

호우 재해기간의 강수특성 및 단위 강수량 당 피해규모 경향성 분석

정종혁 · 김현욱 · 심재관 · 최병철

국립기상과학원 관측예보연구과 재해기상연구센터

(2016년 12월 29일 접수, 2017년 3월 31일 수정, 2017년 3월 31일 게재 확정)

Analysis of the Amount of Damage Per unit Precipitation and the Characteristics of Precipitation during the Heavy Rainfall Disaster

Jeong Jong-Hyeok · Kim Hyun-Uk · Shim Jae-Kwan · Choi Byung-Chul

High-Impact Weather Research Center, Observation and forecast Research Division,
National Institute of Meteorological Science

(Received 29 December 2016, Revised 31 March 2017, Accepted 31 March 2017)

Abstract : The disaster caused by the heavy rain results in the greatest damage Among the damages caused by the weather disaster. many previous researches actively analyzed heavy rainfall disasters. The work includes analyzing vulnerability of disaster using characteristics and size of disaster damage in local area, selecting influencing factors influencing disaster and analyzing its influence. Rainfall during the heavy rainfall disaster is concerned with regional vulnerability to rainfall. The disaster-induced rainfall averaged on scale was analyzed by classifying disaster damage scale. The damage per precipitation unit is assumed to be disaster vulnerability, and local vulnerability of disasters is analyzed and the tendency of disaster vulnerability is analyzed using a time series analysis. The total amount of rainfall during the disaster period was analyzed in a large amount of rainfall in the Seoul metropolitan area and Busan city. The analysis shows that The average rainfall per accident case is high, and the region with relatively high stability against heavy rainfall disaster is Seoul metropolitan city. Southwest regions of the Korean Peninsula are analyzed to be affected by a very small amount of precipitation. The damage analysis shows that Busan Metropolitan City and the metropolitan area are relatively safe area against disaster. The analysis of disaster vulnerability based on the precipitation during the heavy rainfall disaster provides a clear classification of vulnerability by region.

Key Words : heavy rainfall, disaster vulnerability, rain disaster, rainfall characteristics, scale of damage

주요어 : 호우, 재해 취약성, 호우 재해, 강수 특성, 피해 규모

1. 서론

최근 세계적인 기후변화로 인한 기상이변에 의해 국지성 집중호우, 폭염 등의 위험 기상현상이 빈번하게 발생하고 있으며, 이로 인한 재해는 지속적으로 증가하고 그 피해 규모도 점점 대형화되는 추세이다(Lee and Lee, 2008). 우리나라도 기후변화를 비롯한 다양한 원인으로 1970년대 이후 뚜렷하게 강우 일수가 증가하는 추세가 보이며, 100mm 이상의 강우 강도는 1970년대에 비하여 최근 10년 동안 1.3배가 증가하였다(Lee *et al.*, 2011). 특히, 우리나라는 산악지형이 70% 이상을 차지하고, 삼면이 바다로 이루어져 있는 등의 지형적인 영향으로 인해 지역에 따른 강우 패턴의 차이가 크다. 또한, 강우의 순별 특징은 연평균 강우의 대부분이 여름철 호우에 집중되는 계절적 집중현상이 나타나고, 격년을 주기로 연강수가 7월과 8월에 집중되어 대규모 강우현상을 유발한다(Heo *et al.*, 2014; Moon *et al.*, 2014). 자연 재해의 대부분이 기상 현상으로 인하여 발생하고, 호우로 인한 재해가 80% 이상(NIMR, 2014)인 우리나라 자연 재해 특성상 연강수량과 호우 사례의 증가 추세는 사회 경제적 활동뿐만 아니라 직접적인 재산과 생명에 대한 위협을 가중시킬 것으로 추측된다.

기상 예보는 대규모 기상현상에 의한 재해 피해를 줄일 수 있는 중요한 자료이다. 기상청은 2016년 정책목표를 '영향예보로의 전환을 통한 기상 재해 리스크 경감'으로 설정하고 있다. 영향 예보는 단순한 기상현상을 안내하는 기상예보에서 기상현상으로 발생하는 그 영향까지 예보하는 수준까지를 목표로 하고 있다. 세계 기상 기구에서는 사회경제적 영향을 고려한 예보와 Hazard Impact Model의 피해 알고리즘을 구성하기 위한 전제로 지역의 Risk of Impact(재해의 피해 규모)는 Hazard(기상규모), Vulnerability(위험도),

Exposure(노출도)에 의해 결정된다고 가정했다. 여기서 위험도와 노출도를 재해 취약성으로 설명하고 있다(WMO, 2015). 즉, 지역별 위험도(Vulnerability)와 노출도(Exposure)의 차이는 재해 취약성의 차이를 유발하고 이러한 재해 취약성은 유사한 규모의 기상현상(Hazard)에도 재해 피해 규모의 차이를 유발한다.

재해 피해 규모에 영향을 미치는 재해취약성을 분석하기 위해 다양한 분야에서 많은 연구가 수행되었다. 재해 취약성을 평가하거나 변화를 분석하기 위해 선행 연구에서 수행된 연구 방법은 크게 지역별 재해 피해 규모가 재해 취약성에 기인한다고 가정하여 재해 피해 규모의 변화를 분석하는 방법과 지역별 재해 취약 요인을 선정하여 요인의 영향력을 분석하는 방법으로 구분할 수 있다.

호우 재해 사례의 피해 규모를 중심으로 수행된 선행연구들 중 대표적으로 Heo *et al.*(2014)은 지역의 호우 재해의 월간 피해 패턴을 분석해 강원 산지에 위치한 한강 상류 지역에서 호우 재해의 발생 빈도가 꾸준히 높게 발생하며, 피해 규모가 크다고 분석하였다. 또한, 시간단위로 구분한 분석에서는 1980년대의 피해가 가장 크고, 월별 연평균 피해액은 7월이 가장 높다고 분석해 지역적 재해 취약성과 시계열적 재해 취약성의 변화를 분석했다. 추가적으로는 대설 재해의 지역별 취약성을 대설 재해의 지역별 피해 규모를 기준으로 분석한 연구가 진행되기도 했다(Chun and Lee, 2016). 그러나 피해 규모를 대상으로 재해 취약성을 분석한 연구는 호우 재해 피해의 대부분이 단위시간당의 강우강도와 강우기간 등의 영향으로 좌우된다(Choi, 2003)는 선행 연구를 고려하면 피해 규모를 기반으로 재해 취약성을 분석한 연구는 기상 영향에 대한 부분이 분석 범위에서 배제되는 한계가 있을 것으로 판단된다.

