

신호교차로의 정지차량비 추정을 통한 링크통행속도 모델에 관한 연구 A Study of Link Travel Speed Model using Estimation of the Ratio of Stop Vehicle

이영우, 임채문, 이주호
Young-Woo Lee*, Chae-Moom Lim**, Ju-ho Lee***

<Abstract>

The purpose of this thesis is to develop a simulation model to estimate link travel speed applicable to urban street transportation planning for interrupted traffic flow, influenced by signalized intersection. This link travel speed model is expected to be a better and more than previous studies.

Key words : Link travel time, Ratio of stop vehicle, Signal node

1. 서론

교통문제 해결을 위해서는 종합적이고 체계적인 연구를 통한 정확한 교통예측과 이를 이용한 교통계획이 유기적으로 이루어지는 것이 바람직하다.

단속류에서의 교통예측을 위한 가장 기본적인 단위가 링크이며, 단속류 교통망에서의 최적경로, 최단경로 등의 교통상황을 예측하기 위해서 가장 기본이 되는 요소가 링크 통행속도이다.

그러나 이러한 링크 통행속도는 물리적인 도로시설에 의한 조건을 의미하는 도로조건, 교통류 특성을 의미하는 교통조건, 교통흐름의 단절을 가져오는 교차로의 신호 운영방식을 의미하는 운영조건 등 여러 가지 특성으로 인해 합리

적이고 단순화된 하나의 모형식으로 나타내는 것이 상당히 어려운 실정이다. 그러나, 이러한 어려움에도 불구하고 링크통행속도 예측모형은 반드시 필요한 것이다.

본 연구에서는 도시가로의 단속류 교통계획에 정확성을 기하고 바람직한 교통계획을 실시할 수 있도록 도시가로의 교통예측에 적용할 수 있는 합리적인 링크 통행속도 예측모형을 구축하고자 하였다.

2. 자료수집 및 방법

2.1 조사지점

조사지점 선정은 대구시 가로를 대상으로 차로수 및 위치를 고려하여 선정하였다. 대구시의

* 정회원, 대구대학교 건설환경공학부 겸임교수, 工博
E-mail : lyw209@hotmail.com

** 정회원, 대구대학교 건설환경공학부 교수, 工博
E-mail : cmlim@daegu.ac.kr

*** 정회원, 대구대학교 산업기술연구소 연구원, 工博
E-mail : leejh6906@korea.com

* Assistant Prof., Lecturer, Department of Construction & Environmental Engineering, Daegu University

** Assistant Prof., Professor, Department of Construction & Environmental Engineering, Daegu University

*** Assistant Prof., Researcher, Institute of Industrial & Technology, Daegu University

가로망은 300여 개의 교차로와 링크로 구성되어 있으며, 환상방사형을 이루고 있다. 이들 가로 중에 비교적 교통량이 많고, 시장 주변 등과 같이 특수한 교통현상에 의한 영향이 적은 가로를 조사지점으로 선택하였으며, 지하철 공사구간은 조사대상에서 제외하였다.

조사지점 선정은 Table. 1과 같이 다양성을 고려하여 총 23개 가로구간을 조사하였다.

Table. 1 Investigation result to link

구 분	차 로 수			
	2차로	3차로	4차로	계
1차 순환선	-	5	1	6
2차 순환선	-	4	-	4
3차 순환선	2	3	1	6
기타지역	5	-	2	7
계	7	12	4	23

2.2 조사 방법

본 연구를 위해 차량번호판 조사에 의한 방법과 비디오 카메라 촬영에 의한 자료수집 방법을 병행하여 조사를 실시하였다.

조사는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 상류부 교차로와 하류부 교차로에 조사원을 배치하여 동일하게 시간을 맞춘 후 교차로의 정지선을 통과하는 차량의 번호를 조사원이 카세트 레코드에 음성으로 입력하였으며, 각 유출부 교차로에서는 비디오 카메라로 촬영을 실시하였다.

비디오 카메라 촬영화면의 재생과 녹음기에 입력된 차량번호를 동시에 분석하여 유출·입시간을 측정하였다.

유·출입시간은 교차로 유입부 정지선을 통과하는 시간을 측정하는 것이 바람직하나 방향별 자료를 효율적으로 구하기 위해 교차로의 유출부 통과시간을 측정하였다.

또한 조사자료의 정확성을 높이기 위해 자료수가 다소 줄어들더라도 차량번호가 중복되어 명확하지 않는 것은 자료에서 제외하였으며, 교차로간의 구간길이를와 차량속도 그리고 두 교차로 사이의 통과시간차를 고려하여 통행시간의

최대 및 최소시간을 설정하였으며, 이 한계에서 벗어나는 자료는 분석 대상에서 제외하였다.

구간길이는 유입부 교차로의 링크 시작지점에서 유출부 교차로에서 완전히 유출할 때까지로 설정하여 조사하였으며, 보다 현장여건을 잘 대변할 수 있는 자료를 수집하기 위해 3개 교차로 2개의 가로 구간을 동시에 선택하여 조사하였다.

