침수 시 주거용 건축물에서 대피시설로의 접근 취약성 분석을 통한 피난경로 확보방안 - 대구시 북구 침수 사례지를 중심으로 -

Ensuring the Evacuation Path Based on Inundation & Refuge Approach Vulnerability Analysis in Residential Buildings - Focused on Daegu Bukgu Inundation Case District -

이지수*
Lee, Ji-Soo

홍원화**
Hong, Won-Hwa

김광섭***
Kim, Gwang-Seob

Abstract

Recently, there have been frequent occurrence of the damage to lives and properties due to the torrential rain caused by climate change. In consideration of the current situations in which the underlying data related to flooding are lacking, this study conducted to build up the basic data on the flooded areas and suggested methods to secure the evacuation routes that can be accessible to evacuation facilities in the residential buildings. Methods of the study are as follows. First, We calculated the flood risk grades of residential buildings based on elevations, considering the flooding characteristics of the flooded areas in Buk-gu, Daegu. Second, We constructed baseline data on the evacuation routes through site investigation and reviewed of drawing using Arc GIS to identify vulnerability to access to the evacuation facilities, targeting the residential buildings. Third, We carried out the proximity analysis through a near analysis of analysis functions in ARC GIS. Forth, We deduced 115 residential buildings in which access to evacuation facilities is considered to be difficult based on the analysis results. Finally, We proposed extension of a blind alley as a means for achieving connectivity to evacuation facilities. And to evaluate the alternatives presented, we reconstructed route data. As a result, about 53% improvement was identified through the proximity analysis.

Keywords : Residential Building, Flood Hazard Grade, Evacuation Path, Refuge, Regular Flooded Area

주요어 : 주거용 건축물, 침수위험등급, 피난경로, 대피시설, 상습침수구역

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

세계적인 기후변화에 따른 집중호우는 심각한 인명 및 재산 피해를 수반하며, 우리나라의 연평균 강우량은 지속적으로 증가하고 있다. 시간당 50 mm 이상의 집중호우는 1960년대에는 8회에서 2000년대에는 111회로 약 14배가

량 증가하였으며, 2001년부터 2008년까지 기상재해에 따른 우리나라 연평균 재산피해액은 약 2조 3천억원으로 1990년대(약 7천억원)에 비해 3배 이상 증가하였다.(소방방재청 통계자료, 2008) 특히 도시 내 수해피해의 원인을 살펴보면 내수침수가 약 73%, 외수범람에 의한 수해피해가 약 27%를 차지하는 것으로 조사되었다.(Kang, 2011) 이러한 침수에 대응하기 위한 수방시설에 의한 치수대책, 피난전략, 구제활동 등을 포함한 비구조적인 수방대응 능력의 중요성은 이미 기존의 연구에서 강조되어 왔다. 최근 침수의 특징은 우수의 집중유출이 급증하여 단기간에 침수가 진행되는 특징이 있으며, 이에 따라 침수위험지역은 언제든지 침수의 위험을 잠재하고 있다는 전제하에 안전하고 신속한 피난대책의 마련이 필수적이다. 그러나 현재의 침수관련 데이터베이스의 구축현황은 침수지역의 개략적인 위치 및 피난시설의 지정에 국한되어 있기 때문에 침수지역 내 건축물의 피난경로에의 접근가능성을 검증하기에는 한계가 있다. 이로 인해 결국 피난시설을 지정되어 있지만 실제 침수가 발생하였을 때 거주자들은

*정회원(주저자), 경북대학교 대학원 박사과정

**정회원(교신저자), 경북대학교 건축토목공학과 교수, 공학박사

***정회원, 경북대학교 건축토목공학과 교수, 공학박사

Corresponding Author: Won-Hwa Hong, Dept. of Architecture, Kyung-pook. Natl. Univ., 1370, Sangyeok-dong, Buk-gu, Daegu, 702-701, Korea.

E-mail: hongwh@knu.ac.kr

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NO. 2011-0030840).

이 논문은 2012년도 한국주거학회 춘계학술발표대회에서 발표한 논문을 수정·보완한 연구임.

피난시설까지 도달하지 못하고 고립되는 경우가 발생하게 된다. 따라서 이러한 인적 피해를 저감하기 위한 비구조적 대책에 관한 연구는 꾸준히 논의되고 있다. 이와 관련한 선행연구의 일환으로 침수상황에서 대피경로의 배분에 관한 언급(Park et al., 2011)이 있었지만 건축물정보의 기초자료의 통합의 과정 없이 진행되었기에 실제 건축물에서 대피시설까지 피난경로의 적정성에 관한 고려는 미흡하다 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 침수 사례지를 대상으로 침수위험지구 내 주거용 건축물 거주자의 피난 경로특성 파악과 함께 피난시설로의 접근취약성을 분석하고, 주거용 건축물을 대상으로 피난 경로의 연결성을 확보하는 방안을 제시한다. 제시된 대안을 통해 대상 건축물이 피난 경로로의 접근취약성 감소량을 정량적으로 파악하고자 한다.

