

극한수문사상에 대비한 과학적 이해증진과 수리설계기준 개선



서용원 ●●●

영남대학교 건설시스템공학과 조교수
yseo@ynu.ac.kr



황준식 ●●●

영남대학교 건설시스템공학과 박사과정
jshwang@ynu.ac.kr

1. 서론

본 연구는 유네스코(UNESCO)의 국제수문프로 그램(International Hydrologic Program Phase VIII)의 일환으로 2014년부터 2021에 이르기까지 극한수문사상에 대한 대비를 위한 수문현상에 대한 과학적 이해를 증진하는 목표의 일환으로 준비되었다. 특히 본 연구는 집중분야(FA, focal area) 1.5에 해당하며 그 주된 내용은 다음과 같다.

- 기상학적 기반에 대한 지원 및 과학적인 연구개발
- 최근 극한수문사상으로 인한 재해와 교훈의 기록
- 전문가 사이의 확률론적 불확실성 분석에 대한 이해 도모

- 기후변화와 토지이용 변화를 고려한 수공구조물의 설계기준 갱신

본 연구의 최종 목표는 위의 제시된 목적들을 달성하기 위해 극한수문사상의 명확한 과학적 이해를 바탕으로 미래의 발생 가능한 극한수문사상을 미연에 대비할 수 있도록 수리설계기준을 개선하는데 있다. 본 연구의 최종목표 달성을 위해 본 연구는 총 3차년도(2차~4차)로 계획되었으며 연차별 연구내용은 다음과 같다.

- 2차년도(2015): 극한수문사상 혹은 극치사상에 대한 명확한 정의
- 3차년도(2016): 1차년도 분석 자료를 바탕으로 극치사상 발생에 대한 과학적/수문학적 근거제시, 이를 이용한 기후변화 시나리오와 수문자료에 대한 상관성분석
- 4차년도(2017): 미래 극한수문사상의 빈도분석과 기후변화 시나리오 등을 활용, 기존의 수리설계기준의 개선방향 제시

그림 1은 연차 별 추진계획을 도식적으로 나타낸 것이다. 2차년도(2015년) 연구의 경우 대상지역선정, 극한수문사상에 대한 정의, 극한수문사상의 시공간적 특성에 집중하고 있다. 3차년도(2016년)에는 극한수문사상의 수문학적 발생조건, 미래 극한수문사상 예측에 집중하고 있으며, 마지막으로 4차년도(2017년)에는 극한수문사상의 반영조건을 검토하고

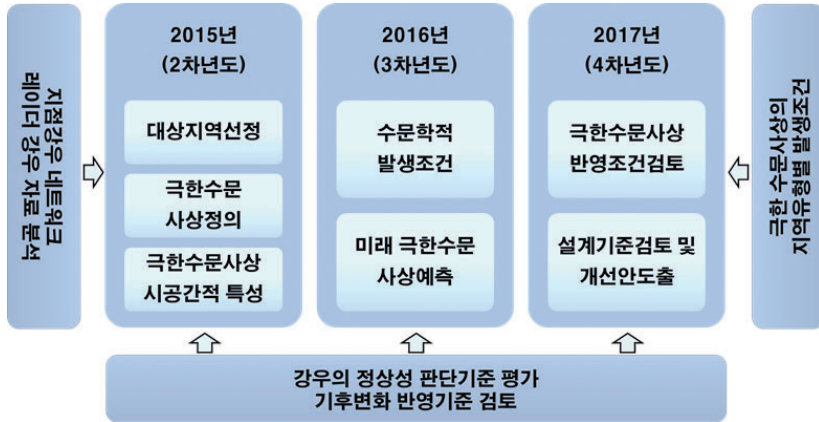


그림 1 연차별 연구추진 계획(총 3개년)

설계기준을 검토 개선안을 도출하여 제시하는 데에 있다. 이를 위해 지점 강우 관측소망 자료와 레이더 강우자료를 이용 분석할 예정이며, 극한수문사상의 지역유형별 발생조건을 검토할 예정이다. 또한 기존에 이용되던 확률강우분포함수에 대한 검토 및 보다 타당한 확률 통계적 접근방법 등을 제시할 예정이다. 또한 본 연구는 국제협력과제(국제협력1)로서 베트남 하노이에 위치한 Thuyloi University(베트남 수자원 대학, Water Resources University)와 공동연구를 수행하고 있다. 연구주제는 “극한수문사상과 기후변화를 고려한 저수지 설계기준”으로서 응우옌 교수(수자원공학과)과 응오 교수(수문수자원학과) 등 2인이 참여하고 있다.

