https://doi.org/10.5392/JKCA.2018.18.03.369

홍수재난 대응을 위한 국가위기경보 4단계 설정기준 개선

Improvement of National Risk Alarm 4-Stage Criteria for Flood Disaster

이수경*, 박재우**, 오은호*

㈜우노 재난위험관리연구부*, 한국건설기술연구원 건설정책연구소**

Sookyong Lee(Sookyong0519@gmail.com)*, Jae-Woo Park(jwpark@kict.re.kr)**,
Eun-Ho Oh(uno1988@naver.com)*

요약

홍수 발생 시 제공되는 적절한 비상대처방안(EAP) 정보는 재난에 효과적으로 대응하기 위한 필수요소이며, 상습 침수지역과 예상지역의 인명 및 재산피해를 줄이는 중요한 역할을 한다. 국내에서 사용하는 대부분의 EAP는 국가위기관리기본지침의 위기경보 4단계를 근간으로 해당 시설물에 대한 단계별 대응업무를 규정하도록 되어 있다. 이와 관련하여 홍수통제소는 수위표 또는 해발고도를 기준으로 하천지점별 홍수주의보와 홍수경보를 계획홍수량의 50%와 70%를 기준으로 발현하고 있으나, 위기경보 각 단계별 설정기준과의 명확한 연관관계를 제시하고 있지 않다. 반면, 일본과 미국의 경우 수재해 대응단계를 구분하는데 있어 하천수위를 가장 중요한 판단기준으로 삼고 있으며, 국내보다는 높은 계획홍수위 설정기준을 갖고 있다. 이에 본 연구는 국내 하천홍수 대응 수재해 위기경보 4단계 설정기준을 개선하기 위하여 국내외 관련 규정 및 적용현황을 분석하였으며, 실무자 관점에서 실효성을 제고하기 위하여 위기경보단계별 설정기준을 상향 조정하고 수위표 기준으로 표기방식을 개선하도록 제안하였다. 적용성 및 실효성 검증을 위하여 개선된 설정기준(안)을 수변구조물 재난대응 의사결정시스템에 적용하고 테스트베드에 대한 모의훈련을 실시하였다.

■ 중심어 : | 홍수 | 위기경보단계 | 비상대처방안 | 계획홍수위 | 하천홍수대응 |

Abstract

EAP, which is operated on the frame of Risk Alarm 4-stage of National Risk Management Guideline, is a critical method in order to promptly respond to disasters. Korea Flood Control Office issues major and moderate flood alarm at each river station by respectively 50% and 70% of design flood discharge in terms of watermark or sea level, however, the criteria deciding major and moderate floods are vague for field managers to control the disaster situations. On the other hand, Japan and USA use river water level as a main criterion in order to classify the stage of flood disaster, which is higher design flood level than Korea. Thus, the authors analyzed domestic and oversea EAP guidelines and suggested improved criteria showing easy display method and raising the criteria of flood level for reflecting more effective action plans through testing a simulation training on the test-bed.

■ keyword : | Flood | National Risk 4-stage | Emergency Action Plan | River Flood Level | River Water Mark |

* 본 연구는 국토교통부/국토교통과학진흥원 건설기술연구사업의 연구비지원(과제번호: 17SCIP-B098948-05-000000)에 의해 수행되었음.

접수일자 : 2018년 01월 25일
심사완료일 : 2018년 03월 01일
수정일자 : 2018년 02월 28일
교신저자 : 오은호, e-mail : uno1988@naver.com

I. 들어가는 말

홍수 발생 시 시설물 관리자 및 유관기관의 적극적이고 효과적인 대응은 해당 지역의 재산 및 인명의 피해를 줄이기 위한 필수조건이다. 시설물별 비상대처방안(EAP, Emergency Action Plan)이 미국, 일본 등 해외 주요 국가들에서 중요하게 다루어지고 있는 이유도 이처럼 재난관리기관들에게 효과적인 재난대응의 기초를 제공해 주기 때문이다. 반면 국내의 경우, 국가가 정하는 재난대응 4단계 따라 시설물별 재난대응방침을 규정해 두고 있기는 하지만, 외국의 사례에서 보듯 체계적이고 실질적인 정보와 지원방안을 마련해 주고 있지 못하다[1]. 특히, 일본의 경우 홍수 등 수재해 대응을 위한 단계별 액션을 취하기 위해 홍수위에 근거한 단계설정기준을 제공하고 있으나, 국내의 경우 '홍수'라는 동일한 재난에 대해 각 시설관리 기관별로 일관되지 않은 기준을 적용하고 있어 실무자들에게 혼선을 주고 있다. 따라서 국내 시설물별 EAP의 사용현황과 단계설정 기준을 분석해 보고 일본 등 해외 주요국이 제시하는 설정기준과의 비교검토를 통해 실무자들이 쉽게 이해하고 적용할 수 있도록 재난단계 설정기준 관련 개선안을 제시하고자 한다.

