KJOAS

ISSN (Print) : 2466-2402
ISSN (Online) : 2466-2410

ENGINEERING

# Improvement of condition assessment criteria and embankment transformation of agricultural reservoirs after raising embankments

Dal-Won Lee*, Young-Hak Lee

Department of Agricultural and Rural Engineering, Chungnam National University, Daejeon 14134, Korea

*Corresponding author: dwlee@cnu.ac.kr

## Abstract

Recently, as fluctuations in annual precipitations continue to grow, the frequency of floods and droughts is rapidly increasing. Especially, since many reservoirs are reported as having less capacity and aging faster than large dams, the damages due to floods and droughts are estimated to become more severe. With this background for the present study, field investigation of reservoirs in Chungnam, Chungbuk, and Chonbuk regions was carried out for disaster prevention and the safety management of agricultural reservoirs. Furthermore, embankment transformations were compared and analyzed after the raising of embankments. Based on design methods for remodeling agricultural reservoirs and the results of embankment raising and the problems which occurred on crest, supplementation to the upstream and downstream slopes, control sector, and spillway should be implemented in the existing reservoir. In regard to this, the condition assessment score of compound member of reservoirs was performed, the Chungnam region score was in the 3.11-4.73 range. In addition, reservoirs in Chungbuk scored in the 4.00-4.49 range, and reservoirs in Chonbuk scored in the 3.90-4.60 range. Applying current precision safety inspection practices to small reservoirs requires economic expenses and time, for which assessment items are too varied and complex. Therefore, subdivided condition assessment items and criteria should be improved and streamlined by deleting, reducing, combining, and selecting only the riskiest factors. In the future, reservoirs should be periodically monitored and systemically managed and rational plans for maintenance and repairs should be used as reinforcement methods.

Keywords: agricultural reservoirs, condition assessment criteria, embankment transformation, raising embankment, safety inspection

CrossMark
click for updates

OPEN ACCESS

**Citation**: Lee DW, Lee YH. 2016. Improvement of condition assessment criteria and embankment transformation of agricultural reservoirs after raising embankments. Korean Journal of Agricultural Science 43:258-274.

**DOI**: http://dx.doi.org/10.7744/kjoas.20160029

**Editor**: Sun-Ok Chung, Chungnam National University, Korea

**Received**: May 5, 2016

**Revised**: June 22, 2016

**Accepted**: June 27, 2016

**Copyright**: ©2016 Korean Journal of Agricultural Science.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## Introduction

노후화된 중·소규모 저수지의 붕괴는 상류사면 붕괴, 하류사면 붕괴, 여수로 방수로 붕괴 등의 저수지 자체 붕괴와 이로 인한 하류지역의 인명과 재산 피해로 나타난다. 국내 저수지는 위험분석, 위험평가 방법이 체계적으로 법규화 되어 있지 않고, 붕괴 발생시 신속한 의사결정시스템에 의해 비상상황에 대처하지 못하고 인명 및 재산피해를 발생시키고 있기 때문에 저수지 자체 위험과 하류부의 위험을 연계한 위험평가 모델은 반드시 필요하고 위험 상황에 매우 효과적이라고

대처할 수 있는 방법이라고 판단된다.

우리나라 농업용 저수지는 93%(16,224개)가 유효저수량이 30만 $m^3$ 미만이고 높이가 10 m 미만인 저수지가 82.2% 로 소규모 흙댐으로 2013년 통계기준 총 17,427개소이며, 지방자치단체에서 14,050개소(81%), 한국농어촌공사에서 3,377개소(19%, 1종: 1,139개소, 2종: 2,238개소)를 관리하지만, 농어촌공사와 지자체 관리 저수지의 95%(공사 : 2,924개소, 86.6 %, 지자체: 13,652개소, 97.2%)가 30년 이상이고, 70%(공사: 2,273개소, 67%, 지자체: 9,821개소, 70%)가 50년 이상 경과되어 월류, 파이핑 및 누수로 인한 붕괴 가능성과 재해위험이 증가하므로 지속적인 유지보수관리 방안이 필요하다(MAFRA, KRC, 2013). 농업용 저수지 둑 높이기 사업은 총 110개소로 장래 물 부족에 대비하여 농업용수를 보충하여 안정적인 영농기반을 마련하고 농촌지역의 생활, 공업용수, 축산, 원예 등 농촌용수 다양화 및 미래 영농환경 변화에 대비하기 위한 목적으로 추가 저수량 2.35억 $m^3$ (6.07→8.42억 $m^3$)을 확보하여 82,253 ha의 관개면적에 용수를 공급할 계획이다(KRC, 2011; MLTM, 2011).

최근 붕괴된 산대저수지와 같이 이상강우에 의한 저수지 붕괴가 빈번하게 발생되고 있어 앞으로 노후화된 저수지의 정밀안전진단이 절실하게 필요한 실정이다(KRC, 2011). 한국농어촌공사에서는 1995년부터 2013년까지 19년간 4,081지구의 농업용저수지에 대하여 정밀안전진단을 실시한 결과, 보수·보강이 필요한 C등급이상 저수지가 3,862개(C등급: 2,816지구, D등급: 1,044지구, E등급: 2지구)로 조사 저수지의 94.6%에 달한다고 분석하였다(KSAE, 2013).

최근 농림축산식품부에서는 소규모 저수지의 안전관리를 강화하기 위해 의무정밀안전진단 대상 저수지를 현행 총저수량 50만 $m^3$ 이상에서 30만 $m^3$ 이상으로 확대하는 농어촌정비법을 개정하였기 때문에 앞으로 더 많은 저수지가 정밀안전진단대상이 되어 정밀한 안전관리를 받게 된다. 그러나 국내 저수지 관리는 제도적인 측면, 조직 및 운영적 측면, 제정적 측면, 정보관리 및 전달체계 측면에서 많은 문제점이 있기 때문에 노후화된 저수지의 재해예방 및 안전관리를 위해서는 정밀안전관리의 제도적 보완, 안정성 평가시스템 구축, 개보수사업의 재정적 지원 등의 안전관리를 위한 법률을 제정할 필요가 있다. 또한 대규모 저수지뿐만 아니라 30만 $m^3$ 미만(2종)의 소규모 저수지가 붕괴의 대부분을 자치하고 있기 때문에 이에 대한 상태평가방법 및 기준을 수립하여야 한다. 농업용 저수지의 정밀진단도 중요하지만 앞으로 새롭게 둑 높이기 사업을 실시하는 저수지는 반드시 계측시스템을 구축하여 재해를 사전에 예방하고 시설물의 안전성 확보와 효율적인 유지관리를 도모하여야 하고, 향후 정밀진단으로 인한 경제적 비용과 시간을 절약해야 할 것으로 판단된다. 또한 대규모 비상상황 발생시 하류지역 주민의 신속한 대응으로 피해를 최소화 할 수 있도록 비상대처계획(EAP)이 요구되고 있고, 위험에 대하여 신뢰성 있는 정보를 ICT 활용하여 의사결정자와 주민들에게 제공하여야 한다.

국내에서 농업용 저수지에 대한 연구동향은 정밀진단에 의한 계측시스템 구성과 안정성 평가, 원심모형시험기를 이용한 붕괴실험, 저수지 월류시 실내모형실험에 의한 붕괴거동, 월류시 지오테스타일과 riprap 보강방법버, 소규모 저수지와 댐의 건전도 평가모형 개발 등의 연구가 수행되었다(Kim and Lee, 2009; Kim et al., 2011; Lee and Lee, 2012; Lee and Noh, 2014; Noh and Lee, 2014; Lee, 2014). 농업용 저수지의 설계기준은 농지개량사업계획설계기준, 댐편(MAFRA, 1982), 농업생산기반정비사업계획설계기준, 필댐편(MAFRA, 2002), 댐 설계기준(MLTM, 2011)이고, 정밀안전진단의 상태평가 기준은 농업생산기반시설 정밀안전진단 설계지침, 농업생산기반시설 정밀안전진단 실무 세부요령(KRC, 2011), 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 등이 적용되고 있다(MLTM, 2011).

외국에서는 댐의 파이핑, 월류 및 활동 등에 관한 사례 및 통계분석연구, 제방의 안정성 평가기법, 댐 안전 위험평가 및 추정, 의사결정과정을 위한 시나리오 위험 분석, 댐 거동예측을 위한 모델, 댐안전관리의 변화 등의 연구가 수행되었다(Foster et al., 2000; Bowles, 2001; Fell et al., 2003; Costa and Alonso, 2009; Kumar and Sreeja, 2012; Sun et al., 2012; Cleary et al., 2015; Salazar et al., 2015; Zhou et al., 2015).

