한국에서 호우에 의한 재해 지역의 변화

허인혜¹ · 정준호² · 이승호³

¹건국대학교 기후연구소 · ²강원대학교 부동산학과 · ³건국대학교 지리학과
(2014년 5월 30일 접수, 2014년 6월 18일 수정, 2014년 6월 19일 게재 확정)

Changes of Disaster Regions by Heavy Rainfall in South Korea

Inhye Heo¹ · Jun ho Jeong² · Seungho Lee³

¹Climate Research Institute, Konkuk University

²Department of Real Estate, Kangwon National University

³Department of Geography, Konkuk University

(Received 30 May 2014, Revised 18 June 2014, Accepted 19 June 2014)

Abstract : We investigated the spatial distributions and changes by period of disaster areas due to heavy rainfall using the amounts of damages data at all cities and guns (county-level) in South Korea during 1981-2012. The severe damage areas by heavy rainfall were distributed at the upper region of the Han River in the northern South Korea and at the lower regions of the Geum River and the Youngsan River in the western South Korea during the 1980s. The amounts of damage in the western areas were decreased from the 1990s until the 2000s. On the other hand, those in the upper areas of the Han River including the mountainous region in Gangwon province were increased in the 2000s. The most amounts of damages by heavy rains were in July, followed by August, September, and June. The damages by heavy rainfall were distributed over the whole country for the entire summer months in the 1980s. In the 1990s and 2000s, the rainfall damages were concentrated in August and July, respectively. And the September damage by heavy rainfall was little occurred in 1990s and 2000s.

Key Words : heavy rainfall, disaster area, amounts of damage, change by period

주요어 : 호우, 재해 지역, 피해액, 시대별 변화

1. 서론

오늘날의 지구적인 기온상승은 지역적 혹은 지구적인 강수 시스템의 변화에 영향을 미친다. 장기적으로 보면, 남·북 아메리카와 북유럽, 동부 아시아에서는 강수량이 증가하고 있으며 사헬

지대와 지중해, 남아프리카 등에서 감소하는 경향으로 지역별 강수량 변화 특성의 차이가 있다(IPCC, 2007). 그러나 호우는 1950년 이후 강수량이 증가하는 지역뿐만 아니라 총 강수량이 감소하는 지역에서도 지속적으로 증가하고 있다(Klein Tank and Können, 2003; Kunkel *et al.*,

2003; Brunetti *et al.*, 2004; Maheras *et al.*, 2004; Groisman *et al.*, 2005). 아시아 지역에서는 여름철에 호우의 증가 경향이 뚜렷하며, 중국에서 50mm 이상 강수일수의 증가(Zhao *et al.*, 2010)와 인도 데칸고원에서 호우 빈도의 증가 경향이 특징적이다(Shouraseni, 2009).

한반도에서 강수량은 1910년 이후 증가하는 경향이며(Chung *et al.*, 2004; National Institute of Meteorological Research, 2009), 월별 강수 특성의 변화와 더불어 호우 빈도와 강도의 변화가 지역별로 다양하다(Lee and Kwon, 2004; Choi, 2004; Park *et al.*, 2008; Choi and Kwon, 2008; Jo *et al.*, 2011; Lee *et al.*, 2011). 남부와 중부지방을 대상으로 호우 변화의 통계적 유의성을 분석한 Choi(2004)와 지역별 강수패턴의 차이를 고려하여 상대적 극한 지수를 사용한 Choi and Kwon(2008)의 연구는 호우를 대표할 수 있는 다양한 극한 강수 지수를 이용하여 우리나라 호우의 지역별 다양성을 제시하였다. 최근 Lee *et al.*(2011)의 연구에서도 수자원 관리를 고려하여 유역별 호우의 변화 특성을 분석한 결과 한강유역과 낙동강 상류, 동해안에서 다른 유역에 비하여 상대적으로 뚜렷하게 증가하였고, 금강 유역과 섬진강 유역은 변동성이 크다고 하였다. 한강과 낙동강 유역의 호우 빈도는 1970년대 중반 이후 지속적으로 증가한 경향이지만, 2000년대 중반 이후 감소하면서 그 빈도와 강도의 불규칙성이 파악되었다. Kim *et al.*(2013)은 이러한 국지적인 강수의 빈도가 증가하면서 대규모의 홍수 방어 투자가 이루어진 국가하천 보다는 중소하천이나 도시하천에서 단시간에 홍수 범람이 발생하면서 지역별 호우로 인한 피해의 차이가 커질 수 있음을 제시하였다.

IPCC 5차 보고서에 의하면, 기온상승 경향이 강한 북반구의 고위도 지역에서 홍수 증가 경향이

뚜렷하지만, 유럽과 아시아에서 홍수의 빈도와 강도의 뚜렷한 경향이 없다고 하였다(Hannaford and Marsh, 2008; Renard *et al.*, 2008; Petrow and Merz, 2009; Stahl *et al.*, 2010; Jiang *et al.*, 2008; Delgado *et al.*, 2010). 용설수에 의하여 이른 봄에 범람하는 지역을 제외하면 홍수의 변화 경향을 단언하기 어렵다는 의견이다(Seneviratne *et al.*, 2012). 이는 우리나라를 포함하여 전 세계적으로 호우의 증가 경향은 뚜렷하지만 호우로 인해 발생할 수 있는 홍수의 변화 경향은 뚜렷하지 않다는 것을 의미한다.

