

구간 통행시간 제공을 위한 최소표본수 결정에 관한 연구

Determination of Minimum Sample Size for Link Travel Time Information Service

이정희

이영인

(서울시립대학교 대학원 교통공학과 석사과정) (서울시립대학교 건축도시조경학부 교수)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구 배경 및 목적
 - 2. 연구 내용 및 방법
- II. 현장 조사결과 요약
- III. 최소표본수 산정 및 검정 결과분석
 - 1. 최소표본수 결정식의 제안
 - 2. 최소표본수 결정식의 적용 및 검정
- IV. 결론 및 향후 연구과제

I. 서론

1. 연구 배경 및 목적

지능형 교통시스템의 (Intelligent Transportation System ; ITS)의 여러 분야 중 첨단교통관리시스템 (Advanced Traffic Management System ; ATMS) 및 첨단여행자정보제공시스템(Advanced Traveler Informaton system)에서는 교통류 특성을 파악하고 통행의 질을 파악하는데 있어서 무엇보다 중요한 정보인 구간통행시간(Link Travel Time)정보를 필요로 한다. 이러한 정보를 수집하는 방법에는 크게 다음 두 가지가 있다. 하나는 영상검지기, 초음파검지기, 루프검지기 등의 지점검지기로부터 수집된 교통량, 점유율, 속도 정보를 활용하여 간접적으로 구간통행시간을 추정하는 방법이며, 다른 하나는 차량번호판 매칭방법,

Probe차량에 의한 방법 등의 구간검지체계를 이용하여 직접적으로 수집하는 방법이 있다. 여기서 probe 차량이라 함은 통행시간 및 통행속도를 산출하기 위해서 네트워크를 통행하는 차량을 의미하는 것으로 AVL¹⁾ 방법(GPS를 이용등), AVI²⁾ 방법 등이 있다.

- 1) AVL(Automatic Vehicle Location) 기법 : 대중교통관련 부분에서 사용되는 것으로 구축된 Singpost를 지날 때 차량과 통신하는 자동차량 모니터링 시스템이다.
- 2) AVI(Automatic Vehicle Identification) 기법: 자동차량인식으로서 트랜스폰더(태그로도 불림)를 장착한 차량과 트랜스폰더를 인식할 수 있는 노변안테나, 자료를 읽을 수 있는 노변 관독

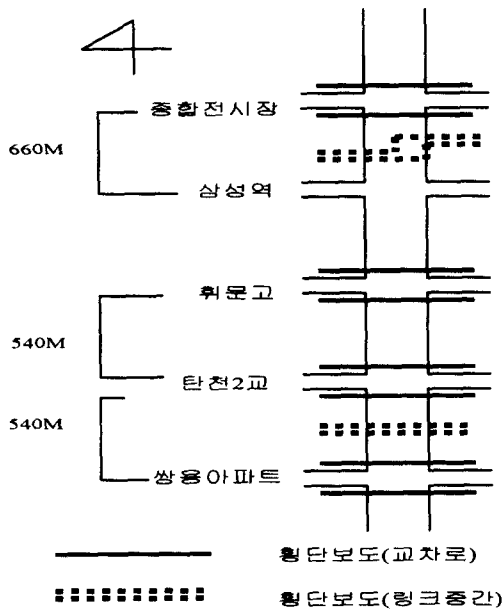
특히 구간검지체계에 의해 구간 통행시간을 수집하는 방법은 직접적으로 통행시간을 얻을 수 있다는 점에서 지점검지의 원리보다 간단하며, 경제성과 신뢰성면에서 실효성이 높다. 그러나 실제 이러한 시스템 구축시 또는 지점검지 방식을 보정할 수 있는 기준자료의 구축시 제한된 자원으로 신뢰성 있는 교통정보를 수집할 수 있는 최소 probe 차량대수, 차량번호판 매칭대수 등의 최소 표본수에 대한 연구는 이뤄지고 있지 못하고 있다. 이러한 배경 하에 최소 표본수 결정에 대한 연구 필요성을 제기 할 수 있다.

이에 본 논문에서는 모든 구간검지체계에 적용될 수 있는 통계적인 최소 표본수 결정식을 제안하고자 한다.

2. 연구 내용 및 방법

본 논문에서는 교통상황별 요구되는 최소 표본수를 얻기 위하여 최소 표본수 결정식에 차량번호판 매칭방법에 의한 현장자료를 적용하고 이에 의해 수집된 구간 통행속도의 신뢰성을 검토하였다.