미국의 연방재난관리청(FEMA)에서는 댐 붕괴에 대비한 EAP 수립, 댐 운영계획, 정기적 댐 안전 점검 등을 의무적 수행하고 있고, 연방긴급관리정책국의 국가 댐 안전 프로그램에 의해 댐 위험분류를 낮음, 주의, 높음 3단계로 채택하

여 관리하고 있다(FEMA, 2004; ANCOLD, 2003; ICOLD, 2005; Donnelly et al., 2015). 미공병단(USACE), 미개척국(USBR) 및 연방 에너지 규제위원회(FERC)에서는 댐의 포트폴리오를 위한 정책과 댐 안정위험관리 지침을 발표하였고, 댐 안전 모니터링 개선, 댐과 제방의 안전위험분석, 댐 안전교육, 위험분석, 위험평가, 위험관리 사이의 관계를 제시하였다(FERC, 2012; Munger, et al., 2009; USACE, 2011; USBR, 1997, 2011, 2012). 영국과 캐나다(Canadian Dam Association)에서는 저수지 안전관리를 위한 위험 평가 지침과 의사 결정 구조를 개발하고 위험평가 기본은 준비단계와 위험 확인, 위험 분석, 위험 평가를 포함하는 단계로 구성하였다(Antunes, 2013; Passey et al., 2014).

농업용 저수지 둑 높이기 사업이 마무리 되면서 그 동안 획득한 설계방법, 시공기술의 노하우는 앞으로 노후화된 많은 저수지를 리모델링할 경우 어떻게 진단하고, 어떻게 효율적으로 보수보강하며, 어떻게 장기적으로 유지관리할 것인가? 에 대한 문제점을 해결하는데 많은 기술적인 설계지침을 제시할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 노후화된 저수지의 재해저감방안 제시하고, 향후 저수지 재난 및 위험관리 현황을 파악하여 국내 기관의 통합된 재난 및 위기관리 매뉴얼을 작성할 수 있을 것으로 판단된다.

현재 정밀안전진단은 외관조사, 재료시험에 의해 시설물의 상태평가와 안전성평가를 실시하고, 책임기술자가 시설물을 종합평가하여 안전등급을 산정한다. 상태평가 항목은 댐마루, 상류사면, 하류사면, 기초 및 양안부, 접근수로, 조절부, 급경사로, 감세공, 취수시설 및 방수로 등으로 구분하여 실시하고 있다.  저수지의 평가지수와 등급은 개별부재별로 평가항목을 세분화하고 조정계수, 중요도를 고려하여 복합부재로 산정한 후 종합적으로 평가하고 있다. 그러나 현재 세분화 되어있는 상태평가지수가 오히려 누수로 인한 파이핑 현상과 같이 저수지 붕괴 위험성이 높은 요소를 반영하지 못하므로 각 항목별로 중복되어 있는 평가내용을 축소 조정하고, 실질적인 위험인자만을 선정하여 간결하고 실제적으로 저수지 현장상황에 적합하게 안정성을 평가할 수 있도록 상태평가 내용과 방법이 개선되어야 할 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 농업용 저수지의 재해예방 및 안전관리를 위하여 둑 높이기 사업이 완료된 충남, 충북, 전북지역 저수지에 대하여 현장조사를 실시하고, 둑 높임 후의 제체 특성변화와 각 시설물별로 상태평가를 비교분석하여 앞으로 리모델링 저수지에 대한 설계기준과 안정성 평가를 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

## Materials and Methods

### 분석대상 저수지 현황

저수지 둑 높이기 후의 댐마루, 상류사면, 하류사면, 조절부, 급경사로에서의 상태평가와 제체보강형태의 변화를 분석하기 위하여 충남지역 13개소, 충북지역 5개소, 전북지역 6개소를 연구대상지구로 선정하고 현장조사를 실시하였다. Table 1-3는 충남, 충북, 전북지역의 둑 높이기 사업 전·후의 저수지 제원을 나타낸 것이다.

### 상태평가 항목 및 기준

현재 정밀안전진단에 의한 상태평가 항목 및 기준은 재료시험 및 외관조사에 의해 시설물의 각 부재로부터 발견된 상태변화(결함, 손상, 열화)를 근거로 하여 상태변화, 평가유형, 영향계수, 평가기준, 평가점수, 평가 내용으로 구분하였고, 댐마루, 상류사면, 하류사면, 조절부, 급경사로에서의 상태평가 항목은 다음과 같다.

댐마루에서의 상태변화는 종·횡방향균열, 침하, 수평변위, 제체유실, 사면불안정으로 구분하고, 평가유형은 중요결함, 영향계수는 1.0, 평가기준은 a, b, c, d, e 평가점수는 5, 4, 3, 2, 1로 구분하여 각각의 평가내용에 따라서 평가하였다.

상류사면에서의 상태변화는 누수, 침하 및 변형, 차수벽 노후화, 사면불안정 및 사면보호, 사면침식으로 구분하고, 평가유형은 중요결함, 국부결함, 영향계수는 1.0, 1.1, 1.2, 1.4, 2.0, 평가기준은 a, b, c, d, e, 평가점수는 5, 4, 3, 2, 1로 구분하고 각각의 평가내용에 따라서 평가하였다.

**Table 1.** Specifications of reservoirs in Chungnam area.

| Area | Effective storage (×10$^3$ m$^3$) | | Basin area (ha) | Extension method | Raising height (m) | Length (m) | Total height (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Before | After | | | | | |
| Gyeryong | 3,365 | 4,670 | 1,574 | Inclined | 1.9 | 300.0 | 64.4 |
| Deogyeong | 3,854 | 5,690 | 1,567 | Inclined | 1.2 | 298.0 | 31.5 |
| Dorim | 3,303 | 3,829 | 650 | Inclined | 2.1 | 175.0 | 94.7 |
| Bangdong | 2,611 | 3,999 | 1,439 | New | 20.0 | 254.0 | 104.4 |
| Boksim | 2,704 | 5,028 | 1,761 | Inclined | 1.9 | 326.0 | 23.6 |
| Bonglim | 1,035 | 2,213 | 745 | Inclined | 4.9 | 359.0 | 80.4 |
| Sindae | 1,963 | 2,930 | 962 | Inclined | 3.5 | 234.0 | 101.6 |
| Sindong | 654 | 1,881 | 670 | New | 25.5 | 149.0 | 235.0 |
| Yongam | 3,730 | 4,868 | 1,620 | Inclined | 1.5 | 226.0 | 63.7 |
| Jeongan | 1,571 | 2,460 | 676 | Inclined | 2.5 | 210.0 | 79.2 |
| Jungheung | 1,694 | 2,680 | 920 | Inclined | 2.5 | 315.0 | 94.0 |
| Tapjeong | 31,658 | 38,423 | 21,880 | Vertical | 0.8 | 573.0 | 33.9 |
| Hancheon | 1,158 | 2,530 | 722 | New | 29.0 | 261.0 | 89.0 |

**Table 2.** Specifications of reservoirs in Chungbuk area.

| Area | Effective storage (×10$^3$ m$^3$) | | Basin area (ha) | Extension method | Raising height (m) | Length (m) | Total height (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Before | After | | | | | |
| Baekgok | 21,257 | 26,125 | 8,479 | Inclined | 2.0 | 430.0 | 105.2 |
| Maengdong | 12,270 | 13,908 | 706 | Inclined | 1.0 | 237.0 | 129.0 |
| Sindeok | 4,325 | 6,734 | 2,873 | Inclined | 2.0 | 272.0 | 131.1 |
| Sosu | 1,142 | 1,942 | 652 | Inclined | 2.2 | 315.0 | 194.7 |
| Sanggung | 2,052 | 9,312 | 1,245 | Backside | 13.0 | 415.0 | 262.3 |

**Table 3.** Specifications of reservoirs in Chonbuk area.

| Area | Effective storage (×10$^3$ m$^3$) | | Basin area (ha) | Extension method | Raising height (m) | Length (m) | Total height (m) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Before | After | | | | | |
| Goimok | 256 | 2,218 | 790 | Backside | 13.0 | 256.3 | 367.0 |
| Nochon | 1,743 | 2,757 | 1,230 | Inclined | 7.2 | 325.8 | 417.0 |
| Cheoncheon | 966 | 1,918 | 1,350 | Backside | 5.0 | 176 | 428.0 |
| Daegok | 6,404 | 8,103 | 1,317 | Inclined | 3.5 | 350 | 499.5 |
| Gongjyeong | 1,654 | 3,262 | 1,249 | Backside | 9.0 | 300 | 600.0 |
| Hwanggum | 521 | 5,234 | 707 | New | 37.5 | 263.2 | 393.5 |

하류사면에서의 상태변화는 누수, 사면불안정, 사면보호상태, 침하 및 변형, 사면침식, 식생, 동물의 굴 등으로 구분하고, 평가유형은 중요결함, 일반손상, 영향계수는 1.0, 1.1, 1.3, 1.7, 3.0, 평가기준은 a, b, c, d, e 평가점수는 5, 4, 3, 2, 1로 구분하고 각각의 평가내용에 따라서 평가하였다.

