Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies, 21(1) 2018, pp. 12-22 ISSN 1226-9719(Print)On
https://doi.org/10.11108/kagis.2018.21.1.012 ISSN 2287-6952(Online)

폭우 취약성 지표를 활용한 재해취약지구 분석*

박종영[1] · 이정식[2※] · 이진덕[2] · 이원우[3]

Analysis of Disaster Vulnerable Districts using Heavy Rainfall Vulnerability Index*

Jong-Young PARK[1] · Jung-Sik LEE[2※] · Jin-Deok LEE[2] · Won-Woo LEE[3]

요 약

기후변화에 대한 재해취약성을 개선하기 위하여 각종 재해에 대한 재해취약성분석 매뉴얼이 제시되어 있으나, 공간단위, 재해취약성 등급 그리고 기후적 요소의 조건에 따라 재해취약성 분석 결과는 상당한 영향을 받게 된다. 본 연구에서는 도시 기후변화 재해취약성 분석 중 폭우재해만을 대상으로 하여 집계구 이외의 읍·면·동단위의 공간단위와의 상대적 평가를 수행하였으며, 4등급 단계로 획일화되어 있는 자연적 분류법을 2등급 단계, 4등급 단계, 6등급 단계로 점차 확대해감으로써 분류단계에 따른 취약지구의 상대적 변화를 분석하였다. 그리고 2가지로 한정되어 있는 강우특성에 대하여 기왕최대강우량(10분, 60분, 24시간)을 추가하여 강우특성에 따른 지표별 재해취약지구의 상대성을 파악하고자 하였다. 폭우 취약성 지표에 따른 상대적 평가 결과 공간단위에 따라서 재해취약지구의 면적비는 차이를 보이고 있으며, 상관분석 결과 집계구와 읍·면·동단위의 공간분석은 일치하지 않음을 알 수 있었다. 또한 재해취약성 등급단계, 강우특성의 지표에 따른 재해취약지구의 면적비가 상대적으로 차이를 많이 보이는 것을 알 수 있다. 이는 분석 지표에 따른 재해취약지구의 영향이 상대적으로 크게 나타나는 것으로 판단되며, 분석지표 설정 시 세밀한 지표의 선정이 필요할 것으로 여겨진다.

주요어 : 기후변화, 취약성분석 지표, 공간단위 분석, 폭우

ABSTRACT

In order to improve the vulnerability of current cities due to climate change, the disaster vulnerability analysis manual for various disasters is provided. Depending on the

2018년 01월 15일 접수 Received on January 15, 2018 / 2018년 02월 20일 수정 Revised on February 20, 2018 / 2018년 2월 26일 심사완료 Accepted on February 26, 2018
* 본 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 지원된 논문임.
1 ㈜삼보기술단 수자원부 Dept. of Hydrological Engineering, Sambo Engineering Co.,Ltd.
2 금오공과대학교 토목공학과 Dept. of Civil Engineering, Kumoh National Institute of Technology
3 ㈜청우엔지니어링 수자원부 Dept. of Hydrological Engineering, Chungwoo Engineering Co.,Ltd.
※ Corresponding Author E-mail : jungsik@kumoh.ac.kr

spatial units, the disaster vulnerability levels, and the conditions of the climatic factors, the results of the disaster vulnerability analysis will have a significant impact. In this study, relative assessments are conducted by adding the eup, myeon and dong unit in addition to census output area unit to analyze the impact on the spatial unit, and relative changes are analyzed according to the classification stages by expanding the natural classification, which is standardized at level four stage, to level two, four and six stage. The maximum rainfalls(10min, 60min, 24hr) are added for the two limited rainfall characteristics to determine the relativity of disaster vulnerable districts by index. The relative assessment results of heavy rainfall vulnerability index showed that the area ratio of disaster areas by spatial unit was different and the correlation analysis showed that the space analysis between the eup, myeon and dong unit in addition to census output area unit was not consistent. And it can be seen that the proportion of disaster vulnerable districts is relatively different a lot due to indexes of rainfall characteristics, spatial unit analysis and disaster vulnerability level stage. Based on the above results, it can be seen that the ratios of disaster vulnerable districts differ relatively significantly due to the level of the disaster vulnerability class, and the indexes of rainfall characteristics. This suggests that the impact of the disaster vulnerable districts depending on indexes is relatively large, and more detailed indexes should be selected when setting up the disaster vulnerabilities analysis index.

KEYWORDS : Climate Change, Vulnerability Analysis Index, Spatial Unit Analysis, Heavy Rainfall

서 론

지구 온난화로 인한 기후 변화에 대한 인식은 '90년대 후반 이후로 다양한 분야에서 점차 확대되었으며, 이상기후의 원인으로 지구온난화가 직접적인 영향이 된다는 사실에 대한 인식 또한 점차적으로 확대되고 있다. 지구 온난화의 영향은 다양한 이상기후의 발생을 야기하고, 발생빈도 또한 지속적으로 증가하고 있다. 더불어, 이상기후로 발생되는 재해의 규모는 점차 대형화되고 있는 실정이다. 기후변화의 영향 분석을 위해서 UN 산하 정부 간 협의체 형태로 공동 설립한 IPCC(intergovernmental panel on climate change)는 기후변화와 관련한 연구에 대한 평가를 제공하고 대책을 마련하는데 많은 노력을 하고 있다.

