

재해예방 및 안전관리를 위한 노후 저수지의 사회적 환경 고찰 및 제언

Study on Social Environment of Deterioration Reservoir for Disaster Prevention and Safety Management



이영학
국립재난안전연구원 / 선임연구원
fulian3208@korea.kr



송효성
국립재난안전연구원 / 선임연구원
song32@korea.kr



이승재
국립재난안전연구원 / 연구원
seungje1215@korea.kr



백성민
국립재난안전연구원 / 연구보조원
bsmbus77@naver.com



심재웅
농어촌연구원 / 수석연구원
jonathan@ekr.or.kr



이달원
충남대학교 / 교수
dwlee@cnu.ac.kr

1. 서언

대부분 흙으로 축조된 저수지의 내구연한은 50년으로 보는데, 이는 저수지 생애주기 내 필연적으로 발생하는 국부적 사면파괴, 파이핑, 월류, 침하, 토사 유실, 누수 등의 원인과 구조물 결함으로 인한 여수로, 취수시설의 파손 문제, 그리고 이에 대한 보수·보강을 포함하여 저수지 안정상태를 유지할 수 있는 한계 기간이 50년이라는 시각에 기인한다. 이 시각은 ICOLD (International commission on large dams)에서 50년 이상 운영되어 온 많은 수의 흙댐이 설계수명에 도달하여 저수지가 노후화 징후를 보이고 피해 발생확률과 유지관리 비용이 증가되는 시점으로 설명하고 있다 [1,2,3,4].

우리나라의 농업용 저수지(이하 저수지)는 2021년 기준 17,080 개소가 있으며, 50년 이상 경과된 저수지는 14,770 개소로 전체 저수지의 약 86.5%를 차지하고 있다. 또한, 저수지는 흙댐 형식이 99.9%를 차지하며, 그 외 콘크리트댐이나 사석댐은 0.1% 이내로 보고되고 있다[5]. 흙댐은 콘크리트댐에 비하여 재료자체의 다양한 공학적 성질과 불균질성으로 인해 침투거동 추정이 어려운 측면이 있으며[6], 이는 저수지 규모 및 형식, 축조재료, 유지관리 상태, 강우 등의 외부 환경에 따라 내구연한도 다르게 나타날 수 있다. 따라서, 준공 후 50년 이내의 저수지에 대하여 어느정도 안정성을 보장할 수 있는가 보다는 50년에 도달하지 않았더라도 재해 발생확

물이 광범위하고 불확실성이 많다고 보는 관점이 적합할 것이다.

Fig.1은 저수지의 변화추이를 보여준다. 우리나라에서 50년 이상 경과된 저수지는 매년 평균 1.1%씩 지속적으로 증가하는 반면, 30년 이내 저수지는 감소하고 있다. 이 증감추이는 2016년도를 기점으로 차이가 더 벌어지는데, 이는 1960년대에 축조된 많은 저수지가 50년을 경과하기 시작하면서 나타난 수치에 기인한다. 50년 이상 경과된 저수지의 증가추이는 과거 연도별 데이터를 평균화하여 다소 과소하게 산정한다 해도 향후 2030년은 무려 92%에 이르게 된다. 이러한 현실은 향후 장마철 강우나 침투문제로 인한 제체 파손 및 붕괴위험이 현재보다 크게 심화될 수 있으며, 우리나라 사회가 ‘위드 노후 저수지’ 시대를 맞이하여 재해에 노출된 사회와 공존하고 있다는 사실을 상기시킨다.

최근 기상이변에 따른 장마철 집중호우 강도가 갈수록 강해지고 있는 추세에 있으며, 유사시 저수지 붕괴는 관련 지역에 사회·경제적으로 파급효과 매우 클 것으로 판단된다. 따라서, 본고에서는 최근 자료 및 현재 저수지 관리 현황을 반영하여 노후 저수지의 축조 당시의 환경을 고찰하고 현실적으로 직면해 있는 장마철 집중호우에 의한 재해 위험성, 내구연한 대비 시설물 기능 여부,

유지관리 등 향후 연구·제도적 개선방향에 대하여 제언하였다.

