

# 침수시 대응방안에 따른 통행시간 연구

Simulation and Analysis of travel time depends on the transportation operation management during urban flooding

조 효 희

(명지대학교 교통공학과 석사과정)

이 의 은

(명지대학교 교통공학과 교수)

## 목 차

### I. 서론

1. 연구의 배경
2. 연구의 목적

### II. 연구 방법

1. 연구의 범위
2. 연구의 접근 방법
3. 국/내외 문헌 고찰
4. Simulation Model 선택

### III. Case 연구를 위한 시나리오

1. 분석 대상 선정
2. 대응방안 시나리오 작성

### IV. 결론

후기

참고문헌

## I. 서론

### 1. 연구의 배경

최근 지구촌 곳곳에서는 지구온난화로 인한 사막화, 아열대화 등의 기후변화로 인한 이상 기후로 지진, 해일 등의 천재지변으로 많은 피해를 입고 있다.

또한, 사회가 발전하면서 인적재난(화재, 유해물질 수송차량 사고 등)이나 사회적 재난(테러 등)과 같은 새로운 형태의 재난 발생으로 인한 피해도 증가하고 있다.

우리나라는 80년대 이후 급격한 도시화와 대 단위 공업단지 조성, 연료 변화 등의 사회 변화로 인해 위와 같은 재난의 발생 빈도수가 점점 증가하고 있으며 9.11 테러와 같은 테러의 위험성도 점점 높아지고 있는 추세이기 때문에 재난관리 준비가 매우 시급하다.

이에 정부에서는 각종 재난들로부터 국민의 생명과 재산을 보호하기 위해 2004년에 재난 전담기구인 '소방방재청'을 설치·운영하고 있다.

현재 소방방재청에서는 신속하고 효율적인 재난대응을 위해 휴대전화, 인터넷, TV, 라디오

등 다양한 매체를 통해 실시간으로 재난정보 및 대피정보를 제공하고 있다. 하지만 현재 우리나라는 유동인구가 많은 주요 공공시설물에 재난 발생시 신속한 대응이 이루어 지지 못해 삼풍백화점 붕괴나 성수대교 붕괴, 대구 지하철 화재 참사 등의 대규모 참사나 피해로 이어졌다.

재난재해 발생시 각종 응급차량 및 구조 요원들이 재난 현장에 신속하게 접근할 수 있어야 하고 재난 발생지역 내 사람들은 안전한 곳으로 신속하게 대피시켜야 그 피해를 줄일 수 있다. 하지만 재난 발생지역 주변의 교통흐름에 갑작스런 충격이 가해짐으로써 예기치 못한 교통정체와 혼잡이 발생하기 때문에 인명구조와 응급차량들의 접근성에 악영향을 미친다.

이에 각종 재난재해에 대한 교통운영관리 및 대응관리체계의 필요성이 절대적으로 요구되고 있다.

### 2. 연구의 목적

본 연구는 재난으로 인한 유고상황이 발생 시, 교통망의 손실을 최소화하기 위해 여러 가지

교통운영관리방안을 통해 가장 효율적인 대피 방안을 모색하여 보고자 한다.

또한, 시뮬레이션을 이용하여 정확하고 구체적으로 결과 값을 제시하여 연구의 신뢰성을 높이고 궁극적으로는 신속한 대피 및 복구가 가능한 대응방안을 통해 종합방재체제를 구축하는데 그 목적이 있다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구의 범위

#### (1) 재난재해의 정의

재난재해는 발생 원인에 따라 자연재해, 인위적 재난, 사회적 재난으로 구분된다.

각 관련법에서 정의하는 재난재해의 정의는 다음과 같다.

자연재해대책법
제1조 (목적) 이 법은 자연재해로부터 국토와 국민의 생명·신체 및 재산을 보호하기 위한 방재조직 및 방재계획 등 재해예방·재해응급대책·재해복구 기타 재해대책에 관하여 필요한 사항을 규정함을 목적으로 한다.
제2조 (정의) 이법에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.
1. “재해”라 함은 태풍·홍수·호우·폭풍·해일·폭설·가뭄 또는 지진(지진해일)을 포함한다. 이하 같다) 기타 이에 준하는 자연현상으로 인하여 발생하는 피해를 말한다.

재난관리법
제1조 (목적) 이 법은 재난으로부터 국민의 생명과 재산을 보호하기 위하여 국가 및 지방자치단체의 재난관리체제를 확립하고, 재난의 예방 및 수습과 긴급구조구난 기타 재난관리에 관하여 필요한 사항을 규정함을 목적으로 한다.
제2조 (정의) 이 법에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.
1. “재난”이라 함은 화재·붕괴·폭발·교통사고·화생방사고·환경오염사고 등 국민의 생명과 재산에 피해를 줄 수 있는 사고를 말한다. 다만, 자연재해는 제외한다.

2004년 3월 위의 법들의 통일과 연계성 확보를 위해 재난관련법의 체계화 시도로 ‘재난 및 안전관리기본법’이 제정되었고 그 법에서 정의하는 재난은 다음과 같다.