국내외에서는 지구의 온난화로 인한 이상기후에 대비하여 다양한 연구를 수행하고 있다. 국외 연구동향을 살펴보면 Australian government (2005)는 부문별로 기후변화가 시스템에 미치는 영향, 기후변화 영향에 대한 민감도, 기후변화로 인한 손실 추정치, 잠재적 편익 등의 5개 취약성 기준에 따라 재해취약성을 정성적으로 평가하였다. Blakely(2007)는 지역의 토지이용, 도시 개발 등 도시계획과 기후 변화를 통합하는 지침의 필요성을 강조하고 도시의 적응대책 연구가 필요한 분야를 선정하여 분야별 매트릭스에 의해 위험을 평가하였다. Cutter *et al.* (2000)은 재해취약성 평가를 위하여 GIS를 활용하였으며, 취약성을 물리적 취약성과 사회적 취약성으로 구분하고 관련 지표를 사용하여 취약성을 평가하여 공간상에 나타내는 방법을 제시하였다.

국내의 연구 수행에 대하여 살펴보면, 기후변화에 따른 재해취약성을 파악하고자 정부차원의 취약성평가 방법론 개발 연구가 시작되었고 (Chae and Jo, 2011; Yoo and Kim, 2008), 취약성 평가 도구인 GIS(GIS기반 기후변화 적응도구: Climate Change adaptation toolkit

based on GIS)가 한반도 전역에 대하여 해당 재해별로 개발되고 배포되어 지자체의 세부계획 수립에 활용될 수 있도록 한 바 있다. 또한 국립환경과학원에서 기초지자체 시범사업 지원을 위한 기후변화 재해취약성 연구를 지원한 바 있으며, 기후변화 취약성의 공간적 분포는 기초지자체 단위 내에서도 취약성이 편차를 보이는 것으로 나타난 바 있다(Koh, 2009). 그 일환으로 국내에서는 기후변화에 따른 도시의 취약성을 개선하고자 2012년부터 도시 기후변화 재해취약성분석 매뉴얼을 작성하였으며, 이는 IPCC(2007) 기후변화 취약성 분석의 골격을 유지하면서 기후노출과 도시민감도를 고려하며 기후변화 취약성의 공간적 분포를 파악하고 이를 활용하여 재해취약지역을 도시기본계획, 도시관리계획 등에 반영하고자 하는 예방형 정책들이 최근 빈번하게 시도되고 있는 실정이다(Sim, 2013). 그러나 재해취약성 분석 매뉴얼에 제시된 재해 취약성 분석은 공간단위, 재해취약성 등급, 기후적 요소의 조건에 따라 분석의 경향이 변화할 우려가 많고 분석방법에 따른 공간적 분포의 차이를 정량적으로 설명하고 있지 않아 분석결과에 대한 신뢰도가 비교적 낮은 것으로 판단될 수 있다. 따라서 재해취약성 분석 매뉴얼의 분석 지표를 준용하며, 공간단위, 재해취약성 등급, 기후적 요소 등의 조건에 대하여 추가적인 분석 지표를 제시하여 각 지표별 상대성을 파악하여 재해취약지구의 지표 설정에 도움을 주어 지자체별 정책 수립 및 방재계획 수립 시 체계적인 방재관련계획에 도움을 주고자 한다. 재해취약성분석 매뉴얼에서는 지자체 내의 최소 공간 범위인 집계구(일반적으로 읍·면·동의 1/23 수준) 공간범위에 따른 취약지구의 상대적 평가, 자연적 분류법을 통한 4단계의 단순 취약등급 분류, 그리고 최근 10년간 연평균 80 ㎜/일 이상 강우일수, 연평균 시간 최대강우량 등의 단순한 분석지표를 활용하여 재해취약지역을 분석하고 있다(NCDPRC, 2013).

따라서 본 연구에서는 폭우재해만을 대상으로 하여 집계구 이외의 차상위 분석 단위인 읍·면·동단위에 대한 공간단위의 상대적 평가, 4단계로 획일화되어 있는 자연적 분류법을 2단계, 4단계, 6단계로 점차 확대해감으로써 분류단계에 따른 취약지구의 상대적 변화 평가, 그리고 2가지로 한정되어 있는 분석지표를 기왕최대강우량(10분, 60분, 24시간)을 추가적으로 제시하여 각 지표별 상대적으로 파악하고자 하였다. 상기의 연구를 수행하기 위한 검토로 행정구역상 경상북도 전체(울릉군 제외)를 선정하였으며, 공간자료인 집계구와 읍·면·동단위는 각각 SGIS 통계지리정보서비스(http://sgis.kostat.go.kr/)의 자료를 바탕으로 하였다. 강우자료는 기상청의 최근 10년간의 강우자료를 사용하여 연평균 80㎜/일 이상 강우일수, 연평균 시간최대강우량, 기왕최대강우량(10분, 60분, 24시간)을 수집하여 활용하였다.

대상지역 및 자료수집

1. 공간자료

본 연구의 검토대상지역으로 선정한 경상북도(울릉군 제외) 및 각 22개 지자체의 집계구 단위 및 읍·면·동단위에 대한 자료를 각각 SGIS 통계지리정보서비스(sgis.kostat.go.kr)를 바탕으로 자료를 수집하였다. 대상지역인 경상북도의 집계구는 총 4,491개로 포항시가 913개소로 최대이며, 영양군이 29개소로 최소를 나타내고 있다. 또한 집계구 단위에 대한 면적별 검토 결과 최소면적은 포항시가 0.0002㎢, 최대면적이 울진군이 204.2790㎢로 다양하게 분포하고 있으며, 평균면적 1.1798㎢로 조사되었다. 읍·면·동단위는 총 328개소로 포항시가 29개소로 최대이며, 영양군이 6개소로 최소를 보이고 있다. 또한 집계구 단위에 대한 면적별 검토 결과 최소면적은 구미시가 0.3256㎢, 최대면적은 울진군이 296.8773㎢로 다양하게 분포하고 있으며 평균면적은 27.8680㎢로 조사되었다.