홍수와 산사태 등을 일으키는 호우는 자연적인 요인과 인위적인 요인이 복합되어 각 지역의 특성과 기반시설의 집중도에 따라서 재해 발생의 빈도와 강도의 차이가 크다. 홍수 피해의 자연적인 원인은 호우로 인한 직접적인 피해, 상류 지역의 집중적인 호우로 인한 하류지역의 범람 피해, 이전에 내린 비로 배수가 잘 이뤄지지 않은 곳이나 토양이 물을 많이 담고 있는 곳에서의 피해 등 다양하다(Hong, 1999). 기온이 1℃ 상승하면 가능 최대강수량은 약 10% 증가하여 대규모 수공구조물의 홍수방어한계를 초과할 수 있으므로(Fowler and Kilsby, 2003a; b) 강수 변동성이 큰 지역의 대규모 수공구조물은 홍수로 인한 재해가 일어날 가능성이 높다(Jang *et al.*, 2012). 따라서 인위적인 홍수 조절 능력에 따라서 호우로 인한 피해가 작은 곳과 큰 곳이 있을 수 있다.

앞서 언급한 바와 같이 우리나라는 유역별로 강수 변동성이 크고 불규칙적이며 국지적으로 집중되는 강수 시스템에 의해 호우 특성이 변하고 있다. 또한 대하천 및 소하천의 수자원 시설 등이 축소되면서 인위적인 요인에 의해서도 호우로 인한 재해 지역의 특성과 피해액의 변화가 야기될 수 있다. 그러나 국내에서 호우로 실제 피해가 발생한 재해 지역에 관한 연구는 드물다. 각 지역별로

호우 특성의 변화와 수자원 관리의 체계가 다양하다는 것을 고려할 때, 지역별 호우로 인한 재해에 대비하고 피해를 감소시키기 위해서는 우리나라의 호우로 인한 재해 지역의 특성과 변화에 대한 이해가 요구된다.

따라서 본 연구에서는 호우를 중심으로 강수에 의한 재해 지역의 변화 특성을 파악하기 위하여 유형의 피해 중 정량화 연구에 가장 많이 이용하고 있는 피해액의 변화를 월별로 분석하여 시공간적으로 비교하였다.

2. 연구 자료 및 방법

호우로 인한 재해는 농작물, 토지, 공공시설물, 교통통신, 가구 피해 등 피해물량에 대해 금전적으로 표시할 수 있는 유형의 직접적인 피해와 인명피해, 교통통신 마비로 인한 사회활동 장애, 질병 발생 등 무형의 있다(Shim, 1972). 홍수 피해는 피해가 단기간에 발생하며 짧은 시간 내에 복구가 이루어지므로 인명 피해를 포함하여 무형의 피해액을 산정하기 어렵다. 본 연구에서는 유형의 직접적인 피해의 내용을 분석하고자 하였다.

본 연구에서 이용한 자료는 소방방재청 중앙재난안전대책본부에서 제공한 재해연보의 피해액이다. 분석 기간은 시·군 자료가 분류된 1981~2012년까지이고 분석 지점은 2012년을 기준으로 시·군 단위의 우리나라 전 지역¹⁾을 포함한다.

피해액 자료는 6월부터 9월까지의 호우로 인한 재해 사례만을 선정하여 한국은행의 2010년 물가 환산지수를 이용하여 가공하였다. 태풍 자료는 강수로 인한 피해뿐만 아니라 바람에 의한 피해를 포함하고 있으므로 본 연구에서는 제외하였다. 호우 사례의 피해 자료는 매년 호우가 발생한 시기를 월별로 분류하여 사례기간의 시·군별 피

해액과 피해 사항을 월별로 입력하였다. 피해 발생 시 강수 특성을 이해하기 위하여 사례 기간 동안의 강수량과 강수강도를 분석하였다.

피해액의 공간적 분포를 파악하기 위하여 Arc GIS를 이용하여 시·군별 피해액을 분석하였다. 피해액의 시계열적 변화를 파악하기 위하여 1980년대(1981~1990년), 1990년대(1991~2000년), 2000년대(2001~2012년)로 구분하여 시대별 피해액의 변화를 비교 분석하였다.