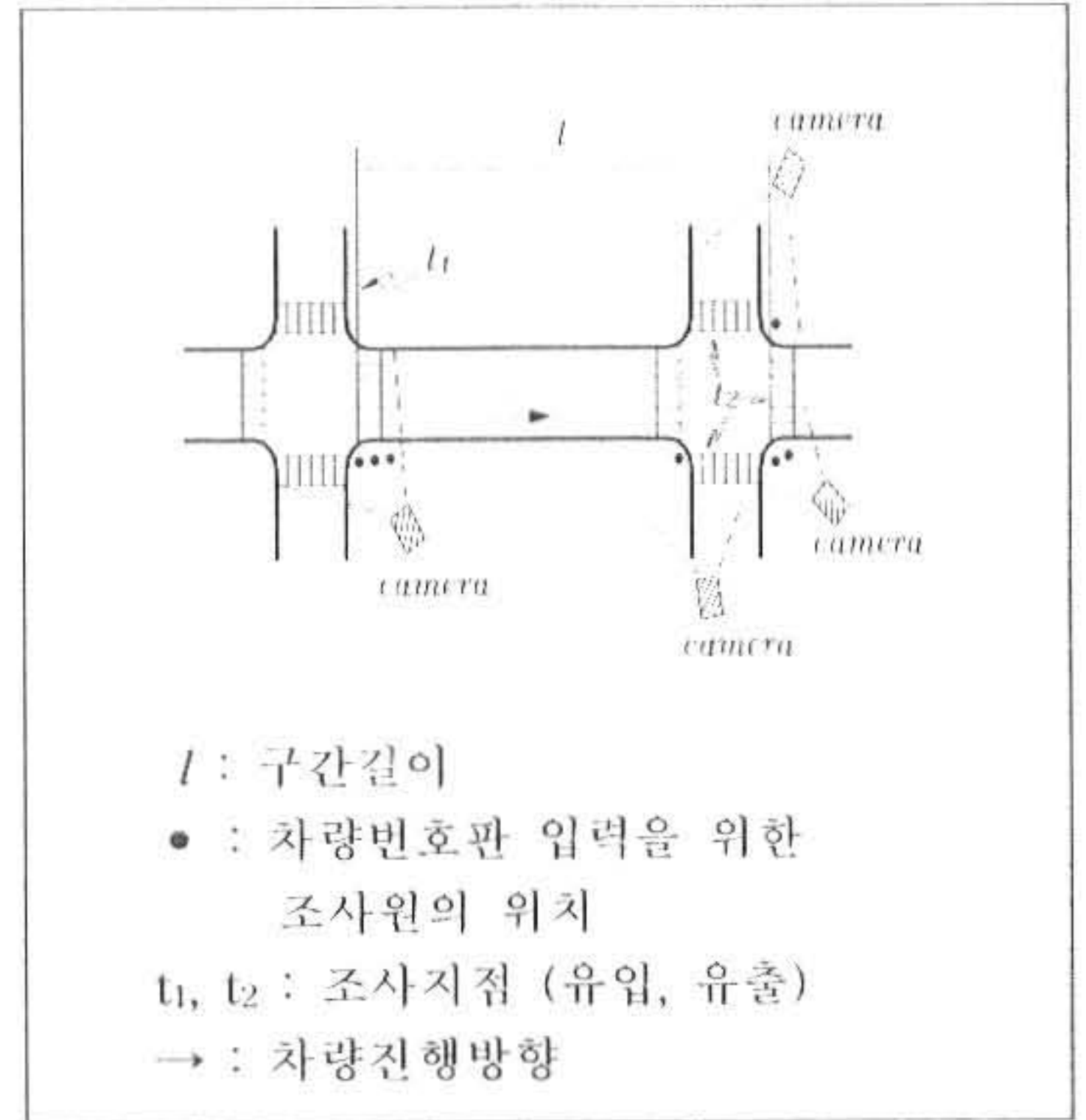


Fig. 1 methods by Field investigation

2.3 조사내용

대상가로의 교통량은 주기별로 조사하였으며, 직진, 좌·우회전 및 U-turn 교통량을 구분하여 조사하였다.

또한, 차종에 따른 영향을 고려하기 위하여 승용차, 버스, 중형, 대형차 및 기타 차량으로 구분하였다. 가로 기하조건으로는 차로수를 고려하여 2차로, 3차로, 4차로 이상으로 구분하여 조사하였으며, 신호조건은 신호주기 및 각 방향별 현시율, offset을 조사하였다.

주변 이면가로 유·출입구수, 버스정류장수, 노상 주차장 등을 조사대상에 포함하였으며, 주차는 위치 및 주차대수가 불규칙하기 때문에 충분히 반영하기 어려운 점을 감안하여 조사대상에서 제외하였다.

3. 조사자료의 특성분석

3.1 시설 및 신호운영 현황

23개 조사대상 가로의 구간길이는 206m~866m로 다양하게 나타났으며, 차로는 편도 2차로에서 5차로로 조사되었다. 신호주기는 대부분 140초로 나타났으며, 120초~160초로 다양하게 나타났다. 신호현시는 차이가 있으나 대부분 4현시로 운영되고 있다.

3.2 정지차량비 산정

정지차량비를 이용하여 링크 통행속도 예측모형을 구축하기 위해 먼저 정지차량과 비정지차량을 구분하여 정지차량비를 구하였으며, 다음으로 통행속도를 구하였다. 정지차량과 비정지차량 구분은 유입부 교차로와 유출부 교차로의 연동을 고려하여 적색시간에 교차로에 도착한 차량과 녹색시간에 교차로에 도착하였지만 통과하지 못하고 다음주기에 통과한 차량을 정지차량으로 구분하였으며, 교차로에 도착하기 전에 녹색신호가 들어오고 그 신호에 통과한 차량을 비정지차량으로 분류하였다. 여기서 접근지체에 의해 잠시 정지하는 차량도 그 신호시간에 통과하면 비정지차량으로 분류하였다. 즉, 접근지체를 무시하고 실제 정지하더라도 교차로 도착 이전에 들어온 녹색시간에 통과하는 모든 차량을 비정지차량으로 분류하였다. 정지차량비는 상류부 교차로에서 유입된 총 통행차량 중 정지차량의 대수로 구하였다.