2. 2차년도(2015년) 연구내용

2.1 극한수문사상의 정의

극한 수문사상의 정의는 통상적으로 3가지 방법이 많이 이용되어 오고 있다(Karl et al., 1996; Groisman et al., 1999; Kunkel et al., 1999; Groisman et al., 2001). 첫번째 방법은 실제 강우량에 근거하는 방법이고, 두번째 방법은 특정한 기준(threshold)을 기준으로 극한수문사상을 정의하는 경우이며, 마지막으로 세 번째 방법은 확률빈도를 기준으로 정의하는 방법이다. 이러한 방법들은 최근 연구들에서도 많이 이용되고 있는 방법이다

표 1 극한수문사상의 정의(Karl et al., 1996)

기준인자	산정방법
Actual rainfall amounts	<ul style="list-style-type: none"> Heavy rainfall: an event with precipitation above 50.8mm(2in) Very heavy rainfall: an event with precipitation above 101.6mm(4in)
Specific thresholds	<ul style="list-style-type: none"> Heavy rainfall: an event with precipitation above 90th percentiles Very heavy rainfall: an event with precipitation above 99th percentiles
Return periods	<ul style="list-style-type: none"> Heavy rainfall event: an event with 24-h precipitation above 1year return period(재현기간) Very heavy rainfall: an event with 24-h precipitation above 20year return period(재현기간)

(Spierre and Wave, 2007; Chu et al., 2008). 아래 표 1은 극한수문사상의 3가지 정의 방법을 요약한 것이다.

각각의 기준에 따라 강우사상은 호우(heavy rainfall)와 극심한 호우(very heavy rainfall)로 구분된다. 예를 들어 실제 강우량을 기준으로 하는 경우 50.8 mm이상의 강우사상은 호우로, 101.6 mm 이상은 극심한 호우로 구분된다. 특정 기준의 퍼센타일을 기준으로 하는 경우는 90th퍼센타일 이상의 경우 호우로 99th퍼센타일 이상의 경우 극심한 호우로 정의된다. 반면 빈도를 기준으로 하는 경우 1년 빈도는 호우, 20년 빈도 이상은 극심한 호우로 정의된다.

국내의 경우 호우주의보와 호우경보는 기상특보 발표기준에 따라 각각 발령하도록 되어 있다. 1964년 기상청 업무규정 수립 이후 호우주의보와 호우경보는 그 발령 기준에 변화가 있다. 즉 1964년 제정 당시의 호우주의보 발령기준은 시간강우 30 mm 이상이 관측될 경우였으며, 호우경보 발령기준은 시간당 30 mm이상의 강우가 연속해서 3시간 관측될 경우였다. 이 기준은 1971년 변경되어 호우주

의보의 기준은 24시간 강우량 80 mm이상 발생 시 그리고 피해가 예상될 경우 발령하도록 하였다. 또한 호우경보 발령기준은 24시간 강우량 150 mm이상 발생 시 그리고 피해가 예상될 경우로 변경되었다. 1983년 발령기준은 각각 24시간 강우량 80 mm 이상, 150 mm이상으로 간략하게 변경되었다가, 각각 2004년 12시간 강우량 80 mm이상, 150 mm이상으로 강화되었다. 본 연구에서는 기존 IHP 7단계 연구결과(양정석 등, 2012)를 참고하여, 통상적으로 이용되는 Karl et al. (1996)의 세 가지 극한수문사상 정의, 즉 실 강우량, 특정 퍼센타일 기준, 그리고 빈도를 이용한 극한수문사상의 정의를 이용하여 분석하도록 하였다.

