

치수시설물 모니터링 시스템 구축 방안

A Study on Development of the Flood Control Facility Monitoring System

강경석*, 이계윤**, 박기춘***

Kyung Seok Kang, Kye Yun Lee, Ki Chun Park

요 지

IT기술의 발달과 함께 최근 유비쿼터스 패러다임이 등장함에 따라 수자원분야의 정보화 환경이 변화하여야 한다는 논의가 활발하다. 빈번하게 발생하고 있는 자연재해에 있어서 주요 치수시설물의 안전모니터링은 새로운 기술의 적극적인 도입과 개발이 필수적이다. 또한 지속적인 수자원 관리 및 활용 고도화를 위해서도 정보화 경쟁력을 제고하고, 높아지는 사용자의 서비스 요구수준을 충족시켜야할 필요가 있다. 본 연구는 제방 및 보(수문)의 안전모니터링 선진화를 위해 다음과 같은 과정으로 연구하였다.

주요 치수시설물의 안전모니터링 요소를 분석하기 위해 붕괴원인 유형에 따른 주요 모니터링 취약성 인자를 도출한다. 취약성 인자 중 제방의 경우 침투, 침식, 월류, 구조물에 의한 붕괴 등에 의한 유형과 보(수문)의 경우 진도, 활동, 부유 등 다양한 관련 붕괴 현상을 검토하여 각각의 발생된 인자 특성별 모니터링이 가능하도록 최적 센서를 도출한다. 이러한 일련의 과정은 과거의 계측기를 통하거나 육안 및 수동적인 모니터링에서 벗어나, IT기술의 통신분야와 융합한 무선센서네트워크를 적용하여 경제성, 효율성, 현실성을 가지는 치수시설물의 모니터링이 가능하도록 하였다.

향후 이러한 USN(Ubiquitous Sensor Network) 등 유비쿼터스의 융합과 IT기술을 활용한 치수시설물 안전모니터링 선진화를 통해 홍수방어 및 관리시스템 구축에 활용되어 인명 및 재산피해를 절감하고 기술수준을 향상시킴으로서 홍수 재해로부터 안전한 국토 건설 및 국민의 삶의 질을 향상시킬 것이다. 또한, 국가 홍수관리 시스템 구축, 치수능력 증대, 장래유역단위 통합홍수방어 및 관리기술 개발에 기여할 것으로 판단된다.

핵심용어 : 치수시설물, 안전모니터링, 유비쿼터스, USN(Ubiquitous Sensor Network)

1. 서론

현재 IT산업의 급격한 발전으로 인하여 다양한 분야에 USN(Ubiquitous Sensor Network) 시스템의 활용이 증가되고 있는 추세이며, 최근 유비쿼터스 환경의 패러다임이 등장함에 따라 수자원분야의 정보화 환경이 변화하여야 한다는 논의가 활발하다. 그러나 빈번하게 발생하고 있는 자연재해에 있어서 홍수예방을 위한 치수시설물의 모니터링 시스템은 예측의 정확도, 실시간 모니터링 시스템 적용 등의 여러 가지 문제로 인해 현업화에 완전히 도달치 못하고 있다. 또한 현재의 시설물에 대한 모니터링은 계측기를 통하거나 육안 및 CCTV 등 수동적인 모니터링으로 인하여 정량적인 평가가 미흡하고 제한적인 인력 및 장비 활용으로 유지비용이 다수 발생하고 있는 실정이다.

이에 따라 지속적인 수자원 관리 및 정보화 활용성을 높이고, 경제성, 효율성, 현실성을 가지는 치수시설물의 모니터링이 가능하도록 높아지는 사용자의 서비스 요구수준을 충족시킬 수 있는 새로운 기술의 적극적인 도입과 개발이 필수적이다.

* 정희원 · (주)평화엔지니어링 수자원부 · E-mail : hydrokks@pec.kr
** 정희원 · (주)평화엔지니어링 수자원부 · E-mail : jefflee97@pec.kr
*** 정희원 · (주)평화엔지니어링 수자원부 · E-mail : parkpkc@pec.kr

국내의 경우 국토해양부의 ‘국가주요시설물 안전관리 네트워크 시범구축 및 운영시스템 개발’을 통하여 하천제방에 광섬유센서 계측시스템의 기술을 개발하고 안전관리 네트워크를 구축하는 등 실용화를 위한 연구가 진행되고 있으나, 치수시설물 붕괴의 취약성 인자에 대한 최적의 센서 및 무선 네트워크 시스템에 관한 연구사례는 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

본 연구는 주요 치수시설물의 모니터링 요소의 도출을 위해 붕괴원인 및 유형을 분석하고, 이에 따른 주요 모니터링 취약성 인자를 도출하였다. 취약성 인자 중 제방의 경우 침투, 침식, 월류, 구조물에 의한 붕괴 등에 의한 유형과 보(수문)의 경우 전도, 활동, 부유 등 다양한 관련 붕괴 현상을 검토하여 각각의 발생 인자 및 특성별 모니터링이 가능하도록 무선센서네트워크를 적용한 최적의 모니터링 방안을 제시하였다.