본 연구에서는 공간단위, 재해취약성 등급, 강우특성에 대한 상대적 평가를 분석하기 위하여 경상북도 인근 22개 기상청 관할 관측소의 강우자료를 바탕으로 대상지역내의 지형공간에

대한 데이터를 보간하고자 Kriging 보간법을 적용하여 공간분석을 실시하였다.

2. 강우자료

분석에 요구되는 기후노출 지표 값인 강우자료인 연평균 80㎜/일 이상 강우일수, 연평균 시간최대강우량 및 기왕최대강우량(10분, 60분, 24시간)이며, 경상북도 인근의 22개의 기상청 관할 관측소의 강우자료를 수집하였다. 연평균 80㎜/일 이상 강우일수의 경우, 경상북도 인근 22개의 기상청 관할 관측소의 최근 10년간 연평균 80㎜/일 이상 강우일수에 대하여 조사하였으며, 대상지역의 연평균 80㎜/일 이상 강우일수는 0.9~2.9일, 평균 1.8일로 분석되었다. 연평균 시간 최대강우량의 경우, 경상북도 인근의 22개의 기상청 관할 관측소의 최근 10년간 연평균 시간최대강우량에 대하여 조사하였으며, 대상지역의 연평균 시간최대강우량은 30.3~51.2㎜, 평균 39.4㎜로 분석되었다. 그리고 기왕최대강우량의 경우, 경상북도 인근의 22개의 기상청 관할 관측소의 기왕최대강우량(10분, 60분, 24시간)을 조사하였으며, 대상지역의 10분 최대강우량은 19.0~33.0㎜, 평균 25.7㎜, 60분 최대강우량은 45.0~95.0㎜, 평균 72.5㎜, 24시간 최대강우량은 170.7~516.4㎜, 평균 273.3㎜로 분석되었다.

취약성 분석의 상대적 평가

경상북도 전체 및 22개 지자체(울릉군 제외)의 폭우로 인한 취약성 분석 지표의 상대적 평가를 수행하기 위하여 ① 공간단위, ② 재해취약성 등급단계, ③ 강우특성에 대하여 각 방법별로 상대적 평가를 수행하였으며, 각각을 Case A~C로 정의하였다. 각 Case 별 연구수행방법은 다음과 같다.

① 공간단위 분석(Case A)에서는 재해취약성등급(4등급단계), 강우특성(연평균 80㎜/일 이상 강우일수, 연평균 시간최대강우량)을 고정으로 하여 집계구 이외의 읍·면·동단위의 공간단위와의 상대적 평가를 수행하였다.

② 재해취약성 등급단계(Case B)에서는 공간단위(집계구단위), 강우특성(연평균 80㎜/일

TABLE 1. Relative assessment methods by data of analysis

Classification		Spatial unit	Disaster vulnerability level	Rainfall characteristics
Manual		Census output area	Level 4 stage(Ⅰ-Ⅳ)	No. of rainfall days with annual average of 80 ㎜/day
				Average annual hourly maximum rainfall
Case A	1	Census output area	Level 4 stage(Ⅰ-Ⅳ)	No. of rainfall days with annual average of 80 ㎜/day
		Eup, Myeon, Dong		
	2	Census output area	Level 4 stage(Ⅰ-Ⅳ)	Average annual hourly maximum rainfall
		Eup, Myeon, Dong		
Case B	1	Census output area	Level 4 stage(Ⅰ-Ⅳ)	No. of rainfall days with annual average of 80 ㎜/day
			Level 2 stage(Ⅰ-Ⅱ)	
			Level 6 stage(Ⅰ-Ⅵ)	
	2	Census output area	Level 4 stage(Ⅰ-Ⅳ)	Average annual hourly maximum rainfall
			Level 2 stage(Ⅰ-Ⅱ)	
			Level 6 stage(Ⅰ-Ⅵ)	
Case C		Census output area	Level 4 stage(Ⅰ-Ⅳ)	No. of rainfall days
				Hourly maximum rainfall
				Maximum rainfall(10 minutes)
				Maximum rainfall(60 minutes)
				Maximum rainfall(24 hours)

이상 강우일수, 연평균 시간최대강우량)을 고정으로 하여 4등급단계로 획일화되어 있는 자연적 분류법을 2등급단계, 4등급단계, 6등급단계로 세분화하여 분류단계에 따른 취약지구의 상대적 변화 평가를 하였다. 재해취약성 등급구분을 위하여 매뉴얼에서 제시하고 있는 래스터 레이어에 설정된 임의의 지역별로 분석대상이 되는 레이어의 통계값을 계산하는 ArcGIS의 기능구역 분석 기능을 활용하였다.

③ 강우특성(Case C)에서는 공간단위(집계구단위), 재해취약성등급(4등급단계)을 고정으로 하여 기존의 연평균 80㎜/일 이상 강우일수와 연평균 시간최대강우량에 기왕최대강우량(10분, 60분, 24시간)을 추가하여 지표별 상대성을 파악하고자 하였다. Case 별 분석 방법은 표 1과 같다.

