

저수지 재해예방계측사업 성과 활용도 배가를 위한 저수지(필댐)의 붕괴 예보 기준 마련



최병한
한국농어촌공사 농어촌연구원
공학박사, 방재연구책임
han1020@gmail.com



류지협
한려대학교 건설방재공학과
공학박사, 정교수
chryu2@daum.net

전 세계적으로 급격한 기후변동성의 증대와 관련 기반시설물의 노후화로 인해 재해 발생빈도와 강도가 증대해질 것으로 예상됨에 따라, 국가 차원에서의 수자원 전망 및 수자원 관리의 전략수립의 중요성이 대두되고 있는 실정이며, 특히 국내의 경우 경제, 사회적 여건의 빠른 변화로 인해 수원공 인근 생태계, 인간 주거환경, 인간보건 등에 관한 자연재해 영향이 커질 것으로 전망하고 있다.

이에, 국내 자연재해 예측 및 예방기술 개발 분야는 ICT 인프라를 활용한 적극적인 연구개발 및 사업화로 관련분야의 국제적 기술선도를 이끌고 있다. 그러나, 예산의 한정에 따른 도심, 인명중심의 방재 사업의 추진으로 인해 오랫동안 하천중심의 방재 연구와 사업에 집중되어 왔다. 이 또한, 사후 복구 중

심의 토목사업 위주이며, 현 재해예방계측사업 또한 개보수 사업으로 연계되어 결국 토목사업으로 귀결되고 있다. 구조물 건전성 모니터링을 위한 상시 관리의 필요성은 공감을 하고 있으나 이를 위한 전문가 부족과, 단순 모니터링에 그치는 문제는 여전히 풀어야 할 숙제이다.

따라서 이제 국내외 자연재해 예측 및 예방기술 개발 분야에서 기존 사업의 문제점 개선과 기술고도화 및 적용성 확대를 위하여, 과거 하천재해 관리 중



그림 1. 산대저수지 괴연저수지 붕괴

심에서 벗어나 도심침수, 급경사지 붕괴, 저수지(댐) 붕괴 등 재해양상의 다양화에 적극적으로 대응하고, 사후 복구 중심의 토목사업에서 예방 및 선제적 대비 체계로 관련사업의 전환이 필요하다. 또한, ICT 인프라를 활용한 단순모니터링을 확대하여 관제시스템화해서 실질적 피해최소화로 이끌어내야 한다.

본 글에서는 최근에 잦은 붕괴 및 기능상실로 인해 결코 간과할 수 없는 인명과 재산 피해를 유발하는 저수지(댐)에 관한 u-IT 기술을 고려한 자연재해 예측 및 예방기술 개발의 필요성과 중요성을 조명하고, 최근 농어촌연구원에서 마련된, 관련 핵심기술인 한국형 저수지(댐) 파괴모드를 고려한 센서의 표준안을 소개하며, 나아가 예보를 위한 센싱 기준을 소개하고자 한다. 이를 통해 차세대 관련사업의 기술 개발의 방향을 제고 하고, 비구조적인 재해예방 계측사업의 성과 확대를 통하여 정부의 한정된 예산의 효율적 집행에 기여할 수 있으리라 판단한다.

1. USN 기반 저수지(필댐) 붕괴 예보 서비스 구축

저수지(댐)으로 대표되는 수공구조물 뿐만 아니라, 기반시설물 모두에 관한 정기 점검(진단)의 붕괴 및 기능상실에 관한 상시 관리의 필요성은 관련 민관기관이 동감하고 있다. 그러나 관리 예산 부족과 관리 인력의 전문성 부족 문제는 여전히 상존하고

있으며, 최근의 현 정부의 재해예방 3.0 노력에 따라 ICT 기술을 활용한 사회기반시설에 대한 관리 업무 효율향상 노력에도 불구하고 인명중시 최우선 정책에 따른 재해예방사업은 도심에서 떨어진 수원공의 경우 아직까지도 재해예방 사업에 있어 사각지대에 있다.

더불어, 최근의 기후변동성 및 시설노후화 급증과 귀농 및 녹색산업의 붐에 따른 수원공 인근의 도심화에 따른 저수지(댐)의 재해위험은 나날이 커져가고 있다.