통행속도의 산정은 상류부 교차로에서 유입하여 하류부 교차로로 유출된 차량의 속도로 차량이 링크 구간을 통행한 속도이므로 시간평균속도보다 공간평균속도를 적용하여 산정하는 것이 적합한 것으로 판단된다. 따라서 각 가로의 통행차량의 주행거리 합을 통행차량의 통행시간 합으로 나누어 조화평균하여 공간평균속도를 산정하였다.

4. 속도 Model의 구축을 위한 검토

4.1 차량정지비에 의한 방법

1979년 Herman, Prigogine는 도시가로의 단속류에 대해 링크를 주행하는 차량의 정지 비율을 이용하여 평균속도를 식 (1)과 같이 나타내었다.

$$u = u_f(1 - F_s) = u_f F_r \quad (1)$$

여기서, u : 차량의 평균통행속도

u_f : 차량의 자유속도

F_s : 차량의 정지비

F_r : 차량의 정지하지 않은 비

도시가로와 같이 신호등에 영향을 받는 링크의 속도는 교차로의 영향에 의해 결정되어진다고 할 수 있다. 교차로에서의 영향으로는 연동에 따른 영향, 신호형태에 의한 영향이 대부분을 차지하게 되며 실질적으로 차량의 출발 등에 따른 손실은 경미한 것으로 판단된다. 즉, 교통용량 이하인 경우에는 녹색시간에 도착하느냐 적색시작시간에 도착하느냐에 따라 차량의 링크 통행속도는 크게 차이가 난다.

이러한 관점에서 볼 때, 차량정지비에 의한 방법은 다양한 신호형태에 따라 변화하게 되는 교통흐름을 설명하는데 있어서 유용한 방법의 하나로 판단된다.

링크를 통행하는데 있어서 하류부 교차로에서 신호상황에 의한 정지현상에 의해 링크통행속도는 결정적인 영향을 미치는 것으로 판단할 수 있으며 이러한 현상은 개별 차량의 정지비에도 영향을 줄 수 있으나 상류부 교차로를 통해 링크에 유입된 전체차량 중 정지를 경험하는 차량의 비율에도 영향을 줄 것으로 예상할 수 있다. 정지차량비의 경우 상류부 교차로에서의 유입과 하류부 교차로에서의 유출의 다양한 형태를 포괄적으로 정지라는 형태로 잘 설명할 수 있다고 판단된다. 이러한 이유로 정지차량비를 이용하여 링크 통행속도 예측모형을 구축하는 것이 적용에 간편하면서도 합리적인 모형의 구축이 가능할 것으로 판단된다.

따라서, 본 논문에서는 복잡한 신호형태를 설명하는데 유용한 변수로 판단되는 정지차량비를 이용하여 링크 통행속도 예측모형을 구축하여 적용성이 높은 합리적인 모델을 구축하고자 하였다.

4.2 통행속도와 정지차량비의 관계

통행속도를 정지차량비를 변수로 하여 예측모형을 구축하기 위해 먼저 통행속도와 정지차량비의 관계를 도식화하여 상호 상관성에 대해 살펴보았다. 통행속도와 정지차량비의 조사자료는 각 가로에서 주기별 평균속도와 정지차량비

를 조사하여 되도록 많은 자료를 사용하였다.

먼저, 통행속도와 정지차량비의 관계를 도식화 해보면 Fig. 2와 같으며 일정한 상관관계를 가지는 것으로 판단된다.

