

창원시 용도지역별 침수 피해에 따른 위험등급화 분석

박기용¹, 정진호², 전원식^{3*}

¹충북대학교 도시공학과, ²청주시 도시재생지원센터 도시계획부, ³청주대학교 도시계획부동산학과

Analysis of Risk Classification on the Urban Flood Damage in Changwon city

Ki-Yong Park¹, Jin-Ho Jeong², Won-Sik Jeon^{3*}

¹Department of Urban Engineering, Chungbuk National University

²Division of Urban Planning, Cheongju Urban Regeneration Center

³Department of Urban Planning, Cheongju University

요약 본 연구는 인구와 주요시설들이 집중되어 있는 도시지역에 국지성 폭우가 발생했을 경우, 용도지역별로 침수 피해에 대한 위험도를 등급화하여 효율적으로 대처하기 위해 연구하였다. 창원시를 대상으로 토지이용의 제도적 기반이 되는 용도지역과 재산 가치를 추정할 수 있는 공시지가, 그리고 건축물의 피해 면적과 밀도를 추정하기 위한 용적률 등에 대한 자료를 확보하여 Fuzzy모형을 통해 동일한 침수면적이 발생했을 경우 사회·경제적 피해에 대한 민감도를 파악함으로써 용도지역별로 피해 정도를 위험등급화를 하였다. 분석결과 창원시의 5개 구(마산합포구, 마산회원구, 성산구, 의창구, 진해구)에서 용도지역별 침수피해 순위는 상업지역, 주거지역, 공업지역, 녹지지역 순으로 동일하게 나타났으며, 이는 상업지역이 공시지가와 용적률이 가장 높아 침수 피해에 대한 재산 피해가 높기 때문으로 판단된다. 하지만 마산회원구와 성산구의 세부적인 분석결과에서 앞선 결과와는 상이한 것을 볼 수 있었는데, 지역의 환경 및 특성에 따라 용도지역별로도 침수위험등급이 달라질 수 있음을 보여주고 있다. 본 연구에서 도출된 결과물은 향후 도시계획과 연계하여 토지이용계획 수립 시 도시 침수피해를 줄이기 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 뿐 아니라, 도시 지역 개발 계획 수립 시 침수 피해 정도를 사전에 예측할 수 있다. 또한, 기후변화와 도시화라는 이슈와 함께 폭우 발생 시 도시 내수침수 저감에 기여하기 위한 대책으로 토지이용 부문이라는 새로운 대책을 제시했다는 점에서 큰 의미가 있다고 할 수 있다.

Abstract This study aims to effectively respond to urban local rainstorms by classifying the risk against flood damage for each use district. The risk classification is based on sensitivity analysis of the socio-economic damage caused by local rainstorms in Changwon city, Korea by a Fuzzy model using data, such as the districts that provide institutional bases for land use, land prices, which estimate the property values, and floor area ratios, which measures the density and areas of flood damage. The analysis result indicated that flood damage in five districts of Changwon (Masan happo-gu, Masan Hoewon-gu, Sungsan-gu, Euichang-gu, and Jinhae-gu) is highest in the order of commercial areas, residential areas, industrial areas, and forests, which was attributed to high land price and floor area ratio of commercial areas. On the other hand, specific analysis in Masan Hoewon-gu and Sungsan-gu was different from the previous result, indicating that the risk against flood damage may vary according to the districts depending on their local conditions. The analysis from this study can be applied to future urban planning and be used as a guideline to estimate the potential flood damage. Overall, this study is meaningful in that it proposes an effective management of land use as a new resolution to mitigate of urban flood damage within a broader perspective of climate change and urbanization.

Keywords : Climate Change, Flood Damage, Land Use, Urban Flood, Use District

*Corresponding Author : Won-Sik Jeon(Cheongju Univ.)

Tel: +82-10-8845-8998 email: pencilbox@nate.com

Received November 11, 2016

Revised (1st December 5, 2016, 2nd December 6, 2016, 3rd December 8, 2016)

Accepted April 7, 2017

Published April 30, 2017

1. 서론

최근 들어 지구온난화로 인한 기후변화로 태풍 및 홍수, 한파, 설해 등 자연재난의 피해발생빈도와 규모가 증가하고 있으며[1], 우리나라의 경우 자연재해의 90% 이상이 홍수, 호우, 태풍 등 주로 풍수재해에 한정되고 있다. 국지성 집중호우, 태풍 등 기후변화에 따른 이상 기상현상으로 인해 재해원인이 다양해지고 있지만 재해를 극복하거나 적용하면서 도시가 성장할 수 있는 방안에 대해 소홀했음은 사실이다. 한편, 우리나라의 도시는 1960년대 이후 급격하고 밀도 있는 도시화과정을 거치면서 재해에 대해서는 간과한 상태로 성장해왔다고 할 수 있다. 특히 도시화에 따른 인위적 개발은 필연적으로 재해위험성을 증가시킬 수밖에 없으며, 이는 도시가 갖는 인구와 인프라의 집중화 현상과 고밀도로 급속하게 개발되었다는 점에서 재해 발생 시 막대한 인명 및 재산 피해가 발생하는 것이다[2].

도시화는 인구증가와 토지이용을 동반하면서 도시에 서 발생하는 홍수피해를 증가시켰다. 합수·유수 기능을 담당했던 산림, 초지, 전, 담 등 투수성 지표들이 아스팔트 포장과 시멘트, 건물로 피복되어 저투수능이나 침투 기능이 없는 불투수성 지표로 바뀌게 되었다. 이러한 불투수성 지표의 증가는 집중호우 시 도시지역으로부터의 강수 유출에 의한 홍수 도달시간을 단축시키고 침투유량을 증대시킴으로써 도시하천의 치수기능을 저하시키는 역할을 하게 된 것이다. 토지이용의 변화는 단기간에 하천유량을 급격하게 증가시켜 홍수의 위험을 더욱 높이고 있으며[3], 토지이용을 매개로 자연재해의 취약성이 가중된다 할 것이다[4].