2.2 자료 및 분석 방법

분석대상은 지점 강우관측소 자료를 이용하였으며, 실제 극한 강우의 시공간적 변동성 분석을 위해 전국을 대상으로 하였다. 분석의 방법은 1974년부터 2014년까지 자료(총 41개년)를 보유한 지점 강우관측소를 대상으로 1974년부터 1994년까지 21개년

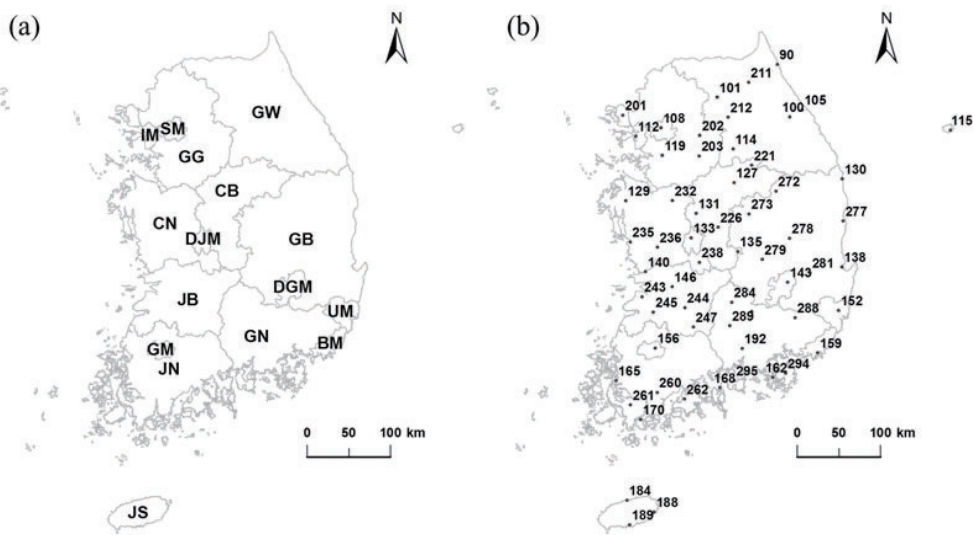


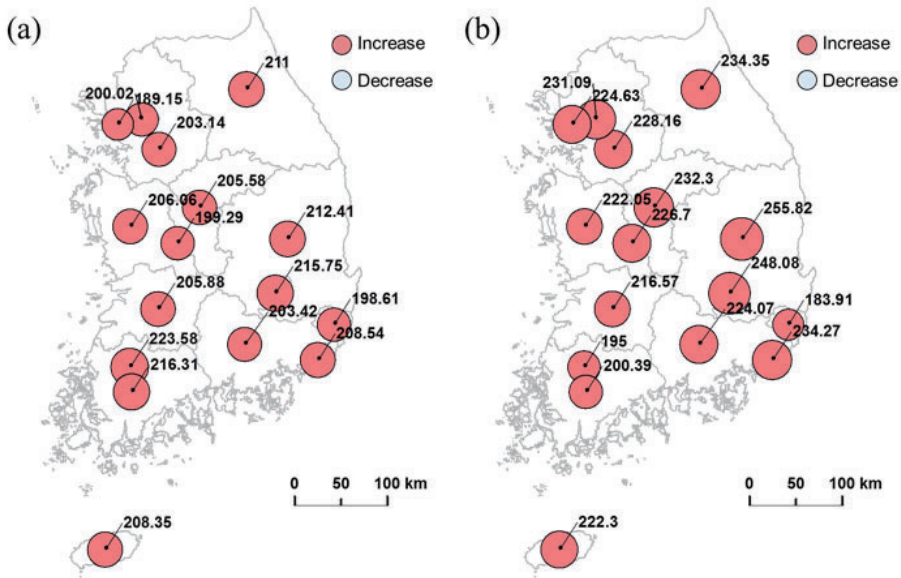
그림 2 지역 구분 및 대상 60개 강우관측소

을 기준으로 1995년부터 2014년까지 20개년을 비교대상으로 정하여 최근 20년간 극한강우의 변동성을 비교 검토 하도록 하였다. 이를 위하여 기상자료 개방포털(data.kma.go.kr)을 이용 전국 98개 지점의 강우관측소자료를 수집하였으며, 이중 결측치 없이 41개년 자료를 보유하고 있는 전국 60개 관측소 자료를 확보하였다. 그림 2에 나타난 바와 같이 분석결과와의 이해를 보다 용이하게 하기 위해 사용한 60개 강우관측소 분석결과를 16개 특별시도의 행정구역으로 면적 평균하여 나타내도록 하였다.

2.3 분석결과

60개 관측소의 총 41개년 시강우에 대하여, 강우의 지속시간이 6시간 이상인 호우사상들 중 50.8 mm 이상 호우사상(Heavy rainfall)과 101.6 mm 이상 극심한 호우사상(Very heavy rainfall)이 발생한 횟수를 산정하였다. 여기서 50.8 mm와 101.6 mm로 나누어서 발생횟수를 분석한 기준은 앞 절에서 설명한 극한수문사상의 정의(Karl et al., 1996)

