

국내 주요 수변시설물 EAP 프레임워크 개발

박수열¹, 최수영^{2*}, 오은호¹, 김진만³
¹(주)우노, ²(주)지오씨엔아이, ³한국건설기술연구원

Development of a Framework of Emergency Action Plan for Domestic Water Front Critical Infrastructure

Su-Yeul Park¹, Soo-Young Choi^{2*}, Eun-Ho Oh¹, Jin-Man Kim³

¹Disaster & Risk Management Research Department, UNO Co. Ltd.

²Spatial Information Research Institute, U&GIT

³Geotechnical Engineering Research Institute, KICT

요약 강우는 자연과 인간에게 중요한 자원이다. 적절한 강우는 농작물의 성장과 토지의 온도를 일정하게 유지시켜줌으로써 우리 사회가 안정적으로 유지되도록 하는 매우 중요한 역할을 한다. 그러나 태풍 및 집중호우 등과 같이 특정 지역에 계획강수량보다 더 많이 발생한 집중강우는 시설물 및 인간에게 커다란 피해를 입히기도 한다. 이에 따라 미국, 일본 등 선진국의 수재해 대응기관들은 시설운영자와 재난전문가, 응급대응인력들에게 가이드라인을 제공하기 위해 수재해 EAP(Emergency Action Plan)를 작성·운영하여 시설물을 보호하고 강화하는데 활용하고 있다. 대표적인 예로, 미국의 FEMA와 DHS는 시설물과 인명을 보호하기 위해 댐, 제방 등을 위한 다양한 EAP를 운영하고 있는데, 특히 FEMA는 EAP를 시설물이나 인명에 가해지는 피해나 기능적 충격과 같은 응급상황을 감소시키기 위해 작성하는 공식문서로 규정하고 있으며, 이 EAP를 통해 응급 시에 발생할 수 있는 모든 상황뿐만 아니라 평상시 발생할 수 있는 시설물관리상의 문제까지 대응이 가능하도록 규정하고 있다. 이에 본 연구에서는 미국, 일본 등 국외주요국과 국내에서 사용중인 EAP 관련 규정을 분석하여 국내 상황에 적합한 EAP 체계를 제안하였다. EAP는 예방, 준비, 대응, 복구의 재난단계별로 시설물과 인명을 보호하기 위해 재난 전문가들과 시설운영자들이 취해야 할 업무, 응급장비 운용 등의 내용을 담고 있다. 본 연구를 통해 개발된 EAP 프레임워크는 테스트베드 적용을 통해 적정성을 평가받았으며, 국내 홍수재난 위험을 감소시키기 위한 절차와 방법 개선에 기여할 것으로 기대된다.

Abstract Unusual precipitation caused by typhoons and severe rain storms can threaten human life and property. Thus, various organizations prepare emergency action plans (EAPs) to provide proper guidelines for operators, experts, and emergency response personnel to protect and enhance critical infrastructure. For example, FEMA and DHS have various types of EAPs for dams, levees, and other structures to protect people and property. FEMA defines EAPs as official documents to decrease the damage and impact in emergency situations and to reduce casualties. These documents should consider all possible situations in an emergency and can reduce problems in facility management. This study analyzes EAPs for infrastructure from the USA, Japan, and Korea in order to suggest an ideal EAP framework. EAP content can include how to guide experts and operators in disaster stages (mitigation, preparedness, response, and recovery), how to operate emergency equipment, and how to protect critical infrastructure and life. The suggested EAP framework performed very well in a test location. It can therefore be used for infrastructure organizations in Korea and to inform of the appropriate processes and methods for risk reduction in flood disasters.

Keywords : Precipitation, Emergency Action Plan(EAP), Flood disaster, Emergency Response, Disaster Stage, Flood Disaster Risk Reduction

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 건설기술연구사업의 연구비지원(16SCIP-B065985-04)에 의해 수행되었음.

*Corresponding Author: Soo-Young Choi(U&GIT)

Tel: +82-53-857-7312 email: sychoi@geocni.com

Received March 10, 2017

Revised (1st March 31, 2017, 2nd April 6, 2017)

Accepted April 7, 2017

Published April 30, 2017

1. 서론

최근 국내의 경우 잦은 가뭄으로 인해 수재해에 대한 관심이 줄어들고 있으나, 국내 발생 자연재해의 70%가 홍수 및 태풍 등이어서 여전히 수재해는 국내에서 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 기후변화로 인해 발생하는 집중 폭우는 때로 제방의 계획수위를 초과하여 월류, 활동, 파이핑 등 제방파괴의 원인이 되며, 인접지역에 직·간접적인 경제적 피해와 물리적 침수피해를 야기시킨다. 미국의 경우 2016년에 발생한 휴스턴 홍수로 도심 가옥 7만여채가 물에 잠기고 23명이 사망한 바 있으며[1], 일본은 2015년 태풍 아타우의 영향으로 동남부 지역에 홍수 및 산사태가 발생하여 3명이 사망하고 25명의 실종자가 발생하는 등 인명피해를 입었다[2].

이처럼 전세계적으로 발생하는 국지성 집중호우로 인해 다수의 국가들이 인명·시설물 등 큰 피해를 입고 있으며, 이에 대응하기 위해 각 국가별로 다양한 방안을 마련·시행하고 있다. 특히, 미국, 일본 등 주요국은 시설물별 재난대응체계를 강화하기 위하여 비상대처방안(Emergency Action Plan, EAP)을 마련하여 재난 발생 시 체계적이며 즉각적인 대응이 이루어지도록 유도하고 있다. 이에 본 연구는 국내의 주요국에서 공식적으로 사용되는 다양한 EAP를 검토한 후 시설물에 공통으로 적용될 수 있는 기본 프레임워크를 제시하였으며, 수변구조물 중심의 테스트베드에 적용하여 국내 시설물 및 재난대응체계 적합성을 검토하였다.

