

■ 論 文 ■

교차로 지체를 고려한 통행시간함수 개발

Development of Travel Time Functions Considering Intersection Delay

오 상 진

(충북대학교 도시공학과 박사수료)

박 상 혁

(충북대학교 도시공학과 석사과정)

박 병 호

(충북대학교 도시공학과 교수)

목 차

<p>I. 서론</p> <p>II. 기존이론의 검토</p> <p style="padding-left: 20px;">1. 통행시간함수의 기존이론</p> <p style="padding-left: 20px;">2. 개선방안 연구동향</p> <p style="padding-left: 20px;">3. 본 연구의 차별성</p> <p>III. 통행시간함수의 정립</p> <p style="padding-left: 20px;">1. 문제제기 및 함수정립의 기본방향</p> <p style="padding-left: 20px;">2. 순행시간 함수의 구성</p> <p style="padding-left: 20px;">3. 교차로 지체시간 함수 구성</p>	<p style="padding-left: 20px;">4. 통행시간함수 구축</p> <p>IV. 함수의 적용 및 분석</p> <p style="padding-left: 20px;">1. 적용방법 설정</p> <p style="padding-left: 20px;">2. 통행배정 결과</p> <p>V. 함수의 검증</p> <p style="padding-left: 20px;">1. 검증방법 설정</p> <p style="padding-left: 20px;">2. 모형별 검증 결과</p> <p>VI. 결론 및 향후 연구과제</p> <p>참고문헌</p>
---	---

Key Words : 통행배정모형, 교차로 지체, 접근로 용량, 통행시간함수, 주행조사 자료

Traffic Assignment model, Intersection Delay, Capacity of Approaching Road, Travel Time Function, Test Car Survey

요 약

본 연구는 교차로 지체를 고려한 통행시간함수를 개발하고, 이를 도시가로망에 적용하여 분석하는데 그 목적을 두고 있다. 이는 기존 통행배정 모형이 교차로 지체를 적절히 고려하지 못하고 있다는 분석에 근거하고 있다. 이를 위하여 본 연구에서는 링크의 통행시간을 구간 순행시간과 교차로 지체시간으로 구분하고, 청주시 주행속도, 교통량, 기하구조 및 신호운영 자료 등을 수집하여 계획단계에 적절한 구간 순행시간과 교차로 지체시간 산출모형을 구축하고, 이를 통행배정 단계에 적용하여 그 타당성을 분석하는데 중점을 두고 있다.

주요 연구결과는 다음과 같다. 첫째, 교차로 지체시간을 산출하기 위해 교차로의 녹색시간비 대신 접근로의 차로수비율을 교차로 유형별로 보정한 후, 이를 실제 녹색시간비율과의 t-검정을 시행하여, 평균값에 차이가 없다는 귀무가설을 기각할 수 없는 것으로 분석되어, 보정 차로수비율을 모형구축에 적용하였다. 둘째, 기존의 BPR모형과 보정 차로수비를 이용한 균일지체기반 수정모형 및 Webster기반 수정모형을 청주시 가로망에 EMME/2를 활용하여 통행배정하여 주행속도 조사자료와 비교한 결과, BPR모형은 교차로 지체의 영향을 반영하지 못하는 것으로 나타난 반면에 균일지체기반 수정모형과 Webster기반 수정모형은 관측된 조사자료에 보다 근접한 결과를 보였다. 셋째, 이들 모형의 배정결과와 실측 통행시간, 교통량, 평균통행속도간 통계검증 결과 통행시간 분리모형이 BPR모형 보다 실측치와의 통계적 오차가 감소하는 것으로 분석되었다.

The goals of this study are to develop travel time functions based on intersection delay and to analyze the applicability of the functions to traffic assignment models. The study begins with the premise that the existing assignment models can not effectively account for intersection delay time. In pursuing the goals, this study gives particular attention to dividing the link travel time into link moving time and stopped time at node, making the models based on such variables as the travel speed, volume, geometry, and signal data of signalized intersections in Cheongju, and analyzing the applicability of these models to traffic assignment.

There are several major findings. First, the study presents the revised percentage of lanes (considering type of intersection) instead of g/C for calculating intersection delay, which is analyzed to be significant in the paired t-test. Second, the assigned results of applying these models to the Cheongju network in EMME/2 are compared with the data observed from a test car survey in Cheongju. The analyses show that the BPR models do not consider the intersection delay, but the modified uniform delay model and modified Webster model are comparatively well fitted to the observed data. Finally, the assigned results of applying these models are statistically compared with the test car survey data in assigned volume, travel time, and average speed. The results show that the estimates from the divided travel time model are better fitted to observed data than those from the BPR model

I. 서론

도시교통계획을 수립하거나 교통문제를 해결하기 위한 여러 가지 방안을 강구할 때 가장 중요한 기초자료가 되는 것이 교통수요이며, 이를 위해서는 과학적이고 합리적인 교통수요예측이 필수적이다.

교통수요 예측법 중 4단계 수요예측법은 전통적으로 가장 많이 사용되며 도시교통계획 과정의 골격을 이루고 있다. 통행배정은 4단계 교통수요예측과정의 마지막 단계로 예측된 통행수요를 가로망에 배정시키는 것이다. 가로망에 통행량 배정시 교통량-지체함수(volume delay function)로 가로구간의 통행시간을 결정하여 최단경로를 찾게 된다.

고속도로, 국도 등 지역간 가로망의 교통수요 예측에서는 교차로에 관련된 지체시간은 무시할 수 있을 정도이며 무시될 수 있다. 그러나 도시내 가로망에서는 교차로가 통행자에게 상당한 지체를 유발시키므로 교차로의 지체시간은 통행시간에 엄청난 영향을 준다.

기존 통행배정 모형은 도시내 통행시간의 상당부분을 차지하는 교차로 지체를 적절히 고려하지 못하고 있으며, 기존 모형으로 산출되는 구간통행시간이 도로용량편람 등 비교적 미시적인 분석결과와 상이하여 산출된 결과를 그대로 이용하기 어려운 문제가 있다.

본 연구의 목적은 교통수요 예측시 보다 현실적인 통행시간을 통행배정단계에 적용하기 위해 구간 통행시간을 교차로의 영향을 받지 않는 구간 순행시간과 교차로 지체시간으로 분리하여 통행시간함수를 구성하고 이를 교통수요예측의 통행배정단계에 적용함으로써 교차로 지체를 교통수요예측에 적용하는 방안을 모색하는 것이다.

II. 기존이론의 검토

1. 통행시간함수의 기존이론

통행시간함수는 통행배정에서 교통량 증가에 따른 통행시간의 변화를 계산하여, 이 시간에 근거한 운전자의 노선선택 양상을 모형화한 것이다. 통행시간함수는 교통류모형에서 유도될 수 있는데, 기본적인 교통류모형의 전제는 속도가 밀도에 대해 감소함수라는 것이다.

통행시간함수에 대한 기존연구는 경험식과 이론식으로 나눌 수 있는데, 경험식에는 Irwin, Dadd와 Von

Cube(1961, 1962)의 직선식, Smock(1962)의 지수식, Mosher(1963)의 로그식, BPR(1964), Soltman(1965), Overgaard(1967)의 모형 등이 있으며, 이론식에는 Campbell 등의 모형, Wordrop 모형 등이 있다.

이 가운데, 미국 공로국에서 개발되어 현재 가장 널리 사용되는 BPR식은 함수의 조작성이 쉬우며, 특정치에 접근하지 않기 때문에 어떠한 통행량에도 통행비용을 구할 수 있다는 특징이 있다.

$$T = T_0 [1 + \alpha (\frac{v}{c})^\beta] \quad (1)$$

여기서, T_0 는 자유속도통행시간, v 는 교통량이며, c 는 LOS C의 실용용량으로서 가능용량(LOS E 용량)의 75% 수준이다. 계수 α 는 자유속도와 용량시 속도의 비율을 나타내며, β 는 자유속도에서 교통량이 증가하면서 속도가 얼마나 급격하게 감소하는가를 나타낸다.