본 논문의 공간적 범위로는 교통상황별 최소 표본수 특성을 살펴보기 위하여 단속류인 도시간선도로(영동대로의 3구간)로 설정하였다.



영동대로(3개구간)
<그림1> 공간적 범위

장치, 모든 자료 수집을 위한 센터의 컴퓨터로 구성되며 대표적으로 자동요금징수를 위해 이용된다.

영동대로의 차량번호판 매칭자료는 교차로 하류부와 상류부에 위치한 조사원들이 녹음기를 이용하여 번호판과 시간을 녹음하고 두 지점의 차량 번호판을 매칭시켜 구간 통행시간이다. 매칭된 자료는 조사상의 오류값을 포함할 수 있으며 이러한 오류를 제거하기 위하여 연속된 이전/이후 통행시간 값을 비교하여 비정상적인 시간차를 나타내는 오류값은 제거하였다.

본 논문에서 최소표본수의 결정은 다음과 같은 과정에 의해 수행되었다. 차량번호판 매칭방법에 의한 통행시간 자료를 15분단위로 분류하고 타 구간에도 적용가능케 하기 위하여 통행시간은 통행속도로 전환하였다. 이것은 최소 표본의 오차한계를 설정할 때 시간을 기준으로 하면, 타구간에 적용할 때 구간거리에 따른 영향으로 인하여 적용상의 문제가 있기 때문이다.

또한 교통상황의 한산과 혼잡에 대한 구간 통과 차량들의 속도 편차와 교통량 및 구간길이 등의 요인에 대한 관계 규명을 먼저 수행하고 최소표본 결정식을 적용하여야 할 것이나, 교통상황에 따른 교통류 특성을 파악을 하기 위해서는 충분한 현장자료를 통한 연구수행 과정이 요구되는 바, 본 논문에서는 한산과 혼잡에 대한 교통상황을 영동대로의 일반적인 속도의 편차값이라 가정하고 연구를 수행하였다. 즉, 15분 차량번호판 매칭자료를 모집단으로 보고 모집단의 속도 편차를 교통상황으로 가정한 후 제안된 최소 표본수 결정식에 의하여 최소 표본수를 산정하였다. 이때 모집단으로서의 대표성을 위하여 15분 매칭자료 중 25개 이하의 자료는 모집단으로서의 의미가 없는 것으로 보고 분석에서 제거하였다. 이때 교통상황에 대하여는 다른 오차범위를 두고 최소표본수를 구하였다.

제안된 최소표본수 결정식에 대한 검정은 계산된 최소 표본수 만큼의 표본을 15분 차량번호판 매칭자료에서 비복원 임의 추출한 후 구간통행속도의 평균을 구하고 이 값을 모평균값과 비교하여 오차범위 안에 포함되는지를 비교하여 제안된 최소표본수 결정방법에 대한 신뢰성을 분석하였다.

II. 현장조사결과 분석요약

본 절에서는 최소 표본수 결정의 필요성을 좀더 구체적으로 제시하고자 영동대로 차량번호판 매칭방법에

의한 통행시간조사 분석결과를 요약하여 살펴보고자 한다.

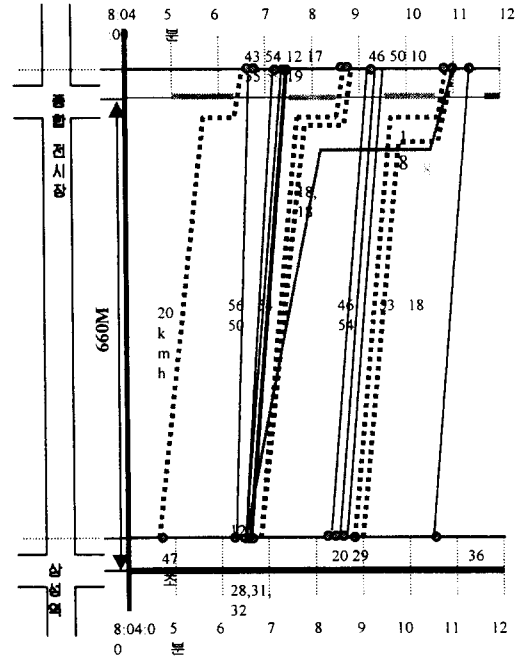
영동대로 차량번호판 조사의 대상지역은 영동대로 쌍용아파트에서 영동대교 남단까지의 모든 교차로를 대상으로 하였다. 북쪽방향(영동대교방향)의 경우에는 모든 직진차선을 통과하는 차량에 대하여, 남쪽방향의 경우에는 동일한 방법으로 직진 2,3차로만을 선택하여 표본조사를 하였다. 조사방법의 경우 녹음기에 차량정보를 녹음하는 방식으로 중앙분리대 끝에서 약 5-7m 떨어진 조사 참조선을 지나는 모든 차량에 대하여 번호판과 점유차로를 녹음하고 직진현시가 시작함과 동시에 녹음기를 작동시키며 이 순간에 현재 시간을 입력한다. 이러한 방법에 의해 수집한 교차로별 차량번호판 자료를 매칭시키고 하류부교차로 통과시간과 상류부교차로 통과시간의 차를 이용하여 구간통행시간을 구하였다.