II. EAP의 개념

[1]에서 시설물별 EAP의 체계적인 적용을 위해 국내 재난대응 4단계에 적합한 시설물별 EAP 프레임웍을 제시한 바 있다. EAP는 일반적인 재난관리의 장기대응, 준비, (재난발생 시) 대응, 복구 4단계 중에서 재난이 실제 발생하는 시점에서 필요한 준비와 대응단계에 필요한 실무를 제공한다. 준비단계(단기 및 재난발생 전)와 대응단계(재난 발생 시)에서 시설물 관리기관이 취해야 할 시설 강화 또는 보호 방안과 시민 또는 다양한 사용자들이 취해야 할 행동지침을 제공함으로써 생명과 재산을 보호하는 역할을 하는 것이다.

이 때문에 미국, 일본 등 국외 주요 선진국들은 홍수 등 재난 발생 단계별로 시설물별 EAP를 마련하여 재난에 대응하고 있다. 그 대표적인 예로 미국의 FEMA (Federal Emergency Management Agency)는 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 시설물 관리상의 문제까지 대응할 수 있도록 규정하고 있다[1]. 일본도 국토교통성의 '도도부현 수방계획 작성 안내 절차서', 도쿄도의 '도쿄도 방재계획서' 등에서 수재해 발생 시 단계별 주요 대응업무와 담당자의 역할, 정보 전달체계, 피난대책 등을 상세하게 다루고 있다.

EAP의 실효성은 재난 발생 흐름에 따라 단계별 또는 주체별 세부업무를 얼마나 실무적으로 사용될 수 있게 작성하느냐에 달려 있다. 홍수재난의 경우, 폭우 또는 이상 강우로 급작스럽게 높아지는 홍수위가 제외지와 제방, 제내지로 확산되는 데는 시간이 소요된다. 기상청 예보로 해당지역 내 강우가 증가하고 수위가 높아질 것으로 예상될 때, 관심단계의 EAP 업무들이 시작되며, 점차 높아지는 수위가 제방을 위협함에 따라 위기경보는 주의, 경계, 심각으로 상향 조정된다. 시설물을 관리하는 관리자의 입장에서 볼 때 각 단계별로 시설물을 보호·강화하고 사용자를 보호하기 위한 업무를 언제 어떻게 수행하느냐는 매우 중요한 일이다. 따라서 시설물별 EAP의 세부업무가 체계적이며 효과적으로 적정한 세부수준까지 제시되어야 함은 물론, 이를 발현해야 하는 적정 시기 또한 홍수재난의 특성에 맞게 잘 설정되어 있어야 한다.

III. 국내 홍수재난 대응 EAP 설정기준

1. 국가위기관리기본지침의 위기경보단계

국내 공공기관의 경우 국가위기관리기본지침(이하 '위기관리지침')에 따라 해당 시설물 및 사용자를 보호하기 위한 단계별 대책을 마련토록 규정되어 있다. 이 위기관리지침 제2조에서 규정하는 국가위기관리는 '국가위기를 효과적으로 예방·대비하고 대응·복구하기 위하여 국가가 자원을 기획·조직·집행·조정·통제하는 제

반 활동과정'을 의미하며, 위기수준의 단계적 상승에 따라 경보의 내용을 '관심, 주의, 경계, 심각'의 4단계로 구분하고 있다.

통상 재난관리 4단계가 재난 발생 이전부터 발생 후까지 전 단계에 걸쳐, 장기대응, 준비, 발생 시 대응, 사후복구 등 거시적인 측면에서 정의되고 실무에 적용된다면, 위기관리지침의 위기경보단계는 재난발생 직전과 재난발생 당시의 좁은 범위에서 적용되는 행동지침을 의미한다. 따라서 시설관리기관의 실무자의 입장에서 볼 때, 각 단계별 업무가 명확하게 규정되어야 하고 이를 위한 단계설정 근거 또한 명확해야 하지만 현행 위기관리지침은 세부 적용기준은 제공하지 않고 있다. 그렇다면 위기관리지침의 위기경보단계를 활용되고 있는 국내 주요 시설물관리기관들의 EAP 설정기준을 좀 더 상세히 살펴볼 필요가 있다.

2. 서울시 한강사업본부의 EAP 설정기준

한강사업본부는 한강 구역 내 11개 공원과 제방 및 수중보 등의 안전관리를 위해 포켓매뉴얼을 작성·활용하고 있으며, 수재해 EAP 단계별 적용을 위해 팔당댐 방류량, 일일 예상 강우량, 한강대교 도달수위, 태풍주의·경보 등을 기준으로 위기경보 4단계를 구분하고 있다[2].