2. 연구의 방법 및 범위

본 연구의 목적을 달성하기 위한 방법으로 첫째, 도시 내에서 침수가 발생하는 원인을 파악하고 기준 등에서 정하고 있는 침수 시 대응체계와 재해지도의 분류에 대하여 고찰하였다. 다음과 같은 이론적 고찰을 통해 대상지에서 침수가 발생하는 원인을 파악하고, 연구결과가 재해지도로 활용될 수 있는 범주에 대하여 논의되었다.

둘째, 연구 대상지의 지형적 특성분석과 침수사례를 조사하여 대상지가 갖는 침수취약특성을 파악하였다. 셋째, 앞에서 조사된 침수사례와 연구대상지의 도면자료를 이용하여 기초자료(건축물 도형, 속성정보, 필지단위의 침수사례범위, 피난시설 위치정보)를 구축하고, 대상지의 침수위험등급을 평가하였다. 넷째, 주거용 건축물에서 피난경로로의 접근성을 파악하기 위하여 도면분석과 현장조사를 병행하여 앞에서 평가된 침수위험지역 거주자의 피난취약성을 도출하였다. 다섯째, 피난경로를 확보하는 방안으로써 침수 위험등급 내 주거용 건축물에서 대피시설까지 접근 가능한 경로와의 인접성 분석을 이용하여 경로의 연결성을 확보를 제시하였다. 마지막으로 제시된 피난경로의 평가를 실시하고 이에 따라 피난에 취약한 주거용 건축물의 감소효과를 분석하였다. 본 연구를 수행하기 위한 공간적 범위는 대구시 북구의 침수사례지이다. 위와 같은 공간적 범위 내에서 분석의 대상은 주거용 건축물과 대피시설, 그리고 대피시설까지 도달이 가능한 접근 경로를 추출하여 이들 간의 상호 접근성에 초점을 두고 연구를 진행하였다.

내용적인 범위는 기존의 선행연구에서 특정지역의 침수방지 대책으로 설비체계의 설치와 같은 시설의 제안, 배수대책의 수립 등의 구조적인 대안이 제시되었다. 그러나 본 연구에서는 피난경로의 확보의 제안을 통해 거주자의 피난안전성을 도모하는 비구조적인 대책으로 내용적 범위를 한정하였다.

II. 도시침수의 원인과 주택침수 시 피난형태

1. 침수의 원인과 유형

일반적으로 풍수해란 태풍, 사이클론, 편 등의 강풍에 의한 재해와 홍수 등 물에 의한 재해의 총칭¹⁾이며, 홍수에 의한 재해는 내수침수와 외수침수로 구분된다. 내수침수는 제방안쪽에 내린 강수와 인간 활동에 기인하여 발생하는 배수를 말하며, 여기서 제방안쪽은 도시와 마을 등 제방으로 보호되는 지역을 의미한다.²⁾

내수침수가 발생하는 주된 원인들은 도시화의 영향, 배수 및 하수관거의 단면부족, 배수시설의 용량 부족, 하천수의 역류, 펌프장의 용량 부족 및 노후화로 볼 수 있다.³⁾ 반면 외수침수는 제방 바깥쪽으로 흐르던 물이 월류하거나 제방을 붕괴하면서 피해를 일으키는 현상을 의미하며, 제방의 붕괴가 가장 큰 원인이 된다. 최근 침수유형의 경향을 살펴보면 외수의 범람으로 인한 침수피해보다 인프라의 부족과 노후화에 따른 내수침수가 늘어나고 있으며 이를 수치적으로 살펴보면 전체적으로 약 73%가량이 내수침수에 의한 피해인 것으로 파악되었다. 특히 소방방재청 통계자료에 의하면 대구시의 경우 상습침수지구 중 약 94%가 내수침수에 의한 발생인 것으로 조사되어 시가화 지역에 대한 침수 대비책 마련이 필수적인 것을 알 수 있다.