조사 결과, 구간통행시간 및 통행속도는 구간길이, 신호연동, 링크 중간의 횡단신호, 구간길이 등의 영향을 받는 것으로 나타났으며, 신호연동에 의한 영향을 시공도를 통하여 보면 다음<그림2>와 같다.

시공도에서 점선으로 나타낸 차량은 한 주기 동안의 지체를 경험한 후에 구간을 통과한 경우이며 여행속도는 보통 20km/h대를 형성하고 있다. 반면에 실선으로 나타난 차량은 신호에 의한 지체를 경험하지 않고 구간을 통과한 차량으로 약 50km/h 대의 구간 통행속도를 갖는다. 아래의 시공도는 연속된 시간대임에도 불구하고 실제 조사자료를 통한 여행속도는 8:00-8:05에 16km/h, 8:05-8:10에는 37km/h로 약 20km/h 편차를 보인다. 따라서 분석단위시간에 어떤 종류의 차량이 더욱 많이 관측되는가는 매우 랜덤한 요소이며 시간대별 여행시간과 여행속도자료는 변동폭이 크게 나타날 수밖에 없다. 또한 매칭된 차량수가 적은 시간대는 결과로 산출된 여행시간이나 여행속도의 값이 해당시간대를 대표한다는데는 무리가 있다. 이는 비단 차량번호판 매칭 정보뿐만 아니라 타 구간검지체계에 의한 구간 통행시간 정보에서도 마찬가지이다.

즉 구간검지체계에 의한 방법에 의해 구간통행속도 및 구간통행시간을 제공한다고 할 때 실측 통행시간으로서의 신뢰성을 얻기 위해서는 링크를 통과하는 차량들의 평균적인 통행시간이나 속도값을 대표할 수 있는 표본의 추출이 매우 중요하다고 할 수 있다.

<그림2> 삼성역-종합전시장 개별차량시공도



III. 최소표본수 결정

1.1 최소표본수 결정식의 제안

일반적으로 속도 자료는 정규분포를 이루는 것으로 가정하나 신호교차로의 구간통행시간의 경우 교차로 신호시간과 횡단보도 신호에 매우 큰 영향을 받으므로 어떤 일정분포를 이룬다는 가정을 하는 것은 불가능하다. 그리하여 본 논문에서는 최소표본수의 결정식에 있어 정규모집단이 아닐 경우의 식 (1)과 같은 체비셰프(Chebyshev)식 이용하여 식(3)과 같은 최소표본수식을 결정하였다.

$$P\{|\bar{X} - \mu| \geq \epsilon\} \leq \frac{\delta^2}{\epsilon^2} \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{(\delta^2/n)}{\epsilon^2} \quad (2)$$

$$n = \frac{\delta^2}{\alpha \epsilon^2} \quad (3)$$

여기서,

- α : 유의수준
- \bar{X} : 표본평균
- μ : 모집단의 평균
- n : 최소표본수
- ϵ : 허용오차

각 변수의 단위는 km/h의 속도값으로 이는 타구간의 이식성을 위하여 구간통행시간을 속도로 전환하였다.

1.2 최소표본수 결정식의 적용 및 검증

본 논문의 분석구간인 영동대로의 경우 교통상황을 모집단의 속도편차(15분 동안의 차량번호판 매칭자료)를 기준으로 하여 교통상황이 한산할 경우와 혼잡한 경우를, 위의 결정식에서 분산이 100이하일 경우와 100이상일 경우로 나누어 각기 다른 허용오차를 적용하여 최소 표본수를 결정하였다. 허용오차는 분산이 100이상일 때는 10km/h, 100이하일 때는 5km/h 로 정하였으며, 유의 수준 α 의 값은 0.1을 적용하였다.