표 1. 한강사업본부의 위기경보단계 설정기준

EAP 단계	수재해 EAP 설정기준
관심	◦ 30㎜/일 이상 강우예보 시
주의	◦ 방류량 3,000㎥/sec ◦ 호우주의보 발령 시 – 6시간 70㎜이상 예보 – 12시간 110㎜ 이상 예보 ◦ 한강대교 수위 4.5m 도달 시 ◦ 태풍주의보(풍속20m/s 이상)
경계	◦ 방류량 5,000㎥/sec ◦ 호우경보 발령 시 – 6시간 110㎜이상 예보 – 12시간 180㎜이상 예보 ◦ 한강대교수위8.5m예상시 ◦ 태풍경보(풍속26m/s이상)
심각	◦ 방류량 12,000㎥/sec ◦ 홍수경보 발령 시 ◦ 한강대교수위10.5m예상 시 ◦ 이재민 다수 발생 시 ◦ 심각한 재해발생 예상 시

관심단계에서는 강우예보만을 기준으로 하며, 이후 주의·경계·심각단계로 격상되면서 팔당댐 방류량과 기상청 호우주의보와 경보, 태풍경보, 한강대교수위 등을 기준으로 삼고 있다. 주의단계가 발령되는 한강대교 수위는 계획홍수위인 13.26m의 34%에 해당하는 4.5m이고, 경계 및 심각단계는 각각 64%인 8.5m와 79%인 10.5m에서 발령된다.

3. 한국농어촌공사의 EAP 설정기준

한국농어촌공사의 경우 저수지 방류량과 하천 계획홍수량을 기준으로 위기경보단계를 설정하고 있다. 홍수위 판단의 근간은 하류하천의 계획홍수량으로, 저수지 방류량이 30% 이상일 때 주의단계 또는 홍수예비단계로 설정하고 있으며 경계, 심각단계는 각각 계획홍수위의 50%와 70% 이상일 때 발령된다[3].

표 2. 한국농어촌공사 위기경보단계 설정기준

EAP 단계	수재해 EAP 설정기준
관심	◦ 저수지 최대방류량이 하류하천 계획홍수량의 30% 이내 (정상유지)
주의	◦ 저수지 최대방류량이 하류하천 계획홍수량의 30% 이상 (홍수예비)
경계	◦ 저수지 최대방류량이 하류하천 계획홍수량의 50% 이상 (홍수주의보)
심각	◦ 저수지 최대방류량이 하류하천 계획홍수량의 70% 이상 (홍수경보)

4. 한국수자원공사의 EAP 설정기준

한국수자원공사의 주요 수변시설물은 제방과 보 등이며 이들 각 각에 대한 EAP 설정기준이 다르다. 예를 들면, 성서제의 경우 계획홍수위 24.66EL.m를 기준으로 관심·주의·경계·심각의 각 단계를 각각 79%인 19.5El.m, 81%의 20.0El.m, 97%의 24.0El.m, 그리고 계획홍수위인 24.66El.m로 설정하고 있다. 반면, 강정고령보의 관리수위는 하한수위 14.9El.m에서 상한수위 20.0El.m 이내로 설정하고 있으며, 19.50El.m까지를 적정관리수위로 판단한다.

5. 홍수통제소의 EAP 설정기준

1969년 한강홍수통제소는 한강과 안성천, 임진강 등 주요 하천의 계획홍수위와 수위표를 기준으로 홍수예보단계를 설정하고 있다. 한강 수계의 경우 한강대교, 여주대교, 영월대교 지점의 계획홍수위를, 안성천 수계는 군문교와 동연교 지점의 계획홍수위, 임진강 수계는 한탄강 사랑교와 임진강 비룡대교의 계획홍수위를 기준으로 홍수예보 수위를 결정하고 있다. 한강 수계의 홍수주의보 및 경보 평균수위는 계획홍수위 대비 각각 62%와 81%를, 안성천 수계의 경우 계획홍수위 대비 각각 77%와 89%, 임진강 수계의 경우 계획홍수위 대비 각각 76%와 94%의 수위를 기준으로 하고 있다. 수위만을 기준으로 놓고 볼 때, 한강홍수통제소 관할 하에 있는 교량, 제방의 경우 계획홍수위 대비 평균 70%와 87%가 주의 및 경계단계의 설정 기준이 되고 있다.

