

# Cube Avenue 시뮬레이션 모델을 이용한 중규모 재난대피 프로토타입 모델 연구

## A Study on Prototype Model for Mesoscopic Evacuation Using Cube Avenue Simulation Model

신 흥 권\*      주 용 진\*\*

Heung Gweon Sin      Yong Jin Joo

**요 약** 최근, 각종 자연재해와 산업재해로 인한 피해규모의 증가와 이에 따른 대책 수립의 필요성이 증가하고 있으며 재난 규모 역시 대형화, 거대화됨에 따라 피해규모는 점점 더 심각해지고 있다. 이러한 각종 재난 시 재난대피계획의 핵심은 재난대피에 소요되는 시간추정, 병목지점 파악 등을 포함하며 이러한 재난대피계획의 수립과 평가를 위해서는 적절한 재난대피모델이 필요하다. 또한, 기존 연구가 주로 건축물 실내를 대상으로 재난 시 대피경로분석이 주를 이루기 때문에, 자연재해 시 지역을 대상으로 하는 재난대피모델에 관한 연구가 미진하여 도시 내의 재해영향권에 대한 재난대피모델 구축 사례가 없는 실정이다. 이에 본 연구에서는 Cube Avenue를 이용하여 거시통행 수요모형을 설계하고 미국 노스 다코다(North Dakota)주의 파고(Fargo)시의 도로 네트워크를 대상으로 재난 대피 시뮬레이션을 수행하였다. 결과적으로 본 연구에서 제안된 중규모 재난대피모델은 기존 통행수요모형의 네트워크와 입력 변수들을 이용하여서 동적 분석을 할 수 있어 시간과 비용을 절약할 수 있는 재난대피 시뮬레이션 분석에 활용 가능성을 확인할 수 있었다. 본 연구의 결과는 향후, 국내 대도시권에 적용이 가능하며 시나리오를 기반으로 한 다양한 재난모의 실험 및 평가가 가능한 모델 개발에 활용 가능할 것이다.

**키워드** : 재난, 대피모델, 중규모 시뮬레이션, Cube Avenue

**Abstract** Recently, the number of disasters has been seriously increasing. The total damages by the natural or man-made disasters during the past years resulted in tremendous fatalities and recovery costs. It is necessary to have efficient emergency evacuation management which is concerned with identifying evacuation route, and the estimation of evacuation and clearance times. An emergency evacuation model is important in identifying critical locations, and developing various evacuation strategies. In that existing evacuation models have focused on route analysis for indoor evacuation, there are only a few models for areawide emergency evacuation analysis. Therefore, we developed a mesoscopic model by using Cube Avenue and performed evacuation simulation, targeting road network in City of Fargo, North Dakota. Consequently, a mesoscopic model developed in this study is used to carry out dynamic analysis using network and input variable of existing travel demand model. The results of this study show that the model is an appropriate tool for areawide emergency evacuation analysis to save time and cost. Henceforth, the results of this study can be applied to develop a disaster evacuation model which can be used for a variety of disaster simulation and evaluation based on scenarios in the local metropolitan area

**Keywords** : Disaster, Evacuation Model, Mesoscopic simulation, Cube Avenue

### 1. 서 론

세계 각지 그리고 국내에서의 각종 자연재해와 산

업재해로 인한 피해규모의 증가와 이에 따른 대책 수립의 필요성이 증가하고 있다. 미국의 허리케인, 인도네시아와 일본에서의 쓰나미, 일본의 원전사태 등 예

<sup>†</sup>This work was supported by the National Research Foundation of Korea Grant funded by the Korean Government (NRF-2012S1A5B8A03045234)

\* Heung Gweon Sin, Research Professor, Institute of Urban Sciences, University of Seoul. hgshin@uos.ac.kr

\*\* Yong Jin Joo, Assistant Professor, Aerial Geoinformatics, Inha Technical College. jjy@inhac.ac.kr (Corresponding Author)

기치 못한 재난으로 인한 막대한 인적·물적 피해의 심각성은 상상을 초월할 정도였다. 국내에서도 기후온난화로 인한 기상이변으로 태풍피해가 심각하였으며, 지진해일의 피해도 보고되고 있는 실정이다. 그리고 건물 또는 교량의 붕괴, 폭발, 화재, 유독물질 유출 등의 위기상황이 끊임없이 발생하는 한편 재난 규모 역시 대형화, 거대화됨에 따라 피해규모는 점점 더 심각해지고 있는 상황이다. 국내에서의 자연재해로 인한 피해는 소중한 인명뿐만 아니라 도로, 교량, 항만 등의 공공시설의 파손을 초래하였으며 이에 대한 대책수립이 절실한 상태이다. 이에 따라, 각종 재난 시 재난대피전략 계획 수립을 위한 재난대피계획은 재난상황에서 가장 중요한 요소로 많은 주목을 받고 있다. 재난대피모델의 운용을 통한 여러 정책 시나리오들에 대한 적용 가능성과 집행 타당성의 확보는 정책 입안자들과 결정권자들의 정책결정 과정에서 중요한 역할을 할 수 있다. 적절한 대피모델이 없는 상황에서는 재난대피계획을 위한 평가는 많은 어려움이 있으며, 이러한 재난대피계획의 핵심인 재난대피 시간추정, 병목지점 파악 등 재난대피계획의 수립과 평가를 위한 재난대피모델이 요구되고 있다[2].