도시지역은 인구와 자본이 고도로 집적된 지역이기 때문에 보다 높은 수준의 홍수방어 체계가 요구된다. 따라서 전통적인 하천 및 하수시설 중심의 구조적 대책에 더하여 토지이용, 건축물, 정보전달 체계 등의 내수침수 대책과 비구조적 대책까지 고려하는 보다 종합적인 대책이 필요하다. 특히, 도시지역의 침수원인은 하천범람과 같은 외수에 의한 것 보다는 내수의 배수불량에 의한 저지대, 지하공간 등의 침수가 많은 부분을 차지하기 때문에 하천시설물 보다는 건축물 및 토지이용 측면의 대책이 중요하다[5]. 또한, 홍수 및 호우재해가 매년 증가하고 있지만 그 대책 또한 미비하여 침수피해가 발생한 지

역에 반복적으로 피해가 발생하고 있는 실정이다. 서울시 강남지역 피해사례를 보면 침수시 다양한 구조적인 방법으로 대책을 마련하였지만 2000년 이후 5회 이상 침수되었다. 이 사례로 볼 수 있듯이 구조적 대책만으로는 침수피해를 완벽하게 저감시키는 것은 어렵다는 것을 보여주며, 사후 대책을 마련한다 할지라도 대규모의 예산이 필요하므로 선택과 집중의 문제가 발생하게 된다.

본 연구에서는 도시 침수에 의한 위험지역을 사전에 파악하고 침수를 저감하기 위한 토지이용 측면에서의 방안을 제시하는 것이 목적이다. 따라서 재산가치를 추정할 수 있는 필지별 공시지가와 건축물의 피해면적을 추정하기 위한 건축물별 용적률을 고려하여 동일한 면적이 침수되었을 경우, 어떠한 지역이 내수침수의 피해로부터 얼마만큼의 위험성에 노출되어 있는지를 보다 효과적이고 정확하게 파악함으로써 침수피해의 우선순위를 결정해 선택과 집중을 통해 침수피해를 최소화할 수 있음은 물론 효율적인 대처가 가능해 질 것이다.

또한, 도시계획의 토지이용계획 구상 시, 용도지역에 대한 침수 위험등급화를 적용하여 사전에 침수피해에 대비한 계획을 한다면 사후 구조적인 대책 및 방재시설에 대한 설치가 일부 불필요하므로 예산 저감이 가능해질 것으로 판단된다.

2. 연구방법

2.1 침수피해의 원인

침수피해 원인과 영향인자 검토결과는 분석의 관점과 정밀도에 따라 Fig. 1과 같이 다양하게 구분할 수 있으며, 자연적 요인인 강우조건, 지형조건과 사회적 요인인 토지이용(용도지역) 조건, 그리고 시설적 요인인 방재시설 조건, 배수시설 조건 등으로 구분된다. 이러한 요인들의 상호작용이 우수의 수문·수리학적 특성에 영향을 미쳐 침수피해로 나타나게 된다. 수문·수리학적 요인으로 침수심, 침수지속시간, 유속, 홍수파, 토사 등의 수반 정도 등이 있다[6].

토지이용과 침수피해와의 관계에서 침수피해의 원인은 크게 세 가지 측면에서 볼 수 있다. 첫 번째, 도시지역의 불투수면적 및 인공지반의 증가, 지표 유출량의 증가, 짧은 도달시간 등으로 인해 강우유출 특성에 영향을 미침으로써 배수시설의 용량을 초과하여 침수피해를 발생

시킬 수 있다. 두 번째, 도시지역에 개발밀도가 증가함으로써 동일한 면적이 침수되었을 경우, 기능에 따른 자산 가치가 높고 낮음에 따라 침수피해 발생 정도가 다르게 나타날 것으로 판단된다. 세 번째, 침수피해에 대한 가능성을 전혀 고려하지 않은 저지대 개발, 경사가 낮은 지역의 개발, 지하공간 개발 등으로 인해 침수피해를 발생시킬 수 있다.

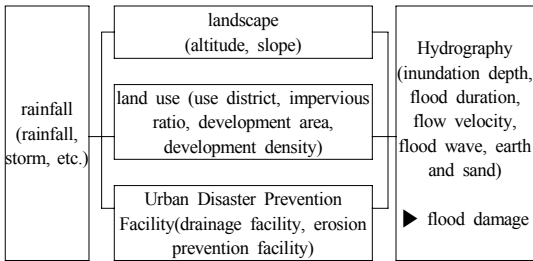


Fig. 1. Influence factors of flood damage

2.2 침수피해의 유형

침수피해는 피해 대상에 따라 인명피해, 재산피해, 도시기능상의 피해 등으로 구분할 수 있으며, 대부분의 침수피해가 기상조건, 즉 호우나 태풍에 의해 발생하기 때문에 일정수준 예측 가능성이 있기 때문에 인명피해보다는 재산피해와 도시기능상의 피해가 주를 이룬다[6].

2.3 대상지의 개요

전국 홍수피해액 분포도를 보면 국토교통부에서 Fig. 2와 같이 분석되었으며, 홍수피해가 큰 지역과 피해가 적은 곳을 모두 포함하고 있는 특수성과 데이터 구축이 용이한 장점을 갖고 있는 창원시를 대상지역으로 선정하였다.