조절부에서의 상태변화는 에이프런 구조물의 손상 및 노후화, 피어와 벽체 구조물의 손상 및 노후화, 월류부 웨어 구조물의 손상 및 노후화, 수문가이드, 각락 가이드 또는 수문 지수판 에서의 공동화 현상 등으로 구분하고, 평가유형은 국부결함, 영향계수는 1.0, 1.1, 1.2, 1.4, 2.0, 평가기준은 a, b, c, d, e 평가점수는 5, 4, 3, 2, 1로 구분하고 각각의 평가내용에 따라서 평가하였다.

급경사로에서의 상태변화는 바닥슬래브의 부등침하, 들뜸, 단차, 바닥, 슬래브의 콘크리트 균열 및 손상, 벽체의 손상 및 노후화, 횡방향 이음부의 손상 등으로 구분하고, 평가유형은 국부결함, 영향계수는 1.0, 1.1, 1.2, 1.4, 2.0, 평가기준은 a, b, c, d, e, 평가점수는 5, 4, 3, 2, 1로 구분하고 각각의 평가내용에 따라서 평가하였다.

## 상태평가의 산정방법

Table 4는 댐 시설물 평가 단계별 절차를 나타낸 것이다. 상태평가는 개별부재별로 댐마루, 상류사면, 하류사면, 접근수로, 조절부, 급경사로 구분하고, 상태변화를 근거로 평가내용 및 평가기준에 의해 평가점수를 산출하였다. 댐 시설물에 대한 상태평가는 상태평가 기준에 의한 결함 및 손상에 대한 평가점수(M) 결정, 결함 및 손상의 평가지수(E1) 및 개별부재의 상태평가지수(E2), 복합부재의 상태평가지수(E3), 개별시설의 종합평가지수(E4), 복합시설의 종합평가지수(E5) 등의 5단계로 구분하여 평가하지만, 본 연구에서는 복합부재의 상태평가지수(E3)로 평가하였다. 4단계 개별시설 종합평가 결과를 결정하기 위해서는 시설물별 상태평가 및 안전성평가 실시한 후 산출된 상태평가지수(Ec)와 안전성평가지수(Es)를 비교하여 작은 값을 개별시설의 종합평가지수(E4)로 적용하여 평가대상 시설물에 대한 종합평가를 실시한다. 개별시설의 평가단계에서 안전성평가를 위하여 제체의 사면안정 해석, 제체의 침투수에 대한 안전성 해석, 제체의 응력-변형 해석, 구조물의 내하력 해석, 구조물의 안정해석, 수리, 수문학적 안전성 해석, 시설물의 내진성 평가, 계측자료 등을 통하여 안전율을 계산하여 각각의 안전성평가 기준에 따른 개별시설물의 안전성평가 지수(Es)를 산출하여 적용한다. 개별시설의 상태평가지수(Ec)는 개별시설로서 동일기능을 수행하는 복합부재(블록1,블록2, …)의 집합으로 구성되어 있지만 본 연구에서는 블록을 구별하지 않고 어느 블록에서 위험성이 존재하면 전체 부재에 영향을 미친다고 판단하고 개별시설의 평가는 복합부재의 중요도와 같다는 가정하에 복합부재의 상태평가지수(E3)를 산출하였다.

**Table 4.** Assessment stages of precision safety inspection.

| Stage | Assessment and results | Affect factors | Method[z] |
|---|---|---|---|
| Stage 1 (Condition assessment) | Individual member | Defects and damage | Tabulation of member and facility, schematic diagram of defects and damage<br>Decision of assessment score (M) by assessment criteria |
| Stage 2 (Condition assessment) | Individual member | Assessment score, effect factors | Assessment score of defects and damage (E1)<br>E1 = M × F<br>Assessment score of individual member (E2)<br>E2 = Min (E1) |
| Stage 3 (Condition assessment) | Compound member | Assessment score, adjustment factors, weighted value | Assessment score of compound member (E3)<br>E3 = $\sum$ (E2 × A × W) / $\sum$ (A × W) |
| Stage 4 (Condition, safety and comprehensive assessment) | Individual facility, safety assessment, comprehensive assessment | Assessment score, area, safety assessment, minimum value | Assessment score of individual facility (Ec)<br>Ec = Min (E3) + V1 × V2<br>V1 = 0.3 {(Max. (E3) - Min. (E3)}<br>V2 = $\sum$ (E3 × S) / $\sum$ (5 × S)<br>Safety assessment score (Es)<br>Comprehensive assessment score of individual facility (E4) E4 = Min (Ec, Es) |
| Stage 5 (comprehensive assessment) | Compound facility, comprehensive assessment | Assessment score, adjustment factor, weighted value | Comprehensive assessment score of compound facility (E5)<br>E5 = $\sum$ (E4 × A × W) / $\sum$ (A × W) |

[z]E1-E5, Ec and Es: Assessment score, M: Condition assessment grade, F: Effect factors, A: Adjustment factor, W: Weighted value.

5단계 복합시설의 종합평가지수는 개별시설의 종합평가지수(E4)에 중요도 및 조정계수를 반영하여 복합시설의 종합평가지수(E5)를 산출하고 종합평가 결과를 결정한다. 복합부재의 상태평가지수 산정시 개별시설의 중요도(W)의 합은 100이 되도록 규정하고, 개별시설의 특성에 따라 중요도를 조정할 필요가 있는 경우에는 규정된 값의 20% 범위 내에서 조정할 수 있다. 중요도를 댐마루 40%, 상류사면 30%, 하류사면 30%를 기준으로 5단계로 변화시키면서 계산한 결과 0.02-0.03 범위로 작게 계산되어 전체적인 상태평가 등급에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

## Results and Discussion

### 둑 높이기 사업 후의 제체 특성 변화

농업용 저수지 둑 높이기 사업 110개소 저수지에 대한 사업 전의 총저수량은 6.07억 $m^3$에서 8.42억 $m^3$으로 2.35억 $m^3$ 증가하였고, 전남지역이 3.0억 $m^3$에서 3.8억 $m^3$ 으로 가장 크게 증가하였다. 지역별로 구분해 보면 경북 22개소, 전남 21개소, 충남 15개소, 전북 15개소, 충북 14개소, 경남 11개소, 강원 7개소, 경기 5개소가 시행되고 있다. 제체유형별로는 제체 덧쌓기 66개소로 가장 많고, 후면 덧쌓기 28개소, 이설 쌓기 16개소이고, 높이별로는 5 m 이하가 72개소로 가장 많고, 5-10 m 20개소, 10-15 m 5개소, 15-20 m 6개소, 20 m이상 7개소이다. Fig. 1은 둑 높이기 전·후의 제체의 특성변화를 나타낸 것이다. 제체 덧쌓기는 26.6 m에서 29.7 m, 후면 덧쌓기는 22.8 m에서 29.8 m, 이설 쌓기는 22.4 m에서 36.4 m로 증가하고 전체 평균 높이는 25.1 m에서 30.8 m로 증가하였다. 제체길이는 240 m에서 282 m, 여수토 길이는 61.9 m에서 78.1 m로 증가하였다.

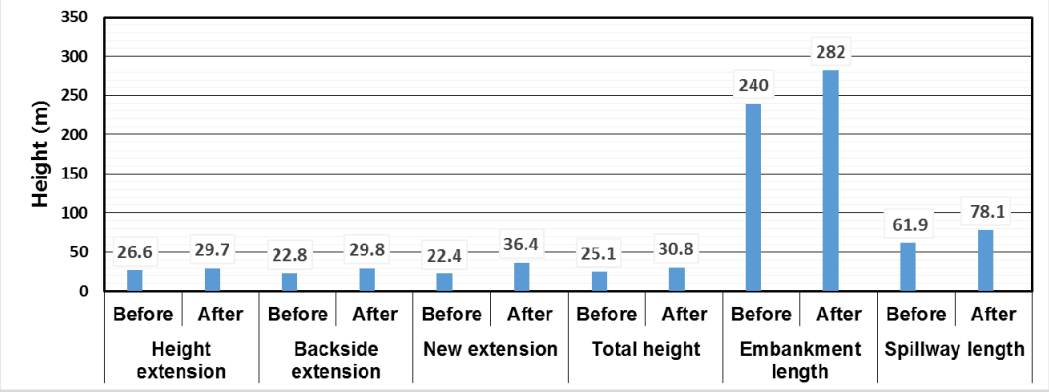



**Fig. 1.** Variation of the before and after raising embankment.

### 댐마루

Fig. 2는 둑 높이기 후의 댐마루의 특성 변화를 나타낸 것이다.