국내 재난대피모델과 관련한 연구는 주로 실내 공간 또는 구조물을 대상으로 한 기존 국외 모델에 대한 이론 설명, 모델 간 비교·분석 및 국내 적용, 그리고 모델 개발 등의 유형으로 구분된다[3, 4]. 하지만, 국내 연구들은 주로 미시적 분석 소프트웨어를 이용한 실내에서의 재난대피에 관한 연구가 이루어졌으며 도시 지역을 대상으로 하는 중규모나 거시적 대피모형이 적용된 모델이 거의 없는 실정이다. 국외의 연구사례로는, 주로 미국의 도시나 카운티 지역을 대상으로 미시적 소프트웨어를 이용하여 분석한 연구가 진행되었다[5]. 최근 들어서는 교통수요모형을 이용하여 분석한 사례들이 보고되고 있으나, 모형구축과 분석에 많은 시간과 비용이 소요되는 한계를 가지고 있다.

이에 본 연구에서는 합리적인 데이터 가공 및 활용을 위해 도시 지역을 대상으로 시나리오 기반 재난 모의실험이 가능한 분석모형을 제시하고자 하였다. 이를 위해 우선, 재난대피관련 국내외 연구동향을 살펴보고 미시 모델과 거시 모델의 입력 변수와 분석의 차이점을 분석하였다. 또한, Cube Avenue를 이용하여 거시통행 수요모형을 설계하고 미국 노스 다코다(North Dakota)주의 파고(Fargo)시의 도로 네트워크를 대상으로 재난 대피 시뮬레이션을 수행하였다. 마지막으로 모델을 이용하여 재난시나리오에 따른 영향과 재난대피형태를 분석하고 시사점을 제시하였다. 본 연구 내용을 절차별로 도식화하면 Fig. 1과 같다.

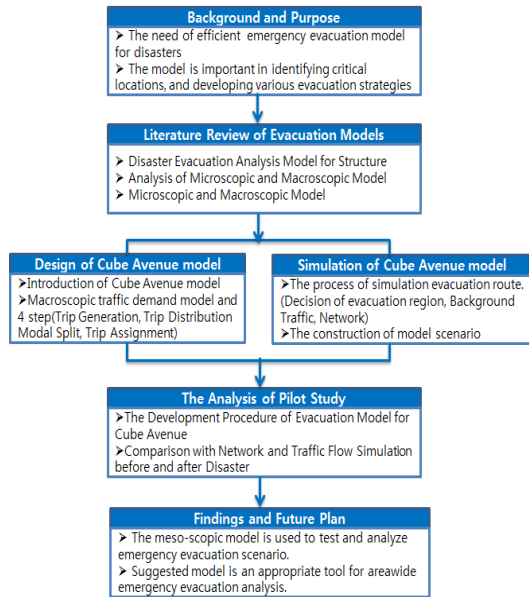


Figure 1. Overview of Study Procedure

## 2. 재난대피관련 국내·외 연구동향

### 2.1 분석범위에 따른 재난대피 모델

#### 2.1.1 구조물 재난 대피

각종 재난에 따른 막대한 사회경제적 피해를 최소화하기 위해서는 무엇보다도 재난의 대비단계에서 복구단계에 이르기까지 체계적인 대응 및 복구체제를 구축하는 것이 무엇보다도 시급하다. 1983년 지진해일 피해이후 우리나라에서도 지진해일과 같은 자연재해에 따른 대피경로분석과 대책에 대한 학문적 연구가 지속적으로 수행되어 왔으나 이를 실제적으로 적용한 경보시스템이나 대피시스템의 구축 부분에서는 아직 부족한 부분이 많이 있는 것이 현실이다. 그러나 국내에서는 Table 1에서와 같이 주로 건축구조물에서 재난 시 대피경로분석을 주로 하였지만 자연재해를 고려한 대규모 재난대피모델에 관한 연구가 많지 않으며 도시 전체나 도시 내의 재해영향권 지역에 대한 재난대피모델 구축사례는 없었다. 재난대피모델은 분석범위에 따라서 크게 실내 혹은 구조물(건물, 지하철, 항공기 등) 대피와 실외 혹은 지역대피로 나눌 수 있으며 국내의 구조물 재난대피분석 모델을 분석해보면 Table 1과 같다. Table 1에서 국내 재난대피모델(NAGAYO)은 국내 실정을 고려하여 개발되었으나 유독가스 시뮬레이션 기능이 없고 오직 영국의 재난대피모델인 ‘EXODUS’에서만 가능한 것으로 조사되었다. 최근 많이 발생하고 있는 유독가스 유출사고 등

Table 1. Disaster Evacuation Analysis Model for Structure [modified by 3, 4]

	NAGAYO	PathFinder	EXODUS	Simulx
Purpose	Simulation considering Korean physical features	Identification of bottleneck state and waiting queue point	Evacuation model for building, aviation, ship, train etc.	Simulation for crowd in the complex building.
Model Type	Partially behavioral models	Egress models	Behavioral models	Partially behavioral models
Structure	Full 3D visualization based on Solid	Network structure	Network structure such as building, entry, obstacle, etc.	Representing plane and stair by 0.2×0.2m grid
Modeling Viewpoint	Visible map, guide lights,, walking speed by pedestrian, distance	movement of group	Gender, age, highest walking speed, reaction time, and tendency	movement of individual
Occupant's Egress Behavior	Considering following instinct	Speed reduction based on the space density	Considering physical movement of occupants	velocity estimation by distance between person
Visualization	2D, 3D	2D	2D, 3D	2D
Toxic Gas Simulation	×	×	○	×
Development	Korea	the US	the UK	the UK

을 고려하여 볼 때 국내에서 재난대피모델 개발 시 유독가스 시뮬레이션 기능이 필수요건이 될 것으로 사료된다.