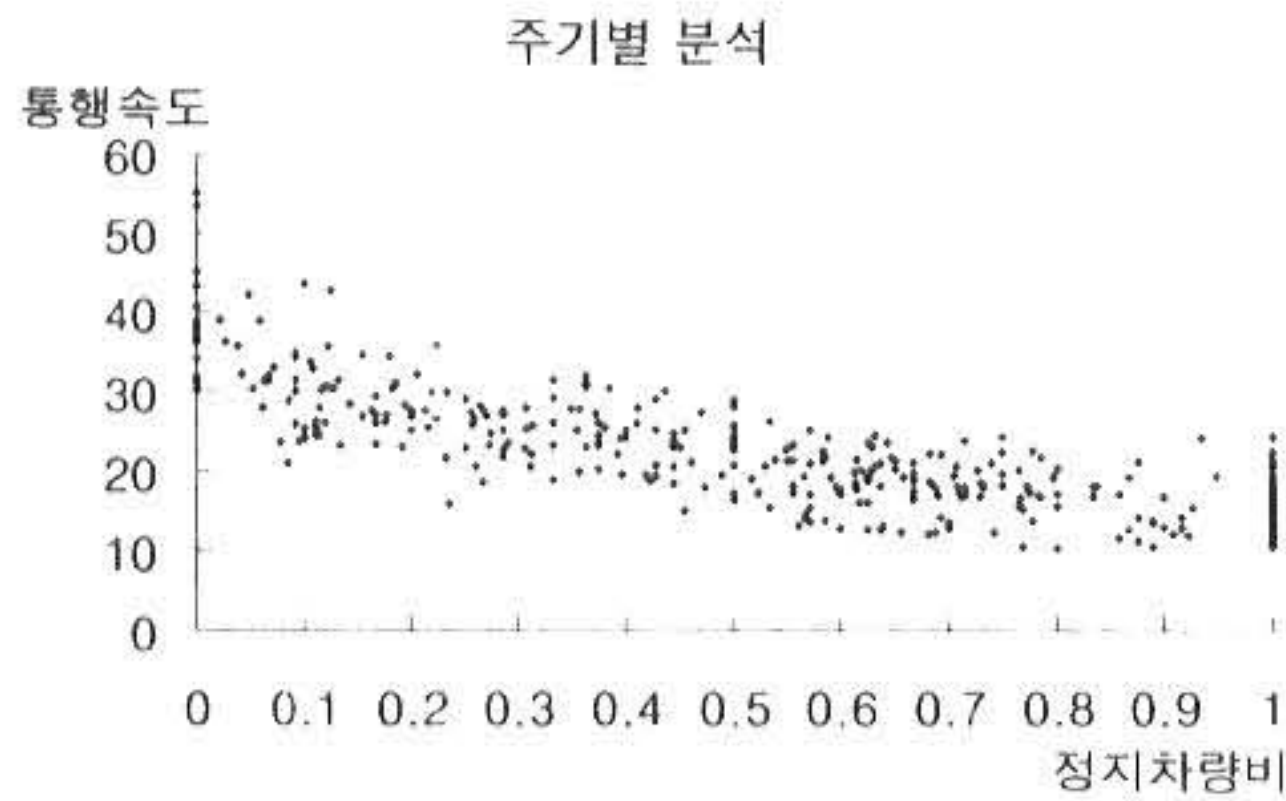


Fig. 2 Correlation with travel time and stop vehicle rate

5. 링크 통행속도 모델 구축

앞에서 살펴본 통행속도와 정지차량비의 관계를 직선식, 지수식, 대수식의 수학적 모델을 적용하여 회귀분석을 실시하였다. 그리고 모델의 적용성을 높이기 위해 실측에 어려움이 있는 정지차량비를 링크의 도로조건, 신호조건 등의 변수를 이용하여 예측할 수 있는 모델을 구축하였다.

이렇게 구축된 정지차량비 예측모형을 링크 통행속도 모형에 적용하여 최종적으로 도로조건, 신호조건 등에 의해 예측된 정지차량비를 이용한 링크통행속도 예측모형을 구축하였다.

5.1 정지차량비를 이용한 회귀모형

먼저, Fig. 2에 나타난 정지차량비와 통행속도의 관계를 구체적인 수학적 모형에 적용하여 분석하여 어떤 모형이 상호관계를 가장 잘 설명하는지 분석을 실시하였다.

5.1.1 직선모형

먼저 이론적 배경에서 살펴본 차량정지비를 변수로 통행속도를 구하는 식 (1)을 적용하여 직선모형을 구축하고자 하였다.

그러나 이 식은 차량정지비가 1이 되었을 때 통행속도는 0이 된다. 그러나 정지차량비가 1이 되어도 통행속도는 0이 될 수 없다. 따라서 개별차량의 정지비에 의한 통행속도 모형을 그대로 적용할 수는 없다. 이러한 문제를 해결하기

위해 식 (1)에 변수를 하나 삽입하여 변형식을 구축하였다.

변형식은 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$u = u_f(1 - XF_s) \quad (2)$$

기본식에 X라는 계수값을 삽입함으로써 F_s 가 1이 되었을 때 통행속도가 0이 되는 것을 방지할 수 있다.

식 (2)를 기본식으로 회귀분석을 실시하여 식 (3)과 같이 링크 통행속도 예측 모형을 구축하였다.

$$u = 32.462(1 - 0.593F_s) \quad R^2 = 0.643 \quad (3)$$

식 (3)을 적용하여 그래프를 그려보면 Fig. 3과 같이 나타난다.