BPR식의 경우 자유속도와 용량을 얼마나 정확히 예측하는가가 매우 중요한데, 실제로 이러한 사항을 정확히 예측하기 어렵다. 또한 BPR식은 혼잡으로 인한 지체를 과소 평가하는 약점을 가지고 있는데, 서선덕(1994)의 연구에서도 v/c 가 1 근처에서 실제 통행시간은 약 100% 증가하는 반면 공식에서는 20~30%의 증가만을 보였다. 특히 교통신호제어 간선도로의 통행시간을 적절히 나타낼 수 있는 변수를 가지고 있지 않아, 도시부에서의 적용에 많은 문제점을 보일 수 있다.

도시내 가로망에 있어서 차량의 흐름은 교통통제 시스템의 제어를 받는다. 따라서 운전자의 통행시간은 각 개별 교차로에서 발생하는 지체에 의해서 상당한 영향을 받게 된다. 그런데 전통적인 모형들은 이러한 상호연관성을 배제하고 통행배정과 신호제어를 각각 독립적으로 취급해 왔기 때문에 현실을 정확히 모사하지 못하고 있다.

2. 개선방안 연구동향

BPR모형의 계수(α , β)를 정산하는 연구로 이의인(1986), 최기주(1986), 서선덕·박창호·김창호(1990), 주정열(1993), 장덕형(1993), 강호익·박창호(1998)의 연구를 검토하였으며, 대부분 고속도로, 국도, 지방도 등 지역간 도로를 대상으로 BPR모형의 계수를 정산하였는데, 최기주와 주정열의 연구에서 부분적으로 도시부 가로를 대상으로 하고 있다. 최기주는 도시부 가로에서

는 BPR모형보다는 Davidson식이 보다 적합한 것으로 제시하였고, 추정열은 도시내 도로에서 BPR식의 계수를 $\alpha=2.0, \beta=3.04$ 로 제시한 바 있다.

또한 BPR모형이 혼잡에 따른 지체를 과소평가하는 단점을 보완하기 위해 도로구간의 혼잡지체를 통행시간 산정에 반영한 연구로서 Queuing 이론에 근거한 Akcelik 공식(1991), Spiess의 Conical 지체함수(1989), STEAM 모형 등이 있다. 이들 모형은 혼잡으로 인한 지체변수를 적용하여 v/c 비가 1을 초과하는 혼잡상황의 경우에서 보다 현실적인 예측결과를 산출하기 위한 모형들이다.

반면 1990년대 후반부터 교차로 지체를 반영한 통행시간 함수 모델링에 관한 연구가 대두 되었으며, Alan J. Horowitz(1991), Ian Taylor · Peter Willoughby(1998), R O'N Hill(1998), Hedayat Z. Aashtiani(1999), Wu Sun(1999)의 연구가 이에 해당된다. 이들 연구의 특성은 교차로에서 신호에 의한 지체시간을 통행시간 산정에 반영하고자 하는 연구로서 이 가운데 Hedayat Z. Aashtiani는 신호교차로와 무신호교차로의 지체를 예측하는 단순한 방법을 개발하여 EMME/2에 적용하는 방안을 제시한 바 있다.

3. 본 연구의 차별성

기존의 BPR 함수의 계수정산에 관한 연구('80~'90)는 대부분 고속도로, 국도 등 연속류를 대상으로 하여, 본 연구와 같이 도시내 단속류에 대한 연구와 차별되며, 계수정산에 사용하는 자료도 고속도로 O/D자료 등 간접자료를 이용하거나 도로상에 설치된 상시 조사지점의 지점속도를 이용한 연구로서 교차로 지체를 포함한 구간 통행시간을 정확히 모사하는데 한계가 있는 반면, 본 연구에서는 실제 주행조사 자료를 활용함으로써 구간 통행시간의 구성에 보다 구체적으로 접근하였다.

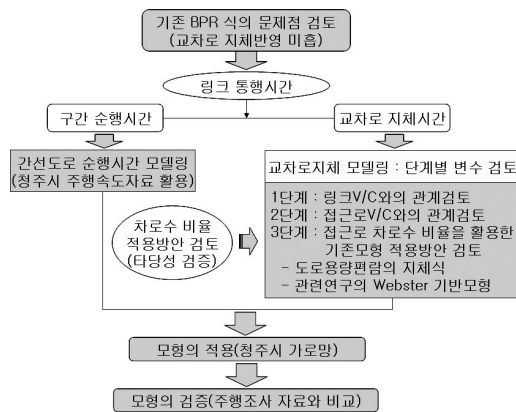
도로의 혼잡지체를 반영한 국외연구('90년대 초반)들은 구간 혼잡의 영향을 반영한다는 점에서 진전을 보였으나 BPR모형의 구간 용량의 제약, 자유속도와 용량상태의 속도 차이 등 BPR모형과 개념상 유사한데 반해 본 연구는 구간의 용량제한만으로 교차로의 신호에 의한 정지시간을 모사하는데 한계가 있다는 판단 하에 구간의 순행시간과 교차로 정지시간을 분리하였다는 점에서 기존 연구와 차별된다 하겠다.

이에 반해 '90년대 후반부터 등장하는 교차로지체를 반영한 통행배정 모형에 관한 연구는 본 연구와 흐름을

같이하고 있으며, 이 가운데 Hedayat Z. Aashtiani(1999), Wu Sun(1999)의 연구가 본 연구의 접근 방법과 같이 구간 통행시간을 순행시간과 교차로 지체시간으로 분리하는 통행시간 산출모형을 적용하고 있다. 그러나 Hedayat의 연구에서는 순행시간으로 기존의 BPR모형을 사용하고 교차로 지체시간으로 Webster모형을 수정하여 적용하고 있으며, Wu의 연구에서는 순행시간으로 교통류이론의 Greenshield모형으로부터 평균통행속도를 산출하여 적용하고, 교차로 지체시간은 HCM(1994)의 지체함수를 사용하고 있다. 그러나 본 연구에서는 순행시간을 실제 주행조사 자료를 기반으로 다중회귀모형을 구축하고, 교차로 지체시간 모형으로는 도로용량편람의 지체식을 적용하되 계획단계에 적용이 용이하도록 접근로 차로수비율을 보정하여 적용하는 방법을 제시하는 점에서 큰 차이가 있다.

III. 통행시간함수의 정립

본 연구에서는 기존 통행시간함수의 문제점을 분석해 보고, 교차로 지체를 감안한 통행시간 함수를 개발하고 적용방안을 모색하고자 한다. 분석의 전체 진행과정은 <그림 1>과 같다.

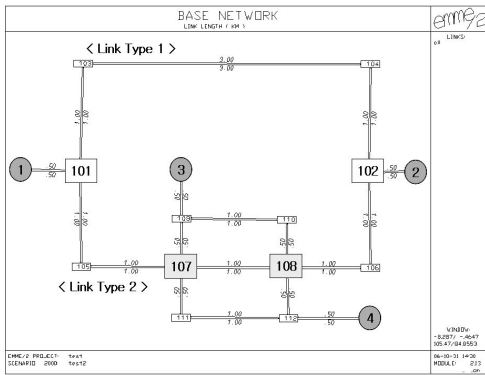


<그림 1> 분석의 과정도

1. 문제의 제기 및 함수정립의 기본방향

1) 문제의 제기

국내에서 널리 사용되고 있는 EMME/2로 간단한 네트워크를 구성하고, 기존 통행시간함수를 적용하여 시험하였다.

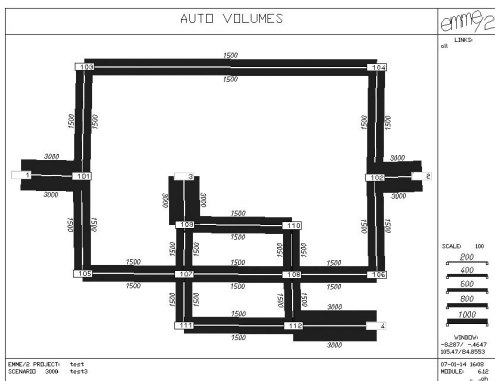


〈그림 2〉 시험가로망

시험 네트워크는 존1에서 존2로 연결되는 두개의 경로로 구성하되, 첫 번째 경로는 교차로를 거치지 않는 경로(LinkType1)이며 두 번째 경로는 교차로(107, 108 node)를 경유하는 경로(LinkType2)이다. 두 경로의 거리는 101번 노드에서 102번 노드까지 5km로 동일하며 차로 수도 동일하다.