우리나라 여름철 강수는 월별 강수 시스템이 다르므로 월별 호우로 인한 피해액의 특성도 다를 수 있다. 월별 피해액의 변화를 파악하기 위하여 시대별로 월별 평균 피해액과 피해의 월별 집중도(%)를 파악하였다. 월별 평균 피해액은 피해가 큰 지역과 피해가 작은 지역의 분포와 그 변화를 파악하는 것이다. 호우로 인한 피해는 지역에 따라 규모의 차이가 크다. 피해가 잦아 피해액이 많은 지역의 피해 특성의 변화도 중요하지만 상대적으로 피해액의 값은 적으나 피해 빈도가 잦거나 불규칙하여 수자원 관리가 불안정한 피해 사례 지역의 연구도 필요하다. 월별 집중도는 시·군별 6월부터 9월까지의 전체 피해액 중에서 각 월이 차지하는 피해액의 비율을 나타내는 것으로 피해액이 많은 지역과 적은 지역 상관없이 상대적 개념으로 접근하는 방법이다. 각 시·군의 호우로 인한 재해가 발생했을 때 어떤 달에 피해가 가장 많았고 시대별로 지역별 피해의 변화 경향을 파악할 수 있다.

3. 호우에 의한 재해의 피해액 변화

1) 연평균 피해액의 변화

재해 발생 시 피해액은 재해 특성을 정량적으로 분석할 수 있는 대표적인 지표이다. Figure 1은 우

Figure 1. Fluctuation in the annual amounts of damages due to heavy rainfall in South Korea during 1981-2012.

리나라의 1981년부터 2012년까지의 호우에 의한 피해액을 나타낸 것이다. 피해액의 규모가 매년 변동하지만 2000년대 중반까지 매 10년대 극한 값이 점차 증가하였다. 1980년대에 가장 피해가 컸던 1987년의 총 피해액은 약 93억 원이었으며, 1990년대에 피해가 가장 컸던 1998년의 총 피해액은 약 108억 원, 2000년대의 피해가 가장 컸던 2006년의 총 피해액은 약 126억 원으로 지속적으로 증가하였다. 그러나 시대별 평균 피해액은 1980년대(약 35억 원)가 가장 높고 2000년대(30억 원), 1990년대(23억 원)순이다. 이는 50억 원 이상의 피해가 1980년대 30% 발생한 것에 비하여, 1990년대와 2000년대에는 각각 10%, 16.7% 발생하였기 때문이다. 또한 1990년대에는 전반기를 중심으로 피해액 10억 미만의 재해가 발생한 해가 50%에 이르러 평균 피해액이 감소하였다.

Figure 2는 지역별 호우에 의한 피해액의 분포를 나타낸 것으로 피해액의 규모가 지역별로 다르다는 것을 보여준다. 우리나라에서 1981년에서 2012년까지 호우로 인한 재해의 연평균 피해액 분포를 보면, 100억 이상인 곳은 평창(약 235

억 원)과 인제(약 202억 원), 서울(113억 원), 김해(113억 원) 등으로 대부분 한강 상류에 속한다.

50억 원 이상의 피해액이 발생한 지역도 단양, 철원, 홍천, 정선, 영월, 제천, 횡성 등으로 대부분 한강 유역에서 피해 규모가 크다. 동해안의 영덕, 속초, 동해, 울진, 포항 등의 지역과 대구, 경산, 구미, 칠곡, 성주 등의 낙동강 유역에서는 호우로 인한 재해 피해액이 10억 원 미만으로 그 규모가 상대적으로 작다.

Figure 3은 호우에 의한 연평균 피해액의 분포를 시대별로 나타낸 것이다. 1980년대에는 단양, 영월, 정선 등 한강 상류와 서울 등 한강 하류 지역에서 100억 원 이상의 피해액이 발생하였다. 또한 금강유역인 부여, 서천, 논산, 공주와 영산강 유역인 나주, 광주 등의 지역에서도 피해 규모가 비교적 컸다. 1990년대에는 1980년대에 비하여 전국적으로 호우에 의한 피해액의 규모가 감소하였다. 다만, 철원, 파주, 양주, 연천 등 임진강 유역에서 100억 원 이상의 피해가 발생하였다.

2000년대에는 100억 원 이상의 피해가 큰 지역이 한강 상류(평창, 인제, 홍천, 정선, 횡성 등)에

Figure 2. Spatial distribution of annually averaged damage due to heavy rainfall during 1981-2012.

집중되었다. 평창과 인제의 경우 1990년대에 비하여 각각 24배, 22배 씩 증가하였다. 서울과 김해도 이 시기에 피해 규모가 크다.²⁾ 김해의 2002년의 호우로 인한 피해액은 다른 지역에 비해 피해 규모가 커서 한 해의 피해액만으로도 김해 지역이 분석기간인 1981~2012년 동안 피해액 규모가 가장 큰 지역으로 분류되는데 영향을 미쳤다 (Figure 2 참조). 이는 특정 해의 피해가 상대적으로 과도하게 발생할 경우 한 해의 피해액의 규모가 전 분석 기간에 미치는 영향이 크다는 것을 보여준다. 또한 연평균 피해액이 100억 원 이상인 지역의 경우 1980년대에는 한강 상류 외에도 한강 하류, 금강, 영산강 유역의 우리나라 서부 지역에서도 분포하였던 것이 2000년대에는 평창, 인제, 홍천, 정선, 횡성 등의 한강 상류를 중심으로 한 동부 지역으로 이동 분포하였다.