지역별 재해 취약 요인을 분석한 연구는 다양한

분야에서 여러 관점으로 연구가 수행 되었다. 기후 변화에 따른 재해 취약요인과 적응 요인을 구분하여 지역의 요인별 분포 특성을 기반으로 재해 취약 특성 및 적응 능력, 대응 변수를 기후적인 관점으로 연구하여 재해 취약성을 분석하였다(Koh *et al.*, 2010; Jeong and Heo., 2014). 또한 유역의 수문학적인 특성과 하천의 방재 역량 및 하천 규모를 고려한 호우 발생에 따른 침수 지역을 분석하여 하천별 취약성을 고려한 소하천의 재해 특성을 분석한 연구(Kim *et al.*, 2013)와 도시 계획의 측면에서 토지이용의 변화가 자연재해 취약성에 미치는 영향을 불투수면적의 변화를 기반으로 지역별 재해 취약성을 분석한 연구가 있다(Choi, 2003). 재해 위험 요인을 분석한 연구는 같은 요인이라도 지역에 따라 영향력의 차이가 발생하고, 연구 방법에 따라 요인의 영향력의 성격이 반대로 분석되기도 했다. 위험 인자 중 인위적으로 급변 요인을 고려하면 재해 취약성에 미치는 객관적인 영향력을 분석하는 것은 사실상 불가능할 것으로 판단된다.

위와 같은 연구 방법의 한계를 극복하기 위해 우리나라의 호우 재해 피해와 호우 특성을 비교하여 호우 특보 기준 설정에 관한 연구(Hong, 1999)와 전국을 시, 도 단위로 구분하여 강수량에 따른 재해사태 및 재해 피해액을 분석하여 지역별 강수량과 재해 피해액과의 상관관계를 분석한 연구(Kim *et al.*, 2009)가 강우 규모에 따른 호우 재해 피해 규모를 고려한 재해 취약성 분석의 필요성을 제시한 연구로써 수행됐다.

그러나 지역적 방재 정책 및 재해 복구 업무를 수행하는 기관이 시군구 단위로 수행되고, 재해 연보에서 집계되는 재해 피해의 최소 공간 해상도가 시군구 단위로 제공되는 점과 향후 영향예보를 위한 예보 편의성, 지자체의 방재 정책의 기초 자료로서의 활용성 등을 고려할 때, 공간 분석 해상도를 시군구를 기준으로 하는 재해 피해 규모와

재해 기간의 강우 규모를 고려한 재해 취약성을 분석이 필요하다고 판단된다. 본 연구에서는 지역별 재해 피해 규모와 재해 기간의 강수 특성을 조사하여 강수와 재해 피해 규모와의 관계를 분석하였다.

2. 연구자료 및 방법

본 연구에서는 1982년부터 2015년까지의 기상청 지상관측지점 61개 지점의 강우 관측 자료와 국민안전처(소방방재청)에서 연간 발행하는 재해연보의 자료를 이용하였다.

국내 기상재해와 관련된 자료는 크게 기상연보, 통계연보, 재해연보에서 발표된다. 기상연보와 통계연보는 그 발표 범위가 좁고, 피해 규모의 해상도가 낮아 연구에 활용하기 어렵다. 반대로 재해연보는 일 년 동안 발생한 재해에 대해 피해 정보를 원인별, 기간별, 수계별, 지역별 등으로 구분하여 피해액의 규모를 천원단위로 제공하는 등의 장점을 바탕으로 재해연보자료를 분석 자료로 선정했다. 그리고 재해 연보에는 인명, 건물, 농경지, 농작물, 선박, 하천, 공공시설 등 여러 항목에 대한 피해 현황이 포함되어 있고, 재해의 종류를 대설, 강풍, 호우, 태풍으로 구분하여 피해 규모를 제공한다.

재해연보는 발간되는 기간 동안 많은 변화를 거치며 집계되었다. 과거와 현재 발간되는 재해연보의 재해피해 종류와 재해 원인의 종류가 변화되었다. 시간의 흐름에 따라 재해 피해의 종류는 점점 세분화되어 집계되었으나, 본 연구에서는 재해 피해 규모를 판단하기 위해 연구기간 동안 변화 없이 제공되어 전국에 동일하게 적용이 가능한 총 피해액을 피해규모로 활용했다. 재해의 원인의 종류는 당시의 기상적 용어 활용에 기인하여 변화하였다.

과거 폭풍, 폭풍우, 폭풍설 등으로 표현되던 재해 원인은 현재에 이르러 강풍, 호우, 대설 등으로 사용된다. 또한 1990년대 중반은 모든 재해원인이 기타로 집계되었다. 이러한 재해 원인 중 기상자료와 비교하여 1982년부터 2015년까지의 총 269건의 호우 재해사례를 선정하여 집계하였다. 그러나 재해 연보의 태풍 사례는 강풍에 의한 영향을 제외하기 위해 본 연구에서는 호우 재해 사례에 포함하지 않았다.

재해연보의 지역별 피해 자료의 최소 행정구역 단위는 시군구 단위이다. 연구 기간 동안 많은 행정구역이 지역의 개발이나 정부 정책에 의해 변화했다. 이러한 행정구역의 변화는 재해 피해 자료의 집계에 많은 영향을 미친다. 과거 분리되어 있던 행정구역이 통합되어 하나의 행정구역으로 합병되거나, 반대로 하나의 행정구역이 두 개로 분할되는 경우 동일한 지역의 재해 피해정보를 집계할 수 없다. 이러한 변화를 조절하기 위해 행정구

역이 분할된 지역은 분할 전을 기준으로 하고 합병된 지역은 합병된 후를 기준으로 하여 총 201개의 행정구역으로 구분하여 재해 정보를 집계했다.

또한, 재해연보는 발간되는 연도의 가치로 피해액을 제공한다. 그러나 경제적인 가치는 시간에 따라 변화되므로 시간의 변화에 따라 피해액을 현재 가치로 변환해 주기 위해 한국은행에서 제공하는 2016년 7월 기준 소비자 물가지수를 기반으로 현재 가치로 환산 후 분석에 활용했다.