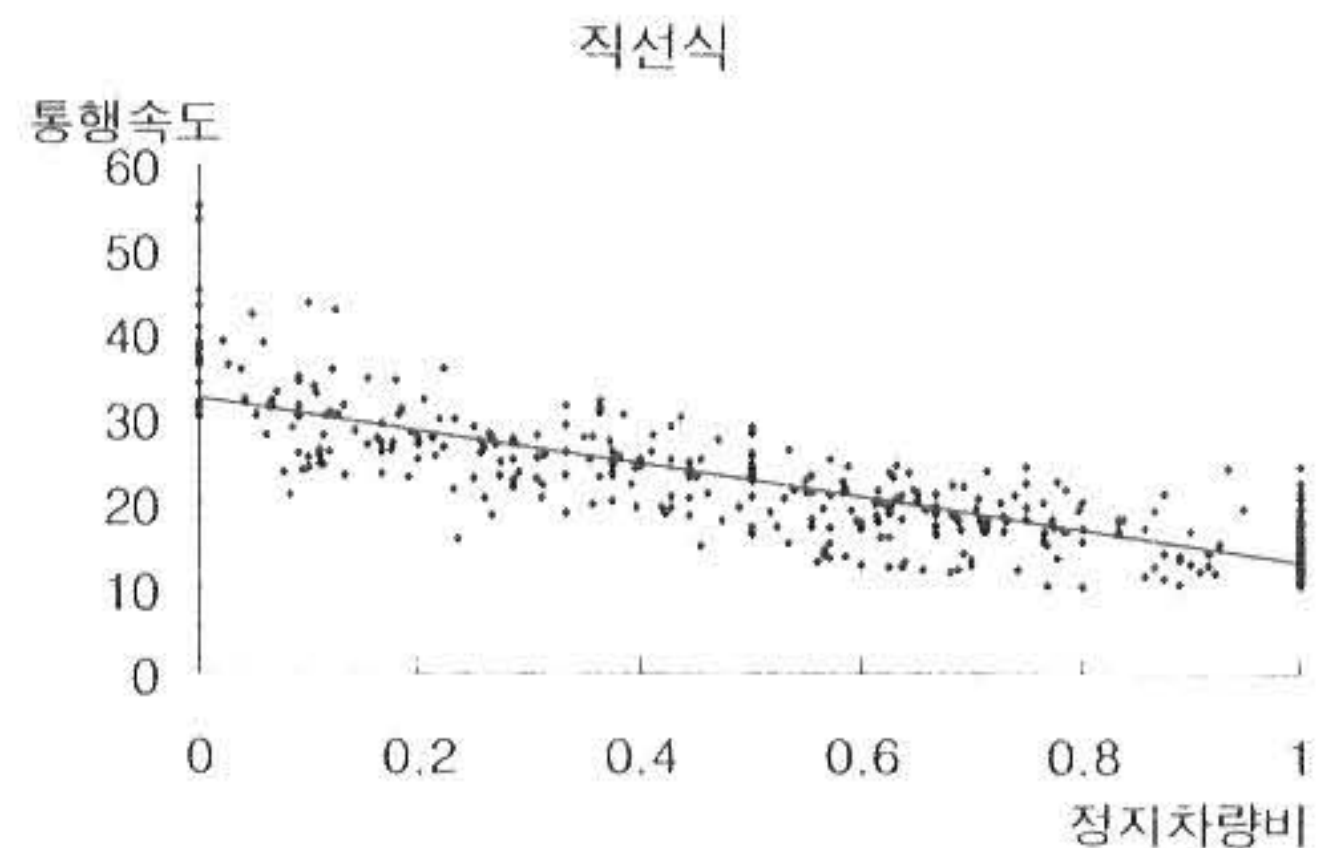


Fig. 3 Result of Regression to linear model

직선모형의 회귀분석 결과를 살펴보면 정지차량비가 0이 되었을 때 즉, 신호등에 의해 통행에 제한을 받아 정지했다가 통행한 차량이 한 대도 없을 때의 통행속도가 32.46 km/h로 나타났으며, 정지차량비가 1일 때 즉, 모든 차량이 신호제약에 의해 일단 정지하였다가 통행했을 때 통행속도가 13.21 km/h로 나타났다.

5.1.2 대수모형

정지차량비와 통행속도의 관계를 대수식으로 분석을 실시하였으며, 대수모형의 구축을 위한 기본식을 식 (4)와 같이 나타내었다.

$$u = a \ln\left(\frac{X}{F_s}\right) \quad (4)$$

식 (4)를 기본식으로 회귀분석을 실시하여 모형을 구축한 결과 식 (5)와 같이 분석되었다.

$$u = 6.140 \ln\left(\frac{14.575}{F_s}\right) \quad R^2 = 0.694 \quad (5)$$

구축된 식 (5)를 적용한 그래프는 Fig. 4와 같다.