Figure 3. Changes in the amounts of damage due to heavy rainfall by period (a: 1980s, b: 1990s, c: 2000s).

2) 월별 피해액의 변화

우리나라의 여름철 강수 시스템은 기압배치와 지리적인 특성 등에 의해서 월별 다양한 강수 현상이 발생하므로(Lee, 1995) 여름철에 집중되는 호우 또한 월별로 다른 특징이 나타날 수 있다. 분석기간 동안 호우로 인한 재해 피해액은 7월이 14억 4천만 원(43.4%)으로 가장 많고 8월이 9억 6천만 원(37.3%), 9월이 3억 6천만 원(12.5%), 6월이 1억 4천만 원(6.8%) 순이다(Table 1).

6월의 피해액의 변화는 크지는 않지만 연평균 피해액과 같이 1980년대, 2000년대, 1990년대 순으로 피해액이 감소하였다. 반면에 다른 달에 비하여 피해 규모가 큰 7월은 2000년대에 피해규모가 가장 크고, 1980년대, 1990년대 순이다. 8월은 1990년대 호우로 인한 피해액이 가장 크고, 2000년대, 1980년대 순이다. 9월에 발생한 피해액은 1980년대 피해액에 비하여 1990년대 이후 급격하게 감소하였다. 1990년대와 2000년대의 9월 피해액은 1980년대의 9월 피해액에 비하여 각각 95.3%, 95.4% 감소하였다.

월별 피해액이 시대별로 증가하거나 감소하는 등 다양한 특성을 보이는 것은 6월에서 9월까지의 전체 피해액 중 피해가 집중되는 달이 서로 다를 수 있음을 의미한다. Table 1에서 볼 수 있듯 1980년대는 호우로 인한 재해 피해액이 7월(46.8%)에 집중되었고 9월에도 30%로 비교적 높

은 비율이다. 1990년대는 1980년대와 달리 호우로 인한 피해액이 8월에 56.0%로 집중되었고 7월에 36.9%로 7월과 8월에 총 피해의 92.9% 집중되었다. 1990년대 이후 우리나라의 강수 패턴이 바뀌면서 7월과 8월의 강수량이 증가하였다는 Lee and Kwon(2004)의 연구 결과와 맥을 같이 한다. 2000년대 또한 1990년대와 같이 7월과 8월의 피해액이 총 피해의 93.7%로 집중되었으나 1990년대와 달리 7월에 61.7%의 피해액이 집중되었다.

Figure 4는 월별로 호우에 의한 피해액 분포를 나타낸 것으로 월별 피해액 분포도 지역별로 차이가 크다는 것이 확인된다. 6월의 경우, 단양(23억 원)과 제천(20억 원)에서 10억 원 이상의 피해가 발생하였지만, 분석 대상 63.4% 시·군에서 피해액 규모가 1억 원 미만이었다(자료 미제시). 7월의 호우로 인한 피해액은 전년의 호우로 인한 피해액 중 가장 많은 비중을 차지하고 있어서 김해를 포함한 낙동강 일부 유역을 제외하고 연평균 피해액 분포와 유사하다. 한강 상류지역인 평창(190억 원)과 인제(178억 원)에서도 7월 호우로 인한 피해가 100억 원 이상이었고, 그 외에 홍천, 정선, 철원, 연천, 서울 등의 한강 유역과 금강유역의 부여가 50억 이상의 피해를 입었다. 분석 지역의 약 40.5%의 시·군에서 10억 원 이상의 피해가 발생하였고, 단지 6.1% 지역에서 1억 원 미만의 피해가 발생하였다(Figure 4a).

Table 1. Monthly average of the amounts of damage by heavy rainfall and monthly concentration ratio of the damage by period.

	1980s		1990s		2000s		1981~2012	
	damage (1000 won)	ratio (%)	damage (1000 won)	ratio (%)	damage (1000 won)	ratio (%)	damage (1000 won)	ratio (%)
June	175,913	5.1	113,604	5.0	139,915	4.7	142,942	6.8
July	1,625,146	46.8	845,523	36.9	1,842,617	61.7	1,436,066	43.4
August	632,981	18.2	1,282,092	56.0	954,494	32.0	956,396	37.3
September	1,040,818	30.0	48,467	2.1	47,387	1.6	358,172	12.5

Figure 4. Spatial distributions of monthly averaged damages due to heavy rainfall during 1981-2012 (a: July, b: August, c: September).

8월에는 김해(99억 원)와 상주(70억 원), 보은(50억 원)에서만 호우로 인한 재해 피해액이 50억 원 이상을 기록하였고, 7월과 비교하여 10억 원 이상의 피해 시·군이 서울과 인천, 당진을 제외하고 동쪽으로 이동하였다(Figure 4b). 9월에는 호우로 인한 피해액이 50억 원 이상인 시·군은 없으며, 피해액 10억 이상인 지역이 대부분 한강 유역에 집중되었다(Figure 4c).