호우 재해 기간의 기상 자료는 행정구역의 변화와 재해 자료의 집계의 용이성을 고려하여 1982년부터 2015년까지 관측이 유지된 61개의 지상관측 지점의 1시간 단위 강수량 자료를 기준으로 집계하였다. Figure 1a는 기상자료 집계를 위해 사용된 지점의 경위도 좌표 값을 기준으로 하여 남한 지도에 중첩한 지도이다. 최북단의 속초, 최남단의 서귀포, 최동단 울릉도, 최서단 목포가 위치하고 있다. 전국적으로 위치하고 있는 지상관측지점의

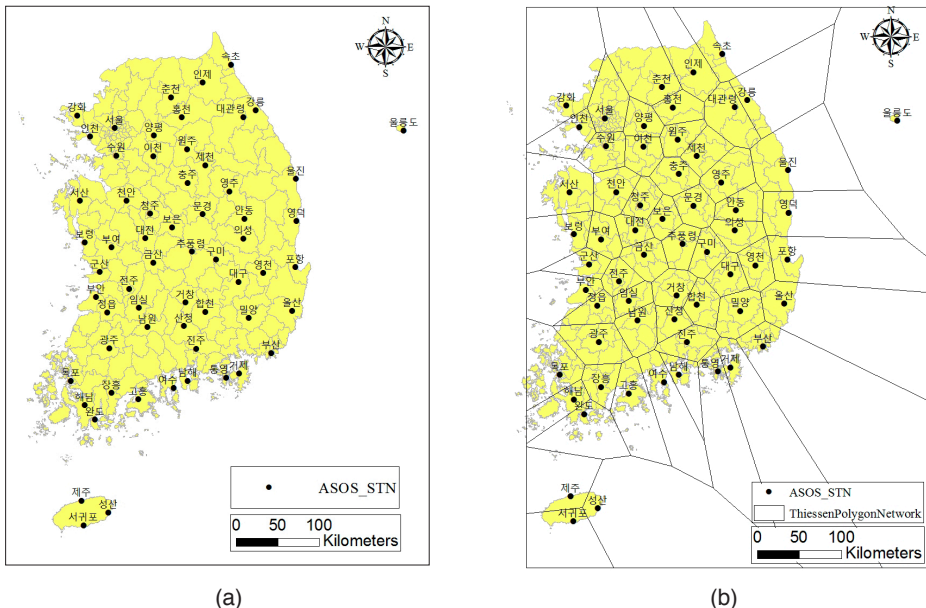


Figure 1. 1982 to 2015 that have been running for general observation point for (a) and weather data into a regional thiessen polygon network configuration (b).

자료를 재해 피해 자료와 중첩하여 비교하기 위해 지상 관측 지점의 위치를 기준으로 공간 정보 영역에서 주로 이용되는 티센다각형망을 생성하여 각 지점의 다각형과 중첩하는 행정구역에 관측지점의 시간 강수량을 평균하여 집계하였다. Figure 1b는 관측지점과 티센다각형망을 중첩한 지도이다. 행정구역의 강수량 정보 집계과정을 예를 들면 강릉시의 경우 강수량 정보는 대관령 지점과 강릉 지점의 강수량이 평균되어 강릉시의 대표 강수량으로 산정된다.

행정구역 단위로 집계된 강수량 자료를 기반으로 재해연보에서 제공하는 재해기간의 강수량을 산출하였다. 전체 재해의 총 강수량, 사례 별 평균 강수량, 단위 강수량 당 피해액을 기준으로 지역별 호우 재해 취약성과 강수 특성을 분석하였다.

3. 호우에 의한 재해의 기상특성 분석

기상재해의 피해 규모가 Hazard(기상규모), Vulnerability(위험도), Exposure(노출도)에 의해서 결정될 때, 호우 재해의 발생과 피해의 규모를 결정하는 가장 큰 요인 중 하나는 재해와 관련된 강수 특성이라는 것을 어렵지 않게 유추해 볼 수 있다. 즉, 기상재해에 대한 위험을 분석하기 위해서는 재해 기간 동안 발생한 기상 특성을 조사하여 지역에 따라 재해를 유발하는 기상 패턴을 분석할 필요가 있고, 단위 기상 규모 당 피해액을 분석하여 재해 기간 동안의 기상 규모에 따른 재해 취약성을 분석할 필요가 있을 것으로 판단된다. 더불어 기본적인 호우 재해 피해 패턴을 분석한 호우 재해 취약성에 대한 비교 분석이 필요할 것이다.

1) 재해 피해특성

본 연구의 분석기간 동안 호우에 의한 재해의 발생 횟수는 총 269건으로, 연평균 약 8건 발생하였다. 호우 재해로 인한 피해는 위에서 언급한 바와 같이 여러 기상재해 중에서 가장 많은 피해액, 인명피해, 빈도 등 여러 기상재해 중 인간 활동에 가장 많은 영향을 미치는 재해이다.

특히, 호우로 인한 재해는 침수, 범람, 산사태, 토석류 등의 이차 피해를 유발하여 지역 행정 및 운영에 많은 지장을 초래 한다. Figure 2는 호우로 인해 발생한 재해의 연도별 피해액 그래프이다. 연도별 재산 피해액은 2006년에 가장 큰 피해액이 발생하였고, 기후적 요인에 따라 1992년에서 1995년까지 등은 적은 규모의 피해가 발생하였다. 호우 재해의 피해액은 2000년대 중반까지는 증가 추세를 보이지만, 이후 다소 감소하는 추세를 보인다.

Figure 3a는 1982년에서 2015년까지의 발생한 호우 재해피해액을 총합하여 지역별로 나타낸 지도이다. 전국적으로 다양한 규모로 피해가 분포하고 있다. 부산광역시 중구의 피해액이 1억 6천만 원으로 가장 적은 규모의 피해가 발생되었고, 부

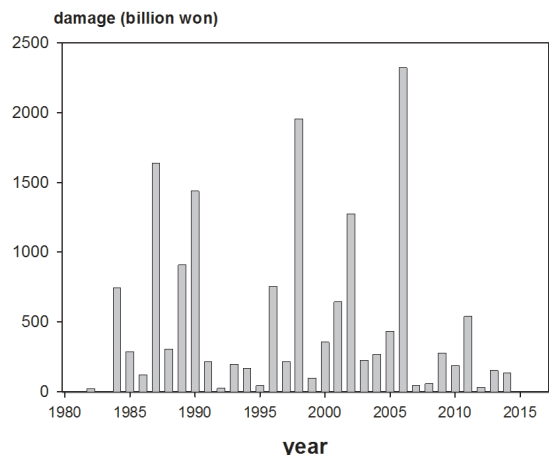


Figure 2. From 1982 to 2015, the amount of damage caused by heavy rain.

산광역시 동구, 금정구, 사상구 등 부산광역시와 서울특별시를 비롯한 수도권 대도시 지역에서 호우로 인한 피해 규모가 비교적 작게 발생하였다. 그에 비해 강원도 평창군, 인제군, 홍천군, 정선군 등 강원도 산간의 군 단위 지역에서 그 피해가 크게 발생하였다. 가장 큰 피해가 집중된 지역은 강원도 평창군으로 30년 동안 8조 원 이상의 피해가 발생했다.

Figure 3b는 호우로 인한 재해 발생 사례 당 평균 피해액의 지역 분포이다. 호우 총 피해액과 유사한 패턴으로 분석되었다. 부산광역시 중구가 가장 적은 피해액인 사례 당 1,700만 원 규모의 피해액이 발생하였고 부산과 서울을 비롯한 수도권 대도시 지역에서 비교적 사례 당 평균 피해액이 적게 발생하였다. 사례 당 평균 피해액이 가장 많은 지역은 강원 산간에 집중되어 있고, 경상남도 김해시에서 가장 큰 피해액이 발생했다.