2. 치수시설물 붕괴원인 및 유형

하천제방관련 선진기술 개발 최종보고서(건설교통부, 2004)에서는 일반적으로 홍수시 제방 붕괴 원인은 크게 월류, 침식, 제체(堤體) 불안정 및 하천 구조물에 의한 붕괴 등으로 구분하였으며, Structural Design of Closure Structures for Local Flood Protection Projects(U.S. Army Corps of Engineers, 1994)에서는 수문의 구조적인 설계에 전도(Overturning), 활동(Sliding), 부유(Floating)를 제시하고 있다.

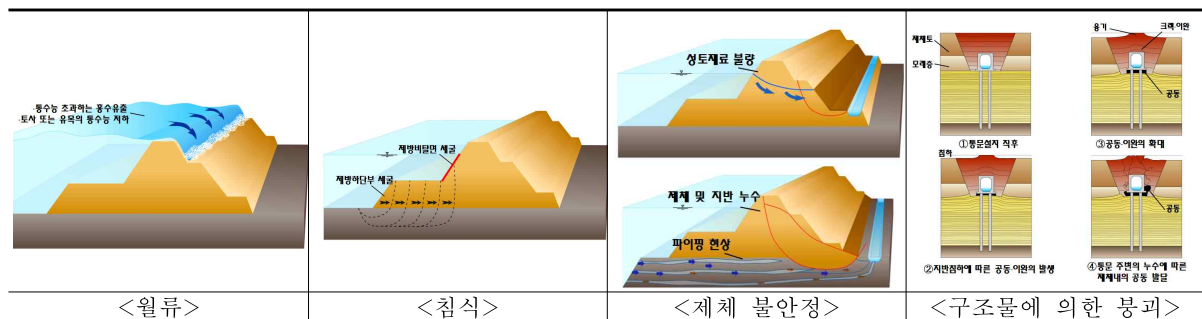


그림 1. 제방의 주요 붕괴 유형

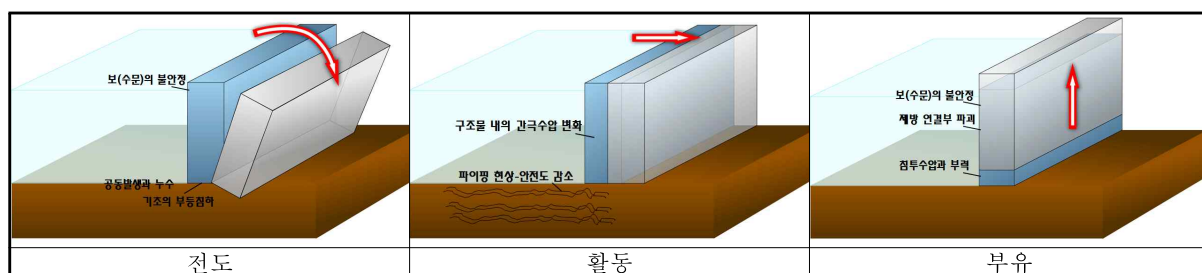


그림 2. 보(수문)의 주요 붕괴 유형

3. 붕괴 취약성 인자 및 모니터링 요소

제방 및 보(수문)의 주요 붕괴 유형에 따른 취약성 인자를 추출하고 이에 따른 모니터링 요소를 도출하여 각 상황에 맞는 모니터링이 가능하도록 하였다.

붕괴원인 유형별 모니터링 요소를 분류함으로써 광역적이고, 실시간적인 감시가 가능한 최적의 모니터링 체계를 구축할 수 있도록 하여, 경제성, 효율성, 현실성을 가지는 치수시설물의 모니터링이 가능하도록 하였다.

