission area (ha)	Irrigation area (ha)	Basin area (ha)	Surface area (ha)
Yongbong	Dun-ri, Deoksan-myeon, Yesan-gun	95.8	93.6	420.0	16.1
Yuraimi	Yeoraemi-ri, Sinyang-myeon, Yesan-gun	163.0	138.3	380.0	14.0

Table 4 Safe diagnosis result

Name	year	Dam crest	Upstream slope	Downstream slope	Spillway crest	Outlet channel	Stilling basin	Operating platform	Intake tower	Conduit	Total grade
Yongbong	2002	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Yurai-mi	2001	D	D	D	C	D	D	C	D	D	D

$$CDP = \sum TDP \times S_i \times D_i \quad (11)$$

또한, 현재의 친수수해인원은 식 (12)과 같이 저수지의 친수시설과 시설별 수용인원, 체류시간 등을 고려하여 계산하였다.

$$CFP = \sum BPD_i \times T_i \times 365 \times M_i \quad (12)$$

그러나, 아직까지 농업용저수지에 친수시설이 많지 않은 상황에서 그대로 적용할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 설문조사에서 저수지 활용시설이 조성된 곳이 32.9%인 점을 감안하여 저수지별 친수수해인원의 3분의 1을 현재 수해인원으로 가정하였다.

따라서, 저수지 최적정비 모델을 Table 2와 같이 정식화 하였다.

III. 모델의 적용

1. 개발된 모델의 적용

개발된 모델의 적용을 위하여 한국농촌공사 예산지사의 주요 저수지 중 근래에 정밀안전진단을 실시

Table 5 Surveying data of beneficiary

Name	Farmers	Residents	Neighborhoods
Yongbong	991	182	300
Yuraimi	208	416	21

하여 개보수 사업을 시행하였거나 시행중에 있으면서, 투자에 비하여 지역조건이 양호하여 친수기능이 현저하게 나타날 수 있는 지역을 선정하였다. 본 연구에서는 이 저수지 중에서 용봉지에 대하여 최적화를 실행해 보았으며, 여래미지를 대상으로 하여 기존의 방법과 비교하여 판단하였다. 해당저수지의 주요 현황은 Table3과 같으며, 선정된 두 저수지의 안전 진단결과는 Table 4와 같다.

수해인원을 바탕으로 최적정비방안을 수립하기 위해서는 현재 저수지별로 존재하는 수해인원을 조사하여야 하며, 이를 위해 통계자료를 바탕으로 이수수해인원의 경우 조합원수, 친수수해인원의 경우 침수시 예상가구수, 친수수해인원의 경우 주변가옥수를 바탕으로 가구별 평균인원 3명을 가정하여 계산하였다. 저수지별 수해인원 조사결과는 Table 5와 같다.

2. 농업용 저수지 개보수사업

농업용저수지 개보수 사업의 목적은 노후로 인한 기능 저하 또는 현행설계기준으로 개정되기 이전에 설치되어 홍수배제능력이 부족한 수리시설의 본래 기능을 회복시키고, 노후화되어 농촌경관을 저해하고 있는 시설을 주변경관과 조화로운 시설로 리모델링 하며, 수리시설 안전진단 및 재해예방계측시스템을 설치함으로써, 조기에 수리시설의 안전 및 유지관리 상태를 파악하여 재해 사전 예방 및 시설물의 효용성을 증진하는 것이다.

농업용 저수지의 수리 시설물의 종류에는 제당 제채 송상, 제당 상류, 하류사면 보호공, 여수토, 취수 시설 등이 있는데 이 수리 시설물들에 대한 개보수 사업 단가표를 정리하면 Table 6과 같다.

비용은 개보수 시설설치비용으로 파악할 수 있다.