존간 통행 O/D는 존1↔2간 통행량 3000대씩 배분하되, 교차로에서 교차 통행량의 영향정도를 파악하기 위해 존3↔4간 통행량도 3000대씩 배분한다.

시험가로망에 적용할 교통량-지체 함수는 BPR식을 적용하되, 차로당 용량은 1600으로 가정하며, 계수는 표준식으로 사용되는 $\alpha=0.15$, $\beta=4.0$ 을 적용하여 통행배정된 결과는 〈그림 3〉과 같다.



〈그림 3〉 시험가로망 통행배정결과

링크타입별 통행배정결과 요약을 보면 교차로를 포함하지 않는 경로(type1)와 교차로를 포함하는 경로(type2)의 총통행시간이 188.9대·시간(3.8분×1500대×양방

〈표 1〉 링크타입별 통행배정결과 요약

AUTO-ASSIGNMENT SUMMARY BY LINK TYPE						
link type	no. of links	link length (km)	-vehicle- hrs	km	speed (km/h)	vol
1	6	10.00	188.9	15000	79	1500
2	10	10.00	188.9	15000	79	1500

향/60=190대·시간)으로 동일하다. 또한 링크별 배정결과를 보아도 알 수 있듯이 교차로를 포함하지 않는 경로와 교차로를 포함하는 경로의 배정된 통행량도 1,500대씩 양 경로에 동일하게 배정되었다.

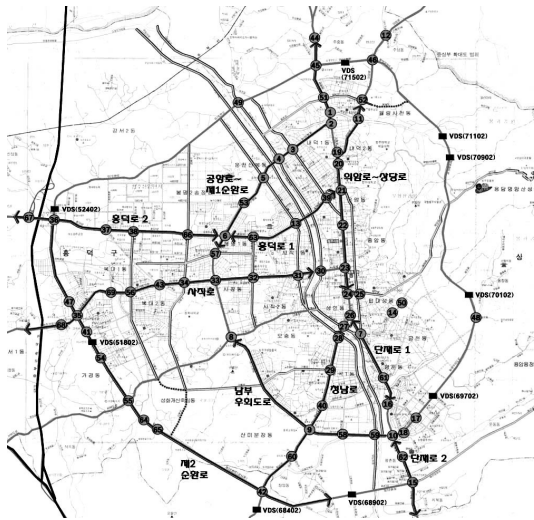
위의 결과로 보아 LinkType2의 경우 교차로 2개소를 통과함에 따른 지체시간이 전체 통행시간 산정에 반영되지 않았음을 의미하며, 교차로 지체가 도시내 통행시간의 많은 비중을 차지한다는 점에서 기존 통행시간합수의 한계를 보여주는 결과이다.

2) BPR모형의 정산

위에서 시험 가로망에 적용한 BPR함수는 미 공로국에서 기본 값으로 제시하고 있는 계수인 $\alpha=0.15$, $\beta=4$ 를 적용한 결과이나 이들 계수는 국내 통행행태에 맞게 정산되어야 한다. 본 절에서는 교차로 지체를 포함하는 도심 통행시간 조사자료로 BPR모형의 계수를 정산하기 위해 청주시 주요 간선축 주행 조사자료와 교통량 조사 자료를 활용하여 정산해 보았다.

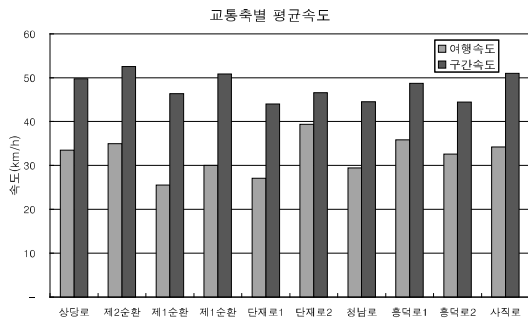
이를 위하여 『청주시·청원군 전자교통신호체계 기술 운영에 관한 연구』에서 조사된 청주시내 교통축별 주행조사 결과를 이용하여 BPR모형의 계수를 정산하였다. 이 조사는 2007. 7. 10~2007. 7. 25 기간동안 청주시내 주요 교통축별 오전·오후 첨두시와 비첨두시로 나누어 1일 3차례 조사한 통행시간 조사와 교통량조사 결과이다. 이 자료는 각 교통축에 대하여 실제주행하면서 각 신호교차로 통과시간과 정지시간을 구분하여 기록한 자료이며, 본 연구에 활용하기 위해 청주시내 주요 신호교차로를 기준으로 114개 구간으로 구분하고, 구간별 순행시간과 교차로 정지시간을 포함한 통행시간으로 정리 하였다.

오전 첨두 조사자료를 양방향 평균하여 교통축별 통행시간을 합하면 96.24분이며, 이중 교차로에서 정차한 시간은 30.58분으로 전체 통행시간의 31.8%를 차지함으로써 교차로 지체가 전체 통행시간에 상당한 비중을



〈그림 4〉 주행조사 구간 및 교통량조사 지점도

차지함을 알 수 있다. 〈그림 5〉에서 여행속도는 교차로 지체시간을 포함한 통행시간으로 산정된 속도이며, 구간 속도는 교차로에 정지한 시간을 제외한 순행시간으로 산정된 속도이다.



〈그림 5〉 교통속별 속도 비교

BPR모형의 정산은 교통량과 통행시간과의 관계를 이용한 회귀분석을 통해 BPR식의 파라미터인 α , β 를 구하는 방법을 사용하였다. 선형회귀분석을 위해 BPR식을 양변에 \log 를 취하여 선형화하면 식(2)와 같다.

$$\log\left(\frac{T - T_0}{T_0}\right) = \log(\alpha) + \beta \log(v/c) \quad (2)$$

여기서 교통량(v)는 구간 평균 교통량을 산정하여 정리하고, 용량(c)은 차로당 용량을 1800으로 단순화하였다. T_0 는 자유속도를 제한속도로 가정하여 산정하고, 구

간별 교차로 지체시간을 포함한 통행시간을 T 로 설정하였으며, 제한속도 보다 높은 속도로 주행함으로써 $T - T_0$ 가 음의 수치가 나오는 경우 최소값(0.0001)을 적용하였다. 회귀분석 결과는 〈표 2〉와 같다.

〈표 2〉 BPR식 계수정산을 위한 회귀분석 결과

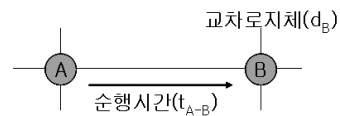
구분	추정치	t-value	
파라미터	log α	-0.01169 ($\alpha=0.9734$)	-0.05196
	β	0.23887	0.57659
결정계수(R^2)	0.003		

위의 회귀분석결과에서 모형의 설명력이 매우 낮게 나타나는데, 이것은 도심 단속류의 통행시간이 v/c 비와 BPR함수관계를 형성하지 않음을 의미하며, 이는 각 구간의 통행시간에 교차로 신호운영에 의한 정지시간이 포함됨에도 BPR함수에 이를 반영할 수 있는 변수를 포함하지 않은 연유로 판단된다. 따라서 기존의 BPR모형의 형태로 도시내 통행시간을 모사하는 데는 한계가 있다.

3) 함수정립의 기본방향

『도로용량편람』에서는 도시내 간선도로의 서비스수준을 나타내는 효과적으로 평균통행속도를 사용하며, 간선도로의 평균통행시간은 간선도로 구간의 순행시간과 교차로 접근지체의 합으로 구성된다.