### 2.1.2 실외공간 재난대피

국내의 기존 재난대피모델 연구는 주로 실내에서의 상황을 대상으로 이루어 졌으며 실외의 경우 국내에서는 관련 연구가 많지 않은 상태이다. 미국 연방교통부의 통행분석관련 보고서에서 기술된 분류에 따르면 실외에서의 재난대피를 분석하기 위한 모델은 크게 미시적 모델(Microscopic Model), 중규모 모델(Mesoscopic Model), 거시적 모델(Macroscopic Model) 3가지로 나눌 수 있다[7]. 미시적 모델의 경우 실내와 실외에서의 재난대피상황을 분석하기 위하여 쓰인다. 광역을 대상으로 하는 거시적 혹은 미시적인 재난대피모델개발을 위해서는 광역 네트워크 구축이 선행되어야 하며 주로 기존 통행수요모형의 네트워크가 이용된다. 최근에 실외재난대피에 관련된 연구에서는 상용 소프트웨어인 Paramics, Corsim, Vissim, DYNASMART, DymaMIT, DynusT, Trans CAD, 이용하여 재난대피모델을 개발하여 분석을 하였다[8]. 이 중에서 TransCAD는 다양한 GIS 데이터와의 데이터 호환이 이뤄지며 현재 미국에서 많이 쓰이는 거시적 교통수요분석을 위한 소프트웨어이다. TransCAD를 제외한 Paramics, Corsim, Vissim 등은 미시적 교통운용분석이나 보행자 분석에 많이 쓰이는 미시적 시뮬레이션 모델이다.

기존에 수행 된 재난대피관련 연구는 Table 2와 같다. 주로 미국을 연구 사례로 지역을 대상으로 미시적

혹은 거시적 모델을 이용하여서 대피경로분석을 시행하였음을 알 수 있다. 또한 1980년대에는 지역재난대피모델에 관련 된 많은 연구가 핵발전소 재난 시 대피경로를 분석하였으며 1990년대에는 허리케인대피연구가 많았고 2001년 9월11일 세계무역센터에 대한 테러리스트 공격 이후에는 폭발물과 테러리스트 습격을 가정한 재난 대피 연구가 이루어졌다[6]. 그리고 인도네시아와 일본의 쓰나미 이 후에는 자연재해를 가정하여 많은 연구가 이루어졌다.

실내가 아닌 광범위한 지역을 대상으로 한 재난대피모형의 경우 미시적 모델이나 거시적 모델을 이용하여서 분석에 필요한 모델을 구축하게 된다. 본 연구에서는 먼저 미시적 모델과 거시적 모델을 이용하여서 재난대피모델을 개발할 경우 각 모델의 개요와 입력 변수에 대해서 살펴보았다.

#### 1) 미시적 모델

실외에서 미시적 모델을 이용하여서 재난대피모형을 구축할 때 앞에서 언급 된 상용 소프트웨어 중 하나를 이용하여서 구축할 수 있다. 본 연구에서는 파라믹스[1]를 이용하여 미시적 재난대피모델을 구축할 경우에 대해서 살펴보았다. 파라믹스는 가속, 감속, 차선변경과 추월에 대한 이론과 차량 움직임에 대한 가정을 기반으로 하고 있는 소프트웨어이다. 각 차량에 대한 일반적인 성질은 차량종류(승용차, 버스, 트럭), 길이, 폭, 최대가속과 감속, 최고속도, 최대회전반경, 운전자

1) Paramics : 영국에서 만들어진 미시적 시뮬레이션 모델 (microsimulation model)로 개별 자동차 의 특성과 상호작용을 분석할 수 있는 시뮬레이션 소프트웨어임

Table 2. Review of Local Emergency Evacuation Model [5]

Model	research	main contents
NETVAC1	Sheffi et al. [16]	- Network evacuation model, which can estimate evacuation time and the traffic on the road near by nuclear power.
CLEAR	McLean et al. [9]	- microscopic model which can evaluate the network evacuation time during nuclear emergency.
NESSY-IV	Hiramatsu [10]	- macroscopic model to analyze small local area during earthquake occurrence.
I-DYNEV	Lieberman [14]	- Interactive dynamic network, which is able to plan emergency evacuation in the event of the nuclear power plant accident.
MASSVAC	Hobeika and Jamei; Hobeika and Kim [11]	- Evaluation model for analysis of evacuation plan in urban area.
TEVACS	Han [13]	- Model for emergency management and evacuation when the nuclear accident, which improves NETVAC1
REMS	Tufekci and Kisko [17]	- local evacuation model to be used for emergency traffic control and management as a decision-making tool
TEDSS	Hobeika[12]	- the evaluation model based on MASSVAC for evacuation time and transportation management, targeting nuclear power plants in state of Virginia.
CEMPS	Pidd et al. [19]	- CEMPS(Configurable Emergency Management and Planning System) is a model integrated GIS with Discrete Event Simulation to support the operation of an evacuation plan
D4S2	Wu et al. [20]	- Dynamic discrete disaster decision simulation system with GIS and SQLServer database to simulate the evacuation process and resource deployment.

반응시간, 등을 포함한다. 시뮬레이션을 위한 네트워크는 링크와 노드로 이루어져 있으며, 링크는 일방 혹은 양방통행을 나타낼 수 있다. 시뮬레이션에서 차량은 다른 차량의 간섭이 없는 경우 자유속도로 주행할 수 있지만 도로 기하구조, 도로포장상태, 등 다른 요소에 의해서도 주행 시 영향을 받는다. 시뮬레이션에서 중요한 입력 변수 중 하나가 기종점간 통행수요이며 광역을 대상으로 하는 시뮬레이션의 경우 통행수요 데이터를 기존의 교통수요모형을 기반으로 하여서 추정하게 된다. 그리고 조사된 링크 교통량과 회전 교통량이 이용 가능한 경우 구해진 데이터를 기반으로 기종점간 통행수요 추정 소프트웨어를 이용하여 통행수요를 추정할 수 있다[6].