국내 저수지(댐)의 기존 재해예방예측을 위한 사업으로 시행되고 있는 재해예방 계측사업은 단순 모니터링 위주의 상시 관리와 이를 통한 정기적 개보수로 이어지고 있어, 실질적인 재해예방 및 예측으로 피해최소화를 이끌어내기에는 그 실효성이 매우 떨어지는 실정이다. 이에 붕괴 및 기능상실 전조 징후를 감지하고, 적정대응을 위한 관제시스템과 피해최소화를 위한 예보 서비스로 구성된 Ubiquitous Sensing Network 기반의 통합 재해예방예측 및 예보 서비스 사업이 필요하다.

USN 저수지(댐) 붕괴 예보 서비스 내용은 다음과 같다.

- 실질적 현장 붕괴 전조와 직결된 첨단 센싱 기술 활용, 대응 활동을 위한 의사결정 지원 용 관제 시스템 개발 및 최종 예보 서비스화로 피해최소화

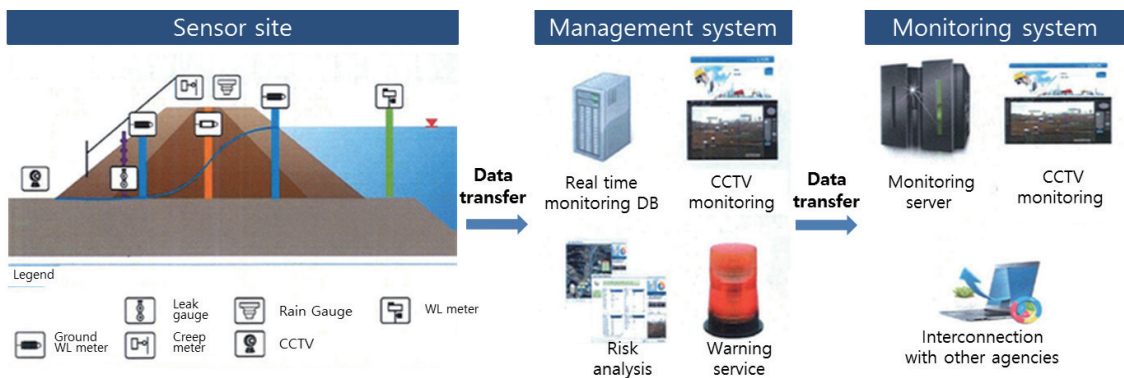


그림 2. 저수지 붕괴예보 시스템 개략도

연계 필요

- 계획사업의 전형적인 문제점인 유용기간내 잦은 망실, 예산의 한도에 따른 계획 밀도의 효율성, 유지관리 비용의 증대 등 해결을 위한 첨단 센싱 기술 활용
- 유용기간내 안정적 관리를 위한 시스템의 단순화 및 확장성 확보
- 전국 위험 저수지(댐) 확대적용을 위한 전문기관 (한국농어촌공사+한국수자원공사+농림축산식품부+국토교통부+국민안전처)간 관련 시스템을 연

계할 수 있는 Hot-Line 보완

USN 기반의 붕괴 예보 시스템의 구조는 fig. 2.와 같다. 즉, 유선 타입 센서에서 로거로 자료가 전달되고 이는 다시 관리 시스템으로 연계되고 관리시스템에 탑재된 관리기준에 따라 최종 예보서비스화 된다. 실제 기관별 연계내용으로는 fig. 3.과 같이 각 현장에서 수집된 자료는 지사(지사체)로 전송되고, 이는 다시 본사(국민안전처)로 연계되어 대국민서비스화 된다.