재난 및 안전관리기본법
제3조 (정의) 이 법에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.
1. “재난”이라 함은 국민의 생명·신체 및 재산과 국가에 피해를 주거나 줄 수 있는 것으로서 다음 각목의 것을 말한다.
가. 태풍·홍수·호우·폭풍·해일·폭설·가뭄·지진·황사·적조 그 밖에 이에 준하는 자연현상으로 인하여 발생하는 재해
나. 화재·붕괴·폭발·교통사고·화생방사고·환경오염사고 그 밖에 이와 유사한 사고로 대통령령이 정하는 규모 이상의 피해
다. 에너지·통신·교통·금융·의료·수도 등 국가기반체계의 마비와 전염병 확산 등으로 인한 피해

#### (2) 연구의 범위 설정

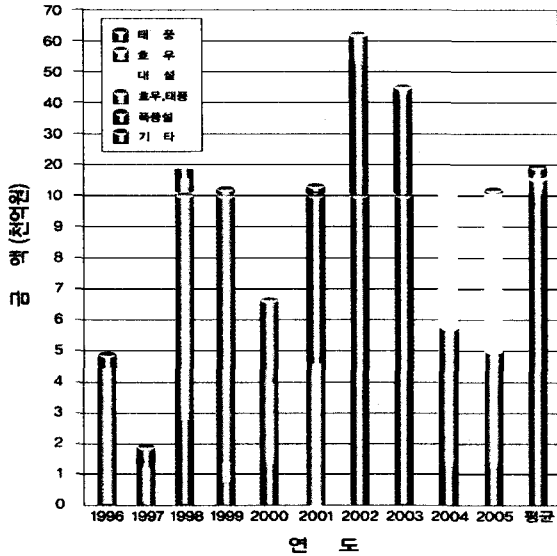
재난 유형중 가장 큰 피해를 가져오는 것은 <그림 1,2>에서 보는바와 같이 태풍과 호우이다. 우리나라는 하절기에 북태평양 고기압의 영향으로 고온 다습하고, 대륙과 태평양을 지나는 몬순의 영향으로 기후변화가 불규칙, 여름철에는 폭우를 동반하는 태풍이 내습하고 있는 상황에서 지구온난화현상이 가중되어 집중호우가 자주 발생하고 있기 때문이다. 실제로 최근 우리나라에서 발생하는 기상재해는 과거에 비해 규모도 커지고 빈도는 증가하며 불규칙하게 발생하는 경향을 보인다.

실제로 2007년 11호 태풍 ‘나리’가 제주·남해안에 강타하면서 섬 전체가 물에 잠기다시피해 사상 최악의 태풍피해를 냈다.

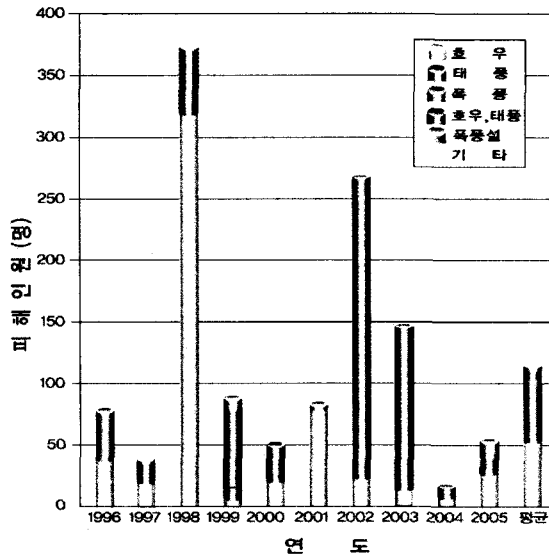
제주에서만 11명의 인명피해와 100여 곳의 주택이 침수되었고 남해안에선 6명의 인명피해와 주택 500여 가구가 침수되었다.

이와 같은 피해를 막기 위해 2005년 소방방재청에서는 홍수재해지도 입법예고안을 발표하고 2006년 초부터 홍수재해지도 작성에 들어갔다. 홍수재해지도가 완성되면 상습침수지역을 사전에 파악할 수 있어 향후 실제 침수를 대비한 대응전략수립이 가능해 질 것이다.

따라서 본 연구에서는 최근 증가추세에 있으며 앞으로 피해의 정도가 더 심각해질 것이라 예상되어 그 대응전략 수립이 시급한 집중호우로 그 범위를 제한한다.



<그림 1> 10년간 원인별 피해액 현황



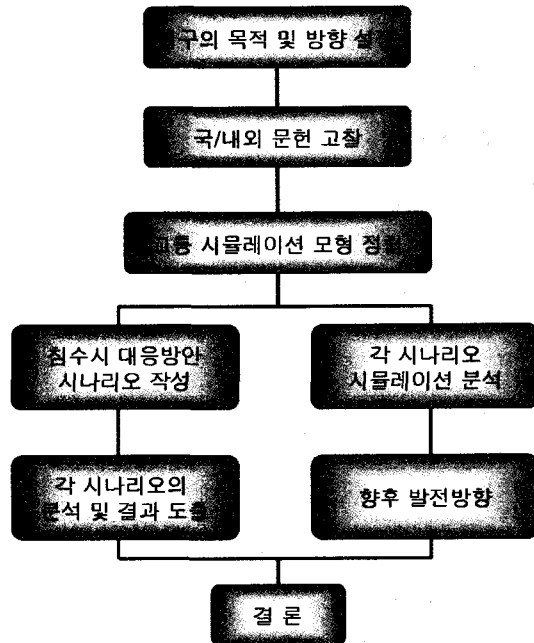
<그림 2> 10년간 원인별 인명피해 현황<sup>1)</sup>

## 2. 연구의 접근 방법

연구 목적을 달성하기 위해 관련 국/내외 문헌 및 웹 문서의 내용분석을 통해 연구를 진행하고자 한다. 특히, 우리나라는 현재 재난 재해 시 교통류 관리방안에 따른 연구가 많이 이루어지지 않았으므로 비슷한 외국사례의 연구 문헌을 바탕으로 우리나라의 실정에 맞게 연구하고자 한다. 다음의 <그림 3>는 연구 수행

### 1) 소방방재청, 2005 재해연보

과정을 나타낸 것으로 수집된 사례들을 통해 실행 가능한 대응방안 시나리오를 작성하고 시나리오의 검증에 위하여 시뮬레이션 모형을 이용한다.



