

■ 論 文 ■

교통정보제공을 위한 구간통행시간 산출 방법론 연구 (적정표본수 결정방법을 중심으로)

A study on Link Travel Time Estimating Methodology for Traffic Information Service
(Determination of an Adequate Sample Size)

이 영 인

(서울시립대학교 건축도시조경학부 교수)

이 정 희

(한국도로공사 교통정보센터 담당)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 배경 및 목적
 - 2. 연구의 범위 및 수행방법
 - II. 적정 표본수 결정에 관한 기존연구검토
 - III. 교통류 특성에 따른 구간통행시간분포 분석
 - 1. 실측 구간통행시간 자료수집 및 처리
 - 2. 도시 고속도로 구간통행시간분포 분석
 - 3. 도시 간선도로 구간통행시간분포 분석
 - 4. 구간통행시간 정보형태 설정
 - IV. 교통특성에 따른 적정 표본수 결정
 - 1. 적정 표본수 결정 방법
 - 2. 적정 표본수 결정
 - V. 구간통행시간정보 산출방법 정립 및 적용성 평가
 - 1. 구간통행시간정보 산출방법
 - 2. 적용성 평가
 - VI. 결론 및 향후연구과제
- 참고문헌

Key Words : 최소표본수, 적정표본수, 교통정보, 구간통행시간, 구간통행속도

요 약

구간검지체계를 기반으로한 첨단교통정보제공시스템(Advanced Traveler Information Systems)은 그 기능 수행시 다음의 중요 고려사항을 지닌다. 첫째는 제공 정보의 신뢰성이며, 둘째는 정보수집비용에 관련한 수집자료수의 한계이다. 본 논문에서는 이러한 한계성 극복을 위해 보다 대표성있는 교통정보형태의 설정 및 통계적으로 신뢰성 있는 정보산출을 위해 요구되는 적정표본수의 결정에 대한 연구를 수행하였다.

도시고속도로(올림픽대로)와 도시간선도로(천호대로)의 실측 구간통행시간분포 분석결과 단일교차로 구간의 경우 다른 구간들의 단일봉(unimodal)의 정규분포형태와는 다른 두 개의 봉우리를 지닌 분포형태(bimodal)가 나타났다. 따라서 이러한 구간은 기존과는 다른 새로운 교통정보 형태가 필요하며, 본 논문에서는 모든 통과차량들의 평균통행시간으로 정의되는 한 개의 대표치가 아닌 신호주기에 의한 정지여부에 따라 분리되는 주행시간과 지체시간 또는 주행속도와 통행속도 개념의 세분화된 정보형태를 설정하였다. 또한 중심극한정리를 기초로 한 통계적인 표본수 결정식을 이용하여 설정된 신뢰수준 하에서의 정보산출을 위해 요구되는 적정 표본수를 산출하였다. 그 결과, 교통이 혼잡할수록 요구되는 표본수는 적어지는 것으로 나타났다. 우선 적정 표본수 만큼의 표본추출을 하고 제안된 정보산출 방법에 의해 교통정보를 산출한 후 실측치와의 오차를 비교하였다. 그 결과 산출된 교통정보는 신뢰수준 95%와 허용오차 5km/h를 만족하였다. 다음으로 구간검지체계를 이용하여 정보를 산출하는 타시스템 교통정보와의 오차율을 비교하였다. 그 결과, 실측치와 본 연구의 산출방법에 의한 교통정보, 로티스 교통정보 및 차량번호판 인식시스템의 교통정보와의 비교 결과 제안된 교통정보형태의 타당성을 볼 수 있었다.

1. 서론

2. 연구의 배경 및 목적

구간검지체계를 이용한 첨단교통정보제공시스템(Advanced Traveler Information Systems)은 그 기능 수행에 있어 다음 두 가지 고려사항을 지닌다. 첫째는, 정보수집비용과 관련한 정보산출을 위해 필요한 수집 자료수의 한계성이며, 둘째는, 제공되는 정보의 신뢰성이다. 여기서 교통정보는 단순한 수집자료 자체만을 의미하는 것이 아니라 운전자에게 알려 줄 수 있는 정보로서의 가공을 의미한다. 따라서, 교통정보제공시 운전자에게 제공될 정보형태의 설정과 신뢰성 있는 교통정보의 산출방법에 대한 연구의 필요성이 제기된다. 특히, 제공되는 교통정보 중 가장 일반적인 요소인 실시간 구간통행시간 및 속도는 운전자들이 이동 전 또는 이동 중에 노선 선택 시 중요한 판단기준이 된다. 그러므로 교통정보 제공에 있어서 신뢰성 있는 구간통행시간정보의 산출은 매우 중요하다 할 수 있다.

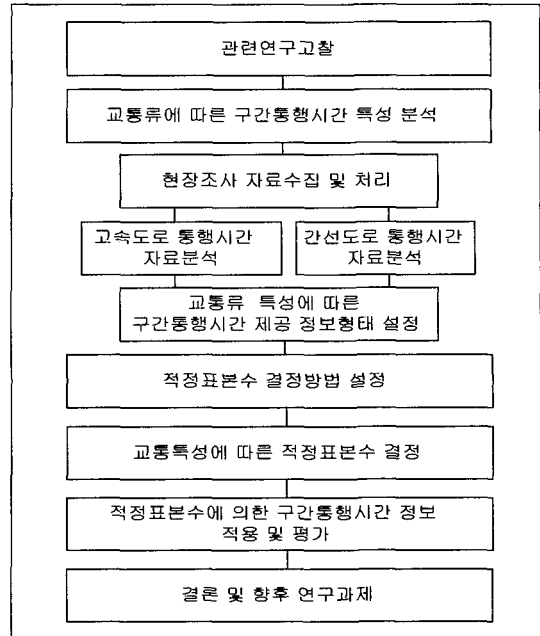
따라서 본 연구에서는 구간검지체계를 기반으로 한 교통정보제공에 있어 신뢰성있는 정보산출을 위해 필요한 적정표본수 결정 및 정보산출을 위한 수집자료의 처리방법에 대한 연구를 수행하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 수행방법

본 연구의 공간적 범위는 교통류 특성에 따라 도시고속도로와 도시간선도로로 구분한다. 도시고속도로의 경우 올림픽대로의 표본조사자료, 도시간선도로의 경우 천호대로의 전수조사자료를 실측 구간통행시간 자료로 구축하였다. 분석시간 주기는 도시간선도로는 5분 주기이며, 도시고속도로는 자료수의 한정으로 인해 15분으로 통행시간 분포 특성을 분석하였다. 다음으로는 교통특성에 따른 교통정보형태를 설정하고, 정보산출을 위해 필요한 적정 수집자료수를 결정 후 이에 대한 적용성 평가를 수행하였다. 본 연구의 수행절차는 <그림 1>과 같다.

II. 적정 표본수 결정에 관한 기존연구검토

구간검지체계를 이용한 구간통행시간 정보산출을



<그림 1> 연구수행도

위해 요구되는 표본수의 결정에 대한 연구는 네트워크 상에서 교통정보제공을 위해 요구되는 최소 프로브차량대수 결정에 관한 연구와, 교통류 특성에 따라 해당 구간의 신뢰성 있는 정보산출을 위해 필요한 표본수를 결정하는 연구로 나눌 수 있다. 본 연구는 후자에 속하는 연구로서 이와 관련한 기존의 연구를 살펴보면 다음과 같다.

