한 국 방 재 학 회 논 문 집
제8권 3호 2008년 6월
pp. 59 ~ 65

재난 · 재해 대응형 도로 네트워크 및 도시시설 배치 모델에 관한 연구

Model of Road Design and Location of Urban Facilities for the Prevention of Disasters

김경석*
Kim, Gyeong-Seok

Abstract

This research attempts to consider disasters and calamities in the process of urban planning and road design. It presents a model that copes with disaster response. This model is an integrated system that performs the collective evaluation of roads, shelters, storage reservoirs and evacuation route systems. Consequently, this research attempts to discuss major issues to apply this system to cities.

Keyword **:** Disasters and calamities, Counter-type, accident, ITS.

요 지

본 연구는 도시계획과 도로설계과정에서 재난 · 재해를 고려하고 이에 대응할 수 있는 모델을 제시하고, 특히 이들 모델을 구성하는 도로, 대피소, 저류지 그리고 피난경로제공시스템 등에 대한 종합적인 검토를 통해 하나의 통합된 시스템으로 기능을 할 수 있도록 하는 것을 목적으로 한다. 그리고 이들 시스템을 도시에 적용하기 위한 주요 과제들에 대해서 논의하고자 한다.

핵심용어 : 재난 · 재해, 대응형, 유고, ITS.

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

전 세계의 도시들은 태풍, 집중호우, 폭설 등과 같은 자연재난과 테러, 화재, 건물붕괴, 교통사고 등과 같은 인적 재난에 의해 수많은 재산과 인명 피해를 입고 있다. 우리나라 역시 지난 10여 년 간 자연재난으로 약 2,300명의 인명피해와 13조원에 달하는 재산피해 그리고 인적 재난으로 약 11만 명의 사망자를 포함한 약 380만 명에 달하는 인명피해와 2.7조원에 달하는 피해를 입었다. 이렇듯 막대한 피해를 가져오는 각종 재난을 사전에 예방하고, 재난 발생 시에는 피해 정도를 최소화하기 위해 각국은 체계적인 재난관리시스템 구축 방안을 모색하고 있다.

수많은 홍수해 등 재난·재해를 살펴볼 때, 도로와 각종 시설 등으로 구성된 도시시스템의 붕괴는 인적 · 물적 피해를 더욱 가중시키는 결과를 가져왔다. 방재분야에서 지금까지 발표된 많은 연구들은 특히 집중적인 피해를 가져오는 수해와 관련된 자연재난의 예방과 조치를 위한 기술적 접근을 중심으로 하고 있으며, 실제 이들 재난이 발생할 경우 후속결과로 나타나는 도시내부의 도로 및 교통체계의 붕괴 등 개별 도시시스템의 붕괴에 대한 대응방안이나 예방책 마련에 대한 연구는 부족한 실정이다.

예를 들어 재난에 의한 도로붕괴로 교통네트워크의 기능이 상실 되면 그 피해의 심각도는 극에 달할 것이다. 특히 재난이 발생하면 사람과 재화의 대피와 이동이 필요하다. 결국 재난에 의한 피해를 최소화하기 위해서는 사람과 재화를 효율적으로 대피소까지 이동을 가능하게 해 주어야 하며, 이것이 바로 재난 · 재해 대응형 교통체계이고 재난 · 재해 대응형 도시모델의 중요한 부분을 담당하게 될 것 있다.

본 연구는 각종 재난 · 재해에 의해 도시를 구성하고 있는 시스템의 일부 혹은 전체가 기능을 상실한 상태를 유고라 하고, 유고 예방 및 유고발생 시 피난로 확보 등 후속조치 마련을 포함한 재난 · 재해대응형, 도시건설 모델을 제시하고, 이들의 구현을 위한 주요 과제를 제안하는 것을 목적으로 하고 있다.

1.2 연구범위 및 방법

본 연구는 지난 10여년 간의 재난 · 재해사고를 조사하여 그 피해 사례를 정리하고, 특히 지난 2006년 7월에 발생한 태풍과 홍수로 인한 평창군 일대의 피해사례에 대한 현장조사 결과를 바탕으로 그 대응방안과 향후 도로설계 및 도시개발에 적용 가능한 모델을 제시하고자 한다.

모델 구성을 포함한 연구범위는 국내에서 가장 빈번하고 피해범위가 가장 심각한 수해를 대상으로 그 피해를 최소화

*정회원 · 국립공주대학교 공과대학 건설환경공학부 부교수 (E-mail: gskim23@kongju.ac.kr)

하기 위한 도로와 대피소, 저류지 등의 적정배치 그리고 교통정보제공을 활용한 피난경로 유도 등을 연구의 대상으로 한다.

연구방법은 현장조사결과를 바탕으로 피해지역의 도로 및 주요 대피시설 등의 배치 실태를 조사하여 이들의 문제점을 도출하고 해결방안을 모델로 작성하고자 한다. 또한 여기에서 도출된 모델은 다시 피해지역에 적용하고 이들의 실천방안을 제시함으로써 보다 현실적인 연구결과를 도출하고 현장적용이 가능하도록 하고자 한다.