다음은 월별로 각 년대별 호우에 의한 재해 피해액의 분포 특성을 파악하였다. 6월의 경우, 1980년대에 호우로 인한 피해액이 10억 이상인 시·군은 광주, 나주, 고흥, 해남 등 한반도의 남서부에 집중되었다(Figure 5a). 1985년 6월 22일부터 28일까지의 강수로 남해안을 중심으로 약 400mm 이상의 호우가 출현하면서 큰 피해를 야기하였다. 1990년대와 2000년대는 단양과 제천 등 한강 중류지역에 20억 원 이상의 피해액이 발생하였다(Figure 5b and Figure 5c). 이는 각

각 1994년과 2004년의 6월 하순에 출현한 정체전선이 충청북도 중북부지역에 발달하여 일강수량 200mm 이상의 호우가 출현하면서 6월 피해액이 커졌다.

7월의 호우로 인한 피해액은 동쪽에서 증가하는 경향이다(Figure 5e and Figure 5f). 1980년대 부여, 서천, 공주, 논산, 계룡 등의 중부 지역과 나주, 장성, 광주 등의 남부 지역 등 대체로 소백산지 서쪽 지역에서 100억 원 이상의 많은 피해가 발생하였다(Figure 5d). 1990년대에는 철원, 연천 등 경기 북부와 화천과 양구 등 강원도 북부 지역에 피해가 집중되었고, 2000년대에는 한강 상류인 평창과 인제에서 100억 원 이상의 많은 피해가 발생하였다.

8월도 7월 다음으로 호우에 의한 피해 규모가 큰 달이다. 1980년대에는 제주를 포함한 전라남도과 경상남도의 남해안에서 피해액 10억 원 이상의 호우 피해가 있었고, 1990년대에는 10억 원

Figure 5. Spatial distributions of monthly averaged damages due to heavy rainfall by period (a-c: June, d-f: July, g-i: September; 1981-2012).

이상의 피해 지역이 한강 중하류와 충청북도와 경상북도 일부 등 북쪽으로 이동하였고 고양, 양주, 상주, 보은 등에서는 100억 원 이상의 규모가 큰 피해가 발생하였다. 2000년대에는 호우로 인한 피해액 10억 원 이상인 지역이 한강 상류까지 확대되었고 남해안의 김해에서는 앞에서 언급한 2002년의 재해로 인하여 피해 규모가 컸다(자료 미제시).

9월에는 호우로 인한 피해 규모가 시대별로 감소하는 경향이 뚜렷하였다(Table 1 참조). 1980년대에는 한강 유역에서 비교적 피해 규모가 커서 단양, 영월, 충주, 원주, 정선, 횡성, 홍천 등에서 50억 원 이상의 피해가 발생하였지만, 1990년대와 2000년대에는 부산과 서울 등의 대도시와 부여와 제주에서 10억 이상의 피해액이 발생하였을 뿐 피해액과 피해지역이 급격하게 감소하였다(Figure 5h and Figure 5i).

3) 월별 피해 집중도의 변화

재해가 발생하였을 때의 피해액은 호우 규모와 지역의 지리적 특성에 따라서 차이가 크다. 지역별로 호우가 빈번하게 출현하는 달이 다르고 피해 규모도 지역의 특성에 따라서 차이가 발생하므로 시군별로 호우로 인한 피해의 월별 집중되는 비율도 다양하다.

Figure 6은 호우로 인한 피해액의 월별 집중도를 나타낸 것이다. 대부분 지역에서 7월과 8월에 호우로 인한 피해액이 집중되었다. 다만, 영산강 하구에 가까운 해안인 진도, 해남, 강진, 목포, 신안 등에서 6월의 호우로 인한 피해액이 전체의 30.8~49.8%로 다른 지역에 비하여 상대적으로 높다(자료 미제시).

Figure 6a는 우리나라의 절반에 가까운 시·군에서 7월 호우로 인한 피해액 비율이 가장 높다는 것을 보여준다. 특히 임진강 유역과 한강 상류인 철원, 인제, 화천, 양양, 평창 등과 금강 유역

Figure 6. Spatial distributions of monthly averaged damage concentration ratio due to heavy rainfall (a: July, b: August, c: September; 1981-2012).

Figure 7. Monthly concentration ratio of damage due to heavy rainfall by period (a: 1980s, b: 1990s, c: 2000s).

의 서천, 부여, 논산 등에서 전체 호우로 인한 피해액의 80% 이상이 7월에 집중되었다. 영산강 유역의 나주, 영광, 담양, 함평, 장성 등에서도 호우로 인한 전체 피해액의 75% 이상이 7월에 집중되었다.