시뮬레이션 모형에서는 차량을 대상으로 분석하는 경우 차량의 움직임을 시뮬레이션 하기위하여 차량추종모형(Car-following Model), 차선변경모형(Lane-changing Model), 대기행렬해소모형(Queue Discharge Model) 등이 사용된다. 대부분의 모델들은 전혀 문제가 없는(Fail-safe) 차량추정알고리즘(Car-following Algorithm)을 사용하며 차량 간에 최소안전거리(Minimum Safe Distance)를 유지함으로써 차량추종행위(Car-following Behavior)를 시뮬레이션 한다. 이 중에서 차선변경모형은 간격수락과정(Gap-acceptance Process)에 기반을 두고 있다. 만일 어느 한 차량

이 차선을 바꾸고자하는 차선에서의 차 간격이 임계간격(Critical Gap) 보다 크면 차선을 바꾸게 된다.

2) 거시적 재난대피모델

재난대피분석을 위하여서 거시 통행수요모형을 이용할 수 있으며 이를 통하여서 재난대피 시 걸리는 소요시간과 병목지점을 파악할 수 있다[2]. 거시적 재난 대피모델의 네트워크와 통행표는 기존의 거시통행수요모형의 입력 변수를 이용할 수 있다. 국내 교통수요모형은 전통적인 4단계 교통수요모형이며 교통수요모형 소프트웨어는 캐나다 INRO사에서 개발된 EMME2)를 기반으로 하고 있다. 거시통행수요모형은 4단계 교통수요모형으로 통행발생, 통행배분, 통행수단선택, 통행배정 단계를 순차적으로 거쳐서 통행수요를 분석한다. 주로 이 4단계 통행수요모형은 존3)이라는 공간분석단위를 기반으로 하여서 수요를 예측

- 2) EMM/2 (Equilibre multimodal, Multimodal Equilibrium) : 네트워크 균형측면에서 multi-modal 통행예측모형을 적용한다는 것을 뜻함. Canada Montreal University와 INRO Consultant가 공동개발한 EMME/2는 종합적인 교통계획 Package로서 교통수요 4단계 전 과정을 프로그램 내에서 수행할 수 있음
- 3) 교통분석존 : 교통수요모형의 공간분석단위로서 미국의 경우는 Census Track에 맞추어서 존체계를 사용하는 반면, 국내의 경우 행정동 단위에 맞추어서진 교통분석존을 이용함

하며 존의 크기는 주로 매년 인구, 소득, 등 기본적인 통계가 집계되는 행정단위와 일치한다. 존의 크기를 행정단위와 일치시키는 이유는 통행발생부터 통행배분 단계에 이르기까지 각 단계에서의 분석에 필요한 입력 변수와 검증자료가 구득이 상대적으로 쉬운 행정단위별 통계자료이기 때문이다.

### 3. Cube Avenue 재난대피모델 설계

#### 3.1 Cube Avenue 모델 개요

광범위한 지역분석 시 거시적 혹은 미시적 시뮬레이션 모델을 구축하는 것은 많은 시간과 노력을 필요로 하기 때문에 만일 기존 통행수요모형 데이터가 이용 가능할 경우 기존 데이터를 이용하여 중규모 재난대피모델을 개발하는 것이 효율적이다. 본 연구에서는 Citilabs사의 Cube Avenue를 사용하여서 중규모 재난대피모델을 구축하였다.

Cube Avenue는 Cube Voyager 소프트웨어의 선택적 추가기능(Optional Add-on)으로서 중규모(Mesosopic) 시뮬레이션 모델이다[1]. Cube Avenue를 수행하기 위해 필요한 통행수요정보는 거시통행수요모형 소프트웨어인 Cube Voyager로부터 넘겨받을 수 있다. Cube Voyager로부터의 통행정보는 4단계 과정을 거친 후에 얻어진 정보이다. 그리고 Cube Avenue에서는 통행배정을 위하여서 동적통행배정법(Dynamic Traffic Assignment)이 사용되며, 미시적 시뮬레이션 모델과는 달리 개개 차량이나 보행자를 대상으로 시뮬레이션을 하는 것이 아니라 차량의 패킷(Packet)<sup>4)</sup>을 대상으로 시뮬레이션을 시행한다. 거시적 재난대피모형을 이용하여서 분석하기 어려운 신호등 교차로, 신호통제, 더욱 자세한 지체, 통행시간, 용량분석, 링크용량제약과 차량대기행렬, 교통여건에 따른 경로변경 등을 고려하여서 분석할 수 있다. 또한, 상류의 교통 혼잡의 영향을 계량화, 교차로에서와 교통합류점에서의 차량정체를 측정, ITS(Intelligent Transportation System) 프로젝트의 편익평가, 긴급대피계획과 전략수립 등 분석이 Cube Avenue에서는 가능하다. Cube Avenue를 이용하여서 재난대피모델을 개발할 때 추가적으로 고려할 점은 보다 현실적인 시뮬레이션을 위해서는 원래의 시뮬레이션 분석시간에 추가적인 준비시간(Warm-up Period)이 필요하다는 것이다. 즉, 분석시간대가 오전 8시부터 오전9시까지 라면 시뮬레이션을 오전 7시반정도에 시작하여서 분

석대상네트워크에 사람이나 차량이 분석이 시작되는 오전 8시에 비어있는 네트워크로 시뮬레이션을 시작하지 않도록 하는 것이 필요하다.