2. 침수 시 피난기준 및 재해지도 구분

자연재해 발생 시 재해정보 전파와 비상지원 체계는 자연재해 대책법에서 규정하고 있다. 그리고 침수에 극히 취약한 지하공간의 경우 지하공간 침수방지를 위한 수방기준에서 침수대비 시설로 지정하여 관리기준과 침수방지대책을 위한 기술적 수준 등을 명시하고 있다. 한편, 주거용 건축물은 거주자가 생활을 영위하는 공간이며, 항상 재실자가 존재할 수 있어 이에 따라 침수상황의 인지가 늦어지면 고립의 가능성이 있다. 이 때문에 주거용 건축물의 침수는 곧 인명피해로 이어질 가능성이 다른 건축물에 비해 크다. 따라서 주택 침수 시 우선 사항은 거주자의 대피경로 인지와 신속한 대피라 할 수 있다. 이를 위해 침수사례지에서 제시하고 있는 침수상황 시 주민대피절차는 다음과 같다. 본 연구의 내용적 범위는 <Figure 1>의 붉은색 박스에 해당되는 내용으로 구성되었다. 붉은색 박스에 해당되는 내용인 침수상황 발생 시 침수지역 주민의 1차 피난시설로 대피를 위한 방법으로 재해위험등급의 산정과 활용을 통하여 대피로 확보를 제시할 수 있었다.

1) 한국지리정보 연구회(2006). 자연지리학사전.

2) Han, B.(2011). A study on cause analysis and counterplan for urban flood due to the extreme rainfall. University of Seoul, p.10.

3) 소방방재청(2008). 지하공간 등에 대한 침수해석기법 개발.

Figure 1. Procedure of Residents Evacuation in Inundation Case Area

한편, 풍수해와 관련하여 침수예상 구역에서 주민을 신속하게 대피시키기 위한 목적의 재해지도의 분류는 크게 침수흔적도, 침수예상도, 재해정보지도로 분류할 수 있으며, 각 지도의 특성과 개략적인 내용은 <Table 1>에서 정리하였다.⁴⁾ 본 연구에서 제시하고자 하는 지도의 내용적인 범주는 <Table 1>의 3. 재해정보 지도의 형태에 해당된다. 세부구분에 따르면 재해발생시 대피요령·대피소 및 대피경로 등의 피난에 관한 정보를 지도에 표시한 a. 피난활용형태의 재해정보지도에 해당된다.

Table 1. Classification of Flood Hazard Map

Type	Contents
1. Immersion marks map	The map made by investigating inundation mark.
2. Flood expectation map	a. Flood hazard map The map made by prediction of flooding area and flood hazard map according to River act.
	b. Coastal hazard maps The map made by prediction of flooding area of coastal
3. Hazard information map	a. Evacuation type Information of evacuation such as method of evacuation, shelter and evacuation routes.
	b. Disaster information type Various disaster information such as forecast and factual information about inundation and location of hospital
	c. Disaster preparedness training type Produced for educational purposes: guiding emergency action for residents

III. 대상지의 침수피난 취약성 도출

1. 대상지의 일반적 특성 및 침수특성 파악

자연재해대책법에 근거한 침수위험지구는 돌발성 피해를 포함하여 대구시에 총 15개소가 지정되어 있으며, 구별 분포현황은 아래의 <Table 2>에서 보는 바와 같이 북구가 가장 많은 침수위험지구를 포함하고 있다. 특히 대

상지의 경우 최근 두 차례의 집중호우로 인해 각각 약 60여 채의 주택을 포함하는 9천 m² 가량의 침수피해가 발생하였다. 지형적인 여건으로는 국가하천인 금호강과 지방하천인 신천, 동화천, 팔거천에 접하고 있으며, 이외에 8개의 소하천이 북구에 포함된다.

Table 2. Present Status of Inundation Hazard District

Gu name	Jung -gu	Seo -gu	Nam -gu	Buk -gu	Dalseong -gun	Dalseo -gu	Total
Number of districts(n)	3	1	1	5	3	2	15

또한 북측으로는 팔공산이 포함하고 있어 지목 중 임야가 약 46%로 달성군 다음으로 많은 임야를 보유하고 있다. 인문상황을 살펴보면 총 162,429세대이며, 인구수는 452,505명 중 39,290명이 65세 이상의 노령인구⁵⁾이며, 점점 증가하는 추세이기 때문에 재해약자를 고려한 피난대책의 마련도 요구되는 지역이라 할 수 있다. 연 강수량은 1,204 mm로 2008년부터 지속적으로 증가하는 추세이며, 7월에 247.8 mm 8월에 396 mm로 7, 8월에 집중되어 있다.