Shrinivasan과 Jovanis(1996)는 중심극한정리를 이용한 통계적 산출식에 의하여 미리 결정된 허용오차와 신뢰수준을 만족하는 구간당 최소 프로브 차량대수를 구하였다. 여기서 고속도로와 간선도로의 통행시간 분포는 모두 정규분포로 가정함으로써 보다 적은 수의 프로브차량 대수를 얻을 수 있었다. 그러나 적정 프로브차량대수를 결정하는데 있어서 가장 중요한 영향을 미치는 변수인 변이계수(평균의 표준오차에 대한 비율)를 모든 구간과 시간대에 대하여 상수로 가정함으로써 실질적으로 교통류의 특성과 구간특성을 고려하지 못하였다고 할 수 있다.

M.Chen과 S. Chien(2000)은 미시적 시뮬레이션 자료를 이용한 고속도로의 통행시간 추정을 위한 프로브 차량대수를 결정하였다. 최소 프로브차량 결정식은 앞의 논문과 같은 마찬가지로 중심극한 정리를 이용한 통계적 방법에 의하여 결정하였으며, 정규

분포를 따르지 않는 구간의 표본수 결정을 위해 Heuristic 방법을 제시하였다. 본 논문에서는 시뮬레이션 모형을 통하여 다양한 교통상황에 대한 분석이 가능하였으나, 현실적용을 위해서는 시뮬레이션 결과자료에 대한 검증이 요구된다.

이청원, 박지영(2001)의 도시부 가로망에서의 교통정보제공시스템 적용을 위한 적정프로브대수 결정을 위한 연구에서도 구간내 신뢰성 있는 교통정보 산출을 위한 표본수는 M.Chen과 S. Chien(2000), Turner et al.(1995) 등의 기존 연구들과 같이 통계적 산출식에 일정 변이계수 값을 적용하여 산출하였다.

고승영(2001)은 비콘을 이용한 통행시간수집시스템을 위한 적정 프로브대수를 링크당 평균 통행시간 자료수, 일정 킬로미터당 일정 프로브대수가 존재할 확률, 자료가 없는 구간의 허용비의 세가지 방법으로 정의하였으며, 이 방법들에 의하여 서울시 1500개의 구간으로 구성된 36개 주요가로축에 요구되는 적정 프로브 차량수를 산출하였다. 본 연구에서는 기존 연구들에서 적용한 구간당 요구되는 프로브대수를 산출한 후 전체 시스템의 총 요구대수를 구하는 것과는 달리, 한 수집주기 동안 프로브차량 한 대가 수집할 수 있는 자료수를 산출한 후 전체 구간에서의 요구되는 표본수를 구하였다.

이와같이 적정표본수 결정과 관련된 기존 연구들은 대부분 일정 네트워크내 도로구간들 전체에서의 정보산출에 초점을 맞추었으며, 한 구간내의 신뢰성있는 정보산출은 모두 통계적 산출식과 일정 상수의 변이계수를 적용하여 산출하였다. 따라서 신뢰성 있는 통행시간 정보 산출을 위하여 교통류 특성을 고려한 구간별 적정표본수에 대한 연구 필요성이 제기된다.

III. 교통류 특성에 따른 구간통행시간분포 분석

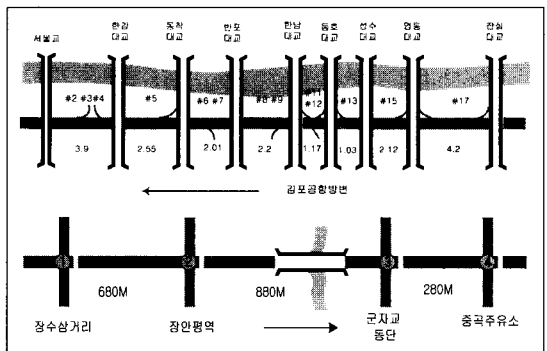
구간의 대표성있는 통행시간 정보를 산출하기 위해 통계적으로 유의한 적정표본수를 구하기에 앞서 구간교통류의 통행시간 분포특성을 살펴볼 필요가 있다. 이는 통계적인 표본수 산출식은 모집단의 분포를 정규분포로 가정한 것이기 때문에, 비정규분포를 갖는 모집단으로부터 추정한 파라미터를 이용하여 산출한 적정표본수는 유의한 수치가 될 수 없기 때문이다.

본 장에서는 아래에 정리한 바와 같이 실측 조사치를 이용하여 연속류와 단속류 구간의 통행시간분포

특성을 분석하였다. 그 결과 도시간선도로 구간의 통행시간분포는 단일봉(unimodal)의 정규분포와는 큰 차이를 나타냈다. 이는 이러한 분포특성을 가지는 구간의 경우엔 적정표본수 결정식을 적용하는 것이 불가능하다는 것을 나타내는 것이다. 따라서 본 장에서는 실측 구간통행시간분포 분석은 구간의 통행시간분포의 특성을 반영한 새로운 교통정보형태를 제안함으로써 다양한 정보를 제공할 수 있는 기반을 마련하였으며, 아울러 IV장의 제안된 정보형태에 대한 적정표본수 산출방법 연구를 가능케 하였다.

1. 실측 구간통행시간 자료수집 및 처리

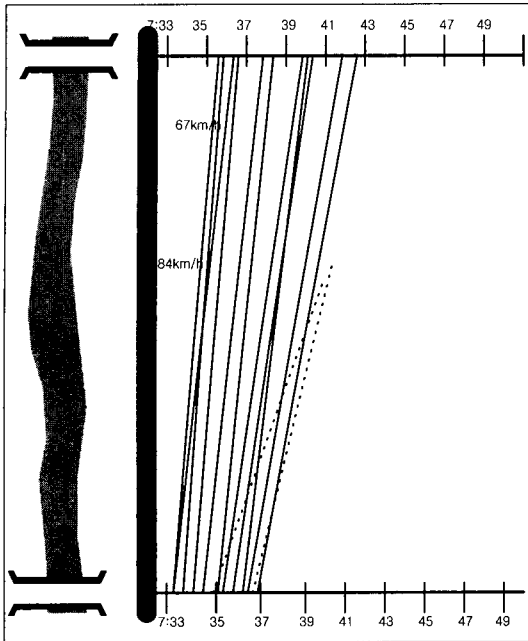
통행시간분포 분석을 위해 연속류인 도시고속도로(올림픽대로)구간과 단속류인 도시간선도로(천호대로)구간의 실측 조사자료를 이용하였다. 조사방법은 차량번호판 조사로 올림픽대로의 경우 표본조사를, 천호대로의 경우 전수조사를 수행하였다. 구간통행시간은 각 지점별 모든 차로(천호대로의 경우 버스전용차로 제외)의 차량 번호판 숫자 4자리와 통과시간을 조사한 후 구간별로 번호판을 매칭시킴으로써 얻었다. 조사시간대는 올림픽대로의 경우 24시간(6:00~18:00)이며, 천호대로의 경우 침투시와 비침투 6시간(7:30~9:30 12:00~14:00, 16:00~18:00)이었다.



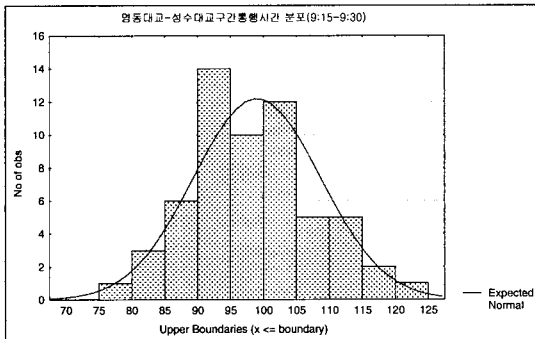
〈그림 2〉 올림픽대로(위)와 천호대로(아래) 구간도 (#번호:검지기번호)

2. 도시고속도로 구간통행시간분포 분석

구간통행시간 분포분석은 시공도와 각종 통계치, 개별차량통행시간 그래프, 히스토그램을 통해 분포의 특징을, 그리고 정규성 검정을 통해 분포에 영향을



〈그림 3〉 고속도로구간의 개별차량 시공도



〈그림 4〉 고속도로구간의 15분간 구간통행시간 분포

미치는 요소에 대해 살펴보았다. 분석시간 주기는 표본조사로 얻어진 관계로 매칭자료수의 제약으로 인해 15분단위로 제한하였다. 〈그림 3〉은 올림픽대로의 개별차량의 시공도를 나타낸 것이다.

