



지역 특성을 고려한 교통방재시스템 구축 및 활용에 관한 연구

Developing and Utilizing Transportation Disaster Prevention System Considering Regional Characteristics

손 영 태*
Son, Young Tae

Abstract

In order to manage traffic operations efficiently, it is required to establish evacuation strategies, including path, disaster prevention, and signal control. This is because the delayed response of operators would cause dreadful loss of our community. Therefore, it is very important to do the research related to traffic disaster prevention system. In this paper, we select the City of Cheongju as a study area since lots of damage resulting from natural disaster such as storm and flood have been frequently taken place. In addition, this paper suggest traffic disaster prevention measures and analyzed its effect on signal operation to achieve high level of traffic efficiency. As a result, traffic flow is similar to normal condition when we applied developed signal operation method. It is also demonstrated if disaster information is spread out as fast as it can be, and signal operation is managed properly in case by case, we conclude that user safety has to be secured.

Keywords : transportation disaster prevention, evacuation path, signal operation, transportation operation

요 지

재난 발생시 보다 안전하고 효율적인 도로 운영을 위해서는 사전에 대피 및 방재경로 등의 지정과 더불어 재난 발생시 상황 변화에 따른 신호운영 방안이 정의되어 있어야 한다. 특히 재난 발생시 운영자의 대응이 지체된다면 도로 이용자의 안전을 확보할 수 없을 뿐만 아니라 막대한 사회적 손실을 입게 되므로 교통방재시스템의 설계방향에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다. 본 연구에서는 풍수해로 인한 피해가 잦은 청주시를 대상으로 교통방재시스템을 설계하고, 도로 이용자의 안전을 위해 대피 및 방재경로를 새롭게 정의하였으며, 경로의 효율성을 높이기 위해 신호운영방안을 영향권별로 정의하여 그에 대한 효과를 분석하였다. 본 연구에서 정의한 신호운영을 적용하여 분석한 결과 평상시와 유사한 교통흐름을 나타내었으며, 재난 발생시 재난에 대한 정보를 도로 이용자들에게 최대한 빠르게 전달하고, 상황에 적절한 신호운영을 실시한다면 이용자들의 안전을 확보할 수 있을 것으로 판단되었다.

핵심용어: 교통방재, 대피경로, 신호운영, 교통운영

* 정회원 · 명지대학교 교통공학과 교수 · 공학박사



1. 연구배경 및 목적

우리나라의 경우 자연재해(홍수, 태풍 등)의 발생이 증가하고 있으나, 그에 따른 조기감지 및 대응이 신속하게 이루어지지 않고 있으며, 또한 상황발생에 대한 정보 부족으로 도로 이용자 및 시스템 운영자/관리자들이 혼란 속에 빠지게 되어 주변 도로가 극심한 정체를 겪게 되고 나아가 더 큰 인명 및 재산 피해가 발생하고 있다. 이러한 도로 정체를 해소하고 이용자의 안전을 확보하기 위해서는 교통방재시스템이 구축되어 있어야 하나, 우리나라는 이에 대한 연구가 미비한 실정이다. 현재 정의되어 있는 방재경로란 긴급상황 시 소방차 등과 같은 긴급차량이 무리없이 이용 가능하도록 지정한 도로로 관리주체가 지속적인 감시와 관리를 수행할 수 있도록 법적으로 지정해놓은 긴급소방도로를 말하며, 운영관리자 측면에서의 경로를 뜻한다. 그러나 재난 발생시 신속한 구조 및 대피를 위해서는 도로 이용자가 대피하기 위한 경로와 긴급차량을 신속하게 투입하기 위한 방재경로를 구분하여 사전에 정의하여야 하며, 보다 효율적으로 이용자를 대피시키기 위해서는 도로 차단 및 침수지역으로의 진입금지, 주기축소 등의 신호운영을 실시하여야 한다.

이에 본 연구에서는 교통방재시스템 구축방향을 제안하고, 충북지역의 지역적 특성을 파악하고 그 중 가장 피해가 많이 발생하는 지역인 청주시를 대상으로 제안한 교통방재시스템 중 대피·방재경로 지정 및 교통운영방안(영향권 정의 및 신호운영방안 제시 등)을 수립하여 그 효과를 분석하는 것을 목적으로 한다.

2. 연구의 방향 및 수행방법

본 연구의 범위는 여러 가지 재난 중 우리나라에서 피해가 자주 발생하는 풍수해를 대상으로 하고, 이용자를 도로 이용자(승용차)로 한정시키도록 한다. 교

통방재시스템 구축을 위해 먼저 국내외 이론적 고찰을 시행하였으며 이를 통하여 교통방재 개념정립 및 교통방재시스템의 문제점·보완방안을 제시하고, 재난관리단계에 맞춰 교통방재시스템 구축방안을 제시하도록 한다. 또한 제시한 교통방재시스템 구축방안을 바탕으로 시범사례지역인 충북지역 중 많은 풍수해 피해를 입고 있는 청주의 한 개의 동을 대상으로 재난관리단계에 제시되어 있는 것 중 대피 및 방재경로 선정, 재난 발생시 교통운영관리방안에 대해 구축하여 그에 대한 효과를 분석하도록 한다.

3. 기존 연구 고찰

3.1 방재 관련 문헌 고찰

국립방재연구소(2001)의 방재기본계획수립을 위한 방재정책기본방향에 관한 연구'는 방재기본계획의 기초와 예방, 응급, 복구대책 수립에 관한 기본방향을 제시한 것으로서 각 재해 재난별 세부대책을 제시하였으나, 원론적인 수준으로 구체적인 대응책은 제시되어 있지 않았다. 예를 들어 교통두절지역의 소통대책은 도로관련기관과 협조체제유지, 군부대 지원요청, 우회도로 사전지정 운영 등과 같은 지침적인 성격의 내용으로 세부적인 방법론은 미흡한 실정이다. 건설교통부 재해대책편람(2004)에서는 재난을 크게 자연재해와 인위재난으로 구분하고 이 중 풍수해, 설해, 결빙, 지진, 안개, 황사, 가뭄 등의 6가지 재해를 분류하여 대응체계를 제시하였고 이를 다시 수자원, 도로, 항공, 철도, 도시철도, 육상수송, 주택건축분야로 나누어 세부 매뉴얼을 제시하였다. 본 편람은 건교부와 산하 조직의 재난·재해별 대처요령에 대하여 세부적으로 기술한 것이나 이 역시 행정적인 지침서 성격으로 재난에 대해 교통공학적 접근을 하지 않고 있다.

국립방재연구소(2004)의 국지성 집중호우의 조기 대응시스템 개발에서는 단시간에 발생하는 강우 현



상은 강우예측의 정확성이라는 문제와는 별도로 대피나 예방에 필요한 시간 제약성 등으로 인해 엄청난 규모의 피해를 발생시키며, 동일지역 내에서 강우의 편차는 갈수록 심해지는 경향을 보이고 있다고 강조하였다.

따라서 이러한 국지성 집중호우에 대해 기존의 관련 시스템과 현재 연구·개발되고 있는 시스템과의 연계를 통하여 상호보완 및 발전시켜 신뢰성 높은 호우예측능력 및 재해 조기대처능력을 향상시키기 위한 방안을 마련하는 것이 필요하다고 할 수 있다.

