

# 댐·제방 붕괴에 대비한 홍수위험지도 및 EAP 작성

## Flood Hazard Map and EAP Establishment Against Dam/Levee Failure

한건연\*, 김극수\*\*

Kun Yeun Han, Keuk Soo Kim

### 요 지

비상대처계획(EAP, Emergency Action Plan) 수립 및 홍수위험지도 작성의 목적은 댐·제방 붕괴 등 비상상황이 발생하였을 때 하류부의 생명과 재산 손실을 최소화하기 위한 것으로서 댐 운영 및 관리책임자가 극한홍수 및 지진발생 조건하에서 댐의 물리적, 지형적, 구조적 특성에 따른 발생 가능한 비상상황을 예상하고 이에 효율적으로 대처하기 위한 가능한 최선의 사전계획을 수립하는 것이다. 또한, 댐의 비상상황에 대처하기 위한 비상대처계획 수립 의무화 및 이에 대한 실제적인 모의훈련 등에 필요한 기초자료를 체계적으로 제공하고자 함에 있다.

국내에서 EAP를 수립하여야 할 대상 댐·저수지는 한국수자원공사에서 관리하는 다목적댐, 생공용수댐과 한국농촌공사에서 관리하는 농업용저수지, 한국수력원자력주식회사에서 관리하는 수력발전댐 및 지방자치단체에서 관리하는 댐 등이 해당된다. 제방의 경우 인구가 밀집되어 있는 전 지역이 그 대상이 될 수 있다.

EAP의 주요 내용에는 만약에 발생할 수 있는 붕괴 사고시 인명의 손실이나 재산상의 피해를 발생시킬 수 있는 댐·저수지들에 대해서는 EAP를 수립하거나 갱신하기 위한 지침들이 포함되어 있어야 한다. 댐으로부터 하류 연안지역의 개발이나 소유권은 다양하며, 이로 인해 댐의 운영이나 붕괴로 인한 잠재적 인명손실 또한 다양할 수 있다. 따라서 모든 EAP는 댐, 저수지 하류부 현장 조건에 맞도록 구성되어야 한다. EAP 수립의 주체는 댐 및 저수지 관리자이며 EAP에는 비상상황 확인, 평가, 등급분류, 비상연락체계 및 경보전달체계 수립, 비상시 응급행동요령, 홍수범람예측지도 작성, 비상주민대피계획 및 훈련방안, 부록, 주기적 또는 필요시마다 보완 계획 등이 포함되어야 하며, EAP의 주요 구성요소인 홍수위험지도에는 홍수위험정보 및 대피정보를 제시함으로써 실제 주민 대피계획시 실제적이고 효율적인 대피계획 수립에 활용될 수 있다.

**핵심용어** : 비상대처계획, EAP, 홍수위험지도, 댐·제방 붕괴

## 1. 서 론

홍수분석을 실시하기 위한 과제는 분석 결과와 그것의 설명에 필요한 요구사항을 댐 안정성, 위험도평가, 침수지도의 제작, 뜻밖에 사고에 대한 비상대처계획, 댐붕괴로 인한 구조대처계획, 댐붕괴 위험평가, 댐붕괴 모형의 응용의 각각에 대해서 정하는 것이다. DBHA(DamBreak Hazard Analysis)의 주요 기능은 재난 발생시 구조대책을 세우기 위해 필요한 정보를 정의하고, DBHA를 이용하여 가능한 위해를 제거하거나 계획된 다양한 경감대책에 의해 위해 정도를 제한시키고, 댐의 위해 분류를 확인하고 결론적으로 조사에 필요한 기술 수준을 확정한다. DBHA의 결과는 댐의 안정성을 책임지는 관리자에게 전달된다.