1. 공간단위 분석의 상대적 평가(Case A)

집계구는 인구센서스 조사 시 인구 500명을 기준으로 주변 도로, 하천, 철도, 산 능선 등과 같은 준항구적인 지형지물을 이용하여 구획한 공간단위구역으로 보통 읍·면·동의 1/23 크기로 설정하고 있다. 분석 매뉴얼에서는 공간단위 분석을 집계구로 한정하여 분석을 실시하고 있으나, 본 연구에서는 공간단위에 미치는 영향을 분석하기 위하여 집계구 이외의 읍면·동단위를 추가하여 상대적 평가를 실시하고 공간단위의 적정성을 파악하고자 하였다.

TABLE 2. Relative assessment of spatial unit depending on no. of rainfall days with 80 ㎜/day

Name of city and county	Area(㎢)	No. of census output / No. of dong unit	Census output area ratio − Dong area ratio(%)				
			Zone Ⅰ	Zone Ⅱ	Zone Ⅲ	Zone Ⅳ	Average
Gyeongsangbuk-do	18,980.7	13.7	1.2	1.0	0.5	0.3	0.8
Gyeongsan-si	411.5	29.7	14.7	21.2	8.9	2.4	11.8
Gyeongju-si	1,325.2	19.7	16.8	10.1	6.3	0.4	8.4
Gumi-si	615.7	25.0	2.5	16.8	22.3	8.0	12.4
Gimcheon-si	1,005.7	10.6	5.4	2.9	2.8	11.1	5.6
Mungyeong-si	914.8	8.3	2.4	1.0	1.9	0.5	1.5
Sangju-si	1,261.8	7.1	11.1	3.4	4.8	9.7	7.3
Andong-si	1,528.6	12.8	15.7	1.6	0.1	17.4	8.7
Yeongju-si	674.2	9.3	11.0	8.9	11.2	8.7	10.0
Yeongcheon-si	916.1	10.4	5.4	0.9	15.9	22.2	11.1
Pohang-si	1,133.0	31.5	2.6	2.3	6.3	6.0	4.3
Goryeong-gun	384.7	7.0	12.2	2.2	8.4	1.6	6.1
Gunwi-gun	611.9	3.8	7.4	3.0	7.0	3.4	5.2
Bonghwa-gun	1,202.8	5.5	17.2	4.7	0.8	11.7	8.6
Seongju-gun	614.9	6.3	12.1	6.1	7.7	13.7	9.9
Yeongdeok-gun	748.0	6.8	19.3	0.9	20.3	0.1	10.2
Yeongyang-gun	821.6	4.8	2.8	0.2	7.0	9.6	4.9
Yecheon-gun	664.6	6.5	11.0	0.1	5.7	5.4	5.6
Uljin-gun	994.6	8.3	49.8	2.6	43.5	3.7	24.9
Uiseong-gun	1,169.4	4.9	2.4	1.7	2.3	1.6	2.0
Cheongdo-gun	691.3	7.2	6.7	8.3	4.1	19.1	9.6
Cheongsong-gun	847.9	5.4	5.9	1.3	1.8	5.4	3.6
Chilgok-gun	452.0	24.4	1.2	7.4	6.4	12.6	6.9
Average			10.7	4.9	8.9	7.9	
Correlation coefficient			0.17*	0.59*	−0.07*	0.50*	

* Correlation coefficient between census output area ratio and dong area ratio by each zone

1) 연평균 80㎜/일 이상 강우일수(Case A1)

연평균 80㎜/일 이상 강우일수 지표를 기준으로 하여 집계구 및 읍·면·동단위에 대한 공간단위의 상대적 검토를 수행하였다. 공간단위의 상대적 분석결과는 표 2와 같다. 경상북도 전체에 대한 분석결과 ZoneⅠ에서는 1.2%, ZoneⅡ에서는 1.0%, ZoneⅢ에서는 0.5%, ZoneⅣ에서는 0.3%로 평균 0.8%의 차이를 보이고 있는 것으로 분석되었다. 경상북도 관내 22개 시·군에 대한 분석결과 ZoneⅠ에서는 1.2~49.8%로 평균 10.7%, ZoneⅡ에서는 0.1~21.2%로 평균 4.9%, ZoneⅢ에서는 0.1~43.5%로 평균 8.9%, ZoneⅣ에서는 0.1~22.2%로 평균 7.9%의 차이를 보이고 있으며, 전체적으로 평균 8.1%의 차이를 보이고 있는 것으로 분석되었다. 또한 각 Zone별 집계구와 읍·면·동지역을 대상으로 상관분석을 실시하였으며, 상관분석 결과 상관계수가 ZoneⅠ에서는 0.17, ZoneⅡ에서는 0.59, ZoneⅢ에서는 -0.07, ZoneⅣ에서는 0.50로 분석되었다. 이러한 결과는 비교적 읍·면·동의 수가 상대적으로 작은 지자체의 경우 집계구와 읍·면·동의 공간분석 편차가 매우 큰 것으로 나타났으며, 분석단위에 따라서 결과 값이 달라지는 것을 확인할 수 있었다.