표 3. 한강홍수통제소의 홍수예·경보 발령기준

수계			한강		안성천		임진강			평균
홍수예보 지점명			서울시	여주시	영월군	평택시	평택시	연천군	파주시	
			한강대교	여주대교	영월대교	군문교	돈연교	사랑교	비룡대교	
			봉류	본류		본류	진위천	한탄강	임진강	
홍수예보수위	주의보	수위표 기준(m)	8.5	6	6	6	7.5	7.5	9.5	
		계획홍수위대비 비율	64%	65%	57%	76%	78%	81%	70%	70%
	경보	수위표 기준(m)	10.5	8	8	7	8.5	9.5	11.5	
		계획홍수위대비 비율	79%	87%	76%	89%	88%	103%	85%	87%
계획홍수위		수위표 기준(m)	13.26	9.19	10.48	7.85	9.62	9.25	13.57	

홍수량을 기준으로 할 때, 국내 주요 하천의 홍수주의보와 경보 발령기준은 각각 계획홍수량의 50%와 70%이다. 이는 EAP 4단계 중 경계와 심각 단계에 해당하는데, 이러한 홍수예·경보와 위기경보 4단계의 단계별 기준과의 부합 여부는 사실 하천정비계획 등 관련 문헌에 명확히 표기되어 있지 않다. 때문에 수리·수문 전문가가 아닌 일반 실무자들에게 혼란을 주고 있으며 홍수주의보와 경보를 주의 및 경계단계로 오인하는 경우도 종종 발견하게 된다.

IV. 국외 홍수재난 대응 EAP 설정기준

1. 일본의 EAP 설정기준

일본의 경우, 홍수재난의 효과적 대응을 위해 EAP를 구축하고 있으며, 하천 지역별 제방 계획고 수위를 기준으로 각 단계 발현의 근거로 삼고 있다. 도도부현 수방계획서도 기상 예·경보, 강우량, 하천유량 등을 포함하여 위기단계를 구분하고 있으나, 하천수위가 가장 중요한 판단의 기준이 되고 있다[4].

표 4. 도쿄도 홍수예·경보 발령기준

하천명	기준지점	수방단대기수위	범람주의수위	피난판단수위	범람위험수위	계획고수위
도네가와 상류부	하쓰토시마	0.8	1.9	4.5	4.9	5.28
		15%	36%	85%	93%	100%
	구리하시	2.7	5	8	8.5	9.9
		27%	51%	81%	86%	100%
에도가와	니시세키야도	4.5	6.1	8.2	8.5	9.121
		49%	67%	90%	93%	100%
	노다	4.6	6.3	8.6	8.9	9.341
		49%	67%	92%	95%	100%
나카가와	요시가와	3.3	3.6	3.8	4.1	4.75
		69%	76%	80%	86%	100%
아야세가와	야코후	2.7	3	3.6	3.9	4.102
		66%	73%	88%	95%	100%
아라가와	구마가이	3	3.5	4.8	5.6	7.51
		40%	47%	64%	75%	100%
	지수이바시	7	7.5	10.8	11.1	14.6
		48%	51%	74%	76%	100%
	이와엔	3	4.1	7	7.7	8.57
		35%	48%	82%	90%	100%
다마가와	조후바시	0.2	1	1.4	1.9	4.7
		4%	21%	30%	40%	100%
	이시하라	4	4.3	4.4	5.4	5.94
		67%	72%	74%	91%	100%
	덴엔쵸후	4.5	6	7.9	8.8	10.35
		43%	58%	76%	85%	100%
아사가와	아사가와바시	1.9	2.2	2.2	2.6	3.58
		53%	61%	61%	73%	100%
계획고 대비 하천수위 평균비율(%)		44%	56%	75%	83%	100%

범람위험을 알리는 홍수경보는 하천 기준지점별로 수방단대기수위, 범람주의수위, 피난판단수위, 범람위

험수위 등 수위상승에 따른 순차적 경보로 구성되어 있으며 하천구역별 계획고수위의 기준에 따르고 있다. 도쿄도의 방재계획서 역시 도도부현과 동일한 수방경보단계 및 발표기준을 따르며, 경보단계 발현기준 설정을 위해 도네강, 에도지마, 나카가와 등 하천구역별로 각 단계별 수위를 제시하고 있다[5].

도쿄 도 내 각 하천의 단계별 설정기준 수위 비율을 분석하기위해 계획고 대비 수위로 나누어 산술평균을 구한 결과, 평균적으로 수방단대기단계의 하천수위는 계획고 대비 44%, 범람주의단계의 하천수위는 계획고 대비 56%, 피난판단수위는 계획고 대비 75%, 범람위험수위는 계획고의 83%로 구분되어 있음을 알 수 있다. 우리나라의 위기경보단계와 비교할 때, 일본의 수방단대기수위부터 범람위험수위는 각각 국내의 관심·주의·경계·심각단계에 해당한다.

2. 미국의 EAP 설정기준

미국의 하천홍수예·경보 업무는 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Adminitration) 산하 NWS(National Weather Service)를 통해 이루어지고 있다. NWS의 하천예보센터(FRC, River Forecast Office)가 미국 전역 모든 하천 주요지점에 대한 하천수위를 예측하고 홍수예보 정보를 표출하고 있다[6]. NWS의 홍수예·경보 기준은 하천지점별 홍수주기를 근거로 설정되며, Minor-Moderate-Major- Record의 단계로 홍수크기를 정의하고 있다[7].