본 연구에서는 이를 참고하여 도시내 도로구간의 통행시간을 순행시간과 교차로의 지체시간으로 분리하여 예측하고, 이들을 합산하는 통행시간 산출 모형을 통행배정 단계에 적용하고자 한다. 즉 링크 A→B의 통행시간은 링크 A→B의 순행시간과 B 교차로의 접근 지체시간의 합으로 〈그림 6〉과 같이 구성한다.



$$T_{A-B} = t_{A-B} + d_B$$

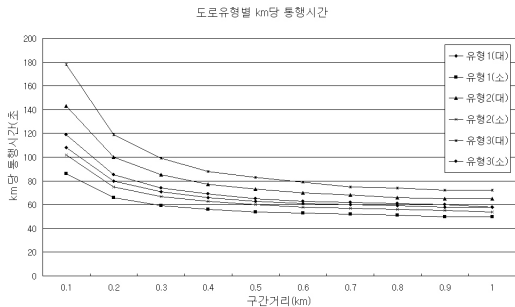
〈그림 6〉 통행시간 구성 개념도

2. 순행시간 함수의 구성

차량들이 어떤 도로구간을 달릴 때 신호등으로 인한 가·감속지체와 정지지체의 영향을 받지 않으며 순행하

는 속도를 순행속도라 한다. 간선도로에서 순행속도에 영향을 주는 요소는 토지이용, 기하구조 등 여러 가지가 있다.

도로용량편람에서는 구간길이와 측면마찰만을 고려하여 km당 순행시간을 도로유형별, 노변마찰 크기별로 표로 제시하고 있으며, 여기에 구간길이를 곱하여 순행시간을 산정한다. 도로용량편람의 도로유형별 km당 순행시간을 그래프로 나타내면 <그림 7>과 같다.



<그림 7> 도로유형별 km당 통행시간

<그림 7>에서 보는 바와 같이 일반적으로 구간거리가 길수록 km당 순행시간이 작다. 기존 BPR 모형은 자유속도와 교통량 증가에 따른 통행시간 변화만을 고려하여 이러한 도시내 교통류 특성을 반영하기 어렵다.

여기서는 교통계획 프로그램에 적용하기 위해 km당 순행시간에 구간거리를 곱하여 구간 순행시간을 산정하고, 도로유형 및 노변 마찰을 변수화하여 이를 다중회귀 모형으로 구성해 보았다.

도로유형은 그대로 수치(1, 2, 3)로 입력하였으며, 노변마찰은 대를 2, 소를 1로 재정리하였는데, 이들 변수는 원래 연속변수가 아닌 범주형변수이나 독립변수의 수를 줄이고, 모형추정의 편의를 위해 연속변수처럼 적용하였다.

이와 같은 방식으로 앞서 BPR모형의 정산에 활용한 청주시내 교통측별 주행조사 자료 중 교차로 정지시간을 제외한 구간별 순행시간 자료를 이용하여 청주시 순행시간 모델을 구성하였다.

각 교통측을 도로용량편람의 정의에 의거 3유형으로 구분하고 노변 마찰정도를 大/小로 구분하여 정리하였다. 여기서 도로유형은 제한속도를 기준으로 하도 차로 수 및 도로의 기능을 종합 판단하여 정하였고, 노변마찰 정도는 구간내 접근로수, 주변 토지이용을 감안하여 분

석자의 판단에 따라 大/小로 구분하였다. 교차로간 거리와 구간별 순행시간을 이용하여 앞서 구축한 용량편람의 순행시간 산정식과 같이 다중회귀분석을 시행한 결과는 <표 3>과 같다.

<표 3> 청주시 간선도로의 순행시간 다중회귀 분석 결과

변수	계수	표준오차	t 통계량	p값	결정계수 (R ²)
도로유형	1.24	0.481443	2.572175	0.010377	0.884
노변마찰	4.07	0.734027	5.539415	4.78E-08	
구간거리	45.22	1.919527	23.55973	1.5E-84	

본 연구에서는 청주시 주행속도 조사자료를 기반으로 구축한 다음과 같은 다중회귀모형을 순행시간 산출 모형으로 적용하였다.

$$y = 1.24X_1 + 4.07X_2 + 45.224X_3 \tag{3}$$

여기서, y : 구간 순행시간(초)

X₁ : 도로유형(1~3)

X₂ : 노변마찰크기(大=2, 小=1)

X₃ : 구간 길이(km)

이들 변수 중 X₁, X₂는 범주형 변수이지만 연구의 편의를 위해 연속변수처럼 다루었으며, X₃는 연속형 변수이다.

3. 교차로 지체시간 함수 구성

1) 분석개요

교차로의 지체시간은 교차로의 신호주기, 녹색시간비, 차로군의 포화도 등 자세한 교차로 신호운영 자료를 이용하여 산정할 수 있다. 그러나 교통계획 단계에서 도시내 모든 교차로의 신호운영 현황이나 장래 교차로의 신호운영계획 자료를 수집할 수 없으므로 계획단계에서 적용이 가능한 변수를 검토하고자 한다.

교차로의 접근지체 산정 모형을 정립함에 있어서 청주시내 신호교차로 접근로에 대한 교통량, 교차로 기하구조, 신호운영현황 자료를 기반으로 도로용량편람의 교차로 지체산정식을 적용하여 교차로 평균제어지체를 계산하고, 이를 실제 지체시간으로 간주하여 이들 각 지체

시간과 관련이 있을 것으로 판단되는 변수를 이용하여 모형을 구축하고자 한다.

이를 위하여 청주시내 총 96개소의 신호교차로 자료를 수집하였는데, 전체 교차로 중 3지는 29개소, 4지는 67개소이며, 접근로 총 354개에 대하여 기하구조, 교통량, 신호운영 현황을 정리하였다. 접근로의 차로수는 회전차로를 포함한 전체 차로수로 정리하고, 좌·우회전 전용차로는 별도 정리하였다.

3지교차로의 경우 대부분 T자형 교차로로서 주도로와 부도로 구분은 접근로 차로수를 기준으로 하되, 차로수가 같으면 직진으로 처리되는 방향을 주도로로 구분하고, 좌회전으로 처리되는 접근로를 부도로로 구분하였다.

도로용량편람의 평균제어지체는 연동보정된 균일지체와 증분지체, 추가지체의 합으로 구성된다. 여기서는 균일지체, 증분지체를 이용하여 지체를 계산하였으며, 균일지체와 증분지체 계산식은 식(4)와 같다.

$$d_1 = \frac{0.5C(1-g/C)^2}{1 - \left[\min(1, X) \frac{g}{C} \right]} \quad (4)$$

$$d_2 = 900T \left[(X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + \frac{4X}{cT}} \right] \quad (5)$$

- 여기서, T : 분석기간의 길이(h)
- g/C : 녹색시간비(녹색시간/신호주기)
- X : 해당 차로군의 포화도
- c : 분석기간 중 해당차로군의 용량

우선 교차로 접근지체 산정에 가장 중요한 변수인 접근로 녹색시간비를 본 연구에서는 접근로 차로수비율을 활용하는 방법을 구상하였다.

2) 차로수 비율 적용방법

접근로 용량산정 및 기존 모형 적용시 접근로의 녹색시간비를 이용해야 하나, 계획단계에서 교차로의 접근로 별 녹색시간을 조사해서 적용하는 것은 사실상 불가능하므로 본 연구에서는 접근로의 차로수 비율을 활용하는 방법을 구상하였다.

본 연구에서는 두 도로가 교차할 때 차로수가 많은 도로일수록 그 도로가 이용할 수 있는 녹색시간의 비율이 크다고 가정하였다. 김형진·이연화는 「통행배정의 신뢰

성 제고를 위한 도로용량 산출방법」 연구에서 상기 가정이 대체로 적합하다는 것을 보여준 바 있다.

그러나 김형진·이연화는 4지교차로만을 대상으로 하고 있어 시내 가로에서 흔히 나타나는 3지교차로에 대해 고려하지 못하는 반면, 본 연구에서는 3지와 4지 교차로의 유형 및 접근로의 위계에 따른 신호운영 특성을 분석하여 차로수비율을 보정해 줌으로써 계획단계에서 적용이 용이하도록 개선하고자 한다.

우선 앞서 정리한 청주시내 신호교차로 96개소의 354개의 접근로에 대해서 녹색시간비를 산정하고, 교차로 총 접근로 차로수에 대한 해당 접근로 차로수 비율을 산정해서 두 변수간의 관계를 분석하였다.