창원시는 2010년 7월 창원, 마산, 진해시가 통합됨으로써, 전국 최초의 성공적인 행정통합 모델을 창조하여 동남 광역경제권 제1의 성장거점 도시로 도약하고 있는 도시로서, 행정구역은 현재 마산합포구, 마산회원구, 성산구, 의창구, 진해구의 5개의 구, 351개의 법정동, 62개의 행정동으로 구성되어 있으며 창원시 행정면적은 746.58km²이다.

창원시의 토지피복도를 활용하여 1975년부터 2007년까지의 관내 토지이용현황을 검토한 결과 시가화용지의 비율은 1990년대 3.95%에서 최근 13.61%로 크게 증가하였다. 따라서 불투수면적의 증가로 도심지 내수침수

발생이 우려된다. 또한 2025년 창원시 도시기본계획(안)의 단계별 개발계획에서는 시가화용지의 비율은 2020년 14.13%에서 2025년에는 15.72%까지 증가[7]하는 것으로 계획되어 있어 내수침수에 대한 대책이 필요한 것으로 판단된다.

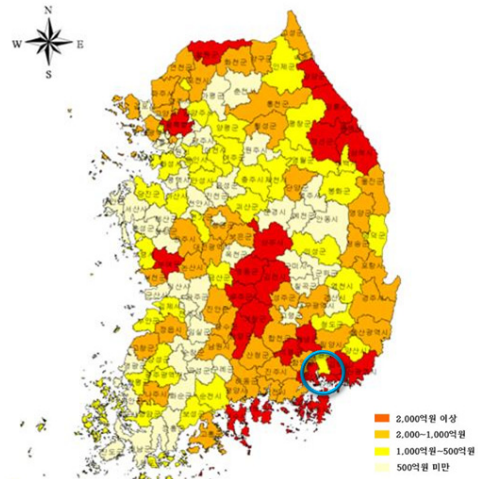


Fig. 2. Distribution of national flood damage in Korea Source: A Study on the Effective Reducing for Prevention the Urban Flood Damage, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2008.

2.4 평가항목 도출

최근 도시화와 기후변화로 인해 그 피해가 점점 확대되고 있는 도시침수와 관련하여 현재까지 대부분의 재해 예방 대책은 하수도, 펌프장 등 시설물 중심의 구조적인 대책이 주류를 이루었고[8], 일부 비구조적인 대책이 연구되었다고 할지라도 토지이용 부문과 관련해서는 생태면적율 및 불투수율이라는 단순한 지표가 사용되었다[1, 2, 6]. 하지만 이러한 지표는 토지이용의 광범위한 특성을 반영하는 데는 한계가 있고, 재해위험을 근본적으로 저감시키기에도 한계가 있을 수 밖에 없다. 따라서 본 연구에서는 토지이용의 제도적 기반이 되는 용도지역이 반영된 침수위험도 평가를 통해 도시계획적인 측면에서 침수지역에 대한 피해정도를 분석하고, 그 피해를 최소화 혹은 저감시킬 수 있는 방안을 마련하고자 용도지역을 선정하여 연구를 진행하였다.

단, 용도지역의 주요인자 선정과정에서의 선정기준은 내수침수만을 고려하기 때문에 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 시행령 제2절 제30조 용도지역의 세분에 의거하여 Table 1과 같이 도시지역에 한하여 주거지역, 상

업지역, 공업지역, 녹지지역으로 선정하였다.

Table 1. Selection of key indicators of use district

| High Class | Middle class |
|--------------|--------------|
| Use district | Residential |
| | Commercial |
| | Industrial |
| | Green |

또한, 침수 위험도 분석을 위해 객관화된 지표와 수치를 선정하였다. 침수피해 시 재산피해가 주를 이루기 때문에 경제규모의 기준으로 토지이용 측면에서 도시지역별 피해를 가능하기 위해 한국감정원에서 제시하고 있는 용도지역별 공시지가를 선정하였으며, 건축 면적 및 밀도에 따라 피해가 다를 것으로 예상되어 용적률을 지표로 선정하였다.

침수피해는 용적률과 관련하여 수문·수리학적 요인

Table 2. Flood damage for a typical residential property

| Depth of floodwater | Damage to the building | Damage to services and fittings | Personal property damage |
|--|--|--|---|
| Below ground floor level. | Minimal damage to the main building. Floodwater may enter basements, cellars and voids under floors. Possible erosion beneath foundations. | Damage to electrical equipment and other services in basements and cellars. Fittings in basements and cellars may need to be replaced. | Possessions and furniture in basements and cellars damaged. |
| Up to half a metre above ground level. | Damage to internal finishes, such as wall coverings and plaster linings. Wall coverings and linings may need to be stripped to allow walls to dry out. Floors and walls will become saturated and will require cleaning and drying out. Damp problems may result. Chipboard flooring likely to require replacement. Damage to internal and external doors and skirting boards. | Damage to electricity meter and consumer unit. Damage to gas meters and low-level boilers and telephone services. Carpets and floor coverings may need to be replaced. Chipboard kitchen units are likely to require replacement. Washing machines, free standing cookers, fridges and freezers may need to be replaced. | Damage to sofas, other furniture and electrical goods. Damage to small personal possessions. Food in lower kitchen cupboards may be contaminated. |
| More than half a metre above ground level. | Increased damage to walls, possible structural damage. | Damage to higher units, electrical services and appliances. | Damage to possessions on higher shelves. |

Source: CIRIA, Designing for Exceedance in urban Drainage, Good Practice, 2006[9].