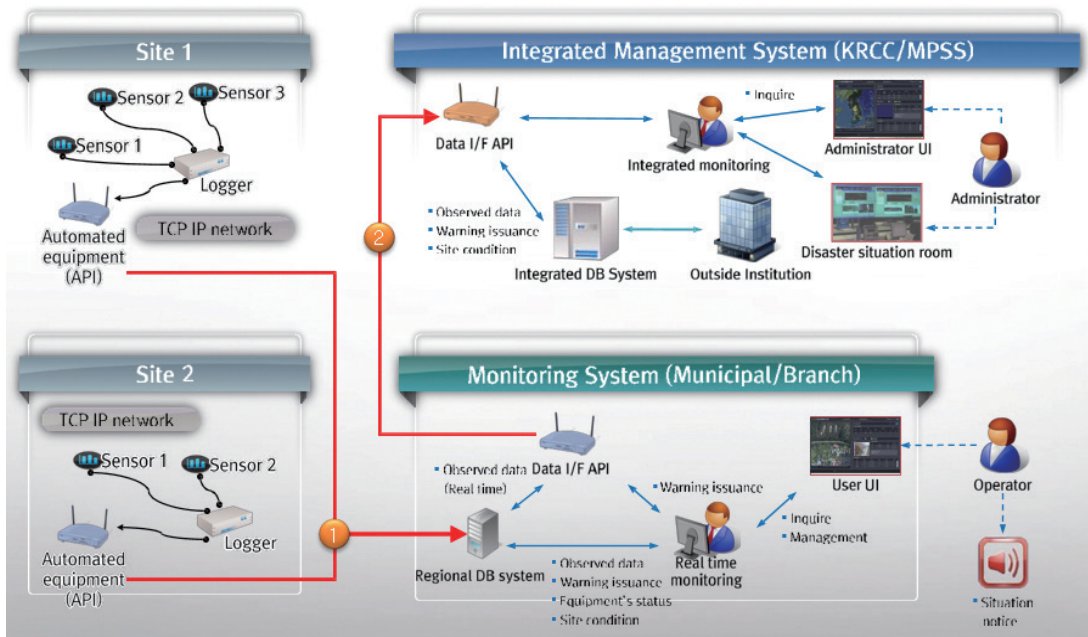


그림 3. 시스템 연계도

2. 저수지(댐) 파괴모드를 고려한 센서 표준안

■ 국내 저수지(필댐) 붕괴 예보 센서 표준안

저수지(필댐) 재해예방예측을 위한 붕괴 징후 인지 및 주민 비상대응을 위해 사용되는 센서는 종류도 다양하며, 각 종류별 제품은 국내외에서 많은 제

품이 생산되고 있다. 국내 저수지의 대다수를 차지하는 농업용 저수지의 특징으로는 잦은 수위변화와 60년 이상의 노후화 및 대다수 차수를 위한 코아존이 없는 일체형 등 특징을 갖는다. 이러한 한국형 저수지(필댐)의 주요 붕괴 요인은 외적으로 기후변동성의 증대에 따른 집중호우와 내적으로 시설 노후화를 들 수 있으며, 이에 따른 붕괴 형태는 집중호우에 의한 제체 월류, 내부침식(누수 및 파이핑)에 따른

저수지 붕괴이다(Table 1).

따라서, 저수지 붕괴 예보 기준을 위한 주요 센서는 현실적인 붕괴 원인을 사전에 계측을 통해 붕괴징후 물리량 파악에 활용될 수 있어야 한다(Fig. 4).

적용센서로는 저수지(필댐)의 침투수 수위변화 및 지중 안정성 파악을 위한 지하수위계, 제정(Dam Crest) 월류 사전 감지를 위한 수위계, 침투수의 수량변화를 통한 안정성 예측을 위한 누수량계, 저수지 상류 및 하류 사면의 지표면 변위를 측정하는 지표변위계, 저수지(필댐) 유역(Catchment Area)의 강우량 파악을 위한 강우량계 및 지진에 관한 지진 가속도계를 선정하였다.

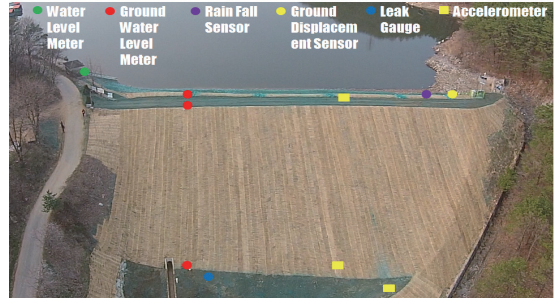


그림 4. 센서 설치 위치

또한, 저수지 현장 상황을 실시간 시각적으로 파악하기 위한 CCTV 등 비주얼 센서의 추가도 고려될 수 있다(Table 2).

