

도시확장강도와 건물침수의 공간적 관계성

강상준* · 권태정**

Kang, Sang Jun*, Kwon, Tae Jung**

Spatial Relations of the Urban Expansion Intensity and Flooded Buildings

ABSTRACT

The paper is intended to explore the spatial relations between flooded buildings and urban expansion phenomena by employing urban expansion intensity index and hotspot analysis methods for the case of Gangneung. Two major results are as followed; first, flooding susceptible areas are found in the regions where the highly intense development occurs within a short period of time, so called pseudo-urbanization. Second, less flooded buildings exist in old towns where it is believed that there is the lack of urban infrastructure services. This study indicates the possibility that the highly intense development and pseudo-urbanization with a relatively short time period relate to flooded building events. In addition, the possibility leads to another issue that new developments might be increasing the flooding vulnerability worse than before, particularly, to the adjacent old towns. For the better understanding, it is desirable to have further related case studies in the near future.

Key words : Pseudo-urbanization, Flooded building, Spatial relation, Urban expansion intensity index, Flooding

초 록

본 연구는 홍수로 인한 건물침수 발생지역과 시가지 확장현상 사이에 어떠한 공간적 상관성이 존재하는가를 살펴보는 것을 목적으로 하고 있다. 이를 위하여 본 연구는 강릉시 일대를 대상으로 Urban Expansion Intensity Index 와 Hotspot Analysis를 이용하여 공간적 상관성을 살펴보았다. 연구대상지 분석을 통한 주요결과는 다음과 같다. 첫째, 건물침수가 많이 발생하는 지역은 도시확장강도가 높으며 또한 그러한 확장이 짧은 기간에 이루어진 가도시화 성격이 강할수록 건물침수 발생 강도가 증가하였다. 둘째, 양호한 도시기반시설이 미흡하다고 여겨지는 구도심 지역은 상대적으로 전체 연구대상지의 평균수준으로 건물침수가 발생하고 있는 것으로 나타났다. 본 연구는 높은 개발강도와 더불어 체계적인 도시기반시설마련의 가능성을 제한하는 비교적 짧은 기간의 도시개발 또는 가도시화는 주택침수발생현상을 유발한다는 가능성을 보여주고 있다. 이러한 개연성은 공동주택지와 같은 신규개발지 증가가 신규개발지 인근 기개발지의 홍수취약성을 인접지역 신규개발 이전 상태에 비해 증가시킬 수 있다는 것으로 유추해 볼 수 있으므로 이러한 인과관계에 대한 향후 실증분석이 필요하다고 판단된다.

검색어 : 가도시화, 건물침수, 공간적 관계성, 도시확장강도, 홍수

1. 서론

소방방재청 재해연보(2006-2010)에 따르면 도시 재해취약성 증가로 인하여 침수면적 대비 수해피해액 비율이 점차 증가하고 있다. 이는 곧 인구와 도시 기반시설 등이 집약된 도시라는 물리적 공간이 홍수 피해에 점차 노출되고 있는 것은 아난가라는 의구심을 가지게

* 정회원 · 국립강릉원주대학교 도시계획부동산학과 조교수 (Gangneung-Wonju National University · skang8@gwnu.ac.kr)

** 정회원 · 교신저자 · 동아대학교 도시계획공학과 부교수 (Corresponding Author · Dong-A University · edankwon@dau.ac.kr)

Received July 8, 2017/ revised July 13, 2017/ accepted July 17, 2017

한다. 우리나라 재해관련 피해액의 94%를 차지하는 호우와 태풍피해 예방을 위한 도시홍수관리는 과거 수리학적 측면에서 주로 이루어져왔다. 그러나 앞선 의구심을 반영하듯 최근 들어서 도시계획적 접근 또한 활발히 이루어지고 있다(Sim et al., 2009; Kang, 2011a; 2011b; Lee et al., 2016). 특히 건물침수와 도시화를 연구 주제로 Kang (2016)은 Morphological Spatial Pattern Analysis (MSPA) 방법을 이용하여 건물침수지역과 시가지유형간의 관계를 강릉시사례를 통해 살펴보았다. Kang (2016)의 연구에 따르면 도심지내 주택침수 대다수는 나홀로 건축물에서 발생하고 있는 것으로 나타났으며 이는 곧 파편화된 형태의 개발 사업들이 구조적으로 도시홍수에 취약할 수 있다는 가능성을 보여주었다. 또한 Rantz (1970)는 1969년 미국 사례분석을 통해 도시홍수는 체계적 계획을 고려하지 않은 무분별한 도시확장(urban sprawl)이 도시홍수의 포괄적 원인이 될 수 있음을 지적하였다. 하지만 국내사례 실증분석을 통해 도시화의 양적팽창강도가 도시홍수와 어떠한 공간적 관계성을 보이는가에 대한 연구는 찾아보기 어렵다.