1.3 선행연구 검토

그간 도시분야의 방재에 대한 연구는 극히 제한적으로 발표되었으나, 대표적인 연구로 김현주 (2005)는 도시계획에서 방재계획이 체계적으로 운영되고 있는 일본의 사례를 고찰하여, 도출된 시사점 등을 토대로 향후 우리나라 도시계획에서 방재계획이 추구해야 할 기본 방향을 제시하고 있다. 또한 강양석 등 (2005)은 우리나라 도시에 존재하는 재해위험요인에 대해 살펴보고, 이러한 위험요인을 도시계획 측면에서 관리하는 방안에 대해 논의하고 있으며, 문채 (2005)는 우리나라 방재도시계획의 위상 및 운영 실태를 분석하고, 일본의 방재도시계획 운영사례를 파악하여 향후 우리나라 도시계획에서 활용 가능한 방재도시계획의 운영방안을 제시하고 있다. 시설측면에서는 유완 등 (2005)이 도시에서의 재해발생시 재해 대피소의 적정 위치 선정 방법을 제시하고 있다.

이러한 연구들은 전반적으로 도시에서 방재계획의 운영 및 관리방안을 중심으로 주로 S/W적인 접근을 주로 하고 있으며, 도시를 구성하는 기본요소들의 통합적 관리 및 모델 작성 등에 대한 연구는 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 도로, 대피소, 저류지, 피난경로 유도 등 H/W측면과 운영·관리 측면의 S/W를 접목한 종합적인 모델을 제시하는 데서 차별성을 찾고자 한다.

2. 도시내 재난 · 재해 발생 사례분석 및 유형구분

2.1 사례분석 대상지역

홍수 피해 조사는 강원도 인제군과 평창군 일대에서 도시 및 취락밀집지역으로 사망피해가 발생한 지점을 중심으로 시행되었다. 평창군의 경우에는 특히 방림면과 봉평면, 속사면 일대, 진부읍 진부중고등학교 주변을 집중 조사하였으며, 인제군의 경우에는 기린면 북1리 및 북3리 일대 그리고 인제읍 도시계획구역 내 남북리 및 합강리 일대를 대상으로 하였다.

피해당시 강우는 과거 평균 강우형태와는 전혀 다른 모습을 보이고 있다. 2003년~2005년의 7월 강수량과 2006년 7월 강수량을 비교해 보면 2006년에 886 mm로 인제군의 연평균 강수량인 1,141 mm에 가까운 비가 한 달 동안 내린 것을 알 수 있다.

일일 최대 강수량 역시 2003년~2005년과 비교해 보면 2006년 7월 15일에 202 mm의 비가 내려 최대 일일 최대 강수량을 기록하였다. 특히, 2006년 7월 14일부터 7월 16일까지 3일 동안 395.5 mm의 비가 집중되어 단기 강우에 그

표 1. 최근 4년간 인제군의 7월 강수량

항 목	2003년	2004년	2005년	2006년
7월 강수량(mm)	267	436	215.5	886
7월 일일최대강수량 (mm)	134.5	120.5	81	202

친 예년과 비교하여 피해가 커진 것으로 판단된다.

2.2 피해실태

총량적인 피해집계보다는 지점별 피해실태를 살펴보는 것이 향후 예방 및 평가차원에 유익할 것으로 판단하여 대표적인 사례를 중심으로 피해실태를 살펴보고자 한다.

우선 평창군 방림면의 경우 두 개의 하천이 모이는 지점에 취락지가 형성되어 하천이 범람하면서 약 31개** 동이 침수되거나 반파되는 피해를 입었다. 한편 평창군 봉평면의 경우에는 시가지내에 있는 야산의 붕괴로 시가지의 20여 동의 가옥이 파손되거나 침수되는 피해가 발생하였다. 이곳은 시가지임에도 불구하고 피해지역 내 도수로 등이 절대적으로 부족한 실태였다. 평창군 진부면의 경우에는 도시개발에 따른 하천의 선형변경으로 토사퇴적이 심각하여 침수지역이 확대되었으며, 특히 대피시설 중의 하나인 중 · 고등학교까지 침수되어 공공대피시설 입지의 문제와 자연하천의 개발에 대한 경각심을 주는 피해지역이다. 평창군 속사리의 집단취락지 역시 입지문제로 인해 피해가 발생한 사례이다. 즉, 하천의 곡선부에 보건소를 비롯한 취락지가 형성되어 유량이 많아지고 유속이 빨라지면서 집중적으로 피해가 발생한 사례이다. 여기 역시 공공대피시설인 보건소가 침수되고 토사에 묻혀 재난구조작업의 어려움을 예상할 수 있었다.

인제군에서는 대표적인 도시개발에 의한 피해사례를 찾아볼 수 있었다. 인제읍 남북리의 경우 읍내 저지대에 기존 취락지가 형성되어 있었으나, 신규 택지개발지구가 조성되면서 성토를 하여 인접 저지대 취락지 약 30여 동이 침수되는 피해가 발생하였다. 이는 택지개발사업이 주변 지역에 미치는 영향에 대한 분석이 부족했던 대표적인 인재에 해당되는 것으로 판단된다.