Table 1. 저수지 붕괴 예보를 위한 계측기 선정

붕괴원인	센서	자료취득 목적
월류	강우량계	유역의 강우량 변화
	수위계	저수량의 변화
내부침식 월류	지표변위계	상하류 사면의 활동 파악
내부 침식	지하수위계	침투수의 변화 등 지중 안정성 파악
	누수량계	침투수의 변화 등 지중 안정성 파악
지진	지진 가속도계	제체의 이상 변위
기타	CCTV 등 비주얼 센서	Vis실시간 원격 시각적 모니터링

Table 2. 선정 센서

센서	이미지	센서	이미지
강우량계		지하수위계	
수위계		누수량계	
지표 변위계		지진가속도계	

3. 계측기기별 예보 기준 결정

■ 강수량에 의한 예보 관리기준

강수량에 의한 예보 기준은 기상청의 호우특보 기준으로 사용되는 것을 기반으로 다양한 풍수해 재해 유형에 사용하고 있다. 하천 홍수, 내수침수, 산사태 및 급경사지 등의 분야에서 예보 기준으로 적용되고 있으며, 정량적이며 간단하게 사용할 수 있는 장점과 더불어 광역으로 넓은 지역에 발령하는 관계로 정확성이 떨어지는 단점도 있다.

국민안전처는 강수량을 기준으로 급경사지 붕괴 주민대피 예·경보 권고기준을 작성하여 전국 지방

자치단체에 제공하였다. 강우조건 및 지질조건에 따라 변화하는 급경사지 및 산사태의 붕괴특성을 분석하여 주민대피 관리기준을 설정하였으며, 강수량에 따른 산사태 선행연구에서 붕괴 발생시점을 기준으로 강우강도와 누적강우량이 붕괴발생에 미치는 영향이 크다는 것을 고려하였다. 붕괴사례에서 수집된 강수 자료를 활용하여 권역별, 지질별로 구분하여 붕괴시점으로부터 15분 최대강우량, 시간 최대강우량, 일 누적강우량, 2일 누적강우량에 대해서 주의보(확률 10%), 경보(확률 30%) 및 대피기준(확률 50%)을 기준으로 설정하였다. 발생사례분석에서 도출된 서울·경기권 피해지역의 주민대피 예·경보 권고기준(안)을 제시하였다(Table 3.).

Table 3. 서울경기권 피해지역의 주민대피 예·경보 권고기준(국민안전처, 2015)

단계	구분	강수량 기준																				
		15분 강우량(mm)					1시간 강우량(mm)					1일 강우량(mm)					2일 강우량(mm)					
		서울 경기	가평	이천	남양 주	여주	서울 경기	가평	이천	남양 주	여주	서울 경기	가평	이천	남양 주	여주	서울 경기	가평	이천	남양 주	여주	
대비	관심	파랑	11	10	5	11	5	22	20	8	21	9	59	71	19	75	23	80	102	39	107	44
	주의	노랑	15	15	7	15	7	32	29	12	30	13	84	101	27	107	33	114	146	56	153	63
대응	경계	주황	21	21	19	21	19	57	54	40	56	41	184	186	119	191	124	228	240	133	248	141
	심각	적색	25	25	24	25	24	66	69	60	69	61	252	249	199	252	203	281	279	266	280	267

서울시는 산사태 피해사례를 유발 및 비유발 강수량으로 분석하여 산사태 유발 기준을 도출하였으며, 산사태 비유발 강수량에 대한 유발 강수량의 확률에 따라 4단계로 구분하여 기준을 설정하였다.

최근 농어촌연구원에서 제시한 강수량에 의한 저수지 예보 기준은 풍수해 대응 표준매뉴얼을 기반으로 저수지 시설에 적용하였다. 기상청은 전국에 강수량계를 설치 운영하고 있으나 수가 적고 광범위하게 분산되어 저수지 위치에서 발생하는 정확한 강수량 측정은 한계가 있다. 따라서, 기상청 강수량 자

료와 저수지 현장의 강수량의 측정값은 크게 차이가 날 수 있으며 이를 방지하고자 저수지 현장에 강수량계를 설치하여 극한강우 및 이상강우를 측정함으로써 정확한 저수지 붕괴 예보 관리기준으로 사용할 수 있다.

강수량계에 의한 예보 관리기준 설정은 기상청의 태풍 주의보, 경보 및 호우주의보, 호우경보 강수량(호우주의보 6시간 70mm, 12시간 110mm, 호우경보 6시간 110mm, 12시간 180mm)을 기준으로 설정하였다. 관심단계는 태풍·호우 빈발시기로 하였

고, 주의 및 경계단계는 태풍호우 주의보 및 경보 발령과 저수지에 붕괴징후가 나타나는 경우로 설정하였다. 심각단계는 저수지의 가능최대강수량(PMP)의 발생되고 저수지 붕괴 징후가 발생하였거나 징후가 확실한 때를 기준으로 설정하는 등 저수지 제체

에서 발견될 수 있는 저수지 붕괴 징후를 인지할 경우에 대한 정성적인 판단 기준도 반영하여 종합적인 의사결정을 내릴 수 있도록 저수지 예보 관리기준을 정립하였다(Table 4.).

