

■ 論 文 ■

Downs-Thomson Paradox를 이용한 중앙버스전용차로 운행실태분석

Median Arterial Bus Lane Operation Analysis
Using the Downs-Thomson Paradox Theory

이 승 재

(서울시립대학교 교통공학과 부교수)

류 승 규

(서울시립대학교 교통공학과)

목 차

- | | |
|--|--|
| <p>I. 서론</p> <p>1. 연구의 목적 및 범위</p> <p>2. Downs-Thomson's Paradox 이론 및
관련연구 검토</p> <p>II. 중앙버스전용차로 개요 및 데이터현황</p> | <p>III. 중앙버스전용차로 운행실태 분석결과</p> <p>1. 중앙버스전용차로 속도분석</p> <p>2. 정류장별 도착시간 신뢰성 분석</p> <p>IV. 결론
참고문헌</p> |
|--|--|

Key Words : 중앙버스전용차로, Downs-Thomson Paradox, 수단간 균형이론, 신뢰성분석, 속도분석

요 약

본 연구에서는 중앙버스전용차로의 도입효과를 시행전과 시행후를 분석하기위하여 BMS데이터인 속도데이터와 버스 도착시간데이터를 통하여 효과분석을 실시하였다. 속도분석시 Downs-Thomson Paradox 이론을 적용하여 단순비교가 아닌 보다 합리적인 분석을 실시하였고 버스도착시간데이터를 이용하여 정류장별 도착시간 신뢰성 분석을 실시하였다. 속도 분석 결과 강남대로와 도봉·미아로의 경우 수단간균형이론에서 버스우선정책인후에 나타나는 버스속도가 승용차 속도보다 높은 현상이 나타났으며 향후 수단간균형이 이루어질 것으로 판단된다. 수색·성산로의 경우 중앙버스전용차로의 효과가 다른 도로에 비하여 미비하게 나타났고 또한 9월4주째에는 승용차와 버스의 속도가 같아지다가 다시 승용차의 속도가 버스의 속도보다 높아지는 Rebound effect 현상이 나타났다. 하지만 10월1주후부터는 대중교통 우선정책 시행후의 현상인 버스속도가 승용차 속도보다 높은 현상이 나타났다. 정류장별 도착시간 신뢰성 분석결과 중앙버스전용차로의 경우 전체적으로 8월에 비해 12월달의 도착시간변화가 적음을 알 수 있었다. 그러나 수색로의 경우 7:30분대에는 오히려 나빠졌으며 전체 도착시간 분산이 90이상 나타났기 때문에 정시성이 좋아졌다고 볼 수 없었다.

The purpose of the paper is to analyze an effectiveness before and after implementation of the median arterial bus lanes operation. The paper includes a speed analysis based on the Downs-Thomson Paradox theory, and a reliability analysis based on variance analysis of arrival time. According to the speed analysis, some road sections are now under phase 2 according to the Downs-Thomson Paradox, which is a state in which the bus speeds are greater than the car speeds. In the future, it is predicted that cars and buses will reach an equilibrium speed which is in phase 3 of the multi-modal equilibrium theory. According to the reliability analysis of arrival time at each bus stop, in roads of median arterial bus lanes, the variance of arrival time is generally smaller than after the scheme implemented in eight months later.

1. 서론

교통망에서 사회적 총통행비용을 줄이기 위해 가장 흔히 시도되는 방법 중 하나가 새로운 도로의 신설이나 확충을 통해 도로망의 용량을 증대시키는 것이다. 그러나 교통망 내의 수단이 승용차, 버스처럼 둘 이상일 경우 각 수단의 통행비용곡선의 형태에 따라 도로망용량 증대를 통한 혼잡완화전략은 교통망의 통행비용을 증가시키는 결과를 낳을 수 있다. 이 같은 사실을 일반적으로 Downs-Thomson 역설이라 부른다.

교통망의 변화를 추정하기 위해서는 시간적 범위가 다르고 공간적 범위가 같은 대규모의 조사된 자료가 필요하다. 얼마전까지 우리나라는 위의 내용에 적합한 자료를 구축하지 못했다. 하지만, 2004년 7월 1일 우리나라에서는 대중교통체계 개편이 있었으며 이를 통하여 교통망 변화를 추정하기 위한 자료를 얻을 수 있었다.

대중교통체계 개편중의 하나가 중앙버스전용차로제의 도입이었다. 이에 국내외의 각 교통정책 입안자들로부터 중앙버스전용차로의 영향과 시행과정의 혼잡 등을 모니터링하기 위해 많은 관심을 받고 있다.