## 2. 홍수추적의 결과

댐 붕괴 홍수추적시 가장 중요한 요소는 유량 관련 결과이다. 그러나 홍수 위험은 주로 홍수와 큰 유속에

\* 정희원 · 경북대학교 토목공학과 교수 · E-mail : kshanj@knu.ac.kr

\*\* 정희원 · 경북대학교 토목공학과 박사과정 · E-mail : logic4@nate.com

의해 운반되어진 부유물들의 영향에 의한 부분 혹은 전체 침수로 야기된다. 만약 홍수에 침전물의 농축된 정도가 크다면 유속이 느린 지역에서 퇴적물의 이송이 문제를 유발시킬 것이다. 이러한 문제가 유발될 수 있는 지역에 대한 상세한 설명이 필요할 수 있다. 홍수 추적 모의의 주된 결과들은 다음과 같다.

## 2.1 유량

부차적인 구조물의 기능의 변화 또는 파괴와 같은 지역적 영향에 의해 발생하는 흐름상황에서의 유량전파, 차단과 다른 통로로의 흐름은 유량의 급격한 변화를 가져온다. 유량은 아래에 열거된 사항들에 대해서 표현되어야 한다.

- 단일 지점과 선택된 주요 지점들에서 홍수사상에 따른 수문곡선
- 위치에 따른 수문곡선(다른 주요 사상들과의 비교)
- 대상구간에서 유량 수문곡선의 연속적인 표현
- 수리구조물(댐, 발전소, 펌프)의 작동에 대한 유량 수문곡선
- 전체 대상지역 또는 한 구간을 따라서 다른 시각에서의 유량
- 기능적 오류 또는 운영상의 사고발생 시각과 기능적 운영상의 사고를 나타내는 유량 수문곡선
- 유량 수문곡선에는 수위에 대한 내용을 내포하여야 한다. 즉, 유량-수위 수문곡선 그래프의 표현이 이루어져야 한다.
- 3차원 그래픽 결과에서 대상 구간의 전체 또는 일부에서 유량에 관한 특정결과. 유량, 시간과 위치표현

## 2.2 수위

사용자가 관심 있는 지점(큰 피해가 예상되는 지점)과 한계점에서 수위, 다른 사상과의 수위 비교, 내부경계에서 수위(부차적인 구조물의 파괴 또는 작용에 의한 영향), 흐름의 차단을 통해 수위 변화가 심한 지점에서의 수위 등이 표현되어야 한다.

- 단일 지점과 선택된 주요 지점들에서 홍수사상에 따른 수문곡선
- 위치에 따른 수문곡선(다른 주요 사상들과의 비교)
- 대상구간에서 수위 수문곡선의 연속적인 표현
- 대상지역의 전체 또는 일부에 대해서 시간과 수위의 관계(구조물의 그림의 표현은 독취에 용이함).
- 전체 대상지역 또는 한 구간을 따라서 다른 시각에서의 수위.
- 기능적 오류 또는 운영상의 사고발생 시각과 기능적 운영상의 사고 영향을 나타내는 수위 수문곡선. 유사한 표시는 연관된 유량 수문곡선에 의해 취하여진 조치를 암시해야 한다. 이는 또 다른 방법으로 모형화하여 제시된 결과에 대하여 유용하다. 더 상세히 설명하자면 유량과 수위 수문곡선의 결합은 같은 그래프 안에 표시되어야 한다.
- 3차원 그래픽 결과에서 연구 구간의 전체 또는 일부에서 계산된 수위. 수위, 시간과 위치를 같은 그래프에서 모두 보여준다.

유속은 비상상황시의 危害評價와 구조대책 계획을 위한 중요한 척도이다. 도로망의 사용가능성과 피해정도는 수심과 함께 유속에 크게 영향을 받는다. 구조기관이 강을 따라 이동하거나 건너기 위해서 사용하는 배의 유형 또한 유속에 따라 다르다. 유속은 표형식으로 출력되어야 한다. 다른 시각에 대해서 강물의 흐름에 따른 유속곡선은 그래프로 보여줄 수 있다. 이와 같은 방법으로 유속이 빠른 지역이 쉽게 구별될 수 있다.