#### 3.2 Cube Voyager 거시 통행수요모형

앞에서 논의된 바와 같이 중규모 재난대피모델의 네트워크는 거시적 재난대피모델에서와 마찬가지로 기존의 거시 교통수요모형인 Cube Voyager모델의 네트워크를 이용할 수 있다. 그러나 중규모 재난대피모델을 개발하기 위해서는 기존의 거시교통수요모형의 네트워크에 신호교차로 등 추가정보를 더하는 과정이 필요하다. 미국에서는 Cube Voyager 4단계 교통수요모형이 많이 사용되고 있으며 각 단계는 다음과 같다.

##### 3.2.1 1단계 : 통행발생

4단계 교통수요모형에서 첫 번째 단계는 통행발생(Trip Generation) 단계이며 이 단계에서는 각 교통존에서의 통행유출과 유입을 예측한다. 통행발생 단계에서 각 교통존의 통행유출과 통행유입을 예측하기 위하여서 사용되는 기법 중 가장 많이 사용되는 두 가지 모델은 회귀분석법(Regression Analysis Method)와 교차분석법(Cross-Sectional Analysis Method)이다. 주로 통행유출 예측을 위해서는 교차분석법을 이용하고 통행유입예측을 위해서는 회귀분석법을 많이 이용하고 있다. 교차분석법은 일종의 분류표를 만드는 것인데 첫째 행과 첫째 열에 있는 독립변수들을 여러 수준으로 나누고 각 행과 각 열이 교차하는 셀에는 종속변수 값인 통행회수가 들어가게 된다. 회귀분석 기법의 경우 독립변수로 인구수, 평균소득 등이 사용되며 종속변수는 통행회수이다.

##### 3.2.2 2단계 : 통행배분

통행배분(Trip Distribution) 단계에서는 이전 단계인 통행발생단계에서 산출된 존별 통행유출과 유입값을 가지고 각 존쌍(Zone Pair)에 배분을 한다. 통행배분모형으로는 중력모형이 널리 사용되고 있으며 중력모형은 물리학에서의 중력 법칙의 개념을 이용하여서 인구나 경제규모에 따라서 도시 간 혹은 통행존간의 통행회수가 비례하고 거리나 통행비용에는 반비례한다는 가정에 기본을 두고 있다.

##### 3.2.3 3단계 : 통행수단선택

세 번째 단계인 통행수단선택(Modal Split) 단계에서는 통행배분단계에서 예측된 각 존쌍간의 통행량을 통행수단별로 세분화 하는 것이다. 주로 로짓모형이 많이 쓰이는데 이 로짓모형은 경제학에서의 효용의 개념에 기반을 두고 있는 모형이다. 효용이란 각 개인이 재화나 서비스를 이용함으로써 얻을 수 있는

4) 패킷 시뮬레이션 : 패킷은 묶음, 꾸러미의 뜻으로 차량 하나 하나를 대상으로 하여서 분석하는 것이 아니라 여러 대의 차량을 한 묶음으로 간주하여서 분석함

만족도를 나타내며 모든 합리적인 인간은 선택 시 자신들의 효용을 극대화하는 쪽으로 선택한다는 가정에 기반을 두고 있다.

3.2.4 4단계 : 통행배정

마지막 단계인 통행배정단계(Trip Assignment)에서는 각 존쌍 간의 통행수단별 통행량을 각 존간에 이용 가능한 경로에 통행수단별로 어떤 경로를 이용하는지를 예측한다. 가장 단순한 통행배정방법은 전량배정법(All-or-nothing Assignment Method)이며 통행시간이나 통행비용이 최소인 경로에 각 존쌍 간의 통행수단별 통행량을 배정하게 된다. 전량배정법의 비현실적인 가정에 따른 문제점에도 불구하고 수정된 전량배정법이 많이 사용되고 있다.

4. Cube Avenue 재난대피 시뮬레이션

4.1 대피경로 시뮬레이션 절차

대피경로분석을 위해서는 대피지역을 결정하고 다

음으로 통행에 대하여서 분석을 하여야 한다. 통행은 대피를 하여야만 하는 지역으로 부터의 통행(대피통행)와 대피할 필요가 없는 지역에서의 통행(배경통행)으로 나누어진다. 대피지역결정, 대피통행, 그리고 배경통행에 대한 설명은 다음과 같다.

4.1.1 대피지역결정

대피지역결정은 재난에 처한 사람들이 피신할 곳을 정하는 것이다. 재난의 종류가 다양하기 때문에 재난의 종류에 따라서 그리고 대피하여야 할 대상자의 수를 고려하여서 사람들이 적절한 지역이나 시설물로 대피하도록 유도하여야 한다. 본 연구에서는 독가스 유출이나 전시상황 상태에서의 대피상황을 가정하지 않기 때문에 대피지역결정은 생략하였다.

4.1.2 대피통행과 배경통행

대피통행의 경우 일반적인 교통수요분석에서의 통행과 성격이 판이하게 다르다. 즉, 대피통행은 통행목적, 종착지, 수단선택에 있어서 일반적인 통행과는 아주 다른 면을 보여준다. 일반통행의 경우 분석시간대