인제군 인제읍 합강리 역시 저지대 취락지에 남측으로 우회도로가 성토되어 건설되었고, 산사태로 인한 토사가 도수로를 막고 물이 범람하면서 침수 피해가 발생하였다. 특히 도수로 및 배관의 용량 부족과 도로 복개로 인하여 도수로가 쉽게 막혔던 것이 직접적인 원인으로 판단되며, 그 외에도 우회도로 조성 시 기존 취락지에 미치는 재해영향에 대한 철저한 평가가 부족했던 것으로 판단된다.

2.3 피해유형 구분 및 특성

본 조사를 통해 정리한 대표적인 사례를 종합하여 피해원인을 중심으로 피해유형을 구분하면 크게 6가지로 정리할 수 있다.

첫 번째는 비탈면 취락지의 산사태 피해를 들 수 있다. 평창군 봉평면, 인제군 북1리, 북3리 일대의 피해를 들 수 있

**여기에서 제시된 숫자는 필자가 조사과정에서 유관으로 확인한 개략적인 것으로 공식적인 집계결과는 아님을 밝혀둠

으며, 향후 개발사업 시에는 도로의 방향 및 형태 그리고 지역 내 도수로 정비 실태 및 펌프장 등 추가, 도수로 및 배관의 용량 확인이 필요하며, 장기적으로 소규모하천 인근 취락지에 대한 범람 시뮬레이션의 시행이 필요하다. (그림 2. 교외모델-b)

두 번째는 계곡 및 소하천 인근 지역의 급류 피해사례로 평창군 용평면 속사리 일대의 피해가 해당된다. 역시 입지가 잘못되어 발생한 사례로 공공시설(대피시설)의 적정 입지 결정이 필요하고, 특히 하천 폭 및 선형 변경에 대한 고려가 강조되어야 할 것이다. (그림 3. 시가지모델)

세 번째는 합류 하천 인근 취락의 하천 범람 침수피해로 평창군 방림면 일대의 피해가 해당된다. 이 사례를 통하여 하천이 모이는 지역에서의 재해방지 대책이 필요하다. (그림 3. 시가지모델)

네 번째는 하천 선형 변경이 있었던 인근 지역의 하천 범람 침수피해 형태로 평창군 진부읍 진부중고등학교 주변이 해당된다. 이 사례를 통하여 우선 공공시설(대피시설) 적정 입지 결정의 필요성이 다시 한번 강조되고, 하천 선형 변경에 따른 대응방안 모색이 필요하다. (그림 3. 시가지모델)

다섯 번째는 택지개발사업에 의한 시가지 저지대 취락의 침수 피해로 인제군 인제읍 남북리 주변을 들 수 있다. 이 사례가 주는 교훈은 택지개발사업 시 기존 취락지의 침수 위험 등 재해영향에 관한 검토・평가 및 대책 수립의 강화가 필요하다. (그림 2. 교외모델-b)

여섯 번째는 우회도로 건설 등으로 인한 시가지 저지대 취락의 하수역류 침수 피해로 인제읍이 대표적인 사례이다. 성토된 도로로 인해 기존 취락지의 배수체계가 영향을 받지 않도록 철저한 평가를 해야 한다. 이러한 지역에서는 기존 취락지의 도수로 및 배관의 형태와 용량・기능에 대해 검토가 필요하며, 특히 저지대 취락지 형성 및 주변 도로의 성토에 의한 재해영향 검토가 강화되어야 한다. (그림 2. 교외모델-b)

3. 재난・재해대응형 통합 모델 도출

3.1 모델 구성 요소의 도출 및 기능적 정의

3.1.1 모델 구성요소의 도출

재난・재해 발생 시 인적・물적 피해를 최소화하기 위해 고려해야 할 가장 중요한 대상은 인구 밀집지역(피해)이다. 함수로 보면 이들은 종속변수에 해당하고, 이들 종속변수에 영향을 미치는 요인, 즉 독립변수를 찾는 것이 중요하다.

도시시스템 상 재난・재해 특히 수해발생시 가장 중요한 변수로는 도로, 저류지, 대피소, 교통정보제공시스템을 들 수 있다. 여기에서 도로는 인구와 물의 이동로 역할을 하게 되며, 이들의 분리가 수해로 인한 피해 최소화의 관건이다. 즉, 사람들을 대피소로 모이게 하고, 물을 저류지로 모이게 하는 중요한 기능을 도로가 하게 된다. 여기에 추가적으로 사람들의 효율적인 이동을 위해 재난경보 및 피난경로유도와 같은 교통정보시스템도 이 연구에서 제시하고자 하는 모델의 구성요소들이다.

3.1.2 구성요소의 기능적 정의

3.1.2.1 도로

흔히 도로는 도시 내에서 차량의 흐름을 원활하게 하는 목적으로 건설되고 유지・관리되는 것이 일반적이다. 그러나 방재측면에서 도로의 기능은 일반적으로 생각하는 것보다 훨씬 중요한 부분을 차지하고 있다.

예를 들어 화재발생 시에는 건물간의 이격거리 확보를 통해 방화선의 역할을 하기도 하고, 지진이나 대형 폭발로 인한 건물의 붕괴 시에는 역시 주변건물이나 블록으로 피해 확산을 막아주는 저지선 역할을 하기도 한다.