## 3. 홍수위험지도 작성시 고려사항

DBHA의 주요내용과 Flood Hazard Map의 결과에 포함될 중요한 요소는 다음과 같다.

- 1) 일반적인 관련 배경지식, 역사, 관련기관, 분석을 이끌어내기 위한 단계, 댐 안정 프로그램과 구조 및 피난 대책에 관련 있는 인적구성.
- 2) 댐의 일반사항과 기술적 묘사, 댐의 부속 구조물과 저수지, 배수지, 기상학, 수문학 그리고 설계홍수.
- 3) 최종 붕괴 크기를 제한함으로써 잠재적인 붕괴되는 지점과 홍수파가 흘러 들어가는 댐의 하류 지역의 일반적인 도입부의 묘사.

- 4) 홍수과의 전파에 확고한 영향을 미치는 특수한 지점인 지형의 기술, 사회기반시설의 세부사항, 위해가 큰 지역, 계곡에서 한계 위험 홍수위 그리고 홍수로의 개념적인 고려사항과 얼음이나 부유물에 의해 야기된 흐름의 차단이 발생된 지점의 기술.
- 5) 사용한 모형제작 기술의 묘사, 참고문헌, 유사지역의 연구, 모형 모의로 얻을 수 있는 정확성.
- 6) 홍수위험지도를 위해 개발된 모형의 기술, 모형보정과 사용가능한 보정을 위한 데이터, 사용된 매개변수와 일정한 입력 값, 사용된 기저유출 작용개념의 기술.
- 7) 댐 붕괴 민감도 분석 조사에 대한 해석. 이 분석의 결과로서 가장 가능성 있는 붕괴 기간과 양상을 제시해야 한다. 하도구간에서 홍수추적을 하기 위해서 시나리오에 의한 댐 붕괴로 인한 수문곡선을 선택.
- 8) 하도 단면과 댐의 계곡 하류부에서 댐 붕괴로 인한 홍수추적 조사에 대한 해석, 불확실한 것에 대한 언급과 수위와 계곡흐름의 매개변수에 관한 민감도 분석 결과. 부차적인 구조물의 영향, 부유물과 거목이 수위와 유량에 미치는 영향, 수치정보 표와 그래프 사용을 추천한다.
- 9) 상세한 정보가 부분적으로 요구될 수 있다. 예를 들어, 1, 2차원 모형 또는 축소된 크기의 물리적 모형의 보강으로 알 수 있다. 그러한 추가된 정보는 독으로 둘러싸인 지역의 채움재, 지역적 유속과 도로와 철도의 침수시간을 포함할 수 있다.
- 10) 결과 발표를 위한 최종 모형 모의를 선택하여 증명한다. 주요한 결과는 도표로 나타낸다. 댐 붕괴로 인한 홍수 구조대책에 대한 특별한 출력을 포함하여 지도에 관한 정보, 지역의 홍수-정보표 및 요약표는 부록에 제시된다.
- 11) 위해한 물질과 오·폐수를 가지고 있는 댐의 경우에 대해서 건강에 대한 유해여부 평가와 환경적 위험여부에 대한 평가를 실시하여야 한다. 위해한 물질인 지하수로의 침투가 고려되어야 한다. 그러한 영향은 장기적으로 물의 공급을 위협하게 할 것이고 구조 대책기간동안 특별한 관심을 요구한다. 그러한 분석은 DBHA의 일부로서 특별한 도구와 모형을 요구한다.
- 12) 위험분류에 대한 설명은 DBHA를 담당하는 전문가에 의해 제공된다. 이것은 이 요소에서 언급된 전문가에게 자격증을 요구하는 것이 법적 요구사항이 될지도 모른다.
- 13) 부록에 있는 정보와 코드화된 홍수지도를 사용하기 위한 지침사항이 요구된다. 일부국가에서는 홍수 위험지도의 결과가 공공의 정보로서 발행되어지는 반면 다른 국가에서는 기밀문서이다.