8월의 호우로 인한 피해액이 가장 많은 시·군은 분석 지역의 39.9%로 7월 다음으로 피해가 집중되었다. 상주, 보은, 김해 등은 전체 호우로 인한 피해액의 80% 이상이 8월에 집중되었다. 호우로 인한 피해액이 7월에 집중된 지역의 분포가 한강의 일부 유역과 한반도 서쪽에 위치한 금강과 영산강 유역인 것과 비교하여 8월의 호우로 인한 피해 규모가 큰 지역은 중부지역과 낙동강 유역으로 이동하였다(Figure 6b). 남부에서는 호우로 인한 피해가 서해안에 가까운 곳에서 동쪽으로 점차 이동하였음을 확인할 수 있다. 안산, 화성, 여주, 하남, 오산, 김포 등의 한강 유역의 수도권과 영덕은 9월의 호우로 인한 피해액이 전체 호우로 인한 피해액의 45% 이상으로 9월에 상대적으로 많은 피해가 발생하였다(Figure 6c).

호우로 인한 피해가 집중된 7~9월까지의 월별 집중도를 Figure 7과 같이 ternary plot으로 도식화하였다. 1980년대는 호우로 인한 피해가 9월에 집중되었고, 1990년대는 7월과 8월에 집중되었

으며, 8월의 피해 집중도가 높다. 2000년대 또한 1990년대와 같이 9월에는 피해가 거의 나타나지 않고 7월과 8월에 피해가 많이 발생하였으며 7월에 집중되는 경향이 있다. 우리나라의 강수 형태가 7월과 9월에 집중된 쌍봉 형태였다가 1990년대 이후 8월에도 강수가 집중되는 형태로 변화하였다는 연구(Ho *et al.*, 2003; Lee and Kwon, 2004)를 고려하였을 때 시대별로 호우로 인한 월별 피해의 집중도 차이가 한반도에서 강수 시스템의 변화에 의한 것이라 판단할 수 있다.

Figure 8은 시대별 호우로 인한 피해액의 월별 집중도의 변화를 시·군별로 분석하여 각 지역의 시대별 피해액이 집중되는 달의 변화를 파악한 것이다. 시·군별 호우로 인한 피해액이 최대로 집중되는 달을 시대별로 도식화하였다. 시대별로 각 시·군의 월별 최대 집중도는 평균 70%³⁾ 이상으로 특정한 달에 집중되어 분포하는 특징이 뚜렷하다. Figure 8은 월별 피해액이 최대로 집중되는(집중도 70% 이상) 경우와 다른 달과의 집중도의 차이가 상대적으로 크지 않은 경우로 분류하여 표현하였다.

1980년대에는 남서부 해안 지역은 6월에 피해가 많고 충청남·북도와 전라남·북도를 포함한 중남부 지역의 서쪽에 위치한 지역은 7월에 호우

Figure 8. Spatial distributions of months with the most damage concentration ratio due to heavy rainfall by period (a: 1980s, b: 1990s, c: 2000s).

로 인한 피해가 집중된다. 남해안과 동해안 남부 지역에서는 8월의 피해가 집중되었고 한강유역의 중북부 지역과 경상북도 내륙 지역에서는 9월에 호우로 인한 피해가 집중되어 지역별로 월별 호우로 인한 집중도가 비교적 다양하다. 그러나 1990년대의 월별 호우로 인한 피해의 집중도를 살펴보면 경기 북부 지역과 동해안의 중부 지역이 7월에 피해가 집중되고 충주, 제천, 단양, 영주 지역과 동해안 북부 지역에서 6월에 피해가 집중되는 것을 제외하고 대부분의 지역이 8월에 호우로 인한 피해가 60% 이상 집중된다. 이와는 달리 2000년대는 중부 지역의 아산, 천안, 진천, 충주, 원주, 영월, 태백 등의 지역과 해남, 강진, 장흥, 보성, 영광, 무안, 등의 남서 해안 지역과 부안, 김제, 정읍 등의 호남 서해안 지역과 진안, 무주, 거창, 임실, 장수, 순창, 남원, 담양, 곡성, 구례 등의 소백산맥 지역이 8월에 피해가 집중되는 것을 제외하고 대부분 지역에서 호우로 인한 피해가 7월에

집중되는 공간적 분포를 보인다.

1980년대의 지역별 호우로 인한 피해가 지역별로 6월부터 9월까지 다양하게 분포한 것에 비하여 1990년대와 2000년대는 9월에 피해가 집중되는 지역이 급격하게 감소하였다. 특히 한강 유역의 경기도와 강원도, 충청북도 등 중부지역의 경우 1980년대에는 9월에 피해가 70% 이상 발생하여 집중도가 뚜렷하였던 것이 1990년대는 한강 유역의 수도권 지역과 횡성, 원주, 평창, 정선 등의 지역에서 8월에 집중도가 높고 그 외 지역은 피해가 7월에 집중되었으며 2000년대에 들어서는 한강 유역의 대부분의 지역에서 전체 호우로 인한 피해 중 7월에 발생한 피해가 60% 이상 집중되었다.

4. 요약 및 결론

우리나라는 여름철 월별 강수 특징이 지역별로

다양하므로 여름철 집중 호우로 인한 재해 지역의 변화를 파악하기 위해서 1981년부터 2012년까지 시군별 피해액을 분석하여 각 지역의 월별 피해액의 변화를 시대별로 분석하였다.