2. 국내·외 수재해 EAP 현황

2.1 미국의 수재해 대응 EAP

미국의 FEMA (Federal Emergency Management Agency)는 “시설물의 잠재적인 긴급 상황을 명시하고 재산 손실과 인명 피해를 줄이기 위한 공식 문서이며 정부의 긴급재난대응기관과 시설물 운영기관이 협력하여 해당 시설물에 관한 사고 및 긴급 대응 업무와 동시에 시설물의 유지관리 문제를 줄이거나 해결하기 위해 필요한 문서[3]”로 EAP를 정의하고 있다. 국내에서는 EAP를 “위기대응매뉴얼”, “비상대처계획” 등으로 표기하고 있으며, 이중 수재해 관련 지침에는 “홍수대책매뉴얼”, “풍수해 비상대처계획” 등이 있다. 이처럼 EAP는 재난 발생 시 정부 재난본부와 시설물 운영기관이 협력하여

시설물과 사용자에게 발생할 수 있는 재난·사고를 방지하고 사전에 대응할 수 있는 기본 업무 및 절차 체계를 제시하는데 목적이 있다. 간혹 EAP와 표준작업절차(Standard Operating Procedure, SOP)가 구분되지 못하고 혼동되는 경우가 있는데, SOP는 현장에서 발생하는 업무 절차를 명시한 것으로 비상시와 평상시에 발생하는 모든 업무 및 안전에 관한 표준화된 정보가 포함되어 있어 EAP와는 적용 범위와 시점이 다르다. 본 논문에서 다루는 EAP는 재난 발생이라는 장·단기 시점과 재난이 발생하는 지역 내 시설물이라는 공간적 제약의 범위 내에서 EAP 개선에 초점을 맞추고 있다.

2.1.1 FEMA의 EAP

FEMA는 시설물 위기관리대응을 위해 홍수 발생 수준에 따른 4단계 순차적 대응체계를 적용하고 있다. 1단계는 사고감지, 평가, 긴급레벨 결정 업무 등이며, 2단계는 경보 및 보고 업무가 주를 이룬다. 3단계는 재난발생 시 긴급활동에, 그리고 4단계는 재난 종료 후 사후활동에 EAP 초점이 맞춰 있으며 각 단계에 필요한 위기상황 긴급업무를 명시하고 있다. 또한 자연재해와 수변시설 및 기계 결함으로 발생하는 인명피해, 재산손실 등에 효과적으로 대응하기 위해 필요한 EAP의 재·개정에 초점을 맞추고 있다. 특히, 대상지역의 특성에 따라 시설물 붕괴 및 기능정지의 충격 범위와 크기가 달라지기 때문에, 시설물의 기능 정지나 운영 시 발생하는 실패의 충격에 비례하여 EAP 상세 수준이 결정 되어야 할 것을 명시한다[3].

FEMA는 EAP 작성 시 ①비상연락망 및 연락정보, ②수재해 방지업무 대응절차, ③수재해 방지 업무의 책임, ④수재해 방지 구체적 업무, ⑤침수지도, ⑥부록(댐 붕괴에 대한 조사와 분석 자료, EAP 검토·개정·배포 계획, 조직도, 시설물 주의사항)을 포함하도록 명시하고 있다.

2.1.2 DHS의 EAP

FEMA가 범용적인 EAP 구조를 제시하고 있는 반면, DHS (Department of Homeland Security)의 관련 규정은 개별 시설물에 구체적으로 적용될 수 있는 지침을 담고 있다. DHS의 EAP는 기상청의 홍수예보발표를 기점으로 시작되며, 3단계의 대응 업무로 구성되어 있다(Fig. 1). 1단계는 초기대응활동에 필요한 업무를 규정하고 있으며, 초기 시설물 검사, 순찰 및 책임업무, 순찰시 안전 및 보완업무, 일반적인 제방 관리업무, 관람객 관리업무

등을 포함하고 있다. 2단계는 홍수발생시 대응활동으로 수재해 방지업무, 인명 대피계획, 자원봉사자 관리 등 업무를, 3단계는 사후대응활동으로 침수지역 및 시설물 복구, 수재해 방지활동 사후회의 등 업무를 포함하고 있다[4].

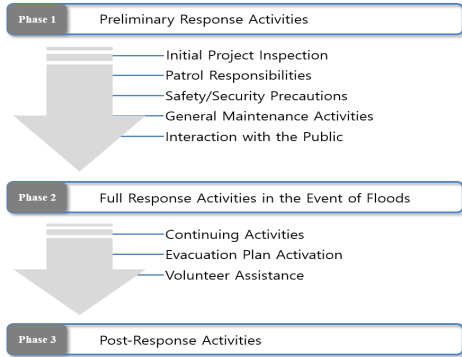


Fig. 1. The crisis management phases of emergency preparedness guidelines for Levees (DHS, 2012)

DHS 제방 EAP는 주(州) 재난관리기관이 자체 EAP를 작성할 수 있는 가이드라인과 이후 트레이닝 업무까지 포괄적으로 포함하고 있으며, EAP를 구성할 수 있는 각 단계별 업무와 홍수재난 대응에 필요한 장비까지 포함하고 있다. 단계별 주요 업무는 다음과 같다.