현재의 강우 패턴과 경향을 고려한다면 대구광역시 북구 내의 모든 침수 위험지구를 대상으로 침수경험이 있는 건축물에 대한 세부적인 대책에 대한 연구는 분명히 필요하다. 그러나 현재까지 침수 건축물에 대한 데이터베이스의 구축이 사실상 어렵다는 기술적인 문제가 있다. 또한 침수 재해의 특성 상 단일의 침수구역만으로도 대단위의 공간에 걸쳐 피해를 유발하기 때문에 다수의 침수위험 지구의 문제에 대하여 접근하기에는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서 중점적으로 다루는 대상은 과거에 외수침수, 내수침수가 모두 발생한 특성이 있어 침수위험지구로 지정된 사례지를 대상으로 연구를 진행하였다. 대상지의 침수위험 특성을 개략적으로 살펴보면 계곡의 형태로써 집중호우가 발생하게 되면 침투유량이 급격히 높아지고 이와 동시에 토사가 유입되어 하수관거가 막힐 위험성이 크다. 또한 하천수가 역류할 가능성이 있어 이에 따른 위험도 동시에 감안해야 하는 지역이다<Figure 2>. 대상지의 지형적, 물리적 특성을 정리하면, 첫째로, 지형적 특성으로 동·서측의 산지가 마을을 감싸고 있는 형태로써 토양에서 수용량을 초과한 우수가 마을로 집수된다. 산림 입지도에 따른 분석결과 해당 산지의 배수능력은 2단계⁶⁾에 해당되어 집중호우 시 단시간 내 마을로 우수가 유입되는 구조를 지닌다. 둘째, 입지도 분석결과 동·서측 산지 모두 건밀도가 ‘송’⁷⁾에 해당하여 산지의 우수가 집수되는 과정에서 토사가 대량 유입될 수 있다. 셋째, 토사의 유입 등으로 인해 대상지보다 상대적 고지대

5) 대구시 통계연보(2011) 기준.

6) 입지도의 토양배수는 1~4단계로 구분되며, 4단계로 갈수록 토양 배수능력이 뛰어나다.

7) 건밀도 ‘송’: 건밀도 측정기(Penetro-meter)의 결과 값이 0.5~1.0이며, 매우 연하여 약간의 외력에도 잘 부서진다.

4) 자연재해대책법 시행령 제18조 재해지도의 종류 재구성

Figure 2. Flood Expectation Map of the Case District

인 남측의 하천으로 방류해야하는 우수의 배출이 불량할 가능성이 높은 구조적 취약성을 지닌다. 따라서 강우가 지속되게 되면 배수기능은 마비되고 상대적인 저지대로부터 고도와 지형에 따라 좁고 긴 형태로 침수가 점차 진행되는 특징을 갖는다.

2. 침수취약 건축물 도출 및 대피시설 지정현황 파악

연구대상지는 대구광역시 북구의 침수위험지구로 지정된 지구 중 상대적으로 피해 규모가 가장 광범위하게 나

타난 지역이다. 본 연구 대상지 내의 침수예상 경계를 정확하게 파악하기 위하여 기 지정된 경계를 기반으로 현장조사를 실시하고 GIS를 이용한 분석을 위한 침수지역 경계 자료를 shp파일 형태로 구축하였다. 침수상황이 발생하면 저지대의 건물뿐만 아니라 물류 또는 농경지, 차량 등의 피해를 동시에 수반하게 된다. 그러나 본 연구는 거주자의 대피에 초점을 두었으므로 대상 지구 내 주거용 건축물의 입지와 피난경로 파악을 위한 도로의 침수 위험현황을 위주로 자료구축 및 분석을 실시하였다. <Table 3>은 대구시 북구에 지정된 대피시설의 현황을 장소 제공주체에 따라 구분하여 정리한 것으로 민간 부분에서 제공하는 장소가 220개소로 많은 비중을 차지하는 것을 알 수 있다.

한편, 민방위 기본법에서 지정하는 대피시설의 공간적 분포 현황을 파악하기 위하여 대피시설을 database화하고 이를 건축물정보와 통합하였다. 통합하는 과정은 해당 지적자료의 지적정보를 이용하여 PNU code를 생성하여 건축물 도형정보(shp file)를 Arc GIS를 이용하여 결합하였다. 하지만 현장조사와 문헌조사 결과 대상지의 경우 <Figure 3>에서 나타나는 바와 같이 대피시설로 지정된

Table 3. Designation Status of Refuge in Bukgu

Type of refuge provider	Major building use	Number (n)	Area (m ²)
Public enterprise	Police station, National university, School, Library etc	32	69,514
Governments	Major District office	1	655
	Local Community center, Public institutions underground parking lot etc	6	4,024
Private	Church, Apartment underground parking lot, Bank etc	220	926,950
Total		259	1,001,142

a) Distribution status of building in case district

b) 3D map in case district

Type	Building(n)					Total	Road (m ²)
	Residential Buildings (n)			Refuge space	Etc building		
	Under ground residential Unit	General residential building ¹	Total				
1 st Flood harzard area	2	57	59	2	27	88	7,930
2 nd Flood harzard area ²	2	61	63	-	27	90	1,572
Case district (total)	19	450	469	5	178	649	20,969