에 의거한 것이다. 74년에서 94년까지 50.8 mm 이상의 호우사상이 발생횟수 평균은 3.19회 이며, 가장 많이 발생한 지역은 서귀포로 5.27회, 가장 적게 발생한 지역은 울릉도로 2.07회로 분석되었다. 95년에서 14년까지 50.8 mm 이상의 호우사상이 발생 횟수 평균은 6.66회 이며, 가장 많이 발생한 지역은 남해로 10.83회, 가장 적게 발생한 지역은 대구로 4.61회로 분석되었다. 대부분의 지역이 50.8 mm 이상 호우사상의 발생 횟수가 2배 이상 증가한 것을 알 수 있다(그림 3a). 95년에서 14년까지 101.6 mm 이상의 극심한 호우사상 발생 횟수의 평균은 0.9회 이며, 가장 많이 발생한 지역은 남해로 1.73회, 가장 적게 발생한 지역은 울릉도로 0.29회로 분석되었다. 95년에서 14년까지 101.6 mm 이상의 극심한 호우사상 발생 횟수의 평균은 2.03회 이며, 가장 많이 발생한 지역은 남해로 3.8회, 가장 적게 발생한 지역은 의성으로 1.07회로 분석되었다. 101.6 mm 이상의 극심한 호우사상도 50.8 mm 이상의 강우가 발생한 횟수의 증가와 비슷하게 2배 이상의 증가율을 보였으나 증가율은 조금 더 높게 나타났다.