① 초기대응활동

- 초기 시설물 검사 - 홍수 경보를 받은 후 신속하게 제방 운영·관리 담당자가 제방의 수리상태, 하천의 쓰레기 및 퇴적물 등의 쌓임 확인, 장비 및 보수장 자재 수량 파악, 통신장비 검사 등 업무 수행
- 순찰 및 책임업무 - 피해를 최소한으로 하기 위해 수방활동의 1단계와 2단계 기간 동안 하루에 한번 이상 제방 순찰을 실시. 순찰자는 순찰업무와 휴대장비 사용법을 사전에 숙지
- 안전 및 보완업무 - 해당 순찰자는 순찰방법과 주의사항에 대해 사전 숙지 필요. 순찰 시 순찰팀은 제방 표면을 천천히 한사람씩 나란히 걸으며 탐침봉을 이용하여 땅의 침식을 확인함. 순찰 시 의심스러운 부분이 발견되면 즉시 보고하도록 함. 초기 조사에서 하천의 수위가 더 상승하기 전에 언론에 알림.
- 일반 관리업무 - 평시에는 제방시스템의 수문 및 배수 구조 등의 유지관리 활동 실시
- 관람객 관리업무 - 제방이나 홍수방어벽 순찰 시 순

찰팀이 관람객과 마주칠 경우 순찰팀의 인원 중 일부가 안전요원의 역할 수행

② 홍수발생시 대응활동

- 수재해 방지업무 - 하천수위가 높아지면 매일 순찰로 강화. 수방장비 및 복구자원의 재고를 검토. 언론에 현재 상황을 알림
- 인명 대피 계획 - 경찰서, 소방서 등 해당 시설물의 초동 조치자들이 대피계획을 위해 협업하고, 시민들을 계획된 경로로 대피
- 자원봉사자 관리 - 자원봉사자가 집결할 수 있는 지역, 교통, 생활, 쉼터 시설을 마련. 자원봉사자들과 직원명단을 작성하여 관리

③ 사후대응활동

- 침수지역 및 시설물 복구 - 침수지역에서 물이 빠지면 홍수 이전 상태로 복구함. 하천 수문 개방, 홍수 발생 시 임시조치 해제 및 수방장비 수거. 홍수 시 발생한 제방의 손상 파악 및 수리
- 수재해 방지활동 사후회의 - 수재해방지작업의 핵심 인력, 자원봉사자 대표, 지역사회 대표 등이 모여 수방활동 시 발생한 문제점을 논의. 도출된 결론을 비상대피계획에 기재하고 영구적인 홍수방어시스템 구축

DHS의 EAP는 국내 EAP 작성을 위한 기본틀과 더불어 재난 발생 시 실무자가 취해야 할 시설물 보호를 위한 대응 업무를 알려주고 있다. 사전에 준비해야 할 장비들과 순찰 시 취해야 할 업무, 제방 보호를 위한 다양한 장비 활용 방법을 제시하고 있으며, 특히, 시설물 보호 외에도 제방을 이용 중인 시민의 대피와 구조, 경찰과 911 등 기타 재난대응기관과의 협력사항도 포함하고 있다. 따라서 이러한 큰 틀과 실무적 사항들을 국내 EAP 프레임워크에 반영하고 다양한 장비활용과 연관기관과의 통합적인 재난대응 역할분담에도 참고할 필요가 있다.

2.2 일본의 수재해 EAP

2.2.1 일본 도도부현 수방 EAP

일본의 경우 국토교통성 수관리·국토보전국에서 “도도부현 수방계획 작성 안내 절차서”를 작성·배포하였다 [5]. 본 EAP는 도도부현이 수방계획서를 작성할 때 참고가 되도록 가이드를 제공하는데 목적이 있으며, 예시로 특정 현의 수방계획서를 보여주는 것과 동시에 EAP 작성 시 유의해야 할 사항을 상세히 보여주고 있다. 관찰지

역 내 효과적인 수재해방지 업무 추진을 위해 필요한 사항을 관련 법률에 근거하여 기재하고 있으며, 홍수에 대한 경계·방어 및 이에 따른 피해 경감과 공공안전 확보까지 업무범위를 포괄하고 있다.

특히, 침수범람시설인 지하상가, 불특정 다수가 이용하는 시설, 대규모 공장시설 등에 피난확보 및 침수방지 계획의 작성 및 설계를 요구하고, 고령자, 장애인, 유아 등 노약자들이 사용하는 시설을 침수상정구역으로 지정하여 홍수 시 신속한 피난이 가능하도록 배려하고 있다. 일본 수방 경보단계는 ‘1단계 대기, 2단계 준비, 3단계 출동, 4단계 경계, 5단계 해제’로 구분하고 있으며, 경보 단계별 내용과 발표기준은 아래와 같다(Table 1).

Table 1. Flood Alarm Statement and Trigger Basis according to the 5-Phase (The water and disaster management bureau of the ministry of Land, Infrastructure, transport and tourism in Japan, 2014)

Phases	Details of Statement	Trigger Basis
Stand by	- Flood control agencies are warned of possible and immediate mobilization in the case of flood or high elevations of tide - Flood control agencies are notified that a smaller unit may be deployed if it hastens mobilization time, but none of the workers may refrain from flood control responsibilities.	- When deemed necessary by weather forecasts, weather alerts, and river conditions
Preparation	- Flood control agencies are alerted to the need for mobilization and preparations are made in information coordination, survey of flood control equipment, inspection of floodgates, and preparation of communication and transportation devices	- When deemed necessary in the case of high precipitation, high elevation, stream flow, and other river conditions
Mobilization	- Flood control agencies are alerted to mobilize	- When river levels, stream flow, and other river conditions near alarming levels (danger level)
Vigilance	- Relevant agencies are informed of flood discharge and river conditions, warned of the need to maintain vigilance, and ordered to respond according to river conditions (in cases of overflow, leakage, collapse of levee banks, and ruptures)	- In case of potential flood disasters prescribed by flood alerts or reaching of flood danger levels
Clearance	- Alleviation of alert status for flood control activities, and notification to respective observation posts for alleviation of flood control alerts in nearing areas	- When flood levels have dropped below the danger levels or when river conditions are deemed to be improved so as to call off flood control activities

도도부현 수방계획서의 각 단계 발현 근거에는 기상 예·경보, 강우량, 하천유량 등이 포함되나, 하천수위가 가장 중요한 판단의 기준이 되고 있다. 범람 위험을 알리는 홍수경보는 하천 기준지점별로 범람주의수위, 피난판단수위, 범람위험수위 등 수위상승에 따른 순차적 경보로 구성돼 있으며 하천구역별 계획고수위의 기준에 따르고 있다. 또한 단계별 주요 대응업무와 주요 담당자의 역할, 정보 전달체계와 연락방법 등이 상세하고 체계적으로 제시되어 있어, 국내 EAP 세부업무 및 체계 규정 시 참고가 될 만하다.

