

급격한 기후변화, 시설 노후화 대응 수자원 안전관리의 새로운 패러다임 구축



최병한
한국농어촌공사
농어촌연구원, 공학박사
han1020@hotmail.com

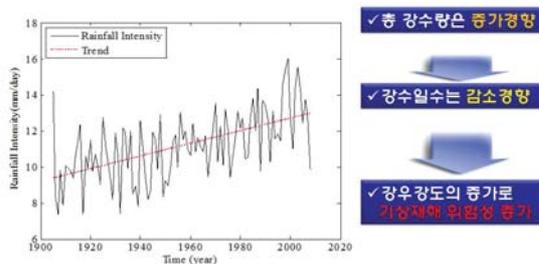
김석열
한국농어촌공사
농어촌연구원, 공학박사,
기술사

권현한
전북대학교 토목공학과,
공학박사

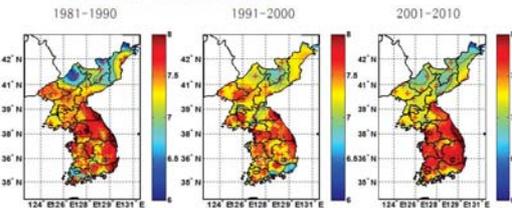
전 세계적으로 지구 온난화에 따른 기후변화에 의해 재해 발생빈도와 강도가 강해질 것으로 예상됨에 따라 국가 차원에서의 수자원 전망 및 수자원 관리의 전략수립의 중요성이 대두되고 있는 실정이며, 지구온난화에 의한 기후변화로 생태계, 수자원, 식량안보, 주거지와 사회, 인간보건 등에 영향을 미칠 것으로 전망하고 있다. 이에, 해외 선진국들은 국가적으로 외적인 기후변화 대한 수자원관리의 중요성을 인식하고 적응정책을 수립하고 있으며, 우리나라도 현재 수자원 인프라의 계획기준을 재평가하고 수재해의 위험성을 저감하기 위한 전략적 정책과 기술개발노력이 절실함을 실감하고 있다. 특히 기온, 강수량, 증발량 등의 수문인자는 농산물의 생산·관리 및 생태계의 다양성 보존에 있어 매우 중요한

요소이나, 최근 급격한 기후변화로 인한 수문인자의 변화는 생태계의 파괴 및 농축산물의 생산량 감퇴 등 국가적 차원의 큰 손실을 야기 시키고 있다. 국내의 경우, 이뿐만 아니라 공항, 도로, 항만, 전력시설 등 대형 기반시설에 집중된 유지관리 예산의 집중으로 인한 상대적 유지관리 사각에 놓인 노후 수자원 관리 시설의 경우, 이제 점차 그 노후화 속도가 증가하여 새로운 국가 재해 요인으로 부상하고 있다.

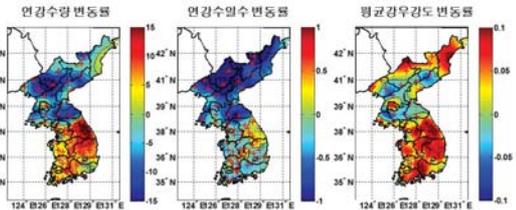
따라서 기후변화 및 관련시설의 급속한 노후화와 관련하여 총체적 요소를 고려한 농림수산 분야 수자원 전망 기술을 개발하고, 이를 활용한 수자원 안전 관리의 인프라 구축 등, 새로운 수자원 안전관리의 패러다임을 구축해야 한다. 이를 위해 국내에서도 기후변화 시나리오와 전



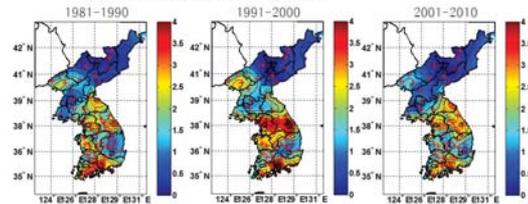
• 강수의 발생 중심이 이동
- 6월말 ~ 7월초 → 7월중순 ~ 7월말



• 최근 40년간의 변동성 분석
- 강수량 증가경향, 강수일수 감소경향, 강우강도 증가 경향



• 최근 30년의 극지강수량 변동성(80mm이상)
- 전체적으로 극지강수량 출현빈도 증가 경향



한반도 강수량 변동성 분석

망 메커니즘 개발 및 이를 활용한 위험도평가 기반의 새로운 안정성 평가 체계 구축에 노력하여, 국가예산의 효율적 유지관리 사업투자의 계획마련, 관련 민간사업 육성 및 수자원관리 관련 공기업(한국농어촌공사, 한국수자원공사, 한국수력원자력 등)의 관리시설 안정성 평가 결과의 신뢰성 배가 등을 이루고자 한다.



