

■ 論 文 ■

이용자 개인의 버스 환승 노선정보의 이용가치 평가

Evaluating Value of Information on Bus-Route Concerning on the User's Individual Value

박 용 진

(계명대학교 교통공학과 부교수)

강 신 화

((주)네오티시스 GIS팀 연구원)

목 차

- | | |
|---|---|
| <p>I. 서론</p> <p>II. 이론적 고찰</p> <p> 1. 통행시간 산정 연구</p> <p> 2. 통행비용 산정 영향변수 검토</p> <p>III. 버스 통행 비용 평가</p> <p> 1. 버스 통행시간 모형 구축</p> | <p>2. 사례구간 버스 통행비용 산정</p> <p>IV. 환승정보 이용가치 평가</p> <p> 1. 환승요금을 할인할 경우</p> <p> 2. 시간가치가 낮은 경우</p> <p>V. 결론</p> <p>참고문헌</p> |
|---|---|

Key Words : 버스노선정보, 직항노선, 환승노선, 환승요금, 통행시간모형

요 약

환승정보에 대한 이용부재와 환승에 따른 버스 요금의 할인 문제 등 여러 가지 문제로 인하여 버스 환승에 대한 인식이 매우 낮은 현실로 환승정보를 이용한 사용자들이 경제적으로 얼마나 이득을 보는지에 대한 정보가 없는 실정이다. 따라서, 본 연구의 목적은 환승 정보가 이용자 개인 이용가치를 대구광역시 버스노선을 대상으로 평가하는 것이다.

환승 정보의 시간가치를 산정하기 위하여 직항노선이 있는 사례구간인 달서구청 ~ 동대구역 구간의 통행시간 비용을 환승노선과 비교 분석하였다. 통행시간 비용 산정에 필요한 통행시간은 대구광역시 1차, 2차, 3차 내부순환도로의 공간적 특성에 따른 정류장 수와 거리를 독립변수로 설정하여 예측하였고 차내 시간가치가 1,738원/시간을 적용하였다.

본 연구의 사례구간인 달서구청~동대구역 구간에서 버스 차내 시간가치가 1,738원인 경우 현재 운영되고 있는 버스노선체계는 환승 정보에 대한 이점이 없는 것으로 분석되었으나 환승요금을 100% 할인할 경우 환승 정보에 대한 가치가 조금 나타났다. 또한 차내 시간가치가 639원/시간으로 낮은 경우 환승요금이 할인율이 커질수록 환승 정보에 대한 가치가 높게 나타났다.

I. 서론

자동차 산업은 '80년대 이래 고도경제성장을 이룩하는데 중요한 역할을 담당하여 왔다. 그러나 자동차의 증가에 비하여 도로나 교통시설물의 확대는 상대적으로 어려워 극심한 교통 혼잡과 이로 인한 대기오염 등 여러 가지 부작용이 속출하고 있다.

이러한 교통 혼잡 완화 차원에서 대중교통활성화는 각 도시마다 중요한 과제로 대두되고 있다. 대중교통 이용의 활성화는 개인 교통비 지출을 줄이고, 승용차 이용자가 대중교통 이용자로 전환되는 만큼 도로혼잡이 줄어들고 이에 따른 통행속도도 증가하게 된다.

여러 광역시는 지하철 건설 및 운영에 따른 재정적 어려움을 겪고 있는 반면에 대구광역시의 경우 단일 노선의 지하철은 대중교통수단으로서 충분한 역할을 담당하고 있지 못하고 있다. 또한 오전/오후 첨두시간 동안 운영되고 있는 버스전용차로 운영으로는 승용차 이용자를 대중교통 이용자로 전환하기에는 역부족인 실정이다.

대구광역시의 경우 1200대의 버스가 29개 업체에 의해 좌석 및 일반 88개 노선이 운영되고 있다(대구광역시, 2002). 88개 버스 노선은 거의 모든 도시 가로망에서 운행되고 있음에도 불구하고 일부 이용자의 편의에 따라 버스 노선은 시간이 지날수록 굴곡도가 커지고 있는 실정으로 버스 노선의 지선 및 간선 체계를 유지하기는 현실적으로 매우 어려운 실정이다.

일부 이용자의 편의에 따른 굴곡노선은 이용자의 통행시간을 증가시키는 요인이 되어 승용차의 통행시간에 익숙한 자가용 이용자를 버스 이용자로 변환시키는 장애 요소 중 하나로 작용하고 있다. 이런 높은 굴곡도로 인한 버스 이용률 저하는 버스회사의 경영악화와 서비스 질 저하를 초래하고 이로 인한 공공재정 부담을 가중시키고 있는 요인이 되고 있는 현실이다.

지난 몇 년 동안 각 도시마다 국가 ITS 기본계획(건설교통부, 2000)을 기본 틀로 지방자치단체 특성을 고려한 ITS 기본계획과 시범사업이 부분적으로 시행되고 있다. 2002년 수립된 대구광역시 ITS 기본계획에서 대중교통에 관한 서비스가 우선순위가 가장 높은 것으로 조사되었다(대구광역시, 2002).

대구광역시의 경우 아직 대중교통에 관한 ITS 서비스가 계획단계에 있지만 대중교통의 이용을 증진시키기 위한 방안으로 버스노선안내를 위한 website(<http://businfo.daegu.go.kr/>)를 운영하고 있다.

이 안내시스템은 기본적인 노선 및 정거장에 대한 정보뿐만 아니라 시설물에 따른 노선 검색 및 출발지와 목적지를 입력하면 정거장 수(노선길이)에 따른 최적 노선을 제공하고, 직항 노선이 없는 경우 환승에 대한 정보를 제공하고 있다. 환승 정보는 이용자로 하여금 환승할 수 있는 기회를 부여함에 따라 버스노선 굴곡도를 낮출 수 있을 것이라는 기대에서 정보를 제공하고 있다.

그러나 아직도 환승정보에 대한 이용부재와 환승에 따른 버스 요금의 할인 문제 등 여러 가지 문제로 인하여 버스 환승에 대한 인식이 매우 낮은 현실이다. 또한 환승정보를 이용한 사용자들이 경제적으로 얼마나 이득을 보는지에 대한 정보가 없는 실정이다.

따라서, 본 연구의 목적은 이용자 개인의 환승 정보에 대한 이용가치를 대구광역시 버스노선을 대상으로 평가하는 것이다.