구간통행시간분포 그래프를 보면, 연속류라는 교통 특성으로 단일봉(unimodal)을 갖는 정규분포 형태를 나타낼 수 있다(〈그림 4〉).

구간통행시간분포의 정규성 검정은 콜모고로프-스미르노프 검정(Kolmogorov-Smirnov test) 방법을 이용하였다. 〈표 1〉은 각 구간의 15분 주기 통행시간 분포의 정규성 검정 결과이다. 여기서 총 판단회수는 조사자료 중 30대 이상의 통과차량을 포함하는 15분 통행시간자료 개수를 말한다. 검정결과 일부 정규분포

〈표 1〉 구간통행시간분포 적합성 검정 결과

구간명	총 판단회수	기각 회수	기각 비율
잠실대교 → 영동대교	42	3	7.1
영동대교 → 성수대교	42	4	9.5
성수대교 → 동호대교	54	4	7.4
동호대교 → 한남대교	53	6	11.3
한남대교 → 반포대교	54	2	3.7
반포대교 → 동작대교	52	2	3.8
동작대교 → 한강대교	54	8	14.8
한강대교 → 서울교	51	4	7.8

〈표 2〉 진입램프 전후의 교통량비교(동작대교-한강대교 구간)

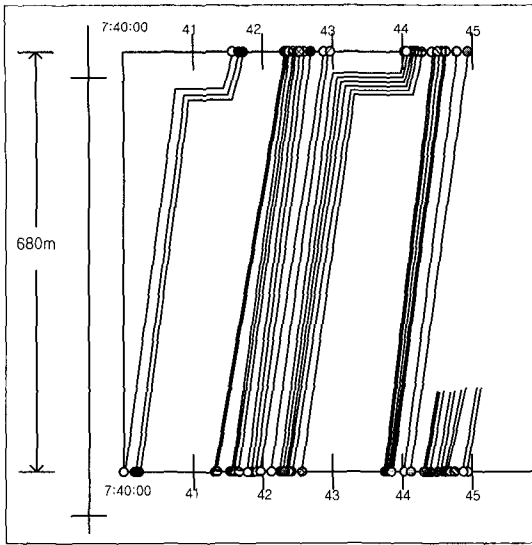
시간	#5 검지기(하류)		#6검지기(상류)	
	V/C	LOS(Level of Service)	V/C	LOS(Level of Service)
8:00~8:15	0.78	D	0.66	C
8:15~8:30	0.75	D	0.60	C
8:30~8:45	0.75	D	0.57	C
8:45~9:00	0.70	D	0.52	B
9:00~9:15	0.70	D	0.56	C
9:15~9:30	0.69	C	0.53	C
9:30~9:45	0.70	D	0.53	C
9:45~10:00	0.70	D	0.56	C

가 깨어지는 경우도 나타났다. 이는 기하구조, 교통량, 구간거리 등의 원인으로 이밖에도 여러 가지가 있을 수 있다. 그 중, 대표적인 것으로는 구간 내 존재하는 진입 교통량을 들 수 있다. 진입교통량이 통행시간 분포에 미치는 영향을 살펴본 결과 일정수준 이상의 많은 진입교통량은 본선 교통류의 흐름을 방해하여 개별차량 통행시간분포의 산포를 크게 하는 경향이 나타났다.

〈표 2〉는 15분 구간통행시간분포의 정규성 검정에서 가장 많은 기각률을 보인 동작대교-한강대교 구간의 검지기별 교통량 비교표로, 진입로 상하류부의 교통상황의 차이가 나타남을 볼 수 있다.

3. 도시간선도로 구간통행시간분포 분석

도시간선도로는 〈그림 5〉의 개별차량시공도에서 볼 수 있듯 신호교차로에서의 정지여부에 따라 통행시간차가 커진다. 따라서 연속류인 도시고속도로의 분포와는 다른 분포 형태를 나타낼 것이다. 본 연구에서는



〈그림 5〉 신호교차로의 개별차량시공도

〈표 3〉 천호대로의 분석 대상구간 특성

구간	구간 거리(M)	구간내 교차로수
장수삼거리(①)→장안평역(②)	680	1개
장안평역(②)→군자교동단(③)	880	2개 (진출입로포함)
군자교동단(③)→중곡주유소(④)	280	1개
장수삼거리(①)→중곡주유소(④)	1640	3개

5분 주기의 구간통행시간 분포 특성을 분석하였으며, 분석방법은 고속도로와 마찬가지로 시공도 및 분포도 그리고 변이계수와 같은 통계치 분석을 이용하였다. 또한 구간내 신호교차로 수에 따라 단일교차로 구간과 다구간으로 구분하여 분석을 수행하였다.

천호대로구간의 거리 및 특성은 〈표 3〉과 같다.

1) 단일교차로 구간통행시간 분포분석

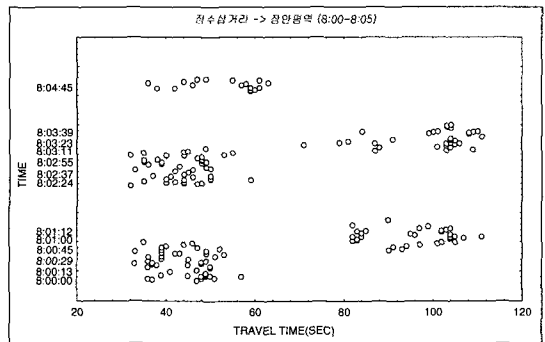
비교적 짧은 거리의 구간내 1개의 신호교차로를 갖는 단일교차로 구간의 통행시간분포 분석결과, 일반적으로 가정되는 단일봉(unimodal)을 가지는 정규분포와는 다른 두 개의 봉(bimodal)을 갖는 형태를 나타낸다.

다음 〈그림 6~7〉은 이러한 분포형태를 나타낸 것으로 5분간 개별차량 구간통행시간 그래프와 히스토

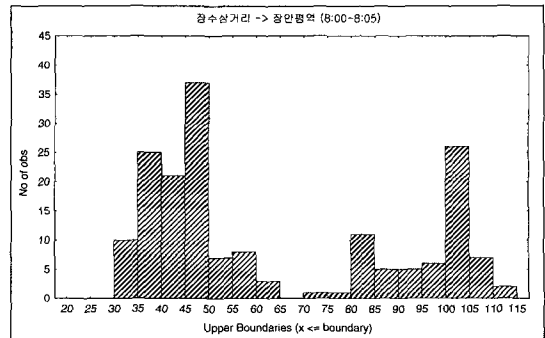
그램이다. 〈그림 6〉을 보면, 개별차량들은 45초와 100초 주변에 밀집되어 있으며, 양극화가 발생하였다. 이는 교차로 적색신호에 의한 지체의 유무 때문이다.

이러한 특징은 〈그림 7〉을 통해서도 볼 수 있는데, 단일교차로의 구간통행시간분포 산포도를 나타내는 변이계수(표준편차/평균)는 교차로신호주기에 의한 영향으로 연속류인 고속도로에 비하여 매우 높은 값을 나타냈다.