분석 기간 동안 호우로 인한 피해가 가장 큰 지역은 평창, 인제, 서울, 김해이다. 평창과 인제는 강원 산지 지역인 한강 상류 지역으로 1990년대를 제외하고 100억 원 이상의 피해가 꾸준히 발생한 지역이다. 서울에서도 호우로 인한 재해가 발생할 때 피해 규모가 크다.

재해 발생 시 평균 피해액은 1980년대 가장 높고 2000년대, 1990년대 순이다. 1980년대에는 호우 피해가 큰 지역이 한강 상류 지역과 금강과 영산강 하류 등 우리나라 서쪽에 분포하였으나, 1990년대와 2000년대에 들어서면서 서쪽 지역의 피해액이 지속적으로 감소하였다. 1990년대는 경기 북부 지역에 큰 피해가 집중되었고 2000년대에는 강원 산지 지역을 포함한 한강 상류 지역의 피해가 특징적이다.

월별 연평균 피해액은 7월에 가장 높은 수치를 보이고 8월, 9월, 6월 순이다. 7월의 피해액 분포와 시대별 피해가 큰 지역의 분포는 연평균 피해액 분포와 유사하고 9월의 호우로 인한 피해액 분포는 한강 유역에 집중되는 특징을 보이는데 1990년대 이후 피해액과 피해 지역이 급격하게 감소하였다. 1980년대에는 호우로 인한 피해가 9월에 가장 집중되고 6월, 7월, 8월에도 지역별로 다양하게 분포하였으나 1990년대와 2000년대에는 대부분의 지역에서 7월과 8월에 집중되고 9월에는 피해가 거의 발생하지 않았다. 이상에서 우리나라 호우로 인한 피해는 7월과 9월에 집중되었던 것이 1990년대 이후에는 9월의 호우로 인한 피해가 급격하게 감소하며 우리나라 월별 강수 시스템의 변화와 유사한 경향을 보인다. 또한 1980년대까지 우리나라 서쪽 지역에서 호우로 인한 피해

가 크게 발생하였다면 2000년대 와서는 한강 상류를 포함한 동쪽 지역에 피해가 큰 지역이 집중 분포한다.

호우 재해 지역의 변화와 각 유역의 월별 피해의 변화는 호우 빈도와 강도의 지역별 차이, 홍수 조절 가능한 수자원 시설 건축, 침수와 산사태, 도로 유실 등의 호우 피해 유형의 변화 등에 기인할 수 있으므로 향후 재해 지역 변화의 원인과 관련된 심도 깊은 연구가 진행되어야 한다. 또한 우리나라의 수자원 관리는 유역별로 이루어지므로 한강 유역의 시대별 재해 특성의 변화를 포함하여 최근 들어 피해가 급격하게 감소한 금강 유역과 영산강 유역 등의 재해 특성의 변화에 대한 구체적인 사례 연구도 필요하다.

사사

이 논문은 2013년 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2013S1A3A2052995).

주

- 1) 제주도는 2006년 제주특별자치도로 승격이 되면서 시·군 자료를 제공하지 않으므로 제주도 전체 피해 자료를 이용하였다. 또한 2012년 7월에 출범한 세종시는 개별 분석에서 제외하였다.
- 2) 김해는 2002년 8월 4일~11일 동안 이어진 호우로 한림배 수장의 기능이 상실되어 화포천 제방이 무너졌다. 이로 인하여 한림면, 생림면 등의 농경지(2507.20ha)와 가옥침수(1193세대)로 219,197,566,000원의 피해가 발생하여 2000년대의 호우로 인한 피해액 규모가 큰 지역으로 분류되었다.
- 3) 호우로 인한 피해액이 최대로 집중되는 달의 평균 비율은 1980년대, 1990년대, 2000년대 각각 70.0%, 77.5%, 72.1%이다.