교차로의 녹색시간비와 접근로의 차로수비율간 상관분석 결과 피어슨 상관계수가 0.74로 비교적 양호한 결과를 나타냈다. 이들 변수간의 동일성을 검증하기 위해 교차로 접근로에 대해 t분석을 시행하였다.

그 결과 t-값이 -12.701로 유의확률이 0.00로 나타나 95%의 신뢰수준 안에 유의하였으며, 차이가 없다는 귀무가설(H₀: d₀=0)이 기각되었다.

반면, 3지교차로와 4지교차로를 구분하여 분석한 결과, 3지교차로의 경우 주도로의 녹색시간비가 부도로의 녹색시간비 보다 월등히 크다는 사실을 발견하였다. 이것은 3지교차로가 대부분 T자형 교차로로서 부도로의 좌회전 신호만 주면 주도로의 직진에 보다 많은 시간을 할애할 수 있는 특성 때문인 것으로 판단된다.

또한 4지 교차로의 경우 주간선도로와 주간선도로가 만나는 교차로의 경우 차로수비율과 비슷한 녹색시간비율을 나타내는 반면, 주간선도로와 기타도로가 만나는 교차로의 경우 주간선도로의 녹색시간비가 월등히 크다는 것을 발견하였다. 이것은 주간선도로의 경우 직진방향 교통량을 보다 많이 처리하기 위해 직·좌 동시신호에 양방향 직진을 추가로 부여하고 있기 때문인 것으로 판단된다.

따라서 3지 교차로 접근로의 경우 주도로와 부도로로 구분하여 주도로의 차로수 비율에 보정계수(1.8)를 곱하고, 4지교차로의 경우 주간선도로와 기타도로가 만나

구분	Ø1	Ø2	Ø3	Ø4	Ø5	주기
	↙	↘	↖			150
	22(3)	83(3)	36(3)			
	↓	↑	↙	↘	↗	160
	28(3)	29(3)	16(3)	55(3)	17(3)	

〈그림 8〉 주방향 현시비율이 높은 신호운영 예

는 교차로에 대해서는 주간선도로의 차로수비율에 보정 계수(1.7)를 곱하였다. 보정계수는 1.1에서 2.0까지 순차적으로 적용하여 녹색시간비와 가장 가까운 결과를 나타내는 계수로 결정하였다.

보정차로수비율과 녹색시간비와의 상관분석 결과 피어슨 상관계수가 0.85로 높게 나타났으며, 보정차로수비율과 녹색시간비율간의 t검정 결과는 <표 4>와 같다.

<표 4> 보정차로수비율의 동일성 검증 결과

구분	대응차					t	유의 확률 (양쪽)
	평균	표준 편차	평균의 표준 오차	차이의 95% 신뢰구간			
				하한	상한		
A	0.0006	0.1145	0.0061	-0.0114	0.0125	0.091	0.928
B	0.0021	0.1257	0.0136	-0.0248	0.0291	0.158	0.875
C	0.0014	0.1110	0.0068	-0.0119	0.0148	0.209	0.834

주1 : A는 전체교차로의 g/C와 차로수비간 검증

주2 : B는 3지교차로의 g/C와 차로수비간 검증

주3 : C는 4지교차로의 g/C와 차로수비간 검증

전체교차로와 3지, 4지 모두 t-값이 각각 0.205, 0.158, 0.152로 유의확률이 0.8 이상으로 나타나 95% 하에서 차이가 없다는 귀무가설을 기각할 수 없는 것으로 분석되었다. 따라서 본 연구에서는 교차로 접근로의 녹색시간비 대신 계획단계에서 이용이 가능한 보정차로수비를 교차로 지체 산출모형에 적용하였다.

3) 단계별 변수 검토 결과

교차로 지체에 영향을 주는 변수를 검토함에 있어 3 단계의 절차를 거쳐 검토하였다. 기존의 BPR 함수식에서 사용하고 있는 링크 v/c, 교차로 접근로 v/c(접근로 용량=링크용량×g/C)를 우선 검토하고, 마지막으로 기존 모형의 적용 가능성을 검토하였다.

첫 번째 단계로 교차로 제어지체와 링크 v/c간의 관계를 검토한 결과 상관계수가 0.12로 두 변수간의 상관관계가 매우 낮음을 알 수 있었다.

두 번째 단계로 교차로의 신호운영특성을 감안해 주기 위해 용량에 보정 차로수비를 적용한 접근로 v/c비와 교차로 제어지체간의 관계를 분석하였다.

상관분석 결과, 상관계수는 0.40으로 링크v/c 보다는 상관도가 높아졌지만, 여전히 접근로 v/c로 교차로 지체 함수를 구성하는 것은 무리였다.

세 번째 단계는 기존모형을 적용하되, 신호교차로 접근로의 지체 산정에 있어 중요한 변수인 녹색시간비를

보정 차로수비로 적용하는 방안이다.

기존 모형으로는 도로용량편람의 평균제어지체 산정식과 관련연구에서 적용한 바 있는 Webster모형 기반 지체시간 산정식의 적용방안을 검토하였다.

도로용량편람의 평균제어지체는 균일지체와 증분지체, 추가지체로 구분되는데, 여기서는 균일지체와 증분지체를 대상으로 검토하였다.

이 산정식을 이용하기 위하여 주기는 해당 교차로 주기를 적용하고, 녹색시간비는 보정차로수비율 적용하였으며, 그 산정결과를 실제 녹색시간비를 적용한 결과와 비교하였다.

도로용량편람의 평균제어지체를 구성하는 균일지체와 증분지체에 대해 녹색시간비를 적용한 결과와 보정차로수비를 적용한 결과에 대한 각각의 상관분석 결과, 균일지체의 경우 상관계수가 0.84로 높게 나왔고, 증분지체의 경우 상관계수가 0.59로 다소 낮게 나왔으며, t검정 결과는 <표 5>와 같다.

균일지체의 경우 녹색시간비 적용 결과와 보정차로수비율 적용 결과간의 평균비교를 위해 대응표본 t 검정 결과, 95% 신뢰수준 하에서 유의확률이 0.621로 두 변수간 차이가 없다는 귀무가설을 기각할 수 없는 것으로 나타났다.

반면 증분지체의 경우 녹색시간비를 적용한 결과와 보정차로수비율을 적용한 결과간의 분석에서는 유의확률이 0.000으로 귀무가설이 기각되었다.

<표 5> 지체식 산출결과 비교(g/C-차로수비)

구분	대응차					t	유의 확률 (양쪽)
	평균	표준 편차	평균의 표준 오차	차이의 95% 신뢰구간			
				하한	상한		
A	0.2945	11.1901	0.5948	-0.8752	1.4642	0.495	0.621
B	86.8671	374.6578	19.9128	43.7044	122.0298	4.161	0.000

주) A : 균일지체 비교(g/C와 차로수비)

B : 증분지체 비교(g/C와 차로수비)

증분지체의 경우 접근로의 포화도에 따라 증감하는 지체로서 포화도가 1.0이하에서는 그다지 지체의 증가를 보이지 않다가 포화도가 1.0을 넘으면서 급격히 증가하는 특성이 있다.

위 증분지체의 특성으로 보아 녹색시간비를 적용한 증분지체와 보정 차로수비율을 적용한 접근로 v/c=1 부근에서 그 지체의 차이가 심하여 위와 같은 결과가 나타난 것으로 판단된다.

따라서 증분지체의 경우 오히려 오차가 심하게 나타

날 수 있어 적용이 곤란하므로 본 연구에서는 보정 차로 수비율을 적용한 균일지체식만을 이용한 균일지체 기반 수정모형을 적용하였다.

또한 Hedayat Z. Aashtiani와 Hamid Iravani (1999)은 『통행배정모형의 신뢰성 향상을 위한 교차로 지체함수 활용』에서 Webster모형에 기초한 신호교차로의 지체시간 산정식을 통행배정에 적용하였는데, 본 연구에서 식(6)과 같이 수정하여 적용하였다.

$$d(x) = \frac{R^2}{2C \times (1-v/c)} = \frac{C(1-g/C)^2}{2(1-v/c)} \quad (6)$$

- 여기서, C : 전체 신호주기(초)
- R : 적색시간 $\Rightarrow C \times (1-g/C)$
- g/C : 녹색시간 비율 \Rightarrow 보정차로수 비율
- v/c : 링크 교통량 대 용량비
- 1-v/c : max[(1-v/c) and 0.01] 적용

4. 통행시간함수 구축

본 연구에서는 기존의 모형과는 달리 구간 통행시간을 순행시간과 교차로 지체시간으로 분리하여 도시내 통행시간을 현실적으로 예측하고자 한다.