그 외에도 홍수발생 시에 도로와 도로상의 공원 등 오픈스페이스는 잠시나마 물을 담는 그릇 역할을 하며, 동시에 물길을 유도하는 수로 역할을 함으로써 피해지역을 예측하고 주민과 재화의 대피를 유도할 수 있다. 그러나 무엇보다도 중요한 기능은 재난・재해 발생 시 시민과 재화의 대피 및 구조・구급 활동을 위한 통로 역할을 하는 것이다.

이렇듯 중요한 기능을 하고 있는 도로는 흔히 네트워크를 형성하고 있으며, 재난・재해에 의해 일부 구간에 유고가 발생할 경우에는 위에서 제시한 중요 기능을 상실하게 된다.

실례로 도로의 경사로 방향과 지반고 등이 저류지 및 하천 방향과 잘못되어 물이 거꾸로 고이는 등의 문제점이 발생하는 경우를 홍수발생 시에 흔히 경험하고 있다.

따라서 도로의 설계 및 건설단계에서부터 이러한 방재를 고려한 선형구성 및 교통광장 등 오픈스페이스의 적정 배치가 이루어져야 하며, 결국 도로가 방재를 위해 순기능을 할 수 있는 유지・관리가 필요하다.

3.1.2.2 저류지

저류지란 거대한 지하 빗물 저장소이고. 집중호우 시에는 댐과 같은 역할을 함으로써 홍수피해 저감시설로서 사용되는 것이다.

도시 내 저류지는 하천주변이나 일부 주택에 본연의 목적을 위해 설치하는 시설과 학교운동장, 공원, 아파트동간, 단지 내 실개천이나 호수 등과 같이 저류지 목적보다는 다른 용도로 건설되었으나 재난・재해 시 저류지 기능을 하는 시설들이 있다.

본 연구에서 제시하고자 하는 모형에서는 이들 저류지와 대피소의 분리가 관건이며, 특히 도로나 도시의 경사도를 감안한 적정한 배치가 필요하다.

3.1.2.3 교통정보제공시스템

원래 교통정보제공시스템은 일반 경로안내 및 교통정체나 사고발생시 우회정보나 소요시간을 알려 줄 목적으로 최근 10여 년 전부터 본격적으로 구축되고 있는 시스템이다. 이러한 IT 기술을 재난・재해 시 효율적인 대피를 위해 적용한 것이 재난대응교통정보시스템이다. 일본의 경우에도 VMS(교통정보제공전광판) 등을 통해 침수정보나 경고메시지를 표출하고 기타 방송시스템을 통해 대피를 유도하고 있다. 우리나라도 강변북로나 올림픽대로 등 침수 시 “우회바람”이라는 정보를 제공하고 있다. 그리고 침수도로에 대해서는 진입램프

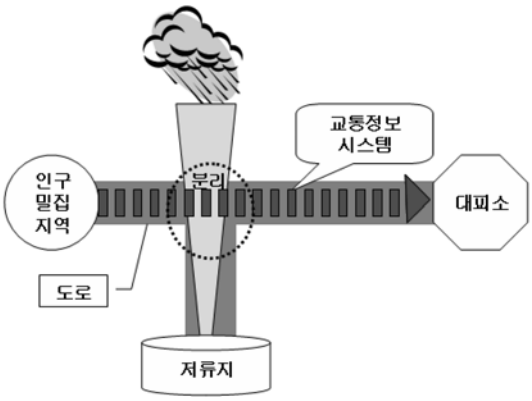

그림 1. 재난·재해대응형, 도시모델의 구성요소

에서 램프미터링을 통해 접근통제를 하는 경우도 있으나, 주로 현재 상황에 근거를 하고 있으며 예측시스템은 미비한 실정이다. 본 연구에서는 이러한 교통정보제공시스템 또한 도로의 기능과 연계하여 대피를 효율적으로 유도하는 모델의 중요한 구성요소로 선정하였다.

3.1.2.4 대피소

대피소는 재난·재해시 사람들이 모이는 가장 중요한 곳이나. 순수한 대피목적으로 건설되는 것보다 대형체육관, 학교, 공공청사 등 기존 시설을 이용하는 경우가 대부분이다.

그러나 앞서 제시한 조사 사례에서 보듯이 일부 대피소가 다시 침수되거나 파손되는 등 입지가 적절하지 못하는 경우가 발생하고 있다. 따라서 이들의 입지 역시 도시시스템 속에서 도로나 저류지의 위치 그리고 주변 환경을 고려하여 결정되어야 하며, 지속적인 모니터링과 시뮬레이션을 통해 관리가 필요하다.

3.2 피해유형별 모델 작성

앞서 제시한 현장조사결과 주요 재난·재해의 피해는 도시외 지역 비탈지 산사태와 계곡에서 발생하는 경우와 도시내 취락지에서 발생하는 경우로 크게 구분할 수 있다. 이러한 입지를 기준으로 교외모델과 도시모델 등 두 개의 모델을 제시하고자 한다.