본 연구에서는 직항 노선이 있는 경우를 대상으로 환승을 하였을 경우 통행시간을 비교하여 환승 정보의 가치를 분석하고자 한다.

환승 정보를 이용 활성화는 버스 노선의 굴곡도를 낮출 수 있으며 궁극적으로 버스 노선의 지선 및 간선 체계 운영을 유도 할 수 있게 될 것이다.

II. 이론적 고찰

1. 통행시간 산정 연구

버스 통행시간 산정과 관련된 기존 연구는 지체와 관련된 요인을 분석한 연구가 주로 이루어 졌으며 통행시간 산정 모형은 주로 일정구간 조사를 통하여 전체 시간을 산정하는 정량적인 방법을 선택하고 있었다.

Turnquist(1978)는 버스정류장에서 승객 평균대기 시간은 연속적인 버스 도착시간 간격의 분포함수로 나타내어 모형화하여 승객의 총 대기시간을 정의하였고 Shanteau(1981)는 정류장에서 승객의 승하차 시간에 영향을 주는 요인들은 버스 도착시간이 일정하지 않을 경우 다른 요인들과 결합하여 정류장에서 기다리는 승객에 영향을 미치는 것으로 나타났고 버스 운행간격 통제가 잘 되지 않을 시 배차간격 조절이 필요하다는 결론을 얻었다. Talley와 Becker(1987)는 특정 정류장 정차시 몇 분 이상 일찍 도착하거나 늦게 도착할 확률적인 계산법을 이용하여 버스 도착 정시성 분석하였으

며 기초 통계자료로 제공하였다.

국내에서는 도시버스 운행저해요인에 관한 연구(김대용, 1986)에서 버스 운행 저해요인 비디오 촬영으로 분석하여 구간주행속도를 목적변수로 설정, 교통조건, 연도환경을 설명변수로 단계적 회귀분석 실시하여 구간 주행속도 모델을 제시하였다. 또한 버스운행시간 특성 및 예측에 관한 연구(정성훈, 1996)에서는 정류장 주행시간, 교차로 지체 등 교통상황과 정류장 승객수에 따른 정차시간 자료를 고려하여 버스 통행시간 모형을 수립하였다.

구간 구간의 버스 통행시간 예측은 교통상황(교통량 및 신호지체 등)이나 승하차 승객에 따라 조금씩 차이는 있을 수 있으나, 현재 대구광역시 버스는 지정된 시간표에 따라 운행하고 있으므로 운행 시간표에 따른 통행시간 예측하는 것이 더 현실적이라 할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 운행시간표와 가로망의 공간적 특성을 이용하여 버스 통행시간 모형을 개발하여 통행비용을 산정하고자 한다.

2. 통행비용 산정 영향변수 검토

1) 통행시간가치

통행시간가치는 교통 서비스를 이용하는 사람이 통행할 때 단위시간에 대해 느끼는 심리적인 희생감을 금전으로 환산한 것이다. 통행시간가치는 교통부분의 투자사업, 교통정책의 의사결정에 결정적인 영향을 미치는 중요한 변수 임에도 불구하고 연구의 특성이나 추정 방법에 따라 여러 값으로 추정되고 있다(김현, 1999).

이런 신뢰성의 문제를 해소하기 위하여 통행시간가치의 신뢰구간을 추정하는 방법도 제시되었다(조중래, 1998, 1999).

통행시간가치를 산출하는 방법 중 임금율법은 여객의 시간가치를 통행자의 임금수준과 관련한 것으로 보고 평균임금을 월평균소득으로 산출하여 월평균 근무일수, 일평균 근무시간을 기준으로 시간가치를 산출하는 방법이고 한계대체율법은 이론적인 연구에서 주로 수행되는 통행자 개개인에 대한 통행특성을 분석을 통하여 시간가치를 추정하는 방법이다.

임금율법은 시간을 사회적 자본으로 간주하여 통행과 관련되지 않는 지표를 이용하여 시간가치를 산정하여 교통투자사업의 타당성 평가에 주로 이용되고 있으며, 한계대체율법은 통행자 개인특성을 분석하여 시간

가치를 추정하는 방법이다.

통행시간의 가치 산정에 있어 통행시간과 통행비용의 한계대체율(MRS : marginal rate of substitution)을 통한 측정 방법은 식(1)과 같이 4개의 설명변수를 갖는 로짓모형을 이용해서 추정된다(윤대식, 2001).

$$V_B = a_C CT + a_V IVT + a_W WT + a_A AT \quad (1)$$

여기서, V_B : 버스의 결정적 효용

CT : 버스요금

IVT : 버스의 차내통행시간

WT : 버스를 기다리는 시간

AT : 집에서 버스정류장까지의 소요시간

a_C, a_V, a_W, a_A : 파라미터

2) 통행시간

차량의 통행시간 및 지체도 조사는 교통 혼잡 및 서비스 수준의 지표로서 활용되고 있으며 교통운영개선사업(TSM)의 개선안에 대한 효율성 판단의 기준이 된다.

통행시간 조사방법에는 시험차량을 이용하는 방안으로 교통류를 이용한 통행시간 모형(박용진, 1998)과 평균속도 운행법 등이 있으며 시험차량을 이용하지 않는 방법으로는 번호판 판독법과 면접조사방법 등이 있다.

본 연구에는 차량 운행시간표 조사를 통하여 도출된 버스의 통행시간 모형을 사용하여 통행시간을 산출하였다.

3) 보행속도와 도보거리

대중교통 서비스를 이용하기 위하여 정류장까지 이동하는 평균 보행속도는 횡단보도에서 보행자의 안전을 위하여 필요한 신호시간 결정시 기준이 되는 1.2m/초를 사용하며, 도보거리는 통행목적이나 지역 등에 따라 평균 보행거리는 서로 상이하나 일반적으로 도심부 400m, 기타지역 800m 정도를 각종 시설 계획시의 기준으로 정한다.

본 연구에서는 사례지역인 달서구청과 동대구역에서 400m안에 있는 모든 정류장을 대상으로 노선검색을 실시하였으며 집에서 정류장까지의 소요시간 산출시 평균 보행속도를 1.2m/s로 계산하였다.

III. 버스 통행 비용 평가

환승 노선의 가치를 평가하기 위한 버스 통행비용을

산정하여야 한다. 버스 통행비용은 버스 통행시간(차내 시간)과 정류장까지의 도보시간 및 버스를 기다리는 대기 시간의 함수로 이루어진다. 따라서 버스 통행시간을 예측할 수 있는 모형을 구축하고 버스 통행비용을 산정한다.