2010년 서울 집중호우로 인한 광화문 침수
 원인: 하수도 설계 시 사용된 강수량과 설계에서 요구되는 강수량의 지속시간 불일치(1분 단위 지속시간 강우자료 필요)
 현재 10년 빈도의 강수량이 실제로 10년 빈도가 아님. 이는 자료가 축적되어야 하므로 단시간에 해결하기 힘들

1. 현재의 한반도의 기후변화 및 수자원 안전관리 기술과 정책

최근 급격한 기후변동성과 급속히 진행되는 시설물의 노후화에 대한 과거 빈도개념에 따른 안정성평가는 현재 우리사회의 안전을 보장하지 못함을 빈번한 재해를 통해 우리는 몸으로 경험하고 있다.

■ 강수량 변동성 분석

한반도 총강수량은 증가경향을, 강수일수는 감소경향을, 강우강도는 증가현상을 나타내고 있다. 예로서, 10년에

한번 내릴 큰 비가, 2~3년 만에 또는 연속해서 내림으로서, 강우빈도 산정의 불확실성이 증가하고, 그 크기의 변화폭이나 발생주기의 변동성이 확대되고 있다. 이러한 극치사상 출현 빈도의 증가원인은 기상변동성, 기후변화 등으로 기인하며, 현재 사용하고 있는 강우량의 Sample Time & Size의 한계를 여실히 드러내고 있다. 따라서, 이러한 불확실성을 줄이는 가장 핵심적인 사항은 결국 기상정보를 활용하여 치수위험도 저감시키는 것이다.

기후변화 대응기술 개발의 경제적 효과 : 22.4 조 원/년

구 분	경제&자원	기후변화 영향	경제적 이익
국가분야	기상재해 해수면 상승 수자원 사망자수 대기환경	기하급수적 이상기후 증가 연안침수-서울지역의 1.6배 수자원의 심각한 감소-26억톤 폭염에 의한 사망 증가 황사의 증가	11조 원/년
산업분야	제조업 건설업 소매업 금융업 농업 에너지업	제품수요의 변화 설계/시공의 환경변화 판매수요의 변화 날씨파생상품의 수요 증가 농업생산량의 변화 에너지 수요의 변화	8.1조 원/년
세계자원경제	원자재 가격 변동 에너지 가격 변동 곡물 가격 변동	홍수/태풍으로 인한 생산량 감소 태풍/폭설에 의한 공급의 감소 태풍/호우/가뭄에 의한 피해 증가	3.3조 원/년
총 액			22.4조 원/년

기후변화 대응기술 개발로 인한 경제적 파급효과(출처 : 한국과학재단, 2008)

■ 국내외 관련 정책현황

● 현재 우리나라에서는 기후변화에 대한 연구가 수자원, 기상, 생태, 환경적 측면에서 골고루 이루어진 가운데, 특히 수자원 분야에서는 이수 분야 위주의 연구가 이루어지고 있어 농림수산분야의 기후변화에 따른 수자원 관리 및 예측을 통한 치수와의 연계분석이 필요하다.

국토교통부 및 환경부를 중심으로 기후변화에 따른 수자원 변동성 분석에 관한 연구를 10년 전부터 수행하고 있으나, 기후변화 표준시나리오의 부재, 상용된 방법론의 적절성 문제 등으로 추정된 기후변화 전망에 대한 신뢰성이 결여되고 있다. 기후변화에 따른 사회전반에 대한 영향을 평가하기 위해서는 기본적으로 수문학적 변동성에 대한 연구가 필수적이나 기존 연구들은 단순히 외국 사례분석, 정성적인 해석, 연구방법의 부재 등으로 효과적인 연구가 진행되지 못하고 있는 실정이다.

해외의 경우 IPCC⁴⁾, 영국, 미국, 일본 등을 중심으로 기후변화에 따른 수문전망 기술과 관련된 연구가 활발히 진행 중이다. 과거에는 기후변화와 관련 연구에서 사용하는 GCM⁵⁾ 결과의 시공간적 해상도의 한계로 인하여 사상 중심으로 평가가 이루어져야 하는 홍수에 대한 평가 자체가 어려웠으나 현재에는 기후변화 관련 기술이 발전함에 따라 시공간적으로 큰 해상도를 가지는 기후변화 모형들의 개발이 가능하게 되었다.