<그림 3> 연구 수행 과정

## 3. 국/내외 문헌 고찰

### (1) 국내 문헌 고찰

연구목적 달성을 위해 관련 문헌의 고찰을 수행했다. 현재 우리나라는 재난발생시 교통운영관리에 대한 연구가 부족한 실정이기 때문에 해외 문헌의 내용분석에 의존했다.

국립방재연구소(2004)의 국지성 집중호우의 조기대응시스템 개발에서는 단시간에 발생하는 강우현상은 강우 예측의 정확성이라는 문제와는 별도로 대피나 예방에 필요한 시간 제약성 등으로 인해 엄청난 규모의 피해를 발생시키며, 동일 지역 내에서 강우의 편차가 심해지는 경향을 보이고 있다고 강조하면서 이러한 국지성 집중호우에 대해 기존의 관리 시스템과 현재 연구·개발되고 있는 시스템과의 상호 보완·연계 및 발전을 통해 신뢰성 있는 조기 대처능력 방안을 마련하는 것이 필요하다고 주장했다.

국토연(2005)의 방재국토 구축을 위한 GIS 활용방안 연구에서는 재난관리에 대해 소개하고 있는데 재난관리란 재난으로 인한 피해를 최소화하기 위하여 행해지는 예방·대비, 대응, 복구에 관한 모든 정책 개발과 집행과정을 말한

다. 재난의 진행과 대응활동에 따라 재난관리 과정은 재난이전과 이후로 나뉘어 지는데 재난관리의 예방·대비, 대응, 복구의 단계는 시간적인 순서로서 상호순환적인 성격을 가지며, 각 단계의 활동결과가 다음단계에 영향을 미치기 때문에 각 단계들이 통합적인 체계 하에서 관리되어야 한다고 주장하고 있다.

국토연(2005)의 국가기간교통망의 유고대응전략 연구에서는 자연재난으로 인한 국가 기간시설의 피해를 소개하면서 특히 교통망에 미치는 영향은 매우 치명적이라고 강조하고 있다.

따라서, 재해 또는 재난 발생시, 이에 따른 교통수요를 주어진 교통체계 및 일반적인 교통관리방안으로 처리하기 위해서는 재해 및 재난으로 인해 야기될 피해 규모를 예측하고 기존 교통시스템을 이용하여 가장 효율적으로 처리할 수 있는 소개 경로 및 피해복구 도로 우선순위 등을 선정할 수 있는 시스템의 마련을 촉구하고 있다.

변완희, 김대호(2001)는 돌발 상황 발생에 따른 대응의 체계화 방안 연구에서 Uniform Event Reaction Formula라는 개념을 소개하고 있다. 이는 어떤 돌발 상황이 발생하면 이로 인해 영향을 받는 반응 영역과 영향을 받지 않는 비반응 영역으로 분리한 후, 반응 영역을 예측을 통한 제어 관리를 수행하고, 비반응 영역을 통상적인 제어 관리만을 수행함을 의미한다. 이에 내부순환로 교통관리시스템에 적용된 돌발 상황 관리전략과 적용사례를 들어 설명하고 있다.

신성일(2006)은 서울시 교통방재체계 구축방안 연구에서 강남구 대치동을 대상으로 CORSIM을 이용하여 시뮬레이션 하였는데, 수해에 피해규모가 클 것으로 예측되는 도시고속도로의 침수에 대비해 진입램프에 차단기를 설치하는 방안을 제안하였고, 폭우나 폭설로 인한 감속운행시 교통상황에 적합한 연동신호운영으로 통행속도가 증가할 것이라 예상했다. 또한, 도시부 도로 침수시 운전자의 안전과 네트워크의 원활한 소통을 위해 비상 신호 Mode를 제안하기도 하였다.

## (2) 국외 문헌 고찰

미국의 경우 지난 2005년 허리케인 카트리나로 인해 1,299명의 인명피해가 발생하였다. 소방방재청의 카트리나 출장보고서에서는 뉴올리언스시의 사전대피상의 문제점으로 피난도로의 교통정체 문제를 꼽았다. 개인차량을 이용하여

대피로가 극심한 교통체증을 유발하였다고 주장하였다. 이에 국내 실정에 맞는 DB구축으로 피해예측시스템 구축의 필요성에 대해 제시하였다.

UTCA<sup>2)</sup>(2004)의 Regional Traffic Simulation for Emergency Preparedness에서는 돌발 상황 발생시 네트워크의 소통원활을 위해 응급대응이 필요하다고 강조하면서 이를 실제 적용가능한지 CORSIM을 이용해 대학에 폭발물이 설치되었다 가정하고 대피하는 시나리오를 시뮬레이션 하였다. 이 연구는 응급상황시 실효성 있는 미시적 시뮬레이션 모형의 구축을 목적으로 하였다.