앞서 다중회귀모형으로 구성된 구간 순행시간 모형과 녹색시간비 대신 보정차로수비를 적용하여 기존 모형을 수정한 교차로 지체시간 산정모형을 유형별로 수식화 하면 다음과 같다.

- 균일지체기반 수정모형(이하 통행시간 분리모형1)

$$T = t(typ, fri, len) + \left\{ \frac{0.5C(1-l/\sum l)^2}{60(1 - [\min(1, X)l/\sum l])} \right\} \times PF \quad (7)$$

- Webster기반 수정모형(이하 통행시간 분리모형2)

$$T = t(typ, fri, len) + \left\{ \frac{C \times (1-l/\sum l)^2}{60 \times 2 \times (1-v/c)} \right\} \times PF \quad (8)$$

- 여기서, len : 해당링크의 길이(km)
- typ : 도로유형(1, 2, 3)
- fri : 노변마찰(小 1, 大 2)

- t(typ, fri, len) : 해당링크의 순행시간
- C : 교차로의 신호주기(초)
- l/∑l : 교차로의 보정차로수비율
- X : 포화도(접근로 v/c)
- PF : 연동계수

여기서 주기는 일반적으로 도시내 교통축별 연동화를 감안하여 같은 주기를 사용하는 점과 교차로 규모별로 보행자 횡단시간의 차이 등을 감안하여 교차로 규모별, 교통축별로 가정하여 적용하고자 한다.

IV. 함수의 적용 및 분석

1. 적용방법 설정

본 절에서는 교차로 지체시간을 감안한 통행배정 모형을 실제 가로망에 적용하여 기존 통행배정모형과 차이점을 분석하고 교차로 지체시간의 영향을 파악하고자 한다.

비교대상 모형은 크게 기존 BPR모형과 본 연구의 통행시간 분리모형으로 구분하고 기존 모형은 표준식($\alpha=0.15, \beta=4$)과 관련연구에서 계수를 정산한 정산식을 함께 적용하였다. 본 연구에서도 실제 주행조사 자료를 이용하여 BPR모형을 정산하였으나 모형의 설명력이 낮아 적용치 못하였고, 비교적 최근 국내연구인 강호익·박창호(1998)의 연구에서 단속류는 아니지만 국도를 대상으로 정산한 계수($\alpha=0.93, \beta=1.8$)를 정산식으로 함께 비교하였다.

본 연구의 통행시간 분리모형은 앞서 통행시간함수 구축에서 정의한 통행시간 분리모형1, 2를 적용하여 비교하였다.

1) 적용대상 네트워크

모형을 적용할 가로망은 청주시가로망으로서 『청주시 교통정비 중기계획』에서 구축한 네트워크와 O/D를 수정 보완하여 적용하였다. 도로구간의 차로수 및 거리는 실제값을 입력하였으며, BPR모형 적용에 필요한 자유속도는 도로별 제한속도로 설정하였고, 차로당 용량은 도로의 위계에 따라 1400~2200까지 차등 설정하였다.

통행시간 분리모형 적용에 필요한 도로의 등급 및 노변마찰의 크기는 앞서 순행시간 산정모형 구축시 설정한 바와 같이 도로의 규모 및 주변 토지이용을 감안하여 분

석자의 주관에 따라 설정하였다. 또한 신호주기는 청주 시내 대부분의 교통축이 연동화되는 점을 감안하여 주간 선축내 교차로는 150초, 그 외교차로는 140초로 단순화하여 적용하였다. 통행배정에 적용한 교통계획 프로그램은 EMME/2를 사용하였다.

2) EMME/2 적용 방법

본 연구에서 구축한 통행시간 분리모형은 교차로에 접근하는 링크에 대한 통행시간함수이므로 EMME/2에 적용하기 위하여는 링크 속성데이터를 이용하여야 한다. 즉 링크 A→B에서 B노드가 신호교차로의 경우, 해당 신호교차로의 속성자료를 링크A→B의 속성자료로 입력하여 적용하여야 한다.

EMME/2의 외부속성변수(extra attribute)를 이용하여 교차로 속성자료를 입력하였으며, 외부속성변수는 통행시간함수(VDF) 구성에 사용할 수 없도록 되어 있고, 교통량(volau)은 매 반복시 마다 다시 계산되어야 하기 때문에 network calculation 모듈로 링크의 기본 사용자 변수인 ul1~ul3 변수에 우선 계산하고, extra function parameter(el1, el2)를 이용하여 함수를 구성하였다. 또한 각 비교모형별 통행배정을 위하여 적용 모형별로 각각의 시나리오를 구분하여 링크 속성변수를 지정하였다.

〈표 6〉 통행시간 분리모형의 외부속성변수

변수명	설명
@class	도로등급(1 or 2 or 3)
@fri	노면마찰(소=1, 대=2)
@cycle	신호주기(주간선도로축 150초, 기타 140초)
@lsum	교차로 접근로 차로수 합
@cali	차로수 비율 보정계수(1.8 or 1.7 or 1)
@capa	기본 링크용량(1400~2200)
@pf	연동계수(1로 설정)
@lane	차로수비율((lanes/@lsum)*@cali) ⇒ el1
@jcapa	접근로용량(@capa*lanes*@lane) ⇒ el2

〈표 7〉 통행시간 분리모형의 사용자변수 설정

구분	함수구성	
분리 모형1	ul1	$(1.24 * @class + 4.07 * @fri + 45.224 * @lane) / 60$
	ul2	$0.5 * @pf * @cycle * (1 - @lane)^2$
분리 모형2	ul1	$(1.24 * @class + 4.07 * @fri + 45.224 * @lane) / 60$
	ul2	$@pf * @cycle * (1 - @lane)^2$
	ul3	$@capa * @lan$

사용자변수(ul1~ul3)와 extra function parameter (el1, el2)를 이용하여 통행시간 분리모형을 교통량지체 함수(VDF)로 구성하면 다음과 같다.

$$\text{분리모형1} = ul1 + ul2 / (60 * (1 - (1.01 * \min(\text{volau} / el2))^{\text{el1}}))$$

$$\text{분리모형2} = ul1 + ul2 / (120 * (.01 * \max(1 - \text{volau} / ul3)))$$

2. 통행배정 결과

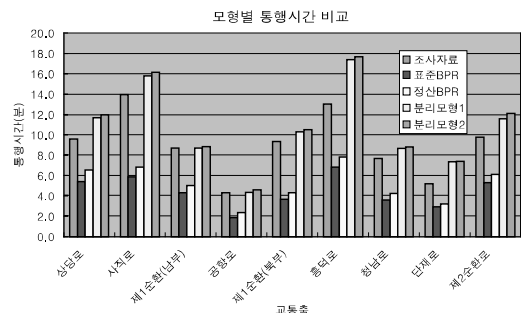
우선 각 모형의 수렴성 등 수행결과에 대하여는 〈표 8〉과 같이 모든 모형의 통행배정이 수렴하는 것으로 나타났다.

〈표 8〉 모형의 수행력 비교

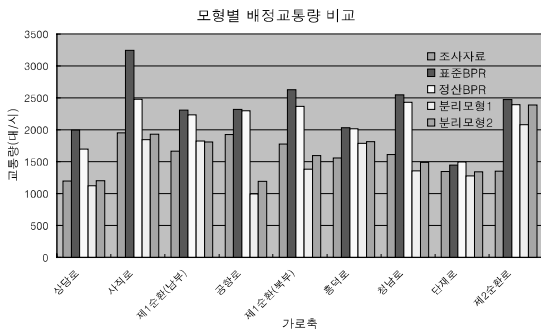
구분	BPR (표준식)	BPR2 (정산식)	통행시간 분리모형 1	통행시간 분리모형 2
iteration	3	3	2	5
relative gap(0.5%)	0.05	1.46	0.26	1.62
normalized gap(0.5분)	0.0031	0.1126	0.041	0.2059
Average trip time	6.6	7.77	12.21	13.29

네트워크의 평균 통행시간(Average trip time)을 보면 BPR모형과 통행시간 분리모형과의 차이를 볼 수 있다.