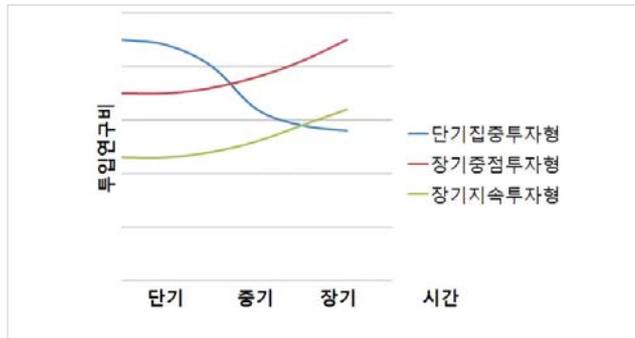
■ 국내외 예산사업 추진현황

● 정부는 매년 R&D 기술 분야 투자계획을 늘리고 있으며, 기후변화 관련 연구를 지원하기 위하여 연구개발비의 지원을 향상 시키고 있는 실정이다. 기후변화 대응 연

연도별 기후변화 관련 연구개발비 증가현황(억원)

기술분야	유형	06년	07년	08년	09년	10년	합계
1. 화석연료 대체기술		1,477	1,630	1,866	2,034	2,382	9,389
2. 에너지 이용효율 향상기술		1,314	1,456	1,574	1,654	1,727	7,725
3. 이산화탄소 포집 처리 및 흡수 기술		161	190	286	327	351	1,315
4. 비이산화탄소 제어 기술		45	68	73	79	88	353
5. 영향평가 및 적응 기술		42	77	107	114	137	477
합 계		3,039	3,421	3,906	4,208	4,685	19,259

기후변화 연구개발 투자방향 및 투자전략 수립



(출처 : 기후변화협약 대응 연구개발 종합대책 과학기술부 2008)

구개발 전략으로 단기집중투자형, 장기지속투자형, 장기중점투자형으로 구분하여 투자유형별 투자형태의 판단 근거 및 투자방향을 설정하였다.

반면, 해외 개발도상국이나 후진국의 경우 선진국에 비하여 향후 기후변화에 의한 수문 순환의 변화에 상대적으로 둔감하게 대응하고 있다. 또한 연구개발에 투자가

04) IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change 기후변화와 관련된 전 지구적 위험을 평가하고 국제적 대책을 마련하기 위해 세계기상기구와 유엔환경계획이 공동으로 설립한 유엔 산하 국제 협의체

05) GCM General Circulation Model 기상 예측 및 기후변화 모의를 위해 사용되는 모델을 총칭

미흡한 실정이며, 주로 선진국의 기술 Know-how 전수 및 공적개발 원조로 대응하고 있다.

2. 수자원 관리시설물의 노후화 및 수자원 위험관리 기술과 정책

■ SOC 고령화

국내 사회기반시설을 관리하는 국토교통부, 농림축산식품부, 안전행정부, 등과 이들 산하기관에서는 기반시설 관련 정책 및 계획수립, 재원조달, 수요확충 등으로 구성된 선순환 부재로 인해, 국내 총 인프라시설의 대략 10%가 노후화 되어 이미 사회 안전 위협 요소로 지목되고 있다.



소방방재청 저수지 일제조사 결과에 따르면, 지자체 관리 저수지 1만 4300여개소 중 대략 90%에 해당하는 저수지가 노후화로 인한 급격한 내구성 취약성을 나타내고 있다. 또한 준공 된지 60년 이상 경과된 저수지는 전체

〈인프라 고령화율 종합〉

(단위: %, 개소)

운송				에너지·공익				인프라 전체*
교량	터널	항만	옹벽	댐*	하천시설	상하수도	산업단지*	
5.7 (465)	5.1 (106)	13.1 (39)	12.7 (109)	55.9 (292)	20.1 (232)	7.7 (109)	54.2 (-)	9.3 (1,352)
철도 28.5	철도 8.8	갑문 50.0	도로 0.7	다목적댐 25.1	하구둑 18.2	공업용 16.7		
도로 3.1	도로 3.1	계류시설 12.8	철도 60.5	발전용 42.1	수문 20.3	지방상수도 12.4		
복개 14.6	지하 3.5		건축물 0.8	용수전용 57.6	제방 18.4	광역상수도 5.1		
				지방상수도 42.9		하수처리시설 0.0		