댐마루는 보호공이 시공되지 않은 곳, 쇄석 및 자갈로 시공된 곳, 보도블럭으로 시공된 곳, 콘크리트 포장이 시공된 곳, 아스팔트 포장이 시공 된 곳으로 조사되었다. 댐마루와 상하류사면 경계면에 철제 가드레일, 목재 등의 안전펜스가 설치되어 위험을 저감시킨 저수지가 다수 존재하였고, 강우시 우수를 배제하기 위하여 댐마루 좌우에 배수로를 설치하여 댐마루 유실을 방지한 사례도 있었다. 전체적으로 새롭게 신설된 저수지이기 때문에 균열 및 침하는 거의 발견되지 않았지만 일부 저수지에서는 댐마루 경계면에 유실이 발견(30 cm-110 m) 되었으며, 특히 잔디로 시공된 저수지는 강우에 의해 댐마루 경계면이 유실되어 보수가 필요한 곳도 있었다. 일부 저수지는 산책로를 조성하여 휴식공간으로 제공하고 있었지만, 다년생 식물과 싸리나무가 자생하고 관리가 되지 않아 진입이 어려운 곳도 있었고, 댐마루에 계측기가 매설된 저수지는 관리가 되지 않은 곳도 있었다.

(a) Soil (b) Crushed stone and wood guard rail

(c) Asphalt and steel guard rail (d) Sidewalks and wood guard rail

**Fig. 2.** Shape change and reinforcement of crest.

향후 댐마루 설계시에는 콘크리트 및 아스팔트 포장은 저수지 침하로 인하여 계속해서 보수하는데 유지관리비용이 소요되므로 사면유실을 방지할 수 있는 쇄석 보호공법이 적합하다고 판단된다. 또한 댐마루와 상하류사면 경계부가 유실되지 않도록 측수로 설치가 필요하고, 휴식공간으로 조성된 산책로는 정기적인 식생관리가 필요한 것으로 조사되었다.

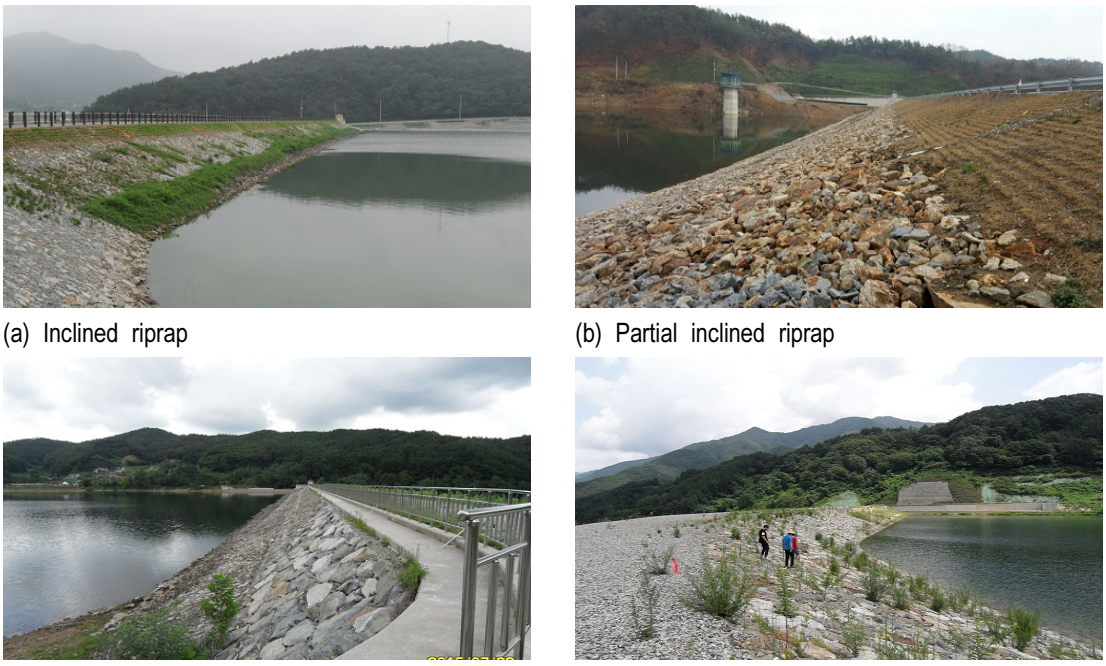
## 상류사면

Fig. 3은 둑 높이기 후의 상류사면의 특성 변화를 나타낸 것이다.

저수지 둑 높이기 사업의 대부분은 제체 덧쌓기로 시공되었고, 그 중 코어 시공시 경사형 방법이 수직형 방법보다 많은 것으로 나타났다. 경사형 제체 덧쌓기는 기존 저수지의 상류사면을 그대로 두고 기존 사석과 연결하여 새롭게 시공하는 방법으로 기존 사석에 문제가 있는 경우는 신설된 사석이 침하, 함몰, 공동현상이 나타났다. 또한 후면 덧쌓기 시공방법도 마찬가지로 기존사석을 그대로 두고 시공하는 방법이기 때문에 경사형 제체 덧쌓기와 동일한 문제가 나타났다. 현장조사 결과에서도 대부분의 저수지에서 깊이 10 cm-50 cm, 폭 30 cm- 150 cm, 길이 80 cm-2,000 cm 범위로 침하와 공동현상이 나타났다. 상류사면은 설계기준에 따라 사석으로 시공되어 있고 일부 저수지는 사면상단까지 사석으로 시공되어 월류, 파랑 및 유실을 방지하고 있었다. 향후 상류사면은 기존사석을 전체적으로 교체하고 신설사석을 시공할 필요가 있고, 사면 상단까지 시공하여 이상강우시 월류에 의한 사면붕괴를 예방해야 할 것으로 판단된다.

## 하류사면

하류사면은 둑 높임을 하면서 차수를 위해 기존제체의 중심코어에서 연결하여 둑 높이기 제당 상단까지 경사지게 연결하고 성토하는 경사형 제체 덧쌓기로 대부분 시공되기 때문에 전체사면이 새롭게 시공될 수 밖에 없다. 또한 후면 덧쌓기 시공방법도 하류사면 전체가 새롭게 시공되어 사면 경사와 높이가 증가되기 때문에 침하와 유실을 방지



(a) Inclined riprap (b) Partial inclined riprap

(c) Vertical riprap (d) Overall riprap

**Fig. 3.** Shape change and reinforcement of upstream slope.

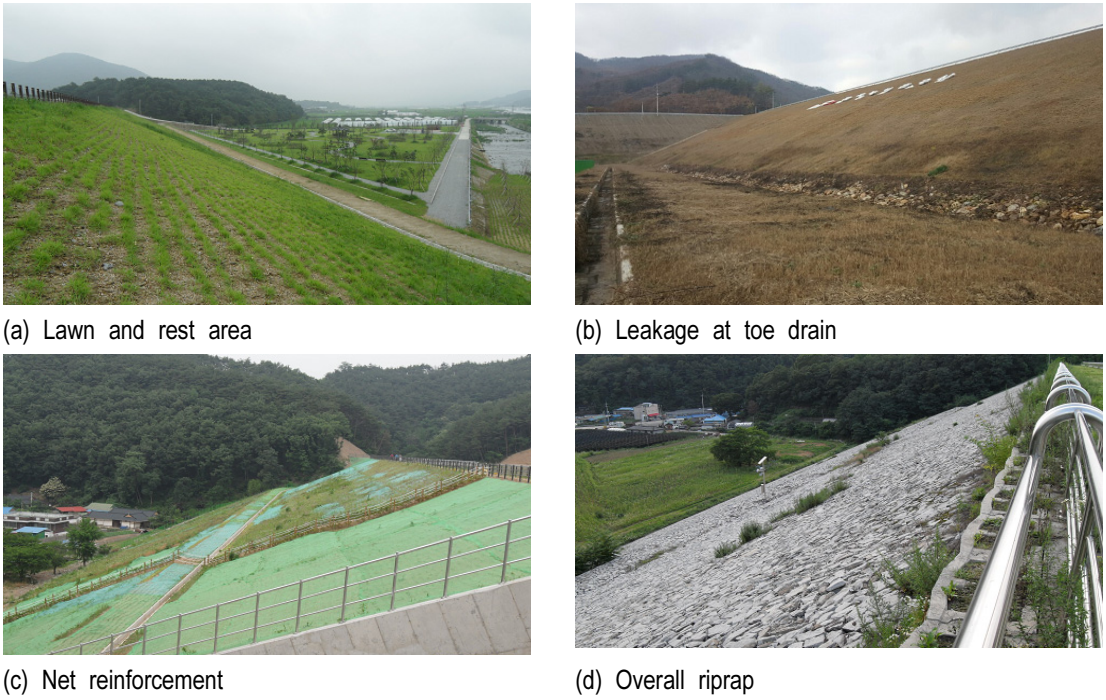
해야 한다. 또한 사면 소단과 하류부에 있는 측수로는 강우시 신속하게 빗물을 배제해야 하므로 토사유실로 인한 막힘 현상을 방지해야 한다.

Fig. 4는 둑 높이기 후의 하류사면의 특성 변화를 나타낸 것이다.