2. 저수지 붕괴 및 사고에 대한 고찰

2010~2020년 저수지 붕괴 및 사고는 Fig.2(a)와 같이 노후화에 의한 내부침식과 강우에 의한 피해로 대별된다[7]. 이 중 내부침식은 보통 결함으로 인한 문제가 11개소(약 11%)로 대부분을 차지하며, 강우의 경우 여수토 경계부 붕괴, 월류, 사면파괴 등 90개소(약 87%)로 우리나라는 강우에 의한 피해가 지배적이라는 사실을 알 수 있다. Fig.2(b)는 제체 구조 형식에 따른 붕괴 및 사고 사례를 나타낸 것이다. 존형(Zoned type)에서 발생한 피해는 55건으로 가장 많고, 중심코어형(Core type)은 24건, 균일형(Homogeneous type)은 25건으로 나타났다. 일반적으로 댐 구조 형식에서 존형은 구조적으로 가장 안정적이지만 이는 침투와 누수에 대해 제체 내 구조적 측면에서 안정에 유리하다는 의미이며, 실제적으로 강우에 직접적으로 접촉되는 상류 및 하류사면에서 침식, 토사유실 등의 피해가 반영된 결과로 볼 수 있다. 상기의 결과는 흙으로 축조된 저수지의 경우 댐 구조형식과 무관하게 강우문제에 취약하다는 사실을 보여준다.

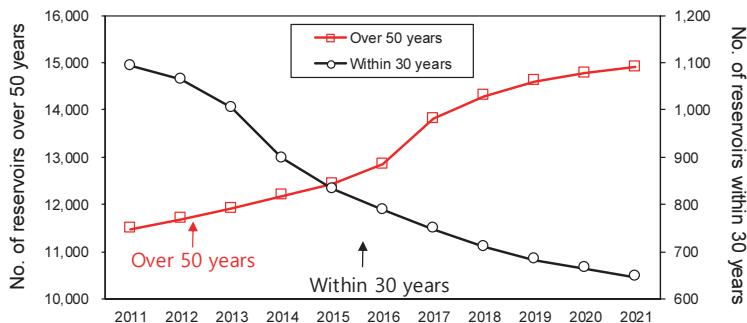


Fig 1. Trend of changes in the number of agricultural reservoirs

Fig.3은 장마철 강우량(2000 - 2020)과 저수지 제체 붕괴사례를 나타낸 것이다[10,11]. 2020년은 역대 최장인 54일간(6.24~8.16)의 집중호우에 의해 이례적으로 저수지 22개소가 붕괴되었으며, 이 기간 동안 사망 41명, 실종 3명, 수리시설 1,057개소 및 농경지 60,191ha의 피해가 발생하였다[7,8]. 흠뻐 형식은 침투문제에 취약하지만 매년 강우에 의한 저수지 붕괴는 평균 1~3건에 불과하여 2020년도와 같은 저수지 붕괴의 급증은 통계에서 주목할 만한 결과이다[9]. 일반적으로, 강우량이 많고 강우지속기간이 길어질수록 시설물에 피해가 많이 발생하는 것은 사실이나, 저수지 붕괴는 전년대비 장마철 강우량이 비교적 적은 환경에서도 붕괴되는 등 불규칙한 양상을 나타내어 장마철 강우량과 제체 붕괴와의 관계성은

일관성이 다소 떨어진다. 이는 단순히 장마철 강우량으로만 제체 붕괴를 추정할 수 없으므로, 강우량 이외에도 제체 붕괴 요인을 다음과 같이 고찰하였다.