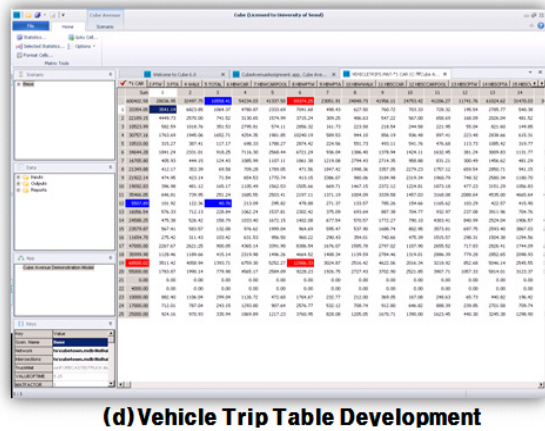
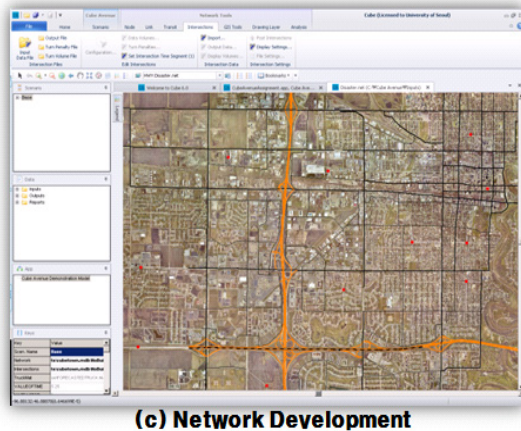
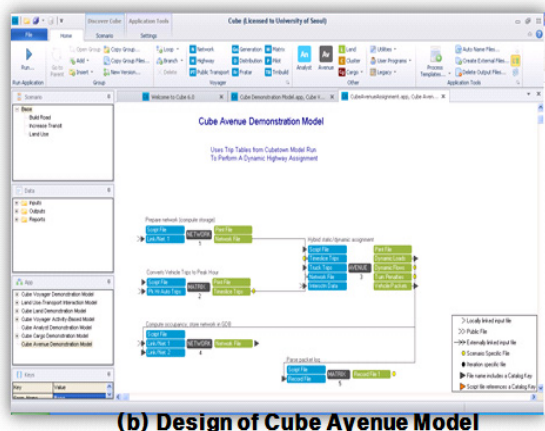


Figure 2. The Development Procedure of Evacuation Model for Cube Avenue

가 보통 24시간을 대상으로 하지만 대피통행의 경우에는 대체적으로 훨씬 줄어든 시간대에 대하여서 분석을 하게 된다. 이런 이유로 대피통행과 일반통행은 구별되어야 하며 재난의 성격이나 영향범위에 따라서 배경통행(Background Traffic)을 포함하여서 분석한다.

4.1.3 네트워크 구축 : 파고(Fargo)

재난대피경로 분석을 위한 네트워크는 Fig. 2와 같이 미국 노스 다코타(North Dakota)주의 파고(Fargo)시의 도로 네트워크를 이용하였다. 파고시에는 두 개의 주간 고속도로(Interstate Highway) I-29(남북방향)와 I-94(동서방향)가 교차한다. 또한, Cube Avenue에서 구축한 모델(Fig. 2-b)과 네트워크(Fig. 2-c), 기존 차량통행표(Fig. 2-d) 구축 결과를 보여주고 있다. 즉, Cube Avenue를 시행하기 전에 네트워크와 차량통행표가 구축되어야 한다. 첫 번째 단계인 네트워크 처리

에서는 앞의 네트워크에 Cube Avenue 수행에 필요한 변수들을 구축한다. Cube Avenue 수행에 필요한 변수는 신호등이 있는 교차로에서의 신호등 관련정보, 즉 신호주기와 각 신호의 길이에 대한 정보가 필요하다. 두 번째 단계에서는 기존 차량통행표를 침투시간대의 차량통행표로 변환시키게 된다. 주로 기존 통행분석 모델의 차량통행표는 하루 24시간을 대상으로 하여서 구축되었으며 주로 승용차에 대한 통행정보를 포함한다. 그러나 지역 특성상 혹은 분석목적에 따라서 다른 교통수단의 통행정보가 추가될 수도 있다.

4.2 재난대피모델 시나리오 작성 및 분석

시뮬레이션 모델을 이용하여서 재난대피분석 시 여러 가지 상황을 가정하여서 시나리오를 작성 할 수 있다. 즉, 교량이나 건물이 붕괴하거나 도로상의 대형 사고 혹은 유해물질을 취급하는 공장에서의 유출사고