1. 버스 통행시간 모형 구축

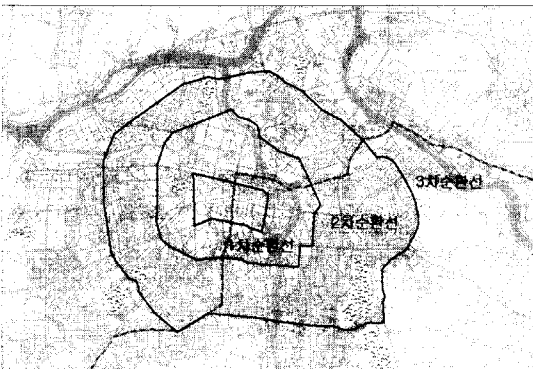
버스 통행시간 예측은 교통상황(교통량 및 신호지체 등)이나 승하차 승객에 따라 조금씩 차이는 있을 수 있으나, 현재 대구광역시 버스는 지정된 시간표에 따라 운행하고 있으므로 운행 시간표에 따른 통행시간 예측하는 것이 더 현실적이라 할 수 있다.

대구광역시는 <그림 1>과 같이 가로 구조는 격자형 구조에 CBD를 중심으로 1차, 2차, 3차 내부 순환도로 형태를 이루고 있다. 도로의 기능은 완전한 순환도로 기능은 아니지만 1차 순환도로 내에 교통유발에 큰 영향을 미치는 행정, 금융, 상업지역이 밀집해 있는 단핵도시로 구성되어 있고 2차 및 3차 순환도로 안쪽은 유사한 토지이용을 갖고 있으나 3차 순환도로 이외 지역은 집중된 도심지를 벗어난 지역이라고 할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 대구광역시 버스 노선을 대상으로 운행시간표 자료를 조사하여 가로망의 공간적 특성을 이용하여 버스 통행시간 모형을 도출하고자 한다.

1) 모형 구축

본 연구에서는 이러한 공간적 특성을 이용하여 대구광역시 내부순환도로를 1차, 2차, 3차, 그 외의 지역으로 나누어 대구광역시에서 운행 중인 시내버스가 도심에 접근할수록 정류장 개수와 정류장간 거리가 달라



(그림 1) 대구광역시 가로망 구조

짐에 따라 이를 변수로 설정하여 식(2)와 같이 버스 통행시간(TT) 모형을 개발하였다. 모형식에서 정류장이 없거나 정류장 거리가 없으면 통행시간도 0이 되어야 하므로 상수값(β_0)을 0으로 놓았다.

$$\begin{aligned} TT &= f(\text{정류장 수, 정류장간 거리}) \\ &= \beta_0 + \beta_1 S_1 + \beta_2 S_2 + \beta_3 S_3 + \beta_4 S_4 \\ &\quad + \beta_5 D_1 + \beta_6 D_2 + \beta_7 D_3 + \beta_8 D_4 \end{aligned} \quad (2)$$

여기서,

β_0 : 0

TT : 노선 통행시간

S_i : k에서 버스노선이 정차하는 버스정류장 수 ($i=1\sim4$),

D_i : k에서 버스노선 거리($i=1\sim4$)

($i=1$: k=1차 내부 순환도로 내

$i=2$: k=1-2차 내부 순환도로 내

$i=3$: k=2-3차 내부 순환도로 내

$i=4$: k=3차 내부 순환도로 외)

β_i : 파라미터 ($i=1\sim8$)

2) 자료 수집 및 분석

통행시간은 정류장 개수가 늘어남에 따라 재차시간이 증가하고, 정류장간 거리 역시 거리가 증가할수록 통행시간이 증가하기 때문에 이들 관계를 변수로 설정하여 대구광역시 버스노선 안내 시스템의 GIS 기능을 이용하여 버스노선 정보와 정류장 관련 현황을 조사하여 노선과 정류장의 전체적인 분포를 분석하였다.

대구광역시의 전체 운행 버스노선 수는 마을버스 노선 및 오지노선을 포함하여 총100개 노선으로 이루어져 있으며 정류장은 총2,183개소가 설치되어 있다.

이들 노선 중 마을버스노선 및 오지노선을 제외한 88개 노선 중에서 인구가 많은 상인/월배지역 및 수성구가 각각 17개 및 18개 노선이 운행되고 있으며 칠곡 방면으로 11개 노선이 운영되고 있다. 배차간격이 6~10분 사이가 41개 노선으로 가장 많고 11~15분 사이가 35개 노선으로 거의 모든 노선의 배차 간격이 15분 이내인 것으로 나타났다.

정류장 수도 노선이 많이 다니는 달서구, 수성구, 북구가 350개 이상으로 나타났다. 한 정류장에 통과하는 노선이 21개 이상인 정류장이 14개로서 대부분이 1차 순환선 내에 있는 것으로 나타났다.

〈표 1〉 속성정보 분석

구분	전체노선				일반버스				좌석버스			
	1차	2차	3차	그외	1차	2차	3차	그외	1차	2차	3차	그외
전체 노선수	88개 노선(100%)				64개 노선(73%)				24개 노선(27%)			
순환도로간거리비	4.4	10.7	23.0	61.8	4.6	12.1	25.0	58.3	3.9	7.6	18.4	70.0
정류장 비율(%)	4.6	12.7	27.6	55.2	4.8	14.0	29.6	51.6	3.9	9.4	22.5	64.2

〈표 2〉 순환도로간 거리 및 정류장 수 분포

구분	거리(km)					정류장(개소)					소요 시간	
	소계	1차	2차	3차	그외	소계	1차	2차	3차	그외		
일반	Max	45.0	3.0	8.0	24.5	31.9	100	7	21	65	62	15.00
	Min	17.1	0.0	0.0	0.0	2.0	41	0	0	0	11	62.0
	Ave	27.7	1.3	3.4	6.9	16.1	63.2	3.0	8.8	18.7	32.6	97.1
좌석	Max	51.1	2.7	4.5	19.4	39.9	87	6	12	53	66	127.0
	Min	17.9	0.0	0.0	1.5	9.7	48	0	0	4	27	78.0
	Ave	32.3	1.3	2.5	6.0	22.6	66.8	2.6	6.3	15.0	42.9	100.4

대구광역시 전체 버스노선 중 일반버스는 64개 노선으로 전체의 73%를 차지하고 있고 좌석버스는 24개 노선으로 27%를 차지하고 있다. 순환도로간 거리 및 정류장 비율은 〈표 1〉과 같이 도심지에서 외곽으로 나갈수록 커지는 것으로 나타났으며 좌석버스는 일반버스에 비해 순환도로 외곽지를 많이 운행하는 것으로 나타났다.