Figure 3c는 호우로 인한 재해 발생 빈도의 지역 분포이다. 평균적으로 지역마다 30여회의 호우 재

해가 발생하여 1년에 1회 정도의 호우 재해가 발생했다. 재해가 가장 적게 발생한 지역인 부산광역시 중구, 서울특별시 금천구, 동대문구 등은 약 10회 안팎의 재해가 발생하였다. 그러나 전라남도 신안군, 장성군, 영광군, 나주시 등 호남 대부분 지방에서는 매우 높은 빈도의 호우 재해가 발생했다.

2) 호우 재해 발생 기간 동안의 강수특성

기상재해의 원인은 1차적으로 기상현상의 발생에 기인하기 때문에 재해 특성 혹은 취약성을 분석하기 위해서는 재해에 영향을 미치는 기상 패턴 및 규모를 분석하는 것은 중요하다.

(1) 재해 기간 동안의 강수량

Figure 4a는 1982년부터 2015년까지의 호우 재해 발생기간 지역별로 관측된 총 강수량이다. 재해 기간 전국 평균적으로 6,000mm의 강수량이 관측되었다. 16,000mm에 근접한 인천광역시에서

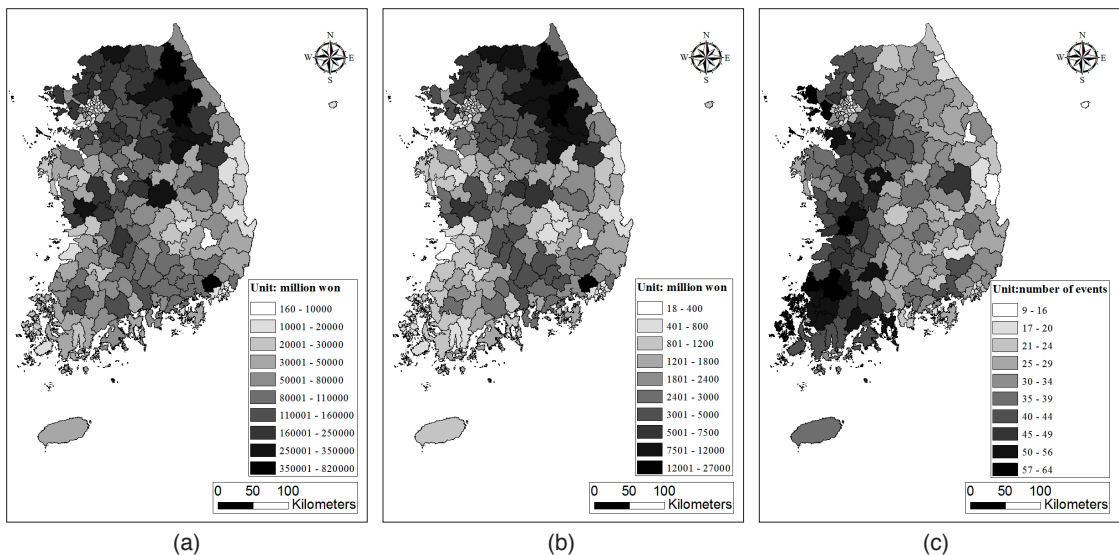


Figure 3. Total damage accidents during 1982 ~ 2015 (a), average damage per case (b), frequency of total disasters (c).

최대강수량이 관측되었으며, 경기도 화성시, 양평군, 포천 시에서 13,000mm 이상의 총 강수량이 관측되었다. 그러나 경상북도 울릉군, 영덕군, 부산광역시 중구에서 3,000mm 이하의 비교적 적은 양의 총 강수량이 관측되었다.

Figure 4b는 연구기간 동안의 호우로 인한 재해의 사례 당 평균 강수량이다. 지역별 호우 재해를 유발하는 정량적인 강수량의 규모로 해석할 수 있어 상대적으로 중요할 것으로 예상된다. 전국의 호우 재해 사례 당 평균 강수량은 222mm로 분석됐다. 즉, 호우 재해 기간 동안 222mm 이상의 강우 사상이 발생 시 호우로 인한 재해발생이 가능하다고 추측할 수 있다. 사례 당 평균 강수량이 높게 분석된 지역은 서울특별시 금천구, 구로구, 노원구로 400mm 이상의 강수량이 분석되었다. 더불어 서울특별시를 포함한 수도권에서 재해 사례 당 강수량이 높게 분석되어 비교적 재해 유발 측면에서 안전하다는 해석이 가능하다. 반대로 전라남도 신안군, 무안군, 목포시, 진도군 등은 사례 당 평균 강수량이 140mm 이하로 분석되어 사례 당 강

수량 측면에서 비교적 취약한 것으로 분석되었다. 특히, 호남 서해안 지역을 중심으로 대부분의 호남지역에서 비교적 적은 사례 당 평균 강수량으로 분석되었다.

Figure 4c는 연구기간 동안의 호우 재해사례의 평균 시간 강수량이다. 재해 발생 시의 평균 시간 강수량은 재해 기간 동안 강우가 관측이 된 시간 강수량을 실 관측 시간으로 평균하여 산출하였다. 재해 사례의 강우 강도를 간접적인 분석이 가능할 것으로 판단하고, 전국적인 분포를 분석했다. 재해 사례 시 전국 평균 5.5mm의 시간강수량이 관측 되었다. 부산과 서울을 비롯한 대도시 지역에서는 재해 발생 시 시간 강수량이 부산광역시 중구에서 최대 9mm 이상 관측됐고, 서울특별시 중구, 강남구, 동대문구에서 8.5mm 이상으로 관측됐다. 반대로 경상북도 울릉군, 영양군 등의 지역에서는 3.5mm 이하의 시간 강수량이 관측되었고, 특히 경상북도 대부분의 지역이 강수 강도 개념에서의 취약성이 높은 것으로 해석된다.