1. 연구의 목적 및 범위

본 연구에서는 중앙버스전용차로의 도입효과를 시행 전과 시행후의 속도변화(첨두시간) 및 도착시간분석(첨두시간)을 통하여 효과분석을 실시한다. 속도분석시 Downs-Thomson Paradox 이론을 적용하여 단순비교가 아닌 보다 합리적인 분석을 실시한다. TCRP Report (2003)의 TCQSM (Transit Capacity and Quality of Service Manual)에 의하면 대중교통의 평가척도(Performance Measures)에는 여러 가지 항목이 있으나 본 연구에서는 이동성 척도(Mobility Measures)와 관련하여 버스정류장 대기시간 효과분석을 도착시간 데이터를 통하여 분석한다.

본 연구의 범위는 '04년 6월~'04년 12월을 시간범위로 설정하였으며 공간범위는 현재 버스체계개편에 따라서 시행중인 중앙버스전용차로 및 향후 중앙버스전용차로가 실시예정인 가로변전용차로를 대상으로 하였다.

2. Downs-Thomson's Paradox 이론 및 관련연구 검토

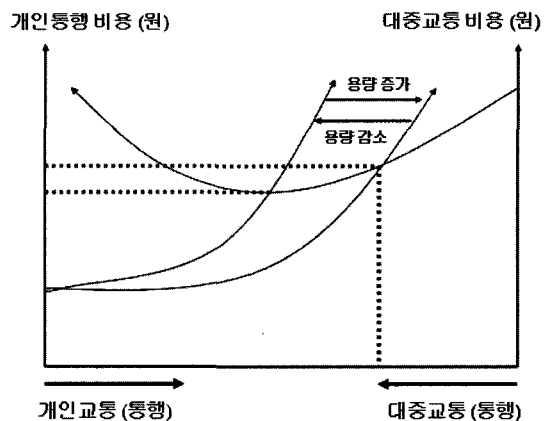
Downs(1962)와 Thomson(1977)이 언급한 것으

로서 Downs-Thomson Paradox는 개인교통을 위하여 도로용량의 증가는 오히려 통행비용을 상승시킨다는 이론이다.

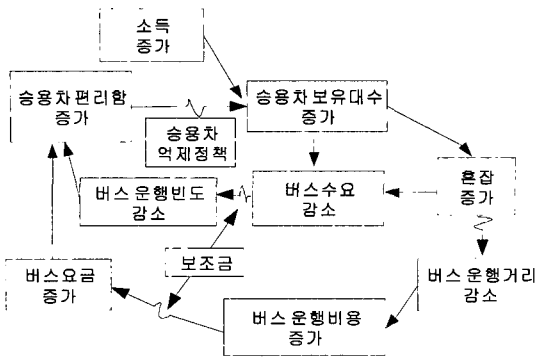
결정적 사용자균형(deterministic user equilibrium) 하에서, 도로용량증가는 대중교통에서 개인교통으로 전환함으로써 대중교통에 의한 평균비용이 증가된다. 그 이유는 대중교통의 감소된 수요 때문에 서비스의 감소와 대기시간이 증가하기 때문에 통행비용의 증가가 발생한다. 이 역설은 <그림 1>과 같이 설명할 수 있으며, 교통량이 고정적일 때, 개인과 대중교통의 공급 곡선은 반대편 y축으로 그릴 수 있고, 곡선교차점은 결정적 사용자균형을 의미한다.

도로용량이 증가할 때, 개인교통의 공급곡선은 오른쪽으로 전이되며, 그림에서 새로운 교차점이 대중교통에서 개인교통으로 전이한 것을 의미하고 더 높은 균형 통행비용을 나타낸다. 승용차의 통행이 많아지면 평균비용이 증가되고, 도로 용량이 확장됨에 따라 상호 통행 비용이 증가된다.