다른 선택사항은 홍수위험지도를 사용하기 위해서 관계기관이 항목별로 분류하는 것이고 공공의 정보를 위험지역에서 거주하거나 활동하는 사람들과 기업에 한하여 제공하는 것이다. 결과의 코드화는 기술적으로 읽기 쉽고 보안을 위해서 필요하다.

#### 4. 댐·제방붕괴 홍수지도의 활용

해석결과의 발표를 위해 사용된 지도는 개괄적인 자연 상태를 나타내고 축척은 그다지 중요하지 않다. 그러한 경우에 지도는 위치를 표시하기 위해 사용된다. 지도의 축척은 홍수의 크기, 하도구간의 거리 등에 따라 선택되어진다. 다양한 축척이 유용하다는 것이 알려져 있다. 도시지역에서 홍수의 결과는 더 큰 해상도를 가지는 지도 즉, 도시 설계에 사용된 사회기반시설 지도위에 묘사된다. 이와 같은 경우에 이용할 수 있는 가장 큰 정확도를 가지는 지도를 모형 개발을 위해서 사용해야 한다는 것은 명백하다. 본래의 지도(더 읽기 쉽기 때문에 선호) 또는 높은 정확도 출력이 침수지역 지도제작을 하기 위해서 사용되어야 한다. 지도제작은 각각의 최종 홍수 사례에 대해 이루어진다. 일반적으로 1/5,000 축척이 적용되어지고, 도시지역의 경우 1/1,000 축척이 요구된다.

전문가에 의해 작성된 Flood Hazard Map은 계곡의 등고선, 관련 단면의 위치, (코드화가 가능한)단면의 이름과 번호, 홍수과의 도달에 관한 정보, 최대 수위 발생 시간, 유속(벡터), 최대 홍수 수심선, 생명에 대해 높은 위험군에 속하는 지역과 중요한 구조물에 대한 위해 평가 등에 대한 정보를 포함하여야 한다. 구조 기관에 의한 입력에 의한 지도는 홍수에 의해 파괴될 수 있고 그러한 도로로 구조 수송을 불가능하게 하는 한계 도로단면(철도에 대해서 유사한 접근), 홍수발생 시 다른 시간에서 구조 작업을 위한 최종 경로, 사람들을 피난시키기 위한 경로, 댐 근처에 거주하는 사람들의 탈출 경로, 사후 구조 활동을 위한 경로 등에 관한 정보를 포함하여야 한다.

## 5. 비상상황관리

비상상황 발생시 위기관리는 주민의 생명을 보호하고 재산 및 환경에 대한 피해를 최소화 하며 재난으로 인한 고통을 경감하기 위한 것이다. 이것은 계획수립, 최신정보 및 교육훈련을 요구하며 세 가지 과정을 거친다. 위험경감(Mitigation)은 이들 과정에서 첫 번째 과정이며 비상상황 또는 그것의 결과가 발생할 가능성을 경감시키거나 이를 위한 적절한 기술과 관리이론의 선택적 적용으로 간주될 수 있다. 위험 경감은 다른 사회 분야와의 협동 노력으로 이루어 질 수 있다. 비상상황 관리에 관하여, 위험 경감은 사회기관들과 개인의 방어 및 대비단계를 포함한다. 방어(Prevention)는 재해와 위험(예, 입법, 경감 프로그램, 규정, 기준 등을 포함하는 다양한 방법을 통하여 제한조건과 요구사항을 정함)을 줄이기 위한 구조적, 비구조적 대책 등을 포함한다. 대비(Preparedness)는 효과적이고 효율적인 대처를 하기 위한 모든 활동을 포함한다. 즉, 기관들과 개인이 재해에 대한 대책을 준비하는 것이다. 큰 재해에 맞서기 위한 준비는 그것의 잠재적인 피해를 최소화 하기 위해서 중요한 과정이며 비상대처계획에서는 더욱 중요한 역할을 한다.