또한 일반버스와 좌석버스의 평균 운행시간, 평균 운행거리 및 평균 정류장 개소를 분석한 결과는 〈표 2〉와 같이 일반버스의 평균운행 소요시간은 약 97분이고 좌석버스는 약 100분으로 약 3분 긴 것으로 나타났다. 순환도로별 평균거리는 일반버스와 좌석버스는 1차 순환도로 내에서는 1.3km로 같게 나타났으나, 2차, 3차 순환도로 내에서 약 0.9km정도 일반버스가 긴 것으로 분석되었다. 순환도로별 평균정류장 수는 일반버스가 63.2개소 좌석버스가 66.8개소로 운행거리가 상대적으로 긴 좌석버스가 약간 많은 것으로 나타났다. 이는 평균 운행거리가 약 4.6km정도 긴 좌석버스의 운행거리 및 정류장 개소수가 일반버스 보다 다소 높은 것으로 정류장당 거리는 일반버스는 444m로 좌석버스 448m와 큰 차이가 없는 것으로 분석되었다.

3) 모형 개발

조사된 대구광역시에서 운행중인 전체 88개 노선 중 순환 노선 4개 노선을 제외한 84개 노선을 대상으로 앞선 식(2)의 변수를 적용하여 회귀분석을 하기 위하여 SAS program을 이용하였다. 모형식 적용에 있어 노선 거리와 버스 노선이 정거하는 정류장 수가 없을 경우는 통행시간 역시 0이 되어야 하기 때문에 상수

〈표 3〉 Stepwise를 이용한 다중회귀분석 결과 (α=0.05)

Vaible	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for HO: Parameter =0	Prob> T	R-square
D2	1	5.449	0.672	8.11	0.0001	0.9901
D3	1	3.489	0.287	12.17	0.0001	
D4	1	1.583	0.201	7.55	0.0001	
S1	1	2.087	0.541	4.06	0.0001	
S4	1	0.625	0.112	5.59	0.0001	

값이 0이 되도록 분석하였으며, 유의수준은 5%이내로 설정하였다. Stepwise 방식을 사용하여 회귀분석을 실시한 결과는 〈표 3〉과 같다.

회귀분석에서 도출된 통행시간(TT) 모형은 식(3)과 같이 1차 순환도로 내의 정류장 수 (S₁), 1차 순환도로~2차 순환도로 사이의 노선거리(D₂), 2차 순환도로~3차 순환도로 사이의 노선거리(D₃), 3차 순환도로~종점까지의 노선거리(D₄), 3차 순환도로~종점까지의 정류장 수(S₄)가 통행시간에 유의수준 5%에서 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 결정계수(R-square)는 0.9901로 아주 높게 분석되었다.

$$TT = 5.449D_2 + 3.489D_3 + 1.583D_4 + 2.087S_1 + 0.625S_4 \quad (R^2 = 0.9901) \quad (3)$$

여기서,

TT : 노선의 통행시간(분)

D₂ : 1-2차 순환도로 내에서 버스노선 거리(km)

D₃ : 2-3차 순환도로 내에서 버스노선 거리(km)

D₄ : 3차 순환도로 외에서 버스노선 거리(km)

S₁ : 1차 순환도로 내에서 버스노선이 정차하는 정류장 수

S₄ : 3차 순환도로 외에서 버스노선이 정차하는 정류장 수

도출된 통행시간 모형은 1차 순환도로~2차 순환도로 사이에서는 노선거리 km 당 약 5.4분이 소요되며, 2차 순환도로~3차 순환도로 사이에서는 노선거리 km

〈표 4〉 다중공선성 분석 결과

독립변수	Eigen value	Condition Index
D ₂	4.01164	1.00000
D ₃	0.45380	2.97324
D ₄	0.36204	3.32875
S ₁	0.13699	5.41143
S ₄	0.03552	10.62716

당 약 3.5분 소요되는 것으로 분석 되었다. 또한 3차 순환도로~종점까지는 노선거리 km 당 약 1.6분에 정류장 1개당 약 0.6분이 소요되고 1차 순환도로 내에서는 정류장 1개소마다 약 2분이 소요되는 것으로 분석되었다.

설명변수들 간의 다중공선성을 알아보기 위하여 설명변수들의 고유값(Eigenvalue) 및 상태지수(Condition Index)를 분석하였다. 분석 결과는 〈표 4〉와 같이 고유값은 모두 양수로 0보다 큰 값으로 분석되었고 S₄가 가장 작은 값으로 0.03552이다. 또한 상태지수는 S₄가 10보다 조금 크게 분석 되었으나 상태지수가 30보다 작으므로 회귀계수의 추정치 다중공선성에 의한 피해를 본다고 할 수 없다(홍종선, 1999).

4) 모형의 적합성 검증

다중회귀분석을 통해 구축한 모형을 검증하기 위하여 대구광역시에서 운행 중인 임의의 버스노선 일부구간을 선정하여 오전 첨두시간에 각 노선당 15회를 조사하였다. 모형에서 예측한 통행시간과 실측통행시간의 차이가 있는지를 검증하기 위하여 유의수준 0.05에서 Paired-t 검정을 실시하였다.

Paired-t 검정은 각 노선별 실측치와 이론치의 통행시간 차이(D_i)가 있는지를 식(4)와 같이 설정하여 검증(H₀: D̄=0, H₁: D̄ ≠ 0)하였다.

$$D_i = t_{M_i} - t_{T_i} \quad (i = 1 \cdots 4) \quad (4)$$

검증을 위한 자료는 〈표 5〉와 같이 549번은 성서종합시장 정류장에서 계명대학교 대명캠퍼스 앞 정류장까지의 예측된 통행시간은 30.4분으로 실측치는 35분보다 낮게 나타났으나 같은 549번으로 계명대학교 대명캠퍼스에서 대백프라자까지는 모형에서 예측한 시간이 실측치보다 다소 높게 나타났다. 그 외의 노선도 실측치가 다소 높게 나타났으나 그 차이는 아주 적었다. 검증결과는 유의수준 5%에서 귀무가설이 채택되어 통행시간 차이가 없다는 결론을 얻었다.