표 1. 제방 붕괴 원인별 취약성 인자 분류 및 모니터링 요소 분류

원인별 유형	취약성 인자	모니터링 요소
월 류	수리단면적 부족, 토석류 및 유목 등에 의한 통수능 저하, 교량에 의한 통수능 저하	홍수지속시간, 홍수량, 계획하폭, 홍수위, 여유고, 상류토지이용현황, 교량현황(경간장, 형하고 등) 등
침 식	하천의 급경사 및 급격한 만곡, 협소해지는 하폭, 제방 하단부 세굴	만곡도, 만곡 편수위, 단면축소비, 소류력, 유속, 호안 현황 등
제체 불안정	성토 재료의 불량, 제체 표준 단면적 부족, 파이핑 현상, 제방 기초의 침하, 시공중이거나 불안정 상태	홍수지속시간, 독마루폭, 제체재료 및 다짐도, 간극수압 및 누수현상, 제체 활동 및 변화량, 노후화정도 등
하천구조물에 의한 붕괴	교량 파괴, 하천구조물 접합부, 보 설치 지점	하천구조물 현황 및 위치, 공동 발생 및 침하량, 노후화정도 등

표 2. 보(수문) 붕괴 원인별 취약성 인자 분류 및 모니터링 요소 분류

원인별 유형	취약성 인자	모니터링 요소
전 도	보(수문)의 불안정 성토 재료의 불량, 기초의 부등침하 공동의 발생과 누수	지반침하 연약지반의 기초침하 공동발생 유무, 압밀정도
활 동	하천 수위변동 구조물 내의 간극수압의 변화 파이핑 현상에 의한 안전도 감소	하천 수위변동, 연약지반 간극수압, 비탈면 경사 차수정도, 균열
부 유	중량, 마찰력, 침투수압과 부력 제방과의 연결부 파괴	마찰력, 침투수압, 부력, 양압력 구조물의 자중

4. 모니터링 시스템 구축

현재의 제방에 대한 모니터링은 CCTV나 육안에 의한 수동적인 모니터링이 대부분이고, 보(수문)에 대한 모니터링은 소규모인 경우 거의 실시하지 않거나 제한적이며, 체계화되어 있지 않다. 대규모 보(수문)의 경우에도 설치중 구조물 내에 삽입하여 모니터링하고 있으나 위험요소에 대한 각각의 인자별 모니터링이 아닌 일반적이고 형식적 항목에 대한 모니터링이 수행되고 있으며, 유지관리에 많은 비용이 소요되고 있다.

본 연구에서는 실시간 감시 및 광역적인 모니터링이 가능하며, 위험요소별로 대응이 가능한 무선네트워크 및 센서에 의한 모니터링을 도입하였다.

4.1 통신방법

유선에 의한 통신방법은 초기 시설비가 저렴하며, 비전력이 활용 가능한 반면에 유지보수에 어려움이 발생하게 된다. 이에 비해 무선에 의한 네트워크 구성은 센서 네트워크 연결로서 자동화에 유리하여, 광역적인 치수시설물 안전모니터링 적용에 적합한 것으로 판단된다.

4.2 수공학적 특성에 따른 센서 및 모니터링

‘하천제방의 배수통문 설계 및 안정성 평가기법 연구,(건설교통부, 2005)’에서는 제방 및 수문에 대해 안정성 평가기법을 제안하였다.

본 연구에서는 제안한 안정성 평가기법을 모니터링에 적용할 수 있도록 하였으며, 치수시설물 위험요소별 대응이 가능한 붕괴 원인 유형에 따른 센서유형 및 설치위치를 설정하였다.

표 3. 제방 붕괴 모니터링 요소에 따른 센서 · 모니터링

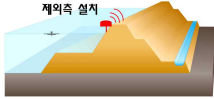
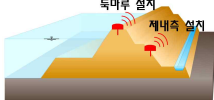



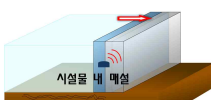

원인별 유형	모니터링 요소	센서유형(설치위치)	
월 류	홍수지속시간, 홍수량, 계획하폭, 홍수위, 여유고, 상류토지이용현황, 교량현황(경간장, 형하고 등) 등	수위계 (제외측)	
침 식	유속, 변화량, 만곡도, 만곡 편수위, 단면축소비, 소류력, 호안 현황 등	변위계 (독마루, 제내측)	
제체 불안정	홍수지속시간, 독마루폭, 제체재료 및 다짐도, 간극수압 및 누수현상, 제체 활동 및 변화량, 노후화정도 등	가속도계, 간극수압계 (제체내)	
하천구조물에 의한 붕괴	하천구조물 현황 및 위치, 공동 발생 및 침하량, 노후화정도 등	침하계 (구조물 주변 접합부)	

표 4. 보(수문) 붕괴 모니터링 요소에 따른 센서 · 모니터링

원인별 유형	모니터링 요소	센서유형(설치위치)	
전 도	지반침하 연약지반의 기초침하 공동발생 유무, 압밀정도	경사계, 수평계, 침하계 (시설물 부착)	
활 동	하천 수위변동, 연약지반 간극수압, 비탈면 경사 차수정도, 균열	변위계, 변형률계 (시설물 내 매설)	
부 유	마찰력, 침투수압, 부력, 양압력 구조물의 자중	토압계 (시설물 부착)	