현장조사결과, 하류사면은 대부분 토사 사면으로 네트로 보강되고 초목류가 자생하고 있어 관리가 필요하며 일부 저수지는 사석으로 시공되어 이상강우시 월류에 의한 붕괴와 사면유실에 매우 효과적으로 대비하고 있었다. 침하 및 유실은 대부분의 저수지에서 발견되었고, 일부 저수지에서는 깊이 12 cm-45 cm, 폭 10 cm- 150 cm, 길이 15 cm-700 cm 정도로 침하와 유실이 발견되었다. 하류사면 하단에 있는 측수로는 식생과 강우로 인한 토사유실로 기능이 현저하게 감소된 곳이 많아 관리가 필요하고, 일부 저수지가 하류사면 하부에 지역민들을 위한 휴식공간과 체육시설 등을 조성하여 좋은 호평을 받고 있었다.

하류사면의 토우드레인 상부와 방수로 부근에서 길이 30-40 m, 폭 4 m의 띠모양으로 누수가 발생하여 파이핑 현상가능성이 있는 저수지도 발견되어 향후 토우드레인 부근의 누수량이 허용범위내에 있는지 주기적으로 측정하여 파이핑에 대한 안정성을 검토하여야 한다. 하류사면의 누수현상은 식생의 성장 상태로도 일부 확인할 수 있는데 누수량이 과다한 부분은 다른 부분보다 성장속도가 빠르기 때문에 세심한 관찰이 필요하다. 향후 하류사면은 토우드레인 부근과 방수로 부근에서 누수량을 주기적으로 측정하여 확인할 필요가 있으며 전체사면 높이의 30% 이상을 사석으로 시공하여 유실과 파이핑을 방지하고 사면안정을 증가시킬 필요가 있다고 판단된다.

현재 경사형과 수직형 제체 덧쌓기 방법은 기존 코어, 수직필터, 수평필터가 정상적이라는 판단하에 시공하지만, 대부분의 둑 높임 저수지가 50년 이상 경과되어 코어와 필터로서의 기능이 발휘하지 못하고 설계도가 없기 때문에 확인할 방법도 없다. 따라서 하류사면 시공시 이를 확인할 필요가 있고 기능이 정상적으로 작동되지 않는다고 판단된 경우에는 어느 위치에다 수직필터를 설치해야 하는지, 수평필터 간격, 깊이, 폭은 어떻게 조정할 것인지를 설계시 반영해야 할 것으로 판단된다.



(a) Lawn and rest area (b) Leakage at toe drain

(c) Net reinforcement (d) Overall riprap

**Fig. 4.** Shape change and reinforcement of downstream slope.

## 여수토 방수로(조절부, 급경사로)

둑높임 저수지의 여수토 방수로는 접근수로, 조절부, 급경사로, 감세공으로 구분되는데 현장조사시에는 감세공 부분은 접근이 불가하여 제외하였다. Fig. 5는 둑 높이기 후의 여수토 방수로의 특성 변화를 나타낸 것이다.

접근수로는 웨어전면에 사석과 개비온으로 시공되어 유실을 방지하고 있지만 대부분 보호공이 시공되지 않아 월류시 세굴의 위험성이 있는 것으로 나타났다. 접근수로내의 식생 및 잡물이 경미한 상태이지만, 접근수로 상부에서 일부 낙석, 잡목과 낡은 목선이 방치되어 수문조작을 방해하고 있다.

조절부 웨어는 대부분 콘크리트로 시공되어 있고 rubber, 전도게이트, 라디얼 게이트 형식도 있었으며, 일부에서는 웨어와 수문이 동시에 설치되어 있는 저수지도 있었다. 웨어 구조물에서 일부 균열과 함께 백태와 탈락, 피어와 벽체 구조물의 일부누수, 박리, 웨어 구조물의 손상 및 노후화가 경미한 상태로 나타났다.

급경사로에서는 누수현상과 함께 길이 10 cm, 폭 20 cm, 깊이 7 cm의 균열이 발견되었고, 바닥슬래브의 콘크리트 균열 및 손상이 경미한 상태로 판단되었으나 일부저수지에서 부등침하, 들뜸, 2 mm 이하의 단차가 존재하고, 백태, 횡 방향 균열, 바닥균열으로 인하여 노후화가 진행된 곳도 있었다. 횡방향 이음부에는 누수가 발생된 곳도 있고 이음부에서 5 cm 정도의 균열이 발견되어 보수가 필요한 곳도 있었다. 여수토 방수로의 사면은 대부분 급경사로 시공되어 불안한 상태이고 일부 저수지에서는 사면붕괴가 발생되었고, 저수지 입구 진입도로에도 사면붕괴가 발생되어 보강한 상태이다.

향후 여수토 방수로 설계시에 고려할 사항으로 웨어 전면부의 사석보강이 필요하고, 웨어 형식을 저수지 형태에 적합하게 설계하여야 할 것으로 판단된다. 급경사로는 전체가 콘크리트 구조물을 시공되어 균열, 누수가 발생되므로 정기적인 보수보강이 필요하다. 여수토 방수로 사면은 대부분 급경사로 시공되어 사면이 불안정하기 때문에 절취사면을 최소화하고 대신에 여수토 방수로 일부를 콘크리트 박스 형태로 시공하는 방법도 고려할 필요가 있다고 판단된다.

(a) Weir and riprap reinforcement
(b) Rubber gate
(c) Radial gate and bridge
(d) Weir and lift gate
(e) Spillway and slope failure
(f) Spillway and hydraulic energy dissipation

**Fig. 5.** Shape change and reinforcement of spillway.

## 상태평가지수 산정

Fig. 6 및 Table 5는 충남지역 13개 저수지의 복합부재의 평가지수 및 상태평가 등급을 나타낸 것이다. 그래프의 표시는 좌측부터 댐마루, 상류사면, 하류사면, 조절부, 급경사로, 복합부재의 상태평가지수를 나타내고 상단은 평가등급을 표시한 것이다.

댐마루는 모든 저수지에서 4.80-5.00 범위로 높게 나타났고, 상부사면은 3.75-5.00, 하류사면은 3.90-5.00, 조절부는 3.76-5.00, 급경사로는 2.60-4.75, 복합부재의 상태평가지수(E3)는 3.11-4.73, 상태평가 등급은 A 등급 1 개소, B 등급 9 개소, C 등급 3개소로 나타났다.

Fig. 7 및 Table 6은 충북지역 5개 저수지의 복합부재의 평가지수 및 상태평가 등급을 나타낸 것이다. 그래프의 표시는 좌측부터 댐마루, 상류사면, 하류사면, 조절부, 급경사로, 복합부재의 상태평가지수를 나타내고 상단은 평가등급을 표시한 것이다. 댐마루는 모든 저수지에서 4.00-5.00, 상부사면은 4.00-5.00, 하류사면은 3.90-4.40, 조절부는 3.60-5.00, 급경사로는 3.00-4.00, 복합부재의 상태평가지수는 4.00-4.49, 상태평가 등급은 B 등급 5개소로 나타났다.

Fig. 8 및 Table 7은 전북지역 6개 저수지의 복합부재의 평가지수 및 상태평가 등급을 나타낸 것이다. 그래프의 표시는 좌측부터 댐마루, 상류사면, 하류사면, 조절부, 급경사로, 복합부재의 상태평가지수를 나타내고 상단은 평가등

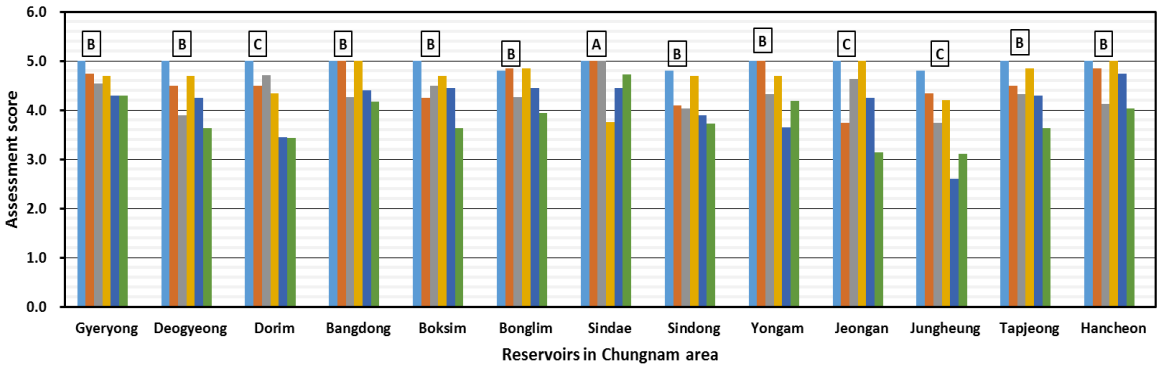



**Fig. 6.** Results of assessment score of reservoirs in Chungnam area.

**Table 5.** Results of assessment score and rating of reservoirs in Chungnam area.

| Classification | Gyeryong | Deogyeong | Dorim | Bangdong | Boksim | Bonglim | Sindae | Sindong | Yongam | Jeongan | Tapjeong | Hancheon |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Crest | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 4.80 | 5.00 | 4.80 | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 |
| Upstream | 4.75 | 4.50 | 4.50 | 5.00 | 4.25 | 4.85 | 5.00 | 4.10 | 5.00 | 3.75 | 4.50 | 4.85 |
| Downstream | 4.54 | 3.90 | 4.71 | 4.26 | 4.49 | 4.26 | 5.00 | 4.04 | 4.33 | 4.63 | 4.33 | 4.13 |
| Weir | 4.70 | 4.70 | 4.35 | 5.00 | 4.70 | 4.85 | 3.76 | 4.70 | 4.70 | 5.00 | 4.85 | 5.00 |
| Spillway | 4.30 | 4.25 | 3.45 | 4.40 | 4.45 | 4.45 | 4.45 | 3.90 | 3.65 | 4.25 | 4.30 | 4.75 |
| Composite | 4.30 | 3.63 | 3.44 | 4.17 | 3.64 | 3.95 | 4.73 | 3.73 | 4.19 | 3.14 | 3.64 | 4.04 |
| Rating | B | B | C | B | B | B | A | B | B | C | B | B |