- i) 장마철 태풍 발생 당시 저수지는 붕괴되지 않았으나, 육안으로 확인되지 않은 손상이 제체 내부에서 발생되고 시간 경과에 따라 공동 또는 내부침식으로 발전하는 경우
 - 부속구조물(복통 등)의 결함으로 인한 제체 취약부가 형성된 조건에서 강우로 인해 누수경로 확장과 같은 이상 상태가 촉발되고 차년도 임계점을 초과하여 붕괴되는 경우
- ii) 제체 구성존의 투수성, 강도 감소 등 제체

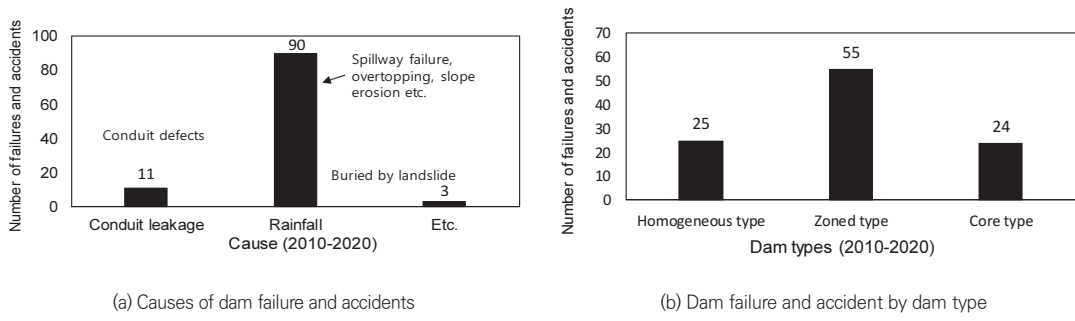


Fig 2. Statistics of reservoir accidents and failures

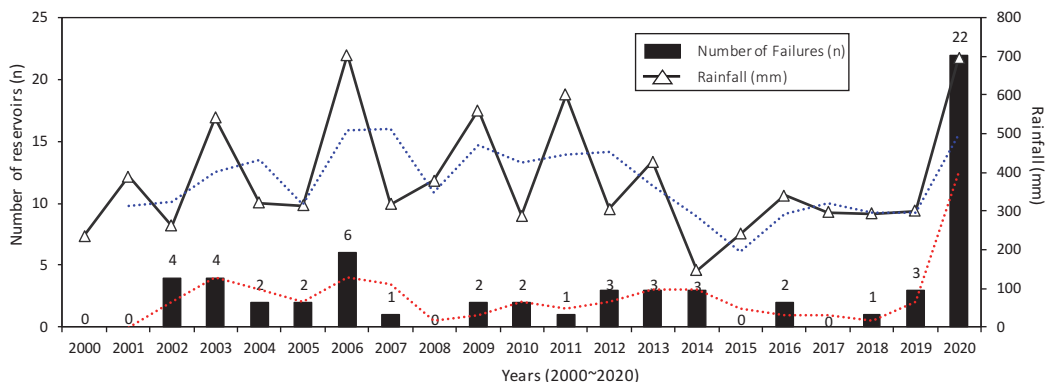


Fig 3. Relationship between monsoon rainfall and reservoir failures

자체의 상태 악화로 인해 점진적으로 붕괴에 취약한 구조로 변모되어 차년도에 붕괴되는 경우

상기의 추론은 2020년 비정상적으로 급증한 저수지 붕괴사고의 원인을 과거보다 심화된 기상변동의 영향으로만 특정할 수 없으며, 제체 유실 등 흙 시설물의 재료 소모적 특성을 고려하여 시간 경과에 따른 저수지 상태 변화에 착안할 필요가 있음을 시사한다.

또 다른 관점으로는 최근 몇 년간 저수지 붕괴 사고가 잇달아 발생하면서 저수지 관련 유관기관이 사회적으로 안전관리 미흡에 대한 지적을 받고 있으나, 강우특성을 별도로 보더라도 저수지 제체 자체에 어떤 문제 또는 결함으로 인해 붕괴가 발생되었는지도 그 배경에 대해서 고찰할 필요가 있다. 이는 안전관리 미흡이 주요 원인이라고 하기에는 우리나라 저수지가 일제강점기, 한국전쟁과 같은 역사적 환경과 경제상황 등이 복잡하게 얽혀진 상황에서 축조된 사례가 많기 때문이다[12]. 따라서, 저수지 축조 당시의 건설환경을 통해 과거로부터 현재에 이르기까지 저수지 관리와 관련된 우리나라의 사회적 환경을 살펴볼 필요가 있다.