1. Not including Under ground residential Unit

2. Not including 1st Flood hazard area

Figure 3. Flood Expectation Map of Case District

2개소 모두 침수위험구역 내에 포함되어 있어 침수 시 피난처로의 기능을 수행하기 어려울 것으로 파악되었다. 또한 실제과거의 침수사례에서도 주민들을 구조하여 대상지로부터 약 1.5 km 가량 떨어진 시설로 대피시킨 사례가 있다. 이 후 추가적으로 현재 민방위 피난시설의 list에는 미기재 되어있으나, 현재 대피시설로 지정·사용되고 있는 3개소의 재실을 침수 시의 대피시설로 설정하여 분석을 진행하였다. 또한 침수 경과에 따라 1차, 2차 침수 위험지역을 나타내었으며, 대피시설의 현황 및 건축물 분포 현황은 <Figure 3>와 같다. 내용을 살펴보면 1차 침수지역에서 2개의 주거용도의 지하건축물을 포함한 59개의 주거용 건축물이 침수되었으며 도로부분은 마을 전체의 약 38%인 7,930 m²가 침수된 것으로 파악되었다. 1차 침수지역보다 광범위한 2차 침수지역에서는 2개의 주거용 지하건축물이 침수되었으며 주거용 건축물의 침수개소는 63개소로 나타났다.

3. 대상지 거주자의 피난경로 및 피난취약성 도출

대상지의 거주자들의 신속하고 안전한 피난을 지원하기 위해서는 정확한 피난경로 정보의 제공이 이루어져야 한다. 그러나 현재까지 제작된 가장 정밀한 수치지형도인 1:1,000의 수치지형도를 사용하더라도 세부적인 이동가능 경로의 예측은 어렵기 때문에 1:1,000 수치지형도를 기반으로 현장조사를 병행하여 대상지의 경로정보를 구축하였다. 대상지의 이동경로의 특징을 살펴보면 다수의 막다른 골목과 1.5 m 미만의 좁은 도로로 내부가로가 구성되어 있는 것으로 조사되었다. 따라서 차량을 이용한 피난은 사실상 불가능하며, 침수 상황이 발생하면 보행을 이용한 피난이 주가 되는 것으로 파악되었다. 또한 마을에서 외부로 통하는 중심도로로부터 침수가 되는 대상지의 특성을 감안하면 마을 외부로의 피난은 불가능해진다. 때문에 피난을 위해서는 동·서측의 산지에 위치한 피난시설로의 접근을 시도해야 한다.

그러나 실제 과거의 침수사례에서 해당 지역의 거주자 대부분이 미처 대응하지 못하고 중앙도로로의 탈출이 불가능해지자 고립되거나 옥상에서 구조를 약 3시간가량 기

다리는 형태로 피난이 이루어진 것으로 조사되었다. <Figure 4>는 현장조사와 도면정보를 통해 shp 파일로 구축한 이동가능 경로와 도로침수로 인하여 이동이 불가능했던 경로를 나타낸다.

IV. 침수취약성 분석을 이용한 거주자의 대피경로 확보 방안

1. 침수특성에 따른 위험등급의 설정

다음과 같은 취약성에 따라 하천으로 우수가 방류되지 못하면 지구의 남측 경계지점부터 침수가 발생하게 된다.

이와 동시에 추가적인 배수지점이 없어 점차 저지대에서 고지대로 지형에 따라 침수가 확산되는 특징을 지니며, 침수방향은 남측에서 북측으로 중심으로부터 확산된다. 따라서 단계적인 피난의 위험등급을 설정하기 위하여 1:5,000 수치지형도를 이용하여 수치표고모델인 DEM (Digital Elevation Model) 을 생성 후 표고에 따라 격자단위로 위험등급을 분류하였다. 표고의 생성을 위한방법은 Arc GIS의 3DAnalyst 기능을 사용하여 불규칙삼각망 (TIN:Triangulated Irregular Network)을 생성하였다. 생성되는 TIN의 cell size는 raster파일로의 변화 시 정밀한 분석을 위하여 1m단위로 분석을 실시하였으며, 격자단위는 5 m 단위로 정밀화 분석하였다. <Figure 5>는 위의 분석과정을 나타내며 <Figure 5>의 a는 Auto cad를 이용하여 격자를 생성 후 Arc GIS를 이용하여 polygon 형태의 shp 파일로 변환한 것을 나타낸다. b는 격자와 중첩분석하기 위하여 TIN을 생성하고 raster화 한 과정이다.