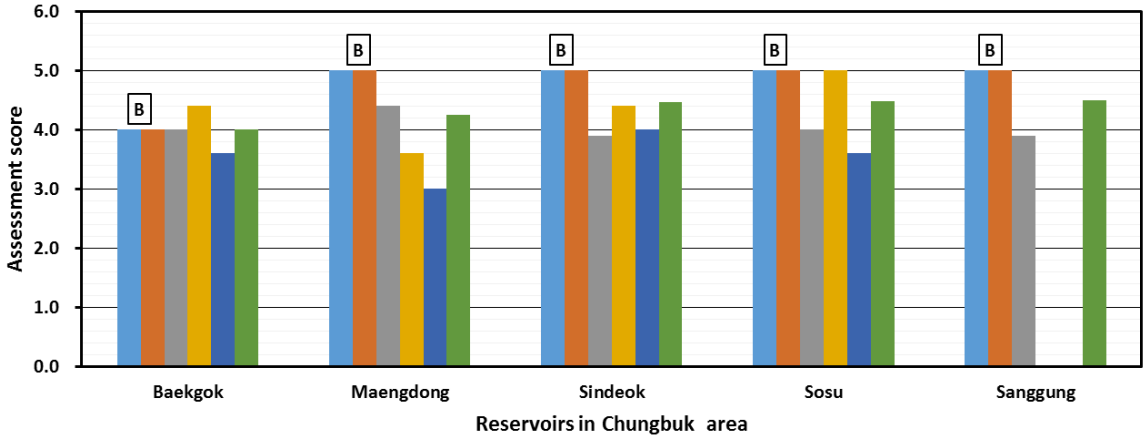



**Fig. 7.** Results of assessment score of reservoirs in Chungbuk area.

**Table 6.** Results of assessment score and rating of reservoirs in Chungbuk area.

| Classification | Baekgok | Maengdong | Sindeok | Sosu | Sanggung |
|---|---|---|---|---|---|
| Crest | 4.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 |
| Upstream | 4.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 |
| Downstream | 4.00 | 4.40 | 3.90 | 4.00 | 3.90 |
| Weir | 4.40 | 3.60 | 4.40 | 5.00 | Under construction |
| Spillway | 3.60 | 3.00 | 4.00 | 3.60 | " |
| Composite | 4.00 | 4.25 | 4.46 | 4.48 | 4.49 |
| Rating | B | B | B | B | B |

급을 표시한 것이다.

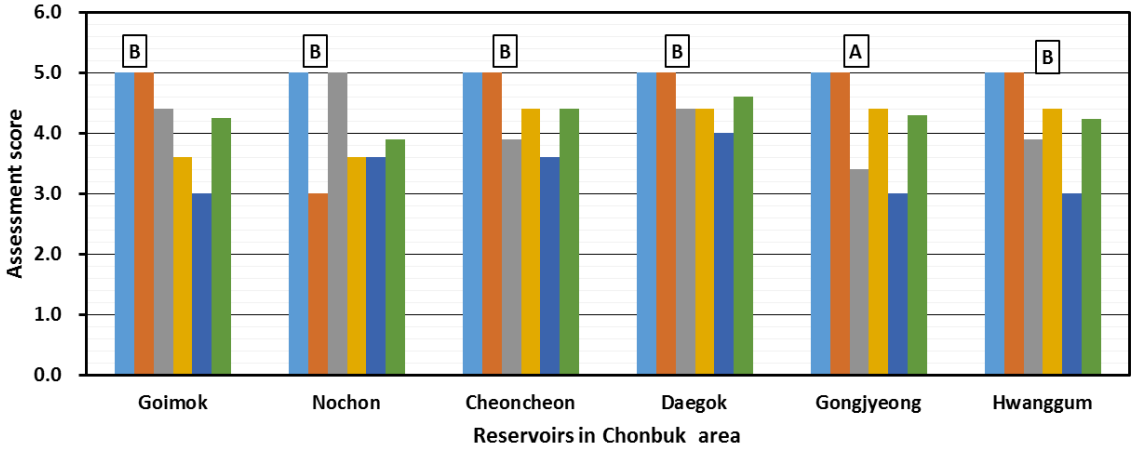



**Fig. 8.** Results of assessment score of reservoirs in Chonbuk area.

**Table 7.** Results of assessment score and rating of reservoirs in Chonbuk area.

| Classification | Goimok | Nochon | Cheoncheon | Daegok | Gongjyeong | Hwanggum |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Crest | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 |
| Upstream | 5.00 | 3.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 |
| Downstream | 4.40 | 5.00 | 3.90 | 4.40 | 3.40 | 3.90 |
| Weir | 3.60 | 3.60 | 4.40 | 4.40 | 4.40 | 4.40 |
| Spillway | 3.00 | 3.60 | 3.60 | 4.00 | 3.00 | 3.00 |
| Composite | 4.25 | 3.90 | 4.40 | 4.60 | 4.30 | 4.23 |
| Rating | B | B | B | A | B | B |

댐마루의 평가지수는 5.00, 상부사면은 3.00-5.00, 하류사면은 3.40-5.00, 조절부는 3.60-4.40, 급경사로는 3.00-4.00, 복합부재의 상태평가지수는 3.90-4.60, 상태평가 등급은 A 등급 1 개소, B 등급 5 개소로 나타났다.

전체적으로 평가지수와 등급이 양호하게 나타난 것은 댐마루, 상류사면, 하류사면, 조절부, 급경사로 등에서 평가항목별로 세분화하면 누수 및 침투, 균열, 침하 및 침식, 백태, 부식 등의 문제점들이 발견되었지만 복합부재로 평가지수를 산정하면 조정계수, 영향계수, 중요도 등의 요소가 고려되기 때문에 평가지수와 등급이 양호하게 나타나는 것으로 판단된다. 특히 00저수지는 수위가 낮은 상태에서도 하류사면에 누수현상이 심하기 때문에 만수시에는 파이핑 현상이 발생될 가능성이 매우 높은 상태이지만 평가등급은 B 등급으로 양호하게 나타났다. 현재 세분화 되어 있는 상태평가지수가 오히려 파이핑과 같은 저수지 붕괴 위험성이 높은 요소를 반영하지 못하므로 각 항목별로 중복되어 있는 평가내용을 축소 또는 통합하고 실질적인 위험인자에 대해 평가점수를 상향조정하는 방향으로 상태평가 내용과 방법이 수정되어야 할 것으로 판단된다.

연구대상 저수지가 둑높이기 사업으로 최근에 준공되었지만 주기적인 유지관리가 되지 못하고 있기 때문에 댐마루의 침식 및 유실, 상류사면의 사석 침하 및 공동현상 발생, 하류사면의 누수, 여수토 방수로 콘크리트의 균열 및 누수, 물넘이 전면의 사석 미설치, 여수토 측면의 사면 불안정 등이 다수 발견되었다. 따라서 향후 저수지 관리는 계측시스템을 설치하여 항상 모니터링을 실시해야 하고, 주기적인 정기점검을 통하여 이상여부를 판단한 후 합리적인 유지관리방법과 보수보강 방안을 마련해야 할 것으로 판단된다.

## 상태평가 항목의 조정

현재의 정밀안전진단 세부지침은 저수지의 상태를 세부적으로 평가할 수 있도록 평가방법 및 기준을 제시하고 있지만 소규모 저수지에 적용하기에는 평가항목이 너무 다양하고 복잡하여 많은 시간과 인력이 소요된다. 또한 소규모 저수지의 세부시설물은 재료 및 구조적인 특성이 대규모 저수지와는 다르기 때문에 안전성에 미치는 영향정도와 구조적 중요도를 고려하여 평가인자를 선정하고 평가점수를 조정할 필요가 있다. Table 8-13은 00저수지의 댐마루, 상류사면, 하류사면, 조절부, 급경사로에서 상태평가항목 기준에 의해 산출된 개별상태평가지수 결과를 나타낸 것이다.