Table 4. 강수량에 의한 예보 관리기준 정립

단계	관리기준
관심 (Blue)	<ul style="list-style-type: none"> • 태풍 · 호우 빈발 시기 • 우리나라에 영향을 미칠 가능성이 있는 태풍의 발생
주의 (Yellow)	<ul style="list-style-type: none"> • 태풍 · 호우 예비특보, 주의보가 발령되고, 태풍 · 호우에 의한 저수지 붕괴 징후가 나타날 때 • 호우주의보 6시간 70mm 이상, 12시간 110mm 이상
경계 (Orange)	<ul style="list-style-type: none"> • 태풍 · 호우경보가 발령되거나 가능최대강수량(PMP)이 발생되고, 태풍 · 호우에 의한 저수지 붕괴 징후가 농후할 때 • 호우경보 6시간 110mm 이상, 12시간 180mm 이상
심각 (Red)	<ul style="list-style-type: none"> • 태풍 · 호우경보가 발령되거나 가능최대강수량(PMP)이 발생되고, 태풍 · 호우에 의한 저수지 붕괴가 발생하였거나 발생할 징후가 확실한 때

■ 수위계에 의한 예보 관리기준

국내 저수지(필댐)의 주요 파괴시나리오 중 하나인 제체 월류 파괴에 관해서, 저수지(필댐) 수위측정은 가장 직접적으로 저수지의 위험성을 판단하는 기준으로 사용할 수 있다.

저수지(필댐) 월류 위험성을 판단하기 위해서는 저수지(필댐) 유역면적, 여유고 등을 고려해야 하나, 금번 농어촌연구원 예보관리 기준에서는 설치된 수위계에 국한하여, 설계시 만수위 및 홍수위까지 도달 여부와 제당의 월류 발생 여부를 기준으로 설정하였다.

저수지(필댐) 만수위는 용수공급 등 이수용량의 최고 수위로 정상적인 저수지 운영을 할 수 있는 저수용량의 상한선이며, 홍수위는 200년 설계빈도 등의 홍수가 유입되는 경우에 방수로에 의한 방류 결과 저수지에서 발생하는 최고수위로 정의된다. 저수지 수위에 의한 관리기준 설정은 정상적인 저수

지 운영의 최고수위인 만수위 이상으로 수위가 상승하는 경우 관심단계 및 설계빈도에서 설정한 홍수가 유입되는 경우 발생하는 최고수위인 홍수위 이상으로 수위가 상승하는 경우를 심각단계로 고려하였다. 관심단계는 수위가 정상적인 저수지 운영이 가능한 최고수위인 만수위 이상으로 상승할 때를 저수지 수위가 정상 수준을 넘어서는 상황으로 진행하는 것으로 판단하여 설정하였으며, 주의단계는 저수지 만수위와 홍수위 수위차의 1/3(33%) 이상 수위가 상승할 때를 기준으로 설정하고, 경계단계는 저수지 만수위와 홍수위 수위차의 2/3(66%) 이상 수위가 상승할 때를 기준으로 설정하였다. 심각단계는 저수지 수위가 홍수위 이상으로 상승하는 경우를 저수지 수위가 한계수위 이상으로 상승하여 제당의 붕괴 위험성이 크게 증가하는 것으로 판단하였으며 수위가 홍수위 이상으로 지속적으로 상승하거나 저수지에서 월류가 발생 또는 월류 발생이 확실한 경우를 관리기준으로 설정하였다(Table 5.).

Table 5. 수위계에 의한 예보 관리기준 정립

단계	관리기준
관심 (Blue)	• 저수지 만수위 이상으로 수위가 지속적으로 상승할 때
주의 (Yellow)	• 저수지 만수위와 홍수위 수위차의 1/3(33%) 이상으로 수위가 상승할 때
경계 (Orange)	• 저수지 만수위와 홍수위 수위차의 2/3(66%) 이상으로 수위가 상승할 때
심각 (Red)	• 저수지 홍수위 이상으로 수위가 지속적으로 상승하고, 저수지 월류가 발생하거나 월류 발생이 확실한 때

■ 누수량계에 의한 예보 관리기준

저수지(필댐)의 다른 주요 파괴 시나리오로는 제체의 파이핑과 같은 내부침식에 따른 파괴이다. 이러한 내부침식의 경우 제체 누수와 밀접한 관계가 있다. 저수지(필댐)의 허용 누수량은 저수지의 형식 및 용도, 축조재료의 특성과 다짐방법, 기반암의 지질특성 등에 따라 다르기 때문에 일률적으로 기준을 적용하기에는 어려움이 있으나, 누수량의 경시변화 분석을 통한 지속적으로 누수량이 증가하는 경우 및 누수량의 타도가 높게 나타나는 경우에는 저수지 내부에서 파이핑 및 열화가 시작된 것으로 추정할 수 있다.