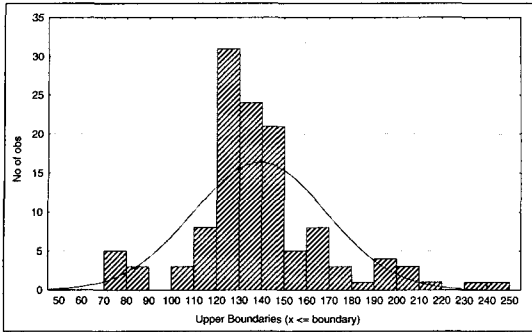
단일 교차로 구간의 모든 실측자료의 5분 주기별 구간통행시간 분포 분석결과, 대부분의 시간대에서 신호주기에 의한 양극화되는 현상이 나타났다. 그러나 포화/과포화상태에 이르러 2주기 이상의 지체를 겪는 즉, 1주기 동안 도착차량이 모두 통과하지 못하고 신호에 의한 2번의 지체를 경험하는 경우엔 1주기와 2주기 후 통과차량의 분포 구분이 명확하지 않았다. 이러한 포화/과포화시의 구간통행시간분포 특징은 〈그림 8〉의 분포도를 통해 확인할 수 있다.



〈그림 6〉 장수삼거리(①)-장안평역(②) 구간의 개별차량 통행시간



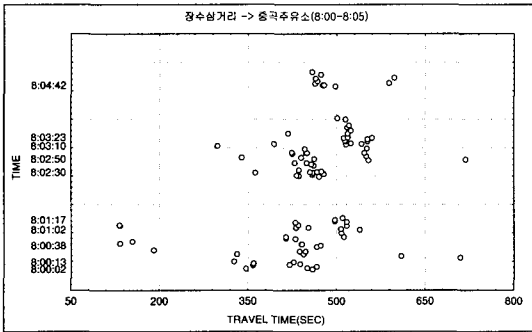
〈그림 7〉 장수삼거리(①)-장안평역(②) 구간통행시간 분포도(비포화시)



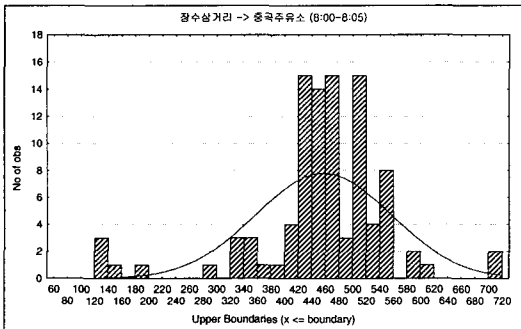
〈그림 8〉 장수삼거리(①)-장안평역(②) 구간통행시간 분포도(포화/과포화시)

2) 다구간 구간통행시간 분포분석

구간거리가 길고 구간내 교차로 수가 많은 다구간의 구간통행시간분포는 단일교차로의 경향과는 다른 특징을 갖는다. 〈그림 9~10〉에서 볼 수 있듯 다구간에서는 신호주기에 의한 지체회수에 따른 명확한 경향분리는 나타나지 않는다. 다만 대부분의 차량들은 일정 통행시간 범위 내에 밀집되는 경향을 보이는데, 이는 통행시간에 신호교차로에 의한 지체시간이 미치는 영향이 교차로 수가 증가할수록 상쇄되기 때문인 것으로 보인다.



〈그림 9〉 다구간의 개별차량 구간통행시간



〈그림 10〉 다구간의 구간통행시간 분포

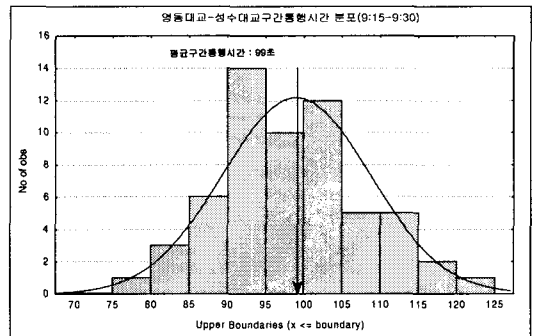
4. 구간통행시간 정보형태 설정

이상과 같은 교통류 특성에 따른 구간통행시간분포 분석 결과, 연속류인 고속도로와 단속류인 도시간선도로의 통행시간 분포형태가 서로 상이한 것으로 나타났다. 따라서 신뢰성 있는 정보 제공을 위해서는 구간 특성에 따라 정보형태가 달라져야 할 것이다.

본 절에서는 각 구간의 분포특성을 고려하여 운전자에게 제공되어야 할 구간통행시간정보 형태를 설정하고자 한다.

1) 고속도로 구간통행시간정보 형태 설정

대부분의 분석시간대의 구간통행시간분포가 정규분포를 따르는 고속도로구간의 경우 대표치로서 평균값은 상당한 의미를 지닌다. 따라서, 고속도로 구간의 구간통행시간 정보 형태는 모든 차량들의 평균 통행시간으로 설정하였다(〈그림 11〉).



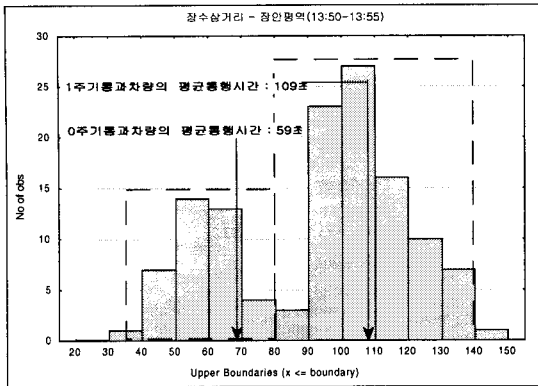
〈그림 11〉 고속도로 구간의 구간통행시간 정보형태

2) 간선도로 구간통행시간정보 형태 설정

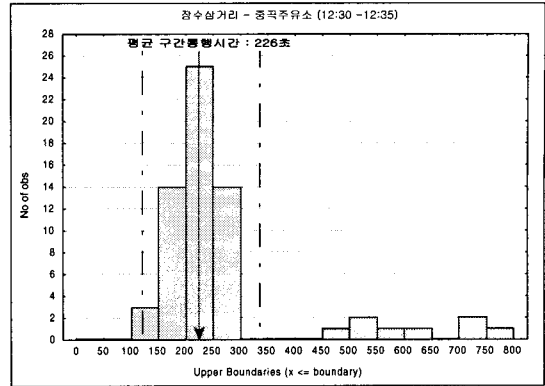
(1) 단일교차로 구간

간선도로의 단일구간의 경우 신호주기에 의해 구간통행시간 분포는 연속류 통행시간분포와 크게 달라진다. 따라서 단일구간의 교통정보형태는 고속도로와 같은 단순한 산술평균보다는 지체를 경험한 차량들의 통행시간과 지체없이 통행한 차량들의 통행시간으로 세분하여 제공하는 것이 적절할 것이다(〈그림 12〉).

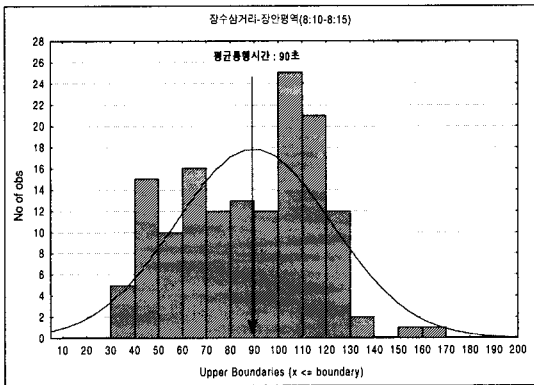
그러나 2주기 이상의 지체상황이 나타나는 포화/과포화시에는 앞에서의 구간통행시간분포 분석결과에서 보듯 비혼잡시의 통행시간 분포형태와는 단일봉(uni-modal)의 정규분포의 형태를 나타냈다. 따



〈그림 12〉 단일교차로 구간의 구간통행시간 정보형태 (비포화시)



〈그림 14〉 다구간의 구간통행시간 정보형태



〈그림 13〉 단일교차로 구간의 구간통행시간 정보형태 (포화/과포화시)

라서 이러한 구간의 경우에 2개의 대표치보다는 평균통행시간이라는 1개의 대표치가 타당할 것이다 (〈그림 13〉).