〈표 5〉 통행시간 적합성 검증

노선	독립변수					이론치 t _T (분)	실측치 (자료수15) 평균 t _M (분)
	D ₂	D ₃	D ₄	S ₁	S ₄		
549번	0.8	1.7	6.0	0	17	30.4	35
549번	2.3	0.0	0.0	0	0	12.4	11
504번	2.0	1.7	6.7	4	16	45.8	48
105번	0.9	1.4	6.8	3	16	36.6	39
비고	549번(좌석): 성서종합시장~계명대 대명캠퍼스 549번(좌석): 계명대 대명캠퍼스~대백프라자 504번(일반): 계명대 정문~한일극장 105번(좌석): 성서 한국통신~한일극장						

2. 사례구간 버스 통행비용 산정

버스 통행비용을 산정하기 위하여 일반적인 한계대체율법(원재무, 2001)에서 한 개인의 시간가치(차내시간가치, 도보시간가치, 대기시간가치)를 동일하게 적용할 경우 출발지(i)에서 도착지(j)까지 한계대체율법에 의한 통행비용 산정 모형은 식 (5)와 같이 변형할 수 있다.

$$TC_{ij}^k = r_1 \left(\frac{TT_{ij}^k}{60} \right) + r_2 \left(\frac{LP_{ij}^k}{3.6 * VP} + \frac{H_k}{2} \right) + C_k \quad (5)$$

여기서,

TC_{ij}^k : 노선 k의 i에서 j까지 총 비용(원)

r₁ : 차내시간가치(원/시간)

r₂ : 차외시간가치(원/시간)

TT_{ij}^k : 노선 k의 i에서 j까지 통행시간(분)

LP_{ij}^k : 노선 k의 i나 j에서 정류장까지 도보 거리 및 환승에 필요한 도보거리(km)

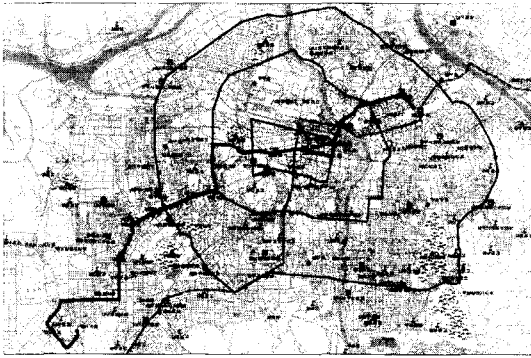
VP : 도보속도(m/초)

H_k : 노선 k의 배차시간간격(시간)

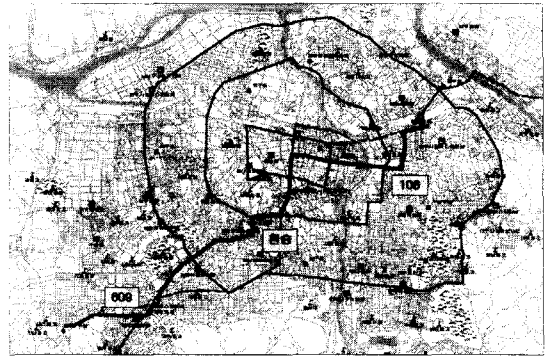
C_k : 노선 k의 버스 운임(원)

사례구간은 달서구청~동대구역 구간으로 정하고 달서구청에서 동대구역까지 운행하는 직항 및 환승노선을 대구광역시 버스노선 검색 프로그램을 이용하여 조사하였다. 환승 노선 결정을 위한 환승 정류장은 중간 도착지 정류장에서 반경 50m내에 있는 정류장을 통과하는 노선을 검색하여 결정되었다.

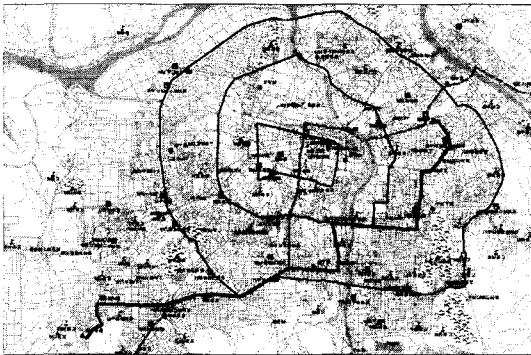
조사된 직항 버스노선은 4개 노선으로 GIS map을 이용한 노선도는 〈그림 2〉~〈그림 5〉와 같고 환승노선은 6개 노선으로 노선도는 〈그림 6〉~〈그림 11〉과 같다.