또한, 저수위가 일정한 경우 누수량 변화가 1개월 간 10% 이상 증가하는 경우는 누수량의 허용한계를 넘는 것으로 토지개발사업 계획설계기준(농림부, 1968)에서 제시하고 있다.

저수지는 축조시 공사 주변의 토석을 이용하여 건설되어 토질특성이 다양하며 다짐정도에 따라 투수계수도 다양한 특성이 있다. 또한, 저수지 규모에 따라 저수지 수위도 다양하여 만수위 등 고정 수위를 기준으로 한 정상 침투수량을 저수지 누수량의 관리기준으로 일률적으로 적용하는 것은 현장 적용상 한계가 있다. 저수지의 저수위, 만수위 등 수위변화에

따른 정상 침투수량을 측정하여 기준값을 정하고, 저수지의 수위가 변화하여도 일정한 수위에서 발생하는 침투수량이 기준값을 초과하여 발생할 때를 관리기준으로 설정하였다.

이에 누수량계에 의한 관리기준을 관심단계는 저수지의 일정수위에서 정상 침투수량을 초과하는 누수량 발생시로 설정하여 정상 침투수량을 넘는 경우 관심을 갖고 저수지를 관리하도록 하였으며, 주의단계는 저수지의 누수량 허용한계인 1개월 간 10% 이상 증가하는 것을 기준으로 그 절반인 5% 이상 침투수량의 증가하는 경우로 판단하였다. 경계단계는 위험이 임박한 단계로서 저수지의 일정 수위에서 1개월 간 정상 침투수량의 10% 이상 누수량 증가 시로 결정하였으며, 심각단계는 주민대피 단계로서 저수지의 일정 수위에서 1개월 간 정상 침투수량의 15% 이상 누수량 증가시로 기준을 설정하였다(Table 6.).

Table 6. 누수량계에 의한 예보 관리기준 정립

단계	관리기준
관심 (Blue)	• 저수지의 일정 수위에서 정상 침투수량을 초과하는 누수량 발생시
주의 (Yellow)	• 저수지의 일정 수위에서 1개월 간 정상 침투수량의 5% 이상 증가
경계 (Orange)	• 저수지의 일정 수위에서 1개월 간 정상 침투수량의 10% 이상 증가
심각 (Red)	• 저수지의 일정 수위에서 1개월 간 정상 침투수량의 15% 이상 증가

■ 지표변위계에 의한 예보 관리기준

지표변위계에 의한 기준 설정은 일반적 파괴모델의 변곡점을 기준으로 관심, 주의, 경계, 심각으로 구분하고, 각 구간의 변위속도를 분석하여 지표변위에 대한 예보 기준을 설정하였다. 계측사례의 변위속도 및 최대변위량을 분석하여 기준을 산정한 결과, 관심단계 누적변위는 14mm, 변위속도는 1mm/일, 주의(주의보)단계 누적변위는 36mm, 변위속도는 6mm/일, 경계(경보)단계 누적변위는 90mm,

변위속도는 26mm/일, 심각(대피)단계 누적변위는 209mm, 변위속도는 63mm/일로 나타났다.

지표변위에 의한 예보 기준은 국내·외 기관에서 기준치로 이미 사용하고 있다. 국내 저수지(필댐)의 지표변위계에 의한 예보 기준은 저수지 체체를 토석으로 축조된 하나의 구조물인 성토사면으로 판단하여 Table 7.와 같이 2015년 소방방재청에서 제시한 값을 따르도록 설정하였다. 제시한 변위기준은 사례 자료 및 현장 데이터가 충분히 확보되지 않아 향후, 추가조사 및 수치해석 등을 통하여 신뢰도를 향상시킬 필요가 있다.