이에 본 연구는 홍수로 인한 건물침수 발생지역과 시가지 확장현상 사이에 어떠한 공간적 상관성이 존재하는가를 살펴보는 것을 그 목적으로 하고 있다. 본 연구에서 수행하고자 하는 공간적 상관성은 여러 현상들의 관찰 결과값을 토대로 각각의 관계성에 대한 해석을 의미하며 이는 관찰되는 결과의 원인분석을 위한 유추 또는 가정수립을 가능하게 한다는 데에 그 의의가 크다고 볼 수 있다. 여기서 의미하는 시가지란 토지피복도 분류상 개발지(developed area)로 표현되는 지역을 의미한다.

2. 연구방법론

2.1 Urban Expansion Intensity Index

도시확장강도지수(urban expansion intensity index; UEII)는 연구대상지 전체면적 대비 신규로 증가되는 도시지역의 연평균 증가 비율로 정의된다. UEII 방법은 도시의 확장이나 도시 스프롤 현상의 계량적 측정을 목적으로 제안된 것으로 Liu et al. (2002), Zhao et al. (2003), Ma et al. (2008), Lu et al. (2014) 연구에서 제안·활용되었던 방법이다. Hwang et al. (2011)은 수도권 도시들의 도시화 비교분석에 UEII 방법을 사용하였다. UEII 공식은 다음과 같다.

$$UEII_i = \frac{ULA_i^{t_2} - ULA_i^{t_1}}{TLA_i \times \Delta t} \times 100 \quad (1)$$

이때 UEII의 $ULA_i^{t_2}$ 과 $ULA_i^{t_1}$ 는 time t_2 와 t_1 시기의 도시지역

의 면적을 의미한다. TLA_i 는 연구대상지 행정구역경계(i)내의 전체면적이며, Δt 는 관찰기간이 된다. UEII 분석은 특정 단위시간 내에서 도시화지역의 양적변화를 시계열적으로 해석할 수 있는 방식으로 일반적으로 관심지역 내 시가지 확장속도를 비교하는데 사용되고 있다. 경우에 따라서는 도시확장강도지수 산정 후 표준화를 통한 비교가 가능하다. Kang (2016) 연구에서는 도시의 시가지지역 확장과 파편화 변화분석을 위해 UEII 방법을 사용하여 1980년대 이후 현재까지 강원지역 일대의 도시화는 전국대비 매우 낮은 속도로 이루어졌으며 도시지역의 형태는 점차 파편화되고 있는 특징을 보이고 있다고 기술하였다.

2.2 Hot Spot Analysis

공간자료의 탐색적 분석과 공간적 자기상관성분석은 일반적으로 지리학 및 도시·지역학에서 빈번하게 사용되고 있다(Anselin, 1995; Kim et al., 2004; Jung et al., 2009; Kim et al., 2010). 그 중 Hotspot 분석은 연구지역 내에서 공간객체에 대한 Z score를 산출하여 높은 값과 낮은 값들의 집중도 표현을 가능하게 해준다. Anselin (1995)은 Hotspot을 분석을 통해 전염병 근원지 추적 또는 핵심시장 선정, 범죄예방 등의 연구적용 가능성을 제시하였다.