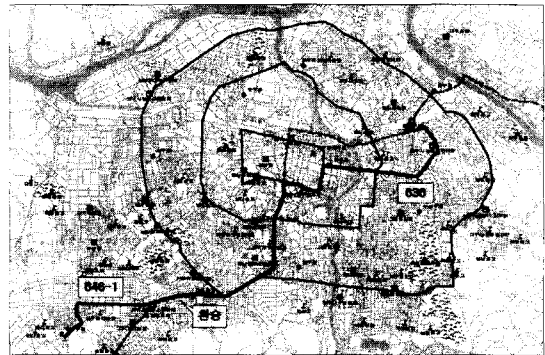
〈그림 2〉 156번 노선도



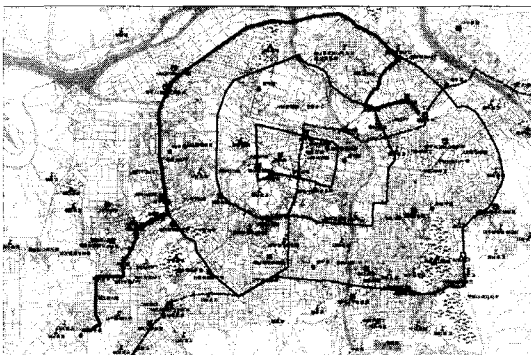
〈그림 6〉 609~106번 환승노선도



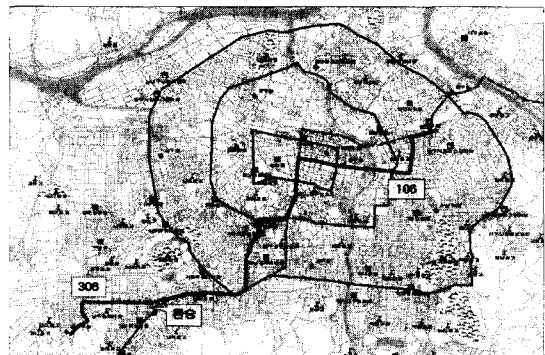
〈그림 3〉 646-1번 노선도



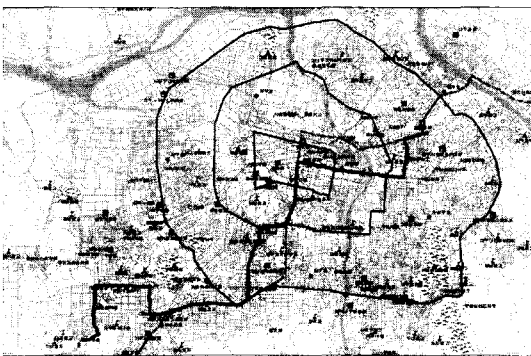
〈그림 7〉 646-1~636번 환승노선도



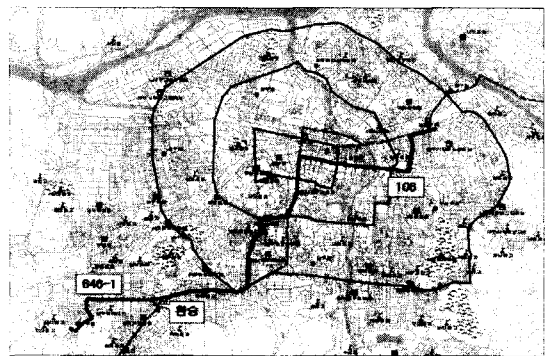
〈그림 4〉 936번 노선도



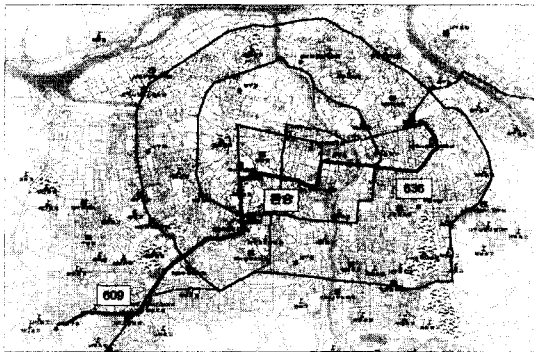
〈그림 8〉 306~106번 환승노선도



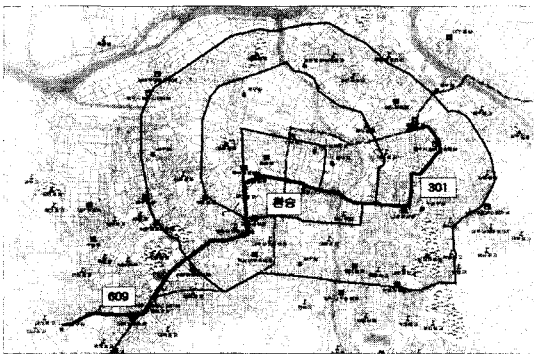
〈그림 5〉 106번 노선도



〈그림 9〉 646-1~106번 환승노선도



〈그림 10〉 609~636번 환승노선도



〈그림 11〉 609~301번 환승노선도

사례구간의 직항노선과 환승노선의 통행시간을 산정하기 위하여 식(5)에서 필요한 각 노선에 대한 정보는 GIS map을 이용하여 조사하였다. 조사된 직항노선과 환승노선의 자료를 식(5)에 적용한 노선별 통행시간은 〈표 6〉, 〈표 7〉과 같다.

사례구간의 통행비용을 산정하기 위하여 도보거리

(LP_{ij}^*)는 달서구청(i)과 동대구역(j)에서 정류장까지의 거리와 환승노선인 경우 환승을 위한 거리를 합산한 거리이다. 보행자 통행속도는 1.2m/초로 설정하였다. 직항 및 환승노선의 노선별 통행비용 산정에 요구되는 자료는 〈표 8〉, 〈표 9〉와 같다.

통행비용을 산정하기위한 개인의 시간가치는 연구의 목적 및 방법에 따라 다양한 값들이 제시되어있으나 본 연구에서는 지역적으로 가까운 부산지역의 버스 시간가치인 2,718원/시간(차외시간)과 1,738원/시간(차내시간)을 적용하였다.

직항노선 시간당 통행비용(TC_{ij}^*)은 〈표 10〉과 같이 최소 3,023원에서 최대 3,881원으로 계산되었고 환승노선 시간당 통행비용은 〈표 11〉과 같이 최소 3,801원에서 최대 4,380원으로 계산되었다.

〈표 6〉 직항노선 입력자료 및 통행시간

노선 (k)	D_2 (km)	D_3 (km)	D_4 (km)	S_1 (개)	S_4 (개)	TT_{ij}^* (분)
156	3.6	2.8	7.0	3	16	56.7
646-1	0.6	8.4	4.7	0	12	47.5
936	0.0	13.0	4.7	0	13	60.9
106	2.4	4.3	6.2	3	14	52.9

〈표 7〉 환승노선 입력자료 및 통행시간

노선	D_2	D_3	D_4	S_1	S_4	TT_{ij}^*
609	0.0	1.8	3.8	0	9	17.9
106	2.4	2.3	0.0	3	0	27.4
609/106	2.4	4.1	3.8	3	9	45.3
646-1	0.0	0.0	3.4	0	9	11.0
636	2.5	5.0	1.1	3	3	40.9
646-1/636	2.5	5.0	4.5	3	12	52.0
306	0.0	0.0	2.9	0	7	9.0
106	2.4	6.3	1.8	3	6	47.9
304/106	2.4	6.3	4.7	3	13	56.9
646-1	0.0	0.0	2.9	0	7	9.0
106	2.4	6.3	1.8	3	6	47.9
646-1/106	2.4	6.3	4.7	3	13	56.9
609	0.9	2.0	3.8	3	9	29.8
636	1.3	2.3	0.0	3	0	21.4
609/636	2.2	4.3	3.8	6	9	51.2
609	0.9	2.0	3.8	3	9	29.8
301	4.2	1.5	0.0	0	0	28.1
609/301	5.1	3.5	3.8	4	9	60.0

주 : 환승노선은 각 노선별 분리하여 계산후 합산

〈표 8〉 직항노선 버스 통행비용 변수

노선 (k)	형태	TT_{ij}^* (분)	LP_{ij}^* (km)	VP (m/s)	H_k (h)	C_k (원)
156	일반	56.7	0.000	1.2	0.5	700
646-1	일반	47.5	0.635		0.5	700
936	좌석	60.9	0.347		0.44	1,300
106	일반	52.9	0.982		0.24	700