3.2 교통방재 관련 문헌 고찰

국토연구원(2005)의 국가기간교통망의 유고대응 전략 연구에서는 국내 재난대응체계의 문제점을 분석하고, 이를 해결하기 위하여 재난 단계별 대응전략을 구체적으로 제시하였다. 풍수해를 대상으로 재난 대비 단계에서 과거재난으로 인한 피해현황 데이터를 근거로 영향권을 예측하는 모형을 개발하였고, 재난대응 단계에서는 현장의 인명피해를 최소화하기 위해 최단대피경로를 설정하여 대피경로별로 최적의 대피규모를 산정하는 방안을 제시하였다. 또한, 재난 복구 단계에서는 복구효과가 가장 높은 순서로 피해도로 복구 우선순위를 선정할 수 있는 전략을 제시하였다.

유정훈(2006)은 긴급상황 발생시 인명대피 및 구조를 위한 교통망제어에서 대형재난 발생시 응급차량들의 신속한 이동경로를 확보하기 위해 교통제어 모형을 바탕으로 핵심지역 및 국가 주요시설에 대한 재난 대응 교통체계관리방안을 사전에 수립함으로써 실제 재난발생시 응급대피 및 구조차량의 신속한 배치를 실시하여 이용자의 안전을 보장해야 한다고 제시하였다.

신성일(2006)은 서울시 교통방재체계 구축방안 연구에서 교통방재 및 방재경로에 대해 정의하고 있다. 교통방재란 Point 및 Line에서 발생하는 재난의 결과로 인해 발생하는 1차적인 재난의 피해감소와

확산을 방지하고, 그 영향이 Area로 확산되어 2차 재난으로 확대되는 것을 막는 방재활동이라 하였으며, 방재경로란 긴급상황시 소방차 등과 같은 긴급차량이 무리없이 이용 가능하도록 지정한 도로로 관리주체가 지속적인 감시와 관리를 수행할 수 있도록 법적으로 지정해놓은 긴급소방도로를 의미하며, 소방차의 최단시간 현장접근 및 소방을 위한 작업공간 확보를 목적으로 한다고 정의하고 있다. 또한 폭우/침수시, 고속도로 침수시 진입램프 차단기를 작동하여 재난지역으로 진입하려는 차량을 원천적으로 봉쇄하며, 램프와 연결되는 신호교차로의 진입현시 제거, 회전규제 해제 등의 신호운영을 제안하고 있으나, 본 연구에서는 방재경로를 도로 이용자들이 대피하는 대피경로와 긴급차량들이 진입하는 이동경로를 혼재하여 작성하고 있어 이동류간의 상충으로 인한 정체 현상이 불가피할 것으로 판단되며, 위험지역으로의 진입현시 제거 등의 소극적인 운영제어를 행하고 있으므로 이에 대한 보완이 요구된다.

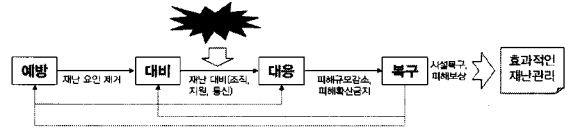
3.3 검토 결과

문헌 고찰 결과 우리나라의 경우 자연재난 중 풍수해로 인한 피해가 가장 많으며, 인명과 재산피해를 비교해보면 인명피해는 감소추세를 보이나 도시화에 따른 복잡한 사회 시스템, 국가 기반시설 확충, 자산시설의 가치증대 등으로 재산피해는 급격한 증가추세를 보이고 있다. 또한 지금까지 교통방재시스템에 관한 연구는 주로 재난에 대한 전체적인 대응책을 제시하는 것으로 이런 식의 접근방식으로는 재난 발생시 신속한 대응이 매우 어려우며, 피해를 최소화시킬 수 없다.

따라서 재난 발생시 관리의 효율성을 높이기 위해 재난관리 단계별(예방 → 대비 → 대응 → 복구 단계) 대응전략을 마련해야 하며, 또한 재난 발생시 신속하게 이용자들이 대피하고, 구조할 수 있도록 방재경로의 선정기준을 수정(대피경로와 방재경로로 구분)하고 효율적인 교통류관리를 위하여 위험지역으



로 진입현시 제거뿐만 아니라 기존현시 및 주기 조정 등의 적극적인 신호운영방안을 수립하여야 한다.



* 서울시 교통방재체계 구축방안 연구, 서울시정개발연구원, 2006

그림 1. 재난 관리 단계

4. 교통방재시스템 구축방안

4.1 교통방재시스템 구축방향 제안

현재 재난관리 단계는 다음과 같이 예방→대비→대응→복구 등의 4단계로 구성되어 있으며, 각 단계들은 서로 유기적으로 연결되어 있다.(그림 1 참조)

그러나 재난 발생으로 미리 피해를 입지 않기 위해 행하는 단계로 예방 및 대응단계가 유사하므로, 불필요한 시간 및 인력낭비를 막기 위해 예방 및 대비 → 대응 → 복구 등 3단계로 본 연구에서는 대응 단계를 재구성하였다. 교통방재시스템 구축방향을 제시하는

범위는 시 또는 군 등의 지역에서의 일반도로(고속도로 제외)로 교통방재시스템을 구축하기 위해 우선적으로 자연재난(풍수해) 발생시 서비스 요구사항을 운영자 및 이용자로 구분하여 다음과 같이 이용자별 세부요구사항을 검토하였다.

기존의 재난 대응 단계 정의와 이용자별 세부요구사항 정의를 기초로 교통방재시스템 설계방향을 제안하였다(표 2. 참조).

표 1. 풍수해(자연재난) 세부요구사항

구분	내용	목적	
운영자 측면	재난 발생 전	- 적절한 대피를 유도하기 위해 태풍의 크기, 강수량, 침수 정도에 따른 대피시간 및 대피유형에 관한 사전 분석 대응 체계가 필요 - 사전 대응을 위해서는 사전발생일, 지속시간, 대응체계, 복구시점, 복구에 동원된 인력, 피해규모, 지역별 사전발생수 등의 발생한 태풍 및 집중호우 data가 필요 - 환자이송·대피 등의 사고처리를 위해 사후대응전략이 필요 - 사후대응을 위해 주변 우회도로 및 응급기관의 위치, 규모 등이 필요하며 분산유도를 위한 정보제공 매체 선택이 요구 - 사전대응·정보제공을 위하여 관계기관(기상청, 경찰청, 소방방재청 등) 및 요구 데이터 등의 정의가 필요	- 침수로 인한 도로 통제 발생시 이용자들에게 정확한 정보를 제공하여 통제구역으로의 진입을 막고 대피경로로 이동 - 더 많은 차량을 침수된 도로로부터 대피시키고 정체가 발생하지 않도록 교통운영관리를 실시
	재난 발생 후	- 침수된 도로 위의 차량을 빨리 대피시키기 위해 여러 가지의 대피경로 확보 및 정보 제공이 필요 - 수위 및 태풍의 이동경로 정보제공을 위한 실시간 감시 및 현장복구 진행상황에 관한 정보의 수집 필요 - 피해가 확대되지 않도록 이용자별(승용차유무, 영향권별), 재난유형별 Evacuation 관리전략 실시	
이용자 측면	영향권 내부	- 재난 발생시 침수된 도로 위의 이용자의 경우 대피경로·대피장소·대피시간 등에 관한 신속한 정보제공을 필요로 하며, 빠르고 안전하게 빠져나가길 원함 - 재난 발생시 영향권 내의 우회기능 권역에 있는 이용자는 우회도로의 정보(위치·소통상황) 영향권별로 차별화된 우회도로 정보를 필요로 함	- 신속한 정보 제공으로 더 많은 차량들이 침수 지역에서 벗어나도록 함 - 침수지역에서 벗어난 후 대피경로를 통해 빠른 대피가 가능케 함
	영향권 외부	- 침수 수위 정보, 예상 통행가능시간, 정체/소통상황 등의 정보제공을 통해 도로 이용 가능상황을 파악하길 원함 - 도로의 차단으로 인한 극심한 교통정체 발생 시, 영향권으로 진행 중이거나 영향권 통과예정 중이던 이용자는 우회를 위한 도로·교통정보(발생위치, 소통상황, 우회도로 정보)를 필요로 함	