Hotspot 분석은 G_i^* 통계값(Z-score, P-value)으로 식(2)와 같다. X_j 는 대상지역 j의 속성값, W_{ij} 는 i와 j사이의 가중치, 그리고 G_i^* 는 Z-score 값이다. j는 i의 인접지역이다. 가중치는 방식에 따라 거리 또는 인접성 등의 여러 방법으로 가능하며 본 연구에서는 polygon과 vertex 중 어느 하나만 공유하게 되면 인접지역으로 간주하는 queen contiguity method를 적용하였다. Queen contiguity는 인접성 매트릭스 분석 시 가장 많이 사용되는 방식이다(Kim et al., 2004).

$$G_i^* = \frac{\sum_j w_{ij} x_j}{\sum_j x_i} \quad (2)$$

어떤 한 지역이 통계적으로 유의한 핫스팟으로 규정되기 위해서는 그 지역을 둘러싼 지역 또한 높은 값을 가지고 있어야 한다. 높은 값의 Z-score는 높은 값의 군집(hot spot)을 의미하며, 낮은 값의 Z-score는 낮은 값의 군집(cold spot)을 의미한다. 반면에 Z-score 값이 0에 가까우면 대상지역의 값이 전체 지역의 평균에 가깝다는 것을 의미한다. 판정은 신뢰도 95% ($P < 0.05$, $Z > 1.96$)로 설정하였다.

2.3 건물침수 및 시가지 자료

연구의 공간적 범위는 강원도 강릉시 일대를 사례지역으로 설정

하여 침수지역과 해당지역 시가화지역의 상관성에 대한 실증분석을 하고자한다. 연구의 시간적 범위는 건물침수자료와 토지피복도 시기인 2002년에서 2007년까지로 설정하였다. 본 연구에서는 2006년 이후 2017년 현재까지 공간분석이 가능한 정도의 건물침수 빈도 값을 갖는 현상이 없다는 점을 고려할 때 시기적으로는 과거에 생성된 자료임에는 분명하나 내용적으로는 사실상 최신자료의 성격을 띠고 있다.

강릉지역은 2002년 태풍 루사로 인해 피해를 많이 입은 지역이다. 태풍 루사는 80mm/hr의 강도와 일 강수량 890mm의 많은 양의 강우를 동반하였다. 2002년 이후 2016년까지 강릉시에는 총 4개 년도의 주요홍수피해가 기록되어 있다. 강릉시 내부자료(사유재산 피해기록)에 따르면, 침수된 건물은 2006년 2,173건, 2007년 2건, 2009년 69건, 2012년 358건으로 나타나고 있다. 본 연구에서는 최근 강릉일대에서 가장 많은 피해가 발생했던 2006년 건물침수 위치자료를 이용하였다(Fig. 1). 여기서 2006년 침수기록 중 시가화 지역에서 발생한 침수는 총 2,106개소로 나머지는 축사, 비닐하우스, 창고 등 시가화 외 지역에서 발생한 것으로 나타나고 있다.

시가지 분석은 국가수자원관리종합정보시스템의 토지피복도(www.wamis.go.kr)를 활용하였다. 강릉일대 경우 공간해상도는 5m ESRI 레스터 형태로 사용되었다. 현재 연구대상지에 활용 가능한 고해상도 자료는 중분류 토지피복도로 2002년, 2007년, 2013년도 피복도이며 해상도 1m인 세분류 토지피복도는 제공되고 있지 않다. 토지피복도는 건물침수당시의 토지이용현황과의 정합성 확보를 위해 2007년 자료를 이용하였다. 국가수자원관리종합정보시스템의 토지피복도 연도는 실제 촬영시점이 아닌 배포시기를

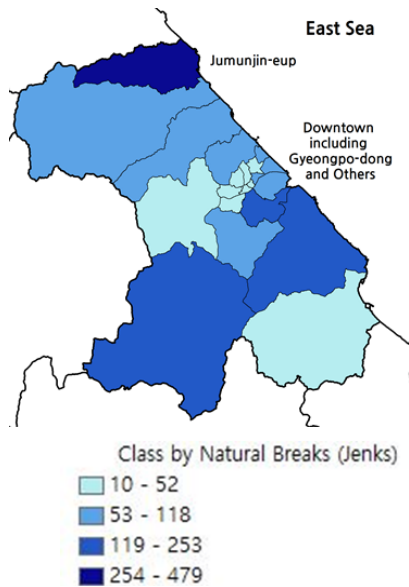


Fig. 1. Numbers of Flooded Buildings by Eup/Myeon/Dong based on Natural Breaks

의미한다는 점을 고려할 때 2007년 토지피복도 자료의 활용은 건물침수 당시의 토지이용현황을 가장 적절히 나타내고 있다고 볼 수 있다.