**Table 8.** The assessment score of crest.

| Item | Type | Rating | Grade (M) | Effect factors (F) | Assessment score (E1 = M × F) |
|---|---|---|---|---|---|
| Longitudinal or transverse cracking | Critical defect | a | 5 | 1 | 5.00 |
| Settlement | " | a | 5 | 1 | 5.00 |
| Horizontal displacement | " | a | 5 | 1 | 5.00 |
| Erosion | " | a | 5 | 1 | 5.00 |
| Slope instability | " | a | 5 | 1 | 5.00 |
| 1. Condition assessment score (E2) = Minimum value (E1) | | | | | **5.00** |
| 2. Assessment rating | | | | | **A** |

**Table 9.** The assessment score of upstream slope.

| Item | Type | Rating | Grade (M) | Effect factors (F) | Assessment score (E1 = M × F) |
|---|---|---|---|---|---|
| Leakage | Critical defect | a | 5 | 1 | 5.00 |
| Settlement and deformation | " | a | 5 | 1 | 5.00 |
| Slope instability and protection | " | a | 5 | 1 | 5.00 |
| Erosion | Partial defect | b | 4 | 1.1 | 4.40 |
| 1. Condition assessment score (E2) = Minimum value(E1) | | | | | **4.40** |
| 2. Assessment rating | | | | | **B** |

**Table 10.** The assessment score of downstream slope.

| Item | Type | Rating | Grade (M) | Effect factors (F) | Assessment score (E1 = M × F) |
|---|---|---|---|---|---|
| Leakage | Critical defect | c | 3 | 1 | 3.00 |
| Slope instability | " | b | 4 | 1 | 4.00 |
| Slope protection | " | a | 5 | 1 | 5.00 |
| Settlement and deformation | " | c | 3 | 1 | 3.00 |
| Erosion | General defect | c | 3 | 1.3 | 3.90 |
| Vegetation | " | a | 5 | 1 | 5.00 |
| Animal holes | " | a | 5 | 1 | 5.00 |
| 1. Condition assessment score (E2) = Minimum value (E1) | | | | | **3.00** |
| 2. Assessment rating | | | | | **C** |

**Table 11.** The assessment score at control sector (Weir).

| Item | Type | Rating | Grade (M) | Effect factors (F) | Assessment score (E1 = M × F) |
|---|---|---|---|---|---|
| Apron | Partial defect | a | 5 | 1 | 5.00 |
| Pier and wall | " | a | 5 | 1 | 5.00 |
| Weir | " | a | 5 | 1 | 5.00 |
| Cavitation | " | a | 5 | 1 | 5.00 |
| 1. Condition assessment score (E2) = Minimum value (E1) | | | | | **5.00** |
| 2. Assessment rating | | | | | **A** |

**Table 12.** The assessment score of spillway.

| Item | Type | Rating | Grade (M) | Effect factors (F) | Assessment score (E1 = M × F) |
|---|---|---|---|---|---|
| Different settlement, scaling, faulting of floor slab | Partial defect | b | 4 | 1.1 | 4.40 |
| Concrete crack and damage | " | a | 5 | 1 | 5.00 |
| Damage and deterioration of wall | " | a | 5 | 1 | 5.00 |
| Damage of transverse joint | " | a | 5 | 1 | 5.00 |
| 1. Condition assessment score (E2) = Minimum value (E1) | | | | | **4.40** |
| 2. Assessment rating | | | | | **B** |

**Table 13.** Results of assessment score of compound member.

| Compound member | | | Individual facility: embankment and spillway | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Individual facility | Grade (M) | Score (E2) | Adjustment factor (A) | Weighted value (%) (W) | A × W | E2 × A × W |
| Crest | A | 5.00 | 1 | 40.0 | 40.00 | 200.00 |
| Upstream slope | B | 4.40 | 2 | 20.0 | 40.00 | 176.00 |
| Downstream slope | C | 3.00 | 3 | 20.0 | 60.00 | 180.00 |
| weir | A | 5.00 | 1 | 10.0 | 10.00 | 50.00 |
| Spillway | B | 4.40 | 2 | 10.0 | 20.00 | 88.00 |
| Total ($\Sigma$) | | | | 100.0 | 170.00 | 694.00 |
| 1. Condition assessment score {E3 = $\Sigma$ (E2 × A × W) / $\Sigma$ (A × W)} | | | | | | **4.08** |
| 2. Assessment rating | | | | | | **B** |

현행 상태평가 항목 및 기준에 의하여 개별상태평가지수 결과를 세부적으로 비교해보면 여러 가지 평가항목이 삭제, 축소, 통합이 필요한 것으로 판단된다. 또한 현재 평가는 너무 많은 내용으로 평가점수를 산정하다 보니 복잡하고, 평가항목중에서 어느 항목이라도 낮게 평가하면 개별부재 상태평가지수(E2)는 상태평가지수(E1) 중 최소값을 적용하기 때문에 복합부재 평가시 낮은 평가지수와 등급이 산출하게 된다.

댐마루에서 평가항목은 종·횡방향 균열, 침하, 수평변위, 제체유실, 사면불안정으로 구분되는데 이중 가장 큰 영향요소는 제체유실이므로 평가점수를 상향조정이 필요하고, 종·횡방향균열, 침하, 수평변위는 서로 연관성이 밀접하므로 동일한 점수로 조정하고 사면불안정은 오히려 상류사면과 하류사면에서 고려해야할 필요가 있다.

상류사면에서 평가항목은 누수, 침하 및 변형, 차수벽 노후화, 사면불안정 및 사면보호, 사면침식 등으로 구분된다. 누수는 하류사면의 누수 및 파이핑으로 연결되는 중요요소이므로 사석함몰, 유실, 공동 등을 누수에 포함시키고 세심한 육안관찰이 필요하며 정확한 측정을 위해서는 비저항 탐사를 이용한다. 사면 불안정 및 사면보호는 내용이

유사한 침하 및 변형에 포함시키고, 차수벽 노후화는 콘크리트 댐과 같은 특별한 경우에 해당되므로 점수를 하향조정이 필요하다. 사면침식은 상류사면은 사석으로 시공되어 사면침식이 발생되지 않으므로 하향조정할 필요가 있다.

하류사면의 평가항목은 누수, 사면불안정, 사면보호상태, 침하 및 변형, 사면침식, 식생, 동물의 굴 등으로 구분된다. 그 중 누수는 파이핑의 원인이 되는 가장 중요한 항목이지만 수위 상태에 따라 누수량이 다르게 나나타고 누수량을 어떻게 측정해야 하는지에 대한 방법이 고려되지 않았다. 현재 침투류 해석시 침투수량에 의해 안정성을 판단하는 기준을 1일 침투수량이 총 저수량의 0.05% 초과하거나, 제체길이 100 m당 1 L/sec 이상 일 때, 누수량이 저수지로의 유입량의 1%를 초과할 때, 저수위가 일정할 때 누수량의 변화가 1개월간에 10%이상 증가 할 때는 침투수량이 허용한계치를 넘는 것으로 규정(MAFRA, 2002)하고 있는데 이에 대해서도 고려하지 않고 있다. 따라서 평가항목중 누수는 평가점수를 상향 조정하고, 사면 불안정은 평가내용이 측정자에 따라 주관적이므로 내용이 유사한 침하 및 변형에 포함시키고, 사면침식은 삭제하고 내용이 유사한 사면보호상태에 포함시키며, 식생과 동물의 굴은 평가점수에 큰 영향을 미치지 않도록 조정이 필요하다.

조절부에서의 평가항목은 에이프런 구조물의 손상 및 노후화, 피어와 벽체 구조물의 손상 및 노후화, 월류부 웨어 구조물의 손상, 수문가이드, 각락 가이드 또는 수문 지수판에서의 공동화 현상으로 구분하여 평가한다. 각 항목별 평가내용 중 구조물의 손상 및 균열, 백태, 일부누수, 박리·박락, 세굴, 콘크리트 탈락 등은 노후화 상태에 따라 판단하는데 이는 측정자에 따라 주관적으로 평가할 수 있어 조정이 필요하다.

급경사로에서의 평가항목은 바닥슬래브의 부등침하, 들뜸, 단차, 바닥슬래브의 콘크리트 균열 및 손상, 벽체의 손상 및 노후화, 횡방향 이음부의 손상으로 구분하여 평가한다. 각 평가내용에 최상, 양호, 경미한 상태라는 문구는 측정자에 따라 주관적으로 평가할 수 있고, 단차 2-5 mm와 균열폭 1-5 mm 범위는 조정이 필요하며, 누수량을 측정할 수 있는 방법에 대한 설명이 필요하다.