3.2.1 교외모델

도시 외 지역은 대규모 집단취락지 보다는 분산된 취락지 특히 산비탈이나 계곡 등에 입지한 소규모 취락지가 산사태나 하천 범람 등에 대해 대책없이 피해를 당하는 경우가 많았다. 사고의 유형은 크게 두 가지로 구분되는데 첫 번째는 산과 하천에서 집중된 물이 마을로 넘치는 경우 (교외모델-a)로 여기에서 제시하는 모델은 상습피해지역에 대해 우선 도로(최소 왕복 2차로)를 두 개의 높이로 건설하는 것이다. 그래서 한 방향은 저류지로 물을 모으는 수로의 역할을 수행하고, 다른 하나는 대피로의 기능을 하도록 하는 모델이다. 그리고 이렇듯 지반고를 높인 도로는 집중 호우 시 댐 역할을 할 수 있고 신속한 대피를 위해 교통정보제공시스템을 구축한다. 동시에 수로에는 신속하게 저류지로 물을 유도할 수 있도록 대형배수로와 저류지를 설치한다.

두 번째는 산비탈에 입지한 마을의 우회도로 지반고가 높아 산에서 모인 물들이 높은 우회도로에 의해 저수지가 되어 마을이 수몰되는 사례가 있어 이에 대한 대응책 (교외모델-b)으로 산과 마을 그리고 도로의 배치를 도로가 가장 낮아 물을 쉽게 모을 수 있고 대형배수로를 설치하여 수로역할을 함으로써 신속하게 저류지로 물을 모을 수 있도록 한다. 동시에 산과 마을 사이에는 대피로와 교통정보제공시스템을 제공하여 신속한 피난이 가능하도록 해야 한다.

3.2.2 시가지모델

도시지역 내 시가지는 인구가 집중되어 있고, 도로망 또한 복잡하여 홍수에 대한 적절한 대응이 어려운 경우가 많으며, 좀 더 신중하게 접근할 필요가 있다. 따라서 도로의 특성 및 인구집중 지역을 감안하여 앞서 언급한 4개 모델구성 요소들의 적정 배치가 이루어져야 한다.

기본적인 원리는 대피로와 수로를 분리하고 지대가 높거나 대피로가 집중되는 곳에 대피소를 마련하고 지대가 낮거나

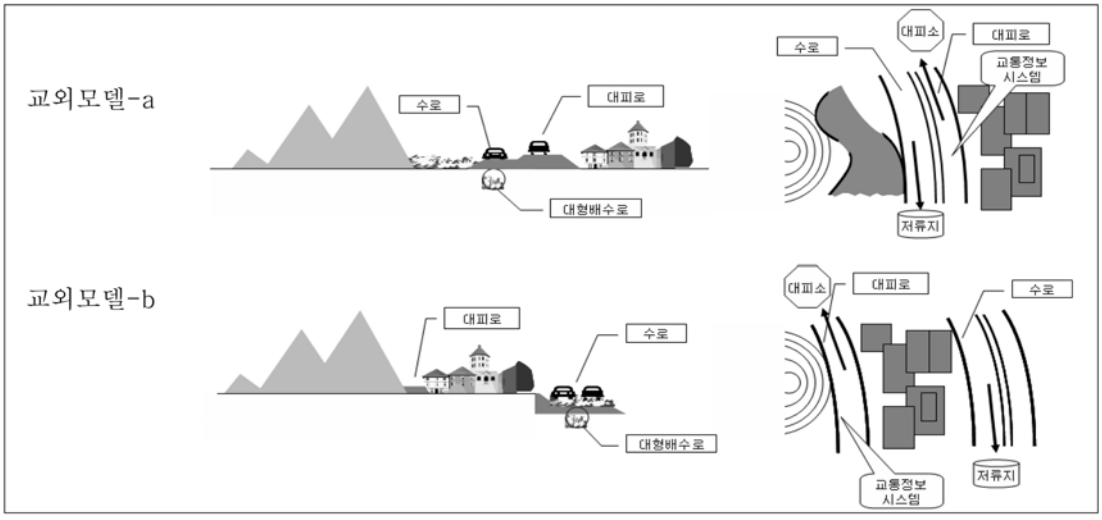

그림 2. 교외모델의 유형별 구성

수로가 모이는 곳에 저류지를 배치하는 원리이다. 여기에서 대피소는 도시 내 인구의 집중도를 고려하여 중심점 (Center of Gravity : Herz (1990))에 입지해야 한다. (참고 그림 3.)

$$L_{CG} = \sum_{j=1}^{m} f_j \times d_{ij} = MIN!!!$$

L_{CG} : 중심점의 위치
f_i : 빈도수 (n_i / N)
d_{ij} : 존 i 와 j의 거리 (n_i / N)
m : 존의 개수

그림 3에서 각 존안의 숫자는 인구비중을 의미하며 지반고가 표시되어 있다. 여기에서 점선은 수로이며, 실선은 대피로를 의미한다. 수로와 대피로의 선정은 지반고를 고려하여 각 존에서 대피소와 저류지를 연결하는 모든 루트 중에서 경로상 인구수가 최소인 루트에 수로를 배치하고, 인구수가 최대인 루트에 대피로를 설치하되 분산을 위해 각 두 개의 루트를 제시하고 있다. 그러나 여기에서 인구수 최대인 루트를 위해 우회 혹은 순회하는 루트는 제외되며, 재난·재해 상황에 따라 대피제한시간이내에 해당되는 루트만을 대상으로 한다.