건물침수지역의 시가화 상태 변화관찰을 위한 시가화기간은 2002년에서부터 2007년까지 5년을 관찰기간으로 설정하였다. 5년이라는 기간설정의 이유는 첫째, 침수발생시기 시가화상태가 2007년 토지피복도라는 명칭으로 제공된다는 점을 고려할 때 동일한 5m 공간적 해상도로 비교할 만한 과거 토지피복도 자료가 2002년도 밖에는 제공되고 있지 않다는 점, 둘째, 5년이라는 짧은 기간 동안의 시가화변화는 곧 적절한 수준으로의 도시기반시설이 마련된 후 이루어지는 선계획 후개발 성격의 정상적·계획적 도시변화라기 보다는 체계적인 도시기반시설이 동반되지 않은 채 이루어지는 개별사업위주의 무계획적 가도시화 성격이라는 점 때문이다. 즉, 5년간의 시가지 변화는 가도시화 성격의 변화라는 점을 함의하고 있다. 해당기간동안 강릉지역 행정구역 전체면적의 변화는 없었으며 동일한 값(1,040km²)으로 적용되었다.

3. 분석결과

3.1 건물침수지 분포와 시가지 확장

연구대상지인 강릉시 일대에서 발생한 건물침수지(총 2106건)은 읍면동 기준으로 관찰할 수 있는데 대상지 북측인 주문진읍(Jumunjin-eup)에서 가장 높은 빈도(479)를 보이고 있으며 강릉전체지역 평균은 약 100.28건으로 나타나고 있다(Fig. 1).

또한 강릉시 서측의 대관령 일대는 다른 지역에 비해 강릉시 평균값에 못 미치는 매우 낮은 정도로 건물침수가 발생하였던 것으로 나타나고 있다. 강릉시 북측의 주문진읍(Jumunjin-eup)은 강릉시 평균을 상회하는 매우 높은 정도의 침수발생(Std>2.5)을 나타내고 있다(Fig. 2).

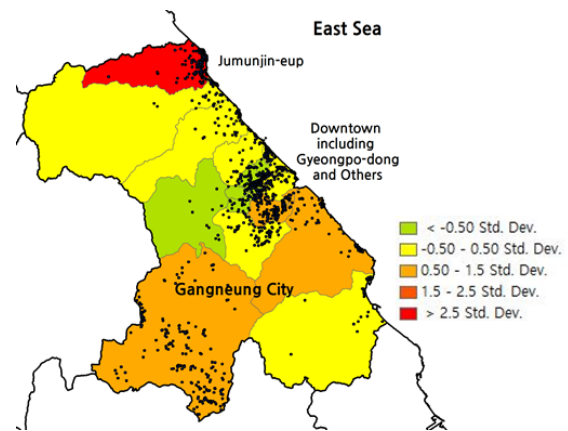


Fig. 2. Flooded Buildings and Standard Deviations (Std) based on Eup/Myeon/Dong

3.2 강릉지역 시가화 확장강도 분포

UEII 결과에 따른 강릉지역 시가화 확장강도는 다음과 같이 기술할 수 있다(Fig. 3). 첫째, 강릉의 구도심인 경포동(Downtown including Gyeongpo-dong and Others)은 지난 5년간 다른 지역과

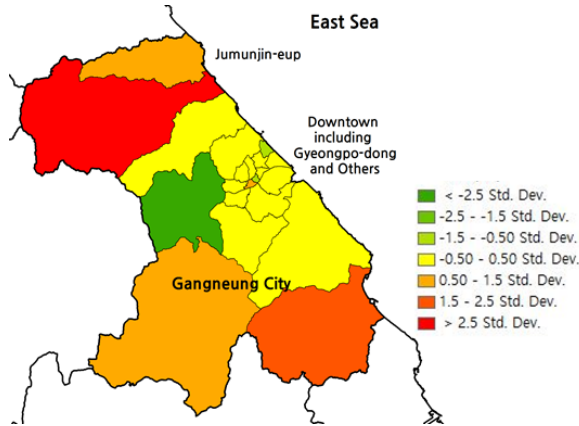


Fig. 3. Urban Expansion Intensity Index (UEII) based on Standard Deviation

유사한 정도의 시가화 확장강도를 보이고 있다. 둘째, 대상지 북측과 남측일대는 강릉시 타지역에 비해 비교적 높은 정도의 확장강도 값을 보이고 있다(Std>2.5). 관찰기간(2002-2007) 내 강릉시 일대 시가화변화는 Table 1과 같다.