3. 저수지 축조당시의 환경 고찰

2021년 기준 우리나라의 저수지 17,080개소 중 일제강점기(1945년 이전)에 축조된 저수지가 8,667 개소(50.7%)로 당시 한반도는 일제의 병참기로서 쌀 생산량 증대의 목적에서 축조된 저수지가 많았다. 해방 이후에는 한국전쟁 발발과 재건 시기(1946~1971)를 거치면서 6,103개소(35.7%)가 축조되었다. 이 두 시기에 축조된 저수지는 무려 14,770 개소(86.5%)로 오늘날 노후 저

수지 대부분을 차지하고 있다. 여기서 주목할 점은 당시의 축조형식과 시공환경, 경제상황이다.

첫 번째는, 1970년까지 건설된 대부분의 저수지 제체는 균일형으로, 제체 높이 15m 이내이며 필터 또는 Toe-drain 등이 없는 제체가 많아 침투로 인한 누수에 취약한 구조이다. 균일형 제체는 차수하는 Core 존이 없어 제체 내에 형성된 침윤선이 높을 수 밖에 없으므로 유사시 붕괴에 쉽게 노출되는 문제점이 있다. 특히 홍수조절 기능 없이 축조된 저수지가 비정상적으로 많아 장마철에 붕괴 위험성이 높아지는 현상이 매년 반복되고 있는 실정이다.

두 번째는, 당시의 열악한 시공환경으로 건설장비 미흡, 건설자재, 시공기술, 축조기간 부족 등 당시 건설환경은 장기적인 저수지 안전성 및 유지관리 측면을 고려하여 축조되었다고 보기에는 어려운 환경이었다. 특히, 1945년 이전은 현대와 같이 내구연한이라는 개념이 접목되지 않았고, 경험에 의존된 보수적인 방법으로 축조되었다. 1960년 이전에 축조된 저수지는 소위 ‘밀가루 댐’이라고도 불리는데 이 용어의 유래는 외국에서 원조받은 밀가루를 노임대신 배급해서 축조된 댐이라는 의미로 사용되었고[13], 이에 더해 댐의 구조와 강도, 설계상의 문제로 댐이 밀가루처럼 풀리기 쉬운 불안정한 제체를 빗댄 말로 사용되기도 하였다. 그만큼 당시의 저수지 건설환경은 현재와 비교하여 열악한 상황에서 축조되었음을 간접적으로 추론할 수 있다. ICOLD에서도 댐 붕괴의 가장 흔한 원인중에 하나는 댐 건설에 사용되는 재료의 구조적 결함과 부실한 유지관리로 지목하고 있다[1]. 현재는 과거보다 한층 강화된 저수지 점검 및 유지관리로 인해 재해 위험성이 많이 감소된 상황이나 최근 극한강우의 빈번한 발생과 노후 저수지 급증은 또 다른 문제로 이어져 저수지 제체의 불

안정성을 증가시키고 있다.

세 번째는, 경제상황으로 우리나라는 1970년대부터 미국과 일본 등 선진국의 기술과 자본, 민간 투자의 증가에 의해 대규모 개발사업 등으로 단기간에 세계에서 유례없는 급속한 성장을 이룩하였다. 그러나 저수지는 유사시 피해규모가 대규모 댐과 비교하여 현저하게 낮았고 재해발생 이후 하류부 수해, 단전 등 2차 피해 및 복합재난으로 크게 발전되지 않는 이상 부분적인 보수·보강이 주를 이루어 왔으며, 보수·보강도 주로 30만 톤 이상의 저수지에 집중되었다. 또한, 교량, 철도, 터널, 연약지반 개량 등 주요 토목사업에 치중된 시기였던 만큼 경제환경의 변화속에서 저수지 방재 관련 연구는 다소 관심이 적은 상태로 지속되었다. 이러한 복합적인 요인들에 의해 노후 저수지는 사회의 급속한 발전과 더불어 오늘날 재해위험성이 높은 시설물로 변모된 것으로 보는 것이 적합할 것이다. 농어촌공사(KRC)에서는 이러한 재해 위험성을 대비하기 위한 다양한 시스템을 구축·운영하고 전문화된 기술력으로 잠재적인 저수지 붕괴 위험성에 대비태세를 갖추고 있으나, 점차적으로 심화되고 있는 기상변동과 강우강도는 제체 위험성 예측을 더욱 어렵게 하고 있다.