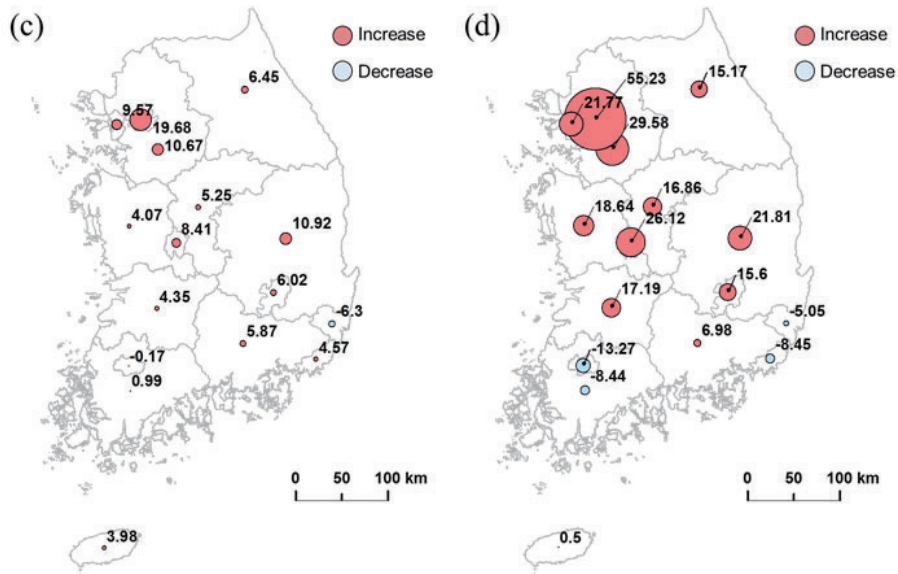


그림 3 과거 20년간 (a) 50.8 mm 이상 및 (b) 101.8 mm 이상 강우사상의 발생 횟수 및 (c) 95퍼센타일 및 (d) 99퍼센타일 강우사상의 크기 변화율; 극한강우의 발생회수는 비교적 균등하게 증가하였으나, 그 크기는 지역별로 차이가 큰 것을 알 수 있다.

74년에서 94년까지 90th 퍼센타일 이상의 호우의 최대값은 120.53 mm, 최소값은 55.59 mm, 평균은 83.28 mm 로 분석되었으며, 최대값과 최소값의 편차는 약 65 mm 최대값의 2배 정도 차이를 보이고 있다. 2배의 차이를 보이고 있는 지역은 동해 쪽에 위치한 울릉도와 남해 쪽에 위치한 남해이다. 이러한 차이는 다양한 요인이 있을 수 있으나 태풍의 이동경로와 밀접한 관계가 있을 것으로 판단된다. 95년에서 14년까지 90th 퍼센타일 이상의 호우의 최대값은 132.26 mm, 최소값은 68.97 mm, 평균값은 88.38 mm 였으며, 74년에서 94년까지 자료의 평균값과 비교해 보면 약 10 mm의 증가량이 있는 것을 확인할 수 있다. 74년에서 94년까지 99th 퍼센타일 이상의 호우의 최대값은 304.3 mm, 최소값은 116.48 mm, 평균은 201.38 mm 로 분석되었으며, 최대값과 최소값의 편차는 약 188 mm로 최대값의 약 1.6배 정도 차이를 보이고 있다. 95년에서 14년까지 99th 퍼센타일 이상의 호우의 최대

값은 309.11 mm, 최소값은 155.92 mm, 평균값은 224.29 mm 였으며, 74년에서 94년까지의 자료의 평균값과 비교해 보면 약 20 mm의 증가량이 있는 것을 확인할 수 있다.

퍼센타일 강우의 크기 분석결과 90th 퍼센타일 이상의 호우는 과거 21년에 비해 감소한 지역도 있으며, 최대 25% 증가한 지역도 나타나는 등 지역적 편차가 큰 것을 확인할 수 있다(그림 3c). 또한 99th 퍼센타일 이상의 호우도 90th 퍼센타일 이상의 호우와 비슷하게 지역적 편차가 크게 나타나고 있으나, 90th 퍼센타일의 증감량과는 다른 양상을 보이고 있다(그림 3d). 변화율이 가장 심한 곳은 경기도 및 서울지역으로 나타나고 있으며, 특히 1995년~2014년 기간의 서울지역의 90th, 99th 퍼센타일의 호우에 대한 변화율이 가장 큰 것을 확인할 수 있다. 또한 전남, 광주, 울산, 부산 등 남부지방은 반대로 호우가 감소하는 경향을 보이고 있다.

이상의 2차년도(2015년)의 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

- 세 가지 방법(절대량, 쿼타일, 빈도강우량)을 이용한 극한수문사상의 정의
- 빈도와 양의 두 가지 측면에서 극한수문사상의 시공간적 변동성 분석
- 과거 20년간 실질적으로 IQR1.5이상 이상치, 혹은 극한수문사상의 발생빈도와 양 모두 증가한 것으로 조사됨
- 발생빈도(절대량 기준)에서는 지역에 상관없이 모두 증가하는 것으로 조사
- 양(쿼타일과 빈도강우량 기준)에 있어서는 지역별로 큰 편차: 북부지역 증가 vs 남부지역 감소)
- 극한수문사상의 지역적 변동 특성 반영 반드시 필요

3. 3, 4차년도(2016년~2017년) 세부연구계획

3, 4차년도의 목표는 극한수문사상 발생원인에 대한 수문학적/과학적 근거를 제시하고, 이를 바탕으로 극한수문사상의 미래변동성을 예측하는 데에 있으며, 이에 근거하여 극한수문사상을 포함한 수문량 변화를 검토하고 설계기준 개선안을 제시하는데 그 목표가 있다. 이러한 측면에서 다음과 같은 세부연구주제를 대상으로 한다.