2.2.2 일본 도쿄지역 방재계획서

일본의 수도인 도쿄에서 작성한 “도쿄 도 방재계획서” 역시 도도부현 수방계획 작성 안내 절차서와 동일한 수방경보단계 및 발표기준을 따른다[6]. 도쿄도 내 수재해 발생 시 재해대책본부의 조직과 운영방침을 규정함과 동시에, 세부조직의 대응업무와 역할, 책임을 명시하고 있다. 미국 DHS의 경우와 마찬가지로, 재난발생 시 도 전체의 총체적인 대응이 가능하도록 도쿄 도와 자위대, 해상보안청, 적십자사, 협동조합, 방재시민조직 등 관련 주체들의 역할과 연계를 설명하고 있다. 경보단계 발현 기준 설정을 위해 도내강, 에도지마, 나카가와, 아라강 등 도 내 하천구역별로 수방단대기수위, 범람주위수위, 피난판단수위, 범람위험수위를 제시하고 있으며, 이 또한 도도부현 수방계획과 마찬가지로 하천별 계획고수위에 근거를 두고 있다.

이밖에도 도쿄 도 방재계획서는 재해발생지역의 피난 및 대피소에 관하여 상세한 내용을 제공하고 있어 향후 국내 EAP에 적용할 필요가 있다. 주민들의 대피는 홍수 발생 시 경계단계에서 해당 지역의 강·하천이 범람주의 수위를 넘어 침수의 우려가 있을 때 시작된다. 피난단계는 재해대책기본법 및 수방법에 의해 “피난준비, 피난권고, 피난지시”의 3단계로 구분되는데, 피난권고 발현 시 구시읍면장이 피난을 위한 퇴거를 권고하며, 피난 지시가 발현될 경우에는 구시읍면장과 경찰관 및 해상보안관, 수방관리자 등이 피난퇴거를 지시하여 신속한 피난이 이루어지도록 유도하고 있다(Fig. 2).

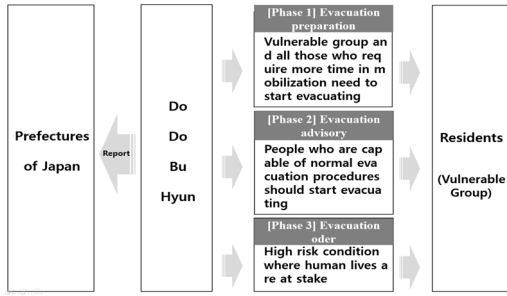


Fig. 2. Evacuation responses during floods (Tokyo, 2014)

도쿄 도의 피난단계에서 피난준비 단계는 노인, 아이 등과 같은 노약자들이 먼저 피난을 시작해야 하며, 피난 권고 단계는 통상의 피난행동이 가능한 일반인의 대피 단계를 의미한다. 인적피해 발생의 위험이 매우 높아지는 피난지시 단계에 이르러서는 지역 내 모든 사람의 즉각적인 피난이 요구된다. 국내 EAP는 이러한 피난단계 및 관련 업무가 상대적으로 간략하게 규정되어 있으므로 향후 일본의 방재계획서에 대한 분석을 토대로 국내 상황에 적합하게 반영할 필요가 있다.

3. 국내 주요기관별 EAP

3.1 국가위기관리기본지침의 위기경보단계

국내의 경우, 국가위기관리기본지침(이하 ‘위기관리 지침’)에 의거하여 모든 공공기관의 위기관리체계가 구축되어 있다[7]. 위기관리지침에서 제2조에서 규정하는 국가위기관리란 “국가위기를 효과적으로 예방·대비하고 대응·복구하기 위하여 국가가 자원을 기획·조직·집행·조정·통제하는 제반 활동과정”을 말하며, 위기 또는 위협 수준의 단계적 상승에 따라 “관심, 주의, 경계, 심각”의 4단계로 경보단계를 구분하고 있다(Table 2). 이 위기관리 4단계는 이상기후 또는 다양한 원인으로 인해 재난 발생이 예상되거나 발생하는 시점에서부터 시작되므로, “예방(Mitigation), 준비(Preparedness), 대응(Response), 복구(Recovery)”라는 일반적인 재난관리단계 중 준비 후반부터 대응 전단계에 걸쳐 적용된다. 따라서 국내 EAP의 범위는 재난관리 전단계와 그 안에 포함된 위기관리 4단계에 모두 적용될 수 있어야 한다.

Table 2. Main concepts and core activities of the threat advisory scale (Department of National Security, 2015)

Threat level	Concept and Core Activities
Guarded (blue)	<ul style="list-style-type: none"> - Conditions of crisis are observed, but the threat level is low and unlikely to develop into a national-level crisis - In the guarded threat phase, relevant agencies should engage in inspections, review notification flowcharts, and reexamine coordination mechanisms with other agencies
Elevated (yellow)	<ul style="list-style-type: none"> - Conditions of crisis are elevated, and could develop into a national-level crisis - In the elevated threat phase, relevant agencies should coordinate with other agencies to compile pertinent facts and share information
High (Orange)	<ul style="list-style-type: none"> - Conditions of crisis are relatively high, and it is highly likely to develop into a national-level crisis - In the high threat phase, main departments in charge should review response plans and work with relevant agencies to prepare mobilization of workforce and resources
Severe (red)	<ul style="list-style-type: none"> - Conditions of crisis are severe, and will most definitely result in national-level crisis - In the severe threat phase, main departments in charge should work with relevant agencies to maximize pertinent measures so as to immediately respond to crisis

3.2 수자원공사의 EAP

국내 강·하천 유역의 댐, 다중보 등 주요 수변시설물은 한국수자원공사에 의해 관리되고 있으므로, 공사 내 위기관리 지침에 규정되어 있는 EAP 관련사항을 검토할 필요가 있다. 수자원공사가 위기대응매뉴얼에서 규정하고 있는 EAP는 “보 시설, 보 설비, 수질 사고 시 신속하고 정확한 대응으로 인적 및 물질 피해를 최소화하고 위기대응에 필요한 센터의 역할을 규정하여 신속한 피해 복구, 보 시설 및 설비의 안정성을 확보”하는데 목적을 두고 있다[8].