재해예방을 위한 저수지 안전관리는 분기별 정기점검과 긴급점검, 정밀안전점검, 정밀안전진단의 과정으로 세분화되어 정기적으로 이루어지고 있으나, 상기와 같이 저수지 축조 당시의 상황을 감안하면, 안전관리 미흡의 관점보다 장마철 강우량과, 축조당시 열악한 건설환경, 노후화 문제가 연계되어 재해 발생확률을 높였다고 볼 수 있다.

4. 노후 저수지 재해예방에 대한 고찰

2008년 제정된 「저수지·댐의 안전관리 및 재

해예방에 관한 법률(약칭: 저수지·댐 법)¹⁾은 관리주체와 그에 따른 안전관리 업무의 차이에 따른 혼선을 개선하고 국가차원에서 일원화된 안전관리 체계를 구축함으로써 대규모 인명과 재산 피해를 사전에 방지할 수 있는 제도적 장치를 마련하는 것이 목적이라 할 수 있다[14].

해당법에서는 재해위험 저수지·댐에 대한 위험지구지정, 정비사업 등 저수지 관리에 대한 포괄적인 내용을 담고 있으나, 노후 저수지의 재해 위험도에 대해서는 내용상 보다 구체적으로 보완되어야 할 필요가 있다. 노후 저수지에 대한 위험성은 2000년대부터 꾸준히 제기된 문제이나, 접근이 어려운 이유는 제체상태는 양호하였으나 강우가 원인이 되어 월류, 침식으로 붕괴된 사례도 있고, 제체상태가 불량하여 이미 붕괴조짐이 있었는데 강우가 트리거(trigger)가 되어 붕괴된 사례 등 불분명한 점이 많기 때문이다.

따라서, 노후 저수지는 재해예방 측면에서 신설된 저수지를 포함한 일반 저수지와 별도로 분리할 필요가 있다. 현행 「저수지·댐의 안전관리 및 재해예방에 관한 법률」에서 제도적·연구적으로 보완이 필요한 사항을 다음과 같이 요약하였다.

4.1 재해 위험성에 대한 방재(防災)-감재(減災) 측면에서 분리 대응 필요

일반적으로 감재는 큰 틀에서 방재에 종속된 개념으로 이해되고 있다. 저수지와 같은 흙시설물의 입장에서 보면 상류에서 흘러오는 물이 제체를 월류하지 않고 방류될 수 있는가 여부와 평상시 제체 내부 침투수를 안정적으로 배출시킬 수 있는가의 문제로 분류할 수 있다. 따라서, 홍수나 침수와 같은 면적단위 재해개념이 아니라 일차적인 방어벽으로써 구조적인 안정역할이 충실히 수행되

고 있는지가 중요하다고 할 수 있으며, 저수지 제체에 작용되는 재해성격에 따라 방재와 감재를 완전히 분리하여 대응할 필요가 있다. 여기서, 방재는 월류의 원천 차단이 가능하도록 하는 방법으로 제체 덧쌓기, 사이펀 여수로, 월류유도 수로, 월류방지 구조물(parapet, gabion) 등의 방법이 대표적이다. 감재는 월류로 인한 사면파괴, 여수로 경계부 붕괴, 복통 결함으로 인한 내부침식 등 제체 손상이 최소화될 수 있도록 유도하는 방법이며, 주로 필터부 강화, 사면보강, 취약부 재료 치환 등 다양한 방법이 있다. 기상환경 및 저수지 환경에 따라 방재와 감재의 명확한 분류는 향후 많은 수의 저수지에 대하여 용이한 운영체계를 제공할 것이다.