표 5. 미국 NWS 하천예보센터의 홍수발령기준

Stage	Definition
Record Flooding	◦ Flooding which equals or exceeds the highest stage or discharge observed at a given site during the period of record keeping. The highest stage on record is not necessarily above the other three flood categories . it may be within any of them or even less than the lowest.
Major Flooding	◦ Extensive inundation of structures and roads. Significant evacuations of people and/or transfer of property to higher elevations.
Moderate Flooding	◦ Some inundation of structures and roads near streams. Some evacuations of people and/or transfer of property to higher elevations.
Minor Flooding	◦ Minimal or no property damage, but possibly some public threat.

2008년 미국 중서부 대홍수 시 큰 피해를 보았던 아이오와주 시다래피즈시의 경우, 20ft의 제방 높이를 크게 초과하는 10,000년 빈도의 홍수였으며 도시 전역이 침수된 바 있다. 이 도시를 관통하는 시다강(Cedar River)의 홍수예·경보 기준은 홍수 100년 주기부터 500년 주기를 기준으로 하고 있으며[8], 계획홍수위의 80%를 기준으로 메이저급 홍수와 중저급 홍수로 구분하고 있다. 국내의 홍수주의보에 해당하는 마이너급 홍수는 계획홍수위 대비 60%에 이를 때 발령된다.

표 6. 미국 시다강의 홍수발령기준

Flood Stage of Cedar River	Height Range	Percentage
Expanded 500 Year Flood Plain	Over 20.0 ft.	Over 100%
Above Major Flood Stage (500 Year Flood Plain: Levee Height)	16.0~20.0 ft.	80~100%
Major Flood Stage (300 Year Flood Plain)	14.0~16.0 ft.	70~80%
Moderate Flood Stage ((200 Year Flood Plain)	12.0~14.0 ft.	60~70%
Minor Flood Stage (100 Year Flood Plain)	Less 12. ft.	Less 60%

V. EAP 설정기준 개선(안) 및 검증

1. EAP 설정기준 개선(안)

국내 주요 하천의 경우, 계획홍수량의 50%와 70%를 각각 홍수주의보와 홍수경보로 설정하고 있으며, 이를 하천지점별 수위로 환산하여 기준수위로 적용하고 있다. 해당 지점별 수위를 근거로 하지 않고 수량을 기준으로 삼는 이유는 강우량과 상류 수량을 분석하여 하류지역 홍수여부를 예측하기 위해서이다. 계획홍수량을 계획홍수위로 변환하는 과정에서 홍수주의보 및 홍수경보의 수위기준이 하천 단면의 폭과 깊이의 차이로 인해 지점별로 달라지는데, 이때 두 가지 문제가 발생한다. 첫째, 달라지는 수위를 해발고도(El.m)로 표기하여 이를 백분율로 환산할 경우 계획홍수량처럼 50% 또는 70%에 정확히 맞지 않는다. 둘째, 하천평균 수위인 수위표고를 기준으로 하는 표기방법과도 혼동을 일으킨다.

농어촌공사의 경우는 저수지 방류량을 기준으로 위

기경보단계를 구분하고 있으므로 분석대상에서 논외로 하더라도, 한강수계에서 관심·주의·경계·심각 등 위기경보단계를 구분하는 기준은 관리기관별로 팔당댐 방류량, 호우주의 및 경보, 수위표기준 홍수위, 태풍주의 및 경보 등 다양한 기준을 적용하고 있다. 또한, 수자원공사는 계획홍수위를 해발고도로 표기하는 반면 홍수통제소는 수위표기준 홍수위를 적용하고 있다.

표 7. 국내외 주요기관의 위기경보단계 설정기준 비교

기관명 (기준지점)	관심단계 수위 또는 수량(계획홍수위/량 대비 %)	주의단계 수위(계획홍수위/량 대비 %)	경계단계 수위(계획홍수위/량 대비 %)	심각단계 수위(계획홍수위/량 대비 %)	비고
한강사업본부 (한강 대교 수위)	–	4.5m (34%)	8.5m (64%)	10.5m (79%)	한강대교 수위표기준
농어촌공사 (저수지)	30% 이내	30% 이상	50% 이상	70% 이상	
수자원공사 (강정고령보)	19.5El.m (79%)	20.0El.m (81%)	24.0El.m (97%)	24.66El.m (100%)	
한강홍수 통제소 (안성천)	–	–	6m (76%)	7m (89%)	
도쿄도(일본) (구리하시천)	2.7m (27%)	5m (51%)	8m (81%)	8.5m (86%)	계획홍수위 대비 하천수위
미국NWS (시다래피즈)	–	12ft (60%)	14ft (70%)	16ft (80%)	계획홍수위 대비 하천수위