Table 7. 지표변위계에 의한 예보 관리기준 정립 (소방방재청, 2015)

단계	관리기준	
	누적변위(mm)	변위속도(mm/day)
관심(Blue)	14	1
주의(Yellow)	36	6
경계(Orange)	90	26
심각(Red)	209	63

■ 지하수위계에 의한 예보 관리기준

절·성토사면 및 토류벽 구조물에서 지하수위는 구조물 안정성에 큰 영향을 미친다. 안정해석을 수행하는 경우 지하수위가 없는 건조한 사면과 비교하여 지표면 높이까지 지하수위가 위치하는 경우 수압이 높아져 안전율은 약 50%까지 감소할 수 있다. 따라서, 저수지와 같은 구조물의 지하수위 변화는 저수지의 붕괴 징후를 감지하는 관리기준으로 사용할 수 있다. 지하수위계에 의한 예보 관리기준은 흙막이 가시설에도 지하수위의 변동을 모니터링 하여 위험을 미연에 감지하는 방법으로 사용하고 있다 (Table 8.). 지하수위계 관리기준을 분석한 결과, 1일 수위변화량이 저수지 높이의 15% 이상일 때 매우 위험한 단계인 것으로 판단되어 심각단계의 관리기준으로 설정하였고 수위 변화량 기준을 점차 감소시켜 단계별로 지하수위계에 대한 예보기준으로 설정하였다(Table 9.).

Table 8. 현장적용 토류벽 지하수위계 관리기준

관리수준	주의	경고	위험	비고
분당선 복선전철 제4공구	주간 변위 1m이상			
수원 ~ 인천간 복선전철 제1공구	$H \leq 0.1m$	$0.1m \leq H \leq 0.3m$	$H \geq 0.3m$	H = 1일 수위 변화량
공항철도 연계시설	$H \leq 0.5m$	$0.5m \leq H \leq 1.0m$	$H \geq 1.0m$	

Table 9. 지하수위계에 의한 예보 관리기준 정립

단계	관리기준
관심(Blue)	• 저수지 정상 침투시 침윤선을 초과하는 제외지 1일 수위변화량(H/day) 발생시
주의(Yellow)	• 저수지 높이의 5% 이상 1일 수위변화량(H/day)
경계(Orange)	• 저수지 높이의 10% 이상 1일 수위변화량(H/day)
심각(Red)	• 저수지 높이의 15% 이상 1일 수위변화량(H/day)

■ 지진가속도계에 의한 예보 관리기준

지진가속도계에 의한 저수지 붕괴 예보 기준은 기상청의 관측 진도값에 따른 규모와 진도 관계의 피해현상을 기준으로 예보 관리기준을 설정하였다. Table 10.는 지진가속도계에 의한 저수지 붕괴 예보 관리기준을 나타내며 기상청의 지진 규모와 진도의 상관관계에 의한 피해 현상설명에 따라 관심단계는 진도 Ⅲ 미만, 주의단계는 진도 Ⅳ, 경계단계는 진도 Ⅴ 및 심각단계는 진도 Ⅵ 이상으로 설정하였다.

Table 10. 지진가속도계에 의한 예보 관리기준 정리

단계	관리기준	
	관측진도(계측값)	
관심(Blue)	14gal 이하	진도 Ⅲ 미만
주의(Yellow)	15~28 gal	진도 Ⅳ
경계(Orange)	29~58 gal	진도 Ⅴ
심각(Red)	59 gal 이상	진도 Ⅵ 이상

5. 맺음말

최근 기후변화로 인한 집중호우와 저수지의 노후화로 10년간 19건의 저수지 붕괴사례가 보고되는 등 매년 잦은 붕괴 및 기능상실로 인해 큰 피해를 발생시키고 있다.

본 글에서는 농어촌연구원에서 최근 마련한, 국내 저수지(필댐)의 재해예방을 위해 계측기에 의한 사전 붕괴징후를 인지하고 대응하기 위한, 국내 저수지(댐) 파괴모드를 고려한 계측센서 구성의 표준안(강우량계, 수위계, 누수량계, 지표변위계, 지하수위계 및 지진가속도계)을 소개하였다. 또한, 중소기업

그림 5. 지진 발생시 규모와 진도의 상관 관계 (기상청, 2016)