3.3 건물침수지역과 시가화확장 주요지점

강릉시 UEII와 건물침수지역 각각에 대하여 Hotspot 결과는 다음과 같다. 먼저 건물침수의 경우 Fig. 4에서 나타나듯이 주문진읍(Jumunjin-eup)은 유의미한 정도(0.05<P)로의 침수발생빈도의 주요지점(hotspot)으로 나타나고 있다(Z=2.337). 강릉일대에서 주문진을 제외하고는 공간적 임의성 없음으로 나타난 건물침수 주요지지역은 발견되지 않았다.

시가지확장강도에서는 Hotspot과 Coldspot 각각 한 지역이 공간적 임의성 없음으로 나타나고 있다(Fig. 5). 앞서 건물침수지역 Hotspot결과도 동일하게 주문진읍은 유의미한 정도(0.05<P) 로의 시가화 확장강도(Z=2.25)의 주요지점으로 나타나고 있다. 반면 구도심일대(Downtown including Gyeongpo-dong and Others)

Table 1. Developed Areas for the Year of 2002 and 2007 and Derived Urban Expansion Intensity Index

EupMyeonDong	2002		2007		UEII
	Non-Developed Area (%)	Developed Area (%)	Non-Developed Area (%)	Developed Area (%)	
Sungsan	16.13	83.87	32.26	67.74	-3.22
Okcheon	17.50	82.50	22.50	77.50	-1.00
Chodang	86.16	13.84	87.42	12.58	-0.25
Kyo2	96.86	3.14	97.46	2.54	-0.12
Kujeong	97.46	2.54	98.02	1.98	-0.11
Gyeongpo	99.37	0.63	99.37	0.63	0.00
Sungdeok	73.98	26.02	73.98	26.02	0.00
Kyo1	97.05	2.95	96.61	3.39	0.09
Saacheon	99.10	0.90	98.60	1.40	0.10
Kangdong	98.46	1.54	97.74	2.26	0.14
Kangnam	94.93	5.07	94.01	5.99	0.18
Naekok	98.41	1.59	97.34	2.66	0.21
Ponam1	86.74	13.26	84.16	15.84	0.52
Hongjae	94.70	5.30	90.82	9.18	0.78
Ponam2	75.99	24.01	72.04	27.96	0.79
Songjeong	15.00	85.00	10.00	90.00	1.00
Jumunjin	79.45	20.55	72.60	27.40	1.37
Jungan	83.62	16.38	76.72	23.28	1.38
Wangsan	62.65	37.35	54.22	45.78	1.69
OkKae	63.38	36.62	47.89	52.11	3.10
Yeonkok	63.37	36.63	43.56	56.44	3.96
Total	97.00	3.00	96.55	3.45	-

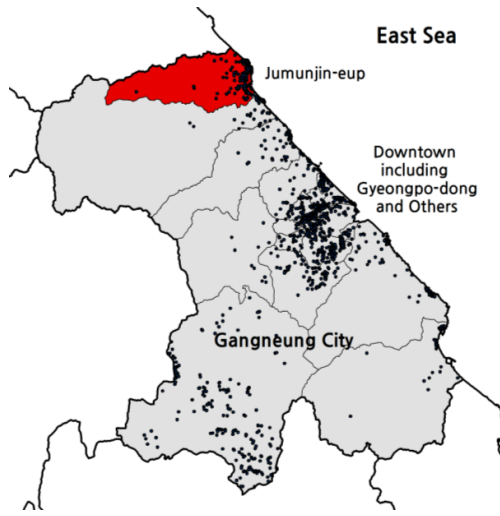


Fig. 4. Hotspot for Flooded Buildings



Fig. 5. Hotspot and Coldspot for UEII (2002-2007)

는 시가화 확장강도가 낮은 지역으로 둘러 쌓인 Coldspot ($Z=-1.85$)으로 나타나고 있다.