Figure 5. Analysis Process of Altitude of the Grid Unit Using TIN

Figure 4. Establish the Network Path Map of Case District

Arc GIS를 이용하여 a와 b를 중첩한 결과 표고 값은 각 격자에 입력되며 result에서 도출된 격자기반의 표고분석 결과를 건축물정보(shp 파일)와 중첩 하여 위험등급을 산정하였다. 표고에 따른 위험등급의 구분은 1 m를 단위로 하였으며, 7개의 등급으로 나누어 위험등급을 평가하였다. 즉 대상지에서 침수가 진행되면 우수의 유출은 불가능한 상황이 되기 때문에 건축물의 침수 위험등급은 표고 값에 기반하게 된다. 위험등급 산정결과를 기 조사된 침수 사례범위와 비교하여 살펴보면 위험등급 2등급의 경계가 지형기반의 격자군이고, 2차 침수구역이 지적정보임

Classification	Area		Road		Buildings (n)						
					Residential buildings			Refuge space	Etc buildings	Total	
	m²	%	m²	%	Under ground residential Unit	General residential building*	Total			N	%
Grade1	13,944	12.74	13,944	12.74	2	35	37	1	17	55	8.47
Grade2	19,929	18.21	19,929	18.21	1	85	86	1	39	126	19.41
Grade3	6,463	5.91	6,463	5.91	1	31	32	-	11	43	6.63
Grade4	4,753	4.34	4,753	4.34	0	33	33	-	4	37	5.70
Grade5	5,136	4.69	5136	4.69	1	24	25	-	3	28	4.31
Grade6	5,307	4.85	5,307	4.85	4	25	29	-	7	36	5.55
Grade7	53,916	49.26	53,916	49.26	10	225	235	3	86	324	49.92
Total	10,9448	100	109,448	100	19	458	477	5	167	649	100

*Not including Under ground residential Unit

Figure 6. Analysis of Inundation Hazard Buildings

을 감안하면 거의 유사한 경계인 것으로 나타났다. <Figure 6>은 Arc GIS를 이용하여 건축물정보와 위험등급과의 중첩분석을 통한 건축물 단위의 위험등급의 평가와 지하주택을 포함한 건축물 및 해당지역의 위험등급을 분석한 결과이다. 과거에 침수가 있었던 지역은 1등급, 2등급주택 모두와 3등급 지역 일부건축물이 이에 해당되는 것을 알 수 있다. 이를 중첩적으로 살펴보면 상대적인 저지대로써 침수에 가장 취약성을 나타내는 1등급 지역은 약 8%이며, 35개의 주거용 건축물 중 2개소가 지하주택을 포함하고 있었다. 그리고 2등급 지역의 경우 86개의 주택건축물 중에서 1개소가 지하주택에 해당되는 것으로 분석되었다

2. 거주자의 피난시설로의 접근 취약성 분석

침수상황이 발생 시에 피난시설로의 접근이 가능한 도로를 추출하는 작업이 선행되었다. 다음으로는 침수에 따른 해당도로로 접근가능성을 파악하기 위해 침수가 예상되는 도로는 제외하고 침수취약등급 내 거주자의 피난시설로 도달 가능한 도로로의 접근성을 분석하였다. 1차 단계까지의 침수가 발생하게 되면 1~3등급의 거주자들은 해당피난시설로의 피난을 실시해야하므로 접근을 위한 경로는 <Figure 7>의 step 1과 같이 분석할 수 있다. 1차침수가 발생하게 되면 중앙도로의 대부분은 이용이 불가능해지므로 중앙도로를 횡단하여 피난시설로 접근하는 상황은 배제하여 중앙도로를 기준으로 서측과 동측의 경로를 각각 구분하였다. 추가적인 전제로써 침수가 진행된 거주지에서 피난경로로 직결되는 경로를 제외하고 고지대에서

상대적 저지대의 도로를 경유해서 피난접근가능경로로의 접근은 불가능한 것으로 설정하였다. 주거용 건축물의 피난경로 접근 취약성 분석의 방법은 Arc GIS를 이용하여 1~3등급 내의 주거용 건축물의 중심점을 자동으로 생성(step 2 참조)하고 <Figure 7>의 step 1에서 도출한 노선과의 인접성 분석을 이용하였다. 인접성분석의 방법으로는 Arc GIS 기능 중 도형간의 인접여부를 확인하는 near 분석기법을 이용하여 경로와 필지와의 접도 여부를 확인하였다. 다음으로는 접도여부가 확인된 필지에 해당하는 건축물을 도출하였다. 도출된 <Figure 7>의 결과(result)와 같이 침수상황 시 피난경로에 접근 가능한 1~3등급의 주거용 건축물을 추출하였다. 이에 따라 침수가 발생하게 되면 침수위험이 있는 1~3등급까지 건물 중 주거용 건축물 155개소에서 피난이 예상될 것으로 분석되었다. 이 중 중심도로를 기준으로 동측에 입지한 지역에서는 96개의 주거용 건축물 중 11개소만이 피난 경로에 도달가능하며, 서측지역의 경우 59개소의 주거용 건축물 중 28개가 피난경로에 도달 가능한 것으로 분석되었다<Table 4>.