〈표 9〉 환승노선 버스 통행비용 변수

노선 (k)	형태	TT_{ij}^* (분)	LP_{ij}^* (km)	VP (m/s)	H_k (h)	C_k (원)
609	일반	17.9	0.347	1.2	0.34	700
106	일반	27.4	0.635		0.24	700
646-1	일반	11.0	0.000		0.50	700
636	일반	41.0	0.000		0.24	700
306	좌석	9.0	0.000		0.34	1,300
106	일반	47.8	0.635		0.24	700
646-1	일반	9.0	0.000		0.50	700
106	일반	47.8	0.635		0.24	700
609	일반	30.3	0.347		0.34	700
636	일반	21.3	0.000		0.24	700
609	일반	30.3	0.347		0.34	700
301	일반	27.5	0.000		0.46	700

주 : 도보거리

- 고속터미널 한진고속건너정류장~동대구역 : 635m

- 월성주공 4단지 앞 정류장~달서구청 : 129m

〈표 10〉 직항노선 통행비용

구분	156	646-1	936	106	최소값	최대값
비용(원)	3,023	3,155	3,881	3,177	3,023	3,881

〈표 11〉 환승노선 통행비용

구분	609	646-1	306	646-1	609	609
	106	636	106	106	636	301
비용(원)	4,118	3,812	4,833	4,450	3,801	4,380
비고	최소값= 3801; 최대값=4,833					

직항노선의 최대비용이 환승노선 최소비용과 80원/시간 차이를 나타내고 있으므로 본 연구의 사례 구간에서는 현재 운영시스템으로는 환승에 대한 이점이 없는 것으로 분석되었다.

N. 환승정보 이용가치 평가

현재 운영되고 있는 대구광역시 버스노선 형태는 환승에 대한 요금 할인이 없는 상태로 운영되므로 버스시간 가치가 1,738원인 경우 환승정보의 가치가 없는 것으로 분석되었다.

대구광역시는 내년 지하철 2호선의 개통에 즈음하여 시내버스 노선 개편과 환승요금에 대한 할인 정책을 계획하고 있다. 따라서 현재의 노선 상태에서 환승 요금을 50% 및 100% 할인했을 경우와 버스 차내 시간가치가 기존연구(김현, 1999)에서 제시한 639원인 경우를 비교 분석하였다.

1. 환승요금을 할인할 경우

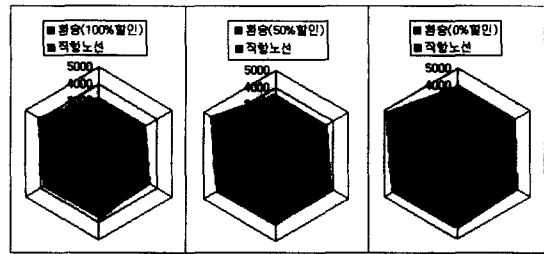
환승요금을 50% 할인할 경우 환승노선의 시간당 통행비용은 〈표 12〉와 같이 최저 3,551원에서 최고 4,483원 사이로 분석되었다. 이것은 직항노선의 최고값이 3,881원 보다 낮게 분석되었으므로 환승요금을 50%할인 해 주도 환승에 대한 이득이 없는 것으로 분석되었다.

〈표 12〉 환승노선 통행비용(환승요금 50%할인)

구분	609	646-1	306	646-1	609	609
	106	636	106	106	636	301
비용(원)	3,768	3,562	4,483	4,100	3,551	4,030
비고	최소값= 3,551; 최대값=4,483					

〈표 13〉 환승노선 통행비용(환승요금100%할인)

구분	609	646-1	306	646-1	609	609
	106	636	106	106	636	301
비용(원)	3,418	3,212	4,133	3,750	3,201	3,680
비고	최소값= 3,201; 최대값=4,133					



〈그림 12〉 환승요금할인 비율에 따른 통행비용 (차내 시간가치=1,738원/시간)

환승요금을 100% 할인할 경우 시간당 통행비용은 〈표 13〉과 같이 최저 3,201원에서 최고 4,133원의 범위로 분석되었다. 이는 직항노선 최저통행비용보다는 조금 높게 분석되었으나 〈그림 12〉와 같이 낮은 환승비용에서 환승에 대한 가치가 조금 나타나는 것을 알 수 있다.

2. 시간가치가 낮은 경우

차내 시간가치가 639원인 경우 차외시간은 기존연구(정현영, 2000)에서 차내시간과 차외시간가치의 비율(1.564)을 동일하게 적용하여 환승요금 할인 비율에 따라 비교 분석하였다.

직항노선의 경우 통행비용은 〈표 14〉와 같이 최저 1,554원에서 최대 2,248원으로 분석되었다. 환승노선의 경우 환승 요금이 할인 되지 않는 경우는 〈표 15〉와 같이 최소 2,320원에서 최대 3,042원으로 분석되어 환승노선의 최저 비용이 직항노선 최대 비용보다 크게 분석되었다. 이것은 차내 시간가치가 1,738원의 경우와 같이 시간가치가 낮아져도 환승에 대한 이득이 없는 것으로 해석될 수 있다.

환승요금이 50%할인될 경우 환승노선의 시간당 통행비용은 〈표 16〉과 같이 최저 1,870원에서 최고 2,882원 사이로 분석되었고 환승요금이 100%할인 되었을 경우는 통행비용은 〈표 17〉과 같이 최저 1,820원에서 최고 2,342원으로 분석된다.

환승요금이 할인율이 커질수록 〈그림 13〉과 같이 직항노선의 최고값 보다 환승노선의 최저 통행비용 작은 경우가 많이 발생하는 것으로 나타났다.

현재 운영되고 있는 대구광역시 버스 노선체계는 간선 및 지선체계를 이루고 있지 못하여 현 노선 체계에서는 개인의 시간가치가 커질수록 환승에 대한 가치는 매우 낮은 것으로 분석되었다.