수자원공사의 위기대응매뉴얼은 다중보와 관련하여 국가위기관리기본지침의 위기관리단계를 적용하여 “보 시설사고”, “보 설비사고”, “보 수질사고”, “보 선박사고”로 구분하고 있다. 보 시설사고는 보 변위, 파이프, 지진 및 기타요인 등에 의해 보 본체의 손상과 보 사면의 세굴 사고이며, 보 설비사고는 가동보 문비사고 및 발전설비 사고이다. 보 수질사고는 유류 유출사고이고, 보 선박사고는 화재, 충돌, 전복, 고장 등 선박사고이다. 본 논문의 EAP 대상 시설물이 주로 수변구조물이며 다중보를 포함하고 있으므로, 상기 수자원공사의 “보 시설사고”에 대한 판단기준과 대응업무를 적용할 필요가 있다 (Table 3).

Table 3. Emergency Response Stages of Reservoir Disasters by the Korea Water Resources Corporation (Korea Water Resources Corporation, 2015)

Threat level	Emergency condition decision factors
Guarded (blue)	<ul style="list-style-type: none"> <Damages to the main body of reservoir > - Inspection of the main body of the reservoir for external displacement and measurement instruments revealed signs of aging - Shipping vessels and other floating vessels upstream is believed to cause damage to facilities <Erosion to reservoir embankments > - Minor signs of erosion are observed, but no severe damage is incurred on the facilities
Elevated (yellow)	<ul style="list-style-type: none"> <Damages to the main body of reservoir > - Some signs of damage are observed in part of the main body of the dam (when damages are visible to the eye) · But there is no need to control water levels for restoration · But there are no additional signs of damage <Erosion to reservoir embankments > - Erosion has caused damages to the facilities, but has minimal impact on the operation of the reservoir
High (orange)	<ul style="list-style-type: none"> <Damages to the main body of reservoir > - Partial damage is observed to the main body of the dam · And water levels need to be lowered for restoration (and if such measures can cause long-term disruptions to water supply) · And temporary reinforcements (such as cofferdams) need to be constructed for restoration (only if the total duration of construction is less than a month) · And facilities such as floodgates, fishways, and power plants experience partial loss of function <Erosion to reservoir embankments > - Erosion has caused damages that are believed to hinder the operations of the reservoir
Severe (red)	<ul style="list-style-type: none"> <Damages to the main body of reservoir > - Major damage is observed to the main body of the dam · And water levels need to be lowered for restoration (and if such measures can cause long-term disruptions in water supply) · And temporary reinforcements (such as cofferdams) need to be constructed for restoration (and the total duration of construction exceeds one month) · And facilities such as floodgates, fishways, and power plants experience complete loss of function <Erosion to reservoir embankments > - Erosion has caused serious damages that severely hinder operations of the reservoir

3.3 서울시 한강사업본부의 EAP

서울시 한강사업본부는 평시와 1~3단계에 걸쳐 위기 관리단계를 구분하고 있으며, 1~3단계는 각각 주의, 경계, 심각단계를 의미한다. 서울시는 수자원공사와 달리 한강의 수위 및 팔당댐의 방류량에 따라 위기경보가 발

현된다(Table 4). 이때, 위기경보 발현의 근거는 상류댐 방류량, 강우량, 태풍주의 및 경보 등이며, 홍수위는 한강대교 지점만을 측정하여 경계단계(수위 8.5m), 심각단계(수위 10.5m) 등의 발현 기준으로 삼고 있다.

Table 4. Stage Trigger Criteria of Safety Management Plan (storm and flood) (Han River Business Headquarters, 2015)

Threat level	Trigger Criteria
Attention	<ul style="list-style-type: none"> - In case of maintaining station and prevention activity 18:00~22:00 for weekdays · 09:00 ~ 18:00 for weekends (Supplementary work until 09:00a.m. on the next day (in case of rainfall forecast for more than 30mm/day))
Stage 1 (Caution)	<ul style="list-style-type: none"> - More than 3,000m³/sec of discharge flow - In case of heavy rain watch · Forecast of more than 70mm for 6 hours · Forecast of more than 110mm for 12 hours - Reaching 4.5m of Hanging River Bridge water level - Typhoon watch (more than 20m/s of wind velocity)
Stage 2 (Warning)	<ul style="list-style-type: none"> - More than 5,000m³/sec of discharge flow - In case of heavy rain warning · Forecast of more than 110mm for 6 hours · Forecast of more than 180mm for 12 hours - Expecting 8.5m of Hanging River Bridge water level - Typhoon warning (more than 26m/s of wind velocity)
Stage 3 (Danger)	<ul style="list-style-type: none"> - More than 12,000m³/sec of discharge flow - In case of flood warning - Expecting 10.5m of Hanging River Bridge water level - In case of having multiple flood victims - Expecting serious disaster

한강사업본부의 위기관리단계별 주요 조치는 둔치 내 시민대피를 포함하고 있는 것이 특징이다. 예를 들어, 팔당댐 방류량 수준이 3,000m³/sec일 경우(주의단계) 반포, 이촌, 여의샛강, 난지공원 등에 있는 시민의 대피가 이루어져야 하며, 방류량이 7,000m³/sec를 넘어갈 경우(경계단계)에는 광나루공원, 잠실공원 등이 폐쇄되어야 한다(Table 5).