$$R_W = \sum_{ij=1}^{m} n_{jj} = MIN!!!$$

R_w : 수로의 루트
n_{ij} : 루트통과 상 i, j 존의 인구수
$t_{ij} < t_{border}$: 대피제한시간이내 루트

$$R_e = \sum_{ij=1}^{m} n_{jj} = MIN!!!$$

R_e : 대피로의 루트
n_{ij} : 루트통과 상 i, j 존의 인구수
$t_{ij} < t_{border}$: 대피제한시간이내 루트

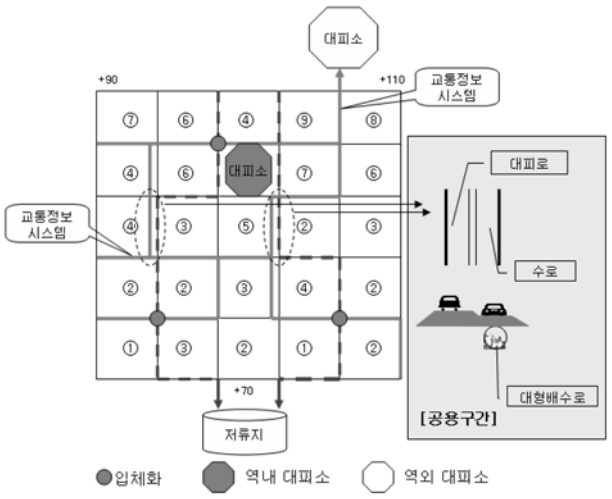

그림 3. 시가지모델의 구성

수로는 무엇보다도 지반고가 대피로 보다는 낮게 설계하고 투수성이 강한 포장재를 사용한다. 그리고 지하에는 대형배수로를 설치하여 집수기능을 강화하도록 한다. 반면 대피로는 수로보다 지반고를 높게 설계하고 교통정보시스템을 제공하여 신속한 대피가 가능하도록 하고, 배수가 원활하도록 편경사 등을 고려하여 설계하도록 한다. 그리고 수로와 대피로가 교차하는 지점은 수로를 아래로 하여 입체화하고 충분한 통수공간을 확보하도록 한다.

4. 모델의 사례 적용 및 주요 과제 도출

4.1 모델의 적용가능지역 및 적용효과

4.1.1 교외모델의 적용

"교외모델-a"를 적용할 수 있는 대표적인 사례가 평창군 방림면과 속사리 그리고 진부면의 경우이다. 모두 하천을 끼고 있으면서 인접 도로를 활용하지 못하고 범람하는 하천에 직접 노출된 경우로, 앞서 제시한 "교외모델-a"를 적용하면, 하천과 집단취락지, 보건소 등의 사이에 도로를 배치함으로써 도로가 댐 역할을 하면서 피난로 기능을 할 수 있다.

"교외모델-b"를 적용할 수 있는 전형적인 사례는 인제군 합강리의 경우로서, "교외모델-b"처럼 우회도로를 취락지보다 낮게 건설하였다면 우회도로로 인해 저수지가 형성되어 취락지가 침수되는 경우는 피할 수 있었을 것으로 판단된다.

4.1.2 시가지 모델의 적용

시가지 모델을 적용할 수 있는 사례는 인제군 남북리와 평창군 진부면 그리고 봉평면에서 찾을 수 있다. 인제군 남북리의 경우 신규 택지 조성사업 시 도로망 형성과정에서 신규도로를 수로의 개념으로 설계하여 인근 하천으로 배수를 하였다면 침수피해는 예방할 수 있었을 것으로 판단된다.

기타 평창군 진부면과 봉평면의 경우에는 보건소와 대피소의 입지 선정이 잘못된 경우로 이 연구에서 제시한 모형을 이용하여 인구가 집중하면서 지대가 높은 곳에 대피소를 설치하였다면 재난구호시설이 피해를 당하는 경우는 없었을 것으로 판단된다.

4.2 재난·재해 대응형 도시건설을 위한 주요 과제

4.2.1 기본 방향

지금까지 제시 한 재난·재해 대응모델의 특징은 크게 네 가지로 정리할 수 있다.

첫째, 사전대비형 모델이다. 기존의 체제가 주로 사후 관리 및 복구에 초점을 맞추는 것에서 벗어나 예방차원의 도시건설 방안을 제시하였다.

둘째, 주민 중심의 모델이다. 기존의 주로 차량 통제를 전제로 하는 사후 수습 및 복구 체제에서 벗어나 주민과 도로 이용자의 편의를 우선으로 하는 대응방안이 제시되었다.

셋째, 정보화·첨단화된 유고대응 도시의 건설이다. 최근 IT기술의 발달로 ITS 및 GIS의 활용이 각 분야에서 확대되어가고 있다. ITS분야 역시 자체적으로 돌발상황관리시스템

이나 긴급차량우선신호체계 그리고 기후정보시스템(WIS) 등 교통정보제공 및 교통관리시스템의 활용을 통해 보다 신속한 재난·재해 대응이 가능하도록 하였다.