이처럼 국내의 하천관리 또는 시설관리기관별로 유사하지만 조금씩 다른 기준을 적용하고 있어, 한강 또는 낙동강 등 주요 하천 전 유역을 관리해야 하는 실무자에 혼란을 애기할 수 있다. 실제로 한국시설안전관리공단의 경우 4대강의 16개 보와 교량을 포함한 1·2종 시설물을 모두 관리해야 하지만, 시설물 종류별로 적용되어야 하는 EAP 설정기준이 달라질 수 있다. 국가위기관리지침에 의하면 국내에서 시설물을 관리하는 시·지자체, 시설관리기관들은 위기관리 4단계를 공통적으로 따라야 한다. 따라서 하천홍수 발생 시 위기단계를 구분하는 기준 역시 공통적인 기준으로 제시되고 이에 준하여 각 시설물 관리자는 시설보강 또는 사용자 대피를 위한 행동요령을 마련할 필요가 있다.

한편, 계획홍수량의 50%와 70%라는 현행 기준이 국가위기경보단계의 4단계에 어디에 해당되는지 명시될 필요가 있다. 주요 강 홍수통제소와 수자원공사 등 국내 주요 하천 관리 및 통제 기관은 모두 홍수주의보와 경보에 대한 수위표 또는 해발고도 기준을 제시하고 있을 뿐, 실제 시설물 EAP에 필요한 관심·주의·경계·심각의 위기경보 4단계와의 관계는 표시하고 있지 않다. 따라서 시설물 관리자의 입장에서 볼 때 홍수예·경보 기준만으로는 재난 발생 시 어떤 조치를 어느 시점에서 취해야할지 상황이 모호할 뿐만 아니라, 계획홍수위가 명확히 병기되지 않아 심각단계에 해당되는 홍수경보 발령 이후 언제, 어느 높이까지 침수 또는 월류가 발생할지 예측하기 어렵다.

따라서 시설물관리의 관점에서 볼 때, 시설물별 EAP를 구축하고 효율적인 재난대응이 이루어지도록 유도하기 위해서는 홍수예·경보 수위와 위기경보 4단계의 관계를 명확히 하여야 하며, 필요에 따라 위기경보단계만을 적용할 수도 있다. 아울러, 실무자의 쉬운 이해와 효율적 EAP 적용 및 발현을 위해, EAP 설정기준을 실무자관점에서 표기할 필요가 있다. 산악지역 또는 분지 등 고도가 높은 지역의 경우, 통상 표기되는 해발고도 수위가 실제 수위표기준 높이와 적게는 수미터부터 수십미터 이상까지의 격차를 보이기 때문에 실무자로 하여금 혼란을 일으킬 수 있다. 이에 본 논문에서는 실무자의 관점에서 적용하기 쉽도록 하천수위 표기 시 계획홍수량과 수위표기준을 병기 표기하도록 하였으며 이와함께 위기경보단계를 병기하도록 제안하였다.

또한, 경계단계에 해당되는 계획홍수량 50%(홍수주의보에 해당)와 심각단계에 해당되는 계획홍수량 70%(홍수경보에 해당) 기준도 상향조정될 필요가 있다. 일본의 경우 국내의 경계단계에 해당되는 피난판단수위가 계획홍수위 대비 평균 75%, 국내 심각단계에 해당되는 범람위험수위는 계획홍수위 대비 평균 83%에 이르고 있고, 미국의 경우도 하천의 구조에 따라 조금씩 다르지만 미시시피강 지류에 해당되는 시다강(Cedar River)의 경계 및 심각단계는 각각 계획홍수위 대비 70%와 80%에 해당된다. 일본 구리하시천이나 미국 시다래피즈강 모두 우리나라와 비슷한 위도상에 위치해 있으며 주위 자연환경과 규모 또한 국내 하천환경과 유

사한 특성을 가지고 있다. 그러나 미국과 일본이 국내에 비해 상향된 수위를 홍수 경계 및 심각 수준으로 채택하고 있는 이유는 강우량 분석 및 홍수 예측이 매우 정확하기 때문이다.

국내 또한 최근에 동남아지역으로의 기술수출 및 교류를 선도할 정도로 수자원공사의 기술력이 발전하고, 국내 관련 학계와 기관의 수문·수리학 수준도 매우 높아져 있어 예전과 비교할 수 없을 정도로 하천 홍수 예측력이 향상되고 있다. 따라서 기존의 계획홍수량 50%와 70%라는 기준은 안전율을 높이기 위한 보수적인 하향 기준이라 판단되며 실제 홍수 발생 시 골든타임 확보 및 시기 적절한 대응이라는 측면에서 실효성이 떨어지므로, 이를 각각 최소 60%와 80%로 상향조정하여 실무에 적용하는 것이 장기적인 관점에서 필요한 것으로 판단된다. 아울러 주의단계 설정기준 또한 통상적으로 적용하는 계획홍수량의 30%가 아닌 40%로 상향조정할 수 있다.