이에 따라 식(3)을 이용하여 최소 표본수를 결정한 후 최소표본수 만큼의 표본을 15분 차량번호판 매칭자료에서 비복원 임의추출(20회)하여 모집단의 평균값과의 평균을 비교하여 표본 추출에 의한 구간통행속도 값이 모집단을 대표할 수 있는지를 검토하여 본 논문에서 제시한 최소표본수 결정식에 대한 검정을 실시하였으며, 제안된 결정식에 의한 최소표본수와 신뢰성 검증결과는 <표1>과 같다.

<표 1> 구간별 15분 최소표본수 및 검증결과
-교통상황이 한산한 경우

구간명	시간	분산	N	n	표본율	허용율
쌍용아파트 ->탄천2교	7:15-29	66.295	53	27	50.03	100%
	10:15-29	35.894	51	14	28.15	100%
	10:45-59	68.298	69	27	39.59	100%
	11:45-59	40.542	80	16	20.27	100%
	12:00-14	42.177	47	17	35.90	100%
	12:45-59	36.559	39	15	37.50	0%
	13:00-14	82.775	31	33	106.81	100%
	13:30-44	47.754	97	19	19.69	100%
	13:45-59	33.389	87	13	15.35	100%
	14:30-44	53.863	72	22	29.92	95%
	15:00-14	36.911	40	15	36.91	100%
	15:15-29	43.069	42	17	41.02	100%
	15:45-59	47.378	63	19	30.08	100%
	16:00-14	50.195	94	20	21.36	100%
	16:15-29	52.507	35	21	60.01	100%
	17:15-29	29.488	27	12	43.69	95%
	17:30-44	70.138	29	28	96.74	100%
17:45-59	39.137	41	16	38.18	100%	
18:15-29	40.911	31	16	52.79	100%	
18:30-44	40.324	49	16	32.92	100%	

구간명	시간	분산	N	n	표본율	허용율
삼성역 -> 종합전시장	10:30-44	66.197	143	26	18.52	100%
	11:45-59	61.291	76	25	32.26	100%
	12:00-14	78.849	70	32	45.06	100%
	13:45-59	77.284	38	31	81.35	100%
	14:00-14	95.506	47	38	81.28	90%
	14:45-59	72.139	53	29	54.44	25%
	15:00-14	70.300	47	28	59.83	100%
	15:15-29	96.999	34	39	114.12	100%
	15:30-44	75.820	50	30	60.66	100%
	15:45-59	89.134	42	36	84.89	15%
17:00-14	43.662	47	17	37.16	50%	
탄천2교 ->휘문교교	7:00-14	38.280	38	15	40.29	100%
	7:15-29	57.971	56	23	41.41	90%
	9:00-14	56.314	61	23	36.93	65%
	9:15-29	47.784	65	19	29.41	90%
	9:45-59	31.689	60	13	21.13	100%
	10:15-29	26.926	77	11	13.99	100%
	11:15-29	36.058	74	14	19.49	100%
	11:30-44	64.475	69	26	37.38	100%
	11:45-59	34.756	84	14	16.55	100%
	12:00-14	28.686	65	11	17.65	100%
	12:30-44	32.259	71	13	18.17	100%
	12:45-59	32.289	77	13	16.77	100%
	13:15-29	96.370	67	39	57.53	100%
	13:30-44	72.587	101	29	28.75	100%
	13:45-59	46.482	101	19	18.41	85%
	14:00-14	53.536	125	21	17.13	100%
	14:15-29	85.992	96	34	35.83	100%
	14:30-44	57.826	84	23	27.54	100%
	14:45-59	34.360	31	14	44.33	100%
	15:00-14	25.932	43	10	24.12	40%
	15:15-29	48.576	47	19	41.34	100%
	15:45-59	75.608	72	30	42.00	100%
	17:15-29	94.699	101	38	37.50	100%
17:30-44	44.931	108	18	16.64	90%	
18:15-29	72.373	99	29	29.24	100%	
18:30-44	28.796	140	12	8.23	100%	

주)