대응(Response)은 경계 및 경보는 주민들에게 비상상황을 알리기 위한 준비, 구조 그리고 비상대피소, 의료서비스, 식료품과 의복을 제공함으로써 부상자와 피해자들을 돌보는 재난발생 후의 지원과 같은 비상시 대처 방법들을 통일하는 것뿐만 아니라 그러한 비상 계획의 실행과 활성화를 의미한다.

재난으로 인한 복구(Recovery)는 이전의 시스템과 시설을 재난 이전의 상태로 돌려놓기 위한 활동들을 의미하며 피해평가를 실시하고 복구가 끝날 때까지 기본적인 서비스의 질과 지속을 보장하는 것을 의미한다.

비상계획은 비상상황에 대처하고 관리하며 재난의 영향을 경감하기 위해 고안된 대책, 규칙, 지침, 절차 그리고 임무의 총괄을 포함하는 유연하고, 역동적이며 적절한 도구가 되어야 한다. 비상계획은 댐의 관리자, 방재담당 공무원 및 당국의 역할, 의무, 우선순위 및 명백한 구분 등을 확립하고, 위기를 관리하기 위한 준비를 할 수 있도록 돕는 중요한 수단이다(그림 1).

## 6. 비상대처계획의 교육 및 훈련방안

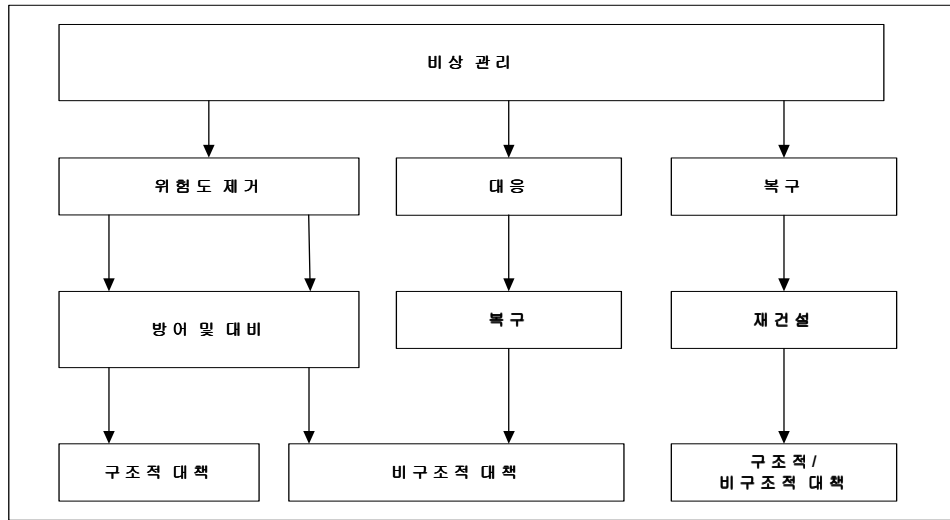
수립된 EAP에 대한 실질적인 실행을 위해서 다음과 같은 단계의 훈련계획이 병행되어야 하겠다. EAP 훈련은 사전회의, 전산(도상)훈련, 기능훈련, 실제훈련 등을 포함하여야 한다.

EAP 절차에 대한 종합적이고 깊이 있는 훈련은 댐 관리자와 지역재난안전대책본부의 협의하에 실시하여야 한다. EAP를 실행하기 위한 훈련의 목적은 시설물 관리자와 지역재난안전대책본부 사이에 요구되는 협동과 연계체제를 구축하기 위한 것이다. EAP 훈련은 EAP에 관한 관련기관과 개인의 역할과 책임에 대한 명확화, 필요사항에 대한 조정과정 등을 보여준다. 시설물 관리자는 비상상황 동안에 각종 절차와 대응에 필요한 상황을 철저히 인지하기 위해서 재난대책본부의 훈련과 준비상태를 검정하기 위한 정기적인 훈련을 수행하여야 한다.