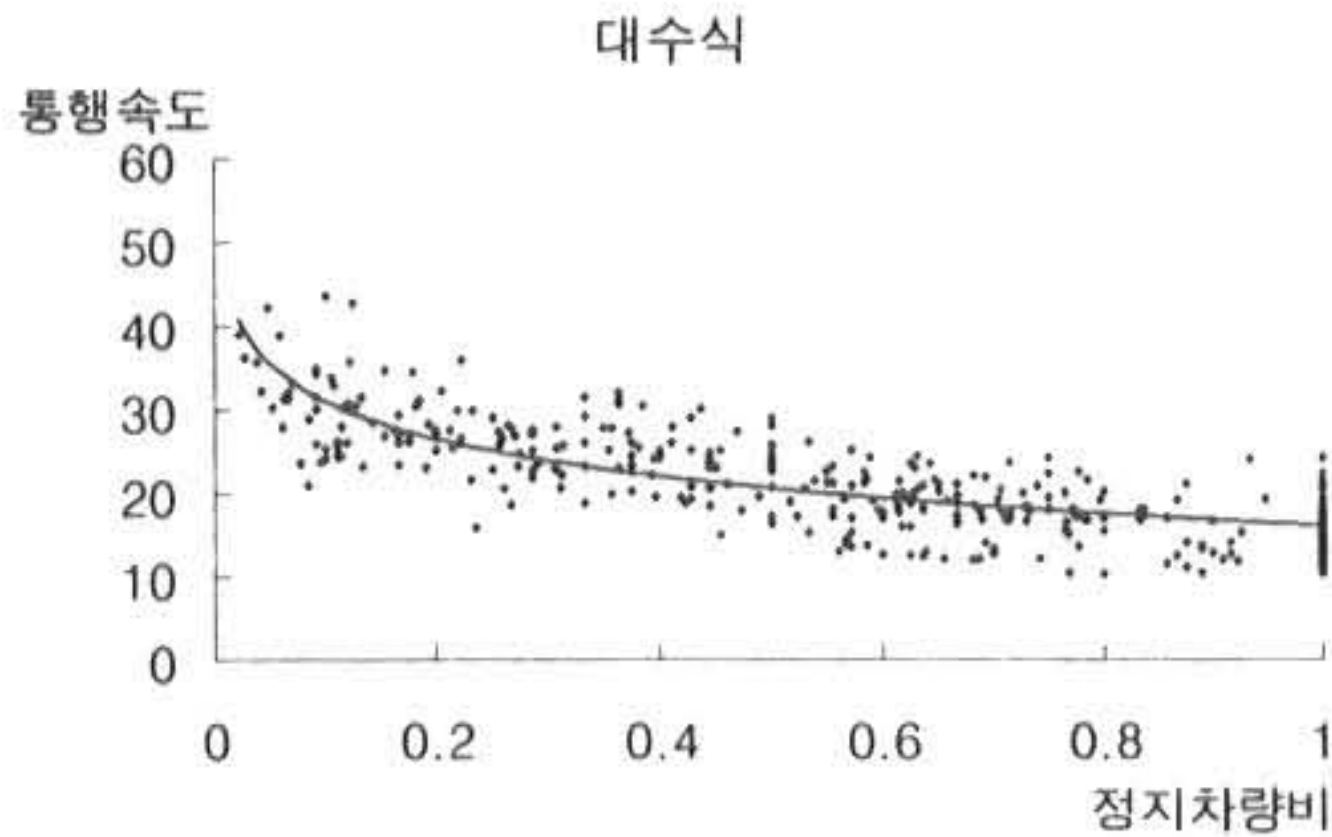


Fig. 4 Result of Regression to ln model

5.1.3 지수모형

정지차량비와 통행속도의 관계를 지수식의 형태로 나타내면 식 (6)과 같은 기본식으로 표현할 수 있다.

$$u = u_f e^{\left(-\frac{F_s}{X}\right)} \quad (6)$$

식 (6)을 기본식으로 회귀분석을 실시하여 모형을 구축한 결과 식 (7)과 같이 나타났다.

$$u = 33.069 e^{\left(-\frac{F_s}{1.183}\right)} \quad R^2 = 0.656 \quad (7)$$

식 (7)을 적용하여 그래프를 나타내면 Fig. 5와 같다.

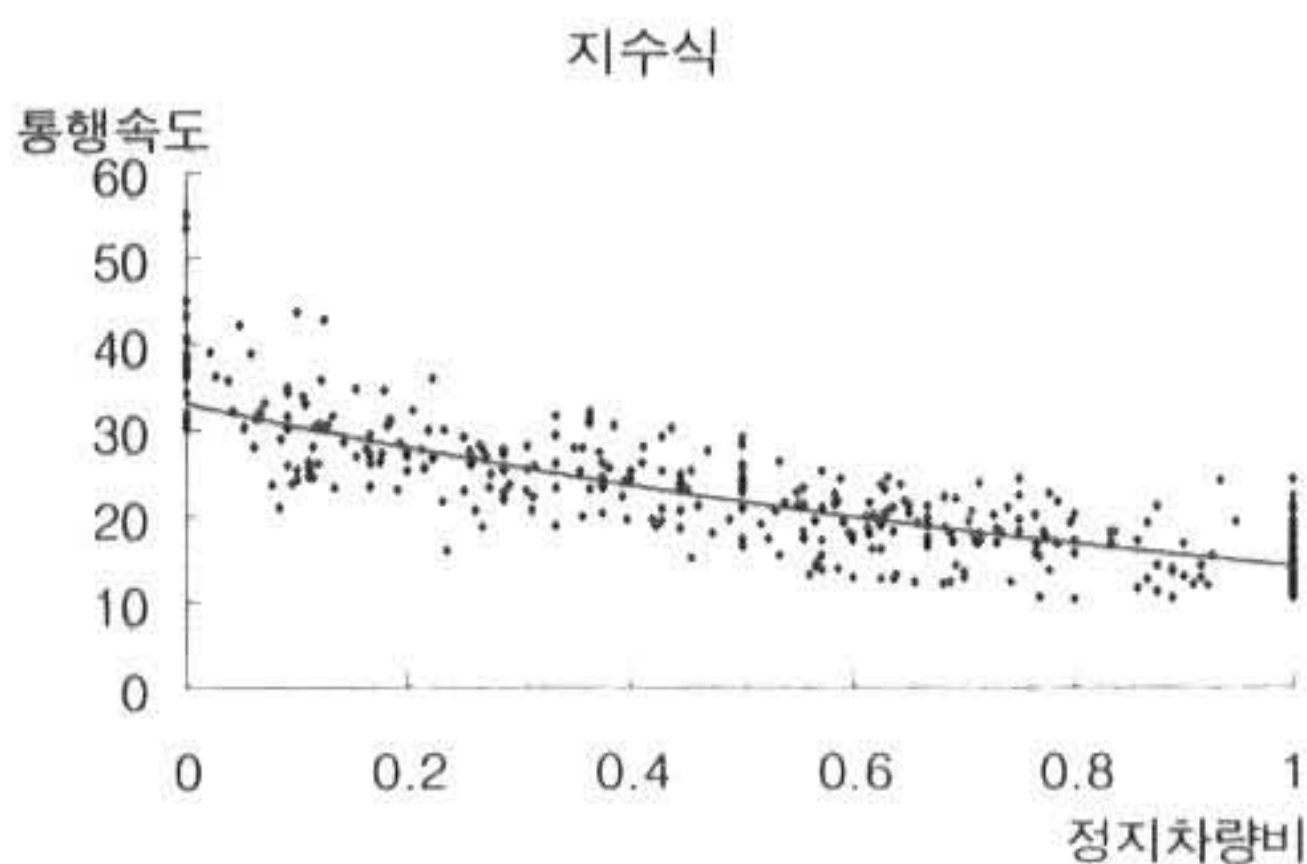


Fig.5 Result of Regression to index model

5.1.4 분석결과의 비교·검토

수학적 모델식에 적용하여 회귀분석을 실시하여 각 모델식의 R^2 를 비교한 결과 정지차량비와 통행속도의 관계를 가장 잘 대변할 수 있는 모델식은 대수식이라고 판단된다.