Table 5. Tasks assigned to each stage of Safety Management Plan(storm and flood)(Han River Business Headquarters, 2015)

Threat level	Measure
Attention	<ul style="list-style-type: none"> - Applied and directed by weather forecast - Precipitation and water level (Jamsil Bridge) - Check the discharge flow from Paldang Dam - The managers in charge of each facility and water resource corporation shall check and inspect composition of manual for inundation depth and measures to be taken depending on the discharge flow of Paldang Dam.

Stage 1 (Caution)	<ul style="list-style-type: none"> - Discharge flow from Paldang Dam [3,000 m³/sec] · Evacuation from Banpo, Ichon, Yeouido Saetgang, and Nanji Hangang Park - Discharge flow from Paldang Dam [4,000 m³/sec] · Evacuation from Gangseo Marsh Ecological Park · Situation spread through information centers, local, and related organizations · Move of parked vehicles and control of vehicle entry · Cancellation and evacuation of ships · Emergency duty for all parks (check availability of personnel for tow trucks and forklifts) · The managers in charge of each facility and water resource corporation shall check inundation depth depending on the discharge flow of Paldang Dam and send the report on the measures to be taken to the Central Operation Room according to the manual. · The manager of water facility management shall check the measures that are taken in preparation of flood damage and report the results to the Central Operation Room.
Stage 2 (Warning)	<ul style="list-style-type: none"> - Discharge flow from Paldang Dam [5,000 m³/sec] · Evacuation from Yeouido, Yanghwa, and Mangwon Hangang Park - Discharge flow from Paldang Dam [7,000 m³/sec] · Evacuation from Gwangnaru Hangang Park - Discharge flow from Paldang Dam [10,000 m³/sec] · Evacuation from Jamsil Hangang Park · Directors of each center shall contact and report close of the flood gates to the Central Operation Room(The directors of the centers shall check the water level with naked eyes to prevent and evacuate in case of flood in advance).
Stage 3 (Danger)	<ul style="list-style-type: none"> - Discharge flow from Paldang Dam [12,000 m³/sec] · Evacuation from Jamwon Hangang Park - Discharge flow from Paldang Dam [13,000 m³/sec] · Evacuation from Ttukseom Hangang Park · Evacuation from all parks around Han River · Same as the Stage 2 for actual evacuation

4. 국내 주요 수변시설물 EAP 프레임워크 개발 방향

4.1 국내·외 EAP 적용범위

국내외 EAP의 적용범위를 검토한 결과, 미국과 일본, 국내 주요기관의 EAP가 적용시점에 따라 일부 차이를 보였다. 미국의 경우, FEMA와 DHS의 EAP들이 예방단계 일부와 준비단계, 대응과 사후단계를 모두 포함하고 있어 광범위한 EAP를 포괄적으로 규정하고 있는 반면, 일본과 국내 주요 기관의 경우에는 재난이 발생하기 직전인 재난관리단계의 준비 후반부터 시작하여 사후복구 이전까지 다소 협의의 EAP를 구축하고 있다. 일본 EAP의 경우 국내와 적용범위가 비슷하지만 재난대응단계를 “대기, 준비, 출동, 경계, 해제”의 5단계로 분류하고 있는

것과, 피난 및 대피소 운영에 관한 내용을 국내에 비해 자세히 기술하고 있는 점이 특징이라 할 수 있다(Table 6).

Table 6. EAP Comparison of Korea and overseas countries

Phases Organizations	Mitigation	Preparedness	Response				Recovery
			Attention	Caution	Warning	Danger	
Korea Water Resources Corporation (S. Korea)			Attention	Caution	Warning	Danger	
Han River Business Headquarters (S. Korea)			Attention	Caution	Warning	Warning	Restoration activity after flood
DHS / FEMA (USA)		Early response activity	response activity at flood			Response activity after flood	
Todoufuku / Tokyo (Japan)			Standby	Preparation	Mobilization	Warning	Cancellation

4.2 수변시설물 EAP 프레임워크(안) 개발

본 논문에서 제시하는 EAP 프레임워크는 미국의 포괄적인 체계를 큰 틀로 채택하고, 일본과 국내의 위기관리 체계와 업무 내용을 세부 대응단계에 포함하는 것으로 개발방향을 설정하였다. 이는 미국의 FEMA와 DHS의 수재해 EAP의 경우처럼 예방 및 준비단계에도 적극적으로 대응할 수 있는 체계를 확보할 수 있어야 하며, 아울러 국내 기관들이 근간으로 삼고 있는 국가위기관리 기본지침의 관심·주의·위기·심각 위기경보단계를 본 논문에서도 채택해야 할 필요성이 있기 때문이다. 따라서 본 논문은 국내 주요 수변시설물 EAP 프레임워크를 재난대응체계 구성 및 활동계획이 포함되어 있는 “장기(1단계),” 위기경보의 첫 단계인 “주의”가 포함되어 있는 준비(2단계), “위기경보의 나머지 3단계(Caution, Response, Recovery)가 포함되어 있는 “홍수 발생 시 대응,” 그리고 홍수 종료 후 사후처리가 포함된 “복구”로 구분하였으며, 이에 따라 EAP 프레임워크 세부사항을 구성하였다(Table 7).