4.3 무선 네트워크에 의한 시스템 구축

무선센서 노드는 센서로부터 수집된 아날로그 데이터를 디지털로 변환하고 이를 컴퓨터가 읽을 수 있도록 공학적 수치로 변화시켜 게이트웨이까지 전송하는 역할을 하며, 게이트웨이는 현장의 센서 네트워크로부터 전송데이터를 수신함으로써 서버에 정보를 전송하는 역할을 한다.



그림 3. 무선네트워크를 위한 센서, 게이트웨이 및 서버

5. 모니터링 시스템 구축방안

본 연구에서는 대표적인 제방의 붕괴원인인 월류에 의한 붕괴양상에 초점을 맞추고 이에 대한 모니터링 방안을 제시하였다. 모니터링 센서의 감지 및 기준 요소인 수위, 유속, 유수지속시간, 모니터링 위치의 횡단면현황 및 단면적, 현황 지형 및 구조물 현황 등에 대한 모니터링이 가능하도록 하고, 기존의 육안검사 및 CCTV와 같은 방식의 모니터링과도 연계가 가능하도록 하였다.

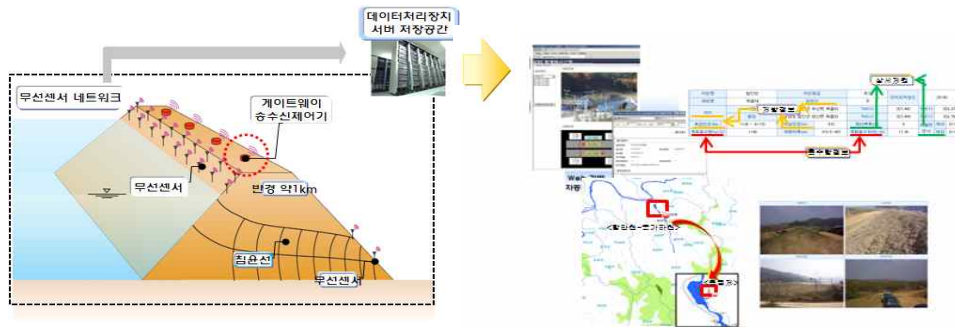


그림 4. 제방붕괴 모니터링 시스템 방안

6. 결론

현재의 시설물에 대한 모니터링은 계측기를 통하거나 육안 및 CCTV 등 수동적인 모니터링으로 인하여 정량적인 평가가 미흡하고 제한적인 인력 및 장비 활용으로 유지비용이 다수 발생하며, 긴급시에 즉각적인 대처가 어려운 실정이다. 이에 본 연구에서는 붕괴원인 유형에 최적화하여 모니터링요소에 따른 수공학적 특성별로 치수시설물 모니터링을 실시하고, 무선네트워크 및 센서를 활용한 치수시설물 모니터링 시스템 구축방안을 제시하여 실시간 및 광역적 범위의 감시가 가능하도록 하였다.

향후 USN(Ubiquitous Sensor Network) 등 유비쿼터스의 융합과 IT기술을 활용한 치수시설물 안전모니터링 선진화를 통해 홍수방어 및 관리시스템 구축에 활용되어 인명 및 재산피해를 절감하고 기술수준을 향상시킴으로써 홍수 재해로부터 안전한 국토 건설 및 국민의 삶의 질을 향상시킬 것이다. 또한, 국가 홍수 관리 시스템 구축, 치수능력증대, 장래유역단위 통합홍수방어 및 관리기술 개발에 기여할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 건설기술혁신사업(08기술혁신 F01)에 의한 차세대홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

1. 건설교통부(2004), 하천제방 관련 선진기술 개발 최종보고서.
2. 건설교통부(2005), 하천제방 배수통문의 설계 및 안정성 평가기법 연구.
3. 국토해양부(2009), 국가주요시설물 안전관리 네트워크 시범구축 및 운영시스템 개발.
4. 국토해양부(2009), 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(댐), (수문).
5. 김형우(2007), 무선센서 네트워크를 이용한 산사태 모니터링 기초기술 연구, 한국정보통신설비학회 하계학술대회 논문집.
6. 윤광석(2004), 하천제방 붕괴 유형분석 및 설계방안, 한국수자원학회지 Vol.37 No.5.
7. U.S. Army Corps of Engineers(1994), Structural Design of Closure Structures for Local Flood Protection Projects.