표 8. 수위표기준 EAP 설정기준 개선(안)

EAP 단계	수재해 EAP 설정기준	표기
관심	◦ 해당지점 계획홍수량의 40% 이내	수위표 기준 수위(m)
주의	◦ 해당지점 계획홍수량의 40% 이상	
경계	◦ 해당지점 계획홍수량의 60% 이상 (홍수주의보 발령)	
심각	◦ 해당지점 계획홍수량의 80% 이상 (홍수경보 발령)	

2. EAP 설정기준 개선(안) 검증 촉진

제안된 EAP 설정기준 개선안의 실효성 검증을 위해 2017년 3월 '재난 시나리오(태풍, 호우, 지진) 기반 수변구조물 통합안전관리 기술개발 연구단(이하 '연구단')'이 수변구조물 모니터링 및 위험관리시스템의 성능을 평가하기 위하여 실시한 모의훈련을 활용하였다. 모의훈련이 실시된 테스트베드 지역은 낙동강유역 강정고령보 및 성서제 일대이며, 300년 및 500년 빈도의 복합홍수 상황을 기반으로 작성된 가상시나리오를 적용하였다[9]. 이 가상시나리오는 홍수주의보를 시작으로 약 4일인 90시간 동안의 홍수위변화를 표현하고 있으며, 이를 근거로 개발 시스템의 시설물 모니터링, 시설물 위험평가 및 의사결정 정보지원 등 기능을 테스트하였다. 이 과정에서 연구단은 긴박한 위기상황을 연출하기 위하여 위기경보단계 설정기준을 국내에 통상적으로 적용되는 50%와 70%보다 훨씬 넘는 수위를 적용하였다.

표 9. 가상홍수시나리오 적용 위기경보수준 비교

일시		상황조건	위기경보 수준		
			연구단 기준	현행기준	개선안 기준
3월 22일	00:00	강우예보에 따른 수문분석 결과 임하댐 방류 시작	–	관심 /주의 /경계	관심 /주의
	06:00	수위상승(강정고령보 수위: 19.41El.m)	안전 (79%이하)	심각 (70%)	경계
	09:00	강정고령보 수위 〉 관리수위(19.50El.m)	관심 (79%이상)		
	12:00	강정고령보 수위 〉 상한수위(20.00El.m)	주의 (81%이상)		심각 (80%)
	14:00	1차 강우 시작			
	18:00	강정고령보 수위 〉 24.00El.m	경계 (97%이상)		
	21:00	강정고령보 수위 〉 계획홍수위(24.66El.m)	심각 (100%)		
23일	00:00	문산제 제방월류 (제방마루표고:25.4El.m)			
	01:00	1차 강우 종료 (총 강우량: 278.29mm)			
	07:00	수위 하강(강정고령보 수위:26.38El.m)			
	20:00	2차 강우 발생			
		문산제 제방마루표고 이하로 수위 하강			
	22:00	수위상승(강정고령보 수위: 25.03El.m)			
24일	00:00	문산제 제방월류 (제방마루표고:24.43El.m)			
	04:00	곽촌제 제방월류 (제방마루표고:26.85El.m)			
	06:00	성서제 제방월류 (제방마루표고:27.00El.m)			
	07:00	2차 강우 종료 (총 강우량:307.99mm)			
	13:00	수위 하강(강정고령보 수위: 28.47El.m)			
	21:00	성서제 제방마루표고 이하로 수위 하강			
	23:00	곽촌제 제방마루표고 이하로 수위 하강			
25일	09:00	문산제 제방마루표고 이하로 수위 하강			
	16:00	심각단계 sop 대응완료 후 상황 해제			

강정고령보 관리수위는 보 상류수위를 기준으로 하므로, 보 상류에 위치한 왜관관측소의 홍수예·경보 수위기준을 테스트베드에 적용하였다. 왜관관측소의 홍

수주의보는 수위표기준 6m(해발고도 약 18~19m), 홍수경보는 8m(해발고도 약 20~)에 발령된다. 이때, 연구단의 위기경보단계 설정기준의 경우 강정고령보의 관리 상한수위 전후로 관심·주의단계가 발령되며, 계획홍수위의 97%에 해당되는 24.0E.l.m와 100%에 해당되는 24.66E.l.m에 이르렀을 때 경계·심각단계가 발령된다.

반면, 현행 홍수예·경보 기준의 경우 임하댐 방류를 시작하고 강정고령보 관리 상한수위에 다다르기 전에 이미 관심·주의·경계단계가 모두 발현되며, 개선안을 기준으로 할 때는 19E,l.m 수위로 상승할 때 경계단계로, 20E.l.m에서 심각단계가 발령된다.