Table 4. Accessibility of 1-3 Grade Residential Building to Evacuation Routes

		Reachable		Unreachable		Total(n)
		n	%	n	%	
1-3 Grade residential buildings	East area	11	11.58	84	88.42	95
	West area	28	47.46	31	52.54	59
Total(n)						155

Figure 7. Process of Available Network Path Analysis in Inundation Situation

3. 대피경로 확보방안제시 및 평가

4장 2절에서의 피난시설로의 접근성분석을 통해 나타난 피난경로의 가장 큰 문제점은 막다른 골목으로 인한 연결성의 결여로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 피난시설 접근로의 연결성 확보를 위하여 막다른 골목을 대피시설로의 접근가능경로까지 연장하는 방안과 이에 따른 거주자의 피난 안전성을 평가하였다. 막다른 골목의 노선을 연장하는 원칙은 피난의 기능을 최대한 발휘할 수 있도록 해당 경로까지 최단 거리로 연장하되, 현실성을 고려하여 건축물은 피하도록 노선연장을 제시한다. 또한 침수 특성을 감안하여 침수 안정성이 높은 등급으로 경로의 연장을 원칙으로 한다. 위와 같은 원칙에 따라 제시한 막다른 도로의 연장방안은 <Figure 8>의 a와 같다. 제시된 연장노선자료는 a와 같이 Arc GIS에서 재구축하였다. 구축된 노선은 대상지 중심으로 기준 서측의 경우 연장길이 119.7 m의 7개의 노선연장이며, 동측은 9개의 노선에 연장길이는 약 326.6 m이다. 다음과 같이 제시된 노선의 연장에 따라 피난시설로의 접근이 가능하게 된 경로의 변화는 <Figure 8>의 b에서 나타내었다. 앞에서의 건축물의 피난 취약성분석과 동일한 방법으로 인접성분석을 하여

피난시설과의 연결성을 확보한 결과는 <Figure 8>의 c와 같다. 파란색 점은 서측지역에서 피난경로에 도달가능한 주거용 건축물을 나타내고, 붉은 색 점은 중심으로 기준 동측지역의 피난경로로의 도달가능한 주거용 건축물을 나타낸다.

<Figure 8>의 결과로써 노선의 연장 및 연결 제안에 따른 피난경로로의 접근이 어려운 주거용 건축물의 비율과 감소량, 피난시설로 접근 가능한 경로의 변화량을 <Table 5>에서 나타내었다. 분석결과를 살펴보면 대상지의 중심으로 기준 서측지역의 경우 동측보다 상대적으로 막다른 골목이 많이 존재하여 제안된 노선연장 길이가 높게 나타났다. 그러나 서측지역에 침수위험건물이 95개소로 동측지역보다 약 1.6배가량 높게 분포하고 있으며, 좁은 지역에 비교적 조밀하게 도로망이 구성되어 있어 소수의 경로 간을 연결하는 것만으로도 다수의 기존 경로에서 피난시설경로까지의 접근성을 확보할 수 있었다.

Figure 8. Change of Available Network Path According to Proposal of Route Extension

피난경로의 연장에 따라 피난시설의 경로까지의 접근성이 어려울 것으로 판단되었던 115개의 주거용 건축물 중

Table 5. Variation of Reachable Road&Residential Buildings According to Proposed Road Extension

	Proposed road extension		Reachable road to refuge			Unreachable buildings*			
	N	M	Existing (m)	Proposal (m)	Variation (m)	Existing (n)	Proposal (n)	Variation	
								N	%
East area	9	326.6	711.1	2,367.9	+1,656.8	84	31	-53	-63.1
West area	7	119.7	1,274.7	1,548.6	+273.9	31	23	-8	-25.8
Total	16	446.3	1,985.8	3,916.5	+1930.7	115	54	-61	-53.0

*1-3 grade residential buildings

에서 61개소를 감소시킬 것으로 분석되었으며, 이는 약 53%의 감소율에 해당된다. 다음과 같이 감소될 것으로 분석된 61개소 중 53개의 건축물이 동측지역의 건축물에 해당되는 것으로 파악되었다.

V. 결 론

본 연구는 대구광역시에서 침수위험지구가 가장 많이 지정된 북구 중 외수침수와 내수침수경험을 동시에 갖고 있는 침수사례지이면서 침수위험지구로 지정된 지역을 대상으로 해당 지구에 내재된 침수취약특성을 파악하고 주거용 건축물의 침수취약성을 도출하였다. 현장조사와 프로그램 분석을 병행하여 대상지의 피난취약성은 대상지내의 막다른 골목으로 기인한 피난경로의 단절현상임을 파악할 수 있었으며, 분석결과를 기반으로 피난경로의 연결성확보를 통해 거주자들의 피난시설까지의 접근성을 확보하고자 하였다.