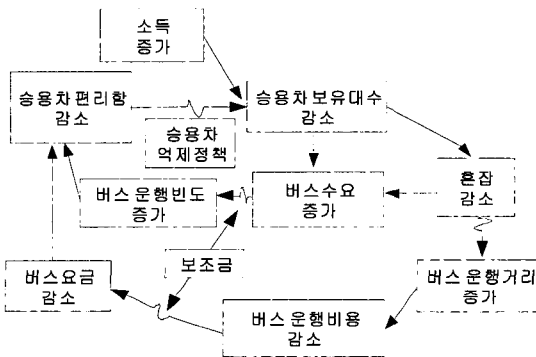
결국 승용차와 대중교통에 악순환 관계가 생기게 되는 것이다. <그림 2>에서 나타나듯 이러한 순환은 Ortuzar와 Willumsen(2001)에 의해서 설명되어진다. Ortuzar와 Willumsen (2001)은 자동차 증가의 첫 번째 원인은 경제성장이라고 설명하였다. 경제가 성장하면 소득이 높아지고 이에 따라서 자연적으로 승용차 보유대수는 증가하기 때문이다. 승용차보유대수 증가의 의미는 사람들이 대중교통에서 개인교통으로의 전환을 의미하는 것이고 결국 대중교통의 수요는 감소하게 될 것이다. 대중교통의 수요 감소는 대중교통의 요금인상을 뜻하고 대중교통 서비스를 감소시킬 것이다. 이로 인해서 사람들은 대중교통



<그림 1> Downs-Thomson's Paradox의 그래프



〈그림 2〉 승용차와 대중교통간의 악순환



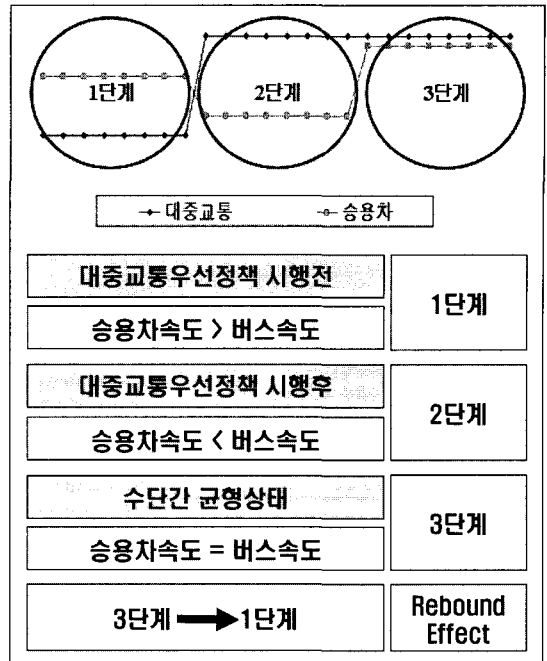
〈그림 3〉 승용차와 대중교통간의 선순환

을 기피하게 되며 승용차의 증가는 더욱더 늘어나게 될 것이다. 따라서 이전의 상황보다 대중교통과 승용차에 대한 관계는 더욱더 악화된다. 승용차의 증가로 인하여 도로는 계속 정체가 발생하며 또한 승용차로 인하여 버스의 정체 또한 계속 증가 할 것이다. 결론적으로 이런 개인의 행동으로 인하여 자신을 포함한 모든 사람이 피해를 입게 된다는 것이다.

〈그림 2〉는 또한 이러한 문제를 해결 할 수 있는 방법을 간단하게 설명한다. 악순환의 과정에서 대중교통의 요금이 증가되는 현상을 막기 위해서 정부는 대중교통에 대한 보조금을 지급하고 승용차를 억제함으로써 승용차와 대중교통의 악순환을 선순환으로 바꿀 수 있다. 〈그림 3〉은 이를 나타내고 있다.

Thomson에 의하면 도시부에서 대중교통과 승용차의 서비스 수준(통행시간, 속도)은 결국 균형상태를 유지한다는 승용차, 대중교통 수단간 균형을 주장하였다. Thomson의 주장을 그래프로 나타내면 〈그림 4〉와 같이 설명되어 진다.

처음 1단계는 승용차 억제정책 또는 대중교통 우선정책 시행전 상태에서 승용차의 통행속도가 버스의 통



〈그림 4〉 승용차와 대중교통 수단간 균형

행속도보다 높게 나타난다. 2단계는 대중교통우선정책 시행후에 나타나는 현상으로 대중교통의 속도가 승용차의 속도보다 높게 형성된다. 3단계는 수단간 균형상태를 나타내며 현상이며 이는 2단계현상이 계속 지속되다가 결국 3단계현상이 나타나게 됨을 의미한다. 또한 3단계에서 다시 1단계로 돌아가는 현상이 나타날 수 있으며 이를 Rebound Effect라 한다.

Mogridge(1983)는 Thomson의 주장이 과연 현실적으로 나타나고 있는가를 실증적으로 증명하기 위해 런던의 통행실태조사에 나타난 대중교통과 승용차의 통행속도를 비교분석하였다.