에서 침수심이 가장 기본적인 요인이라고 할 수 있으며, Table 2에서 보는바와 같이 실질적인 침수피해는 지하와 지상 50cm까지 이고, 지상 50cm이상은 간접적인 피해가 주를 이루며 피해가 크지 않은 것으로 나타났다.

2.5 Fuzzy 추론

퍼지이론은 1965년 미국 캘리포니아 대학(버클리)의 Zadeh 교수가 'Information and Control' 이라는 학술지에 'Fuzzy Sets'이라는 논문을 발표한 것이 시초이다. 이러한 퍼지집합은 후에 퍼지이론(fuzzy theory) 퍼지측도(fuzzy measure) 등의 이론으로 발전해 왔다.

애매한 표현을 처리할 수 있는 이론적인 바탕을 제공하는 것이 바로 퍼지이론(Fuzzy Theory)이며, 오늘날 우리 인간이 접하는 인공지능형 컴퓨터 기술의 대부분은 퍼지이론을 통해 만들어 졌다고 볼 수 있다. 이러한 퍼지이론을 기존 전문가시스템의 근사추론에 적용한 인공지능 기법들이 전자공학, 신경학, 의학, 도시공학, 건축공학 등 적용분야가 다양화되어 가고 있다[10].

원소 x 가 집합 X 에 포함될 가능성에 대하여 일반집합에서는 0 아니면 1로 표현되나, Fuzzy 이론을 기반으로 하는 Fuzzy 집합에서는 0에서 1사이의 실수로 나타낼 수 있다. 이처럼 Fuzzy 집합은 경계가 모호한 집합을 의미하며, 이를 나타내기 위하여 퍼지수(fuzzy number)가 도입되었다. 퍼지수는 정규 퍼지수, 삼각 퍼지수, 사다리꼴 퍼지수 등의 다양한 종류가 있으며[11], 본 연구에서는 Chang(1996)[12]에 의하여 제시된 삼각 퍼지수를 활용하였다.

퍼지추론에 의한 근사추론 결과는 퍼지집합으로 출력되며 이를 명확한 수치로 나타내는 과정을 비퍼지화(defuzzification)라 한다. 추론의 결과로 생긴 퍼지집합을 응용시스템에 적용하기 위해서는 비퍼지화 과정을 거쳐야 한다. 비퍼지화 전략의 목표는 퍼지집합을 가장 잘 대변할 수 있는 실수값을 찾아내는 것이라 볼 수 있다. 그러나 아직까지 비퍼지화 방법을 선택하는 체계적인 기준이 존재하지 않는다. 이 문제점은 여러 논문에서 지적된 바 있다. 현재 가장 일반적으로 사용되고 있는 비퍼지화 방법은 최대값 방법, 최대평균값 방법, 무게중심법의 세 가지이다[13]. 본 연구에서는 비퍼지화 방법 중 가장 많이 사용되며, 정확성이 높은 퍼지수를 계산할 수 있는 무게중심법에 의한 비퍼지화 과정을 실시하였다.

침수피해 위험등급화 분석에서 침수피해 지역 발생 시

상가지역과 주거지역에 동일한 면적이 침수된 경우 어떠한 지역이 얼마만큼 더 피해가 큰지를 수치적으로 표현하기는 매우 애매한 상황이다. 즉, 침수피해가 크고 적응을 인간의 언어적 함수인 수치로 표현하기의 모호함인 것이다. 따라서 기존의 연구방법과는 달리 언어적 모호성에 의한 의사결정의 어려움을 극복할 수 있을 뿐만 아니라, 지표간의 관계와 영향력 등을 복합적으로 판단할 수 있는 퍼지추론 방법론을 활용하여 객관화된 지표와 수치를 통해 종합적인 침수위험도를 분석하고자 한다.

3. 결과 및 고찰

3.1 창원시 용도지역

창원시 도시기본계획상의 용도지역 현황을 조사한 결과 Table 3, Fig. 3과 같으며, 도시지역이 466,228천㎡으로 전체의 54.5%이고, 관리지역이 83,111천㎡(9.7%), 농림지역이 181,683천㎡(21.3%), 자연환경보전지역이 105,408천㎡(12.3%)인 것으로 조사되었다.

Table 3. Current status of Changwon use district

| | Area (thousand m ²) | Proportion (%) | |
|--------------------|---------------------------------|----------------|------|
| Total Sum | 854,768 | 100.0 | |
| Sum of Urban areas | 466,228 | 54.5 | |
| Urban areas | Residential | 57,644 | 12.4 |
| | Commercial | 9,383 | 2.1 |
| | Industrial | 38,285 | 8.2 |
| | Green | 360,461 | 77.3 |
| Management | 83,111 | 9.7 | |
| Agriculture | 181,683 | 21.3 | |
| Conservation | 105,408 | 12.3 | |
| Undefined | 18,338 | 2.2 | |

Source: 2025 Fundamental Urban Planning of Changwon, Changwon, 2014.