## Conclusion

본 연구에서는 농업용 저수지의 재해예방 및 안전관리를 위하여 둑 높이기 사업이 완료된 충남, 충북, 전북지역 저수지에 대하여 현장조사를 실시하고, 둑 높임 후의 제체 특성변화와 각 시설물별로 상태평가를 비교분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 농업용 저수지 둑 높이기 방법은 제체 덧쌓기, 후면 덧쌓기, 이설쌓기 등을 기본으로 설계 시공되어 기존 물관리 기능에 산책로와 휴식공간 등의 친수공간 기능을 향상시켰고, 이를 바탕으로 향후 리모델링이 진행될 저수지는 둑 높임시 제체 중심축의 이동방법, 댐마루 쇄석 보호공법 적용, 상류사면 기존사석 교체, 하류사면 누수량 측정과 수직필터와 수평필터 설치방법 검토, 웨어 전면부의 사석보강, 급경사로 보수보강방법, 여수토 방수로 절취사면을 최소화하고 콘크리트 박스 형태로 시공하는 방법 등을 설계시 반영되어야 할 것으로 판단된다.
2. 저수지의 상태평가는 개별부재별로 댐마루, 상류사면, 하류사면, 조절부, 급경사로 구분하고 상태평가내용 및 기준에 의해 평가지수를 산출한 결과, 충남지역 13개 저수지의 복합부재 평가지수는 3.11-4.73 범위, A 등급 1개소, B 등급 9 개소, C 등급 3개소로 나타났다. 충북지역 5개 저수지의 복합부재 평가지수는 4.00-4.49 범위, B 등급 5 개소로 나타났고, 전북지역 6개 저수지의 복합부재 평가지수는 3.90-4.60 범위, A 등급 1 개소, B 등급 5 개소로 나타났다.
3. 농업용 저수지 둑 높이기 사업이 완료된 충남지역 13개소, 충북지역 5개소, 전북지역 6개소에 대하여 현장조사를 실시한 결과, 최근에 준공되었지만 댐마루, 상류사면, 하류사면, 조절부, 급경사로 등에서 침하, 유실, 사면불안정, 누수, 사석 침하 및 공동현상 발생, 콘크리트 균열 및 손상, 물넘이 전면의 사석 미시공, 식생, 여수로 측면의 사면 불안정 등의 문제점이 있는 것으로 나타났다. 따라서 향후 저수지 관리는 계측시스템을 설치하여 모

니터링을 실시해야 하고, 주기적인 정기점검을 통하여 이상여부를 판단한 후 합리적인 유지관리방법과 보수보강 방안을 마련해야 할 것으로 판단된다.

4. 현재의 정밀안전진단 세부지침을 소규모 저수지에 적용하기에는 평가항목이 너무 다양하고 복잡하여 경제적 비용과 시간이 소요되고, 상태평가 항목 및 기준에 의하여 세분화 되어 있는 상태평가지수가 오히려 파이핑과 같은 저수지 붕괴 위험성이 높은 요소를 반영하지 못하므로 각 항목별로 유사하고 중복되어 있는 평가내용을 삭제, 축소, 통합하여 실질적으로 영향을 미치는 위험인자만을 선정하는 방향으로 상태평가항목과 기준이 개선되어야 할 것으로 판단된다.

## Acknowledgements

이 연구는 2014년도 충남대학교 학술연구비와 2015년도 충남대학교 공무국외여행(파견) 및 2015년도 정부 (교육부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행되었음(과제번호 : NRF-2011-0011920).

## References

ANCOLD. 2003. Australian national committee on large dams. Guidelines on risk assessment. http://www.ancold.org.au/publications.asp

Antunes DO, Carmo JS. 2013. Guidelines and tools to properly design and manage reservoir-dam systems. pp. 81-119. Nova science publishers. Inc.

Bowles DS. 2001. Evaluation and use of risk estimates in dam safety decision making. Proceedings of the united engineering foundation conference on risk-based decision-making in water resources IX. American Society of Civil Engineers.

Cleary PW, Prakash M, Mead S, Lemiale V, Robinson GK, Ye F, Ouyang S, Tang X. 2015. A scenario-based risk framework for determining consequences of different failure modes of earth dams. Nat Hazards 75:1489-1530.

Costa LM, Alonso EE. 2009. Predicting the behavior of an earth and rockfill dam under construction. Journal of Geotechnical and Geoenvirnmental Engineering 135:851-862.

Donnelly CR, Stephen CD, Jamieson K, Perkins S, Hinchberger S. 2015. A description of their application of a new quantitative dam safety risk assessment tool for risk-informed decision making. Conference Hydrovision.

Fell R, Wan CF, Cyganiewicz J, Foster M. 2003. Time for development of internal erosion and piping in embankment dams. Journal of Geotechnical and Geoenvironment Engineering ASCE 129:307-314.

FERC. 2012. Federal guidelines for dam safety risk management. Federal Energy Regulatory Commission.

FEMA (Federal Emergency Management Agency). 2004. Federal guidelines for dam safety; hazard potential classification system for dams. National dam safety program.

Foster M, Fell R, Spannagle M. 2000. The statistics of embankment dam failure and accidents. Canadian Geotechnical Journal 37:1000-1024.

ICOLD. 2005. Risk Assessment in Dam Safety Management: A reconnaissance of benefits. Methods and current applications. International Commission on Large Dams (ICOLD) Bulletin 130.

Kim MH, Lee DW. 2009. Safety evaluation of reservoir embankment by instrument system. Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers 51:33-43. [in Korean]

Kim YI, Yeon KS, Kim KS, Jeong JW, Kim YS. 2011. An experimental study of reservoir failure phenomena according to transitional zone: spillway scour during overflow. Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers 53:27-33. [in Korean]

Korea Rural Community Corporation (KRC). 2011. The project of raising embankment of agricultural reservoir. http://www.ekr.or.kr.

[in Korean]

Korean Society of Agricultural Engineers (KSAE). 2013. Rural resources, Magazine of the Korean Society of Agricultural Engineers 55:5-50. [in Korean]

Kumar C, Sreeja P. 2012. Evaluation of selected equations for predicting scour at downstream of ski-jump spillway using laboratory and field data. Engineering Geology 129:98-103.

Lee DW, Lee YH. 2012. Behavior of pore water pressure of agricultural reservoir according to raising embankment. Journal of Korean Society of Agricultural Engineers 54:11-17. [in Korean]

Lee DW, Noh JJ. 2014. Behavior of failure agricultural reservoirs embankment reinforced by geotextile under overtopping condition. Journal of Korean Society of Agricultural Engineers 56:59-64. [in Korean]

Lee JK. 2014. Development of integrity evaluation model for small reservoirs and dams using the Analytic Hierarchy Process. Ph.D. Incheon National University. [in Korean]

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM). 2011. The 4 major rivers restoration. http://4rivers.go.kr. [in Korean]

Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), Korea Rural Community Corporation (KRC). 2013. Statistical yearbook of land and water development for agriculture. [in Korean]

Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). 1982. 2002. Agricultural infrastructure fill dam design standards. [in Korean]

Minister of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM), Korea Rural Community Corporation (KRC). 2011. Guidelines for reservoirs precision safety inspections. [in Korean]

Minister of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM), 2011. Guidelines for dam design. [in Korean]

Munger DF, Bowles DS, Boyer DD, Davis DW, Margo DA, Moser DA, Regan PJ, Snorteland N. 2009. Interim tolerable risk guidelines for US Army Corps of engineers dams. 32nd United States Society on Dams Annual Conference 20-24

Noh JJ, Lee DW. 2014. Behavior of failure for embankment and spillway transitional zone of agriculture reservoirs due to overtopping. Journal of Korean Society of Agricultural Engineers 56:71-79. [in Korean]

Passey M, Bennett T, Zielinski A, Donnelly CR. 2014. Dam safety management plans: a conceptual framework for risk-informed decision making in Ontario. Canadian Dam Association Annual Conference.

Salazar FR, Morán MÁ, Toledo E Oñate. 2015. Data-based models for prediction of dam behaviour: a review and some methodological considerations. Springer.

Sun Y, Chang H, Miao Z. Zhong D. 2012. Solution method of overtopping risk model for earth dams. Safety Science 50:1906-1911.

USACE. 2011. Safety of dams-policy and procedures. U.S. Army Corps of Engineers. ER 1110-2-1156.

USBR. 1997. Guidelines for achieving public protection in dam safety decision making. Dam Safety Office. US Bureau of Reclamation.

USBR. 2011. Interim dam safety public protection guidelines-a risk framework to support dam safety decision making. US Bureau of Reclamation.

USBR. 2012. Best practices in dam and levee safety risk analysis-a joint publication. U.S. Department of the Interior. Bureau of Reclamation. U.S. Army Corps of Engineers.

Zhou X, Zhou J, Du X, Li S. 2015. Study on dam risk classification in China. Water Science and Technology. Water Supply 15:483-489.