본 연구로써 도출한 결론과 주요성과는 다음과 같다.

(1) 정밀 격자 기반의 표고분석을 통해 건축물 단위의 위험등급을 산정한 결과 실제 침수사례경계와 매우 유사하게 나타나는 것으로 확인되었다. 이는 배수가 한정되어 있는 상황에서 침수지역의 단계별 예측이 가능함을 알 수 있었다.

(2) 피난시설은 침수위험이 낮은 고지대에 위치하고 있었으나, 현장조사 및 도면검토 결과 침수상황이 발생하면 대다수의 주민이 피난시설로의 접근이 불가능하여 실내 또는 옥상에 고립된 것으로 조사되었다.

(3) 침수경험이 있었던 침수위험 1~3등급 내의 주거용 건축물 155개를 추출하여 피난경로의 침수취약 특성을 감안한 인접성 분석을 실시한 결과 115개 건축물이 대피시설로 연결되는 경로로의 접근이 어려운 것으로 파악되었으며, 이는 약 74%에 해당된다.

(4) 대상지와 외부로 연결되는 중심도로가 우선 침수되어 침수가 발생하면 동측과 서측으로 단절되는 침수특성이 확인되었다. 이에 따라 마을의 중심도로를 기준으로 서측, 동측 각각의 피난경로를 설정해 줄 필요가 있었으며, 피난의 취약 특성 역시 다르게 나타났다.

(5) 피난경로의 확보를 위하여 막다른 골목으로 인해 단절된 경로를 연결하는 방안을 제시하였으며, 제시된 연장경로는 총 446 m이다. 이에 따른 주거용 건축물 61개소에 대하여 피난경로의 확보효과를 얻을 수 있는 것으로 분석되었으며, 이는 약 53%의 감소효과를 얻을 수 있음을 의미한다.

현재까지 구축된 침수관련 database를 감안하면 본 연

구에서 용도를 고려한 건축물 단위의 침수위험예측과 피난시설까지의 접근을 위한 경로분석은 미시적인 database 구축이라는 점에서 의미를 갖는다. 본 연구에서 제시한 방법론을 활용하여 지구단위의 침수상황에서 단계적인 피난경로의 제시와 평가가 가능하지만 본 연구에서는 시간단위에 따라 침수되는 지역의 변화를 다루지 못하였다. 따라서 지속적인 후속연구를 통하여 지구단위의 database의 축적을 통해 공간적 범위를 시간위로 확장시키고 내용적 범위로는 시간단위에 따른 침수구역의 확산에 대하여 단계적인 피난경로를 구체화 하는 연구를 진행하려한다.

REFERENCES

1. 소방방재청 (2008). 지하공간 등에 대한 침수해석기법 개발.
2. 한국지리정보 연구회 (2006). 자연지리학사전. 서울: 한울아카데미.
3. Back, M. (2004). The Investigation research about the countermeasure and demand of residents which are damaged from the large disaster occurrence. *Journal of the Korean Housing Association*, 20(6), 115-125.
4. Han, B. (2011). *A study on cause analysis and counterplan for urban flood due to the extreme rainfall*. Master's thesis, University of Seoul, Seoul.
5. Hong, W., Oh, H., & Yi, K. (2005). A study of flood control measures and the damage of an urban area by the severe rain storm in Daegu city. *Journal of The Architectural Institute of Korea*, 21(6), 183-190.
6. Jin, Y. (2003). *A Study on cause analysis of flood area and reduction measure by urbanization*. Master's thesis, Seoul National University of Technology, Seoul.
7. Kang, D. (2011). *The analysis and assessment for urban inundation vulnerability based on SWMM modeling*. Master's thesis, Pusan National University, Pusan.
8. Lee, D. (2008). *Development and application of establishing flood hazard map considering hydraulic weighting indices*. Doctoral dissertation, Kyungpook National University, Daegu.
9. Lee, Y. (2005). *A study on refuge behavior and effective information delivery system to reduce flood damage*. Master's thesis, Samchok National University, Samchok.
10. Lee, Y., Kim, T., Ha, T., Kang, S., & Lee, S. (2003). Study on the assessment of refuge behavior and the derivation of critical inundation depth. *Journal of the Korean Institute of Fire Sci. & Eng.*, 17(4), 92-97.
11. Park, J., & Choi, J. (2010). Flooding area estimation and evacuation path analysis. *Journal of Korea Spatial Information Society*, 19(1), 1-11.

접수일(2012. 5. 22)

수정일(1차: 2012. 7. 26)

게재확정일자(2012. 8. 31)