

차로기반 경로유도방식을 이용한 차량의 소개시간 추정

Estimation of Vehicles Evacuation Time by using Lane-based Routing Method

도 명 식*
(Do, Myungsik)

요 약

본 연구에서는 구미시 일부지역을 대상으로 소개(疏開, 혹은 대피) 계획(evacuation planning)수립 기초연구를 위해 가능한 한 실제 네트워크 및 교통특성 자료를 기반으로 미시적 교통시물레이션을 이용하여 대안별 특성을 분석하였다.

긴급 상황이 발생했을 경우를 가정한 시물레이션을 통해 기존 교통신호 체계를 그대로 유지하는 경우에서의 소개시간과 본 연구에서 제안한 차로기반 경로유도(lane-based routing) 방식을 비교한 결과, 긴급 상황이 발생했을 시 기존 신호 체계를 그대로 유지하는 경우에 있어 소개명령의 차이는 모든 차량을 소개시키는데 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 그에 비해 본 연구에서 제시한 차로기반 경로유도 방식의 경우 기존 방식에 비해 소개시간과 총 통행시간에서 각각 28~54%와 82~90%의 단축효과가 있음을 확인하였으며, 특히 소개시간을 짧게 해야 하는 급박한 상황이 발생했을 때 소개를 위한 시간단축을 확인하였다.

핵심어 : 소개시간, 응급상황, 차로기반 경로유도, 시물레이션

Abstract

This study is the fundamental research to establish evacuation planning and to analyze evacuation planning characteristics in Gumi-city based on existing network and traffic characteristics data.

Assuming an emergency situation, it compared with evacuation time estimates between using existing traffic signal system and proposed lane-based routing method through micro simulations. As a result, using existing traffic signal system could not affect the evacuation times in each level of emergency conditions. However this study found that proposed lane-based routing method is very effective to reduce an evacuation time compared with using existing traffic signal system. Also the proposed method is verified to reduce an evacuation time especially in extreme emergency circumstances.

Keywords : Evacuation Time, Emergency Situation, Lane-based Routing, Micro Simulation

* 주저자 : 한밭대학교 도시공학과 교수

† 논문접수일 : 2013년 11월 11일

† 논문심사일 : 2013년 11월 18일

† 게재확정일 : 2013년 11월 30일

I. 서론

도시지역에 긴급 상황이 발생했을 때 비상계획구역 범위의 선정과 소개(疏開 혹은 대피, evacuation) 시간의 추정은 계획의 첫 단계이며 인명 및 재산피해에 큰 영향을 미친다.

그러나 긴급하게 소개를 시켜야 할 상황이 발생하였다 하더라도 도시지역은 도로의 용량, 신호 체계 등 제약조건으로 인해 공공기관의 대피 정보만으로는 소개시간을 단축시키기는 쉽지 않으며 신호의 연동방식도 처리해야 할 교통수요에 대응하여 운영하기에는 한계가 있다.

2012년 9월 구미 산업단지 불산 누출사고 이후 화학물질과 관련된 사고가 연속적으로 발생하면서 이에 대한 대비책 마련에 관심이 집중되고 있으며, 특히 지금까지 홍수나 태풍 등에 대비한 방재대책이 사전에 어느 정도 예측이 가능하다는 점에서 볼 때 화학물질의 폭발, 원전사고 등에 의한 사고는 전혀 예측이 불가능한 리스크라는 점에 특징이 있으며, 이러한 집단리스크(catastrophe risk)에 대한 대응 매뉴얼이나 대비에 대한 연구가 국내에서는 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다.

이에 비해 국외의 경우 일본과 같이 2011년 3월 후쿠시마 원전사고에 의한 피해뿐만 아니라 지진 및 태풍 등 자연재해로 인한 피해가 매년 반복되는 나라에서는 재해발생시 대피로 계획 및 복구 매뉴얼까지 국가나 지자체 단위에서 구축하고 있으며, 허리케인이나 총기사고 등이 빈번한 미국의 경우도 주정부 차원에서의 대비뿐만 아니라 시물레이션을 이용한 소개 계획 등에 대한 연구도 매우 활발히 이루어지고 있다.

특히 자연재해나 사고 등과 같은 재난에 대한 대비는 재해의 종류, 시간적 혹은 공간적 범위가 사고의 강도에 따라 상이하므로 시물레이션을 이용한 연구가 사전 대비책 마련을 위한 유일한 방안임을 감안하면 이에 대한 연구는 시의적절하다고 할 수 있다. 이미 오늘날 교통관련 분석프로그램은 컴퓨터 기술의 발전에 발맞춰 진보해 왔고 실무에도 사용되어 교통계획, 방재계획, 교통운영, 보행자 계획 수

립에 이용될 정도로 발전된 모습을 보이고 있다.

기존의 거시적 교통 프로그램(Emme/3 등)의 통행기반 모형(trip-based model)으로는 차량 하나하나의 특성을 구할 수 없는 문제가 있어 대피계획 등의 시나리오별 대안마련을 위한 미시적 현상의 분석은 VISSIM 등과 같은 프로그램이 주로 이용되어져 왔다.

따라서 본 연구에서는 예측이 불가능한 재난에 대비한 소개 계획(evacuation planning) 수립을 위한 기초연구로서 재난의 강도를 가정한 시나리오별 특성과 인명의 대피를 위한 계획을 미시적 교통시물레이션을 이용하여 분석하고자 한다.

특히, 구미시를 분석대상 지역으로 선정하여 본 연구에서 제안한 차로기반 경로유도 방식의 효과를 분석하는 것도 연구의 목적으로 한다.

II. 관련 연구 고찰

긴급 상황이 발생했을 때를 가정한 대피와 관련된 국내에서의 연구는 대부분 보행자에 대한 대피 모형이며[1], Lee et. al(2007)는 교통 s/w인 NETSIM을 이용하여 소개차량이 비상계획구역(반경 8km)을 벗어나는 데 걸리는 시간을 약 118~150분으로 예측한 바 있다[2].

자연재해나 긴급 상황 시 대피에 대한 연구는 2005년 발생한 태풍 Katrina 이후 미국에서 긴급 소개(emergency evacuation)에 대한 연구가 많이 이루어지고 있으며, 건물(병원 등)에서의 탈출 소요시간에 대한 연구[3] 및 특정 지역이나 도시에서 발생할 수 있는 테러 등에 대한 대응전략과 교통 네트워크에서의 영향에 대한 연구[4] 등도 활발하게 이루어지고 있다.

한편 대규모 행사 등 유고상황 발생을 가정한 도시부 도로망의 교통 특성(링크 교통량과 구간 속도 등)의 변화를 시물레이션을 이용한 연구[5] 등이 본 연구와 가장 유사하지만 일부 지역을 대상으로 한 연구라는 점에서 본 연구와 내용과 목적이 상이하다고 할 수 있다.

즉, 국내에서는 아직 긴급 상황의 발생에 따른 도시나 지역을 대상으로 한 소개 및 대피 계획이나 시

물레이션을 통한 시나리오 분석이 거의 이루어지지 않고 있는 실정으로 최근 이상 기후에 따른 교통의 단절 및 도시 지역에서 빈번하게 발생하는 화학물질 누출과 폭발사고 등에 대비한 방재계획이 지역 단위별로 시급하게 이루어져야 하며, 특히 긴급 상황 발생 시 소개를 위한 대피로의 선정 및 확보방안과 동시에 주민들을 위한 홍보 및 교육을 위한 프로그램의 개발도 시급한 상황이다.

III. 소개시간 추정을 위한 방법론

1. 교통시물레이션을 위한 환경 설정

본 연구에서는 대상지역을 구미시 일부로 한정하여 가능한 한 실제 네트워크 및 교통특성 자료를 기반으로 6가지 시나리오를 구성하여 대안별 특성을 분석하고자 한다.

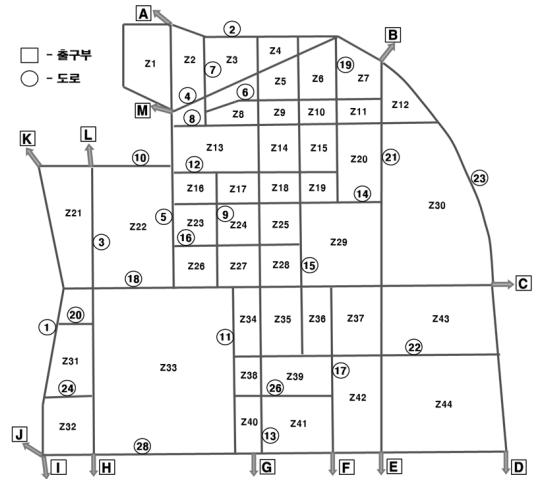
교통시물레이션을 통해 소개시간 추정을 위한 방법론을 간단히 요약하면 다음과 같다. 1) 소개지역을 선정, 2) GIS 자료를 기반으로 소개 대상지역의 도로 네트워크를 구축, 3) 각 존에서 최단거리 기반 대피 경로 선정, 4) 미시 교통시물레이션 VISSIM 활용에 필요한 존별 통행특성 및 구간, 차량 거동, 신호주기, 교차로에서의 방향별 이동 특성자료 등을 입력, 5) 소개를 위한 시나리오 구성, 6) 시물레이션 분석, 7) 시나리오별 소개시간 추정 및 5)-7)과정을 반복하여 분석하였다.

본 연구에서는 전통적인 수요추정과정을 소개모델(evacuation modeling)을 작성하기 위해 일부 변경하였으며 시나리오를 구성할 때 최단시간(shortest amount of time) 안전한 지역으로 대피할 수 있도록 통행량을 분포시켰으며, 통행배분(trip assignment)은 모든 차량의 소개시간이 최소가 되는 시스템최적(system optimum)을 목적으로 하였다.

2. 대상지역 특성과 시나리오 구성

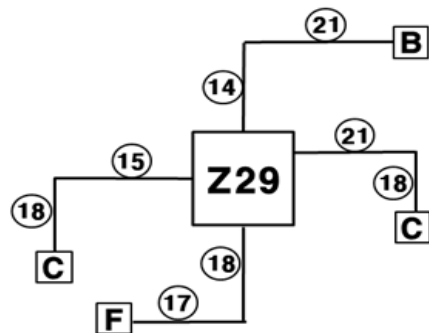
<그림 1>은 분석대상 지역인 구미 국가산업1단지 일대의 위성사진과 계획구역 내 44개의 존과 간선·

지선도로를 포함하여 26개의 도로망을 나타내고 있다. 차량 소개를 위한 최단경로와 13개의 대피 출구 및 각 존별 12시간 발생교통량에 대한 특성은 <표 1>에 나타내었다.



<그림 1> 대상지역과 도로네트워크
(Fig. 1) Targeted region and road networks

<표 1>의 각 존에서 대피 출구도로까지의 최단 경로는 차량의 밀도(density)에 따라 속도가 크게 변하기 때문에 실시간으로 정확한 구간별 통행시간을 예측하기는 거의 불가능하므로 여기서는 거리상 최단거리를 명기하였다. <그림 2>에는 44개의 대상 존 가운데 Zone-29의 사례를 나타내고 있다.

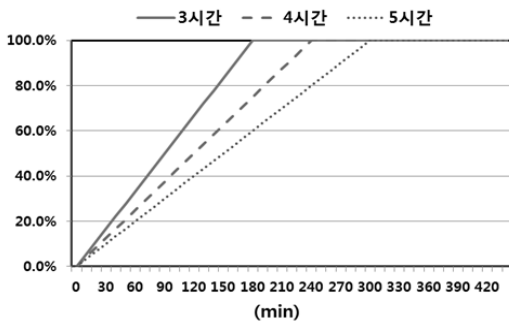


<그림 2> 존 29의 최단경로와 대피경로
(Fig. 2) Shortest path and evacuation routes (zone 29)

〈표 1〉 소개계획과 존
 〈Table 1〉 Evacuation plan and zones

zone	Via	Evacuation routes	Total vehicles (12h)
Z1	5	M	2,000
Z2	2, 5, 7	A, M	3,000
Z3	2, 4, 7, 13	A, M	300
Z4	4	M	100
Z5	6, 15, 21	A, B	800
Z11	8, 21	B	100
Z12	8, 21	B	400
Z13	5, 8, 12	M	1,100
Z14	8, 12, 13	M	200
Z15	6, 8, 15, 19, 21	B	200
Z21	3, 5, 10	L, M	400
Z22	1, 3, 5, 10, 18	K, L, M	600
Z23	5, 9, 14, 16	M	400
Z24	13, 28	G	100
Z29	14, 15, 17, 18, 21	B, C, F	800
Z32	1, 3, 24, 28	J, I	4,000
Z33	1, 11, 18, 28	G, H, K	600
Z40	13, 28	G	100
Z41	13, 17, 28	F, G	200
Z42	17, 21	E, F	1,000
Z43	18, 21, 22, 23	C, E	600
Z44	22, 23, 28	D, E	400

한편 소개시간의 추정을 위한 시나리오는 긴급 상황 별 영향을 분석하기 위해 <그림 3>에서 보는 바와 같이 1) 3시간 이내 소개명령(매우 긴급), 2) 4시간 이내 소개명령(중간정도 긴급), 3) 5시간 이내 소개명령(보통 긴급)으로 구분하였으며, 12시간 교통량을 각각 3~5시간에 모두 발생시키도록 자료를 입력하였다.



〈그림 3〉 3가지 통행발생 패턴
 〈Fig. 3〉 3 types of trip generation pattern

또한 공공기관의 대응능력에 따른 영향을 분석하기 위해 1) 기존 교통신호 시스템을 유지하는 경우와 2) 차로기반 경로유도(lane-based routing)를 적용하는 경우로 구분하여 시뮬레이션을 수행하였다[6].

여기서 차로기반 경로유도 방식은 긴급 상황이 발생하였을 경우 신속한 차량의 소개를 위한 출구가 상황이 발생한 지점에서 외곽방향에 위치하고 있는 점에 착안하여 대피 출구 인근 교차로의 신호를 외곽의 안전지역 방향으로 신호를 유도하는 방식으로 조정하고 바리케이드나 블럭(road block) 등을 설치하여 차량의 흐름을 단순화시키면서 외곽으로 유도하는 방안을 도입하였다.

IV. 시뮬레이션을 통한 소개시간 추정

1. 소개명령에 따른 소개시간 특성

시뮬레이션을 이용한 대상지역 내 모든 차량의 소개시간을 시나리오 별로 산정하고 그 특성을 분석하였다. 먼저, 교차로의 신호체계가 상황 발생 이전과 동일하게 운영된다고 가정하는 경우 3시간 소개명령의 경우 모든 차량이 최단거리(minimum distance)로 소개된 시간은 430분이며, 4시간과 5시간의 경우는 각각 430분과 440분으로 나타났다. 이는 소개명령의 차이가 모든 차량이 소개되는 시간에는 거의 영향을 미치지 못함을 의미하는데 대피 출구 도로의 전방에 위치한 교차로에서의 정체로 인한 시간지연이 원인이며, 소개명령 만으로는 모든 차량의 대피에는 효과가 거의 없음을 의미한다.

한편 모든 차량(25,000대)이 출발지에서 대피 출구를 빠져나갈 때까지 소요된 시간을 합하면 3시간 소개명령의 경우에는 15978.8시간이 걸렸으며, 4시간과 5시간의 경우는 각각 9438.7시간과 7450.8시간이 소요된 것으로 산정되었다.

이는 마지막 차량이 소개되는 시간에는 별 차이가 없지만 모든 차량의 소개시간을 합한 경우에는 소개시간 명령이 짧을수록 일시에 도로에 차량이 쏟아짐으로 인해 발생하는 지체현상으로 인해 총 통행시간(total travel time)은 증가함을 확인하였다.

〈표 2〉 소개시간, 경로 및 차량특성
 〈Table 2〉 Evacuation time, routes and vehicles

ER	scenarios	Evacuation window (in hours)									total amounts
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
A	3h	338	350	355	58	0	0	0	0	0	1,101
	4h	279	264	255	290	17	0	0	0	0	1,105
	5h	218	228	219	202	230	8	0	0	0	1,105
B	3h	578	594	614	563	580	568	622	5	0	4,124
	4h	554	573	618	583	572	579	648	9	0	4,136
	5h	568	560	600	568	581	569	631	127	0	4,204
C	3h	443	415	416	16	0	0	0	0	0	1,290
	4h	332	323	308	315	14	0	0	0	0	1,292
	5h	261	280	246	240	252	13	0	0	0	1,292
D	3h	61	62	63	2	0	0	0	0	0	188
	4h	45	46	41	53	3	0	0	0	0	188
	5h	37	38	38	38	35	2	0	0	0	188
E	3h	352	390	330	8	0	0	0	0	0	1,080
	4h	268	297	277	227	11	0	0	0	0	1,080
	5h	219	230	226	213	191	5	0	0	0	1,084
F	3h	368	396	377	209	0	0	0	0	0	1,350
	4h	336	365	375	391	11	0	0	0	0	1,478
	5h	263	300	291	333	280	17	0	0	0	1,484
G	3h	333	329	301	122	118	111	50	0	0	1,364
	4h	276	272	280	248	123	107	15	0	0	1,321
	5h	247	244	240	240	219	121	71	0	0	1,382
H	3h	56	73	69	6	0	0	0	0	0	204
	4h	36	64	51	49	2	0	0	0	0	202
	5h	28	44	51	40	37	2	0	0	0	202
I	3h	398	400	257	180	0	0	0	0	0	1,235
	4h	300	355	315	308	15	0	0	0	0	1,293
	5h	251	268	249	261	264	3	0	0	0	1,296
J	3h	1,229	1,321	1,024	351	0	0	0	0	0	3,925
	4h	945	1,010	1,048	934	63	0	0	0	0	4,000
	5h	771	776	838	809	778	29	0	0	0	4,001
K	3h	126	156	161	9	0	0	0	0	0	452
	4h	93	104	117	131	5	0	0	0	0	450
	5h	77	81	99	90	97	6	0	0	0	450
L	3h	105	95	89	3	0	0	0	0	0	292
	4h	79	77	73	62	3	0	0	0	0	294
	5h	61	64	60	58	46	5	0	0	0	294
M	3h	2,214	2,267	2,239	780	90	0	0	0	0	7,590
	4h	1,887	1,918	1,946	1,850	110	0	0	0	0	7,711
	5h	1,523	1,550	1,572	1,543	1,490	34	0	0	0	7,712

만약 교차로에서의 신호를 준수하지 않는 경우에는 사고발생으로 인해 소개시간이 더 지연될 가능성도 충분히 있음을 간접적으로 추정할 수 있다.

〈표 2〉에는 대피 출구도로별 시나리오별 대피 차량의 시간대별 양을 나타낸 것으로 모든 출구에서 대피명령이 갈수록 소개시간이 긴 것으로 나타났다. 특히 B와 G 출구에서 소개시간이 길게 나타난 것은 교량과 교차로에서의 신호체계가 평소와 같은 방식으로 구동되고 있었기 때문이며, B 출구의 경우 인

근 주거지역에서 대피를 위해 일시에 쏟아지는 차량들로 인해 생긴 지체에 기인한다.

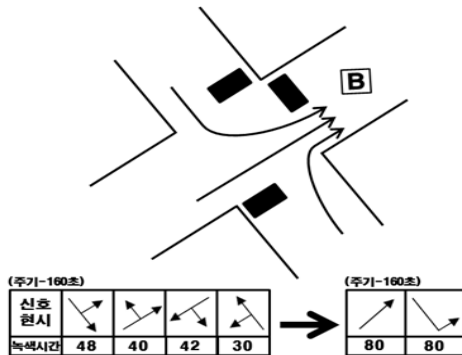
그리고 D, H, L 출구의 경우에는 인근에 대피를 위한 출구가 존재하여 차량들이 분산되었기 때문이며 각 대피 출구로 빠져나간 총 통행량이 3시간<4시간<5시간으로 나타났는데 이는 VISSIM 프로그램 구동의 특성상 차량이 60초 이상 교차로에서 선행차의 후방에 위치하여 빠져나가지 못하는 경우 강제적으로 삭제되기 때문으로 대피에 있어 상대적으로

로 짧은 시간에 배분된 교통량이 많은 경우 삭제된 차량이 존재하기 때문인 것으로 판단된다. 2. 차로기반 경로유도에 따른 소개시간 특성

본 절에서는 차로기반 경로유도(lane-based routing) 시나리오를 추가로 구성하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 기존 방식과 개선 대안의 효과를 평가하기 위한 척도로 모든 차량들이 소개하는 데 소요된 총 대-시간(TVT: total vehicle travel time)을 식 (1)과 같이 산정하였으며, 대표적으로 정체가 심한 교차로인 비산네거리에서의 차로기반 경로유도 방식을 <그림 4>에 나타내었다.

$$\begin{aligned} & \sum_a x_a t_a(x_a) \\ \text{s.t. } & \sum_k f_k^{ij} = q_{ij} \quad \forall i, j \\ & f_k^{ij} \geq 0 \quad \forall k, i, j \\ & x_a = \sum_i \sum_j \sum_k f_k^{ij} \xi_{sak}^{ij} \quad \forall a \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, x_a , t_a : 링크 a의 대피량과 대피시간
 f_k^{ij} : 출발지(i)와 대피소(j)간의 경로(k)의 대피량
 q_{ij} : 출발지(i)와 대피소(j)간의 대피량
 $\xi_{sak}^{ij} = 1$: 링크 a가 i→j간의 대피경로에 있으면
 otherwise 0.

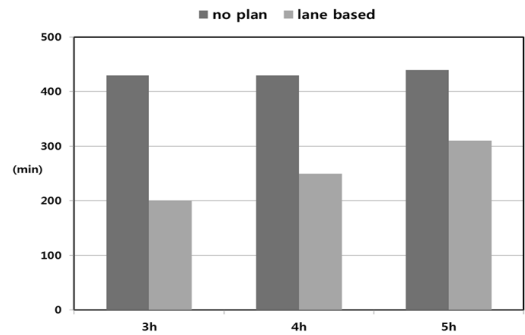


<그림 4> 비산4거리의 경로유도 방식
 <Fig. 4> Lane-based routing of Bisan intersection

즉, 대피방향과 역 방향인 차로에 블록 등을 설치함과 동시에 기존 4현시를 2현시로 줄이고 신호를 대피방향으로 유도하는 방식을 도입함으로써 최소한의 지체로 소개시간을 줄이는 방안이다.

여기서 개선효과는 두 가지 관점에서 살펴볼 수 있는데 먼저, 기존 방식과 차로기반 유도방식을 도입했을 경우의 개선율을 산정하는 방법과 둘째로는 긴급 상황이 발생했을 때 공공기관의 소개명령의 효과를 산정하는 방법으로 소개명령 시간의 변경으로 인한 소개시간의 단축효과이다.

<그림 5>에는 차로기반 경로유도 방식을 취하기 이전과 이후의 소개시간을 비교한 것으로 기존 신호체계를 그대로 유지한 경우와 비교해 매우 큰 효과가 있는 것으로 나타났다. 특히 소개시간을 짧게 하는 경우 기존 방식보다 시간단축 효과가 월등한 것으로 나타났다.



<그림 5> 대피시간의 비교
 <Fig. 5> Comparison of evacuation times

한편 차로기반 유도방식에서 3시간 소개명령의 경우에는 마지막 차량의 대피 시까지 걸린 시간은 200분이 소요된 반면 각 차량당 소개시간을 모두 합한 총 대-시간은 2792.2시간이 소요되었으며, 4시간의 경우는 각각 250분과 887.5시간이 소요되었으며, 5시간의 경우에는 310분과 858.6시간이 소요된 것으로 나타났다.

즉, 기존 방식과 비교하기 위해 개선율의 척도인 식 (2)를 사용하여 산정하면 <표 3>과 같다.

$$\frac{ET_A - ET_B}{ET_A} (\%) \quad (2)$$

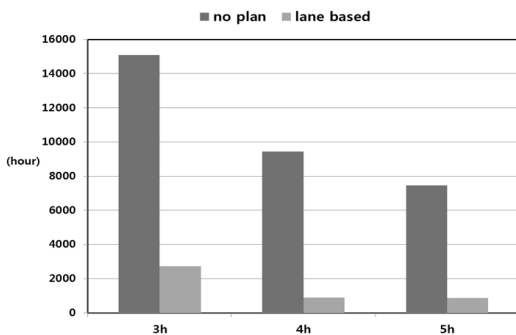
여기서, ET_A : Evacuation time at alternative A
 ET_B : Evacuation time at alternative B

<표 3> 소개시간 단축효과
<Table 3> Evacuation-shortening effect

Time	Routing plan	Scenarios			% decrease		
		3h	4h	5h	3h	4h	5h
evacuation time (h)	no plan	7.2	7.2	7.3	54.2	41.7	28.8
	Lane-based routing	3.3	4.2	5.2			
total travel time (h)	no plan	15,079	9,439	7,459	81.9	90.6	88.5
	Lane-based routing	2,729	887	859			

<표 3>에서 알 수 있는 바와 같이 유도방식을 도입한 경우, 최후의 차량이 도착한 시간은 시간대에 따라 54.2%, 41.7%, 28.8%의 개선효과가 있었다.

한편, 각 차량별로 소개에 걸린 총시간을 기준으로 비교하면 시간대별로 81.9%, 90.6%, 88.5%의 개선효과가 있음을 확인할 수 있었다.

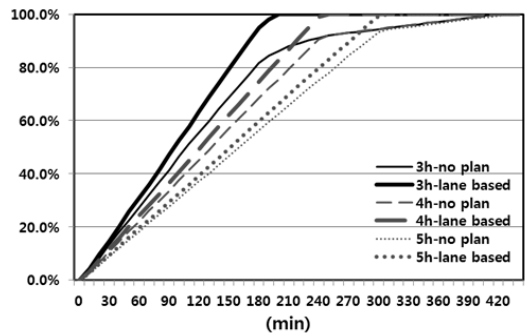


<그림 6> 총 통행시간의 비교
<Fig. 6> Comparison of total travel times

<그림 5, 6>과 <표 3>을 종합하여 비교해 보면, 상황이 급박하여 소개시간을 줄여야 하는 경우(3h 소개 명령)에는 대피하려는 차량이 동시에 쏟아짐으로 인해 상대적으로 차량당 소개시간(6.55분)이 상황이 급박하지 않은 4h와 5h 소개 명령인 경우의 차량당 소개시간 2.13분, 2.06분에 비해 많이 걸리지만, 마지막 차량이 빠져나가는 시간은 3.3시간으로 4.2시간과 5.2시간에 비해 짧은 것을 알 수 있다.