2) 연평균 시간최대강우량(Case A2)

연평균 시간최대강우량 지표를 기준으로 하여 집계구 및 읍·면·동단위에 대한 공간단위의 상대적 검토를 수행하였으며, 공간단위의 상대적 분석결과를 최대강우량에 따른 상대적평가도와 재해취약성등급 분포도로 나타내었다. 연평균 시간최대강우량에 따른 공간단위의 상대적평가도와 구미시의 재해취약성등급 분포도는 그림 1과 그림 2와 같다. 경상북도 전체에 대한 분석결과 ZoneⅠ에서는 1.0%, ZoneⅡ에서는 0.3%, ZoneⅢ에서는 0.3%, ZoneⅣ에서는 1.7%로 평균 0.8%의 차이를 보이고 있는 것으로 분석되었다. 경상북도 관내 22개 시·군에 대한 분석 결과 ZoneⅠ에서는 0.1~29.5%로 평균 7.9%, ZoneⅡ에서는 0.2~26.6%로 평균 10.3%, ZoneⅢ에서는 0.3~29.3%로 평균 9.9%, ZoneⅣ에서는 0.0~37.3%로 평균 7.5%의 차이를 보이고 있으며, 전체적으로 평균 8.9%의 차이를 보이고 있는 것으로 분석되었다. 또한 각 Zone별 집계구와 읍·면·동지역을 대상으로 상관분석을 실시하였으며, 상관분석 결과 상관계수가 ZoneⅠ에서는 0.62, ZoneⅡ에서는 0.09, ZoneⅢ에서는 0.16, ZoneⅣ에서는 0.12로 분석되었다. 이러한 결과는 비교적 읍·면·동의 수가 상대적으로 작은 지자체의 경우 집계구와 읍·면·동의 공간분석 편

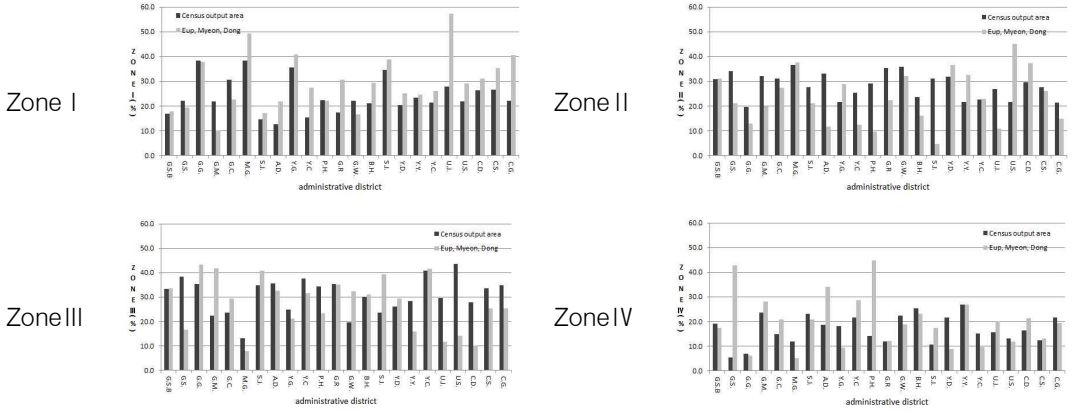

FIGURE 1. Relative assessment diagram of the spatial unit depending on average annual hourly maximum rainfall

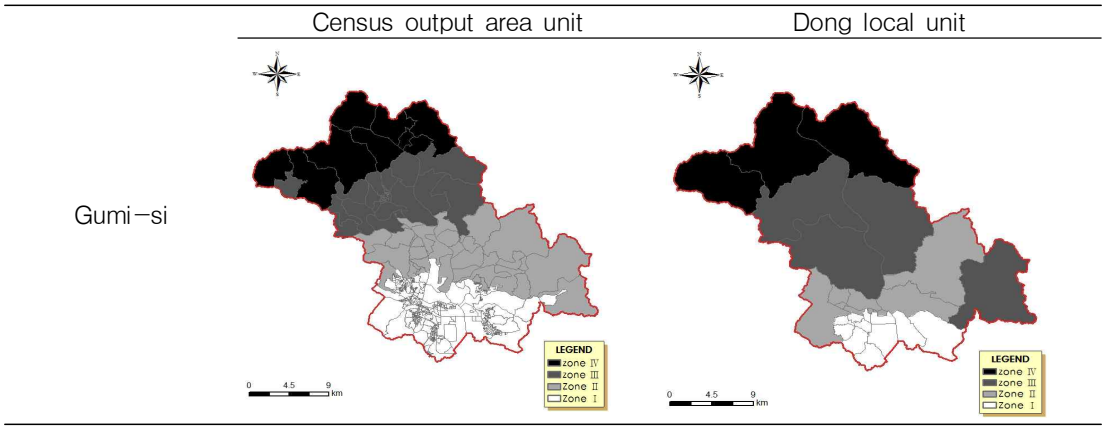

FIGURE 2. Disaster vulnerability distribution of the spatial unit depending on average annual hourly maximum rainfall in Gumi-si

차가 매우 큰 것으로 나타났으며, 연평균 80㎜/일 이상 강우일수 기준과 유사한 편차의 성향을 보였다.

2. 재해취약성 등급단계별 상대적 평가(Case B)

분석 매뉴얼에서는 재해취약성 등급단계를 4등급단계(Ⅰ~Ⅳ)로 분석하였으나 4등급 단계로 획일화되어 있는 자연적 분류법을 2등급 단계, 4등급 단계, 6등급 단계로 세분화한 분류단계에 따른 취약지구의 상대적 변화 평가를 통하여 적정성을 파악하고자 하였다. 본 연구에서는 2등급 단계, 4등급 단계, 6등급 단계로 세분화하여 분류단계에 대한 상대적 평가를 수행하였으며, 재해취약지구에 대한 구분은 표 3과 같다.