자료 : 현대경제연구원

주 : 1. 2010년말 개소 기준. 괄호()는 개소. '댐'에는 저수지 포함. '산업단지'는 면적 기준

2. 고령화율 = ('30년 경과' 시설의 개소 / 전체 시설의 개소) * 100

3. 인프라 전체 고령화율은 '산업단지'를 제외한 7개 인프라를 기준으로 계산함

지난 4월 12일 경주 산대저수지(높이8m, 저수용량 25만톤)의 제방이 일부 붕괴되었다. 이는 한국농어촌공사에서 관리하는 소규모 저수지로, 준공된지 50년이 넘었다. 사고 결과, 농경지, 주택, 상가 등 피해가 일부 발생되었으나, 다행스럽게도 인명피해는 없었다. 관련기관의 빠른 대책수립으로 인해 2차사고 예방과, 빠른 수습이 진행되었으나, 이는 노후시설물 관리에 관한 국내 수자원 관리기관의 막중한 과제로 남겨졌다.

60%를 차지하고 있으며, 4600여개 소는 이미 지반, 구조적인 결함이 보고되었다. 최근 농어촌연구원의 연구결과에 따르면 2085개소의 저수지가 D등급 지구로 평가되기도 하였다.

그러나 현실은, 산대저수지와 같은 예견된 사고에 속수무책인 형국이다. 자치단체의 저수지 유지관리비는 지구당 연간 200만원에 불과해, 정기적인 관리 및 개보수는 어려운 실정이다.

■ 국내 관련 정책현황

2013년 현대경제연구원 “인프라 고령화의 실태와 개선 과제” 보고서에 의하면, 국내 기반시설은 1970년대 활발히 건설된 이후, 30년 이상 경과함에 따라, 노후화에 관련된 안전사고에 대단히 취약한 것으로 나타났다. 특히, 철도교량과 댐 저수지의 노후화가 심각함을 지적하였고, 빨빠른 관리투자가 확충되지 않는다면, 안전사고와 삶의 질 하락을 우려하고 있다. 이와 함께 노후화가 반영된 평가시스템의 부재를 지적하였고, 한국시설안전공단을 비롯한 한국수자원공사, 한국농어촌공사 등 관련기관의 안전성과 물리적 평가에 집중된 평가기법에 관한 한계성을 문제 삼았다.

국내 2011년 기준 건설투자의 GDP대비 비중은 13.5%로서, 독일과 미국의 국민소득 2만달러 시기(1990년 12%)보다 높은 상태에 있지만, 사회기반시설 건설과 유지 보수를 위한 예산이 정부예산에서 차지하는 비중은 매년 감소하고 있는 추세이다.

3. 수자원 안전관리의 새로운 패러다임 구축

최근 국내 물관리 대표기관인 한국수자원공사와 한국농어촌공사 각 기관의 연구원에서는 기후변화 및 시설 노후화 관련 총체적 요소를 고려한 수자원 전망 기술 개발과 이를 활용한 수자원 안전관리 인프라 구축을 위한, 새로운 중점 추진 목표를 다음과 같이 선정하였다.

■ 수자원 안전관리의 새로운 패러다임

- 지역별 미래기후 변화 영향 평가 및 수자원 확보 방안 수립
 - 한반도 규모의 이상기상 빈도 및 기후변화 영향 평가
 - 기후변화에 따른 지역별 미래기후 예측 기술 개발
 - 지역별 미래기후 변화 대응 수자원 확보의 새로운 패러다임 구축
- 기상재해 저감을 위한 수문인자 예측 및 대응방안 수립