표 2. 교통방재시스템 구축방향

구 분		내 용
예방 및 대비	정 의	- 재난 발생으로 피해를 입지 않기 위해 미리 대응하는 단계 - 방재 및 복구시설의 적절한 배치로 상황발생시 대응을 신속하게 할 수 있도록 함
	교통방재 구축방향	- 재난 발생에 따른 영향권 설정 - 소방서 및 구난차량 위치에 따른 방재경로 선정 및 관리 실시 - 대피소로의 신속한 이동을 위한 대피경로 선정(다수 대안 선정) - 대피 및 구난차량의 이동을 위한 신호운영방안 수립 - 이용자 영향권별 정보제공방법 및 내용정의 • 메시지 제공 매체, 메시지 형태(동영상, Text, 이미지 등) 및 메시지 내용(재난발생위치, 피해상황, 이동경로 등) - 재난상황에 따른 시간대별 시나리오 작성 • 운영자가 쉽게 따라할 수 있도록 재난 발생에 따른 운영방안 제시
대응	정 의	- 재난 발생 직전 또는 진행단계로 상황발생시 필요한 시설과 인원의 적절한 배치로 피해 최소 유도 - 이용자 대피, 재난상황 전파, 재난현장 수습, 인명 수색 및 구조, 이재민 수용 및 보호 등의 활동 실시
	교통방재 구축방향	- 예방 및 대비에서 설계한 방재 및 대피경로, 신호운영 등을 실상황에 적용하여 교통상황 모니터링에 따른 단계별 대응 실시 - 이용자 권역별 차별적인 정보제공을 통한 교통류 분산 • 직접 영향권 : 대피경로 제시 • 간접 영향권 : 차단 및 우회경로 제시 - 재난 발생지역으로의 긴급차량 투입(방재경로를 이용한 최적경로정보 제시)
복구	정 의	- 재난으로부터 피해를 입은 도로, 교량 등의 각종 시설에 대해 재난 발생 이전상태로 환원시키는 작업 의미
	교통방재 구축방향	- 도로 복구 우선순위를 고려하여 신호제어 및 경로제공

4.2 예방 및 대비단계

4.2.1 재난 영향권 설정

예방 및 대비는 재난 발생으로 피해를 입지 않기 위해 미리 대응하는 단계로 가장 우선적으로 수행해야 할 것은 재난 발생에 따른 영향권을 설정하는 것이다. 재난의 영향권은 재해유형별로 특징에 따라 상이하며, 본 연구에서는 화재를 대상으로 영향권을 1차 영향권, 2차 영향권, 3차 영향권으로 다음과 같이 구분하였다.

- ① 1차 영향권 : 사건으로 인해 도로 자체 기능이 바뀌는 곳으로 이 지역 내에 위치한 모든 도로 구간의 차량과 인명이 최우선으로 대피해야 함
- ② 2차 영향권 : 1차 영향권 내에서 대피하는 차량들로 인해 교통혼잡 등이 추가로 발생하는 구간

- ③ 3차 영향구간(잠재위험구간) : 시간의 흐름에 따라 영향권의 범위가 확대될 가능성이 있는 잠재적인 위험구간

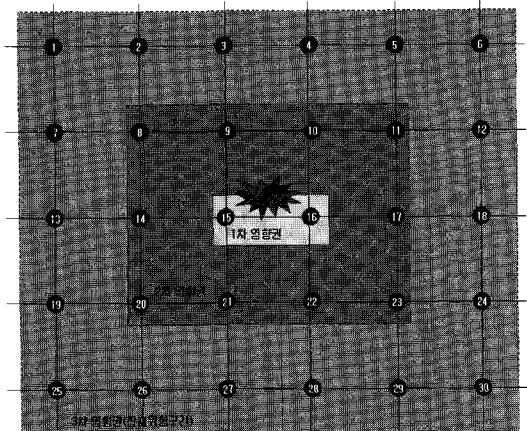


그림 2. 영향권 정의



4.2.2 방재 및 대피경로 지정

재난 영향권 선정이 완료되면, 재난 발생지역의 대피소, 긴급차량 등의 위치를 고려하여 방재경로와 대피경로를 지정하여야 한다. 방재경로란 긴급차량(소방 및 경찰, 병원, 구조차량 등)이 이용하는 도로이며, 대피경로란 재난이 발생했을 경우 영향권 내에 있는 도로 이용자들이 대피시 이용하는 경로를 의미하며, 신속한 긴급차량 투입과 영향권 내의 이용자 대피를 통한 사회적 손실을 최소화하여야 한다.

표 3. 방재 및 대피경로 설계원칙

구분	고려사항	설계원칙
방재경로	- 소방서 및 구난차량 위치 - 기하구조 및 신호운영 현황 - 도로 혼잡상황 - 재난발생 위치의 지역적 특성	- 소방서 및 구난차량의 이동이 가능한 도로(집산로 및 국지도 이상) - 최단거리 - 최단시간 - 도로 혼잡이 최소인 곳
대피경로	- 재난발생 위치 - 기하구조 및 신호운영 현황 - 주변 혼잡도	- 1차 영향권에 존재하는 차량을 우선적으로 대피 - 2차 영향권으로 유입되는 차량 차단 - 방재경로와의 중복 및 영향권 내 차량들의 상충 최소화

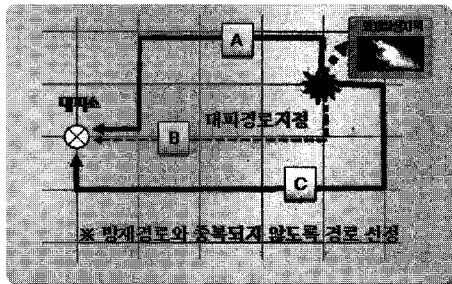
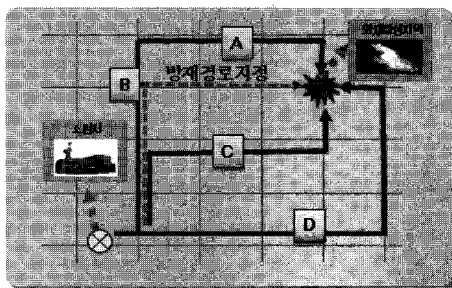


그림 3. 방재 및 대피경로 지정 예시

방재 및 대피경로를 지정하기 위해서는 표 3 및 그림 3과 같은 설계원칙을 바탕으로 다수의 경로를 지정하여 교통상황에 따라 경로를 유기적으로 제공해야 한다.