규모	진도	현상설명	평균진도 지반가속도 (g)	평균진도 지반가속도 (gal)
1.0~2.9	I	특별한 상태에서 구조물의 사람을 제외하고는 전혀 느낄 수 없다.	-	-
	II	건물의 윗층의 소수 사람들이 의해서만 느낀다. 매달린 물체가 상세히 흔들린다.	-	-
3.0~3.9	III	건물 윗층에 있는 사람들이 주로 느끼지만 대부분 지진이라고는 인식하지 못한다. 정지하고 있는 자가 약간 흔들리며, 트럭이 지나가는 것과 같은 진동이 있고 지체시간이 산출된다.	-	-
	IV	낮 : 실내에 서있는 많은 사람들이 느낄 수 있으나, 옥외에서는 거의 느낄 수 없다. 밤 : 일부 사람들이 잠을 깬다. 그릇, 장문, 문 등이 소란하며 벽이 갈라지는 소리를 내며 대형 트럭이 벽을 받는 느낌을 준다. 정지하고 있는 자동차가 움직인다.	0.015 ~ 0.02g	15 20
4.0~4.9	V	거의 모든 사람들이 지진을 느끼며 많은 사람들이 밤에 잠을 깬다. 그릇과 장문 등이 깨지고 불안정한 물체는 넘어진다. 나무, 천주 등 높은 물체가 심하게 흔들린다.	0.03 ~ 0.04g	29 39
	VI	모든 사람들이 지진을 느끼며 많은 사람들이 놀라서 밖으로 뛰어나간다. 무거운 가구가 움직이며, 벽의 석회가 떨어지기도 한다. 일부 피해를 입는 굴뚝도 있다.	0.06 ~ 0.07g	59 69
5.0~5.9	VII	사람들이 두려움을 느끼며 굴뚝이 무너지고 운전 중인 사람들도 지진을 느낄 수 있다. 쉽게 및 건축이 잘 된 건물 : 경미한 피해	0.10 ~ 0.15g	98 147
	VIII	모든 건축물 : 약간의 피해가 발생 쉽게 및 건축이 잘 못된 건물 : 상당한 피해가 발생한다.		
6.0~6.9	IX	특별히 잘 설계된 구조물 : 약간의 피해 일반 건축물 : 부분적인 파괴와 더불어 상당한 피해	0.25 ~ 0.30g	245 294
	X	부실 건축물 : 심각한 피해 장문이 떨어져 나가며, 굴뚝, 공장 굴뚝 등이 가동, 기열비, 벽돌이 무너진다. 무거운 가구가 넘어지고 모래와 진흙이 약간 분출된다. 우물물의 변화가 있다. 운전이 어렵다.		
7.0 이상	XI	대부분의 구조물에 부분적 붕괴와 함께 큰 피해를 준다. 지표면에 선명한 금 자국이 생기며 지하 송수관도 파괴된다.	0.50 ~ 0.55g	490 539
	XII	옥조 구조물이 부서지기도 하며, 대부분의 석조 건축물이 기초와 함께 무너진다. 지표면이 심하게 갈라지며, 가차선로가 휘어진다. 모래와 진흙이 이동하며 강둑이나 경사면에서 산사태가 발생하고, 물이 육을 넘어 흘러내린다.	0.60g 이상	588
	XIII	석조 구조물은 거의 파괴되며 교량이 부서지고 지표면에 심한 균열이 생긴다. 지하 송수관이 완전히 파괴된다. 연약한 지반에서는 땅이 깨지고 자음이 어긋난다. 가차선로가 심하게 휘어진다.		
	XIV	전면적인 피해가 발생한다. 지표면에 파곡이 보인다. 시야와 수평면이 뒤뉘인다. 물체가 공중으로 튀어 나간다.		

모 노후저수지(필댐)에 대한 선제적 재해예방을 위한 재해예방계측사업 확대 및 ICT, IOT 기반 기술의 USN 재해예방 분야 활용도 제고를 위한 저수지 붕괴 예보를 위한 계측기별 개별 관리기준을 소개하였다.

이상에서 소개한 바와 같이 농어촌연구원에서는 국내 저수지(필댐)의 재해 예보 관리기준을 정립함으로써, 선제적 저수지 재해예방 서비스 구축을 위한 관리기반 기술 표준안을 수립하였으며, 17,000여 개에 이르는 국내 저수지(필댐)의 유지관리사업에 대해 구조적인 개보수도목사업과 병행하여 비구조적인 재해예방 예측사업의 성과 확대를 통하여 정부의 한정된 예산의 효율적 집행에 기여하려 노력하고 있다.