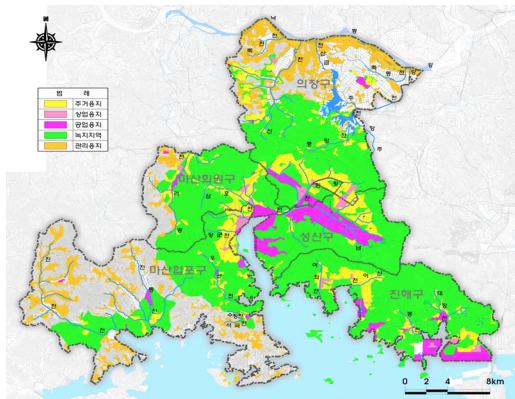


Fig. 3. Current status of use district of Changwon

3.2 용도지역별 공시지가 및 용적을 분석

한국감정원에서 제시하고 있는 용도지역별 개별공시지가를 활용하여 데이터를 구축하였다. 창원시의 필지별 공시지가는 총 198,138건이며, 마산합포구 56,048건, 마산회원구 35,277건, 성산구 13,907건, 의창구 41,606건, 진해구 51,300건의 데이터를 확보하여 구축하였다. 각 구별로 용도지역 공시지가의 평균값은 대체적으로 상업지역이 가장 높은 것으로 나타났으며 주거지역, 공업지역, 녹지지역 순으로 나타났다. 마산회원구만이 상업지역, 공업지역, 주거지역, 녹지지역 순으로 나타났으며 최대값, 최소값, 평균값의 세부적인 내용은 Table 4와 같다.

Table 4. Land price for each use district

| District | Land use | Land Price (Won) | | |
|--------------|-------------|------------------|-----------|-----------|
| | | Minimum | Maximum | Average |
| Masinhappo | Residential | 185,674 | 778,279 | 431,176 |
| | Commercial | 233,076 | 1,995,026 | 985,878 |
| | Industrial | 92,651 | 1,108,859 | 422,456 |
| | Green | 19,386 | 149,069 | 57,198 |
| Masan Hoewon | Residential | 263,469 | 626,467 | 479,336 |
| | Commercial | 587,271 | 1,029,207 | 870,516 |
| | Industrial | 328,891 | 626,515 | 536,606 |
| | Green | 31,303 | 163,741 | 91,478 |
| Sungsan | Residential | 86,850 | 1,431,222 | 758,240 |
| | Commercial | 392,700 | 2,128,028 | 1,620,230 |
| | Industrial | 35,700 | 715,782 | 438,049 |
| | Green | 4,120 | 221,524 | 107,620 |
| Euichang | Residential | 191,813 | 1,004,725 | 531,555 |
| | Commercial | 191,416 | 2,247,306 | 672,227 |
| | Industrial | 57,600 | 614,744 | 207,030 |
| | Green | 5,110 | 315,000 | 96,708 |
| Jinhae | Residential | 161,428 | 676,534 | 339,484 |
| | Commercial | 145,333 | 1,144,320 | 549,940 |
| | Industrial | 6,900 | 350,727 | 236,417 |
| | Green | 7,963 | 349,390 | 93,197 |

Source: Appraisal Information System, Official Appraised Land Value, Korea Appraisal Board 2016.

용도지역별 용적률 현황 파악을 위해 창원시 건축경관과에 의뢰하여 데이터를 구축하였다. 창원시의 필지별 용적률은 총 47,487건이며, 마산합포구 7,458건, 마산회원구 8,054건, 성산구 6,573건, 의창구 11,099건, 진해구 14,303건의 데이터를 확보하여 구축하였다. 각 구별로 용도지역 용적률의 평균값 역시 대체적으로 상업지역이 가장 높은 것으로 나타났으며 주거지역, 공업지역, 녹지지역 순으로 나타났다. 마산회원구만이 주거지역, 상업지역, 공업지역, 녹지지역 순으로 나타났으나 평균값은

큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 최대값, 최소값, 평균값의 세부적인 내용은 Table 5와 같다.

일반적인 경우 대체적으로 상업지역보다 주거지역의 공시지가가 높고, 주거지역보다 상업지역의 용적률이 높지만, 지역의 환경 및 특성에 따라 역전현상이 발생할 수도 있다는 사실을 마산회원구 지역의 분석결과를 통해서 보여주고 있다. 마산회원구의 경우 주거지역이 대부분 산간지역에 위치하고 있는 것과는 상대적으로 공업지역의 지리적 위치가 좋은 것으로 판단된다. 따라서 공업지역의 공시지가가 주거지역보다 높은 것으로 판단된다. 또한, 구시가지로서 저층형의 낙후된 건축물이 대부분이며, 상업지역은 오래전에 형성되어 굉장히 쇠퇴한 건축물들이 저층형으로 건설되어 있는 반면에 주거지역의 경우 새로이 형성된 고층형 아파트와 주거지가 많이 건설되었기 때문에 상업지역보다 주거지역 용적률의 평균값이 더 높은 것으로 판단된다.

Table 5. Floor area ratio for each use district

| District | Land use | Floor area ratio (%) | | |
|------------------|-------------|----------------------|---------|---------|
| | | Minimum | Maximum | Average |
| Masinhappo | Residential | 30.42 | 138.30 | 89.93 |
| | Commercial | 27.52 | 229.47 | 117.94 |
| | Industrial | 8.63 | 138.25 | 65.77 |
| | Green | 0.76 | 44.43 | 26.63 |
| Masan Hoewon | Residential | 49.35 | 117.23 | 100.98 |
| | Commercial | 74.68 | 185.02 | 96.66 |
| | Industrial | 0.44 | 73.91 | 60.74 |
| | Green | 8.62 | 52.97 | 28.66 |
| Changwon Sungsan | Residential | 15.49 | 116.05 | 89.27 |
| | Commercial | 90.39 | 299.49 | 255.73 |
| | Industrial | 5.41 | 79.18 | 22.60 |
| | Green | 5.59 | 71.20 | 40.53 |
| Euichang | Residential | 49.91 | 120.58 | 95.51 |
| | Commercial | 25.3 | 258.64 | 118.44 |
| | Industrial | 25.47 | 112.97 | 52.48 |
| | Green | 0.03 | 66.79 | 34.94 |
| Jinhae | Residential | 24.78 | 140.99 | 79.02 |
| | Commercial | 21.62 | 189.63 | 116.76 |
| | Industrial | 7.28 | 103.29 | 37.78 |
| | Green | 5.11 | 80.10 | 24.19 |

Source: Changwon city Data in Construction and Landscape Department, 2016.