- 주요 극한수문사상의 선정
- 극한수문사상의 물리적, 통계적 발생원인 분석
- 극한수문사상의 미래 변동성 예측을 위한 기초조사
- 기후변화시나리오(RCP4.5, 8.5)에 근거 예측을 위한 방법론의 선정
- 미래 극한수문사상의 변동성 시험 예측
- 설계기준의 반영가능성 검토

또한 3, 4차년도에는 국제협력과제로서의 성격을 강화하고자 카운터파트인 베트남수자원대학교

(Thuyloi University)와의 심도 있는 공동연구방향 논의하고 있으며 아시아 지역에서의 설계기준 개선에 있어 공동대응 및 협력 방안 마련 논의할 예정이다.

4. 기대효과

태풍루사(2002)의 사례와 같이 최근 우리가 겪고 있는 극한수문사상은 과거와 다른 차원의 크기를 보이고 있다. 실제 과거 20년간의 변동성을 분석한 결과는 이러한 우리의 인식이 틀리지 않았음을 보여준다. 기후변화로 인한 전 세계적인 극한 강우의 변동성은 활발한 연구대상의 하나로 많은 연구자들에 의해 예측되고 있다. 구미 각국에서는 이를 반영한 설계강우 혹은 설계홍수량의 증가에 대한 지침(guideline)을 마련하였거나 마련 중에 있다 (Madson, 2014). 그러나 설계기준의 변화에 따른 사회적 경제적 영향 또한 무시할 수 없는 것이 사실이다. 따라서 본 연구의 결과를 통해 극한수문사상의 발생원인과 변동성에 대한 이해를 높이고 이를 근거로 보다 지속가능한 관련 설계기준의 개선을 위한 작은 토대가 될 수 있기를 기대한다. 또한 국제협력과제로서 기후변화에 대처하기 위한 국제적 협력의 시작에도 작은 보탬이 될 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 논문은 국토교통부의 2015년 국제수문학프로그램(IHP) 연구지원 사업에 의한 것임.

**참고문헌**

- 양정석, 김태웅, 이승오 (2012). 한반도 극치사상 및 특성 분석. 국제수문개발계획(IHP)제7 단계 제3차년도 보고서, p. 110.
- Chu, P. S., Zhao, X., Ruan, Y., and Grubbs, M. (2009). "Extreme Rainfall Events in the Hawaiian Islands." *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 48(3), 502–516.
- Cirpka, O. A., and Attinger, S. (2003). "Effective dispersion in heterogeneous media under random transient flow conditions." *Water Resour Res*, 39(9).
- Groisman, P. Y., Karl, T. R., Easterling, D. R., Knight, R. W., Jamason, P. F., Hennessy, K. J., Suppiah, R., Page, C. M., Wibig, J., Fortuniak, K., Razuvaev, V. N., Douglas, A., Forland, E., and Zhai, P. M. (1999). "Changes in the probability of heavy precipitation: Important indicators of climatic change." *Climatic Change*, 42(1), 243–283.
- Groisman, P. Y., Knight, R. W., and Karl, T. R. (2001). "Heavy precipitation and high streamflow in the contiguous United States: Trends in the twentieth century." *B Am Meteorol Soc*, 82(2), 219–246.
- Kunkel, K., Andsager, K., and Easter, D. R. (1999). "Trends in heavy precipitation events over the continental United States." *J Climate*, 12, 2515–2527.
- Thomas R. Karl, R. W. K., David R. Easterling, and Robert G. Quayle (1996). "Indices of Climate Change for the United States." *Bulletin of American Meteorological Society*, 77(279–292).