4.2 시설물 수명 증대 기술개발 및 내구연한 재산정

내구연한은 시설물 기한 내 유지관리를 어떻게 통제하고 관리하는가에 달려있다. 일본 농림수산성에서도 시설물 장수화 프로젝트를 시작하는 등 향후 시설물 노후문제에 대한 대책을 강구하고 있다. 흙 시설물의 재료 소모적 특성으로 인해 제체의 몸체 강도가 약화되므로 수명 증대를 도모할 수 있는 신기술·기술접목 등에 관한 연구영역의 활성화가 필요하다. 좋은 예로, 2022년 한국건설기술 연구원(KICT)에서는 바이오 폴리머를 활용한 골재혼합토를 제체에 활용하여 월류시 제체 붕괴를 지연시키는 방안을 제시한 바 있다[15]. 향후 노후 저수지 재해 위험성이 높아지는 가운데 시설물 수명 증대사업이 주목받을 것으로 전망하며, 기술이 적용된 제체에 대한 내구연한도 새롭게 평가·산정되어야 할 것으로 판단된다.

4.3 보수·보강 완료 이후의 운영관리 방안

일차적으로 보강이 완료된 경우라 해도 누수 등이 이차적으로 발생 또는 위험 소지가 있는 경우 운영관리 및 대책이 추가될 필요가 있다. 일례로, 하류사면의 누수를 방지하기 위해 Core존을 천공하여 한차례 그라우팅(Grouting)이 실시되었음에도 불구하고 이차적으로 누수가 발생된 경우에 어떻게 처리할 것인가 하는 문제에 대해 세부적으로 논의될 필요가 있다.

4.4 Remodeling 또는 철거 기준의 적정성

2030년이면 노후 저수지가 약 92%를 차지하게 된다. 미국이나 일본에서도 관련 댐 철거에 대하여 경제성, 환경성, 사용성 등의 관점에서 다양한 방식으로 논의하고 있다. 본고에서 말하는 저수지 철거는 사용성과 재해위험성으로 분류하여 실시하는 것이다. 내구연한에 다다른 저수지에 한하여 치수, 입지, 주민 편의시설 등을 활용도가 높은 경우 안정성 강화를 추가하여 Remodeling을 실시한다. 반대의 경우 철거하여 재해 위험성 제거가 필요하며, 이를 위한 적정한 근거가 마련되어야 할 것이다. 이 과정을 통한 철거 기준의 판정과 이를 시행할 수 있는 제도체계 확립도 향후 저수지 관리에서 중요한 부분이 될 것으로 판단된다.

5. 맺음말

2020년 이래적으로 발생된 저수지 22개소 붕괴사례는 우리나라가 재해와 공존하는 사회임을 여실히 보여주며, 재해예방 및 저감 부문에 더 많은 연구가 필요함을 보여주었다. 그동안 저수지 제체는 쉽게 붕괴되지 않을 거라는 인식이 있었

으나, 노후 저수지의 급증과 점차적으로 심화되는 강우 변동성, 그리고 축조당시의 건설환경을 고려하면 우리사회는 과거와 비교할 수 없는 재해환경이 변화된 환경속에서 살고 있다는 점을 인식할 필요가 있다.

저수지 축조당시 건설환경 고찰을 통한 저수지 붕괴 재해는 안전관리 미흡의 관점보다 장마철 강우량, 축조 당시 열악한 건설환경, 노후화 문제가 연계되어 재해 발생확률이 높아진 시각이 적절해 보이며, 향후, 노후 저수지 제체의 안정성을 증대시키고 재해저감을 위한 저수지 리모델링 사업을 지속적으로 추진하기 위해서는 경제적 및 제도적 방안이 마련되어야 할 것으로 판단된다. 저수지의 재해 위험성을 최소화하기 위해 우선적으로 방류 능력을 키우고, 보강 시 콘크리트 등 구조물과 성토존 경계부 등 대단위 면적으로부터 감압이 가능한 조건에 충족되도록 할 필요가 있다. 또 다른 방법은 재해 조건뿐만 아니라 가뭄에도 대비하는 측면에서 과거 한차례 전국적으로 시행되었던 저수지 둑 높이는 재해 발생확률과 가뭄의 영향을 최소화 할 수 있는 현실적인 대안이 될 수 있다.