- * 분산 : 15분 모집단의 분산
- * N : 모집단의 구간 통행속도 자료수
- * n : 최소표본 결정식에 의한 최소표본수
- * 표본율 : $(n/N)*100$
- * 허용율 : 비복원 임의추출(20회)하여 얻은 표본의 평균과 모집단의 평균차가 허용오차 범위안에 드는 비율(분산이 100이상일 경우엔 허용오차 5km/h 적용, 100이하일 경우엔 10km/h 적용함)

- 교통상황이 혼잡한 경우

구간명	시간	분산	모집단수	표본수	표본율	허용율
삼성역 -> 종합전시장	7:45-59	225.132	42	23	53.60	100%
	8:15-29	161.541	44	16	36.71	55%
	8:30-44	250.097	50	25	50.02	100%
	8:45-59	161.355	40	16	40.34	100%
	9:00-14	152.830	69	15	22.15	90%
	9:15-29	180.684	51	18	35.43	100%
	9:30-44	118.705	69	12	17.20	95%
	9:45-59	185.242	72	19	25.73	100%
	10:00-14	153.046	88	15	17.39	100%
	10:15-29	129.243	91	13	14.20	95%
	10:45-59	117.382	109	12	10.77	100%
	11:00-14	124.845	151	12	8.27	100%
	12:15-29	118.832	30	12	39.61	100%
	14:15-29	114.509	49	11	23.37	100%
	16:00-14	134.981	37	13	36.48	100%
16:15-29	174.404	19	17	91.79	95%	
16:30-44	153.985	36	15	42.77	100%	
16:45-59	100.628	25	10	40.25	80%	
쌍용아파트 ->탄천2교	14:00-14	122.529	95	12	12.90	100%
탄천2교 -> 삼성역	7:00-14	38.280	38	4	10.07	100%
	15:30-44	118.371	81	12	14.61	65%
	16:15-29	132.937	106	13	12.54	85%
	16:30-44	141.973	101	14	14.06	90%
	16:45-59	132.310	108	13	12.25	90%
	17:00-14	186.887	102	19	18.32	100%
	17:45-59	148.169	93	15	15.93	100%

제안식에 의해 결정된 최소표본수 만큼 표본 추출하여 얻은 평균구간통행시간을 보면 총 84개의 15분 분석 단위 중 10개의 분석시간대만이 허용오차를 벗어나는 88%의 허용율을 보였다. 그러나 허용율(쌍용아파트->탄천2교, 12:45-59)이 0%인 분석시간대도 나타나는데, 분석시간대 내에서 급격한 교통상황변화가 있었거나 조사상의 오류가 포함되었기 때문인 것으로 분석된다.

IV. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 신뢰성 있는 실시간 교통정보 수집을 위한 구간 검지체계 설계 시 필요한 최소표본수 결정에 필요한 통계적 결정식을 제안하였으며, 실측 차량번호판 매칭 방법에 의한 수집된 구간 통행시간 자료에 결정식을 적용하고 결과를 검증하였다. 그 결과 88%의 허용율을 얻었으며, 이 결과는 분석대상지역내의 특정 교통상황에 대한 결과치이다.

본 논문에서 제안한 최소 표본수 결정식에는 교통상황별 속도편차와 오차 한계값이 요구되는데, 이 중 속도편차의 값은 각 구간의 상황에 따라 달라 질 수 있다. 좀더 정확한 최소 표본수 결정을 위해서는 각 구간의 속도편차와 교통상황에 대한 관계가 먼저 규명되어야

할 것이나 이를 위해서는 현장조사와 함께 더 많은 연구과정이 요구되기 때문에 본 연구에서는 실측자료 분석결과 경험치로서 속도 편차값을 10km/h로 가정하였다. 또한 표본평균과 모평균의 비교 시 오차한계는 교통상황별 5km/h와 10km/h의 값을 적용하였으나 실제 교통정보 제공을 위한 신뢰성 있는 구간통행시간 정보 산출을 위해서는 오차한계를 5km/h 이하로 조정하는 것이 바람직하다고 할 수 있다. 또한 구간의 교통상황에 따른 영향을 반영한 더욱 일반화된 결정식 보정이 향후 연구되어야 할 것이다.

참고문헌

1. SK(주) 교통정보시스템 기초설계 최종보고서, 서울 시립대학교 부설 도시과학 연구원, 1999
2. 김우철의 편저, 현대통계학, 영지문화사
3. H.Douglas Robertson의 2명, Manual of Transportation Engineering Studies, Institute of Transportation Engineering,