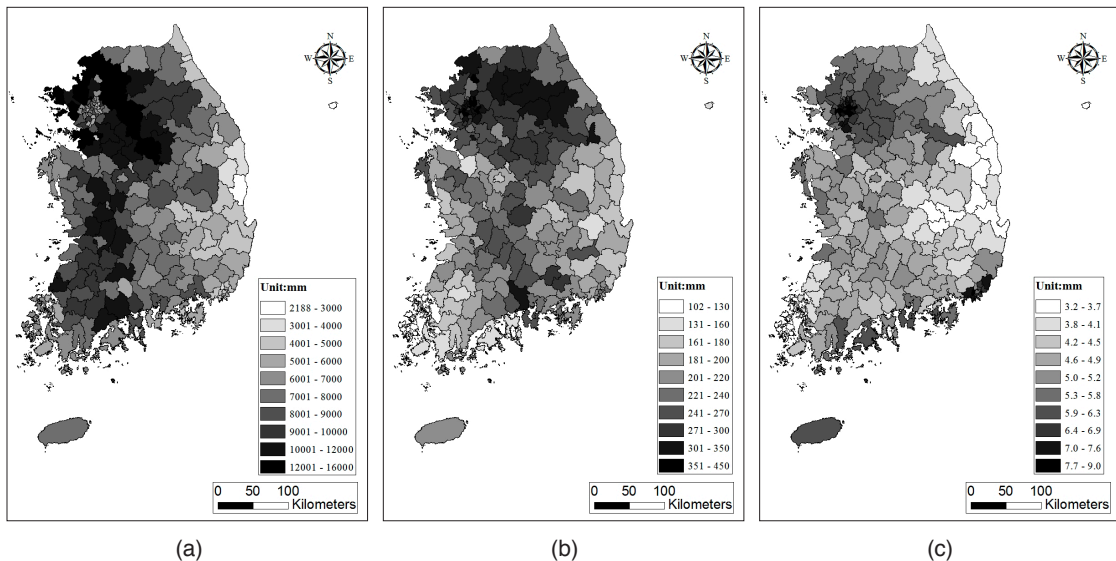


Figure 4. Total heavy rainfall during 1982 to 2015 (a), average rainfall per case (b), average hour rainfall (c).

(2) 재해 규모별 강수량

재해 연보에서 호우 재해의 피해액은 사례에 따라 100만 원 이하의 재해부터 1000억 원 이상의 재해 규모 피해까지 피해 규모가 광범위하다. 이러한 차이는 재해의 빈도와 피해규모가 지역에 미치는 영향을 분석하였을 때, 동일한 영향으로 사례를 구분하기에는 한계가 있다고 판단되어 재해 사례 당 총 피해액의 규모를 1억 원 미만, 1억 원 이상 100억 원 미만, 100억 원 이상의 세 단계로 구분한 강수 패턴 분석으로 한계를 극복하고자 했다.

Figure 5는 호우로 인한 재해의 피해 규모별 평균 강수량 패턴을 나타낸 그림들이다. Figure 5a는 호우로 인한 1억 원 미만의 사례의 평균적인 강수량 분포이다. 전국적으로 177mm의 규모의 강수량에서 재해가 발생했다. 서울특별시 금천구, 노원구, 경기도 성남시, 동두천 시에서 300mm 이상으로 분석되어 비교적 많은 양의 강수량에 피해가 발생하는 것으로 해석된다. 그러나 경상북도

영덕군, 전라남도 신안군, 충청남도 아산시 등은 100mm 이하로 분석되어 비교적 적은 양의 강수량에서도 재해가 발생하는 것으로 조사됐다.

Figure 5b는 호우로 인한 재해의 재산 피해가 1억 원에서 100억 원 사이의 사례의 지역별 사례 당 평균 강수량을 나타낸 그림이다. 전국 평균적으로 292mm로 분석됐다. 서울특별시 종로구, 중구, 마포구 등 서울특별시의 대부분의 지역에서 500mm 이상의 사례 당 평균 강수량이 분석되었다. 반대로 전라남도 무안군, 신안군, 진도군, 목포시 등 전라남도 서해안에 접해있는 지역은 1억 원 미만의 전국 평균에도 못미치는 사례 당 170mm 이하의 평균 강수량이 분석됐다.

Figure 5c는 호우 재해로 인한 재산피해가 100억 원 이상 발생한 사례의 사례 당 평균 강수량을 나타낸 그림이다. 그림에서 투명하게 표현된 지역은 100억 원 이상의 재해 사례가 1회도 없었던 지역이다. 다수의 지역에서 100억 원 이상의 재해가 발생하지 않았으며, 이미 발생지역을 제외하면 평균

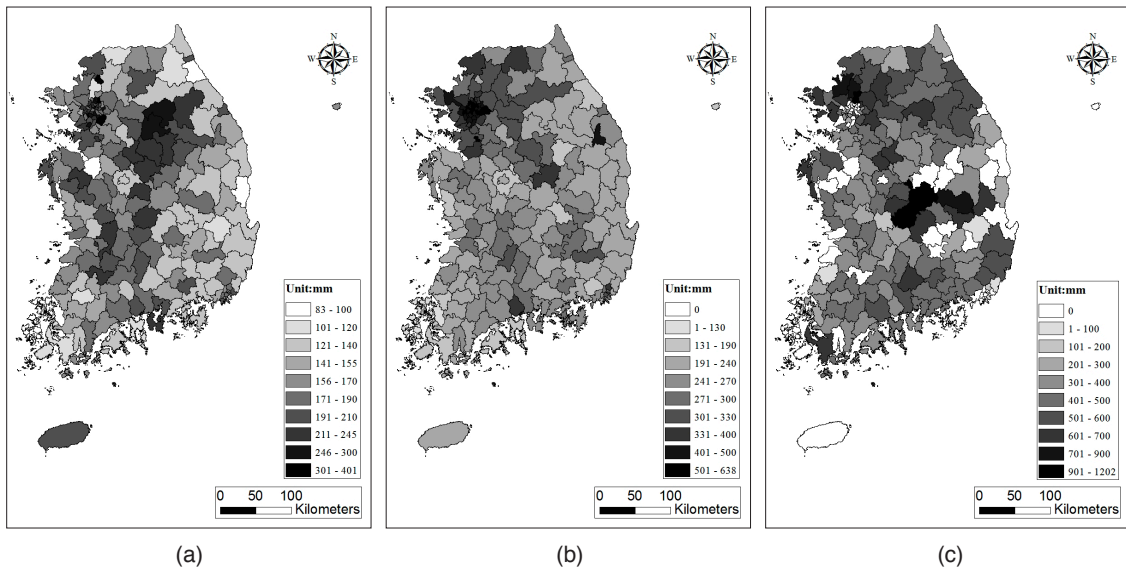


Figure 5. Average rainfall of less than 100 million won (a), average rainfall of 100 million won or more and less than 10 billion won (b), average rainfall of 10 billion won or more (c).

적으로 460mm의 사례 당 평균 강수량이 분석되었다. 서울특별시 강북구, 경기도 의정부시 등 서울특별시의 북부지방과 인접한 지역에서 많은 강수량이 관측된 지역으로 조사됐다. 반대로 가장 적은 사례 당 평균 강수량이 관측된 지역은 경상북도 영천시이다. 영천시는 100억 이상 재산 피해를 2회 발생하였고, 평균 40mm의 강우량에 재해가 발생하여 영천시가 적은 호우에 많은 피해가 발생한 것으로 분석할 수도 있으나, 선행 강수 조건이 고려되지 않았다는 점에서 결과의 해석에 유의해야 한다.