각 모델식의 회귀분석 결과를 Table. 2에 나타내었다.

Table. 2 Analysis result to each model

구분	모형식	결정계수(R^2)
직선식	$u = 32.462(1 - 0.593F)$	0.643
대수식	$u = 6.140 \ln\left(\frac{14.575}{F_s}\right)$	0.694
지수식	$u = 33.069 e^{\left(-\frac{F_s}{1.183}\right)}$	0.656

5.2 정지차량비 추정 다중회귀모형 구축

링크 통행속도 예측모형 구축결과 정지차량비는 링크 통행속도 예측에 높은 적합성을 가지는 것으로 분석되었다.

그러나 본 연구를 수행하기 위한 조사분석을 실시한 결과 정지차량비의 직접 관측에 많은 어려움이 있어 적용성에 문제가 있을 것으로 판단되었다. 그러므로 일반적으로 조사 가능한 도로 조건, 신호조건 등을 이용하여 정지차량비의 추정함으로써 적용성을 높일 수 있을 것이다.

따라서, 본 연구에서는 정지차량비 추정 모형을 구축하기 위해 링크의 도로조건과 신호조건 등의 조사자료를 변수로 사용하여 다중회귀분석을 실시하였다.

5.2.1 변수들의 상관관계분석

정지차량비와 각 가로의 변수들과의 상관성을 알아보기 위해 상관분석을 실시하였다. 링크 통행속도의 경우 하류부 교차로에서의 연동에 의해 가장 큰 영향을 받을 것으로 예상할 수 있다. 따라서 연동에 영향을 주는 변수인 구간 길이와 offset을 통합하여 구간길이 대 offset 비를 이용하여 하나의 변수로 사용하였다.

상관분석을 실시한 결과 가장 정지차량비와 높은 상관성을 가지는 것으로 구간길이/offset 비가 상관계수 0.785로 가장 높은 상관성을 가

지는 것으로 나타났으며, 다음으로 하류부의 녹색시간과 g/C가 높은 상관성을 가지는 것으로 분석되었다. 그러나 녹색시간과 g/C 두 변수는 서로 다중공선성의 문제가 발생하고 있어 본 연구에서는 도입변수로 두 변수 중 상관성이 조금 더 높은 하류부 녹색시간을 결정하였다. 다른 변수들의 경우 유의할 만한 상관성을 가지지 못하는 것으로 분석되었다.

Table. 3 Result to correlation analysis

구분	정지차량비	거리 / offset	차로수	유출·입구수	g/C	버스정류장	주기	green
정지차량비	1.000							
거리 / offset	-0.786	1.000						
차로수	-0.430	0.265	1.000					
유출·입구수	0.042	0.060	0.217	1.000				
g/C	0.516	0.478	0.407	-0.281	1.000			
버스정류장	0.127	-0.103	-0.023	0.369	0.039	1.000		
주기	-0.105	-0.009	0.380	-0.117	0.020	0.259	1.000	
green	-0.521	0.467	0.455	-0.294	0.990	0.071	0.159	1.000

5.2.2 다중회귀분석

상관관계분석에서 살펴본 바와 같이 다중공선성의 문제가 있는 변수를 제외하고 거리 /offset과 하류부 녹색시간을 변수로 하여 다중회귀분석을 실시하였다.

다중회귀분석결과 정지차량비 예측 모형은 식 (8)과 같다.

$$P_s = 92.579 - 0.442 \times GT - 0.827 \times L / offset \quad (R = 0.678) \quad (8)$$

- 여기서, P_s : 차량정지비
- GT : 하류부 녹색시간
- L : 링크 구간거리
- $offset$: 상·하류 녹색신호 간격

5.3 통행속도 모형구축

정지차량비를 이용한 링크 통행속도 예측모

형 분석결과 가장 상관성이 높은 회귀모형이 대수모형인 것으로 분석되었기 때문에 대수모형에 구축된 정지차량비 예측 모형을 적용하여 최종적인 예측 정지차량비를 이용한 링크 통행속도 예측모형을 구축하였다. 구축결과는 식 (9)와 같다.

$$u = 6.140 \ln \left(\frac{14.575}{92.579 - 0.442 \times GT - 0.827 \times L / offset} \right) \quad (9)$$

식 (9)와 같이 구축된 최종 링크 통행시간 예측모형을 이용하여 예측한 통행속도와 실제 조사된 통행속도와의 속도 차를 살펴보면 Fig. 6과 같다.