Table 6 Equipment unit cost of each facility

Facility name	Unit	Cost(1,000 Won)
Dam crest	m	5,000
Upstream slope	m ²	1,200
Downstream slope	m ²	2,000
Spillways crest	m	10,000
Outlet channel	m	10,000
Stilling basin	each	90,000
Operating platform	each	20,000
Outlet tower	each	300,000
Conduit	m	3,000

Table 7 Weighting value of each facility for usage and preventing flood disaster

Facility name	Water use weighting	Flood control weighting
Dam crest	0	0.0948
Upstream slope	0.09	0.0632
Downstream slope	0.16	0.632
Spillways crest	0.1222	0.1386
Outlet channel	0.0754	0.0504
Stilling basin	0.0624	0.021
Operating platform	0.0588	0
Outlet tower	0.2597	0
Conduit	0.1715	0

Table 8 General characteristics friendly water for facilities

Name	Unit	Beneficiary person per year	Visiting time (hour)	Unit cost (1,000 won)
Pavallion	each	80	0.5	20,000
Bird observatory	each	40	0.2	6,000
Water service	each	7	0.2	1,000
Toilet	m ²	200	0.2	25,000
Bench	each	3	0.2	500
Access road	m	10	0.1	500
Bike road	m	3	0.2	500
Esplanade	m	3	0.2	500
Stone embank.	m	2	0.2	400
Sports park	each	150	0.5	40,000
Parking area	m ²	8	0.2	1,200
Environment area	m ²	0.5	0.1	100
Areation facility	each	15	0.2	2,000

이를 위하여 이준구(2004)는 농업용저수지에 들어갈 수 있는 시설을 단위, 이수가중치, 치수가중치로 Table 7과 같이 정리하였다.

친수시설의 경우 저수지와 독립적으로 설치가 가능하며 설치단위, 일일수혜인원, 체류시간 및 개략적인 설치단가 등을 Table 8과 같이 결정하였다.

3. 최적해의 도출 및 기존 방법과의 비교

본 연구에서 개발한 농업용저수지 최적정비모델에 입력할 저수지중 용봉지와 여래미지의 자료는 Table 9와 같고 용봉지의 자료를 입력하여 최적화를 수행한 결과는 Table 10과 같다.

개발된 모델을 비교할 저수지는 한국농촌공사 예산지사에서 관리하는 여래미지로 선정하였다. 여래미지는 충청남도 예산군 신양면 여래미리에 위치하여 있으며 1990년에 설치하였고, 유역면적 370ha에 총저수량 133.6ha-m, 유효저수량 1,242천m³, 관개면적 138.3ha를 가지고 있다.

여래미지에 최적정비방안을 수행한 결과를 기존의 결과와 동일한 수준에서 비교하기 위해 개보수 공사비를 기존에 사용한 공사비로 한정하였다. 그 결과는 Table 11와 같이 동일한 개보수 공사비로 수혜인원

Table 9 Input data of developed model

Name	Construction Year	Cost (million won)	Surface area (ha)	Embankment Length (m)	Spillway Length (m)	Outlet length (m)	Conduit (m)
Yongbong	1978	349	16.1	148	34	34	39
Yuraimi	1990	3,310	14	184	21	76	100

Table 10 Optimum maintenance model simulation result

Item	Origin	First	Second
Dam crest	0	3	0
Upstream slope	0	1	32
Downstream slope	0	4	4
Spillways crest	0	0	0
Oputlet channel	0	1	1
Stilling basin	0	0	0
Operating platform	0	1	1
Outlet tower	0	1	1
Conduit	0	39	39
Pavallion	0	0	1
Bird observatory	0	0	1
Water service	0	1	2
Toilet	0	1	2
Bench	0	1	2
Access road	0	5	7
Bike road	0	71	0
Esplanade	0	109	86
Stone embank.	0	3	0
Sports park	0	0	0
Parking area	0	3	4
Environment area	0	7	0
Areation facility	0	1	1

First Trial

Result: Solver found an integer solution within tolerance. All constraints are satisfied.

Engine: Standard GRG Nonlinear, Solution Time: 24 Seconds, Iterations: 15

Subproblems: 32, Incumbent Solutions: 1

Second Trial

Result: Solver found an integer solution within tolerance. All constraints are satisfied.

Engine: Standard GRG Nonlinear, Solution Time: 22 Seconds, Iterations: 5

Subproblems: 28, Incumbent Solutions: 0

이 3배 이상 증가되었음을 알 수 있었다.