3) 단위 강수량 당 피해규모

서론을 비롯하여 여러 부분에서 호우 재해와 관련된 여러 요인들이 복합적으로 작용하여 호우 재해의 규모가 결정 된다고 설명하였다. 그러나 재해 취약성에 영향을 미치는 수많은 영향 요인을 선별하고 선별된 영향 요인의 영향력을 분석하는 것은 실제 불가능에 가깝다. 이러한 한계를 극복하기 위해 재해 피해 규모를 결정하는 요인을 기상규모와 재해취약성으로 단순화 하여 가정하고 이를 양변에 동일한 변수인 기상규모로 나누어 주면 재해취약성은 재해기간동안의 강수규모 당 피해 규모로 가정 할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{기상규모} \times \text{재해취약성} &= \text{재해피해규모} \\ \text{재해취약성} &= \text{재해피해규모} / \text{기상규모} \end{aligned} \quad (1)$$

즉, 재해 기간 동안의 기상강도의 개념을 적용하고자 본 연구에서는 재해 피해 규모를 재해 기간 동안 관측된 강수량으로 나누어 단위 강수 당 피해 규모의 개념을 적용하여 지역의 재해 취약성 비교하여 분석하였다.

또한, 호우 재해는 일반적으로 일정 규모 이상의 강수량이 발생하였을 때 재해를 예상할 수 있다.

현행 기상청의 호우 특보 또한 6시간 동안 누적 강수량이 70mm 이상 발생이 예상 될 때 호우주의보를 발표하고, 110mm 이상일 때 경보를 발표한다. 호우 재해 취약성을 분석하기 위해서는 위험 기준 강수량을 설정하고 위험 기준 강수량 이상의 강수량을 대상으로 분석할 필요가 있다고 판단되어, 전체 재해 사례 중 현행 호우 주의보 기준인 6시간 이동 누적 강수량이 70mm 이상인 사례를 선정하여, 70mm 이상의 강수량을 대상으로 기준 강수량 당 피해액을 분석하여 위험 기준 강수량이 적용된 재해 취약성을 분석하였다.

Figure 6은 강수량 1mm당 지역별 재해 피해액 규모의 분포와 위험 기준 강수량 이상의 강수량을 대상으로 한 1mm당 지역별 재해 피해액 규모의 분포이다. Figure 6a는 재해 기간 발생한 모든 강수량을 기준으로 기상 규모를 적용하여 단위 강수 당 피해액을 분석한 지도이다. 우리나라의 호우 재해 발생 시 평균적으로 1mm의 강우량 당 8백80만 원의 피해가 발생한다고 분석됐다. 경상북도 영천시, 봉화군 강원도 인제군, 화천군 등의 지역에서는 재해발생 시 1mm당 4천만 원 이상의 피해규모가 분석되었고 특히, 영천에서는 1mm당 약 6천만 원의 피해규모로 분석되어 재해취약성이 상대적으로 높은 것으로 판단된다. 그러나 부산광역시 중구, 동구, 서울특별시 중구, 은평구, 종로구를 비롯한 수도권과 부산광역시 등 대도시 지역은 강수량 당 피해액이 1mm당 300만 원 이하로 적은 피해 규모로 분석되어 상대적으로 호우 재해에 대해 안전하다고 해석된다.

Figure 6b는 현행 호우주의보 기준의 위험 기준 강수량인 70mm 이상의 강우량을 대상으로 단위 강수 당 피해액을 분석한 지도로 1mm당 4천1백만 원의 지역별 평균 재해 피해액이 분석됐다. 상대적으로 위험 기준 강수량 이상의 분석은 분석에 적용되는 절대적인 강수량이 적어 상대적으로 피해

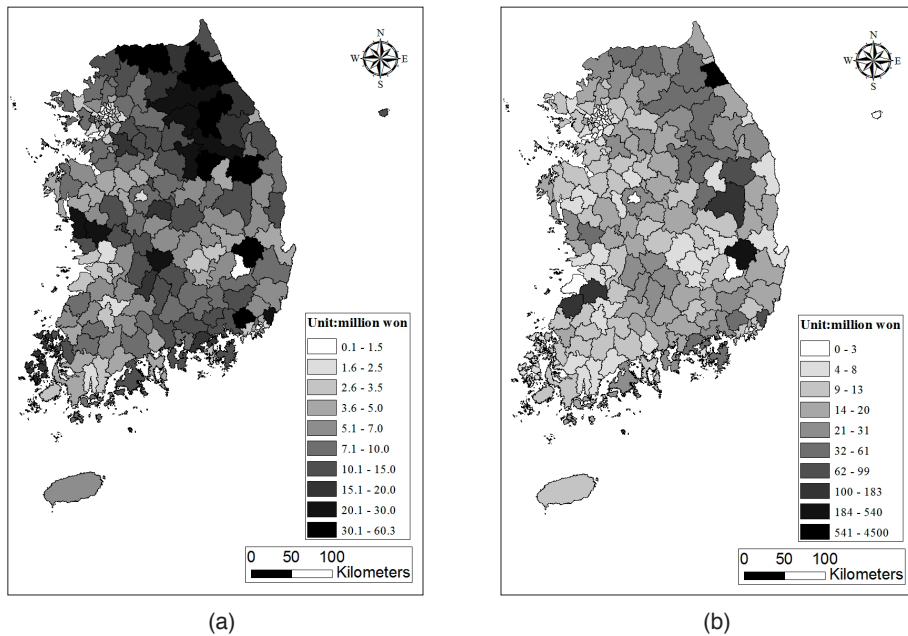


Figure 6. Distribution of damage per 1 mm precipitation (a), Distribution of damage per 1 mm of precipitation over 70 mm (b).

액이 크게 분석되는 것으로 판단된다. 위험 기준 강수량을 미세하게 초과하는 몇몇의 극단적인 사례로 인해 1mm당 4천억 원을 상회하는 피해가 발생하는 지역이 분석되는 등의 과대 분석의 위험이 존재했다. 호우 재해의 경우에는 절대적인 강수량 뿐만 아니라 매우 짧은 시간에 좁은 지역에 강하게 내리는 집중 호우 또한 호우 재해 유발 가능성이 높아 위험 기준 강수량에 미치지 못하는 강수량을 제외하는 분석 방법은 한계가 있다고 판단된다.

재해 취약성의 경향성을 분석하기 위해 재해 기간을 10년 단위로 구분하고, 재해 기간 동안 내린 전체 강수량을 기준으로 단위 강수 당 피해액을 분석해 Figure 7에 나열하였다. 단위 강수 당 취약성 변화는 전국적으로 1980년대에 비해서 2000년대에 피해액이 1,500만 원 이상 증가했다. 기후 변화로 인해 증가하는 강수량보다 재해 피해 규모는 더 크게 증가하여 호우 재해에 대한 취약성은 전국적으로 부정적인 경향으로 변화된 것으로 분석됐다.