Table 7. EAP Framework(planned)

Stage	Specific task
Stage1: Mitigation	<ul style="list-style-type: none"> - Organization composition in case of an emergency - Establishment of response activity in case of flood - Establishment of embankment maintenance system and repair resource transportation plan - EAP training and simulation

Stage 2: Preparedness	<ul style="list-style-type: none"> - General tasks of 'Preparedness' <ul style="list-style-type: none"> · Early facility inspection · Patrol and patrol related tasks · Safety and supplementary guard · Verification of embankment maintenance system and repair resource transportation plan · Media communications - Disaster Impact Flow and impact prediction - Risk management and EAP response <ul style="list-style-type: none"> · Stage of Attention: Accident detection, risk assessment, report, patrol, reinforced inspection, etc
Stage 3: Response	<ul style="list-style-type: none"> - Risk management and EAP response <ul style="list-style-type: none"> · Stage of Caution: Risk assessment, warning and report, reinforcement of facilities during target period, etc. · Stage of Warning: Risk assessment, spread of risk related information, protection/reinforcement of facilities, start of evacuation from industrial and residential area · Stage of Danger: Risk assessment, spread of risk related information, emergency repair of facilities, close and blocking support of evacuation and relief works, etc
Stage 4: Recovery	<ul style="list-style-type: none"> - Restoration to the state before flood - Retrieval of sandbags and flood control devices - Examination and repair of facility damage - Discussion and feedback of people concerned in flood control - Documentation of accidents and flood control performance

- EAP 목적
- 긴급상황대비 조직도
- ② 대상 시설물 현황
 - 다중보 정보
 - 옹벽 정보
 - 제방 정보
 - 교량 정보
 - 사면 정보
 - 둔치 정보
- ③ 준비 및 장기대응활동(Mitigation)
 - 장기 대응활동 계획
 - 시설물 유지관리 및 보수 자원 운송계획
 - EAP 교육 및 모의훈련 계획
- ④ 단기대응활동(Preparedness)
 - EAP 대응단계 설정기준 마련
 - 관심단계
 - 초기시설물 검사
 - 순찰 및 순찰시 업무
 - 안전 및 보완경계 업무
 - 시설물 유지관리 및 응급보수 자원운송 계획 확인
 - 상황전파 및 안전관리 수행
 - 재해감지 및 위험수준 평가
- ⑤ 홍수 발생 시 대응(Response)
 - 주의단계
 - 경고와 보고
 - 순찰 및 순찰시 업무
 - 위험수준 평가 및 대응
 - 홍수대응 장비 및 자재 준비
 - 경계단계
 - 제외지/제내지 위험수준 평가
 - 제외지 주요 시설물 접근차단
 - 제내지 주민 대피 권고
 - 심각단계
 - 제외지/제내지 위험수준 평가
 - 제외지 시설물 폐쇄
 - 제내지 주민 대피소 즉각 대피
 - 제외지/제내지 고립 주민 구조
 - 제외지 주요 시설물 강화 및 보수보강 실시
- ⑥ 홍수 종료 시 대응활동
 - 홍수 이전 상태로 복구
 - 모래주머니 및 수방장비 회수

5. 수변시설물 EAP 프레임워크(안) 개발

5.1 주요 수변시설물 세부 EAP(안) 개발

Test Bed 지역은 낙동강 하류의 강정고령보 주변 제외지역이며, 강정고령보, 성서제, 사문진교 등 제외지 주요 시설물을 포함하고 있다. Test Bed 지역 선정기준은 침수 시 피해규모로, 낙동강 하류 제방지역 중 제방이 파제될 때 발생하는 피해의 경중을 분석한 결과 대규모 산업단지 및 주거단지가 조성되어 있는 성서공단 인접 제방인 성서제로 선정하였다. 본 논문 4.2에서 제시한 EAP 프레임워크를 기반으로 Test Bed 주요 시설물에 적용하기 위한 EAP를 개발하였다. Test Bed 지형 및 시설물 정보를 분석하여 수위상승 및 위기경보단계별 순찰업무, 시설물 점검 및 보호조치, 대피 시점과 장소 등 세부적인 재난대응업무를 제시하였으며, 모의훈련을 통해 세부 내용의 적정성을 검토하였다. 아래는 Test Bed 시설물 EAP의 각종 정보와 수행업무를 대·중·소분류 위계에 따라 정리해 놓은 것이다.

① 개요

- EAP 정의
- EAP 범위

- 시설물 손상 파악 및 수리
- 수방작업 관계자 피드백 회의
- 사건발생 및 수방작업의 문서화

5.2 위기단계 중 심각단계 EAP 사례 적용

EAP 검증을 위하여 Test Bed 지역 내 수변시설물의 EAP 세부 내용을 작성하고 한국수자원공사와 함께 도상(圖上)훈련 방식으로 모의훈련을 실시하였다. 모의훈련은 다중보, 제방, 옹벽, 교량 등 수변시설물을 대상으로 하였으며, 세부절차 마련 시 관심, 주의, 경계, 심각 단계별로 EAP의 세부내용을 적용하였다. 본 논문에서 제시하는 EAP는 크게 시설물 보호를 위한 EAP와 사용 주민 또는 시설물관리자 등 인명보호를 위한 EAP로 나누어지며 일본과 미국, 국내의 공인된 EAP의 내용을 토대로 작성되었다. 특히, 성서제방은 성서공단을 보호하고 있는 1차 한국수자원공사 방어라인으로 파제 시 제내지에 침수 등 큰 피해를 야기시키는 주요 수변시설물이므로, 본 논문에서 제방 EAP 중 심각단계의 내용을 예시로 하였다(Table 8).

Table 8. Proposed EAP of Levee Sung-seo(Stage of Danger)

Location		River side land	
Public or Private		Public	
Infrastructure Type		Levee	
Name		Seong-Seo Levee	
Risk Level		Danger	
E A P	Facility EAP	Operation	Closed (Prohibit Approach)
		Shelter	N/A
	People EAP	Evacuation	Should be done
		Evacuation Route	Use Route No. 2 (500 Year Flood Cycle)
	Operator and Department EAP	Required Activity for people	Please be inside the shelter until the notice of 'Stage of Warning'
		Evacuation of Operator	Prompt evacuation required
		Activity of Department	<ul style="list-style-type: none"> Report to headquarters Flood information diffusion to public and mass media Dispatch site experts Maintain the communication with recovery resources Close the facility
		Repair Criteria	<ul style="list-style-type: none"> Investigation of settlement, sliding, piping, etc. length and width of cracks degree of settlement and sliding degree of collapsing
	Repair Methods	<ul style="list-style-type: none"> Grouting/Replacement Low water level control Surcharge process method Precast pile method Sheet pile method, etc. 	