건물침수지역과 시가화확장 각각의 주요지점 분석으로 관찰되어지는 주요한 내용으로는 주문진읍 지역은 연구대상지 내 건물침수와 시가화확장의 주요지점(Hotspot)이라는 공간적 관계성을 보이고 있다.

4. 결론

본 연구에서는 건물침수지역과 시가지확장강도 사이에서의 공간적 상관성 관찰을 그 목적으로 하였다. 연구대상지로는 강릉시 일대를 선정하였고 2000년대 이후 2017년 현 시점까지 발생하였던

건물침수피해기록 중 가장 높은 빈도의 피해가 발생하였던 2006년 자료를 이용하였다. 또한 홍수발생 당시의 시가화 상태 변화관찰기간은 2002년에서부터 2007년까지로 설정하였다. 5년이라는 기간이 갖는 함의는 앞서 연구자료부문에서 기술하였듯이 정부에서 제공하는 토지피복도와 관련한 기술적 제약요소와 더불어 5년간의 시가지 변화는 적절한 도시기반시설이 동반된 계획개발에 의한 도시화로 보기 어려운 가도시화(pseudo-urbanization) 성격의 변화라는 점을 함의하고 있다. 주요결과로는 첫째, 연구대상지 북측인 주문진읍(Jumunjin-eup)에서 가장 높은 빈도(479)와 평균을 상회하는($Std>2.5$) 건물침수가 나타나고 있으며 강릉전체지역 평균은 약 100.28건으로 나타나고 있다. 둘째, 대상지 북측과 남측일대는 강릉시 타지역에 비해 비교적 높은 정도의 확장강도 값을 보이고 있다($Std>2.5$). 셋째, 구도심인 경포동일대는 지난 5년간 다른 지역과 유사한 정도의 시가화 확장강도를 보이고 있다. 넷째, 주문진읍(Jumunjin-eup)은 유의미한 정도($0.05<P$)로의 침수발생빈도의 주요지점(hotspot)으로 나타나고 있다($Z=2.337$). 다섯째, 구도심일대는 시가화 확장강도가 낮은 지역으로 둘러 쌓인 Coldspot ($Z=-1.85$)으로 나타나고 있다.

즉, 사례분석으로 정리할 수 있는 시가화확장과 건물침수와의 관계는 다음과 같다. 첫째, 건물침수가 많이 발생하는 지역은 도시확장강도가 높고 또한 그러한 확장이 짧은 기간에 이루어진 가도시화 성격의 지역에서 발생하고 있다. 둘째, 양호한 도시기반시설이 미흡하다고 여겨지는 구도심지역은 오히려 상대적으로 연구대상지 평균정도의 건물침수가 발생하고 있다는 점이다. 물론 구조적으로 주문진읍일대 시가화율(2002년 20.55%, 2007년 27.30%)이 강릉 타 지역에 비해 높은 편이기는 하지만, 그 외에도 시가화율이 높은 지역(2007년 송정동 시가화율 90%)이 다수 존재하고 있다는 점을 고려할 때 시가화 비율 자체가 높다고 해서 건물침수가 높다고 보기는 어렵다.

본 연구는 높은 개발강도와 더불어 체계적인 도시기반시설마련의 가능성을 제한하는 비교적 짧은 기간 발생하는 가도시화는 주택침수발생과 관계성이 있다는 가능성을 보여주고 있다. 이러한 가능성은 또한 공동주택지와 같은 신규개발지 증가는 인근 기개발지역 또는 구도심의 홍수취약성을 개발이전 상태에 비해 증가시킬 수 있다는 가능성으로 추론해 볼 수 있으며 이러한 부분에 대한 향후 실증분석이 필요할 것이다. 본 연구에서 도출된 결과는 앞서 Rantz (1970)가 제시하였던 도시홍수의 원인은 무분별한 도시 스프롤에 그 책임이 있으며 도시 스프롤은 도시기반시설의 체계적인 유지관리보수를 제약한다는 주장과 부합하는 관찰결과라 할 수 있다.