1) 연평균 80㎜/일 이상 강우일수(Case B1)

연평균 80 ㎜/일 이상 강우일수 지표를 기준으로 하여 Natural Breaks(Jenks)에 따른 등급단계를 2등급 단계, 4등급 단계, 6등급 단계로 구분하여 상대적 검토를 수행하였다. 비교검토를 위하여 2등급 단계의 취약지구는 ZoneⅠ, 비취약지구는 ZoneⅡ, 4등급 단계의 취약지구는 ZoneⅠ~Ⅱ, 비취약지구는 ZoneⅢ~Ⅳ, 6등급 단계의 취약지구는 ZoneⅠ~Ⅲ, 비취약지구는 ZoneⅣ~Ⅵ로 구분하였으며, 등급단계별 상대적 분석결과는 표 4와 같다. 경상북도 전체에 대한 분석결과 4등급 단계와 2등급 단계에서 0.4%, 4등급 단계와 6등급 단계에서 3.7%로 평균 4.1%의 차이를 보이고 있는 것으로 분석되었다. 경상북도 관내 22개 시·군에 대한 분석결과 4등급 단계와 2등급 단계에서는 0.0~21.2%로 평균 7.1%, 4등급 단계와 6등급 단계에서는 최소 0.0~23.2%로 평균 5.9%의 차이를 보이고 있으며 전체적으로 평균 6.5%의 차이를 보이고 있는 것으로 분석되었다. 또한 2등급 단계와 4등급 단계, 4등급 단계와 6등급 단계를 대상으로 상관분석을 실시하였으며, 상관분석 결과 상관계수가 2등급 단계와 4등급 단계에서는 0.64, 4등급 단계와 6등급 단계에서는 0.77로 분석되었다. 이러한 결과로부터 연평

TABLE 3. Disaster vulnerable district depending on the segment classification

Classification		Disaster vulnerable district	Non-vulnerable district
Level stages according to Natural Breaks	Level 2 stage	ZoneⅠ	ZoneⅡ
	Level 4 stage	ZoneⅠ, Ⅱ	ZoneⅢ, Ⅳ
	Level 6 stage	ZoneⅠ, Ⅱ, Ⅲ	ZoneⅣ, Ⅴ, Ⅵ

TABLE 4. Relative assessment of the level stage depending on no. of rainfall days with 80 ㎜/day

Name of city and county	Level stage of disaster vulnerable district(%)				
	Level 2 stage (A)	Level 4 stage (B)	Level 6 stage (C)	(B)-(A)	(B)-(C)
Gyeongsangbuk-do	63.6	63.2	66.9	0.4	3.7
Gyeongsan-si	67.5	67.5	67.3	0.0	0.2
Gyeongju-si	43.1	43.1	44.4	0.0	1.3
Gumi-si	50.5	31.7	45.1	18.8	13.4
Gimcheon-si	45.4	45.4	68.6	0.0	23.2
Mungyeong-si	50.0	63.6	60.7	13.6	2.9
Sangju-si	16.4	26.9	38.4	10.5	11.5
Andong-si	40.9	44.1	44.6	3.2	0.5
Yeongju-si	69.9	54.9	58.4	15.0	3.5
Yeongcheon-si	39.3	42.3	37.3	3.0	5.0
Pohang-si	35.7	35.9	40.0	0.2	4.1
Goryeong-gun	54.7	54.7	64.2	0.0	9.5
Gunwi-gun	61.5	62.2	62.2	0.7	0.0
Bonghwa-gun	40.2	40.2	40.2	0.0	0.0
Seongju-gun	52.7	55.4	60.7	2.7	5.3
Yeongdeok-gun	62.2	41.0	41.1	21.2	0.1
Yeongyang-gun	50.8	56.8	56.8	6.0	0.0
Yecheon-gun	37.4	47.0	42.2	9.6	4.8
Uljin-gun	53.9	33.4	33.4	20.5	0.0
Uiseong-gun	37.3	51.0	41.3	13.7	9.7
Cheongdo-gun	40.1	47.6	51.5	7.5	3.9
Cheongsong-gun	55.7	60.0	79.4	4.3	19.4
Chilgok-gun	55.6	49.2	36.9	6.4	12.3
Correlation coefficient	0.64*	0.77**			

* Correlation coefficient between level 2 stage and level 4 stage
** Correlation coefficient between level 4 stage and level 6 stage

균 80㎜/일 이상 강우일수 지표인 경우 2등급과 4등급 관계보다 4등급과 6등급 관계에서 상관성이 높게 나타났다.

2) 연평균 시간최대강우량(Case B2)

연평균 시간최대강우량 지표를 기준으로 하여 Natural Breaks(Jenks)에 따른 등급단계를 2등급 단계, 4등급 단계, 6등급 단계로 구분하여 상대적 검토를 수행하였으며, 등급단계별 상대적 분석결과를 연평균 시간최대강우량에 따른 상대적평가도와 재해취약성등급 분포도로 나타내었다. 연평균 시간최대강우량에 따른 공간단위의 상대적평가도와 군위군의 재해취약성등급 분포도는 그림 3과 그림 4와 같다.