Ming Chen, Lichun Chen and Elise Miller-Hooks(2007)는 Traffic Signal Timing for Urban Evacuation에서 네트워크 상황을 향상시키고 대피시간을 감소하기 위해 많은 방법들이 고려되고 있지만 신호시간에 대한 고려는 이루어 지지 않는 상황이라는 점을 문제 삼고 신호시간은 대피 시 많은 인원을 이동시키는데 가장 중요한 요소가 될 수도 있다고 강조한다.

Yi-Chang Chiu(2004)는 Traffic Scheduling Simulation and Assignment for area-wide evacuation에서 자연재해나 인위재난으로 인해 대피의 규모가 광범위하게 되었을 때 사람들은 생명의 위협을 느낀다고 설명한다. 제한된 도로를 이용해 많은 사람을 대피시키는 일은 복잡하고 어려운 문제라고 설명하면서 최적대피시간과 대피경로의 선택과 시뮬레이션 모델의 통합을 통해 대피용량을 증가시키는 방안에 대해 설명하고 있다.

Marco Ferrante, Francesco, and Lucio Ubertini(2000)는 Optimization of transportation networks during urban flooding에서 유럽의 많은 도시들이 강을 중심으로 발전해왔다고 설명하면서 이 때문에 항상 침수의 위험에 노출되어 있다고 강조한다. 침수시 도로는 고립 지역 내에 있는 사람을 구출하는 용도와 안전한 지역으로 사람들을 이동시키고 구호물자를 전달하는 용도로 사용된다. 따라서 교통망의 효율성을 높이기 위해서 침수의 영향을 가장 적에 받는 빠른 경로를 찾는 것이 중요하다고 강조한다.

2) UTCA : University Transportation Center for Alabama

### (3) 검토 결과

관련 문헌들을 검토한 결과 재난재해 발생시 가장 중요한 요인은 신속한 대피에 있다고 보는 시각이 많았다. 신속한 대피를 위해서는 대피경로가 확보되어있어야 하고 그에 맞는 적합한 교통운영또한 필요하다고 판단되었다.

일본의 경우 지진발생 6분 만에 관내 고속자동차 국도 통행금지 조치 및 차량유도를 실시하였고 2시간 만에 고속자동차 국도에 대한 피해상황을 완료하는 등 신속한 대응체계를 구축하였다.

미국 역시 9.11 발생 즉시 연방정부수준의 교통기관이 즉시 개입하여 광역적 차원에서 신속한 대응을 펼쳤다.

이에 재난재해시 교통운영에 관해 많은 연구를 진행하고 있는 외국의 사례들을 우리나라의 실제 예상위험지역에 적용해 보기로 했다.

## 4. 시뮬레이션 모형의 선정

### (1) CORSIM

CORSIM은 고속도로와 도로망을 미시적/거시적 수준으로 분석하는 교통모의 실험 모형중의 하나로 신호교차로를 포함한 단속류의 분석을 위한 NETSIM과 고속화 도로 네트워크 분석을 위한 FREESIM으로 구성되어 있다.

CORSIM은 신호제어, 보행자, 버스, 주차, 공사 등이 교통류에 미치는 영향을 분석할 수 있으며 주행하는 차량의 거동을 미시적·확률적으로 표현한다. 또한, 매 초 마다 개별차량의 움직임을 스캐닝하며 효과척도의 출력자료를 그림으로 보여준다는 특징이 있다. 이때의 효과척도로는 평균통행속도, 차량 정지수, 차량 총 통행시간, 차량 총 통행거리, 연료 소비 등이다. 또한 본 모델은 정주기 제어, 감응 제어, 시차 제어 등의 신호를 제어할 수 있다.

### (2) VISSIM

VISSIM은 유럽을 비롯한 70여개 국가에서 사용하는 교통모의 실험 모형으로 CORSIM과 함께 가장 많이 사용되고 있다. VISSIM은 노드를 필요로 하지 않아 모형 사용자는 교통 운영이나 교차로에서의 교통류의 통행방향을 제어하기 더 용이하며, 차선별 특성(대중교통 전용, 차량별 속도 등)을 고려한 차선제어가 가능하다. VISSIM은 미시적이며 운전자 행태

를 기초로 만들어진 프로그램으로서 도시부 및 지방부 도로의 다양한 형태의 교통특성 및 대중교통을 사실적으로 분석할 수 있다. 또한, 분석 네트워크를 3D 입체영상으로 제공하여 대상범위의 교통특성 분석이 시각적으로 용이하다는 장점이 있다.

VISSIM의 효과척도로는 평균 통행속도, 총 통행시간, 총 통행거리, 총 지체 등이 있으며 범위를 설정함으로써 특정 링크의 차선에 대한 분석이 가능하다.

### (3) 모형 선정

본 연구에서는 VISSIM을 사용하여 분석하고자 한다. 현재 진행된 많은 연구들은 대부분이 CORSIM을 이용하여 진행되었기 때문에 VISSIM을 이용하면 다른 결과를 보일 수도 있다고 판단되었다. 또한, VISSIM은 도로상황을 3D로 보여주기 때문에 돌발상황시 차량들의 움직임이나 도로 네트워크상황을 더 쉽게 이해할 수 있을 거라 판단하였다.