5.3 소결

본 논문에서 제시된 EAP 프레임워크를 Test Bed 지역에 적용해 본 결과, 모의훈련을 통해 “예방, 준비, 대응, 복구”의 상위 프레임워크가 재난발생 이전과 발생 시, 발생 후 복구단계에 이르기까지 포괄적으로 적용됨을 알 수 있었다. 또한, “관심, 주의, 경계, 심각”의 위기관리 4단계도 홍수 발생 직전부터 제방의 위험수준이 최고조에 달하는 심각단계까지 적절하게 적용되어, 장기적 관점의 재난관리 4단계와 단기적 관점인 위기관리 4단계의 적절한 조화가 이루어질 수 있었다.

상기 세부 EAP 검증 시 위기관리의 “관심, 주의, 경계, 심각” 모든 단계에 걸쳐 시설물별, EAP 대응업무별 적용성을 검토해 본 결과, 인명보호를 위한 EAP와 시설물 보호 및 보강을 위한 EAP가 적절하게 제시되어 강령고령보 및 성서제 주변의 주요 시설물 및 제내지 성서공단의 원활한 주민대피 및 시설물 보호 조치가 이루어짐을 알 수 있었다. 다만, 변전소, 경찰서, 주요 산업시설 등을 보호하기 위한 실무적 차원의 홍수방어체계가 구체적으로 제시될 필요가 있으며, 주민 대피 시 최적의 대피 경로 제시 또한 향후 추가 연구를 통해 보완될 필요가 있다.

6. 결론

EAP는 재난상황이 닥쳤을 때, 재난관리 및 시설관리 기관과 시민이 어떻게 대응해야할지 알려주는 사전 약속이다. 미국의 경우, 재난 발생 전과 발생 시, 그리고 발생 이후로 구분하여 관련 주체가 해야 할 역할, 업무를 정의하고 있으며, 넓은 범위에 걸쳐 적용 가능한 EAP를 잘 구축하고 있다. 일본은 재난 강국으로서 면모를 과시하듯, 재난발생 전·중·후에 걸친 대응 업무를 관리 주체별로 체계적으로 제시하고 있다. 특히, 대피 및 피난처에 관한 관련 법규, 주체별 업무, 각 주체별 연계 등에 상세한 부분까지 기술하고 있어 본 논문에서 제시한 EAP 프레임워크 및 세부 업무에 반영하였다. 본 논문의 EAP 프레임워크와 Test Bed 적용사례는 향후 국내 재난관리 및 시설물관리기관들의 체계적이고 효과적인 재난대응에 일조할 것으로 판단되며, 인명보호 및 시설물 보호를 위해 구체적으로 예시된 EAP 세부업무는 관련 기관 및 담당자의 능동적이며 시기적절한 재난대응의 기초를 제공할 것으로 생각된다.

References

- [1] Yonhap News Agency. The flood of Houston in U.S.A [Internet]. Yonhap News Agency, [cited 2016 April 19], Available From: <http://www.yonhapnews.co.kr/bulletin/2016/04/19/0200000000AKR20160419005400075.HTML> (accessed Feb., 13, 2017)
- [2] Jtbc News. Typhoon Etau Triggers Flooding in Japan [Internet]. Jtbc News [cited 2015 September 11], Available From: http://news.jtbc.joins.com/article/article.aspx?news_id=NB11028771 (accessed Feb., 13, 2017)
- [3] Federal Emergency Management Agency, Federal Guidelines for Dam safety - Emergency Action Planning for Dams, 2013.
- [4] Department of Homeland Security, Emergency Preparedness Guidelines for Levees, 2012.
- [5] The Water and Disaster Management Bureau of the Ministry of Land, Infrastructure, Transport, A Flood Control Plan Guideline (todoufukuen edition), 2014.
- [6] Tokyo Metropolitan Government, Tokyo Disaster Prevention Plan (Becoming the world's safest, Most secure city), 2014.
- [7] Department of National Security, 2015, Main concepts and core activities of the threat advisory scale
- [8] The Korea Water Resources Corporation, Emergency Response Manual for Reservoir Disasters, 2015.
- [9] The Han River Business Headquarters of the Seoul Metropolitan Government, Safety Management Plan (storm and flood), 2015.

박 수 열(Su-Yeul Park)

[정회원]



- 2008년 8월 : 인하대학교 공과대학 건축공학과 (공학사)
- 2011년 2월 : 연세대학교 공과대학 건축공학과 (공학석사)
- 2012년 5월 ~ 2013년 11월 : 한국 건설기술연구원 건설정책연구소 연구원
- 2015년 6월 ~ 현재 : (주)우노 수석연구원

<관심분야>

시설물 유지 및 위험관리, 시설물 재난관리, 홍수차단막

최 수 영(Soo-Young Choi)

[정회원]



- 2011년 8월 : 계명대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2014년 2월 : 계명대학교 토목공학과 (박사수료)
- 2011년 8월 ~ 2014년 2월 : ㈜지오씨엔아이 공간정보기술연구소 선임연구원

- 2014년 4월 ~ 현재 : ㈜유엔지아이티 공간정보기술연구소 책임연구원

<관심분야>

수자원, 정보통신, GIS

오 은 호(Eun Ho OH)

[정회원]



- 2010년 8월 : Purdue 대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 1998년 2월 ~ 2015년 5월 : 한국 건설기술연구원 건설정책연구소 수석연구원
- 2015년 6월 ~ 현재 : (주)우노 대표이사

<관심분야>

시설물 유지 및 위험관리, 시설물 재난관리, 홍수차단막

김 진 만(Jin-Man Kim)

[정회원]



- 1989년 2월 : 경희대학교 공과대학 토목공학과 (공학사)
- 1991년 2월 : 경희대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2002년 8월 : 경희대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 1990년 10월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 지반연구소 선임연구원

<관심분야>

토질 및 기초, 하천제방, 보강토 옹벽