4.2.3 대피 및 구난차량의 이동을 위한 신호운영 구성

대피 및 구난차량의 신속한 이동을 위해서는 위험에 가장 많이 노출되어 있는 1차 영향권의 차량들을 우선적으로 대피시키며, 2차/3차 영향권의 차량들은 영향권 내 차량의 상충을 최소화시켜야 한다. 이를 위해서는 영향권별로 차량들의 이동권을 부여하도록 하며, 재난 발생시 영향권 내로 진입하는 차량들은 도로 차단으로 진입을 금지하여 위험으로부터의 노출을 최소화하도록 한다(영향권 내로 진입하는 방향으로의 신호현시 삭제 또는 red, 시설물을 통한 도로차단).

표 4. 영향권별 신호운영 설계원칙

구분	고려사항	설계원칙
1차 영향권	- 화재 발생지역의 인근 도로 - 방재경로와 겹치는 도로 - 주방향 도로	- 1차 영향권 내 차량의 우선 대피를 위해 직진신호 제공 - 1차 영향권과 2차 영향권에 연결된 링크에 존재하는 차량들은 u-turn
2차 영향권	- 1차 영향권의 차량과의 상충 최소화	- 그 외 2차 영향권 내 존재하는 차량들은 직진신호 제공
3차 영향권	- 1차/2차 영향권의 차량과의 상충 최소화	- 2차 영향권과 3차 영향권에 연결된 링크에 존재하는 차량들은 우회전

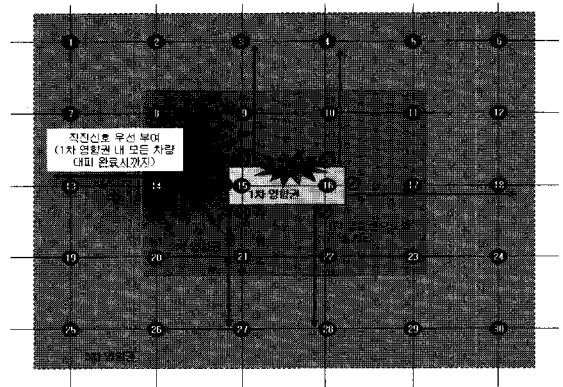


그림 4. 1차 영향권 교통운영 방안



표 5. 재난발생 정보제공 시 고려사항

재난발생 정보제공	정보제공 내용
<ul style="list-style-type: none"> - 간결하고 간단하며 명확한 전달 - 적극적인 표현의 활용 - 중요한 정보에 대한 정기적인 반복표현 	<ul style="list-style-type: none"> - 위험에 대한 시기적절한 정보의 전달 - 인명의 손실, 부상, 재산의 손실을 경감하기 위한 행동방안에 대한 설명 - 재난경보를 무시했을 경우 예상되는 결과에 대한 설명

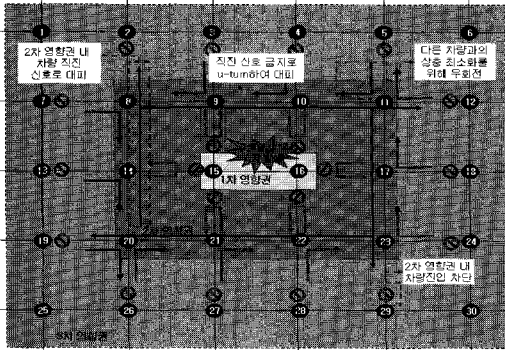


그림 5. 2차 영향권 교통운영 방안

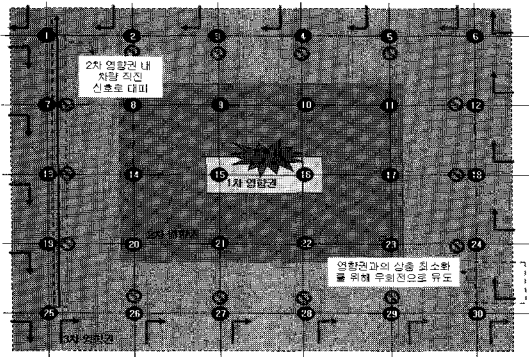


그림 6. 3차 영향권 교통운영 방안

정보는 크게 예지정보(예방단계), 경보정보(대비단계), 행동정보(대응단계)로 구분되며, 예지정보는 3차 영향권 대상자, 경보정보는 2차 영향권 대상자, 행동정보는 1차 영향권 대상자에게 제공할 수 있다. 또한 VMS와 같이 불특정 다수에게 정보를 제공할 경우 TEXT로 재난발생위치 및 이용가능 도로 위주의 정보를 표출하며, 개별 매체(인터넷, 휴대폰, TPEG 네비게이션 등)를 사용할 경우 정보제공의 효율성을 위해 TEXT와 음성정보를 동시에 제공하여야 한다.

4.2.4 이용자 영향권별 정보제공방안 제시

효율적인 재난 정보제공을 위해서는 이용자 영향권별로 적합한 정보를 차별적으로 제공하여 이용자의 경로유도를 신속하게 수행하여야 한다. 현재 사용되는 정보제공 매체로는 VMS(Variable Message Sign), 라디오 등의 방송매체, 인터넷 및 휴대폰 등이 있으며, VMS의 경우 불특정 다수에게 지정된 장소에서만 정보를 제공한다는 단점이 있다. 라디오 등의 방송매체의 경우 다양한 이용자들에게 정보를 제공할 수 있으나 청취를 해야 정보습득이 가능하고 일률적인 정보제공의 한계가 있으며, 인터넷 및 휴대폰의 경우 정보화 사회 발달로 이용자 위치에 상관없이 정보를 취득할 수 있지만 매체특성상 제한된 정보를 습득할 수 밖에 없다. 또한 재난발생 정보는 정확한 정보 전달로 이용자의 안전을 보장하기 위해 다음과 같은 내용들이 포함되어야 한다.

표 6. 단계별 제공정보 종류

구분	대상자	내용	메시지 구성
예지정보 (예방단계)	-3차 영향권 이용자	- 포괄적인 추측의 범위에서의 재해 예측 - 재해 자체에 대한 정보의 성격이 강함	- 재난경고 정보 - 우회경로 정보
경보정보 (대비단계)	-2차 영향권 이용자	- 재해가 영향을 줄 수 있는 단계에 연계 되는 정보 - 다양한 경로를 통해 정보 취득 - TV가 신뢰성이 높고 확인 가능	- 재난상황 정보 - 우회경로 정보
행동정보 (대응단계)	-1차 영향권 이용자	- 피난, 소개 등의 정보가 있을 때 상황에 맞는 적절한 행동을 취하는데 도움 - 개인이 처해있는 여러 가지 상황과 임무에 맞게 가장 유효적절한 행동을 취할 수 있도록 정보를 제공해야 함	- 재난상황 정보 - 대피경로 및 대피 장소정보



4.2.5 재난상황에 따른 시간대별 시나리오 작성을 통한 운영자 관리방안 제시

재난 발생시 운영자의 신속한 대응을 위해 시간대별 시나리오를 작성하여 교통운영관리방안에 대해 숙지하도록 한다. 다음의 표 7의 시나리오는 도로 화재발생시 재난단계에 따라 운영자, 도로 이용자, 긴급구난 차량의 행동방안에 대해 작성한 것이다.