3.3 용도지역 침수위험 등급화

용도지역에 대한 위험등급화는 주거지역, 상업지역, 공업지역, 녹지지역을 토대로 산정하였으며, 공시지가와 용적률을 주요인자로 선정하여 분석하였다. 단, 침수 발생 시 공시지가와 용적률의 중요성이 다를 것을 감안하

여 각 인자간의 상호관계에 따라 침수위험의 높고, 낮음에 대하여 전문가 설문을 실시하여 필요한 자료를 수집하였다.

Anderson(1997)[14]에 의하면 10~15명의 소집단의 전문가만으로도 유용한 결과를 얻을 수 있음을 규명하였으며, 10~15명의 소집단 패널만으로 유용한 결과를 얻을 수 있다고 하였다[15]. 본 연구는 도시침수 위험도 평가를 위한 조사대상은 도시분야, 환경분야, 건축분야, 토목분야, 정책분야 등의 학계, 시공, 관리 등에 종사하며 경력 10년 이상인 전문가 집단 15명을 대상으로 전문가 설문을 실시하여 필요한 자료를 수집하였다. 자료 수집을 위한 방법은 직접방문과 e-mail을 병행하여 설문조사 방법을 실시하였다.

평가항목의 중요도를 선정하는 문제는 합리적이고 효율적인 중요도를 도출하여 대상지에 적용하는 것이다. 이를 위해 전문가 설문을 바탕으로 소속도 함수를 도식화하여 Fuzzy 추론을 활용하여 설문결과를 Fig. 4와 같이 분석하였다. 분석결과, 용적률보다는 공시지가가 상대적으로 중요도가 높음을 알 수 있다. 이는 공시지가가 침수피해 시 직접적인 재산 피해로 이어지는 지표인 반면, 용적률은 침수되는 해당 층고에는 직접적인 피해가 있으나, 그 외의 층고에는 도시기능적인 이용 부분에서의 불편함이라는 간접적인 피해가 있는 지표이기 때문인 것으로 사료된다.

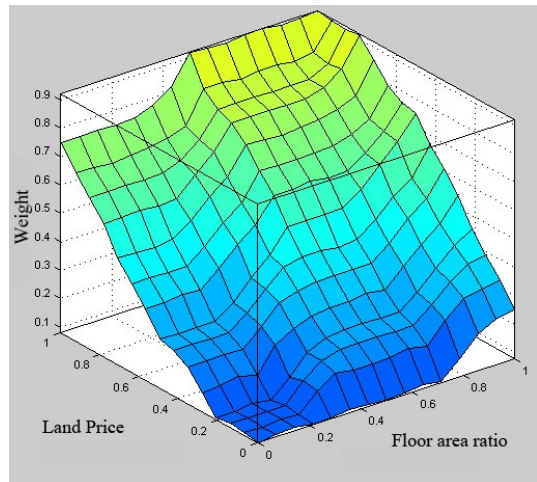


Fig. 4. Flood Damage Scheme

공시지가와 용적률 증감률의 소속도 함수를 나타내는 구간에서는 해당하는 수치의 최소값을 취하게 된다.

용적률의 경우에는 0.5에 해당하는 소속도 함수 중 최소값, 공시지가 증감률의 0.5에 해당하는 최소값을 취하는 것이다. 이후 각각 취해진 최소값을 합산한 뒤 해당하는 침수피해 정도의 소속도 함수 중 최대값을 취한다. 이렇게 얻어진 침수피해 정도는 무게중심법에 의한 비퍼지화 과정을 거쳐 Fig. 5와 같이 최종 퍼지수는 0.5로 분석되었다.

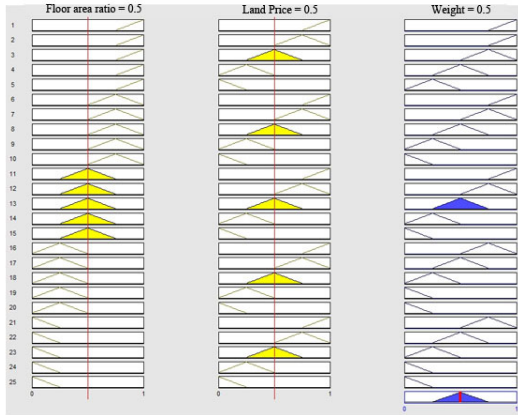


Fig. 5. Min-max methodology

퍼지 점수가 높을수록 침수위험 등급이 높음(침수피해가 큰 것)을 나타내고 반대로 퍼지 점수가 낮을수록 침수위험 등급은 낮음(피해가 없음)을 나타낸다. 퍼지분석 결과 Table 6과 같이 마산합포구, 마산회원구, 성산구, 의창구, 진해구 5개의 구에서 용도지역별 침수피해 순위는 동일한 것으로 분석되었다. 퍼지 분석 값을 근거로 침수피해에 대한 우선순위를 결정하였으며, 동일한 면적이 침수되었을 경우 사회·경제적으로 침수피해가 가장 높은 지역은 상업지역으로 나타났고, 그 뒤로 주거지역, 공업지역, 그리고 녹지지역의 피해가 가장 적으므로 분석되었다.