‘위드 노후 저수지’ 시대를 맞이하여 노후 저수지의 재해예방 및 안전관리 방안 마련은 국가적·사회적 안정화 측면에서 중요한 현안과제로 보아야 하며 사회적 관심도 필요하다. 이와 관련하여, 재난 발생 시 국민들의 대처 방식에 따라 피해 규모도 크게 달라지므로, 2차 피해 및 복합 재난에 대한 대처 능력을 강화하기 위한 다양한 캠페인과 재난체험 등의 프로그램 교육도 국가차원에서 많은 홍보가 되어야 할 것이다. 한편, 저수지 재해는 월류, 침식, 누수, 사면붕괴 등 각 요소가 유기적이고 복합적으로 연계되어 있어 재해 추적이 어렵다. 따라서, 연구인력과 유관기관의

참여를 지속적으로 유도할 필요가 있으며, 연구분야에서도 자유롭고 다양한 의견개진이 이루어질 수 있도록 창구를 별도 신설하여 정책반영이 될 수 있는 장을 마련하는 노력이 필요하다. 이러한 일련의 과정들은 해마다 증가하는 노후 저수지의 붕괴재해 및 유사시 피해규모 저감, 유지관리 효율화 등 노후 저수지로 인한 재해위험성 저감을 인위적이면서도 긍정적으로 이끌어낼 수 있으므로 지역사회 안정화에 기여하는 바가 클 것으로 판단된다.

참고문헌

1. International Commission on Large Dams (ICOLD). (1994). Ageing of Dams and Appurtenant Works. Bulletin No. 93. Commission Internationale des Grands Barrages, 61 avenue Kleber, 75016 Paris, France.
2. T.S. Titova, Antonia Longobardi, R.G. Akhtyamov, E.S. Nasyrova (2017). Lifetime of earth dams, Magazine of Civil Engineering, 69(1), 34-43.
3. Zhang, L. M., Xu, Y., & Jia, J. S. (2009). Analysis of earth dam failures: A database approach. Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards, 3(3), 184-189.
4. Historic Dam Failures in the US, Association of State Dam Safety Officials, <http://www.damsafety.org/news/?p=94bdfdd0-633a-4fa2-bc39-0083c58d14ba>
5. Minister of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA). (2021). Statistical yearbook of land and water development for agriculture.

- Korea Rural Community Corporation (KRC). Accessed in <https://www.rawris.ekr.or.kr/stastics/pdf/2021.pdf>
6. 이달원, 이영학 (2012). 농업용 저수지 둑 높이기 에 따른 제체의 공극수압 거동. 한국농공학회논문집, 54(3), 11-17.
 7. Ministry of the Interior and Safety (MOIS). (2020). Annual natural disaster report. Sejong-si, Korea. (in Korean)
 8. Korea Rural Community Corporation (KRC). (2020). Casebook of overcoming natural disasters. Naju-si, Korea (in Korean).
 9. 심재웅, 이영학, 이달원 (2022). AHP 기법에 의한 농업용 저수지의 상태평가 기준 설정. 한국농공학회논문집, 64(5), 17-26.
 10. Korea Meteorological Administration (KMA). (2022). Weather data service. Accessed in <https://www.kma.go.kr/kma/>
 11. Young-hak Lee, Soichiro Ymakawa, Tetsuo Tobita, Hyuk-kee Hong, Hyo-Sung Song, Jae-Jung Kim and Dal-won Lee (2023). Centrifugal model study of seepage and seismic behavior in a homogeneous reservoir dam with parapet, Applied science, 13(3), 6347.
 12. Young-Hak Lee, Jung-Hyun Ryu, Tae-ho Lee, Jae-Woong Shim, Cheol-Han Kim, Dal-Won Lee. (2022). Failure behavior attributed to internal erosion caused by conduit cracks in homogeneous embankment, Applied science, 12(13), 6305.
 13. 윤창진 (2010). 저수지 재해예방을 위한 안전관리 및 DB구축. WATER FOR FUTURE. 43(8), 73-76.
 14. 윤용선, 박한규 (2008). 저수지 · 댐의 안전관리 및 재해예방에 관한 법률. 한국지반공학회 학술대회논문집, pp.226-233.
 15. 고동우, 강준구 (2019). 영상분석을 통한 바이오 폴리머로 보강된 제방사면 안정성 해석. Ecology and Resilient Infrastructure. 6(4), 258-266.