4.3 대응 단계

재난 대응단계는 예방 및 대비단계에서 데이터베이스화된 정보를 기반으로 하여 재난발생 직전 및 진행단계에서 수행되는 예보 및 경보발령, 주민 대피, 재난상황 전파, 재난현장 수습, 인명수색 및 구조, 이재민 수용 및 보호 등의 활동을 포함한다. 대응단계의 주요 기능은 피해현황을 파악하고 예방 및 대비단계에서 정의한 대피 및 방재경로를 이용하여 영향권

내 이용자들을 대피장소까지 최단시간 내 많이 대피시키고, 재난피해의 최소화를 위해 긴급구난 차량의 신속한 이동이다.

이를 위해서는 4.2 예방 및 대비단계에서 제시한 방재 및 대피경로, 신호운영 등을 실상황에 적용하여 교통상황 모니터링에 따른 단계별 대응을 실시하고, 이용자 권역별 차별적인 정보제공을 통하여 교통류를 분산시키며, 재난 발생지역으로의 긴급차량 투입하여 재난으로 인한 피해를 최소화하도록 해야 한다.

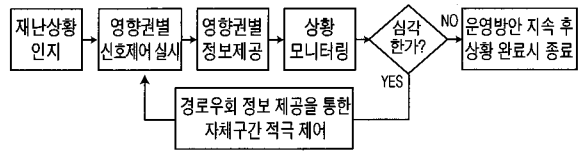


그림 7. 대응단계에서의 운영자 행동절차

표 7. 재난상황에 따른 시나리오 작성을 통한 운영자 관리방안 수립

시간	상 황		운영관리시스템(관리자)	도로 이용자	긴급구난 차량
15:00	평상시 교통상황	예방 및 대비 단계	- 인근도로 교통정보 수집 - 화재발생 위험지역 감시	- 네트워크 전체경로 이용	-
16:00	화재 발생	대응 단계	- 도로 소통상황 수집 - 영향권 구분 - 주변 긴급구난 차량 위치 및 동원인력 파악	- 1차 영향권: 경로이용 문제 인식 - 2차/3차 영향권: 재난정보 미취득으로 네트워크 전체 경로 이용	- 화재지역 접수
16:05			- 영향권별 재난정보 제공 - 주변 긴급구난 차량 및 응급인력 파견을 위한 방재경로 제공 - 영향권별 피난경로 제공	- 1차 영향권: 대피경로 제공 - 2차/3차 영향권: 화재발생 도로내 진입금지 메시지 및 우회경로 제공	- 방재경로 정보 제공 - 현장도착
16:10			- 위험지역 외 영향권 지역의 피해자 대피경로제공 - 이용자별 대피완료 파악 - 대피장소별 이용자 인원파악	- 구조실시 - 화재진화	
18:30	화재 진화	복구 단계	- 화재진화완료 정보 및 피해상황 수집 - 화재진화 완료상황 이용자에게 제공 - 복구를 위한 인력투입(경로제공) - 도로복구 완료시까지 네트워크 정체완화를 위한 경로 정보제공	- 1/2/3차 영향권별 이용자 대피완료 - 재난 발생지역 통과차량의 원활한 소통을 위한 경로정보 제공	- 상황완료 - 피해상황 파악



4.4 복구단계

복구단계는 재난으로부터 피해를 입은 도로, 교량, 터널 등 시설에 대한 처리를 통해 재난 발생 이전 단계로의 복구를 의미한다. 도로의 피해는 전면통제, 부분통제 등으로 구분할 수 있으며, 신속한 복구를 위해서는 피해현황 및 도로의 기능적 측면을 고려하여 도로 복구우선순위를 선정하고 그에 따른 복구인력 및 장비를 투입한다. 또한 도로 복구 우선순위에 따른 주변 정체 예상 지역을 파악하여 신호제어 및 경로를 이용자들에게 제공하여야 한다.

0.3 %밖에 되지 않는다. 따라서 사례지역을 청주시로 선정하였다.

표 8. 풍수해로 인한 도로 피해액

연도	총피해액[천원]	도로피해액[천원]	비율
1980	1,050,875	123,514	0.118
1987	1,847,827	242,286	0.131
1987	78,258	21,409	0.274
1990	5,062	4,647	0.918
1995	4,501,795	550,813	0.122
1998	647,101	358,981	0.555
1999	10,993	8,633	0.785
2000	228,480	1,120	0.005
2000	169,990	145,850	0.858
2004	3,430,480	375,242	0.109

자료 : 청주시 재난관리과 내부자료

5. 사례지역 선정을 통한 시스템 구축

교통방재시스템 구축방안에서 제시한 설계원칙 중 방재 및 대피경로 선정과 영향권별 신호운영방안 수립에 대해 사례지역을 선정하여 실제로 교통방재시스템을 구축하고자 한다.

표 9. 이재민 수용시설 현황(2007년 1월)

시군	수용시설(개소)					수용 가능 인원	인구 수	수용가능 시설/인구수 (%)
	학교	마을회관	경로당	관공서	기타			
계	390	219	91	35	26	101,809	1,506,608	6.76
청주시	13	10	-	-	3	2,390	633,286	0.38
충주시	55	41	6	-	6	22,605	205,064	11.02
제천시	52	30	12	-	4	17,877	136,218	13.12
청원군	10	7	-	-	1	1,576	143,021	1.10
보은군	56	23	27	-	5	8,934	35,354	25.27
옥천군	28	16	6	-	6	3,165	54,608	5.80
영동군	16	15	-	-	-	2,701	50,131	5.39
증평군	8	5	-	-	1	1,750	31,145	5.62
진천군	10	10	-	-	-	2,150	60,154	3.57
괴산군	24	24	-	-	-	21,925	36,873	59.46
음성군	44	21	21	1	-	9,850	88,355	11.15
단양군	74	18	19	34	-	6,886	32,399	21.25

자료 : 청주시 재난관리과 내부자료

5.1 사례지역 특성

앞서 수립한 교통운영방안의 적용을 위해 충북지역 중 풍수해로부터 취약한 청주시를 대상지역으로 선정하였다. 청주시의 경우 9개의 하천이 도심을 가로지르며, 무계획하게 건설된 많은 하천구조물들과 복개구간의 확충 및 하수도시설의 불량으로 인한 도시형 홍수재해에 취약한 편이며, 1978년부터 자연재난으로 인해 총 55건의 피해를 겪었으며, 그 중 도로에 영향을 준 풍수해 피해금액을 다음의 표 2004년 호우로 인한 피해가 가장 컸으며, 총 피해액에 도로 피해액이 가장 큰 것은 1990년이었다.

청주시의 대피소는 총 13개소로 학교 및 관공서로 구성되어 있으나, 대부분 지역이 인구 수에 비해 이재민 수용시설이 부족한 것을 알 수 있다. 특히 청주시의 경우 풍수해로 인한 피해가 많음에도 불구하고 이재민 수용시설을 이용가능한 주민은 전체 인구의

1) 긴급구난차량 위치

본 연구에서는 긴급구난차량은 소방서, 경찰서 및 병원 등의 차량으로 정의하였으며, 청주시에는 구난을 위한 소방서는 도심 및 시가지를 중심으로 청주동



부소방서를 포함한 9개소가 위치하고 있다. 또한 청주시는 충북지방경찰청 1개소, 경찰서 4개소, 치안센터 5개소가 운영 중에 있으며, 재난 발생시 치료가 가능한 의료기관은 3개소로 조사되었다.