## III. Case 연구를 위한 시나리오

### 1. 분석대상 선정

#### 1) 분석대상 선정

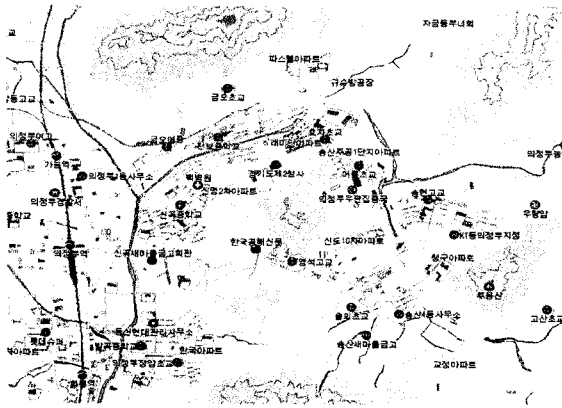
본 연구의 시뮬레이션 분석을 위해 분석 대상은 실제 상습침수지역인 의정부를 선정하였다.

의정부는 중랑천을 중심으로 발달하였는데 그 중에서도 의정부 신곡동 청룡부락은 의정부 지역에서 가장 지대가 낮고 의정부를 관통하는 중랑천 수위보다 낮아 비가 많이 내리면 항상 침수되는 지역이다.

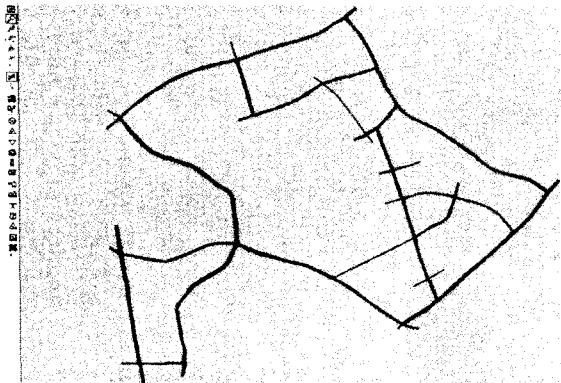
실제 청룡부락은 2007년 7월 폭우로 인해 주택 일부가 침수되었으며, 중랑천변 자동차전용도로도 통제되었다.

의정부는 특히 오전 침두시 서울방향으로 교통량이 많은데 오전 침두시에 홍수로 인해 도로가 통제된다면 아침 출퇴근 시간에 극심한 혼잡을 가져올 뿐 아니라 사고의 위험을 초래할 수 있다.

이에 의정부 중랑천 일대의 교통망을 분석대상으로 삼았고, 집중호우로 인해 중랑천의 범람으로 동부간선도로가 물에 잠겼다 가정하였다.



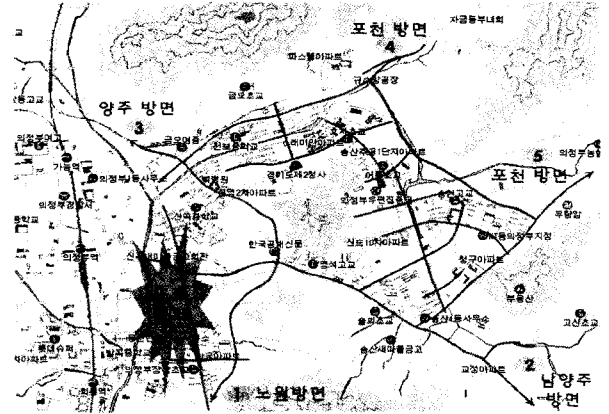
<그림 4> 분석대상



<그림 5> VISSIM 구축화면

이 얼마나 빠른 시간 안에 안전한 지역까지 대피하느냐 하는가이다. 이에 효과적도로는 통행 시간, 교차로에서의 지체시간, 교통량을 사용하도록 한다.

넷째, 동부간선도로의 진입을 차단한 차량들은 의정부 시내를 통과해 여러 가지 경로를 이용해 대피할 것이라 판단하고 이에 가능한 대피경로를 설정하였고 이는 다음과 같다.



<그림 6> 대피경로

## 2. 대응방안 시나리오 작성

### 1) 시나리오 가정

중량천변을 지나는 동부간선도로의 침수가 예상되어 도로를 차단시켰을 경우 VMS, 휴대폰, 라디오 등의 매체를 통하여 운전자에게 대피 경고 및 우회 정보를 제공한다. 정보제공을 통하여 운전자들을 침수지역으로부터 우회하게 되고 이로 인해 주변 네트워크는 영향을 받게 된다.

이를 해결하기 위한 여러 가지 대응 방안의 시뮬레이션 분석을 위해 본 연구에서는 현실적으로 모의실험이 가능한 시나리오와 네트워크 구축의 용이함을 위해 몇 가지 가정 및 제약사항을 두었다.

첫째, 동부간선도로에서 통행이 차단된 차량들은 우회하기 위해 의정부 시내로 진입한다고 가정한다.

둘째, 침수로 인한 도로 통제가 일어난 시간은 평일 오전 침수시라 가정하고 평일 오전 침수 교통량을 분석에 사용하였다.