- 가뭄으로 인한 기상재해 저감 유역단위 대응방안 수립
 - 반복적으로 홍수피해 예방을 위한 중소하천 유역 대응방안 수립
 - 기상재해 대비 유역별 가뭄 및 홍수 방지 사업의 새로운 패러다임 구축
 - 지속가능한 댐 저수지 개발 및 시설노후화에 특화된 안전진단 사업 구축
 - 댐 저수지 운영 현황 및 안전진단 사업의 과학화 및 첨단화를 위한 인적, 물적 자원 확보
 - 기후변화, 노후화 대비 시설물 위험도 분석 및 불확실성 평가
 - 지속가능한 농업용 저수지 개발 및 안전진단 사업의 새로운 패러다임 구축
 - 기후변화 및 노후화 대응을 위한 재해 취약성 극복 시설의 선제적 구축
 - 기후변화에 따른 수자원분야 재해 취약시설 객관적 파악
 - 기후변화 및 시설 노후화 대응을 위한 수자원 분야 첨단 피해저감 시스템 구축
 - 재해 취약성 극복을 위한 시설구축사업의 새로운 패러다임 구축
 - 기후변화 및 시설노후화 대응 수자원 관리 정책 및 인프라 구축
 - 기상재해 및 시설 노후화 대응 농림수산 분야 수자원 관리 정책 제안
 - 기후변화 대비 기상활용 종합정보시스템 구축
 - 기후변화 및 시설 노후화 대응을 위한 수자원관리의 새로운 패러다임 구축
 - 추진계획 및 기관별 역할
- 이상에서 언급한 수자원 안전관리의 새로운 패러다임 구축을 위한 추진계획 및 각 기관별 역할은 다음과 같다.



새로운 수자원 안전관리 추진계획

● 추진 계획 도표

- 가. 지역별 미래기후변화 영향 평가 및 수자원 확보 방안 수립
- 나. 기상재해 저감을 위한 수문 인자 예측 및 대응방안 수립
- 다. 지속가능한 댐 저수지 개발 및 시설물 노후화에 특화된 안전진단 사업 구축
- 라. 기후변화 및 시설 노후화 대응을 위한 재해 취약성 극복 시설 구축
- 마. 기후변화 대응 농림수산 분야 수자원관리 정책 및 인프라 구축

● 기관별 역할

- 연구기관 : 미래기후변화 영향 평가, 시설노후화에 따른 위험도 평가 연구 수행으로 관련 연구 결과물에 대한 신뢰성 배가
- 사업부처 : 지속가능한 수자원 관리 시설 개발 및 안전진단 사업의 인적 물적 기술 첨단화, 자연재해 취약성 극복 시설 구축 사업화
- 국토교통부, 농림축산식품부, 안전행정부 등 관련 기관 : 기후변화, 시설노후화 대응 농림 수산 분야 수자원관리 정책 수립 및 인프라 구축

4. 기후변화 및 시설노후화 대응 방안의 개선

이상의 새로운 패러다임 구축을 위한 핵심 요소로는 기후변화 시나리오 생산 및 전망 메커니즘 개발을 통한 기후변화 대응 개선방안 도출과, 노후시설물의 증가와 상반되는 관련예산의 제한성을 극복할 수 있는 효율적 투자방안의 도출이다.

■ 치수분야 기후변화 및 시설노후화 대응 개선방안

● 기후변화 및 시설노후화로 인한 현상

한반도 기후변화로 인한 대표적 현상으로서 먼저 온도 증가, 특히 겨울 및 봄 온도 증가를 들 수 있으며, 이로 인한 해빙양(Snowmelt)증가, 증발산량 증가, 연강수량 증가가 나타나고 있다.

특히, 강수량의 연주기성 변동 가능성 증대 및 극치강수량의 양적변화 와 출현빈도 증가가 최근의 기후변화로 인한 재해를 야기하고 있다.

이러한 외적 위험 환경의 변화와 함께 내적으로는 사회 기반시설의 급속한 노후화로 인한 기능 상실 및 시설 붕괴를 들 수 있다. 치수분야의 경우 역시, 극치강수량의 변동성 증대로 PMP 이상의 강우 발생 가능성 증가하고, 수자원관리 시설물의 노후화로 인한 수공구조물 수문화

적 위험성이 매우 심화되고 있다.

최신연구 결과 기후변화로 인해 온도 증가현상이 입증되었고, 온도 증가 시 포화증기압의 상승으로 이어지며 결국 큰 비가 내릴 수 있는 잠재력 또한 커짐을 알 수 있었고, 경주 산대저주지 붕괴사고와 같은 외적 하중의 변화 없이도 단순 시설노후에 따른 붕괴 위험이 전국에 여러 산재되어 있는 수자원 관리시설에서 우려되고 있는 실정이다.