그림 8. 청주시 소방서 위치

지개발사업지는 전체적으로 신호운영현황 및 기하구조가 문헌에 잘 나와 있고, 주변에 하천이 존재하여 향후 택지조성시 침수발생이 예상된다.

또한 학교 및 주거지역으로 주변에 시장이 형성되어 있어 이면도로의 불법주정차가 많고, 노상 주차장이 존재하며 이를 방지하기 위해 불법주정차 단속시스템이 설치되어 있다.

주변에 경찰서 및 소방지구대 등이 존재하여 교통방재시스템을 구축하기 적합한 지역으로 판단하여 사례지역으로 선정하였다(그림 10. 참조).

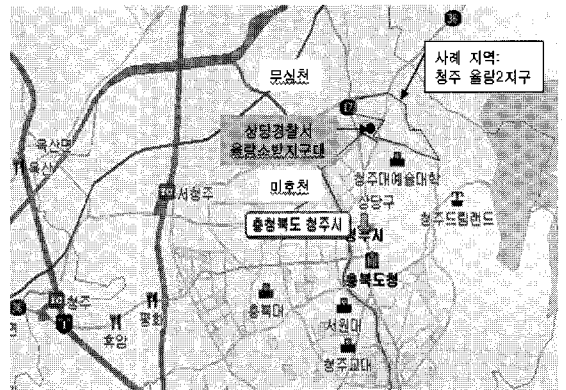


그림 10. 대상지역의 위치

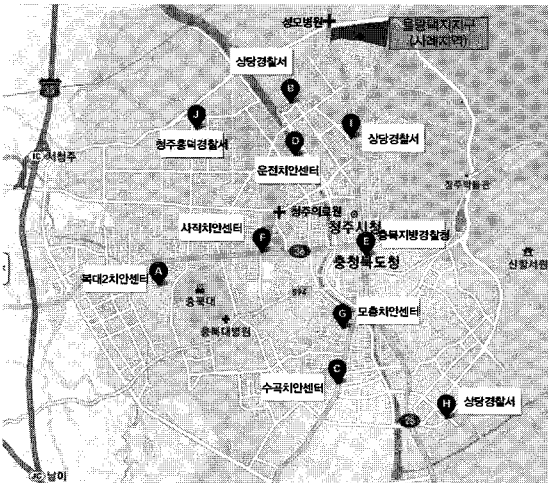


그림 9. 청주시 경찰서 및 의료기관 위치

5.2 영향권 설정

영향권을 설정하기 위해서는 먼저 재난 발생위치, 규모, 특징 등이 정의되어야 한다. 본 연구에서는 폭우로 울량 2지구 택지지구 일부가 침수하여 택지지구내 양방향 도로를 차단했다고 가정하고 교통방재

2) 사례지역 선정결과

청주시 중 한 개의 동 단위를 대상으로 시스템을 구축하기 위해 충북개발연구원에 존재하는 청주시 교통영향평가서를 검토하였으며, 이를 바탕으로 3개의 지점(울량 2지구 택지개발사업, 터미널 근처 신축 건물 사업, 기타 1곳)을 선정하였다. 울량 2지구 택

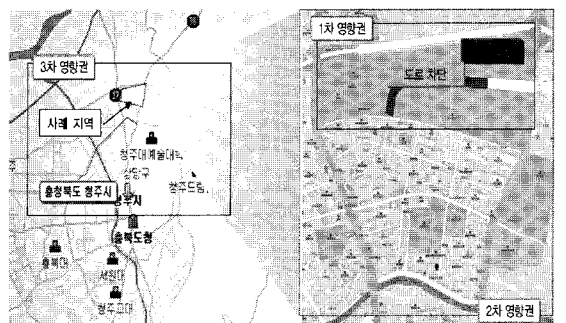


그림 11. 재난 영향권 설정



표 10. 방재 및 대피경로 설계원칙에 따른 선정결과

구분	도로명	방재경로 설계원칙 적합 여부		선정 결과	대피경로 설계원칙 적합 여부		선정 결과
		구난차량의 이동가능 여부	최단거리		방재경로와의 중복 최소	영향권 내 차량들의 상충 최소	
1	국도 17호선	○	×	×	○	○	○
2	둔치길	×	×	×	○	×	×
3	백로 2길	×	×	×	○	×	×
4	백학로	×	×	×	○	×	×
5	비둘기 3길	×	×	×	○	×	×
6	비둘기 5길	×	×	×	○	×	×
7	새하늘 2길	×	×	×	○	×	×
8	새하늘 4길	×	×	○	○	×	×
9	성모길	○	○	○	○	○	○
10	울량로	○	○	×	×	×	×
11	울봉로	×	○	×	○	×	×
12	의암로	○	○	○	×	×	×
13	제비꽃길	×	×	×	○	×	×
14	청여고서길	×	○	×	○	×	×
15	청여고동길	×	×	×	○	×	×
16	코스모스길	×	×	×	○	×	×
17	통신 1로	×	○	×	○	×	×
18	통신 2로	×	○	×	○	×	×
19	통신 3로	×	×	×	○	×	×
20	통신 4로	×	○		○	×	×

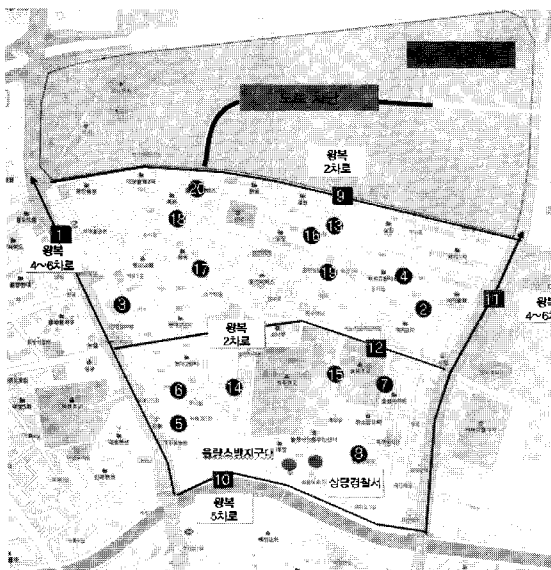


그림 12. 방재 및 대피경로 대안 검토

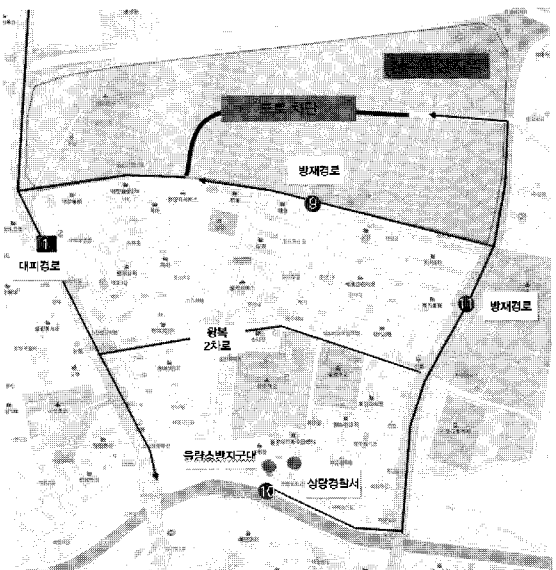


그림 13. 방재 및 대피경로 선정결과



시스템을 구축하였다. 재난 영향권은 4. 교통방재시스템 구축방향에서 제시한 1차/2차 영향권으로 분류하여 재난규모에 따라 정의하였으며, 3차 영향권은 청주시 상당구 일부분으로 설정하였다.