모의훈련 시 홍수 상황을 극대화하기 위한 연구단의 위기경보단계 설정 기준은 계획홍수위의 79%에서 관심 단계가 발현되고, 경계단계도 97%에 해당하는 수위에서 발현되기 때문에 위기관리 관점에서 볼 때 다소 비약이 심하다. 이는 EAP 관점에서 볼 때도 충분한 시간을 확보할 수 없다는 단점이 있다. 반면, 현행 기준의 경우는 임하댐 방류 이후 얼마 되지 않아 경계단계까지 발령되어 실제 EAP 적용에 실효성이 떨어지게 된다. 이에 반해 위기경보단계 설정기준을 상향 조정한 개선안의 수위 기준은 강정고령보의 관리 상한 수위에 근접한 수위에서 경계단계가 발령되므로 주변 친수구역과 성서제 등에 EAP를 적용하는데 적절한 시간적 여유를 제공하게 된다.

VI. 맺음말

홍수 발생 시 제공되는 적절한 비상대처방안(EAP, Emergency Action Plan) 정보는 재난에 효과적으로 대응하기 위한 필수요소이며, 상습 침수지역과 예상지역의 인명 및 재산피해를 줄이는 중요한 역할을 한다. 국내에서 사용하는 대부분의 EAP는 국가위기관리기본지침의 위기경보 4단계를 근간으로 해당 시설물에 대한 단계별 대응업무를 규정하도록 되어 있다. 이와 관련하여 홍수통제소는 수위표 또는 해발고도를 기준으로 하천지점별 홍수주의보와 홍수경보를 계획홍수량의 50%와 70%를 기준으로 발현하고 있으나, 일본과 미국보다 실효성이 떨어지며 위기경보 각 단계별 설정기준과의 연관관계도 명확히 제시하고 있지 않다. 이에 본 연구는 국내 하천홍수에 대응하는 수재해 위기경보 4단계 설정기준을 개선하기 위하여 국내외 관련 규정 및 적용현황을 분석하였으며, 실무자 관점에서 실효성을 제고하기 위하여 위기 경보단계별 설정기준을 상향조정하고 수위표 기준으로 표기방식을 개선하도록 제안하였다. 개선된 설정기준(안)을 수변구조물 재난대응 의사결정시스템에 적용하고 테스트베드 모의훈련을 통한 검증을 실시한 결과, 현행 홍수예·경보 설정기준보다 실효성이 높은 위기경보단계 발현 및 EAP 적용이 가능하였다.

참 고 문 헌

[1] 박수열, 오은호, 김진만, 문인종, “도시건물 및 SOC시설물 보호를 위한 도시형 임시홍수차단장비 개발 방향 연구,” 대한토목학회 2017년도 정기학술대회 논문집-일반세션, p.106, 2017.

[2] 서울특별시한강사업본부, *안전관리 포켓매뉴얼(풍수해분야)*, 2015.

[3] https://rawris.ekr.or.kr, 2018.1.10.

[4] 일본 국토교통성 수관리·국토보전국, *도도부현 수방계획서*, 2014.

[5] 일본 도쿄도, *도쿄도 방재계획서*, 2014.

[6] 박무종, “미국의 홍수예보 시스템,” 물과미래, 제39권, 제7호, pp.47-54, 2006(7).

[7] National Weather Service, *NATIONAL WEATHER SERVICE MANUAL 10-950- DEFINITIONS AND GENERAL TERMINOLOGY*, Department of Commerce/National Oceanic & Atmospheric Administration, 2017.8.25.

[8] Eun-ho Oh, *Impact Analysis of Natural Disasters on Critical Infrastructure, Associated Industries, and Communities*, 퍼듀대, 박사학위논문, 2010(8).

[9] http://www.nakdongriver.go.kr, 2018.1.18.

저 자 소 개

이 수 경(Sookyong Lee) 정회원

- 2012년 2월 : 명지대학교 건축학과(공학석사)
- 2012년 11월 ~ 2015년 12월 : 한국건설기술연구원 건설정책연구소 전임연구원
- 2018년 1월 ~ 현재 : ㈜우노 재난위험관리연구부 수석연구원

<관심분야> : 건설관리, 건설자동화, ICT 등

박 재 우(Jae-Woo Park) 정회원

- 2002년 2월 : 중앙대학교 토목공학(공학석사)
- 2002년 5월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 건설정책연구소 수석연구원

<관심분야> : 건설자동화, USN, 건설관리 등

오 은 호(Eun-Ho Oh) 정회원

- 1997년 2월 : 아주대학교 건설관리(공학석사)
- 2008년 5월 : Purdue Univ. 건설관리(공학석사)
- 2010년 8월 : Purdue Univ. 건설관리(공학박사)
- 1998년 1월 ~ 2015년 5월 : 한국건설기술연구원 건설정책연구소 수석연구원
- 2015년 6월 ~ 현재 : ㈜우노 대표이사

<관심분야> : 재난관리, 방재, 기반체계 등