셋째, 분석을 위해 사용할 수 있는 가장 중요한 효과척도(MOEs)는 얼마나 많은 운전자들

<표 1> 대피경로

No.	대피경로	거리(Km)
1	노원 방면	2.01
2	남양주 방면	3.43
3	양주 방면	2.93
4	포천 방면	4.95
5	포천 방면	4.78

### 2) Case 1 - 침수전

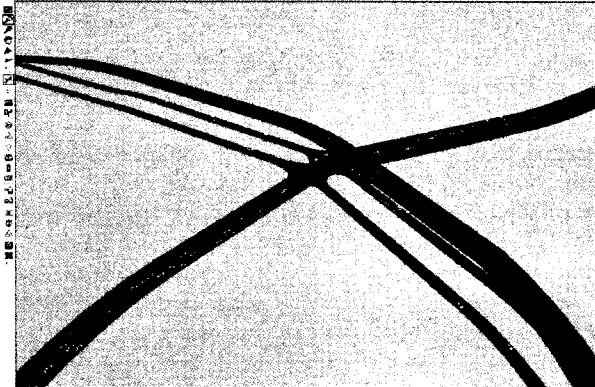
침수 후의 비교를 위해 평일 오전의 대피경로를 시뮬레이션 하였다. 결과는 다음과 같다.

<표 2> 침수전

대피경로	통행시간 (sec/Veh)	지체시간 (sec/Veh)	교통량 (Veh/h)
1	250.1	90.2	35
2	250.7	88.7	385
3	463.7	182	25
4	917.5	583.9	9
5	1338.9	1209.4	14
합계	3220.9	468	2154.2

### 3) Case 2 - 대피차량 유입

현재 도시고속도로에서 돌발상황 발생시 운전자들에게 정보를 제공하고 경찰의 통제로 강제로 통행을 차단하는 방법을 사용하고 있다. 대피정보를 제공받은 차량들은 차단경로에서 우회하기위해 의정부 시내로 진입하고 다른 경로를 모색한다. 통제가 차단된 축의 교통량이 의정부로 유입되었을 때의 분석결과는 다음과 같다.



<그림 7> 차량 유입 지점

<표 3> 도로 통제 - 대피차량 유입

대피경로	통행시간 (sec/veh)	지체시간 (sec/veh)	교통량 (Veh/h)
1	917.6	766.5	28
2	820.9	659.2	325
3	1211.7	929	19
4	1522.5	1378.4	3
5	2299.6	2075.5	5
합계	6772.3	380	5808.6

<표 3>의 결과는 동부간선도로를 통행하던 차량의 통행을 완전 차단 시켰을 때의 결과를 나타낸다. Case 1과 비교하여 보면 갑작스런 차량의 유입으로 인해 통행시간과 지체시간은 약 1.5배 정도 증가하였고 통행속도 역시 감소하였다. 이러한 교통 혼잡은 의정부 주변도로에 전반적으로 교통부하를 전가시키고 이로 인해 의정부 전체도로체계내의 통행시간 증가를 가져온다. 2007년 7월 침수 때도 이와 같은 상황이 벌어져 출퇴근시간의 교통 대 혼란을 가져왔다.

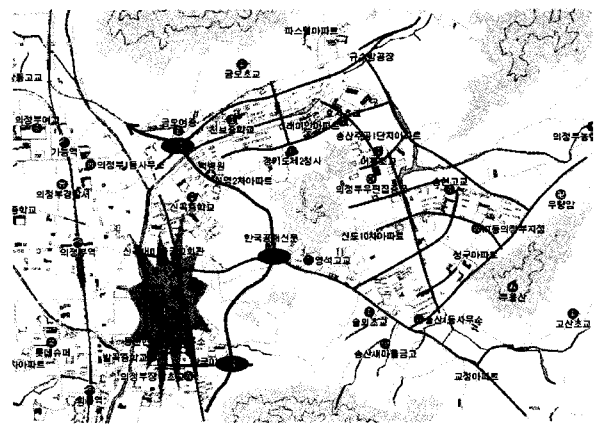
<그림 7>는 침수로 인해 통제된 도로로부터 차량이 유입되는 지점이다. 차량의 갑작스런 유입으로 한 방향의 차량이 길게 늘어서 있는

모습을 볼 수 있다. 이들을 신속히 대피시키기 위해선 체계적인 교통운영방안이 필수적이다.

### 4) Case 3 - 신호 연동

Case 3에서는 대피 상황시 교통운영전략으로 신호연동의 효과를 평가한다. 의정부 시내의 교통수요는 동부간선도로로부터 유입된 차량을 포함한다. 대피상황에서 신호시간을 증가시키기 위해서는 모든 교통량 정보와 현재의 신호시간을 바탕으로 주요 대피로를 연동시킨다. 이를 바탕으로 VISSIM 시뮬레이션으로 분석하고 MOEs를 구한다.

신호 연동을 실시한 교차로는 밑의 그림과 같다.



<그림 8> 신호 연동 교차로

위의 교차로는 통제된 도로에서 대피경로로 가기 위해 꼭 통과해야 하는 교차로이다. 앞의 Case 2의 시뮬레이션 결과에서도 가장 정체가 혼잡했던 구간으로 정체를 완화시키기 위해 신호연동을 실시했다. 그 결과는 다음과 같다.

<표 4> 신호 연동

대피경로	통행시간 (sec/veh)	지체시간 (sec/veh)	교통량 (Veh/h)
1	862.1	635.4	33
2	770	633.3	346
3	1146	851	11
4	1522.5	872.6	5
5	1375.7	1173.5	5
합계	5676.3	400	4165.8

침수로 인한 차량의 유입 후 대피로로 설정된 곳을 연동시킨 결과 Case2의 침수시 보다 통행시간과 지체시간은 감소했음을 볼 수 있다. 교통량 역시 침수시 보다 많은 차량이 대피로

를 통과했음을 볼 수 있다.

이를 통해 주요 축의 신호 연동이 차량 통행에 효과를 준다는 사실을 확인할 수 있었다.