● 새로운 현실(New Realities)에 직면

이에 수자원 관리자는 새로운 현실에 직면하고 이를 해결해야 하는 새로운 임무가 주어지고 있다

- 과거 기상학적 기준이 결코 미래 계획을 위한 신뢰성 있는 기준이 될 수 없음
- 수자원 공급에서 분배(Distribution), 양적(Amount), 시간적(Timing), 질적 변화 예측됨
- 수자원에서 양 극단(가뭄&홍수)의 현상 증대
- 더욱 복잡해지는 수자원 분배 문제 (More Complex, Controversial Water Apportionment Issues)
- 시설 노후화로 인한 재해예방을 위한 평가 및 관리 기술의 진보의 필요성

- 유지관리를 위한 한정된 예산의 효율적 분배

이에 개선방안으로서, 기후변화 및 시설 노후화에 대응하는 정량적 위험도에 관한, 새로운 평가와 이를 근거로 한 효율적 투자 기술 개발을 통한, 재해 저감 방안이 고려되고 있다.

● 저감 방안

위험도 저감 (Risk Mitigation Approach) :

구조적 대책(새로운 수공구조물 건설 및 효율적 보수보강 사업 추진), 비구조적 대책(정책변화, 보험, Crop Change 등)과 저감대책 평가(모의 시스템 구축 & 시나리오 분석) 등 있다.

적절한 타이밍을 가지고 시간에 따라 계속 변화하는 위험도를 저감 하기 위한 연속적인 대책들 필요하다. 해외 선진국의 경우 단기, 중기, 장기 계획 수립하여 대처하고 있다.

이러한 방안은 위험 영향들을 저감, 대응, 이용하기 위한 전략의 개발 및 적용에 의해서 이루어지며, 수리권 조정, 보험, 선택적 방어 등을 포함하는 포괄적 대책 필요하다.

● 정량적 위험도 추정 방법



그렇다면 이러한 기후변화 및 시설 노후화에 따른 위험도를 어떻게 추정해야 하는가? 먼저 기후변화의 경우, 먼저 과거자료의 이해로부터 출발해야 한다 이는 미래 기후변화 적응을 위한 기본 단계로서, 기상재해 특성 분석을 제대로 하는 것은 미래 기후변화 시나리오를 구성하기 위한 주요 단계(Key Step)이기 때문이다.

구체적인 방법론으로는,

- 과거자료로부터 기상재해의 확률을 추정하는 것이 필요
- 모의(Simulation)로부터 기후재해 노출에 따른 Risk 추정이 필요

시설 노후화의 경우, 한정된 예산의 효율적 투자를 위하여 선택적 우선권 설정이 불가피한 실정이므로, 종합적인 위험도 산정시, 위험발생확률과 그로 인한 피해액 산정에 있어 시설물의 중요도 등이 고려된 기법 개발로, 최종 의사결정 지원을 위한 다양한 대안 생성이 필요하다.

이러한 미래 기후변화와 급속한 시설 노후화에 따른 위험도를 추정한다는 것은 곧, 불확실성과의 전쟁이며 현재 이 전쟁을 한국농어촌공사와 한국수자원공사가 준비중에 있다.

● 그럼, 국내 수리시설 관리 기관의 역할은?

이수분야에 비해 치수분야에 대한 국가차원에서, 대표적 수리시설인 댐을 관리하는 한국농어촌공사, 한국수자원

공사, 한국수력원자력의 역할은 상대적으로 미미하다. 따라서,

- 상기 3개 기관은 기후변화에 대응 치수전략수립을 위한 기초를 제공 할 수 있도록 국가차원에서 역할 증대 필요하고,
- 현재 댐 및 저수지에 대한 결정론적(Deterministic) 안정성 검토는 기후 변화 조건에서 너무 소극적인 대처방안임을 조속히 자각해야한다.
- 기존 댐 저수지들에 대해서 기후변화 영향을 고려한 위험도 기반의 안정성 평가를 실시하고 시설의 노후화를 반영한 치수 강화 사업 계획 필요하며,
- 특히, 기후변화로 인해 증가되는 홍수위험도에 대한 과학적이고 신뢰성 있는 논리를 제공하기 위해서 다양한 시나리오 기반의 기후변화 영향 분석이 선행될 필요가 있다.
- 기존의 단편적인 위험도 분석보다는 종합적이고 불확실성이 고려 될 수 있는 댐 및 저수지 안정성 평가기법 도입과 함께, 시설의 노후도 및 중요도 등이 반영된 최종 의사결정지원시스템의 구축으로, 관련기관의 자체적인 심도 있는 최종 결정에 이바지함으로써, 재해예방의 시급성과 한정된 예산 집행의 효율성을 만족할 수 있으리라 기대한다.