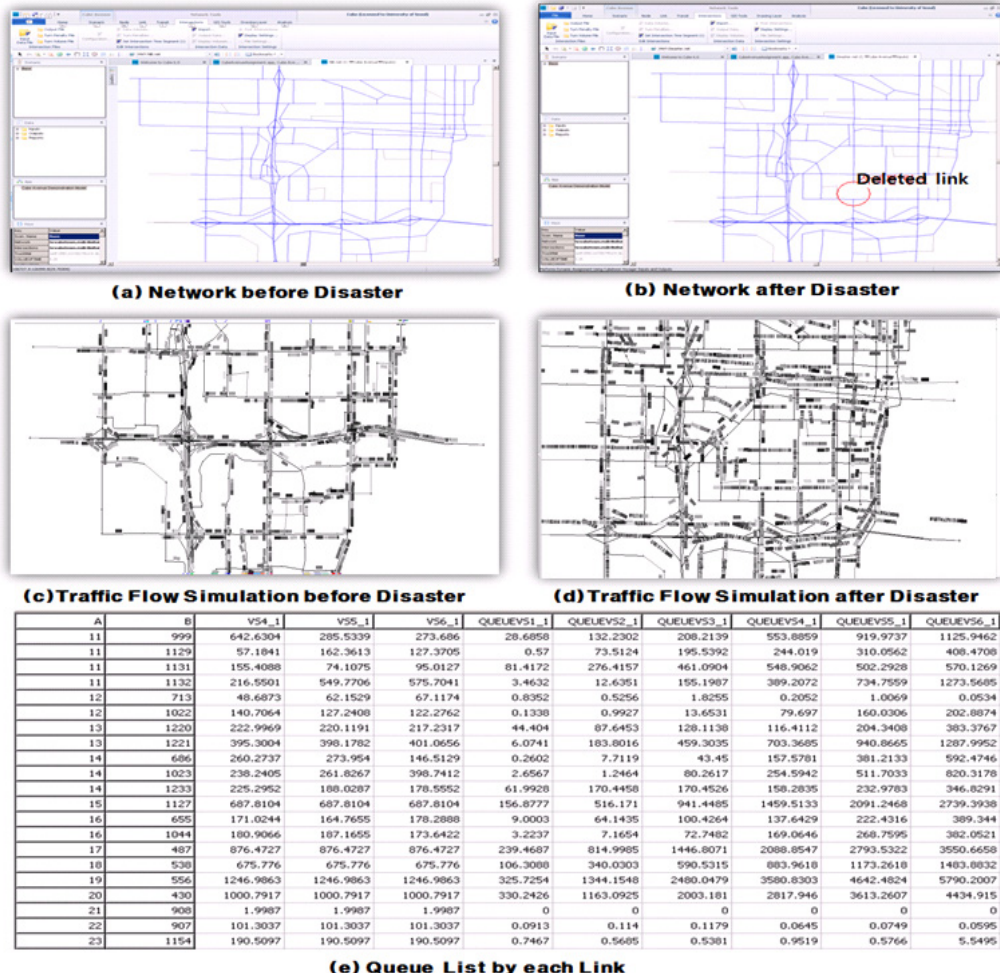


Figure 3. Comparison with Network and Traffic Flow Simulation before and after Disaster

등 여러 가지 재난상황을 가정하여 재난대피분석을 할 수 있다. 본 연구에서는 재난대피분석을 위하여 산사태나 건물붕괴 등의 재난 시 주변도로의 상황을 분석하기 위하여 노스 다코다주의 파고시 특정 네트워크를 분절시켜 Fig. 3(b)에서와 같이 재난 후 네트워크를 작성하였다. 따라서 재난 발생 전의 네트워크는 Fig. 3 (a)이며 재난 후의 네트워크는 Fig. 3 (b)에 나타난 바와 같다.

이 두 네트워크를 대상으로 Cube Avenue를 이용한 시뮬레이션 결과는 Fig. 3(c)와 (d)에서 보여지는바와 같다. Fig. 3(c) 그림은 재난 전 교통흐름 시뮬레이션 상황을 보여주고 있으며 Fig. 3(d)그림은 재난 후의 교통흐름 시뮬레이션 상황을 보여주고 있다. 즉, 재난으로 인해서 한 도로가 막혔을 경우 그 부근의 교통량에 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 재난대피와 통과시간 추정(Evacuation and Clearance Time Estimates) 외에, 시나리오 분석으로부터 도출된 결과는 대기행렬(Queue) 등의 정보이다. Fig. 3(e)은 재난후의 링크별 대기행렬 차량수를 나타내고 있다. 또한 Table 3에서와 같이 시뮬레이션 시간이 증가함에 따라서 재난전후의 총 대기행렬 차량은 점점 증가하는 추세이다. 재난후의 총 대기행렬 차량은 모든 시뮬레이션 시간대에 대하여서 재난전보다 증가한 것으로 나타났다. 이와 같이 재난 시 도로상의 대기행렬(Queue) 등의 정보를 파악할 수 있다.

이러한 링크를 대상으로 하여서 재난관리를 담당하는 사람들은 어느 도로에 교통량이 집중되는 지를 파악할 수 있고 이에 대한 재난대피 관련정책을 수립할 수 있다. 병목지점에서의 교통통제는 경찰들에 의해서 관리되고 주민들이 인접한 대로나 고속도로로 접근하도록 유도할 수 있다. 매우 혼잡한 교통축은 대피효율을 높이기 위해서 필요한 대피정책(가변차선제나 일방통행제) 시행을 위한 대상이 될 수 있을 것이다.

Table 3. Total Average Number of Vehicles Queueing on the Link

Simulation Time(Min)	Network Before Disaster(A)	Network After Disaster(B)	Difference (B-A)
0 - 10	3582	3636	54
10 - 20	12928	13526	598
20 - 30	24401	25191	790
30 - 40	36738	37978	1240
40 - 50	49635	51861	2226
50 - 60	62930	65670	2741

### 5. 결론 및 시사점 도출

본 연구에서는 국내의 기존연구에서는 잘 다루어지지 않았던 실외에서의 재난대피 프로토타입 모델연구를 위하여서 기존의 재난대피모형을 살펴보았으며 재난대피모형 분석을 위하여서 중규모 시뮬레이션 소프트웨어인 Cube Avenue를 이용하였다. Cube Avenue를 이용한 이유는 광범위한 지역분석 시 거시적 혹은 미시적 시뮬레이션 모델을 구축하는 것은 많은 시간과 노력을 필요로 하기 때문에 기존 통행수요모형 데이터가 이용 가능할 경우 기존 데이터를 이용하여 중규모 재난대피모형을 개발하는 것이 효율적이라고 판단하였기 때문이다. 국내 통행수요모형이 존재하지만 Cube Avenue모형구축에 필요한 필수 데이터가 결여되어 있어서 본 연구에서는 미국 노스 다코다주 파고시의 데이터를 이용하여서 파고시의 도로 네트워크를 대상으로 재난 시나리오에 따른 교통흐름 변화를 분석하였다. 재난 시나리오에 따른 교통흐름 변화를 분석하기 위하여서 통행배정기법으로는 동적배정법을 이용하였다. 재난시나리오에 따른 분석을 시행하기 전에 재난대피 통행량과 배경통행량이 정의 되어야 한다. 미시적 혹은 거시적 재난대피모형을 이용하여서 광범위한 지역을 대상으로 하는 실외재난대피모형을 구축할 경우 모델구축, 정산, 검증에 상대적으로 많은 시간과 비용이 소모된다. 예를 들면 서울시와 같은 대도시를 대상으로 재난대피모형을 구축할 경우 기존통행수요모형 데이터가 이용가능 하더라도 최소 1~2년이 소요될 것으로 추정된다. 본 연구에서는 재난에 의해 도로가 막힌 상황을 가정하고, 이를 Cube Avenue 모델로 시뮬레이션해본 결과, 시뮬레이션 시간이 증가함에 따라서 재난전후 총 대기행렬 차량이 점점 증가하는 추세를 잘 보여주고 있었다. 따라서 본 연구에서 제안된 중규모 재난대피모형은 기존 통행수요모형의 네트워크와 입력 변수들을 이용하여서 동적 분석을 할 수 있어 시간과 비용을 절약할 수 있는 재난대피 시뮬레이션 분석에 활용 가능성을 확인할 수 있었다.