Table 11 Comparison of results

Facility name	Data		Model	
	Cost (1,000 won)	Beneficiary days	Cost (1,000 won)	Beneficiary days
Dam crest	759,534	1,677	0	0
Upstream slope	5,829	37	3,600	23
Downstream slope	65,009	1,299	846,000	16,911
Spillways crest	195,305	516	0	0
Outlet channel	244,629	860	0	0
Stilling basin	0	0	90,000	1,767
Intake tower	299,950	3,620	620,000	10,343
Water friendly facility	0	0	10,500	5,110
Total	1,570,256	8,009	1,560,600	34,154

IV. 결 론

본 연구는 수리시설물의 정비방안을 수립하기 위한 최적화 모델을 개발하였다. 농업용저수지가 필요로 하는 다양한 요구들과 기능을 분석하여 농업용저수지 정비 방안 및 최적정비모델에 필요한 변수를 결정하였으며, 저수지를 대상으로 제한된 경비로 최적의 정비방안을 도출하는 최적정비모델을 개발하였다. 한국농촌공사 예산지사에서 관리하는 저수지에 적용하여 얻은 결과를 기존의 정비방안과 비교 검토하여 개발된 모델의 타당성을 확인하였다.

또한 농업용저수지의 특성을 반영한 최적식을 도출하기 위하여 현재의 경제적 이익을 기반으로 한 타당성 평가방식에서 수해인원을 기반으로 한 타당성 평가방법을 제안하였고 목적함수는 저수지 주변 주민들의 연간 수해인일이고 제약조건은 저수지 특성, 공사비, 시설물 개보수 및 설치 한계 등으로 하는 최적식을 도출하여 모델을 개발하였다. 개발된 농업용저수지의 최적정비모델을 적용하기 위하여 여러미지와 용봉지에 대하여 기존의 개보수 방안과 비교하였으며, 그 결과 기존의 공사비를 제약조건으로 하여

시뮬레이션을 수행하였을 때는 농촌 어메니티 측면에서 수혜인일이 3배 이상 증대되었다. 또한, 공사비에 대한 제약조건을 없애고 친수수혜인일을 최대화하는 것으로 시뮬레이션을 수행한 결과 총 공사비의 23%를 증대시켜 친수시설을 설치하였을 때 최대의 효과를 얻는 것으로 나타났다. 즉, 기존의 이수, 치수 측면 뿐만 아니라 친수를 고려하여 정비방안을 수립할 경우 농업용저수지는 지역자원으로서의 가치가 충분한 것으로 판단된다.

References

1. 김종욱, 2000, 농업구조물의 최적설계안선정-안전진단 및 개보수를 위한 시스템개발, 농림부
2. 농림식품수산부, 2007, 수리시설 개보수사업 시행지침
3. 농어촌진흥공사, 1991, 정주생활권 개발 지표설정에 관한 연구, 농어촌진흥공사.
4. 농어촌진흥공사, 1992, 농어촌중심마을 정주체계의 개발 및 정비(1)-중심마을의 공간 적 기능적 체계중심으로, 농어촌진흥공사.
5. 예산군, 2006, 제43회 예산통계연보
6. 이준구, 2004, 농업시설물의 안전과 기능성을 고려한 생애주기 비용 함수의 개선, 서울대학교 대학원 박사학위논문
7. 천만복, 정광근, 2001, 다목적 중규모저수지의 개발에 관한 정책 및 개발방안, 농업기반공사
8. 통계청, 2002, 주요통계지표, www.nso.go.kr
9. Choi, SooMyung, HanCheol H., 1997, Resources Evaluation System for Rural Planning Purposes (II) - Significance Determination of Resources Items by AHP Method -, Journal of Korean Society of Rural Planning, 3(2), pp. 50-61
10. Choi, W. etc., 2008, Survey for Management of Reservoirs under Control of Local Authorities of Reservoir of City-Gun in Korea, Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers 50(3), 31-41.
11. Jang, B. K., Bochul W., KookWoong H., 2008, Development of Evaluation Indices for Prevervation Strategies for Agricultural Reservoir Watersheds, Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture 35(6), 14-20.
12. Kim, JinTaek, KiWook P., WookJoong J., 2005, Reservoir Water Monitoring System with Automatic Level Meter, KCID journal, 12(1), pp. 60-68.
13. Lee, YeunSook, 1984, Identifying Factor Structure of Environmental Descriptors to Evaluate the Pleasantness of Housing Environment, Journal of Korean Home Economics Association, 22(3), pp. 99-109
14. Lee, Kwan-Gyu, 2006, Ecotourism Resource Planning for Mulwang Reservoir in Siheung, Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture