

거시교통류 모니터링에서 지점검지기 자료의 활용성 분석

Application Analysis of Point Detector to Macroscopic Traffic Flow Monitoring

엄기종

(서울시립대학교 교통공학과, 석사과정)

김혜원

(서울시립대학교 교통공학과, 박사과정)

이은규

(서울시립대학교 물리학과, 학사과정)

김민성

(서울시립대학교 교통공학과, 박사과정)

이청원

(서울시립대학교 교통공학과, 부교수)

Key Words : u-Transportation, Paramics, API, Monte Carlo Simulation, 활용성 분석

목 차

I. 서론

II. 기존문헌고찰

III. 자료수집방안

IV. 지점검지기의 활용성 분석

V. 결론

I. 서론

유비쿼터스(Ubiquitous)는 라틴어 ‘ubique’ 를 어원으로 하는 형용사로 ‘동시에 어디에나 존재하는’ 이라는 사전적 의미를 가지고 있다. 즉, 시간과 장소에 구애받지 않고 언제나 정보통신망에 접속하여 다양한 정보통신서비스를 활용할 수 있는 환경을 의미한다. 또한, 여러 기기나 사물에 컴퓨터와 정보통신기술을 통합하여 언제, 어디서나 사용자와 커뮤니케이션 할 수 있도록 해 주는 환경으로써 유비쿼터스 네트워킹 기술을 전제로 구현된다[1].

“유비쿼터스 기반 교통체계의 비전 및 전망”에서는 u-Transportation의 의미를 유비쿼터스 환경하에서 여행자, 교통시설, 교통수단이 실시간으로 네트워킹하여(상태인식 및 인과관계 정보가 분석되어) 안전성과 이동성에 기여하는 인간중심의 미래형 교통서비스 및 시스템을 제공하는 신 교통공간이라 정의하였다[2]. 기술의 발전에 따라 최근의 검지체계는 기존의 지점검지기 기반에서 차량간 통신과 구간검지체계를 이용한 검지환경으로 구현되어가고 있다. 특히 국내에서는 “u-Transportation”이란 이름으로 각종 R&D가 진행되고 있다.

따라서 유비쿼터스 교통체계가 구축이 되면 기존의 지점검지기 기반의 자료보다 양적측면이나 질적측면에서 더 높은 수준의 자료가 수집될 것으로 예상된다. 하지만 이 경우, 기존의 지점검지기 체계를 어떻게 활용할 것인가가 쟁점사항으로 떠오를 수 있다. 따라서 기존의 지점검지기 체계를 활용하여 유비쿼터스 교통체계를 보완할 수 있는 방안이 요구되고 이 방안에 필요한 이론의 적용 및 방법이 요구된다. 유비쿼터스 교통체계에서 Probe 차량의 비율이 적어 자료가 불안정하거나 통신상의 문제로 교통류 모니터링이 불가능할 경우 전체 교통류와 유사한 자료가 얻어지는 지점검지기를 활용하여 유비쿼터스 교통체계 자체의 문제점을 보완할 수 있다.

선행연구인 “거시교통류 모니터링에서 지점검지기 자료의 상관성 분석”에서는 “가속소음을 활용한 실시간 거시 교통류 모니터링”에서 제시된 거시교통류 모니터링 지표를 비교하여 지점검지기를 활용할 수 있는 지표로서 Travel Time Index를 선정하였다. 본 연구에서는 이 지표를 이용하여 지점검지기 자료의 활용성을 Monte Carlo Simulation을 통하여 분석하였다. 단, 자료획득을 위한 현상이 갖춰지지 않은 관계로 Simulation을 이용하여 자료를 획득하는 방법으로 연구를 진행하였다[3,4].

II. 기존문헌고찰

1. 거시교통류 모니터링 지표

Acceleration Noise는 Gerlough and Huber (1974)에 의해 제시된 이론으로 개별차량의 속도 변화를 감가속도의 표준편차로 표현하여 교통류의 안전성을 진단하는 지표이다[5].

Travel Time Index는 Urban Mobility Report (2002)에 제안된 이론으로 수집되는 자료로부터 지표값을 산출하여 이동성 수준의 진단에 활용하는 것인데 자유속도를 통행속도로 나누어 구한다[6].

u-Transportation 환경에서는 Network에 존재하는 개별차량의 자료가 한 차원 높은 수준으로 수집될 것으로 예상된다. 이에 한국건설교통기술평가원(2009)은 개별차량의 Network에 존재한 시간에 대한 가중치를 Acceleration Noise 이론에 적용한 Network Acceleration Noise (nAN) 지표, TTI이론에 링크의 차로수와 길이의 가중치를 적용한 Network Travel Time Index (nTTI) 지표와 Two-Fluid Theory[7]의 지표로서 수집주기 동안에 Network 전체의 정지차량의 비율로 정의되는 Network Fluctuation of Stopped ratio (nFS) 세가지 거시교통류 모니터링 지표를 제시하였다[8].

2. 모니터링 지표 선정

“거시교통류 모니터링에서 지점검지기 자료의 상관성 분석”에서는 앞에서 고려한 세가지 지표를 본 연구에서 고려하는 유비쿼터스 교통체계에서의 주행자료와 지점검지기 자료를 통한 분석을 위한 지표로 사용될 수 있는가를 비교하였다.

<표 1> 모니터링 지표의 비교

지표	정의	분석 가능성	비교
nAN	모든 차량의 가속도의 표준편차 지표	○	지점의 속도를 이용하여 통행시간 추정이 가능함
nTTI	Network 평균통행시간 지표	×	지점검지기로 가속도 관측에 어려움이 존재
nFS	정지차량의 비율 지표	×	지점검지기로 정지여부를 판단할 수 없음

* 출처: 엄기종 외(2010), “거시교통류 모니터링에서 지점검지기 자료의 상관성 분석”, 대한교통학회 제62회 학술발표회
따라서 유비쿼터스 교통체계에서 얻어지는 개별차량의 자료와 기존의 지점검지기에서 얻어지는 자료를 모두 활용할 수 있는 모니터링 지표로 Network Travel Time Index(nTTI)를 선정하였다. nTTI는 다음과 같이 정의된다.

$$TTI^l = \frac{1 + v_f^l}{1 + \frac{1}{M^l} \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^{I_j} v_i^l} \quad (1)$$

여기서, TTI^l : Link l 의 TTI

i : 차량ID

J : 수집주기 T_c 동안 총 수집횟수

I_j : t_j 시각에서 대상 Network을 운행한 차량 수

M^l : 수집주기 T 동안 대상 Network의 Link l 에서 측정된 관측값의 수

l : Link ID

v_i^l : Link l 을 주행중인 차량 i 의 속도

v_f^l : Link l 의 제한속도

$$nTTI = \sum_l \frac{N^l L^l TTI^l}{W} \quad (2)$$

여기서, $nTTI$: Network Travel Time Index

l : Link ID

N^l : Link l 의 차로 수

L^l : Link l 의 길이

W : Network의 모든 링크의 차로수* 길이의 합 즉, $\sum_l N^l L^l$

한편, 지점검지기는 차량이 검지될 때마다 자료를 전송하지 않고 일정주기 동안 수집한 자료를 한 번에 전송하기 때문에 수집주기(pooling cycle)를 30초로 가정하여 30초 동안 검지된 차량의 평균속도를 이용하여 pTTI 값을 계산하였다[3].

$$pTTI = \frac{v_f^l}{\bar{v}} \quad (3)$$

여기서, v_f^l : 링크 l 의 제한속도

\bar{v} : 지점검지기에서 수집된 30초 동안의 평균속도

III. 자료수집방안

현재 u-Transportation 환경의 개별차량 운행자료를 대규모로 생성할 수 있는 방안은 가상 Simulation이 유일하다.

PARAMICS를 통한 Network 구현 시 지점검지기를 설치하면 Simulation 중 지점검지기를 통과하는 차량의 ID 및 속도자료를 얻어낼 수 있다.

PARAMICS의 API(Advanced Program Interface)는 이용자가 C코드를 이용하여 Simulation을 제어 및 Simulation에 존재하는 차량의 정보를 얻어낼 수 있다. 따라서 이 기능을 활용하여 Network상에 존재하는 차량의 속도를 얻어낼 수 있다.

Simulation을 통한 효과분석 방법은 다음과 같다. PARAMICS Network 상의 지점검지기에서는 매 30초 마다 검지기를 통과한 차량의 평균속도를 측정하여 전송한다. 이 자료를 이용하여 API를 통해 매 30초 마다 pTTI를 산출하였다. 한편, nTTI 값은 유비쿼터스 교통체계가 구현된 환경을 가정하여 매 초마다 Network의 모든 개별차량 및 링크의 자료를 수집하여 API를 통하여 계산하였다. 여기에서 nTTI가 Network의 통행특성을 나타내는 참값이다. pTTI와 nTTI의 상관성 분석을 통하여 과연 지점검지기 자료가 Network 전체의 교통류 특성을 반영할 수 있는지 여부를 검토하였다.

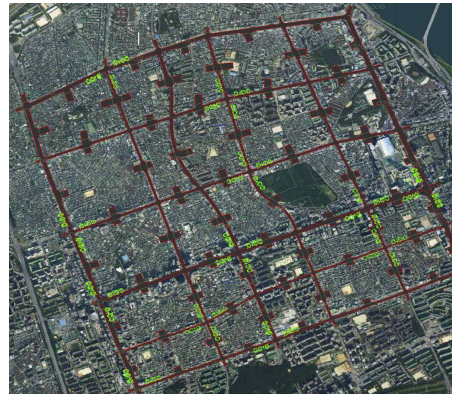
1. Simulation Network

자료수집을 위한 Network는 강남권을 기준으로 하였는데 이 Network는 36개의 교차로를 포함한다. 교통량은 『서울특별시 교통량 조사자료, 2007, 서울특별시』에서 시간대별 교통량을 참고하여 3가지 수요 Level(원활, 지체, 혼잡) 중 첨두시간의 수요 Level을 이용하였다. 모든 Link의 제한속도는 실제 Link의 제한속도를 그대로 반영하였고, Simulation은 2시간20분동안 수행하고 첫 20분 자료를 분석에서 제외하였다. Simulation Network는 다음과 같다.

<표 2> Simulation Network의 개요

항목	내용
분석구간	강남권 6×6 Network (주요간선도로)
수요	Level1, Level2, Level 3 (원활, 지체, 혼잡)
분석시간	140분
자료수집 시간	120분(수집주기 1분, 5분)
제한속도	50~80 (km/h)

분석대상 Network



2. Simulation 시나리오

Simulation 시나리오는 <표 3>에서 교통량 Level 2를 제외하고 모두 수행하였다.

<표 3> Experimental Scenario

수집간격	교통량	표본비율
1분	Level 1 (소통상태 : 원활)	5%
		10%
		20%
5분	Level 2 (소통상태 : 지체)	30%
		40%
		50%
5분	Level 3 (소통상태 : 혼잡)	70%
		100%

지점검지기의 자료수집은 Network에 설치된 각각의 지점검지기마다 차량이 검지될 때 입력되는 속도자료를 수집하였다. 이를 PARAMICS API를 통해 매 30초 마다 그동안 수집된 속도의 평균값을 수집하여 매 30초 마다의 pTTI 값을 계산하였다.

〈표 4〉 지점검지기 수집자료의 예시

지점검지기 ID	수집시간 (s)	속도 (m/s)	pTTI
13	4033	8.42	-
13	4034	7.50	-
13	4040	8.29	-
13	4042	10.14	-
13	4058	17.81	-
13	4060	-	1.57
13	4063	18.68	-
13	4065	19.72	-
13	4071	13.95	-

한편, 유비쿼터스 환경의 교통체계를 가정한 자료수집은 Network에 존재하는 모든 차량에 대하여 속도, Simulation 시간, 현재 위치한 Link ID, Link의 제한속도를 매 초마다 수집하였다. 이렇게 수집된 자료를 이용하여 PARAMICS API를 통해 매 초마다 nTTI 값을 계산하였다. 이 때, 지점검지기와의 비교를 위하여 매 30초 마다 평균 nTTI를 따로 계산하도록 하여 상관성 분석에 이용하였다.

〈표 5〉 u-TSN 수집자료의 예시

차량 ID	속도 (m/s)	수집시간 (s)	Link #	속도제한 (m/s)
3105	4.89	4032	289	16.67
3107	2.65	4032	346	16.67
2868	10.50	4032	383	16.67
3054	7.25	4033	81	16.67
2753	9.75	4033	107	16.67
2888	6.25	4033	107	16.67
3106	3.69	4033	169	16.67
3107	3.75	4033	346	16.67
2868	13.00	4033	383	16.67
3105	4.89	4033	289	16.67
3107	2.65	4033	346	16.67

IV. 지점검지기의 활용성 분석

1. 분석방안

지점검지기의 활용성을 분석하는 방법은 pTTI 값과 nTTI참값의 오차와 Sample rate별 nTTI값과 nTTI참값의 오차를 비교하여 pTTI 값의 오차가 작을 경우 지점검지기 자료의 활용성이 있다고 할 수 있다. 지점검지기 자료의 활용성 분석방

안은 확률변수를 정의하여 확률적으로 pTTI값의 활용성에 대해 분석하는 방법과 Monte Carlo Method를 이용하여 반복적인 Simulation을 통해 분석하는 방법이 있다.

확률적으로 분석하는 방안은 분석하고자 하는 대상의 확률분포를 추정할 수 있어야 하는데 모니터링 지표의 확률분포를 알 수 없어 활용할 수 없으므로 반복적인 Simulation으로 수행이 가능한 Monte Carlo Method를 적용하여 지점검지기 자료의 활용성을 분석하였다.

2. Monte Carlo Method 적용방안

각 수집주기, 수요 Level, Sample rate 별로 30 번씩 Random Sample을 추출하여 pTTI값의 오차와 nTTI값의 오차를 비교분석하였다. 이때, pTTI 오차가 nTTI 오차보다 작으면 지점검지기 자료의 활용성이 있다고 볼 수 있다.

이를 구분하기 위한 Indicator를 다음과 같이 정의하였다.

$$I(k) = \begin{cases} 1, & \text{if } |S_{T,D}^k(\alpha) - R_{T,D}| \geq |P_{T,D} - R_{T,D}| \\ 0, & \text{o.w} \end{cases} \quad (4)$$

여기서, k : 시행횟수

T : 수집주기

D : 수요 Level

α : Sample rate

S : 표본추출 자료의 nTTI 값

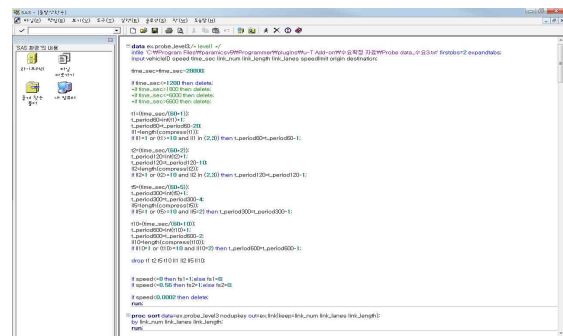
R : nTTI의 참값

P : pTTI 값

두시간의 Simulation 중 $I(k) = 1$ 인 Time Step의 비율을 활용성 지표 P_a 로 정의하였다.

$$P_a = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N I(k) \quad (5)$$

여기서, N : Time Step의 수



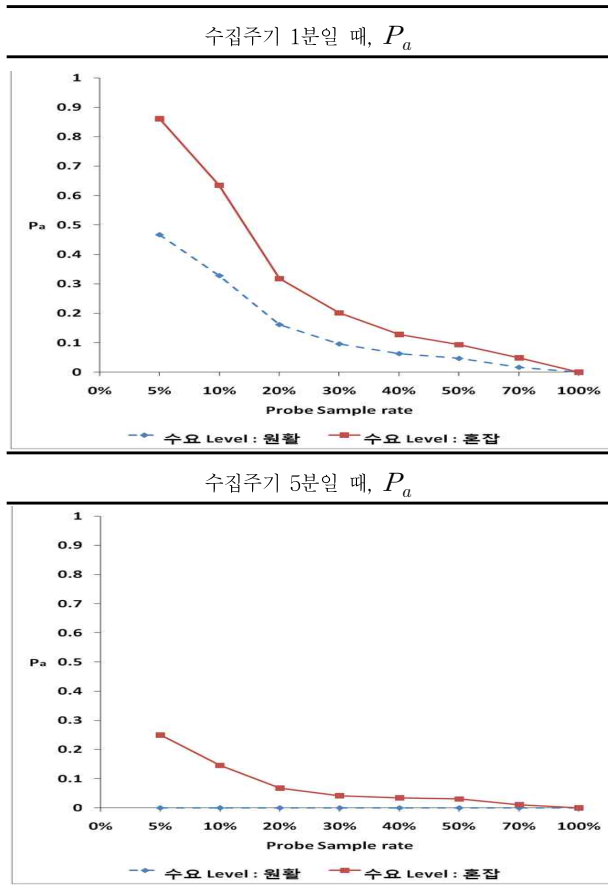
〈그림 8〉 P_a 분석을 위한 SAS Program Code

3. 분석결과

(1) 수집주기, 수요 Level 별 P_a 분석결과

P_a 는 수집주기 1분, 수요 Level 3, Sample rate 5%에서 0.86으로 가장 큰 값을 가지는 것으로 분석되었다. 또한, P_a 는 수집주기가 짧을수록 수요가 많을수록 증가하는 것으로 분석되었다.

〈표 6〉 수집주기, 수요 Level 별 P_a 분석결과



수요가 적을수록 개별차량들은 큰 속도의 변동 없이 주행하여 nTTI의 변동이 적어 표본추출된 nTTI값의 오차는 작아지고, 수집주기가 길수록 Sample 자료의 Sample 수가 많아져 표본추출된 nTTI 값이 보다 참값에 근접하여 오차가 작아지는 것으로 나타났다.

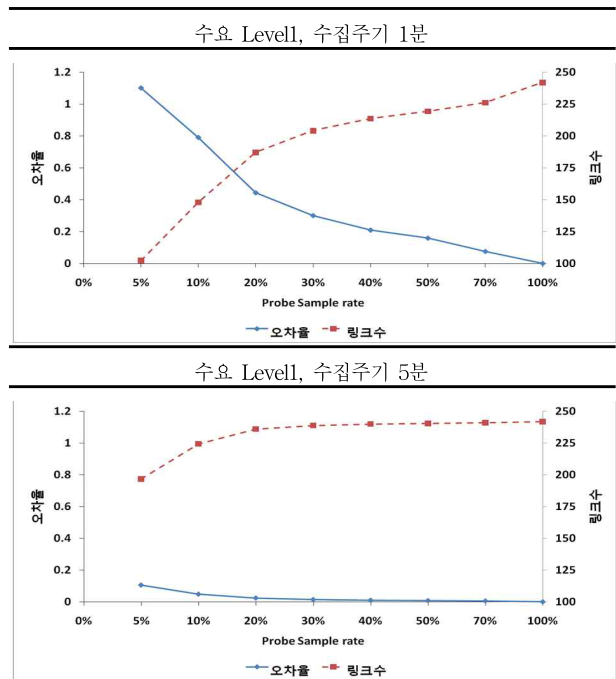
적어도 P_a 가 0.5 이상일 때, 지점검지기 자료가 활용성이 있다고 한다면 Probe 차량의 비율이 10%를 넘지 않을 때, 지점검지기 자료가 활용성이 있다고 할 수 있다. 하지만, 수집주기가 5분인 경우에는 P_a 값이 0.3을 넘지않고 특히, 수요 Level 1인 경우, P_a 값은 항상 0으로 지점검지기 자료의 활용성이 없는 것으로 판단된다.

(2) 수집주기, 수요 Level, Sample rate별 Link수 와 nTTI값의 오차율의 관계

추출된 Link수와 오차율의 관계는 반비례관계가 성립하는 것으로 분석되었다. 표본자료가 Network 전체에 걸쳐 고르게 분포되어 있을 경우 nTTI의 오차율이 작아진다고 할 수 있다.

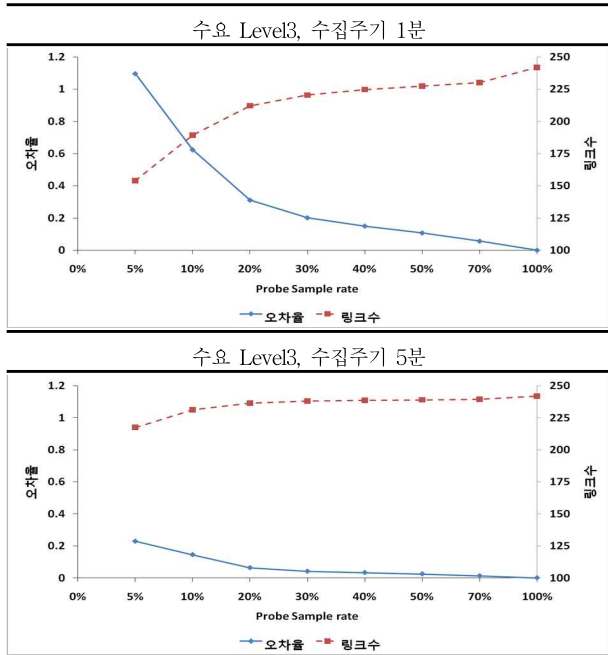
수집주기와 오차율의 관계는 수집주기가 길수록 Probe data의 절대적인 양이 많아지기 때문에 Probe data의 정확도가 높아져 수집주기가 길수록 오차율이 작아진다.

〈표 7〉 수집주기 1분, 5분, 수요 Level 1, 3인 경우 각 Sample rate 별 오차율과 Link 수의 관계



표본 비율	수요 Level 1					
	수집주기 1분			수집주기 5분		
	P_a	오차율	Link 수	P_a	오차율	Link 수
5%	0.47	1.10	102	0.00	0.11	197
10%	0.33	0.79	148	0.00	0.05	224
20%	0.16	0.44	187	0.00	0.02	236
30%	0.10	0.30	204	0.00	0.01	239
40%	0.06	0.21	214	0.00	0.01	240
50%	0.05	0.16	219	0.00	0.01	241
70%	0.02	0.08	226	0.00	0.01	241
100%	0.00	0.00	242	0.00	0.00	242

〈표 8〉 수집주기, 수요 Level, Sample rate 별 P_a , 오차율과 Link 수의 관계



표본 비율	수요 Level 3					
	수집주기 1분			수집주기 5분		
	P_a	오차율	Link 수	P_a	오차율	Link 수
5%	0.86	1.10	154	0.25	0.23	217
10%	0.64	0.62	189	0.15	0.15	231
20%	0.32	0.31	212	0.07	0.06	237
30%	0.20	0.20	220	0.04	0.04	238
40%	0.13	0.15	225	0.03	0.03	238
50%	0.09	0.11	227	0.03	0.02	239
70%	0.05	0.06	230	0.01	0.01	239
100%	0.00	0.00	242	0.00	0.00	242

V. 결론

본 논문에서는 유비쿼터스 교통체계에서의 지점검지기의 활용성을 분석해 보았다. PARAMICS를 이용하여 Simulation 자료를 수집하였고, 수집된 자료를 PARAMICS API를 통해 거시교통류 모니터링 지표인 nTTI와 지점검지기를 이용한 pTTI를 Monte Carlo Method를 적용하여 분석하였다.

분석결과, 실시간 모니터링을 위해 수집간격을 1분이하로 할 경우 Probe 차량의 비율이 약 10% 이하일 경우 지점검지기 자료를 보완자료로 활용할 가능성이 있는 것으로 분석되었다. 또한, 소통상태가 혼잡할수록 지점검지기의 활용성이 더 높아질 것으로 판단된다.

하지만, 지점검지기 자료가 항상 활용성이 있다고 할 수 없으므로 지점검지기 자료의 활용 시 장애사항에 대한 해결대안을 제시하고 현장에 적용이 가능하도록 방안을 개발하는 것은 향후 과제로 남긴다.

감사의 글(Acknowledgement)

이 논문은 교통체계효율화사업 “u-Transportation 기반 기술개발” 연구단 과제 중 3세부과제 “u-Transportation 운영관리 기술개발”의 지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. 위키백과, <http://ko.wikipedia.org/wiki/>
2. 한국교통연구원, “유비쿼터스 기반 교통체계의 비전과 전망”, 2006.
3. 엄기중, 이은규, 이청원, “거시교통류 모니터링에서 지점검지기 자료의 상관성 분석”, 대한교통학회 제62회 학술발표회, pp.537-542, 2010.
4. 엄기중, 이청원, “가속소음을 활용한 실시간 거시 교통류 모니터링”, 한국ITS학회지, 제8권, 제2호, pp.60-66, 2009.
5. D. L. Gerlough and M. J. Huber, “Traffic flow theory: a monograph, Special Report 165, Transportation Research Board, 1974.
6. Schrank D, Lomax T, “The 2002 Urban Mobility Report”, Texas Transportation Institute, Texas A&M University, 2002.
7. TRB, “Traffic Flow Theory(Special Report 165)”, 1997.
8. 한국건설교통기술평가원, 『u-Transportation 기반기술 개발』, 교통체계효율화사업 제3차년도 중간보고서, 2009.
9. Trevor R. Jones, “The Measurement of Acceleration Noise - A Traffic Parameter”, Operations research, vol.10 no.6, 1962, pp.745-763
10. Transportation Research Board (2002), Chapter14, Environmental and Social Justice Surface in Transportation Environmental Research: A Long-Term Strategy, Special Report 268, National Research Council, National Academy Press, Washington D.C.
11. Knowles, L., “Sydney Bushfire Emergency Evacuation: Analysis of qualitative research conducted with home owners in bushfire-prone areas”, Institute of Transport Studies Internal Publication, 2003.