넷째, 통합계획적 모델이다. 기존 도시계획이나 설계에서 방재에 관한 내용이 산발적이고 구체적이지 못한 점을 보완하기 위하여 도로, 교통(관리 및 정보제공), 도시계획(시설배치 등) 등 각 분야의 연계를 통한 보다 종합적이고 실효성있는 대응방안을 제시하고 있다.

4.2.2 주요 과제

그림 2.와 그림 3. 에서 제시한 모델의 구현을 통해 재난·재해 대응형 도시건설을 위한 기반시설과 시스템 설치 등이 포함되는 H/W 측면과 조사, 계획 및 제도적 측면의 S/W 측면의 과제를 정리할 수 있다.

4.2.2.1 H/W측면의 과제

첫째, 우회대피도로의 건설이 필요하다. 앞서 언급한 바와 같이 취락지의 입지와 주변 상황에 따라 기존 도로가 낮은 지점에서 수로 역할을 수행할 필요가 있을 경우 이러한 우회대피도로가 필요하다. 기존 도로가 수로 기능을 할 경우 도로의 전면 혹은 부분적인 통제로 인해 도로 기능을 상실하고, 주민이나 도로이용자들을 장시간 기다림에 지치면서 막대한 시간손실과 사회적 비용을 지불하게 된다. 외국의 경우 이에 대비하여 블록별 혹은 노선별로 우회도로망을 확보하여 차량의 흐름을 우회대피시키는 방안을 마련해 놓고 있다. 이는 ITS 기술의 도로정보제공시스템과 통합하여 구축함으로써 교통류를 분산시켜 신속한 대피가 가능하도록 하고 있다.

둘째, 도로설계 기법의 개선이 필요하다. 앞서 도로기능에 따라 지반고의 높이 조정과 지하시설물, 포장 등에 대해 언급한 바 있다. 이를 위해서는 우선 방재조사 등을 통해 도시 전체 혹은 대상지역의 전반적인 경사도나 유수지 등 저수공간 등의 입지를 결정과 취약지점을 인지하고 이를 감안한 도로 네트워크 구성이 필요하다. 즉 유수지 방향과 직각으로 도로가 건설된다면 강우 시 신속한 물의 흐름을 억제하게 될 것이다. 이 연구에서 제시한 모델처럼 유수지 방향으로 도로의 선형을 잡고 건설하는 것이 바람직하다. 이렇듯 도로설계와 건설에서부터 방재에 활용할 도로와 대피에 활용할 도로를 고려해야 한다.

셋째, 도로네트워크를 감안한 재해대피소의 최적입지를 설정해야 한다. 지금까지 대부분의 도시들은 기존의 시스템 속에서 공간이 있는 곳, 예를 들면 학교 등 공공시설에 대피소를 마련하는 것이 일반적이었다. 그러나 접근성과 방재에 활용할 도로네트워크 등을 감안하여 최단시간에 최대의 주민이 모일 수 있는 곳에 대피소를 마련해야 할 것이다. 기존 도시는 이러한 시스템 구축이 어려우나, 행정중심복합도시 등 신도시에는 이러한 점을 고려하여 최적의 입지에 대피소 역할을 할 수 있는 학교 등 공공시설을 배치할 필요가 있다.

넷째, ITS(지능형교통체계)의 다양한 시스템의 도입을 통한 보다 신속하고 효율적인 재난·재해 대응시스템을 구축해야 한다. 대표적으로 돌발상황관리시스템, 긴급차량우선신호시스템, 기상안내시스템 (WIS : Weather Information System) 그리고 정보안내시스템(VMS : Variable Message Sign)등을 들 수 있다.

다섯 번째 과제로는 재난·재해예고시스템의 구축을 들 수 있다. 이미 기상청을 중심으로 홍수, 황사 등 기상악화 시 핸드폰 등 다양한 매체를 통해 정보를 받고 있지만, 도로부문에 대한 구체적인 정보는 없는 실정이다. 즉, 기상예보를 감안하여 침수예상도로, 위험도로구간 등에 대한 정보를 줄 수 있는 시스템 구축이 필요하다.

4.2.2.2 S/W측면의 과제

사실 도로 및 다양한 방재 시설 및 시스템의 설치도 중요하지만 이들을 시스템적으로 또한 계획·제도적으로 잘 운영하고 관리하는 S/W측면의 과제들이 더욱 더 중요하다.

첫 번째 과제는 방재조사와 이들 조사결과를 GIS에 접목시켜 활용하는 데이터베이스의 구축이다. 조사는 계획의 기본이다. 특히 방재조사는 사전대비형(예방형) 재난·재해 대응 도시 및 도로 건설의 판단근거가 되므로 세부적이고 주기적인 조사가 필요하다. 그리고 이들 자료는 지리정보시스템(GIS)과 연계하여 도면, 통계 등 도로 및 도시계획에 다양한 정보와 자료를 제공해 줄 수 있도록 해야 한다.