〈그림 9〉와 〈그림 10〉은 각 교통축별 주행조사시 관측 통행시간 및 통행량과 모형별 배정된 통행시간과 통행량의 비교이다. 통행배정 결과에서 볼 수 있듯이 BPR모형보다는 통행시간 분리모형이 관측 통행시간과 통행량에 보다 가까움을 알 수 있다.



〈그림 9〉 모형별 통행시간 비교



〈그림 10〉 모형별 배정교통량 비교

IV. 함수의 검증

1. 검증방법 설정

각 모형별 통행배정 결과에 대해서 앞서 청주시 주요 간선축의 주요교차로를 기준으로 구분한 114개 구간으로 평균 통행량, 구간평균 속도, 통행시간을 정리하고, 주행조사 및 교통량 조사를 통해 구축한 실제 자료와 통계분석을 시행한다.

본 연구에 적용된 통계분석 방법은 실제 관측 자료(통행시간, 속도, 교통량)와 모형에 의해 산출된 자료간의 오차분포 특성을 분석할 수 있는 평균제곱근 오차(RMSE)와 퍼센트 평균제곱근 오차(%RMSE)를 이용하여 분석한다. 그리고 실제 관측 자료와 모형별로 배정된 자료간의 동일성을 검증할 수 있는 카이제곱(CHI-square : χ^2)방법과 두 변량간의 비례적 관계를 나타내는 척도로서 상관계수 R을 산출한다. 각 통계지표들은 Fortran으로 프로그램화하여 산출하고 모형별로 비교 분석한다.

1) RMSE와 %RMSE

널리 이용되는 측정법인 평균제곱근오차(RMSE: root mean square error)는 비교하는 자료간의 전체 변동을 나타낸다. RMSE와 %RMSE의 산정식을 살펴보면 식(9)와 같다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_i (t_i - T_i)^2}{N}}, \%RMSE = \left(\frac{RMSE}{T_e}\right) \times 100 \quad (9)$$

여기서, t_i : 배정된 구간 자료(교통량, 통행시간, 속도)
 T_i : 실제 관측된 구간 자료(교통량, 통행시간, 속도)

N : 구간 수(=114)

T_e : 실제 관측 자료의 평균

위의 산정식에서 나타난 것과 같이, RMSE는 모형별로 배정된 자료의 실제 관측 자료에 대한 평균적 이탈정도를 나타내며, %RMSE는 그 이탈정도를 관측자료에 대한 백분율로 나타낸 것이다.

2) 카이제곱(CHI-square) 통계량 및 상관계수 R

적합도에 대해 가장 잘 알려진 검정방법이 카이제곱(χ^2)검정이며, 추정치와 실측치의 동일성 검정을 위해 사용되는 방법으로, 식(10)과 같이 표현될 수 있다.

$$\chi^2 = \sum_i \frac{(t_i - T_i)^2}{T_i} \quad (10)$$

상관계수 R은 두 변량간의 비례적인 관계를 나타내는 척도로서 -1에서 1사이의 값을 가지며, 1로 가까워질수록 두 변량간의 양의 관계가 커짐을 의미한다.

$$R = \frac{N \sum_i t_i T_i - \sum_i t_i \sum_i T_i}{\sqrt{N \sum_i t_i^2 - (\sum_i t_i)^2} \cdot \sqrt{N \sum_i T_i^2 - (\sum_i T_i)^2}} \quad (11)$$

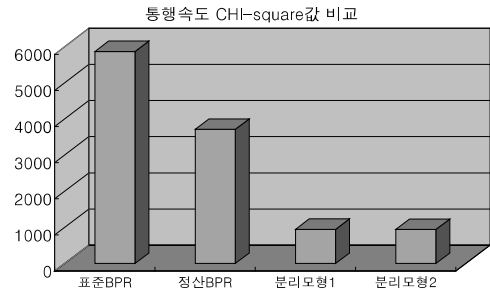
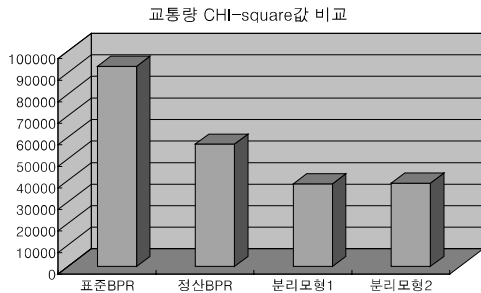
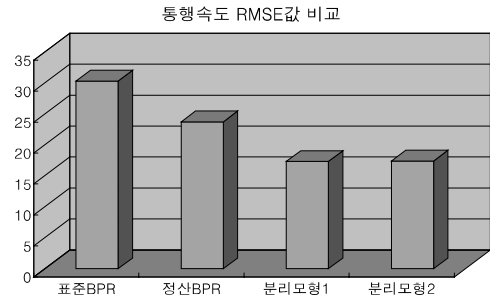
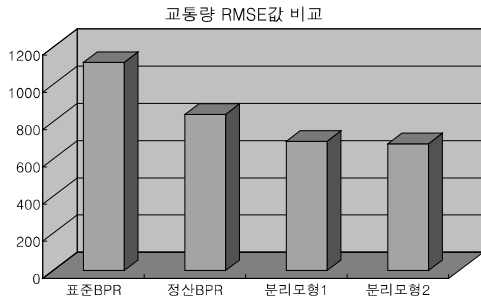
여기서, N : 자료의 총 수

2. 모형별 검증결과

먼저 모형별 배정된 교통량과 실제 조사된 교통량간의 통계지표를 비교하면 다음과 같다. 교통량간 비교에서 보아 알 수 있듯이 BPR모형 보다는 통행시간 분리모형이 관측치와의 오차가 더 작은 것으로 나타났다. 상관계수 다소 낮게 나타났으나 모형간 차이는 크지 않은 것으로 나타났다.

〈표 9〉 모형별 배정교통량의 통계분석

구분	BPR (표준식)	BPR (정산식)	통행시간 분리모형1	통행시간 분리모형2
RMSE	1118.56	839.42	695.52	682.06
%RMSE	70.18	52.67	43.64	42.79
CHI-square	92906	56798	38405	38732
상관계수(R)	0.38	0.39	0.32	0.31



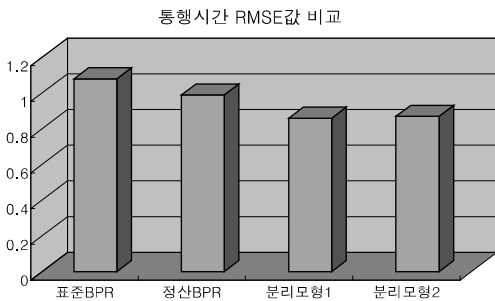
〈그림 11〉 교통량 통계지표 비교

〈그림 13〉 평균통행속도 통계지표 비교

〈표 10〉 모형별 통행시간 예측치 통계분석

구분	BPR (표준식)	BPR (정산식)	통행시간 분리모형1	통행시간 분리모형2
RMSE	1.08	0.99	0.86	0.87
%RMSE	75.3	69.29	60.03	60.98
CHI-square	54.27	45.66	79.46	83.56
상관계수(R)	0.6	0.6	0.58	0.59

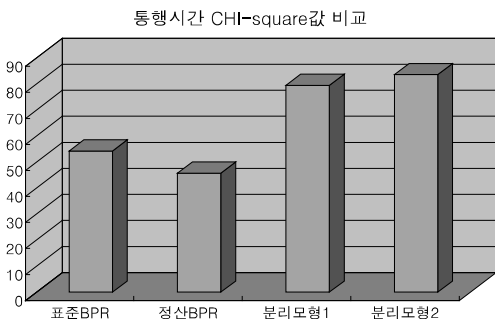
〈표 10〉은 통행시간간 통계지표의 비교이다. 각 모형별 예측 통행시간과 실측 통행시간과의 비교에서는 RMSE나 %RMSE를 보아 본 연구의 통행시간 분리모형이 BPR모형 보다 오차가 적은 것을 알 수 있다. 그러나 CHI-square값에 있어서는 BPR모형이 실측치에 더 가까운 것으로 나타났다.