향후, 재난 상황이 알려진 사실 유무, 대피통행과 배경통행에 대한 가정에 따라 분석결과에 큰 영향을 미치기 때문에 다양한 시나리오를 이용하여서 재난대피상황을 보다 정확하게 분석하는 것이 필요할 것이다. 또한, 국내에서는 미국에서와 같이 기존 통행수요모형의 데이터를 이용하는 것이 상대적으로 어려움이 있을 것으로 예상되지만 대도시권과 같은 더욱 광범위한 지역을 대상으로 하여서 다양한 재난 시나리오를 가지고 재난대피모형을 구축하는 것이 필요할



것이다.

## References

- [ 1 ] Citilabs, 2013, Cube Voyager Reference Guide.
- [ 2 ] Kaan, O.; Anil, Y. M; Shrisan, I; Jian, L; Eren E. O; Jon, A. C. 2012, Use of Regional Transportation Planning Tool for Modeling Emergency Evacuation Case Study of Northern New Jersey, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 89 - 97.
- [ 3 ] Kwak, S. Y. 2011, Modeling pedestrian behavior for optimal evacuation in indoor spaces using the genetic algorithm, Master's Thesis, University of Seoul.
- [ 4 ] Kuligowski, E. D; Peacock, R. D. 2005, A Review of Building Evacuation Models, NIST Technical Note 1471.
- [ 5 ] Longo, Francesco. 2010, Emergency Simulation: State of the Art and Future Research Guidelines, SCS M&S Magazine.
- [ 6 ] FHWA. 2004, Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software, Publication No. FHWA-HRT-04-040.
- [ 7 ] FHWA. 2012, Traffic Analysis Toolbox Volume XIII: Work Zone Traffic Analysis-Applications and Decision Framework, Publication No. FHWA-HOP-12-009.
- [ 8 ] Pel, A; Bliemer, M; Hoogendoorn, S. 2011, Modelling Traveller Behaviour under Emergency Evacuation Conditions, EJTIR 11(2):166-193.
- [ 9 ] Mclean, M. A; Moeller, M; Desrosiers, A; Urbanik, T. 1983, CLEAR: A Model for Calculation of Evacuation Time Estimates in Emergency Planning Zones, In Proceedings of the Conference on Computer Simulation in Emergency Planning, 112:58-63.
- [10] Hiramatsu, T. 1983, Development of a Network Flow Simulator NESSY-IV for Analyses of Mass Evacuation in Case of Emergency, Journal of Information Processing, 6(1):1-9.
- [11] Hobeika, A. G; Jamei, B. 1985, MASSVAC: A Model for Calculating Evacuation Times under Natural Disasters, In Proceedings of The Conference on Computer Simulation in Emergency Planning, 5(1):23-28.
- [12] Hobeika, A; Kim, S. G; Beckwith, R. E. 1994. A Decision Support System for Developing Evacuation Plans Around Nuclear Power Stations, Interfaces, 245:22-35.
- [13] Han, A. F. 1990. TEVACS: Decision Support System for Evacuation Planning in Taiwan, Journal of Transportation Engineering, 116(6): 821-830.
- [14] Lieberman, E. B; Andrews, B. J. 1980, TRAFLO: A New Tool To Evaluate Transportation System Management Strategies, Transportation Research Record, 772:9-15.
- [15] Nam, H. W; Kwak, S. Y; Jun, C. M. 2012, A Prototype for Real-time Indoor Evacuation Simulation System using Indoor IR Sensor Information, Journal of Korea Spatial Information Society, 20(2):155-164.
- [16] Sheffi, Y; Mahmassani, H. S; Powell, W. B. 1982, A Transportation Network Evacuation Model, Transportation Research Part A: Policy and Practice[J], 16:209-218.
- [17] Tufekci, S; Kisko, T. M. 1991, Regional Evacuation Modeling System REMS: A Decision Support System for Emergency Area Evacuations, Computers and Industrial Engineering, 211(4): 89-93.
- [18] Park, I. H; Jun, C. M; Lee, J. Y. 2008, GIS-based Fire Evacuation Simulation using CA Model, The Journal of GIS Association of Korea, 16(2):157-171.
- [19] Pidd, M; Silva, F. N; Eglese, R. W. 1996, A Simulation Model for Emergency Evacuation, European Journal of Operational Research, 90: 413-419.
- [20] Wu, S; Shuman, L; Bidanda, B; Kelly, M; Ken, S; Balahan, C. 2007, Embedding GIS in Disaster Simulation, 2007 Environmental Systems Research Institute International User Conference Proceedings, San Diego, CA.

논문접수 : 2013.07.26

수정일 : 1차 2013.08.22 / 2차 2013.10.28

심사완료 : 2013.10.29