두 번째, 대피경로 및 대피거점을 기반으로 주민 대피를 위한 시뮬레이션 시스템의 개발이 필요하다. 구역별 대피시간과 대피가 어려운 주민의 위치 등을 파악하고 필요시 대피용 도로신설 등도 함께 고려해야 한다.

세 번째 과제는 방재계획과 타 계획 그리고 도시계획 내 다른 분야 간 연계성 확보를 위한 종합계획기반 마련이 필요하다. 항상 고민하는 부분이지만 토지이용계획과 교통계획, 특히 도로용량을 감안한 시설계획은 인구밀집도와 대피경로의 용량 확보 측면에서 매우 중요한 부분으로 이에 대한 사례가 될 수 있다. 이를 위해 이러한 다양한 분야 간 연계성 확보가 의무화 될 수 있도록 해야 할 것이다. 또한 제도적으로 재난·재해예방 및 사후 수습·복구과정의 단축을 위한 보고체계의 개선이 이루어져야 신속하고 효율적인 재난·재해 대응 도시건설이 가능해 질 것이다.

끝으로 이상의 각종 유고대응방안의 행동주체는 주민이다. 즉, 아무리 좋은 계획, 시설이라 할지라도 주민이 이해하지 못하는 시스템을 무용지물이다. 따라서 이들 시스템에 대한 주민설명, 교육 그리고 이러한 시스템 구축에 주민의 참여를 통한 재난·재해 대응형 도시 만들기에 대한 노력이 필요하다.

5. 결 론

최근 지구온난화와 기상이변으로 등으로 인해 자연재해가 많이 발생함에 따라 도시 방재에 대한 관심이 많아지고 있다. 그러나 관심과 재난·재해의 다양성에 비해 이에 대한 대비책은 미비한 실정이다.

예측 가능한 재난·재해는 사전에 대비함으로써 미연에 방지할 수 있고, 예측이 어려운 재난·재해의 경우에도 사전에 대비함으로써 그 피해를 줄일 수 있다는 것은 누구나 공감하

고 있는 사항이다.

여기에서는 도시건설의 기반이 되는 도로를 중심으로 재난・재해 대응형 도시가 나가야할 방향과 주요 과제를 제시하였다. 특히 도로는 차량의 흐름을 원활하게 하는 기능 외에도 방재 측면에서도 중요한 역할을 하고 있음을 여러 자료와 사례를 통해 언급하였다.

결국 재난・재해 대응형 도시는 사전대비형, 주민중심, 정보화・첨단화 그리고 통합계획적인 형태로 건설되어야 하며, 여기에서 제시한 과제가 구현될 때 진정한 재난・재해대응형 도시체계의 구축이 가능해 질 것이다.

이 연구를 통해 제시된 수로와 대피로의 분리, 입체화 및 지반고 변화, 지하시설물(배수로)의 확보, 포장 등 도로설계시 방재측면에서 고려해야 할 사항을 3개 모델의 형태로 제시하였다, 그 외 저류지와 대피로의 적정 입지 그리고 교통정보시스템을 이용한 효율적 대피시스템 구축 등 도시전체를 재난・재해 대응형 도시로 거듭날 수 있도록 하고 있다.

그러나 여기에서 제시한 모형을 이용한 실제 시뮬레이션을 통한 계량적 효과분석을 하지 못한 점은 향후 과제로 남겨두고 지속적인 연구가 이루어지길 기대한다.

참고문헌

강양석, 김현주 (2005) 도시성장과 재해방지-도시정보. **대한국토・도시계획학회논문집**, 대한국토・도시계획학회, 제279호, pp. 144-160.

건설교통부 (2004) **내부자료**.

김경석 (2006) 사전재해영향성검토 내용보완을 위한 현지조사 소개 -도시계획분야-. **방재정보**, 한국방재협회, 제28호(12월호).

김경석 외 (2000) **유고검지기술개발연구**. 연구보고서, 국토연구원.

김현주 (2005) 우리나라 도시계획에서 방재계획 부문의 현황과 개선방향. **대한국토・도시계획학회논문집**, 대한국토・국토연구원, 제40권, 제2호, pp. 65-79.

문채 (2005) **일본사례에 기인한 우리나라 방재도시계획의 운영방안에 관한 연**구. 국토연구. 국토연구원, 제44권, pp. 35-50.

소방방재청 홈페이지.

유완, 김용철, 김태현 (2005) 도시의 재해 대피소의 적정 위치선정. **대한국토・도시계획학 정기학술대회논문집**. 대한국토・국토연구원, pp. 17-25.

이상건 외 (2005) **국가기간교통망의 유고 대응전략 연구**. 연구보고서, 국토연구원.

이창수 외 (2003) 국가재해관리와 도시계획-도시정보. **대한국토・도시계획학회논문집**, 대한국토・국토연구원,, 제279호, pp. 144-160.

R. Herz (1990) *Standorttheorie*(시설입지론). 내부교재, Karlsruhe Univ..

◎ 논문접수일 : 2008년 05월 14일
◎ 심사의뢰일 : 2008년 05월 15일
◎ 심사완료일 : 2008년 06월 04일