본 연구에서의 가장 우려할 만한 연구한계는 분석 데이터의 최신성 여부와 그 함의의 적절성이다. 일반적으로 연구 분석에

있어 데이터의 최신성은 다음 두 가지의 장점을 내포한다고 볼 수 있다. 첫째, 최신 데이터의 경우 과거에 비해 데이터 생성과정이 보다 향상됨에 따른 보다 높은 신뢰도를 갖는다. 둘째, 데이터 분석결과의 함의가 시의성을 담고 있다는 점에서 중요하다. 따라서 이러한 관점에서 본다면 본 연구에서 사용된 건물침수와 토지피복도와 같이 데이터 생성과정에서 과거와 최신 데이터 사이에 차별성이 없고, 분석결과의 함의가 데이터의 최신성 여부 보다는 데이터 속성 값에 그 의미가 큰 경우에는 데이터 최신성 여부는 사실상의 연구결과 제한요소로 작용하지는 않을 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서 사용된 2006년 침수자료의 경우, 2006년 이후 최근까지 공간분석을 할 수 있을 정도의 빈도 값을 보이는 침수현상이 발생하지 않고 있다는 점을 고려할 때 자료의 최신성은 현실적으로 극복하기는 어려운 점이라고 판단되며 향후 전국적 수준에서의 침수지역과 시가지 확장과의 상관성과 그 인과관계에 대한 후속연구 추진이 필요할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국립강릉원주대학교 도시지역연구소의 연구지원으로 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

References

- Anselin, L. (1995). "Local indicators of spatial association, LISA." *Geographical Analysis*, Vol. 27, No. 2, pp. 93-115.
- Hwang, H. Y., Song, S. K. and Cho, J. H. (2011). "Comparative analysis of urban interactions on urban spatial expansion and fractal phenomena - focused on the Seoul, Seongnam, Bucheon, Anyang." *Journal of Korea Planning Association*, Vol. 46, No. 7, pp. 115-133 (in Korean).
- Jung, D. Y. and Shon, Y. K. (2009). "Analysis on the spatial features of the neighborhood trade area using positive spatial auto-correlation method." *The Korea Society for Geospatial Information System*, Vol. 17, No. 1, pp. 141-147 (in Korean).
- Kang, S. J. (2011a). *A pilot study for the implementation of urban rain detention storages*, Gyeonggi Institute (in Korean).
- Kang, S. J. (2011b). *Strategy for the facilitation of disaster risk reformation program*, Gyeonggi Institute (in Korean).
- Kang, S. J. (2016). "The empirical analysis for the relationship between flooded buildings and developed area types." *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 17, No. 1, pp. 349-354 (in Korean).
- Kim, J. I. and Kwon, J. H. (2010). "Characteristics of the linkage between the central place and sub-regions in the Greater Metropolitan Area." *Journal of Korea Planning Association*, Vol. 45, No. 1, pp. 139-153 (in Korean).
- Kim, Y., Ha, C. H. and Ahn, J. K. (2004). "Comparative study on urban structure with spatial autocorrelation and interaction analysis in Masan and Changwon." *Journal of Korea Planning Association*, Vol. 39, No. 6, pp. 7-22 (in Korean).
- Lee, B. J., Kim, M. S., Kim, S. J. and Chan, E. H. (2016). *Complementary utilization of disaster related districts and regions for disaster preventive urban planning*. Korea Research Institute for Human Settlements (in Korean).
- Lu, S., Guan, X., He, C. and Zhang, J. (2014). "Spatio temporal patterns and policy implications of urban land expansion in metropolitan areas: a case study of Wuhan urban agglomeration, central china." *Substantiality*, Vol. 6, pp. 4723-4548.
- Ma, R., Gu, C., Pu, Y. and Ma, X. (2008). "Mining the urban sprawl pattern: a case study on Sunan, China." *Sensors*, Vol. 8, pp. 6371-6395.
- Rantz, S. (1970). *Urban sprawl & flooding in southern california*, USGS, US.
- Sim, W. B., Wang, K. I., Lee, B. H., Cha, J. W. and Kim, H. Y. (2009). *Resilient urban areas against climate change: a synergistic approach to urban hazard mitigation*. Korea Research Institute for Human Settlements (in Korean).
- Zhao, S. X. B., Chan, R. C. K. and Sit, K. T. O. (2003). "Globalisation and the dominance of large cities in contemporary China", *Cities*, Vol. 20, pp. 265-278.