경상북도 전체에 대한 분석결과 4등급 단계와 2등급 단계에서 17.3%, 4등급 단계와 6등급 단계에서 0.0%로 평균 8.7%의 차이를 보이고 있는 것으로 분석되었다. 경상북도 관내 22개 시·군에 대한 분석결과 4등급 단계와 2등급 단계에서는 0.0~37.8%로 평균 8.7%, 4등급 단계와 6등급 단계에서는 최소 0.0~18.2%로 평균 6.4%의 차이를 보이고 있으며 전체적으로 평균 7.5%의 차이를 보이고 있는 것으로 분석되었다. 또한 2등급 단계와 4등급 단계, 4등급 단계와 6등급 단계를 대상으로 상관분석을 실시하였으며, 상관분석 결과 상관계수가 2등급 단계와 4등급 단계에서는 0.36, 4등급 단계와 6등급 단계에서는 0.70으로 분석되었다. 이러한

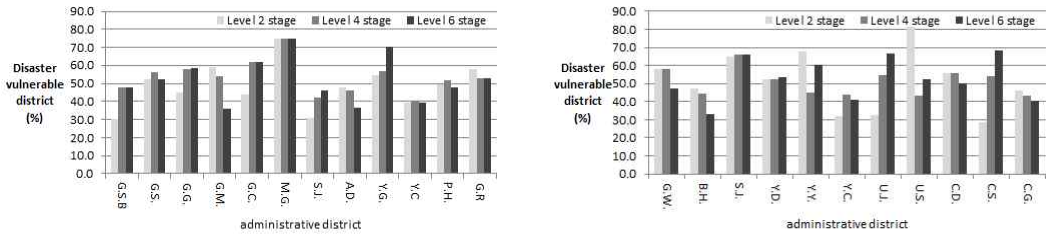

FIGURE 3. Relative assessment diagram of the level stage depending on average annual hourly maximum rainfall

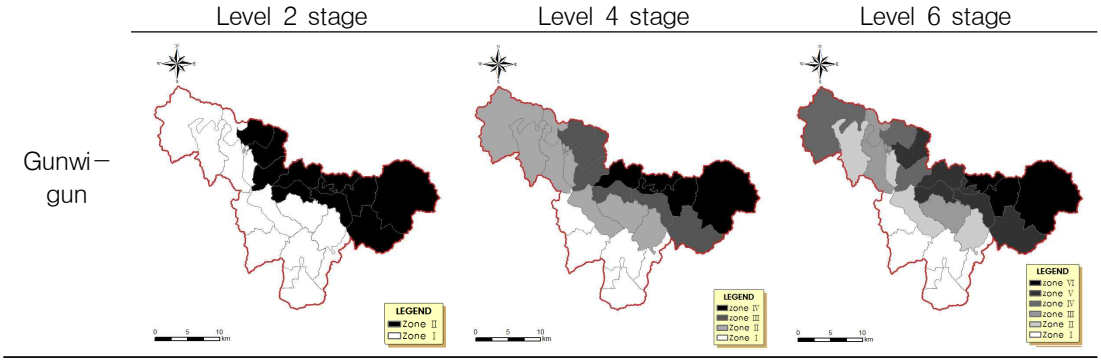

FIGURE 4. Disaster vulnerability distribution of the level stage depending on average annual hourly maximum rainfall in Gunwi-gun

TABLE 5. Status of Uiseong-gun

Name of city and county	Area (㎢)	Population (thousand people)	No. of census output areas (places)	Area by spatial unit analysis(㎢)		
				Minimum	Maximum	Average
Uiseong-gun	1,169.4	54.5	89	0.0036	61.4733	13.1391

결과로부터 연평균 시간최대강우량 지표인 경우 2등급과 4등급 관계보다 4등급과 6등급 관계에서 상관성이 높게 나타났다.

3. 강우특성에 따른 상대적 평가(Case C)

강우특성에 따른 재해취약지구에 대한 상대적 평가를 위하여 경상북도 시군 중 의성군을 선정하여 강우특성에 대한 재해취약지구 분포 현황에 대한 평가를 실시하여 상대성을 파악하고자 하였다. 대상지역인 의성군의 집계구는 총 89개로 최소면적 0.0036㎢, 최대면적 61.4733㎢로 다양하게 분포하고 있으며, 평균면적은 13.1391㎢로 조사되었다. 의성군의 현황은 표 5와 같다.

1) 강우특성에 따른 재해취약지구 검토

의성군에서 강우특성에 따른 재해취약지구의 상대적 평가를 분석하였으며, 강우특성에 따른 재해취약지구 분포현황은 표 6과 같다. 재해취약지구 분석 결과 연평균 80㎜/일 이상 강우일수에서는 ZoneⅠ 19개소, ZoneⅡ 19개소, ZoneⅢ 45개소, ZoneⅣ 6개소이며, 연평균 시간최대강우량에서는 ZoneⅠ이 16개소, ZoneⅡ

TABLE 6. Distribution status of vulnerable district according to rainfall characteristics

Classification	Disaster vulnerable district(places)				
	No. of rainfall days with 80㎜/day	Ave. annual hourly maximum rainfall	Maximum rainfall (10min)	Maximum rainfall (60min)	Maximum rainfall (24hr)
Zone Ⅰ	19	16	37	37	32
Zone Ⅱ	19	40	18	19	20
Zone Ⅲ	45	23	19	18	18
Zone Ⅳ	6	10	15	15	19

TABLE 7. Distribution status of vulnerable district according to additional indexes

Classification	No. of rainfall days + average annual hourly maximum rainfall	Maximum rainfall (10min+60min+24hr)	Total rainfall
Zone Ⅰ	37	27	30
Zone Ⅱ	37	33	22
Zone Ⅲ	8	14	21
Zone Ⅳ	7	15	16

40개소, ZoneⅢ 23개소, ZoneⅣ 10개소로 분석되었다. 또한, 기왕최대강우량 중 10분에서는 ZoneⅠ 37개소, ZoneⅡ 18개소, ZoneⅢ 19개소, ZoneⅣ 15개소, 60분에서는 ZoneⅠ 37개소, ZoneⅡ 19개소, ZoneⅢ 18개소, ZoneⅣ 15개소, 24시간에서는 ZoneⅠ 37개소, ZoneⅡ 18개소, ZoneⅢ 19개소, ZoneⅣ 15개소로 분석되어 각 Zone별로 차이를 보이고 있는 것으로 나타났다.