(2) 다구간

단일교차로 구간과 달리 신호주기에 의한 분포경향의 차이가 나타나진 않는 다구간의 경우에 대부분의 차량들이 통과하는 통행시간의 평균값으로 정보형태를 설정하였다.

다구간의 통행시간분포는 신호교차로에 의한 지체로 인해 차량간 통행시간차가 클 것이라는 예상과는 달리, 〈그림 14〉의 예에서 보듯 대부분의 차량들은 통행시간 100초~300초 사이에 분포되어 있다. 이는 신호에 의한 지체시간 때문에 생기는 통행시간 차가 구간내 2개 이상의 신호교차로를 통과하면서 서로 상쇄되어 대부분의 차량의 통행시간이 일정 시간대 내

에 들어오게 된다는 사실을 증명하는 것이다. 따라서 대부분의 차량이 속해 있는 통행시간 범위를 벗어나는 적은 비율의 통행시간(아래그림에서 450초 이상)까지 값들을 포함하여 평균값을 산출한다면, 오히려 보다 많은 운전자를 만족시키고자 하는 정보의 신뢰성을 저하시키는 결과를 나올 것이다. 이러한 분석결과를 토대로 본 연구에서는 구간을 통과하는 모든 차량의 평균값이 아닌 일정비율 이상을 제외한 절사평균 의미의 정보형태를 제안한다.

IV. 교통특성에 따른 적정 표본수 결정

운전자에게 제공되어야하는 교통정보는 구간의 교통상황을 대표하는 값이어야 한다. 구간검지체계를 기반으로한 교통정보제공시스템에서 대표성 있는 구간통행시간 및 속도정보산출은 수집되는 자료수에 영향을 받는다. 그러므로, 신뢰성 있는 정보산출을 위해 수집해야할 적정표본수의 산출은 효율적인 교통정보제공시스템의 운영을 위해서 중요하다 할 수 있겠다.

1. 적정 표본수 결정 방법

1) 적정 표본수 결정식

본 연구에서는 Shrinivasan과 Jovanis(1996), M.Chen과 S. Chien(2000), 이청원, 박지영(2001) 등의 기존의 연구들에서 적용된 중심극한정리를 이용한 통계적 표본결정식에 의한 적정표본수를 산출할 것이다. 적정표본수 산출식의 유도과정은 다음과 같다.

구간통행시간의 신뢰성(r)은 상대오차(ϵ_{it})의 절대값이 최대 허용 상대오차(ϵ_{max})보다 작을 최소확률이다.

상대오차는

$$\epsilon_{it} = (T_{it} - \mu_{it}) / (\mu_{it}) \quad (1)$$

이며, 신뢰성의 정의로부터

$$\Pr\{|\epsilon_{it}| < \epsilon_{max}\} \geq r \quad (2)$$

이고, 상대오차를 식(2)에 대입하면,

$$\Pr\{-\epsilon_{max} < [(T_{it} - \mu_{it}) / \mu_{it}] < \epsilon_{max}\} \geq r \quad (3)$$

이다.

T_{it} 은 표본차량들의 표본 평균통행시간이므로, 중심극한정리에 의해,

$$[(T_{it} - \mu_{it}) / (\delta_{it} / \sqrt{n_{it}})] \sim N(0, 1) = Z \quad (4)$$

이며, 식(3)에 식(4)를 대입하면,

$$\Pr[-\epsilon_{max} \mu_{it} / (\delta_{it} / \sqrt{n_{it}}) < Z < \epsilon_{max} \mu_{it} / (\delta_{it} / \sqrt{n_{it}})] \geq r \quad (5)$$

이 된다.

여기서, x 의 누적 분포 함수 $\Phi(x)$ 의 역함수를 Φ^{-1} 라하고, 정규분포의 대칭성을 이용하면, 부등식(5)는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\epsilon_{max} \mu_{it} / (\delta_{it} / \sqrt{n_{it}}) \geq \Phi^{-1}[(1+r)/2] \quad (6)$$

따라서, 관측 시간동안의 각 구간상에서 필요한 최소표본수는 식(7)을 이용하여 구할 수 있다.

$$n_{it} \geq \{\Phi^{-1}[(1+r)/2] / \epsilon_{max} (\mu_{it} / \delta_{it})\}^2 \quad (7)$$

여기서,

n_{it} : 최소 표본수

r : 신뢰수준

δ_{it} : 모집단의 표준편차

ϵ_{max} : 최대허용오차

μ_{it} : 모집단의 평균통행시간

2) 적정 표본수 산출을 위한 변이계수 추정

적정표본수를 결정식에서 보면, 교통상황을 나타내는 변이계수값(표준편차의 평균에한 비율)을 필요로 한다. 본 연구에서는 교통류 특성에 따른 구간별 변이계수의 추정을 다음과 같은 방법으로 수행하였다.

우선 도시고속도로인 올림픽대로의 경우 대부분 구간통행시간 분포가 정규분포를 나타내고, 정보형태를 모든 통과차량의 평균값으로 정의하였으므로, 변이계수 값은 표본 실측조사 자료(15분)로부터 계산하였다. 도시간선도로인 천호대로구간의 경우엔, III장에서 제시한 구간통행시간 정보의 형태가 각 분포의 형태에 따라 달라지므로, 변이계수 또한 제시된 정보형태에 근거하여 산정하였다. 예를들어, <그림 12>의 장수삼거리-장안평역 구간의 통행시간 정보는 신호에 의해 지체한 차량과 그렇지 않은 차량들의 평균통행시간으로 주어진다. 따라서 변이계수 역시 전체 통과차량들의 통행시간에 대한 값이 아닌, 지체 유무에 따라 분할된 2개의 값이 요구된다. 본 연구에서는 <그림 12>와 같이 주어진 2개의 봉우리를 갖는 통행시간 분포(5분간격)를 통과차량과 지체차량의 2개의 분포로 분할하였다. 이때, 분포의 분할기준은 실측통행시간자료, 신호주기 그리고 기하구조를 고려하여 설정하고, 통행시간값들 중 지나치게 높거나 낮은 차량들의 통행시간은 제외(85%절사)하고, 각 분포의 평균과 표준편차를 구하여 변이계수를 산출하였다. 이렇게 구해진 5분 간격의 변이계수들 중 50percentile 값을 표본수결정식에 적용하였다.

다구간의 경우엔 분포의 분할기준은 필요치 않으나, 단일 교차로 구간과 마찬가지로 85 percentile 절사 후 변이계수 값을 추정하였다. 또한 이후 적용성 평가를 위해 구축된 실측자료 중 3시간 자료만을 이용하였다.