하지만 침수전의 교통상황과 비교해 보았을 때 아직 극심한 정체를 빚고 있음을 확인할 수 있다. 이는 추후 강제 차량 분산과 더 많은 대피 경로 확보 등을 통해 개선할 수 있을 것이다.

5) Case 4 - 최적 신호

Case 3에서 신호연동을 통해 네트워크내의 통행시간 감소를 기대하였으나 예상보다 그 효과는 미미하였다. 따라서 유입된 차량을 포함한 교통량을 바탕으로 T7F를 이용하여 이상적인 각 방향별 최적의 신호조건을 구하였다. T7F로 최적의 현시를 구한 교차로와 구해진 신호현시를 실제 시뮬레이션에 입력하여 분석한다. 대상 교차로는 Case 3의 교차로와 동일하다.

<표 5> 교차로 1 신호최적

Ø1	Ø2	Ø3	주기
			3현시
17(3)	1(3)	34(3)	150
42(3)	7(3)	122(3)	180

<표 6> 교차로 2 신호시간 최적

Ø1	Ø2	Ø3	Ø4	Ø5	주기
					5현시
23(3)	29(3)	12(3)	25(3)	36(3)	140
20(3)	62(3)	7(3)	5(3)	27(3)	140

<표 7> 교차로 3 신호시간 최적

Ø1	Ø2	Ø3	Ø4	주기
				4현시
35(3)	35(3)	34(3)	34(3)	150
21(3)	17(3)	22(3)	17(3)	90

위의 표는 T7F로 변경된 신호시간을 나타낸다. 위의 변경된 신호시간으로 시뮬레이션 분석한 결과는 다음과 같다.

<표 8> 신호 연동

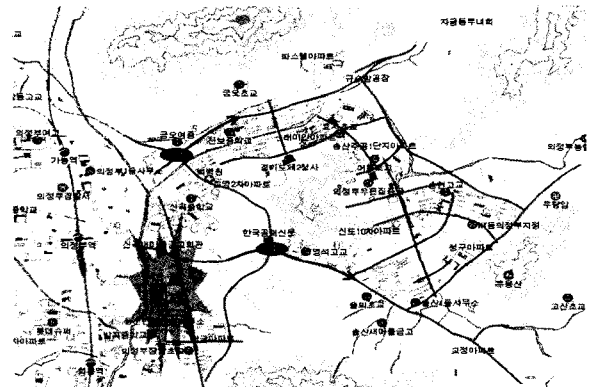
대피경로	통행시간 (sec/veh)	지체시간 (sec/veh)	교통량 (Veh/h)
1	862.1	631.3	34
2	763.5	607	382
3	1102.1	797.9	21
4	1169.2	855.7	7
5	1281.6	969.9	14
합계	5178.5	458	3861.83

최적 신호시간으로 시뮬레이션 분석결과 Case 2나 3보다 통행시간 및 지체시간이 감소하였다. 위의 결과를 통해 침수로 인해 도로망의 기능이 마비된 경우 그에 맞는 신호현시가 효과적이라는 사실을 알 수 있다.

따라서 침수를 대비해 미리 여러 가지 신호 현시 운영방안을 마련해놓고 침수의 정도와 교통량의 정도에 따라 효율적인 신호운영이 필수적이라 할 수 있다.

5) Case 5 - 비상 신호 Mode

신성일(2006)은 서울시 교통방재체계 구축방안 연구에서 좌회전 금지 교차로를 침수시 회전 허용하는 비상 신호 운영에 대해 시뮬레이션하였다. 이를 응용하여 본 연구에서는 침수로 인해 차량이 대량 유입되어 정체가 심한 교차로를 대상으로 비교적 교통량이 적은 방향의 회전을 금지시키고 그 회전에 배당된 신호시간을 직진신호에 분배하여 더 많은 차량들을 이동시켰다. 회전 금지 구역은 다음 그림과 같다.



<그림 9> 회전 금지 교차로

위의 그림에서처럼 차량의 분산을 통해 시뮬레이션 한 결과는 다음과 같다.



<표 9> 비상 신호 Mode

대피경로	통행시간 (sec/veh)	지체시간 (sec/veh)	교통량 (Veh/h)
1	1014.7	509.8	4
2	292.9	129.5	1193
3	676.3	393.4	62
4	768	380.1	13
5	943.1	491.9	10
합계	3695	1282	1904.7

위의 표에서 보는바와 같이 회전을 금지시킨 대피경로 1을 제외하고는 통행시간, 지체시간이 거의 평상시에 가깝게 줄어든 것을 확인할 수 있다. 따라서 신호를 통해 차량들을 빨리 분산시키는 것이 가장 효과적인 방법이라 할 수 있겠다.

본 연구는 신호운영방안만 적용하였지만 추후 도로의 기하구조를 이용해 역류차선 등을 시행하는 것도 방법이라 할 수 있겠다.

#### IV. 결론

재난 및 재해 발생 시 연쇄적으로 발생할지도 모르는 향후 위험을 방지하기 위해서는 신속한 통행 차단이 필수적이다. 따라서 재난에 대응하기 위한 도로의 차단 또는 대피경로의 선택, 대피전략 수립 등의 분석은 피해를 최소화하기 위해 필수적이다.

의정부는 계속되는 침수로 인해 현재 재해·교통인터넷 서비스를 제공중이다. 인터넷을 통해 제공되는 이 서비스는 실시간으로 CCTV를 통해 상습 침수지역의 영상을 확인할 수 있으며, 주변 주요 도로 안내 및 침수시 적절한 대피방안을 제공하고 있다.