Figure 7a는 1980년대의 단위 강수 당 피해액으로 전국적으로 평균 1mm당 860만 원의 피해액이 발생했다. 경상북도 울릉군, 부산광역시 중구와 동구에서 1mm당 피해액이 10만 원 이하로 분석됐다. 주로 수도권과 부산광역시와 경상남도의 대도시에서 단위 강수 당 피해액이 적게 분석되어 비교적 호우 재해에 안전했던 지역으로 분석되었다. 반대로 경상북도 영천시, 봉화군, 충청북도 단양군, 제천시, 강원도 영월군의 지역에서는 단위 강수 당 피해액이 3,000만 원 이상의 지역으로 분석됐다. 적은 강수량에도 많은 피해가 발생하여 호우 재해에 취약했던 지역으로 분석되었다.

Figure 7b는 1990년대 단위 강수 당 피해액으로 전국 평균 1mm당 1,000만 원의 피해액이 발생하여 1980년대에 비해 재해취약성이 증가한 것으로 분석됐다. 부산광역시와 서울특별시의 지역에서 단위 강수 당 피해액이 30만 원 이하의 수준으로 분석되어 비교적 호우 재해에 안전하였으며, 특히

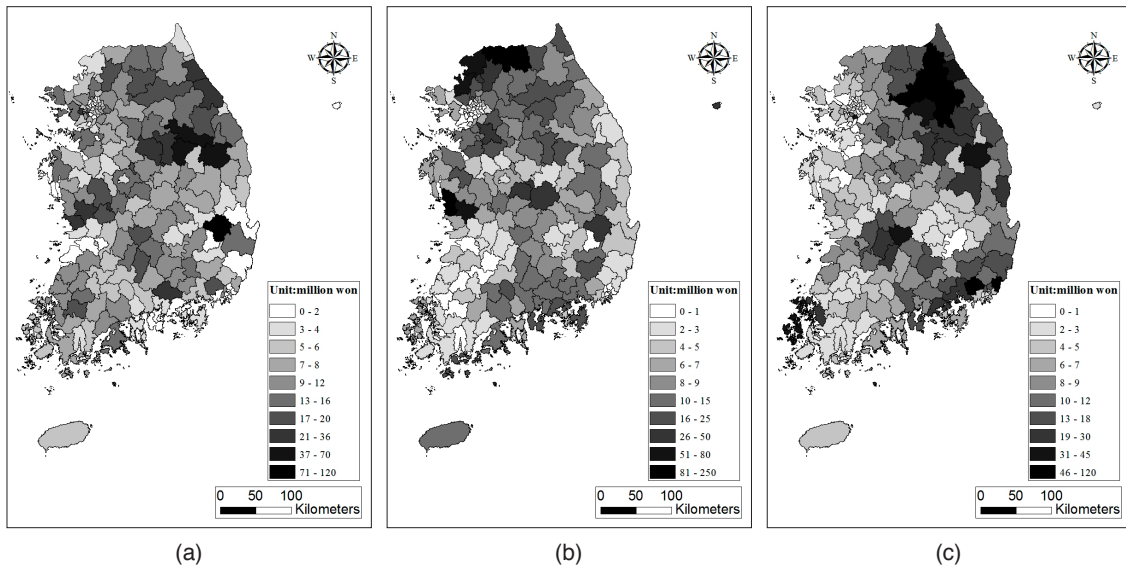


Figure 7. Damage per unit precipitation in the 1980s (a), damage per unit precipitation in the 1990s (b), damage per unit precipitation in the 2000s (c).

부산광역시 중구와 북구는 꾸준히 안전한 정도를 유지하였다. 1990년대 단위 강수 당 피해액이 높았던 지역은 강원도 철원군, 화천군, 경기도 연천군, 파주시, 충청남도 보령시, 부여군 등으로 단위 강수 당 5,000만 원 이상으로 분석되어 1990년대 가장 호우 재해에 대한 취약성이 가장 높았던 지역으로 판단된다. 그러나 취약성 지역이 서로 인접하여 공간적으로 군집한 경향을 보여 대규모 재해가 분석에 미치는 영향이 큰 것으로 해석된다.

Figure 7c는 2000년대 단위 강수 당 피해액이다. 2000년대와 2010년대로 구분하여 분석을 수행하였을 때, 재해 미 발생 지역이 많이 분석되어 분석의 효율을 위해 2001년부터 2015년 까지 15년 동안의 기간을 대상으로 분석하였다. 전국적인 평균은 1mm당 890만 원으로 1990년대에 비해 다소 감소하여, 1980년대와 비슷한 규모로 분석됐다. 부산광역시와 수도권 및 전라남도 목포시, 충청남도 예산군 등의 지역에서 단위 강수 당 피해액이 적게 분석되었다. 특히 부산광역시 중구는 일관적으로

단위 강수 당 피해액이 적게 분석되어 호우 재해에 대해 비교적 안전한 지역으로 해석할 수 있다. 강원도 인제군, 평창군, 홍천군, 횡성군, 부산광역시 기장군, 경상남도 김해시 등이 2000년대 단위 강수 당 피해액이 많게 분석된 지역이다. 이 지역들은 2000년대 대규모 호우 재해가 발생한 지역으로 2006년도 강원 산간지방의 수해와 2002년도의 김해의 홍수 재해, 2015년 부산광역시의 호우 재해의 영향이 크게 미친것으로 판단된다.

4. 요약 및 결론

호우 재해는 기상 현상으로 발생하는 재해 중에서 가장 많은 피해 규모를 유발하며, 국민의 재산과 생명을 위협하고 있다. 호우 재해를 분석하기 위해 많은 선행연구에서 지역의 재해 피해 특성이나 규모 등을 이용하여 재해 취약성을 분석하거나 재해의 영향을 미치는 영향요인을 선정하고 그 영

향력을 분석하는 등의 연구가 활발하게 진행되었다. 그러나 재해 기간 동안의 강수 패턴에 대해서는 분석된 연구가 적고 한계가 있어, 호우 재해 발생 및 피해 규모를 결정하는 영향력을 고려하기 위해 본 연구를 진행하게 되었다.

재해연보의 호우 재해기간의 지역별 강수 특성과 피해 특성을 조사하여, 재해 피해 규모를 구분하여 규모 별 평균적인 재해 유발 강수량을 분석하였다. 또한 단위 강수 당 피해액을 재해 취약성으로 가정하고 지역의 재해 취약성을 분석하고 시계열 분석을 통해 재해 취약성의 경향성을 분석할 수 있었다.

재해 피해 규모 분석에서 서울특별시의 경우 재해에 대해 비교적 안전한 지역으로 분석됐다. 그러나 몇몇의 선행연구에서 동일한 서울특별시가 호우 재해에 취약하거나 많은 피해가 발생한 지역으로 분석됐다(Heo *et al.*, 2014; Jeong and Heo, 2014). 본 연구와 선행연구의 연구 결과의 차이는 서울특별시의 재해 취약성을 분석하기 위한 공간 단위의 스케일 차이에 원인이 있다. 즉, 서울특별시를 하나의 단위로 분석한 선행연구와 구 단위로 나누어 분석한 본 연구와의 공간 스케일의 차이로 인해 분석 결과가 달라지는 MAUP(Modifiable Aerial Unit Problem)을 유발하였고, 이로 인해 재해 취약성의 차이가 나타난 것으로 판단된다.