〈표 11〉은 모형별 평균통행속도 비교이다. 통행속도는 BPR모형과 통행시간 분리모형간의 차이가 두드러지게 나타남을 볼 수 있다.

〈표 11〉 모형별 통행속도 예측치 통계분석

구분	BPR (표준식)	BPR (정산식)	통행시간 분리모형1	통행시간 분리모형2
RMSE	30.31	23.74	17.34	17.42
%RMSE	85.35	66.86	48.83	49.06
CHI-square	5860.09	3707.67	940.03	938.09
상관계수(R)	0.07	0.12	0.35	0.36



이상의 통계지표간 비교에서 알 수 있는 것은 대체로 BPR 모형은 통행시간 분리모형에 비해 실제 관측치와의 오차가 크게 나타남을 볼 수 있다. 아울러 BPR모형간 비교에서는 표준식을 사용하는 것 보다는 국내 국도를 대상으로 정산한 식이 보다 관측치에 가까운 결과를 산출함을 보여 주었다.

〈그림 12〉 통행시간 통계지표 비교

통행시간 분리모형간 비교에서는 두 모형간 차이가

크지 않은 것으로 나타나, 통행시간 분리모형2가 계획단계에서 적용이 용이하면서 교차로의 지체를 반영할 수 있을 것으로 판단된다.

V. 결론 및 향후 연구과제

기존 통행배정 모형은 도시내 통행시간의 상당부분을 차지하는 교차로 지체를 적절히 고려하지 못하고 있다는 판단하에, 구간통행시간을 링크의 순행시간과 교차로 지체시간으로 분리하여, 청주시 주행속도 조사자료와 교차로별 기하구조, 교통량, 신호운영 현황으로 부터 링크의 순행시간과 교차로 지체시간을 각각 모델링하여 통행배정단계에 적용하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 기존 BPR모형의 형태는 교차로 지체가 전체 통행시간의 상당부분을 차지하는 도시내 통행행태를 설명하는데 한계가 있으며, 신호화된 도시내 도로망 보다는 도시간 혹은 지역간 교통수요예측 등 거시적인 교통계획에 적용하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

둘째, 통행시간 산출모형에 교차로지체를 고려하기 위한 주요 변수중의 하나인 교차로 접근로 녹색시간비와 차로수비의 관계를 분석한 결과 높은 상관관계를 나타냈고, 교차로의 유형 및 운영특성에 따른 접근로 녹색시간비의 분포를 검토한 결과 3지교차로의 주방향 접근로와 4지교차로 주간선도로의 접근로에 대해 차로수비를 보정하여 녹색시간비와 t검정 수행 결과 신뢰수준 95%에서 차이가 없다는 귀무가설을 기각할 수 없는 것으로 나타났다.

셋째, 본 연구의 통행시간 분리모형과 BPR모형을 함께 EMME/2를 이용하여 청주시 가로망에 적용한 결과, 교통량, 통행시간, 통행속도에 있어서 표준 BPR 모형 보다는 정산된 BPR모형이 실측치에 보다 근접하고, 통행시간 분리모형이 실제 관측치와의 통계적 오차가 감소하여 실측치에 보다 근접한 결과를 산출하는 것을 확인하였다

넷째, 통행시간 분리모형간 비교에서는 두 모형간 차이가 크지 않은 것으로 나타나, 본 연구에서는 비교적 수식이 간단한 통행시간 분리모형2(Webster 기반 수정모형)가 계획단계에서 적용이 용이하면서 교차로의 지체를 반영할 수 있는 최적 모형으로 제시하고자 한다.

본 연구에서 고려하지 못한 부분과 향후 연구할 과제는 다음과 같다.

본 연구에서 교차로 지체함수로 적용한 균일지체 기반 수정모형과 Webster 기반 수정모형의 경우 접근로 v/c비나 링크 v/c비가 1을 초과하지 않는 상태에 적용 가능하므로, 포화상태에서 교차로 증분지체를 산출하는 안정적인 방안에 대한 연구가 필요하다.

또한 본 연구에서는 연동계수(1로 설정)를 적용치 못하여 통행시간 분리모형이 실측 통행시간 보다 다소 높게 산출되었다. 연동계수를 적용하기 위해서는 교차로간 윅셋 설정 등 계획단계에서 적용이 어려운 문제가 있으므로 본 연구에 적용 가능한 방법의 개발이 필요하다.

그리고 본 연구에서 순행시간 모델링 및 차로수비 보정계수 설정시 청주시를 대상으로 하였으나, 타 도시로의 전이성을 검토할 필요가 있으므로 향후 타 도시의 통행조사 자료로 검증할 필요가 있다.

마지막으로 본 연구는 링크의 통행시간에 초점이 맞춰져 있으나, 보다 정교한 모형이 되기 위해서는 교차로의 회전 지체에 대한 모델링도 필요할 것이다.

참고문헌

1. 강호익·박창호(1998), “도로유형별 지체함수 정립에 관한 연구”, 대한교통학회지, 제16권 제2호, 대한교통학회, pp.117~131.
2. 김형진·이연화(2004), “통행배정의 신뢰성 제고를 위한 도로용량 산출방법”, 대한토목학회논문집 제24권 제4D호, 대한토목학회.
3. 이의인(1986), “링크체증함수 및 일반화비용함수의 적용에 관한 고찰”, 서울대학교 대학원 석사학위 논문.
4. 임강원·임용택(2003), “교통망분석론”, 서울대학교 출판부.
5. 주정열(1993), “통행배정모형의 도로용량함수 비교 및 적용에 관한 연구”, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.
6. 최기주(1986), “용량저항함수의 비교분석 및 그 적용방안에 관한 연구”, 서울대학교 대학원 석사학위논문.
7. ALAN J. HOROWITZ(1991), “Delay-Volume Relations for Travel Forecasting : Based on the 1985 Highway Capacity Manual”, Federal Highway Administration U.S. Department of

- Transportation.
8. Athanasios K. Ziliaskopoulos, Hani S. Mahmassani(1996), "A note on least time path computation considering delays and prohibitions for intersection movements", Transportation Research Part B, pp.359~367
 9. Hai Yang, Sam Yagar(1995), "Traffic Assignment and Signal Control in Saturated Road Networks", Transportation Research Part A, pp.125~139.
 10. Hedayat Z. Aashtiani(1999), "Use of Intersection Delay Functions to Improve Reliability of Traffic Assignment Model", 14th Annual International EMME/2 Conference Chicago, Illinois.
 11. Henk Taale(2001), "Testing the HCM 1997 Delay Function for DUTCH Signal Controlled Intersections", 80th Annual Meeting of the TRB.
 12. Horowitz, Ajan J(1991), "Delay-Volume Relation for Travel Forecasting, Based on the 1985 Highway Capacity Manual", Federal Highway Administration, Washington DC.
 13. IAN TAYLOR & PETER WILLOUGHBY (1998), "Junction Modelling in EMME/2", 7th European EMME/2 Users Conference.
 14. R O'N Hill MSc, MEngSc, MOPENZ(1998), "An application of EMME/2 auto-assignment with detailed modeling of activity at node", Waitakere Eco City, New Zealand.
 15. Spiess, Heinz(1989), "Conical Volume Delay Function", Publication #628, Transportation Research Center, University of Montreal, Canada.
 16. Wu Sun(2000), "Traffic Assignment in Urban Transportation Networks", 79th Annual Meeting of the TRB.

✿ 주 작성자 : 오상진

✿ 교신저자 : 박병호

✿ 논문투고일 : 2007. 12. 3

✿ 논문심사일 : 2008. 4. 1 (1차)

2008. 6. 5 (2차)

2008. 6. 9 (3차)

✿ 심사판정일 : 2008. 6. 9

✿ 반론접수기한 : 2008. 12. 31

✿ 3인 익명 심사필

✿ 1인 abstract 교정필