〈표 14〉 직항노선 통행비용

구분	156	646-1	936	106	최소값	최대값
비용(원)	1,544	1,803	2,248	1,811	1,554	2,248

〈표 15〉 환승노선 통행비용(환승요금 0%할인)

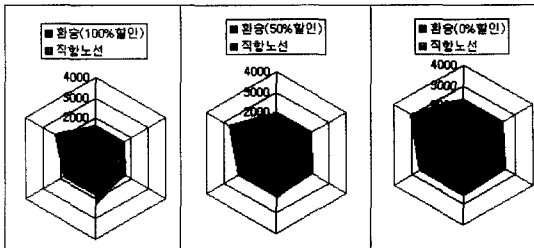
구분	609	646-1	306	646-1	609	609
	106	636	106	106	636	301
비용(원)	2,388	2,324	3,042	2,522	2,320	2,488
비고	최소값= 2,320; 최대값=3,042					

〈표 16〉 환승노선 통행비용(환승요금 50%할인)

구분	609	646-1	306	646-1	609	609
	106	636	106	106	636	301
비용(원)	2,048	1,874	2,882	2,172	1,870	2,148
비고	최소값= 1,870; 최대값=2,882					

〈표 17〉 환승노선 통행비용(환승요금 100%할인)

구분	609	646-1	306	646-1	609	609
	106	636	106	106	636	301
비용(원)	1,888	1,824	2,342	1,822	1,820	1,788
비고	최소값= 1,820; 최대값=2,342					



〈그림 13〉 환승요금할인 비율에 따른 통행비용 (차내 시간가치 = 639원/시간)

V. 결론

환승정보에 대한 이용부재와 환승에 따른 버스 요금의 할인 문제 등 여러 가지 문제로 인하여 버스 환승에 대한 인식이 매우 낮은 현실에서 환승정보 이용자들이 경제적으로 얼마나 이득을 보는지에 대구광역시 버스노선을 대상으로 평가한 것이다.

본 연구의 사례구간인 달서구청~동대구역 구간의 직항노선과 환승노선의 통행시간을 예측하기 위하여 대구광역시에 운행 중인 노선을 대상으로 대구광역시 내 부순환도로의 공간적 특성을 적용한 노선길이와 정거장수를 독립변수로 설정하여 버스 통행시간을 예측하였다. 제시된 통행시간모형의 독립변수들 간 다중공선성 분석과 실측자료를 이용한 Paired-t 검정을 통하여 모형을 검증하였다.

본 연구의 사례구간인 달서구청 ~ 동대구역 구간의 통행비용 산정을 위하여 버스 차의 및 차내 시간가치를 2,718원/시간과 1,738원/시간을 적용한 경우 직항노선의 최대비용이 환승노선 최소비용과 80원/시간 차이를 나타내고 있으므로 사례 구간에서는 현재 운영시스템으로는 환승에 대한 이점이 전혀 없는 것으로 분석되었고, 환승요금을 50% 및 100% 할인할 경우를 환승요금을 100% 할인할 경우 환승에 대한 가치가 조금 나타났다.

차내 시간가치가 639원/시간으로 낮은 경우 환승요금이 할인율이 커질수록 직항노선의 최고값 보다 환승노선의 최저 통행비용 작은 경우가 많이 발생하여 환승에 대한 가치가 시간가치가 높을 경우보다 높게 나타났다.

한 개의 사례구간으로 도출된 결론으로는 현재 운영되고 있는 대구광역시 버스 노선체계는 계통적 체계를 갖추고 있지 않아 개인 시간가치가 커질수록 환승요금 할인율이 작을수록 환승에 대한 가치는 낮아지는 것으로 분석되었다.

추후 연구과제로는 대구광역시를 중심으로 구축한 침투시간 통행시간 모형을 다른 시간대에 적합한 모형이 구축하여야 할 것이며, 단일 구간을 대상으로 실시한 비용평가를 전 구간으로 확대하여 대중교통노선 정보 시스템에 대한 가치 평가가 이루어 져야 할 것이다.

참고문헌

1. 건설교통부(2000), 국가 ITS 기본계획 21(안).
2. 대구광역시(2002). 대구광역시 ITS 기본계획.
3. 대구광역시(2002). 대구광역시 도시교통정비 기본계획.
4. 김대웅, 유영근(1986), "도시버스 운행저해요인에 관한 연구", 학술발표회 개요집, 대한토목학회, pp.311~319.
5. 정성훈(1996). 버스통행 특성 및 예측에 관한 연구. 석사학위논문, 명지대학교, 서울.
6. 김현·오세창·최기주(1999), "통행목적별 수단별 통행시간가치산출 및 유의성 검증", 대한교통학회지, 제17권 제1호, 대한교통학회, pp.113~129.
7. 조중래(1998). "통행시간가치의 신뢰구간 추정", 대한교통학회지, 제16권 제4호, 대한교통학회, pp.219~224.
8. 조중래, 박철규(1999). "통행시간가치의 신뢰구간

- 추정(II)", 대한교통학회지, 제17권 제2호, 대한교통학회, pp.193~198.
9. 윤대식(2001), 교통수요분석, 박영사.
 10. 박용진(1998), "교통류 모형을 이용한 도시 연동가로의 통행시간 모형개발," 대한교통학회, 제16권 제2호, pp.145~155.
 11. 홍종선(1999), SAS와 통계자료분석, 탐진.
 12. 정현영·김정주(2000), "통근 통학자의 지하철 연계교통수단 선택행태분석", 대한교통학회지, 제18권 제5호, 대한교통학회, pp.69~82.
 13. Mark A. Turnquest(1978). A Model for Investigating The Effects of Service And Reliability On Bus Passenger Waiting Time. TRB.
 14. Gomez-Ibanez, J. A., & G. Fauth(1980). Downtown Auto Restraint Policies : Costs and Benefits for Boston. Journal of Transport Economics and Policies, vol.XIV, No.2.
 15. Midgley, P.(1980). The Art of Traffic Management. Urban Edge, vol.4 No.2.
 16. Robert M. Shanteau(1981). Estimationg the Contribution of Various Factor to Variation in bus Passenger Load at a Point. TRB 798.
 17. Wayne K. Talley And A. Jeff Becker (1987). On-Tine Performance and the Exponential Distribution. TRB 1108.
 18. 대구광역시 버스노선안내 website(<http://businfo.daegu.go.kr/>)

✉ 주 작 성 자 : 박용진

✉ 논문투고일 : 2004. 6. 7

논문심사일 : 2004. 7. 5 (1차)

2004. 7. 26 (2차)

2004. 10. 29 (3차)

2004. 11. 10 (4차)

심사판정일 : 2004. 11. 10

✉ 반론접수기한 : 2005. 4. 30