2. 적정표본수 결정

1) 도시고속도로의 적정 표본수 결정

실측 구간통행시간 자료를 이용하여 변이계수를 추정한 후 다음 <표 4>와 같이 교통상황에 따른 적정

〈표 4〉 올림픽대로의 구간별 교통상황에 따른 적정표본수

구간명	적정표본수					
	95%신뢰수준			90%신뢰수준		
	허용오차(km/h)		허용오차(km/h)	허용오차(km/h)		허용오차(km/h)
	5	3	2	5	3	2
잠실대교-영동대교	3	4	7	2	4	6
영동대교-성수대교	2	4	6	2	3	6
성수대교-동호대교	3	5	8	2	4	6
동호대교-한남대교	2	4	5	2	3	5
한남대교-반포대교	2	3	5	2	3	4
반포대교-동작대교	5	7	11	4	6	9
동작대교-한강대교	6	9	12	4	8	11
한강대교-서울교	3	5	8	2	4	6

* 50 percentile 변이계수적용

표본수를 산출하였다. 허용오차는 교통정보 제공시 요구되는 최대 허용오차 범위를 적용하였다. 표본수는 각 구간의 교통특성에 따라 다양하게 나타났으나, 95%신뢰수준 허용오차 3km/h에서는 최소 3대에서 최대 9대까지의 표본수가 필요한 것으로 나타났다.

2) 도시간선도로 적정 표본수 결정

도시간선도로의 적정표본수는 단일교차로의 경우 신호교차로 정지여부에 따라 세분화된 교통정보를 제공하기 위한 최소표본수이다. 2주기 이상의 지체가 발생하는 포화/과포화상태의 경우엔 비포화(정상)상태와는 다른 정보형태가 요구된다. 그러나 본 논문에서는 지포화상태의 적정표본수만 산출하였다. 〈표 5~6〉은 조사시간대의 5분 주기의 통과 주기회수에 따른 평균구간통행시간 및 신뢰수준, 허용오차¹⁾에 따른 표본수 결과이다.

적정표본수 결과를 보면, 0주기 이후 통과차량 즉 주행시간 산출을 위해 요구되는 표본수가 지체시간의 산출을 위해 요구되는 표본수보다 많은 것을 알 수 있다. 이는 정지지체를 포함한 통행속도의 편차보다는 주행속도의 편차가 크기 때문이다. 교통상황의 구분은 정상과 지체로 구분하였으며, 이는 실측자료의 주행속도를 기준으로 하였는데 30km/h이하를 지체시로 가정하였다. 따라서 제안된 형태의 신뢰성 있는 교통정보를 제공하기 위해서는 0주기 후 통과차량과 1주기 후 통과차량의 합만큼의 적정표본수를 필요로 하는 것이다.

〈표 5〉 단일교차로 구간의 적정표본수

구간명	구분	0주기 후 통과				1주기 후 통과			
		95%신뢰수준		90%신뢰수준		95%신뢰수준		90%신뢰수준	
		허용오차(km/h)				허용오차(km/h)			
		5	3	5	3	5	3	5	3
군자-중곡	지체시	3	7	2	5	1	1	1	1
	정상시	17	42	10	30	1	1	1	1
장수-장안	지체시	2	5	1	4	1	2	1	1
	정상시	8	20	5	15	1	3	1	2

* 50 percentile 변이계수적용

〈표 6〉 다구간의 적정표본수

구간명	구분	95%신뢰수준		90%신뢰수준	
		허용오차(km/h)			
		5	3	5	3
장안-군자	지체시	1	4	1	3
	정상시	5	10	4	9
장수-중곡	지체시	1	2	1	1
	정상시	3	10	2	7

* 50 percentile 변이계수적용

〈표 5〉의 단일교차로의 적정표본수 산출결과를 보면 구간길이가 280m로 비교적 짧은 군자교동단->장안평역 구간의 경우 상당히 많은 수의 표본수가 요구됨을 볼 수 있다. 이러한 경우엔 수집비용과 정보의 질을 고려한 적정 구간길이가 설정과 같은 새로운 교통정보제공전략이 요구된다 하겠다. 다구간의 적정표본수를 나타낸 〈표 6〉을 보면 단일교차로에 비해 적은 수의 자료로 신뢰성 있는 정보의 산출이 가능하다는 것을 알 수 있다. 다구간의 경우 지체기준은 실측자료 분석결과를 바탕으로 20km/h로 설정하였다.

V. 구간통행시간 정보 산출방법 정립 및 적용성 평가

본 연구에서 제안하는 교통정보형태의 적용을 위해서는 수집된 통행시간자료의 일반화된 처리방법을 필요로 한다. 본 장에서는 현장적용을 위한 제안된 교통정보형태의 산출방법론을 정립하고, 적용성 평가를 수행하였다.

1) 교통운영을 위해 요구되는 오차범위(±2.0~±4.0mph)를 기준으로 함.
- Manual of Transportation Engineering Studies

1. 구간통행시간 산출방법

본 연구에서 제안하는 교통정보형태의 현장 적용시 교통류 특성에 따른 구간통행시간정보 산출방법은 개략적으로 <그림 15>와 같다.

도시 간선 도로	단일 교차로 구간	시간 주기별 개별 차량 통행 시간 수집	오 류 값 제 거	교차로 정지여부에 따른 통행시간분류	주행시간(속도) + 지체시간 산출
	다구간			교통상황에 따른 이상치제거	평균통행시간 산출
도시 고속도로					평균통행시간 산출

<그림 15> 교통류 특성별 교통정보 산출방법

세부적인 자료 처리방법은 구간의 특성에 따라 달라 지므로 우선 본 연구의 대상구간인 천호대로의 교통특성 (신호주기, 구간거리)을 기준으로 정리하면 다음과 같다.

• 다구간의 교통상황에 따른 이상치 제거 방법 : 일 정비율(85%)이상의 통과차량이 포함된 차량들의 평균통행시간을 구간통행시간정보 형태로 설정하 였으므로 신뢰성 있는 정보산출을 위해서는 교통 상황에 비해 지나치게 높거나 낮은 차량의 통행시 간은 제거되어야만 한다. Historic pattern 자료 가 구축되어 있는 경우, 더 세밀화된 기준이 가능 하다. 본 연구의 대상구간의 기본적인 제거기준은 실측자료 분석을 통하여 다음과 같이 설정하였다. 또한 실측자료 분석결과 다구간의 경우엔 단일구 간과는 달리 정상시와 지체시의 기준을 통행속도 20km/h로 설정하였다. 정보수집시 지체시간대와 정상시간대의 판별은 과거이력(historic pattern) 자료를 기반으로 하는 것을 가정하며, 본 연구에 서는 현장 조사자료를 과거 이력자료로 이용하였다.

정상시 : 10km/h 이하의 차량제거
지체시 : 25km/h 이상의 차량제거

- 통행시간의 오류값 제거 : 조사시 오류 내지는 비 정상적 통행 행태를 갖는 차량을 제거하는 단계로 실측 모집단 구축시의 기준과 동일하다.
- 단일교차로의 신호교차로 정지 여부에 따른 통행 시간 분류방법 : 단일교차로에서 차량의 주행시간 (속도)와 지체시간의 분류를 위하여 수집된 개별 차량의 통행시간의 통과 신호주기 횟수의 판단이 필요하다. 판단기준은 구간거리와 신호주기와 같 은 교통특성이 될 수 있으며, historic pattern 자료가 구축되어 있는 경우엔 더 정확한 판단기준 을 세울 수 있을 것이다. 구간거리와 신호주기만 을 고려한 개략적인 판단기준은 다음과 같다.