<그림 10> 의정부시 재해·교통 인터넷 서비스

하지만 이 서비스는 단순히 CCTV 영상을 제공하는데 그쳐 실제 침수시 대피경로를 신속히 확인하는데에는 한계가 있다.

따라서 대피경로 확보와 신속한 정보전달을 위해 통합방재체계의 구축이 필요하다.

<표 10> 상습침수에 대한 방재활동<sup>3)</sup>

방재단계	방재활동
예방	기상관측
대비	재난안전대책본부 설치·운영, 침수예측, 저지대 차량이동
대응	주민대피
복구	피해복구, 구호품 전달

위의 <표 10>에서처럼 방재는 예방, 대비, 대응, 복구의 4단계로 이루어지고 각 단계는 시간의 흐름에 따라 순차적으로 진행된다.

방재에서 가장 중요한 단계는 신속한 대응에 있다. 자연재해의 경우 언제 발생할지의 예측이 거의 불가능하기 때문에 신속한 대응만이 그 피해를 최소화 할 수 있기 때문이다.

도시에서의 재난은 대부분 교통망의 한 지점(Point)이나 하나의 축(Line)에서 발생하지만, 사고처리가 늦어지거나 적절한 대처를 하지 못할 경우 교통망 전체(Area)로 그 피해가 확산되는 특징을 가지고 있다.

교통방재는 Point 및 Line에서 발생하는 재난의 결과로 인해 발생하는 1차적인 재난의 피해 감소와 확산을 방지하고, 그 영향이 Area로 확산되어 2차 재난으로 확대되는 것을 막는 활동을 말한다.

본 연구를 통한 기대효과로는 다음을 기대할 수 있다.

첫째, 여러 가지 교통운영방법을 시뮬레이션하여 최적의 대피방안을 제시함으로써 실제 재난 발생 시 이를 적용하여 신속한 판단과 결정을 내릴 수 있다.

둘째, 재난 발생 시 신속한 대응으로 인해 대상 지역의 도로이용자들의 인명 및 재산피해를 최소화 할 수 있을 것이다.

셋째, 본 연구를 바탕으로 각 재난 유형별로

3) 국토연(2005), 서울시 교통방재체계 구축방안

적용 가능한 종합재난관리체계를 구축할 수 있다.

본 연구의 한계점으로는 첫째, 본 연구에서는 실제 침수시 대부분의 운전자가 다양한 대피경로로 이동할 것이라는 가정으로 분석을 하였다. 하지만 운전자들의 경로선택은 예측하기 힘들기 때문에 실제상황과 비교하기 힘들다는 것이 한계점으로 남았다.

둘째, 본 연구는 집중호우에만 국한되었으나 그 밖의 다른 재난재해는 다른 특징을 가지기 때문에 이 연구의 내용을 적용할 수 없는 점이 한계로 남는다.

앞으로 각 재난재해별로 지속적인 연구가 필요할 것이다. 또한, 도로 시설뿐 아니라 철도, 항만, 공항 등의 모든 시설에도 범위를 확대해야 할 것이다.

현재 의정부시의 재난 관리는 의정부시, 소방방재청, 전기, 가스 등 각 유관기관 등에서 개별적으로 시행하고 있어 방재 4단계를 종합적으로 관리하는 부서가 마련되어 있지 않다. 하지만 미국의 경우 재난을 종합적이며 통합적으로 관리할 수 있는 연방정부 산하의 재난관리청(FEMA)<sup>4)</sup>를 운영중이다. 또한 표준화된 방재시스템의 사용으로 각 정부간 정보공유가 자유롭고 비상시 정보전달도 손쉽게 이루어지고 있다.

향후 우리나라도 통합적으로 관리할 수 있는 종합재난관리체계가 구축되어야 하겠다.

## 후기

본 연구는 2006년 건설교통부의 국가교통핵심기술개발사업(T406A1010001-06A010100510)의 지원으로 수행되었음. 연구의 내용은 저자의 의견으로 향후 변경될 수 있음.

## 참고문헌

1. 국토연(2005), “국가기간교통망의 유고 대응 전략 연구 - 도로 재난관리 시스템을 중심으로 -”
2. 국토연(2005), “방재국토 구축을 위한 GIS 활용방안 연구(I)”
3. 변완희, 김대호(2001), “돌발상황 발생에 따른 대응의 체계화 방안 연구”
4. 서울시정개발연구원(2006), “서울시 교통방재체계 구축방안 연구”
5. 방재연구소(2006), “방재연구”
6. 소방방재청(2005), “카트리나 출장 보고서”
7. Ming Chen, Lichun Chen and Elise Miller-Hooks(2007), “Traffic Signal Timing for Urban Evacuation”
8. Marco Ferrante, Francesco Napolitana and Lucio Ubertaini(2000), “Optimization of Transportation Networks during Urban Flooding”
9. Rahaf Alsnih, Peter Stopher(2004), “A Review of the Procedures Associated with Devising Emergency Evacuation Plans”
10. Loren Bloomberg and Jim Dale(2000), “A Comparison of the VISSIM and CORSIM Traffic Simulation Models On A Congested Network”
11. UTCA(University Transportation Center for Alabama, 2004), “Regional Traffic Simulation for Emergency Preparedness”

4) FEMA : Federal Emergency Management Agency