2) 추가지표에 따른 상대적 평가

분석 매뉴얼에서는 강우특성에 대하여 연평균 80㎜/일 이상 강우일수와 연평균 시간최대강우량을 활용하고 있으나 본 연구에서는 강우특성이 미치는 영향을 분석하기 위하여 기존에 제시된 방법에서 기왕최대강우량(10분, 60분 24시간)과 전체강우를 추가하여 상대적 평가를 실시하고 강우특성에 따른 상대성을 파악하고자 하였다.

각 분석 방법별 등급단계에 따른 상세내용은 표 7과 같다. 추가지표에 따른 상대적 평가 분석 결과 강우특성에 따라서 지리적 분포양상이 다르게 나타났으며, 또한 취약지구등급 분포의 직접영향권과 간접영향권이 뒤바뀌는 양상까지 보이고 있는 것으로 나타났다.

결 론

본 연구에서는 도시 기후변화 재해취약성 분석 중 폭우재해만을 대상으로 하여 집계구 이외의 읍·면·동단위의 공간단위와의 상대적 평가, 4등급 단계로 획일화되어 있는 자연적 분류법을 2등급 단계, 4등급 단계, 6등급 등의 분류단계에 따른 재해취약지구의 상대적 변화 평가, 그리고 2가지로 한정되어 있는 강우특성에 대하여 기왕최대강우량(10분, 60분, 24시간)을 추가하여 강우특성에 따른 상대성을 파악하고자 하였다.

첫째, 강수일수 기준의 공간단위에 따른 재해취약지구의 면적비는 분포양상이 다르게 나타났으며, 집계구와 읍·면·동단위의 공간분석은 일치하지 않음을 알 수 있었다. 최대강우량 기준의 공간단위에 따른 취약지구 면적비는 강수일수 기준과 유사한 편차의 성향을 보였다.

둘째, 재해취약성 등급단계별에 대한 재해취약지구의 비율이 상대적으로 차이가 발생하였으며, 2등급과 4등급 단계의 상관계수는 각 Case별로 0.64와 0.36, 4등급과 6등급 단계의 상관성계수는 0.77과 0.70으로 나타나 2등급과 4등

급 관계보다 4등급과 6등급 관계에서 상관성이 높게 나타났다.

셋째, 강우특성 추가지표에 따른 재해취역지구의 상대적 평가 결과 강우에 따라서 지리적 분포양상이 다르게 나타났으며, 또한 취약지구 등급 분포의 직접영향권과 간접영향권이 뒤바뀌는 양상까지 보이고 있는 것으로 나타났다.

넷째, 공간단위 분석, 재해취약성 등급단계, 강우특성의 지표로 인하여 재해취약지구의 비율의 상대적으로 차이를 많이 보이는 것을 알 수 있었으며, 이는 분석 지표에 따른 재해취약지구의 영향이 상대적으로 크게 나타나는 것으로 생각된다. 또한 매뉴얼에서 제시한 강우특성 지표 이외의 추가 강우특성에 따른 재해취약지구의 변동성이 크게 나타나고 있어 강우특성에 영향을 받는 재해취약구조물의 특성을 보다 반영한 좀 더 세밀한 지표의 선정이 필요할 것으로 판단된다. KAGIS

REFERENCES

Australian government. 2005. Climate change risk and vulnerability : Promoting an efficient adaptation response in Australia. Australian Greenhouse Office Department of the Environment and Heritage. 159pp.

Blakely, E.J. 2007. Urban planning for climate change, Lincoln Institute of Land Policy Working Paper. 25pp.

Chae, Y.R. and H.J. Jo. 2011. Analysis of methodologies for prioritizing climate change adaptation measures. 161pp (채여라, 조현주. 2011. 기후변화 적응대책 우선순위 평가 방법론 분석, 한국환경정책·평가연구원. 161쪽).

Cutter, S.L., J.T. Mitchell, and M.S. Scott. 2000. Revealing the vulnerability of people and places: A case study of georgetown county, south Carolina. Annals of the Association of American Geographers. 90(4):713-737.

IPCC. 2007. Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. The 4th assessment report. Cambridge, University Press, Cambridge. UK. 987pp.

Koh, J.K. 2009. A study on vulnerability assessment to climate change in Gyeonggi-do. Gyeonggi Development Institute. 182pp (고재경. 2009. 경기도 기후변화 취약성 평가 연구. 경기도개발연구원. 182쪽).

NCDPRC(National City Disaster Prevention Research Center). 2013. City climate change disaster vulnerability analysis manual(Ver 3.0). Ministry of Land, Infrastructure and Transport(국가도시방재연구센터. 2013. 도시 기후변화 재해취약성 분석 매뉴얼(Ver 3.0)). 국토교통부).

Sim, O.B. 2013. A Study on improving the methods to analyze urban disaster vulnerability due to climate change. Korea Research Institute for Human Settlements. 32pp (심우배. 2013. 도시의 기후변화 재해 취약성 분석 발전방안 연구. 국토연구원. 32쪽).

Yoo, G.Y. and I.A. Kim. 2008. Development and application of a climate change vulnerability index. Korea Environment Institute. 88pp (유가영, 김인애. 2008. 기후변화 취약성 평가지표의 개발 및 도입방안. 한국환경정책·평가연구원. 88쪽). KAGIS