$L/v_1 \leq \text{cruise time} \leq G - p$: 0주기 후 통과차량의 통행시간 범위

$R \leq \text{cruise time} + \text{delay time} \leq C$: 1주기 후 통과차량의 통행시간 범위

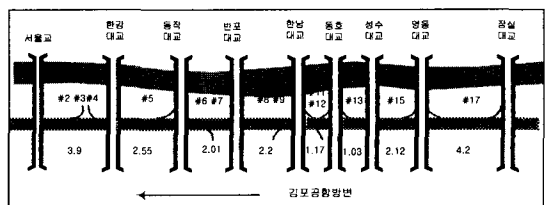
$R \leq \text{cruise time} + \text{delay time} \leq 2C$: 1~2주기 후 통과차 량의 통행시간 범위

여기서,
 L : 구간거리
 v₁ : 제한속도
 C, G, R, p : 신호주기, 녹색시간, 적색시간, 옴셋
 cruise time : 신호에 의한 지체를 경험하지 않은 차량의 주행시간
 delay time : 신호에 의한 지체시간

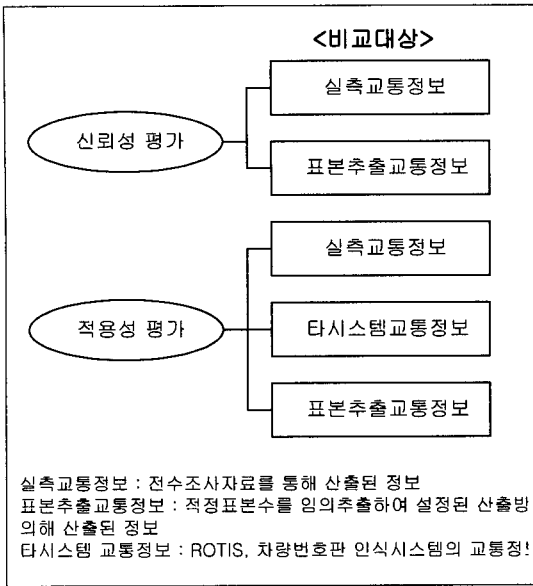
2. 적용성 평가

1) 대상구간 및 평가방법

대상구간은 <그림 16>의 도시간선도로로 평가 방 법은 <그림 17>와 같이 신뢰성 부문과 적용성 부문으 로 나누어 수행된다. 신뢰성 부분에서는 앞에서 결정 된 적정 표본수와 산출방법의 정확성을 평가하는 것 으로 전수조사자료를 통해 산출된 구간별 교통정보와 전수자료에서의 적정표본수를 임의 추출하고 산출방 법에 의해 산출된 표본추출교통정보의 오차율을 비교 함으로써 평가하였다. 이때 표본추출 및 오차율비교 는 총 6시간 중 적정표본수가 산출된 3시간 이외의 시간대에 수행하였다. 적용성 평가부문에서는 타시스 템에서 제공하는 평균통행시간 개념의 교통정보와 본 연구에서 제안된 세분된 교통정보를 실측치와 비교함 으으로써 제안된 교통정보형태의 타당성을 살펴보았다.



<그림 16> 적용대상 구간(천호대로)



〈그림 17〉 평가 방법

2) 구간통행시간 및 속도 정보 신뢰성 분석

(1) 표본추출에 의한 구간통행시간 및 속도정보의 오차분석

제안된 구간통행시간 정보의 신뢰성평가를 위하여 실측조사자료를 이용하여 단순임의 비복원 추출을 수행하여 구간별 다음 과정에 따라 구간통행시간 및 속도정보를 산출하였다. 추출 표본수는 앞에서 산출한 적정표본수에 의거하였으며 정상시와 지체시로 구분하여 제시된 표본수 범위값의 평균적인 값을 적용하였다. 단일교차로 구간의 정보산출시 각 구간별 기준값은 〈표 7〉과 같다.

신뢰수준 95%이내 허용오차 5km/h의 적정표본수를 고려하여 산출한 교통정보는 주행속도와 지체시간을 나누어 각각의 오차를 비교하였으며 결과는 다음 표와 같다. 여기서 지체시간이란 신호에 의한 1주기 후 통과차량의 통행시간의 0주기 후 통과차량의 주행시간 차이를 의미한다.

단일교차로와 다구간의 주행속도 오차는 모두 최대

〈표 7〉 단일교차로의 통행시간 분류기준

단일교차로구간	0주기	1주기
장수삼거리 - 장안평역	30 - 70	70-130(140)
군자교동단 - 중곡주유소	14 - 70	70-130(140)

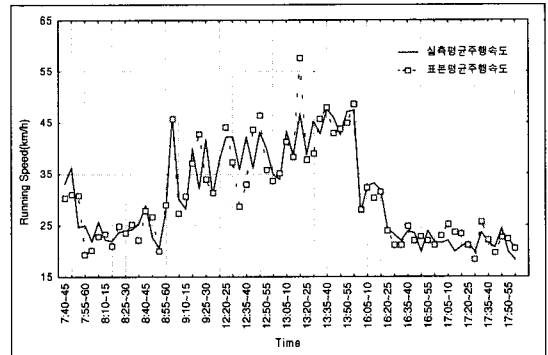
허용오차 5km/h 이내로 나타났다.〈표 8~9〉 통행시간과 주행시간을 이용하여 단일교차로의 신호시간에 의한 지체시간을 산출할 수 있는데, 두 구간 모두 평균 8초 이내의 오차를 보였다. 〈그림 18~20〉는 각 구간의 실측치에 대한 주행시간과 지체시간의 비교 그래프이다.

〈표 8〉 단일교차로구간의 주행속도 및 지체시간 오차비교

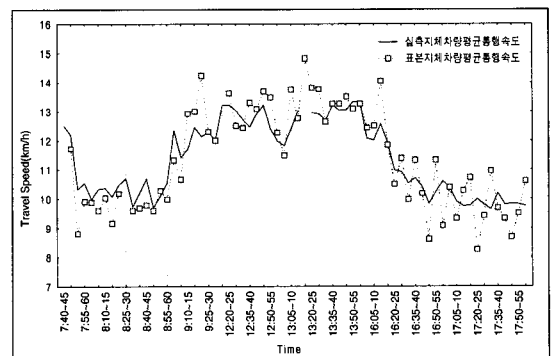
구간	평균주행속도 오차(km/h)	평균지체시간오차(sec)
장수삼거리~장안평역	4	8(2km/h)
군자교동단~중곡주유소	4	8(2km/h)

〈표 9〉 다구간의 통행속도 오차비교

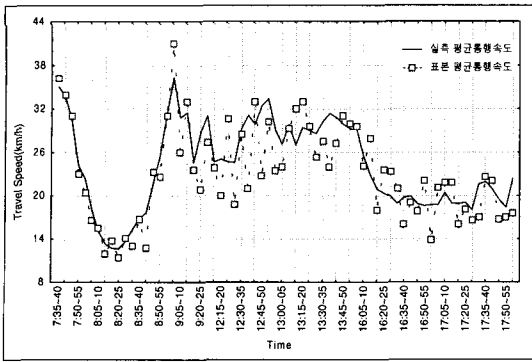
구간	통행속도오차(km/h)
장안평역~군자교동단	3
장수삼거리~중곡주유소	4



〈그림 18〉 단일교차로 주행속도비교 (군자교동단~중곡주유소)



〈그림 19〉 단일교차로 지체차량 통행속도비교 (군자교동단~중곡주유소)



〈그림 20〉 다구간 통행속도정보 비교
(장수삼거리~중곡주유소)

(2) 교통정보제공시스템별 구간통행속도정보 비교

제안된 구간통행시간정보의 현장 적용성 평가를 위해 타시스템의 구간통행속도의 실측치와의 오차를 비교하였다. 이는 단순히 실측치와의 오차만을 비교하고자 하는 것이 아니라 타시스템 교통정보, 실측치와의 경향차이를 살펴봄으로써 본 연구에서 제안하는 교통정보형태의 타당성을 알아보하고자 하는데 목적이 있다.