훈련을 수행할 책임이 있는 기관들은 우선 EAP 수행에 필요한 실제적 시나리오를 작성해야 한다. 시나리오 오는 가급적이면 다양하게 구성해야 하는데 야간, 주말, 공휴일에 대해서 추가적으로 요구될 수 있는 절차가 EAP 훈련시에 고려되어야 한다. 훈련 상황에서는 지역재난안전대책본부 및 유관기관들 간의 협의와 조정과정이 요구된다. 이것은 훈련의 실제성을 강화할 것이고 EAP 양식에 있는 연락처의 확인과정도 포함된다. 훈련 후 시설물 관리자는 훈련기간에 나타난 다양한 문제점에 대해서 평가를 실시하여야 한다.

또한 EAP 훈련의 모든 단계에 대한 대응상황도 검토하여야 한다. 평가의 목적은 경보체계, 우선순위, 부여된 임무의 적절성 등을 포함하는 EAP의 미비점을 개선하기 위한 것이다. 평가가 완료된 후에 EAP는 제시된 문제점을 기반으로 하여 개정되어야 하고 시설물 관리자는 훈련일로 부터 30일 이내에 훈련의 결과를 기초로 갱신하여야 한다.

평가내용에는 실행된 훈련의 목록을 포함하고 있어야 한다. EAP를 검정하기 위한 훈련에 있어서 시도 및 시·군·구 공무원들 간의 관계는 실제 비상상황에 있어서 EAP의 성공적인 수행을 위해 필수적으로 요구되는 협의와 조정을 이루기 위해서 필요하다. 즉, 시설물 관리자는 관련기관들에게 시설물 붕괴와 관련된 정보를 제공할 책임을 가지며, 지역재난안전대책본부는 위험지역 내의 대피에 대한 책임을 가진다.



<그림 1> 비상상황 관리

만약 시설물 관리자가 지역재난안전대책본부에 비상상황에 대한 통보가 이루어지면 그 기관에서 적절히 대응할 것이라고 가정해야 한다. 각 기관들이 기관별 책임, 조정, 훈련을 확실히 수행하는 것이 효율적인 EAP 실행을 위한 필수 요건이다. 시설물 관리자와 지역재난안전대책본부는 EAP 실행에 필요한 전체적인 상황을 명확하게 이해하는 것이 매우 중요하다. 이러한 것들은 비상상황이 발생했을 때 다양한 상황진개에 대하여 보다 유연하고 체계적인 대응을 할 수 있도록 도움을 주게 된다.

## 6. 결론

본 연구에서는 비상대처계획(EAP, Emergency Action Plan) 수립 및 홍수위험지도 작성의 목적을 제시하고 EAP의 내용과 댐-제방 붕괴 홍수해석을 통한 결과에서 제시할 항목들을 조사하였으며, 홍수해석의 결과를 이용한 홍수지도의 작성 시에 요구되는 사항들을 조사하였다. 그리고, 비상상황 관리 및 EAP 훈련에 필수 요소들을 언급함으로써, 현재 비상상황 수립에 있어 추가적으로 필요한 사항들을 제시하였다. 이는 국내 비상상황 수립시 참고가 될 것으로 판단되며, 현재 EAP 수립에 개선방향을 제시하여 향상된 EAP 수립에 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 과학기술부가 출연하고 한국과학재단에서 위탁시행한 2004년도 특정연구개발사업중 웹기반 홍수정보 시스템 Prototype 개발사업(과제번호 : M1-0402-02-0002-04-002-02-000-00)에 의한 연구로서 관계 당국에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. 농림부, 농업기반공사(2004). 남대천, 안청천 유역 저수지 비상대처계획.
2. 농림부(2003). 농업용저수지 비상대처계획(EAP) 수립요령.
3. 소방방재청(2004). 댐 붕괴 등에 따른 비상대처계획(EAP) 수립지침 작성방안 연구.
4. FEMA(1998), Federal Guidelines for Dam Safety : Emergency Action Planning for Dam Owners.