5.3 방재 및 대피경로 대안 제시

방재 및 대피경로 선정시 앞서 제시한 4.2.2를 준용하였으며, 그 중 방재경로의 경우 최단시간/도로 혼잡이 최소인 곳과 대피 경로의 경우 1차 영향권에 존재하는 차량 우선 대피, 2차 영향권으로 유입되는 차량 차단, 도로 혼잡이 최소인 곳 등은 재난 발생 위치 및 주변 도로상황에 따라 달라지므로 본 경로설정에서는 고려하지 않았다.

5.4 시뮬레이션을 이용한 신호운영 예시

앞서 제시한 신호운영방안의 실용성을 파악하기 위해 CORSIM(Corridor Simulation)을 이용하여 사례지역으로 선정된 청주시의 울량 2지구를 대상으로 그 효과를 분석해보았다. CORSIM은 FHWA(미국연방도로청)에 의해 개발된 미시적 모델로 미국의 많은 주정부에서 광범위하게 사용되고 있는 모델로 신호제어, 보행자, 버스, 주차, 공사 등이 교통류에 미치는 영향의 분석이 가능하며, 다양한 효과척도(속도, 교통량, 밀도, 지체, Spill-Back, 대기길이

등)을 제공해준다.

그림 14는 시뮬레이션 분석지역을 CORSIM을 이용하여 구축한 화면이다.

5.4.1 분석을 위한 가정

분석을 위해서는 시뮬레이션에서 묘사가 가능한 대안설정이 매우 중요하다. 본 연구에서는 청주시 울량 2지구 택지지구 내 도로의 침수로 인해 도로가 차단되었을 경우 VMS, 휴대폰, 라디오 등의 매체를 통하여 운전자에게 대피 및 우회정보를 제공한다는 상황을 바탕으로 네트워크를 구축하고자 한다. 이와 같은 상황으로 대안설정시 네트워크 구축 및 분석의 용이를 위해 가정한 사항은 다음과 같다.

- ① 재난이 발생했을 경우 영향권 내에 있는 차량들을 영향권 외부로 탈출시키는 상황(소개 疏開)으로 가정함
- ② 택지지구내 침수가 예상되어 도로를 차단시켰을 경우 VMS, 휴대폰, 라디오 등의 매체를 통하여 운전자에게 대피경고 및 우회정보를 제공한다고 가정함
- ③ 상황은 재난이 발생되기 전 1시간 동안 차량들이 도로를 이용하고 있었으며, 그 후 침수로 인한 도로 통제가 일어나 도로를 2시간 동안 이용하지 못한다고 가정함
- ④ 이때 사용한 교통량은 청주 울량2지구 택지개발사업 교통영향평가에 제시되어 있는 평일 오전 침두시 교차로 교통량(08:00~09:00)을 이용하였음
- ⑤ 침수발생시 경로선택이 평상시와 달라지므로 앞서 그림 13과 같이 침수지역을 중심으로 지정된 남북축의 2개 도로를 이용하여 대피한다고 가정함

5.4.2 대안설정

앞서 설명한 바와 같이 대안을 재난이 발생했을 때 기존 현시 사용(대안 1)과 재난 발생시 4.2.2의 신호운영방안을 적용한 현시 조정(대안 2) 등의 2가지로 선정하였다.

평상시 신호운영상황은 대부분 160초 주기로 대

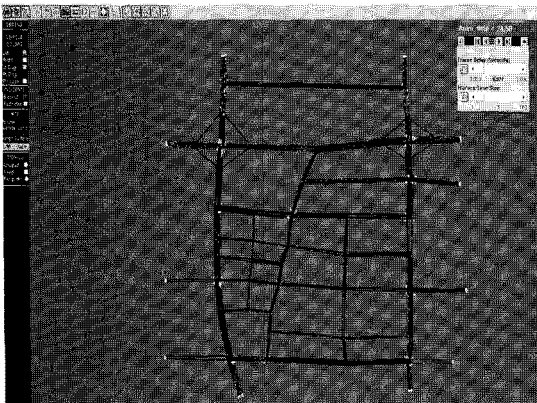


그림 14. 분석 네트워크 구축 화면



부분 3~5현시를 차지하고 있으며, 최적의 결과를 제시하기 위해 T7F를 이용하여 신호시간을 최적화하였다.

대안 1의 경우 도로 일부분이 차단된 가운데 평상시 신호현시를 그대로 이용하였으며, 대안 2의 경우 진입차단 도로로의 현시를 삭제하고 이동류간의 상

충을 최소화하기 위해 앞서 제시한 운영원칙에 따라 T7F를 이용하여 최적화한 신호주기(110초 2현시)로 재구성하였다.

대안 2에서는 1~2차 영향권을 대상으로 신호운영을 구현하였으며, 앞서 4.2.3에서 정의한 신호운영원칙을 수용하여 1차 영향권의 경우 직진현시로 차량을 대피시키고, 1차 영향권과 교차되는 지점에서는 우회전을 통해 차량과의 상충을 최소화하였다.

또한 2차 영향권의 경우 남북방향으로는 직진신호를 주고, 그 외 지점은 우회전 현시를 제공하여 위험지역으로의 진입을 금지시켰다. 이때 1, 2, 9, 10번 교차로는 동일한 신호주기를 사용하였다.

표 11. 대안 설정

구분	상황	신호운영 방법	도로차단 여부
평상시	- 평상시 교통상황	기존	×
대안 1	- 재난 발생시 적절한 신호 운영대응이 없는 상황	기존	○
대안 2	- 재난 발생직후 신호운영 조정을 통해 대응한 상황	현시 및 주기 조정	○



5.4.3 효과분석

효과분석의 정확도를 위해 서로 다른 seed를 가지고 수차례 분석하여 나온 결과값을 이용하였으며, 시나리오에 따른 소통상태를 비교한 결과는 다음의 표 12와 같다.

분석결과 네트워크 전체의 효과적도인 평균통행속도 및 총지체를 비교해보면 대안 1의 경우 평균통행속도는 19.36km/h, 총지체가 3.27sec/veh, 대안 2는 평균통행속도가 40.41km/h, 총지체는 0.66sec/veh로 대안 2가 대안 1에 비해 50% 정도 신호운영효과가 높아진 것을 알 수 있다.