성산구의 상업지역과 주거지역이 다른 구에 비해 퍼지 값이 높게 나타난 것은 창원시청 주변인 중앙동과 상남동을 중심으로 최근 상업지역과 주거지역이 개발된 신도시지역이기 때문이며, 진해구의 상업지역과 주거지역이 다른 구에 비해 퍼지 값이 낮은 이유는 상업지역은 쇠퇴된 상가들이 주를 이루고 동시에 소규모 상가들이 산발적으로 분포되어 있고, 주거지역은 노후화된 지역이 많기 때문인 것으로 해석된다.

또한, 마산회원구의 경우 지역의 환경 및 특성에 의해 공시지가는 상업지역, 공업지역, 주거지역 순으로, 용적

률은 주거지역, 상업지역, 공업지역 순으로 나타났지만 공시지가와 용적률, 그리고 전문가 설문을 종합하여 퍼지추론을 한 결과 다른 지역과 마찬가지로 순서로 분석되었다. 이는 지표들 간에 지역 특성에 따라 충분히 상이한 결과 값이 나올 수 있음을 보여주고 있다.

이러한 결과를 종합해보면 침수지역에 대한 사전 대책을 마련할 경우 도시지역의 용도지역 중 ‘상업지역’에 우선적으로 초점을 맞추어 재해예방 대책을 마련해야 한다는 점을 알게 되었다. 또한 용도지역을 더 세분화시켰을 경우 침수위험 등급이 현재 분석된 결과와는 또 다르게 나타날 수 있다는 사실도 감지할 수 있었다.

Table 6. Fuzzy Priority for each use district

| District | Land use | Fuzzy | Priority |
|--------------|-------------|-------|----------|
| Masinhappo | Residential | 0.161 | 2 |
| | Commercial | 0.379 | 1 |
| | Industrial | 0.115 | 3 |
| | Green | 0.088 | 4 |
| Masan Hoewon | Residential | 0.193 | 2 |
| | Commercial | 0.311 | 1 |
| | Industrial | 0.183 | 3 |
| | Green | 0.090 | 4 |
| Sungsan | Residential | 0.271 | 2 |
| | Commercial | 0.728 | 1 |
| | Industrial | 0.096 | 3 |
| | Green | 0.089 | 4 |
| Euichang | Residential | 0.178 | 2 |
| | Commercial | 0.292 | 1 |
| | Industrial | 0.109 | 3 |
| | Green | 0.089 | 4 |
| Jinhae | Residential | 0.120 | 2 |
| | Commercial | 0.224 | 1 |
| | Industrial | 0.101 | 3 |
| | Green | 0.086 | 4 |

최종분석 결과 값을 토대로 창원시의 용도지역에 따른 내수침수 위험등급화를 Map으로 구현한 결과는 Fig. 6과 같다. 사회·경제적으로 침수피해가 가장 높은 지역 즉, 침수위험등급이 매우 높은 지역은 Red zone로 표시하였으며, 침수위험등급이 높은 지역은 Orange zone, 침수위험등급이 중간 지역은 Yellow zone, 침수위험등급이 낮은 지역은 Green zone으로 구분하여 표시하였다. Risk Mapping과 같은 시각화된 결과물이 나오으로써 홍수에 의해 침수될 수 있는 잠재적 지역을 제시할 수 있으며, 직관적 현황 파악도 가능해졌다. 또한, 지역별로 상대적 위험도를 구분하여 위험도가 높은 지역부터 선택하여 집중적으로 예방대책을 강구할 수 있다.

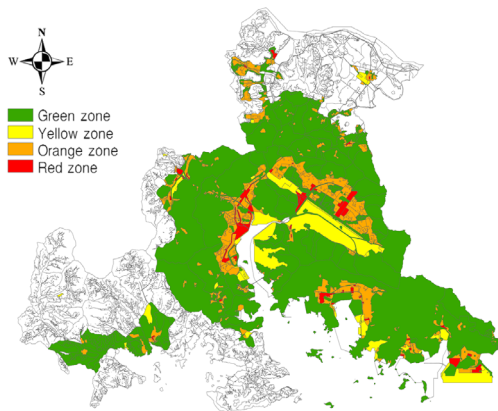


Fig. 6. Risk Mapping

4. 결론

본 연구는 도시의 환경문제 중에서도 현재 가장 큰 이슈로 떠오르고 있는 기후변화에 대한 문제를 해결하기 위한 접근방법의 하나로 도시지역에 동일한 면적이 침수 되었을 경우, 내수침수 발생 시 용도지역별로 침수 피해의 우선순위 선정을 통해 침수피해를 최소화 할 목적으로 창원시를 대상으로 내수침수위험도를 분석하였다.

창원시의 5개 구를 대상으로 경제규모의 피해를 가늠할 수 있는 공시지가와 건축 면적 및 밀도를 판별할 수 있는 용적률을 분석하여 용도지역별로 피지추론을 하였다. 분석결과, 각 구별 내수침수피해에 대한 결과, 마산합포구는 상업지역 0.379, 주거지역 0.161, 공업지역 0.115, 녹지지역 0.088 순으로, 마산회원구는 상업지역 0.311, 주거지역 0.193, 공업지역 0.183, 녹지지역 0.090 순으로, 성산구는 상업지역 0.728, 주거지역 0.271, 공업지역 0.096, 녹지지역 0.089 순으로, 의창구는 상업지역 0.292, 주거지역 0.178, 공업지역 0.109, 녹지지역 0.089 순으로, 진해구는 상업지역 0.224, 주거지역 0.120, 공업지역 0.101, 녹지지역 0.086 순으로 나타났으며, 각 구별 비교 분석을 통해 신뢰도 검증이 가능해졌다. 각 구별로 용도지역별 위험등급 순위는 상업지역, 주거지역, 공업지역, 녹지지역 순으로 동일한 것으로 분석되었다. 하지만 성산구와 마산회원구의 분석결과를 살펴보았을 때, 지역의 환경·특성인 새로 개발된 신도시지역, 쇠퇴된 구시가지, 지리적 위치 등의 요인에 따라 침수위험 등급이 변할 수 있는 가능성을 보여주고 있다.