<그림 7>은 상황의 긴급성별로 기존 신호체계를 유지하는 경우와 차로기반 경로유도 방식에서의 소개시간을 비교한 것으로, 상황이 긴급할수록 시간당 대피비율의 기울기가 급하면서 경로유도 방식이 상

대적으로 단위 시간당 많은 차량을 소개시킬 수 있음을 확인할 수 있다.



<그림 7> 대피시간의 비교
<Fig. 7> Comparison of evacuation times

본 연구에서 제안한 차로기반 경로유도 방식은 블록이나 바리케이드, 신호 연동을 통한 방법 등 매우 다양하며 향후 다양한 소개(대피) 대상 그룹 및 수단을 고려한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

V. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 구미시 일부지역을 대상으로 소개 계획수립을 위한 기초연구를 위해 실제 네트워크 및 교통특성 자료를 기반으로 미시적 교통시물레이션을 이용하여 대안별 특성을 분석하였다.

연구의 성과로는 긴급 상황이 발생했을 경우 기존 신호체계를 그대로 유지하는 경우 소개명령의 차이는 모든 차량을 소개시키는 데는 거의 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. 그러나 본 연구에서 도입한 차로기반 경로유도 방식의 경우 기존 방

식에 비해 매우 큰 효과가 있음을 확인하였으며, 특히 소개시간을 짧게 해야 하는 급박한 상황이 발생했을 때 소개를 위한 시간단축에 유효한 방법임을 확인하였다.

향후 연구과제로는 보행자의 소개 및 대피특성을 고려한 연구와 교통량의 공급특성(V/C 비율) 등을 포함한 시뮬레이션 분석을 통해 보다 일반화된 모형으로의 확장이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

[1] S. Y. Yu, "GIS and agent-based modeling of emergency evacuation," J. of the Korean Society of Hazard Mitigation, vol. 12, no.1, pp.127-132, 2012.

[2] G. Lee, S. Bang and Y. Chung, "A study on the public evacuation time estimates for radiological emergency plan and preparedness of Wolsong nuclear power plant site," J. of Radiation Protection, vol. 32, no. 2 pp.79-88, 2007.

[3] D. Golmohammadi and D. Shimshak, "Estimation

of the evacuation time in an emergency situation in hospitals," Computers & Industrial Engineering, vol. 61, pp.1256-1267, 2011.

[4] J. H. Lambert, A. I. Parlak, Q. Zhou, J. S. Miller, M. D. Fontaine, T. M. Guterbock, J. L. Clements and S. A. Thekdi, "Understanding and managing disaster evacuation on a transportation network," Accident Analysis and Prevention, vol. 50, pp.645-658, 2013.

[5] J. Kim, Y. Yu, S. Lee, H. Hu and J. Sung, "Application of multi-agent transport simulation for urban road network operation in incident case," International. J. of Highway Engrg. vol. 14, no. 4, pp.163-173.

[6] J. C. Thomas and J. P. Johnson, "A network flow model for lane-based evacuation routing," Transportation Research Part A. vol. 37, pp.579-604, 2003.

저자소개



도 명 식 (Do, Myungsik)

2000년 : 교토(Kyoto)대학교 토목공학과 교통계획 전공 졸업(박사)

2000년 ~ 2002년 : 한국건설기술연구원 토목연구부 선임연구원 근무

2009년 ~ 2010년 : Univ. of Iowa (visiting scholar)

2002년 ~ 현재 : 한밭대학교 도시공학과 교수

e-mail : msdo@hanbat.ac.kr

연락처 : 042-821-1192