표 12. 대안별 네트워크 효과분석

구분	대안 1	대안 2
총지체(sec/veh)	3.27	0.66
평균통행속도(kph)	19.36	40.41

시나리오 1 2		시나리오 3	
3	↓ ↑ ↑ ↑ 130초 71(8) 80(8)	↓ ↑ ↑ ↑ 110초 82(8) 92(8)	
4	↓ ↑ ↑ ↑ 130초 81(8) 55(8) 7(8) 21(8) 24(8)	↓ ↑ ↑ ↑ 110초 27(8) 72(8)	
5	↓ ↑ ↑ ↑ 130초 82(8) 7(8) 86(8) 7(8) 85(8)	↓ ↑ ↑ ↑ 110초 91(8) 98(8)	
6	↓ ↑ ↑ ↑ 130초 14(8) 24(8) 6(8) 72(8)	↓ ↑ ↑ ↑ 110초 22(8) 78(8)	
7	↓ ↑ ↑ ↑ 130초 14(8) 34(8) 7(8) 82(8)	↓ ↑ ↑ ↑ 110초 72(8) 82(8)	
8	↓ ↑ ↑ ↑ 130초 39(8) 55(8) 118(8)	↓ ↑ ↑ ↑ 110초 82(8) 82(8)	
11	↓ ↑ ↑ ↑ 130초 81(8) 84(8) 144(8) 98(8)	↓ ↑ ↑ ↑ 110초 58(8) 68(8)	
12	↓ ↑ ↑ ↑ 130초 29(8) 7(8) 85(8)	↓ ↑ ↑ ↑ 110초 82(8) 72(8)	
13	↓ ↑ ↑ ↑ 130초 14(8) 31(8) 9(8) 10(8) 51(8)	↓ ↑ ↑ ↑ 110초 84(8) 7(8)	
14	↓ ↑ ↑ ↑ 130초 14(8) 84(8) 7(8) 82(8)	↓ ↑ ↑ ↑ 110초 74(8) 28(8)	

그림 16. 시나리오별 신호현시 최적화

또한 재난 발생 후 운전자의 경로선택의 여부가 전환될 것이라고 판단하여 도로차단지점의 주요 대피 경로를 방향별(A, B)로 구분하여 총지체 및 평균통행속도를 비교해보았다.

주요 대피경로의 방향별 효과를 분석해본 결과 대안1 A방향의 총지체는 89.9sec/veh, 평균통행속도는 5.16km/h, 대안 2의 경우 44.45sec/veh, 평균

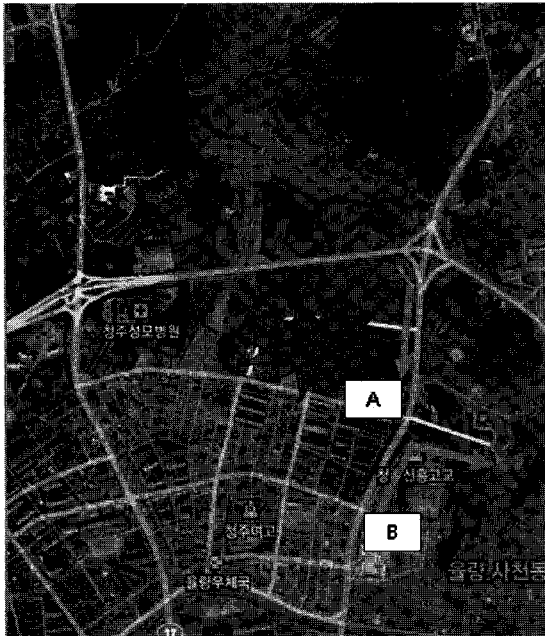


그림 17. 주요 대피경로의 방향별 효과분석

통행속도 26.15km/h로 50% 정도 신호운영효과를 보였다.

또한 대안 2 B 방향의 경우 총지체는 3.15sec/veh, 평균통행속도는 28km/h, 대안 1의 경우 40.45sec/veh, 평균통행속도는 48.19km/h로 역시 50% 신호운영효과를 나타내 본 연구결과에서 제시한 신호운영방안이 효과가 있음을 확인할 수 있었다. 이는 상충최소화를 위해 재난지점에서의 유입 현시를 삭제하고 차량들의 상충을 최소화하기 위해 현시 및 주기를 축소하였기 때문에 나타난 결과라 판단되어진다.

표 13. 주요 대피경로의 방향별 효과분석

구분	대안 1		대안 2	
	총지체 (sec/veh)	평균통행속도 (kph)	총지체 (sec/veh)	평균통행속도 (kph)
A	89.9	5.15	44.45	26.15
B	3.15	28	40.45	48.19

6. 결론

본 연구에서는 교통방재에 대해 문헌을 고찰하고 이를 이용하여 대피 및 방재경로에 대해 재정의하였으며, 교통방재시스템의 구축방안을 제시하였다. 이를 활용하여 풍수해로 인한 피해가 잦은 청주시를 대상으로 교통방재시스템을 구축하였으며, 그 중 신호운영방안에 대해 CORSIM을 이용하여 효과를 분석하였다.

그 결과 본 연구에서 제시한 신호운영방안의 효과를 확인하였으며, 재난 발생시 운영자가 교통류에 대한 모니터링을 지속적으로 수행하며 신속하게 신호운동을 한다면, 재난으로부터의 위험에서 도로이용자들의 안전을 보장하는데 기여할 수 있을 것으로 판단되었다.

그러나 본 연구를 현실에 적용하기 위해서는 네트워킹의 규모를 확장시키고 도로용량 및 교통량을 고려하여 차량의 대피경로를 지정하며, 재난의 영향권이 이동하는 등의 실제상황을 고려한 신호운영방안을 분석하여야 할 것이다.

또한 신호운영 뿐만 아니라 교차로운영방식(Contramove)과 결합하여 분석하거나, 다양한 재난 유형에 접목시켜 분석한다면 총체적인 재난관리시스템 구축에 일부 기여할 수 있을 것으로 예상되어진다.

감사의 글

이 논문은 2008년도 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국대학교육협의회 대학교수 국내교류 연구비 지원에 의한 것임.

참고문헌

- 건설교통부 (2004), "건설교통 재해대책 편람"
- 국립방재연구소 (2001), "방재기본계획수립을 위한 방재정책기본방향에 관한 연구"
- 국립방재연구소 (2002), "대규모 재해대응 표준절차 개발"



- 국립방재연구소 (2003), "GIS를 이용한 재난관리체계 구축에 관한 연구"
- 이상건, 김호정, 오성호, 정선영(2005), "국가기간교통망의 유고 대응전략 연구-도로재난관리시스템을 중심으로-", 국토연구원
- 신성일(2006), "서울시 교통방재체계 구축방안 연구", 시정개발연구원
- 조효희(2007), "침수시 신호운영방안에 따른 효과분석" 명지대학교 석사논문
- Sharma, V.K. and Priya, T. (2001), "Development Strategies for Flood Prone Areas, Case Study: Patna, India", *Disaster Prevention and Management*, Volume 10, Number 2, pp 101-110.
- Hamilton, R.M. (2000), "Science and Technology for Natural Disaster Reduction", *Natural Hazard Review*, pp 56-60.
- Knowles, L. (2003), "Sydney Bushfire Emergency Evacuation: Analysis of qualitative research conducted with home owners in bushfire-prone areas", *Institute of Transport Studies Internal Publication*.
- Barrett, B., Ran, B., and Pillai, R. (2000), "Developing a Dynamic Traffic Management Modelling Framework for Hurricane Evacuation", *Transportation Research Record* 1733, pp 115-121.
- Wolshon, B. (2002), "Planning for the Evacuation of New Orleans", *ITE Journal*, Volume 72, No. 2, pp 44-49.
- Loren Bloomberg and Jim Dale(2000), "A Comparison of the VISSIM and CORSIM Traffic Simulation Models On A Congested Network"
- UTCA(University Transportation Center for Alabama, 2004), "Regional Traffic Simulation for Emergency Preparedness"

접 수 일: 2009. 2. 16
심 사 일: 2009. 2. 16
심사완료일: 2009. 2. 18