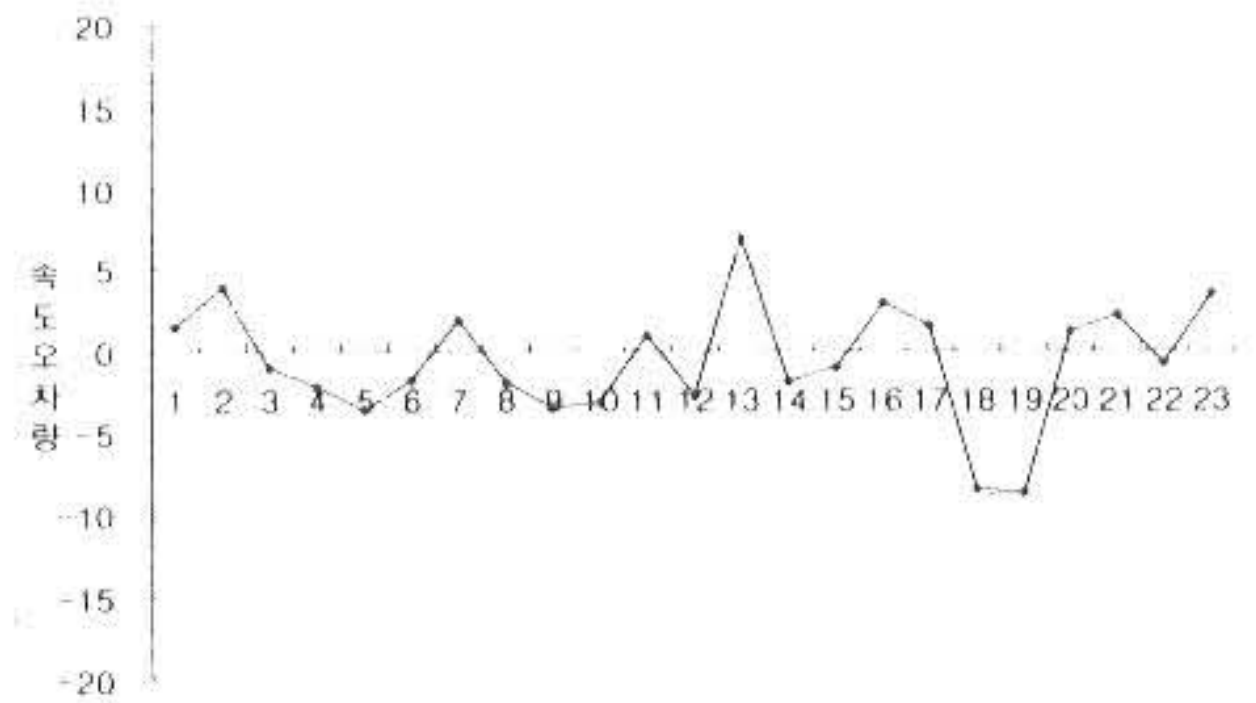


Fig. 6 Error value by estimation to speed

Fig. 6을 살펴보면 23개 가로 중 3개 가로를 제외하고 모든 가로의 링크 통행속도 예측값과 실측값의 오차량이 5km/h 이내인 것을 확인할 수 있으며, 23개 모든 가로가 10km/h 이내의 속도오차를 나타내는 것으로 분석되었다.

속도 예측값 오차를 통계적으로 살펴보기 위해 기술적 통계분석을 실시하였다. 분석결과는 Table. 4에 나타내었다.

Table. 4 Statistical analysis to estimation speed

평균	표준오차	표준편차	최소값	최대값
-0.595	0.767	3.680	-8.678	7.053

기술적 통계분석 결과 23개 가로 중 최대 오차는 -8.678km/h로 나타났다. 그러나 표준오차의 경우 0.787로 분석되었으며, 표준편차가 3.680으로 분석되어 속도 예측결과는 양호한 것으로 판단된다.

6. 결 론

본 논문에서는 신호등의 영향을 받고 있는 도시가로에 적용할 수 있는 링크의 통행속도 예측모형을 구축하였다. 이 모형은 링크의 도로 조건, 교통조건 등을 조사하여 링크 통행속도 예측에 적합한 정지차량비를 예측하고 예측된 정지차량비를 적용하여 링크 통행속도를 보다 합리적이고 정확하게 예측할 수 있는 링크통행속도 예측모형을 구축하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 통행속도를 정지차량비를 이용하여 분석한 결과 높은 상관관계를 가지고 있는 것으로 분석되었으며, 통행속도와 정지차량비와의 관계는 비선형의 관계를 가지는 것으로 나타났다.
- (2) 회귀분석결과를 이용하여 정지차량비를 이용한 링크 통행속도 예측모형을 구축하였으며, 그 결과 대수모형이 가장 적합한 것으로 분석되었다.
- (3) 예측된 정지차량비를 적용한 링크 통행속도 최종 모형은 다음과 같으며, 적용결과 표준오차가 0.767로 나타나 양호한 예측결과를 나타내는 것으로 분석되었다.

$$u = 6.140 \ln\left(\frac{14.575}{92.579 - 0.442 \times GT - 0.827 \times L / \text{offset}}\right)$$

본 논문에서는 정지차량이 교차로에서 신호등에 의해 1회 정지한 경우만을 분석 대상으로 하였다. 정체가 극심하여 교차로에서 신호를 2회 또는 3회 계속 기다리게 되는 경우는 제외하였다. 앞으로 정체가 심각한 상황에 대한 연구가 더 진행되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

- 1) 공창환, 가로지체요인에 관한 기초적 연구, 영남대학교 대학원 석사학위논문, (1991)
- 2) 김성우, 도시내 다차로 도로의 교통류 특성 및 모형 연구, 대한교통학회, pp.23 (1996)
- 3) 임채문, 이주호, 이영우, 도로공사 중 교통류 분석에 관한 연구, 대한토목학회, pp.5 (1997)
- 4) D May. Apolf, Traffic Flow Fundamentals, university of California Berkeley, (1997)
- 5) Fambro, D. and Messer, C., Estimating Delay at Coordinated Signalized Intersections, Proceeding of the International Symposium on Highway Capacity, Karlsruhe, pp127~144, 24-27 (1991)
- 6) TRB, Highway Capacity Manual, Transportation Research Board National Research Council. (1994)

(2003년 3월15일 접수, 2003년 11월20일 채택)