재해 발생 기간 동안의 총 강수량은 수도권과 부산지역에서 높게 분석 되었으며, 재해 발생 사례 당 평균 강수량이 높게 분석되어 비교적 호우 재해에 대한 안정도가 높은 지역은 서울특별시 금천구, 구로구, 노원구, 중랑구 등 수도권의 지역으로 분석됐다. 반대로 전라남도 신안군, 무안군, 목포시, 진도군 등의 호남 대부분의 지역은 매우 적은양의 강수에도 호우 재해가 발생하고 있는 것으로 분석됐다. 그러나 재해 규모와 빈도를 모두 고려해 보면 호남 지역은 적은 량의 강수에도 재해가

발생하지만 그 피해의 규모가 비교적 작다. 그러나 강원 산간의 한강 수계 지역은 재해 발생 빈도는 호남 지방에 비해 적지만 100억 원 이상의 재해의 발생빈도가 비교적 많다. 재해의 취약성이 빈도와 규모에 따라 서로 상이하게 분석됐다.

단위 강수 당 피해 규모의 분석에서는 부산광역시와 수도권 지역이 단위 강수 당 피해액이 낮게 분석되어 재해에 비교적 안전한 지역으로 분석됐다. 또한, 분석 기간 동안 단위 강수 당 피해규모의 변화는 전국적으로 1980년대에 비해서 2000년대에 약 40만 원 상승하여 비교적 많은 변화가 없어 보이지만 이를 좀더 나누어 분석하면 1990년대에 단위 강수 당 피해액이 1,000만 원 이상 분석되었다가 다시 2000년대 들어 감소한 것이다. 이러한 재해 취약성의 변화의 주원인은 대규모의 피해를 야기한 소수의 재해 사례가 큰 영향을 미친 것으로 해석된다.

우리나라의 호우 재해에 대한 지역별 재해 취약성을 비교적 다양한 각도에서 분석했다. 그러나 호우 재해의 피해를 결정하는 여러 요인들은 계속 변화하고, 재해 취약성에 많은 영향을 줄 수 있는 인위적인 요인들은 더욱 빠르게 변화하고 있다. 이러한 현실에서 위험성과 노출성으로 대변되는 재해 위험 요인의 영향력을 계측하는 것은 매우 어렵다.

본 연구에서는 재해 위험 요인의 영향력을 단위 강수 당 피해액의 개념을 통해 비교적 지역별 재해 취약성을 쉽게 산출할 수 있는 방법을 제시하였다. 본 연구 결과를 기반으로 지방자치단체의 방재 및 피해 예측의 기초 자료로서의 효과적인 활용이 가능할 것으로 기대된다. 그러나 본 연구에서 적용한 강수량 당 피해액의 경우 피해 종류가 구분되지 않아 세밀한 재해 피해 종류의 구분을 통해 보다 자세한 피해 종류별 재해 취약성을 분석이 필요한 점과 2006년 강원 산간 사례, 2002년 경남

김해 사례와 같이 한 사례의 재산 피해 범위와 강수량의 물리적인 범위의 차이가 있어, 한 사례가 전체적인 재해 취약성에 많은 영향을 주는 사례가 발생되는 한계가 있다.

향후, 보다 발전적인 접근을 위해서는 재해의 피해 종류와 특징을 구분하고, 강우량과 피해액을 대상으로 유효 범위를 설정하여 분석할 필요가 있다. 또한, 동일한 방법론을 적용하여 호우 재해뿐만 아니라 대설 재해에 대한 연구도 필요할 것으로 생각된다.

사사

본 연구는 국립기상과학원 주요사업 ‘기상업무지원기술개발연구(사업관리번호: NIMS-2016-3100)’의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- Chun, J. H. and Lee, S. H., 2016, Changes in the Disaster Area by Heavy Snowfall in Korea, *Journal of climate research*, 11(2), 105-119 (in Korean).
- Choi, C. I., 2003, A Study on Natural Hazards Vulnerability in Urban Area by Urban Land Use Change - In case of Kyonggi Province -, *Journal of the Korea Planning Association*, 38(2), 35-48 (in Korean).
- Heo, I. H., Jeong, J. H., and Lee, S. H., 2014, Changes of Disaster Regions by Heavy Rainfall in South Korea, *Journal of climate research*, 9(2), 93-106 (in Korean).
- Hong, S. G., 1999, A study on the threshold values of heavy rain warning in Korea, *Journal of the Korean Meteorological Society*, 35(2), 178-192 (in Korean).
- Jeong, J. H. and Heo, I. H., 2014, An Analysis of the Time Trend of Direct Economic Damages from Natural Disasters and Their Determinants: The Case of Gangwon-do, *Journal of Social Science*, 53(1), 77-99 (in Korean).
- Kim, S. J., Kim, G. T., Jeong, J. H., and Han, S. O., 2013, Flood Inundation Scenario Development and Analysis Using HEC-HMS/RAS and HEC-GeoRAS Models, *Journal of KOSHAM*, 13(4), 199-205 (in Korean).
- Kim, Y. H., Kim, M. K., Lee, W. S., and Baek, E. S., 2009, Return Period of heavy Rainfall and Disaster Damage in Korea, *Journal of climate research*, 4(2), 96-109 (in Korean).
- Koh, J. K., Choi, C. I., and Kim, H. S., 2010, A Study on Adapting to Climate Change in Local Governments - Focusing on Natural Disasters, *Journal of The Korean Regional Development Association*, 22(1), 67-86 (in Korean).
- Lee, S. H. and Lee K. M., 2008, The Distribution of Natural Disaster in Mountainous Region of Gangwon-do, *Journal of the Korean Geographical Society*, 43(6), 843-857 (in Korean).
- Lee, S. H., Kim, E. K., and Heo, I. H., 2011, A Study on Variability of Extreme Precipitation by Basin in South Korea, *Journal of Korean Association of Regional Geographers*, 17(5), 505-520 (in Korean).
- Moon, J. Y., Kwon, Y. A., Choi, Y. E., and Park, I. H., 2014, A Study on the Characteristics of Summer Rainfall over South Korea in Recent 5 years, *Journal of climate research*, 9(4), 269-282 (in Korean).
- NIMR, 2014, *Establishment and Operation of High Impact Weather Research Center* (in Korean).
- WMO, 2015, *WMO Guidelines on Multi-hazard Impact-based Forecast and Warning Services*.

책임편집: 이승호

영문교열: 조창현