References

- Brunetti, M., Maurizio, M., Monti, Fabio., and Teresa, N., 2004, Changes in daily precipitation frequency and distribution in Italy over the last 120 years, *Journal of Geophysical Research*, 109, D05102, doi:10.1029/2003JD004296.
- Choi, G. Y. and Kwon, W. T., 2008, Current and future changes in the type of wintertime precipitation in South Korea, *Journal of the Korean Geographical Society*, 43(1), 1-19.
- Choi, Y. E., 2004, Trends on temperature and precipitation extreme events in Korea, *Journal of the Korean Geographical Society*, 39(5), 711-721.
- Chung, Y. S., Yoon, M. B., and Kim, H. S., 2004, On Climate variations and changes observed in South Korea, *Climatic Change*, 66, 151-161.
- Delgado, J. M., Apel, H., and Merz, B., 2010, Flood trends and variability in the Mekong River, *Hydrology Earth System Society*, 14, 407-418.
- Fowler, H. J. and Kilsby, C. G., 2003, Implications of changes in seasonal and annual extreme rainfall, *Geophysical Research Letters*, 30(13), 1720, doi:10.1029/2003GL017327.
- Groisman, P. Ya., Knight, R. W., Easterling, D. R., Karl, T. R., Hegerl, G. C., and Razuvaev, V. N., 2005, Trends in intense precipitation in the climate record, *Journal of Climate*, 18(9), 1326-1350.
- Hannaford, J. and Marsh, T. J., 2008, High-flow and flood trends in a network of undisturbed catchments in the UK, *International Journal of Climatology*, 28, 1325-1338, doi:10.1002/joc.1643.
- Ho, C. H., Lee, J. Y., Ahn, M. H., and Lee, H. S., 2003, A sudden change in summer rainfall characteristics in Korea during the late 1970s, *International Journal of Climatology*, 23(1), 117-128.
- 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).
- IPCC, 2007, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., and Miller, H. L. (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY.
- Jang, D. W., Kim, B. S., and Kim, J. H., 2012, The quantification of disaster impact of extreme rainfall under climate change in Korea, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, 12(4), 169-178.
- Jiang, T., Kundzewicz, Z. W., and Su, B., 2008, Changes in monthly precipitation and flood hazard in the Yangtze River Basin, China. *International Journal of Climatology*, 28, 1471-1481, doi:10.1002/joc.1635.
- Jo, S. J., Jun, H. D., Park, M. J., and Kim, S. D., 2011, Record Breaking Occurrence Frequency of Air Temperature and Precipitation, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, 11(5), 345-352 (in Korean).
- Kim, E. S., Lee, J. H., Park, M. J., and Chung, G. H., 2013, Analysis of the Disaster Environmental Change Considering Climate Change: 1. Analysis of Flood Elevation, *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, 13(4), 207-217 (in Korean).
- Klein Tank, A. M. G. and Können, G. P., 2003, Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe, 1946-1999, *Journal of Climate*, 16, 3665-3680.
- Kunkel, K. E., Easterling, D. R., Redmond, K., and Hubbard, K., 2003, Temporal variations of extreme precipitation events in the United States: 1895-2000, *Geophysical Research Letters*, 30(17), doi:10.1029/2003GL018052.

- Lee, S. H., 1995, The division of natural seasons in Korea by air pressure patterns in Korean peninsula and its surroundings, *Geography Research*, 26, 65-78 (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 The Korean Association of Regional Geographers*, 17(5), 505-520 (In Korean).
- Lee, S. H. and Kwon, W. T., 2004, A Variation of Summer Rainfall in Korea, *Journal of the Korean Geographical Society*, 39(6), 819-832 (in Korean).
- Maheras, P., Konstantia, T., Christina, A., Margaritis, V., Ioannis, P., and Helena, F., 2004, On the relationships between circulation types and changes in rainfall variability in Greece, *International Journal of Climatology*, 24(13), 1695-1712, doi:10.1002/joc.1088.
- National Institute of Meteorological Research, 2009, *Understanding climate change II-Climate change of the Korean Peninsula: the here and the here-after*, National Institute of meteorological Research (in Korean).
- Park, C. Y., Moon, J. Y., Cha, E. J., Yun, W. T., and Choi, Y. E., 2008, Recent Changes in Summer Precipitation Characteristics over South Korea, *Journal of the Korean Geographical Society*, 43(3), 324-336.
- Petrow, T. and Merz, B., 2009, Trends in flood magnitude, frequency and seasonality in Germany in the period 1951-2002, *Journal of Hydrology*, 371, 129-141.
- Renard, B., Lang, M., Bois, P., Dupeyrat, A., Mestre, O., Niel, H., Sauquet, E., Rudhomme, C., Parey, S., Paquet, E., Neppel, L., and Gailhard, J., 2008, Regional methods for trend detection: assessing field significance and regional consistency, *Water Resources Research*, 44, W08419, doi:10.1029/2007WR006268.
- Seneviratne, S. I., Nicholls, N., Easterling, D., Goodess, C. M., Kanae, S., Kossin, J., Luo, Y., Marengo, J., McInnes, K., Rahimi, M., Reichstein, M., Sorteberg, A., Vera, C., and Zhang, X., 2012, Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment, in *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 109-230, Cambridge Univ. Press, Cambridge, U. K.
- Shim, S. B., 1972, Flood Damage Evaluation Based on Hydrological Frequency Method, *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, 20(4), 106-119 (in Korean).
- Shouraseni, S. R., 2009, A spatial analysis of extreme hourly precipitation patterns in India, *International Journal of Climatology*, 29, 345-355.
- Stahl, K., Hisdal, H., Hannaford, J., Tallaksen, L. M., van Lanen, H. A. J., Sauquet, E., Demuth, S., Fendekova, M., and Odar, J. J., 2010, Stream flow trends in Europe: evidence from a dataset of near-natural catchments, *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 7, 5769-5804.
- Zhao, F., Deng, H., and Zhao, X., 2010, Rainfall regime in Three Gorges area in China and the control factors, *International Journal of Climatology*, 30, 1396-1406.

책임 편집: 이승호

영문 교열: 이은결