교통정보시스템으로는 비콘(beacon)을 이용하여 프로브차량의 통행시간을 수집하여 교통정보를 산출하는 로티스 교통정보시스템과 천호대로구간에 설치되어 있는 차량번호판 매칭방법을 이용한 차량번호판 인식시스템의 구간통행속도정보이다. 두 시스템의 통행시간 정보는 모두 평균통행시간의 개념으로 본 연구에서 제안한 평균통행시간과 신호에 의한 지체가 포함된 평균통행시간의 평균의 개념이다. 본 비교분석에서는 각 시스템별 구간거리에 따른 오차를 없애기 위해 속도기준으로 오차비교를 하였다. 평가기준

〈표 10〉 교통정보제공시스템별 통행속도 오차(RMSE) 비교
(단위:km/h)

구간	제안된 교통정보	로티스 교통정보	차량번호판 인식시스템
장수삼거리~장안평역	4	7	7
군자교동단~중곡주유소	4	7	-

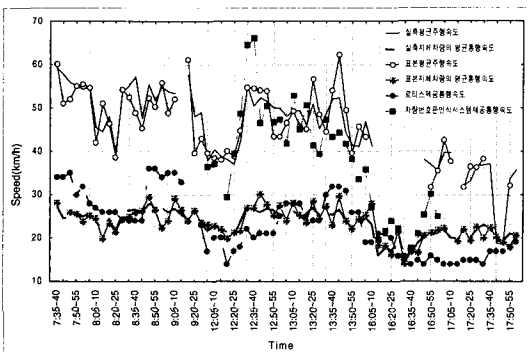
오차는 평균제곱근오차(Root Mean Square Error: RMSE)로 다음 식에 의해 산출하였다.

$$RMSE = \sqrt{\sum(\text{실측치} - \text{추정치})^2 / \text{총회수}}$$

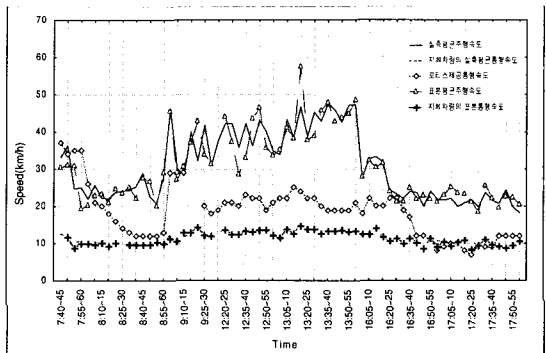
로티스와 차량번호판 구간통행시간 정보는 실측치와의 오차산출에 있어서 실측 주행속도와 지체차량의 통행속도 중 작은 값을 갖는 선택하여 계산하였다. 〈표 10〉의 오차 분석결과표에서 보듯 제안된 형태의 구간통행시간정보가 타시스템에 비해 작은 값을 가졌다.

〈그림 21~22〉는 타시스템의 구간과 일치하는 2개의 단일교차로 구간의 속도값을 나타낸 그래프이다. 〈그림 21〉의 장수삼거리~장안평역 구간은 로티스의 구간통행속도의 경우 일부시간대를 제외하고는 지체차량의 평균통행속도에 가까운 값을 제공하는 것으로 보인다. 반면 차량번호판 인식시스템의 통행속도는 평균주행속도의 값을 나타낸다.

〈그림 22〉의 군자교동단~중곡주유소 구간의 통행속도정보 역시 로티스 교통정보는 일관된 정보형태를 지니지 못하는 것으로 나타났다. 이는 각 시스템에서 수집된 통행시간자료의 처리방법 차이로 인한 것이다.



〈그림 21〉 장수삼거리(①)~장안평역(②) 구간통행시간 비교



〈그림 22〉 군자교동단(③)~중곡주유소(④) 구간통행속도 비교

따라서 신뢰성 있는 교통정보제공을 위해서는 정보 산출방법 정립의 필요성이 제기되며, 본 연구에서 제안하는 교통정보형태의 타당성을 살펴볼 수 있었다.

VI. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 교통정보제공을 위한 구간통행시간 및 속도산출을 위한 방법론 연구를 수행하였다. 통계적으로 신뢰성 있는 교통정보제공을 위해서는 우선 교통류 특성에 따라 적합한 정보형태의 결정이 필요하다. 실측 구간통행시간자료의 분석결과 정규분포를 이루는 연속류의 경우엔 한 개의 대표치만으로 구간의 교통상황을 나타내는 것이 가능하였다. 그러나 단일교차로 구간의 경우 신호교차로에 의한 정지지체를 포함하여 구간통행시간분포가 정규분포와는 거리가 먼 두 개의 봉우리로 정규성과는 거리가 먼 분포형태가 나타났다. 이에 본 연구에서는 단일교차로의 교통정보 형태를 한 개의 대표치가 아닌 신호교차로 정지유무에 의한 두 개의 세분화된 정보형태로 설정하였다. 또한 통계적으로 신뢰성을 지닌 구간통행시간 및 속도정보를 산출하기 위해 요구되는 적정표본수를 산출하였다. 제안된 교통정보형태와 적정표본수 및 산출방법론의 신뢰성 및 적용성 평가 결과 주어진 허용오차 내에서 모두 만족한 결과를 얻을 수 있었다.

본 연구에서 제시한 적정표본수는 각 구간의 교통류 특성에 따른 것으로, 실제 현장적용 시에는 교통류 상태변화에 따라 잦은 표본수의 변화가 발생한다. 또한 직진차량과 회전차량이 혼재해 있는 도시간선도로 상에서는 임의의 직진차량을 프로브차량으로 이용한다. 특히 단일교차로의 교통정보형태의 경우엔 적정 표본수가 주행시간 산출을 위한 표본수와 지체를 포함한 통행시간을 포함한 표본수의 합으로 주어지기 때문에, 주어진 비율에 맞춰 표본자료를 수집하기엔 어려움이 따른다. 따라서 향후 연구과제로서 적정표본수 보다 적은 자료가 수집되었을 경우 historical data 또는 타검지기자료 등을 이용하여 정보의 신뢰

성을 높일 수 있도록 하는 기법 또는 구간의 개념에서 벗어난 새로운 개념의 표본수 산출방법의 연구 등을 제시하는 바이다. 또한 본 연구에서는 정보산출시 비포화(정상) 상태만을 고려하였으나 향후연구에서는 더 많은 실측 자료의 분석을 통해 과포화 교통상태에서의 정보형태 또한 고려되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 최기주·신치현(1998), "GPS와 GIS를 이용한 링크통행시간 예측기법", 대한교통학회지, 제16권 제2호, 대한교통학회, pp.197~207.
2. 고승영(2001), "Optimal Numbers of Probe Cars Beacon-based Travel Time Data Collection System", 2001 WCTR seoul.
3. 이청원·박지영(2001), "Determining the Optimal Number of Probe Vehicles for ATIS Applications in Urban Networks", 2001 WCTR seoul.
4. SK(주)(1999), "교통정보시스템 기초설계 -최종 보고서".
5. 도철웅, 교통공학원론, 청문각.
6. 김우철 외, 현대통계학, 영지문화사.
7. Karthik K. Srinivasan And Paul P. Jovanis (1996), "Determination of Number of Probe Vehicles Required for Reliable Travel Time Measurement in Urban Network", TRB.
8. Mei Chen and Steven I. J. Chein(2000), Determining the Number of Probe Vehicles for Freeway Travel Estimation Using Microscopic Simulation, Transportation Research.

✉ 주 작성자 : 이정희

✉ 논문투고일 : 2001. 5. 24

논문심사일 : 2001. 8. 20 (1차)

2002. 5. 7 (2차)

2002. 5. 23 (3차)

심사판정일 : 2002. 5. 23

✉ 반론접수기간 : 2002. 10. 30