전체적인 결과를 종합해 볼 때 창원시 지역은 대체적으로 상업지역의 재산적 가치와 건축 밀도가 높은 것에 기인하여 위험등급이 높은 것으로 분석된 것으로 판단되는 바, 위험등급도가 가장 낮은 녹지지역과 그 외의 용도지역을 적절하게 배분하여 토지이용계획을 수립한다면 침수피해에 대한 대처와 체계적인 관리가 가능해 질 것으로 보인다. 또한, Risk Mapping이라는 시각화 된 자료를 통해 일반인들도 보다 쉽게 침수지역을 예상할 수 있게 되었다.

비구조적인 대책 중의 하나인 토지이용 대책인 용도지역에 대한 내수침수 위험등급화를 통해 각 도시별 도시지역 개발 계획 수립 시 침수위험지역을 고려하여 토지이용계획을 한다면 단기적 대책으로 끝나는 것이 아니고 장기적으로도 매우 유용할 것으로 판단된다.

향후 연구과제로는 주거지역, 상업지역을 세분화하여 좀 더 구체적으로 분석할 필요가 있으며, 실제 침수지역 또는 침수예상지역과 위험등급화 맵을 오버랩하고, 현재 설치되어 있는 방재시설들을 감안하여 위험등급화를 한다면 좀 더 신뢰할 수 있는 연구가 될 것이다.

References

- [1] C. H. Lee, "Development of the Regional Safety Assessment Model in Seoul-Focusing on Flood", Seoul Development Institute, pp. 3-8, 2006.
- [2] C. I. Choi, "A Empirical Research on the Factors Causing Natural Disasters in Metropolitan Urban Area", The Korean Regional Development Association, vol. 16, no. 4, pp. 23-50, 2004.
- [3] Hollis, E. G, "The effect of urbanization on floods in the Canon's Brook", Harlow, Essex, Institute of British Geographers Special Publication, no. 6, pp. 123-139, 1974.
- [4] Lundgren, L. W, "Environmental Geology, Prentice Hall, Inc.", pp. 171-206, 1999.
- [5] Y. J. Lee, S. Y. Shin, C. H. Lee, "Comparing Methods for Determining Flood Protection Elevation in Urban Built-up Areas", Korean Society of Civil Engineers, vol. 28, no. 3, pp. 271-281, 2008.
- [6] S. Y. Shin, H. R. Kim, "Analyzing Relationships between Land Use Characteristics and Flood Damage Areas", Seoul Development Institute, pp. 1-67, 2011.
- [7] Changwon, "2025 Urban Masterplan for Changwon", pp. 99-124, 2014.
- [8] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Guideline for Disaster Prevention, pp. 1-84, 2014.
- [9] CIRIA, "Designing for Exceedance in urban Drainage,

Good Practice”, pp. 115-121, 2006.

- [10] W. S. Jeon, “Development and Application of Urban Decline Evaluation Model using Fuzzy Inference”, Chungbuk National University, Ph.D Thesis, pp. 28-34, 2013.
- [11] J. Y. Shin, Y. J. Park, T. W. Kim, “Evaluation of Inland Inundation Risk in Urban Area using Fuzzy AHP”, Korea Water Resources Association, vol. 47, no. 9, pp. 789-799, 2014.
- [12] Chang, D. Y., “Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP”, European Journal of Operation Research, vol. 95, no. 3, pp. 649-655, 1996.
DOI: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(95\)00300-2](https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00300-2)
- [13] K. H. Lee, K. L. Oh, “Fuzzy Theory and Applications”, Hunglok-science Publisher, 1991.
- [14] Anderson, D, “Strando System, The Philosophy of C”, Peirce, West Lafayette : Purdue Univ. Press, 1997.
- [15] T. I. Kwon, “Study on Drawing Priority of the Influence Factors of Tourist Resort Remodeling Busines”, SejongUniversity, Ph.D Thesis, 2008.

전 원 식(Won-Sik Jeon)

[정회원]



- 2008년 2월 : 충북대학교 환경도시공학과 (공학석사)
- 2013년 9월 : 충북대학교 환경도시공학과 (공학박사)
- 2013년 9월 ~ 현재 : 도시경관계생연구소 소장
- 2015년 3월 ~ 현재 : 청주대학교 도시계획부동산학과 겸임교수

<관심분야>
도시계획, 도시재생

박 기 용(Ki-Yong Park)

[준회원]



- 2010년 8월 : 충북대학교 환경도시공학대학원 도시공학과 (공학석사)
- 2009년 8월 ~ 2014년 6월 : KAIST 미래도시연구소 연구원
- 2015년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 환경도시공학대학원 도시공학과 박사과정

<관심분야>
도시계획, 기후변화

정 진 호(Jin-Ho Jeong)

[정회원]



- 2016년 2월 : 충북대학교 일반대학원 환경도시화학공학과 (공학석사)
- 2015년 1월 ~ 현재 : 청주시도시재생지원센터 연구원

<관심분야>
도시계획, 도시재생