분석결과 나타나는 Thomson-Mogridge 균형이론의 시사점을 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 대중교통과 승용차 사이의 균형이 이루어진 상태에서 도로확충은 반드시 피해야 하고 그렇지 않으면, 대중교통과 승용차 양쪽 모두 통행시간의 증가 및 서비스 수준 악화가 발생한다고 하였다.

둘째, 반대로 균형상태에서의 대중교통개선은 도로의 소통상황도 개선시킨다.

셋째, 승용차의 서비스 수준이 대중교통보다 높은 불균형 상태라면, 대중교통의 서비스 수준에서 균형점이 형성된다.

넷째, 대중교통의 서비스 수준이 승용차보다 높은 불균형상태라도, 대중교통의 서비스 수준에서 균형점이

형성된다. 결국 도시교통의 전반적인 서비스 수준은 대중교통에 의해 좌우된다고 하였다.

또한 Cairns과 Goodwin(1998)은 세계 60개의 주요도시를 대상으로 위와 비슷한 데이터 분석을 실시하였으며 분석결과 대부분의 도시에서 위와 같은 현상이 나타남 제시하였다.

II. 중앙버스전용차로 개요 및 데이터현황

서울시는 대중교통수단의 이용효율을 증진시키기 위

<표 1> 버스속도 데이터(일부분)

도로명	정류장명	정류장 ID	순서	길이	06시	07시	08시
강남대로(도심)	교육개발위	6347	1	691.01	17.58	16.55	10.92
강남대로(도심)	양재역	6331	2	532.33	33.73	28.75	33.65
강남대로(도심)	우성APT입구	6339	3	968.11	17.53	14.12	11.09
강남대로(도심)	강남역	6336	4	705.12	21.29	17.67	16.18
강남대로(도심)	교보타워사거리	6334	5	638.04	16.14	18.75	17.03
강남대로(도심)	논현역	6333	6	806.9	21	23	21.97
강남대로(도심)	신사역	2852	7	468.99	22.26	19.44	19.17
강남대로(외곽)	신사역	6332	1	300.26	40.54	37.67	37.25
강남대로(외곽)	논현역사거리	182	2	696.73	16.84	14.44	13.95
강남대로(외곽)	교보타워사거리	6335	3	811.01	24.58	29.9	21.84
강남대로(외곽)	강남역	6337	4	642.83	16.17	16.5	16.72
강남대로(외곽)	우성APT입구	6338	5	694.31	20.23	18.28	19.08
강남대로(외곽)	양재역	6330	6	642.26	28.17	21.85	23.73
강남대로(외곽)	교육개발위	6346	7	541.01	42.92	42.5	30.07
강남대로(외곽)	시민의 숲	6348	8	691.06	26.67	38.44	20.55

<표 2> 승용차속도 데이터(일부분)

상세_축_도로	방향	순서	시점	종점	거리	6:00	7:00	8:00	9:00
	양	100			440674.48	26.51	21.44	17.88	19.26
강남대로		1	염곡교차로	서초우체국	433.25	66.09	17.99	8.86	6.45
		2	서초우체국앞	양재시민의숲앞	139.35	16.81	36.74	7.86	11.03
		3	양재시민의숲앞	영동1교남단	446.31	51.44	6.67	5.8	6.71
		4	영동1교남단	영동1교북단	208.08	63.13	16.3	5.88	6.63
		5	영동1교북단	교육개발원입구	274.58	33.03	11.76	6.16	5.54
		6	교육개발원입구	양재역사거리	850.5	25.85	19.5	14.85	13.23
		7	양재역사거리	뱅뱅사거리	590.41	23.46	17.95	14.56	14.11
		8	뱅뱅사거리	서초우성아파트	414.21	10.59	18.44	18.61	15.44
		9	서초우성아파트	강남역	581.96	23.27	23.76	21.86	6.51
		10	강남역	교보타워사거리	777.24	18.26	14.02	17.19	16.03
		11	교보타워사거리	논현역	781.46	18.26	18.71	20.23	17.12
		12	논현역	신사역	570.79	23.26	19.71	19.46	17.57
		13	신사역	한남IC	647.88	60.68	44.61	48.58	47.33
		100	염곡교차로	한남IC	6716.02	24.26	17.01	13.38	11.31
		1	한남IC	신사역	647.88	26.32	24.96	10.53	6.77
		2	신사역	논현역	570.79	17.6	14.08	7.77	8.5
		3	논현역	교보타워사거리	781.46	15.34	20.43	14.39	14.78

주: 음영은 30Km/h이상과 10Km/h미만의 속도

해서 1984년부터 버스전용차로제를 실시하였으며 가로변 인접상가의 물류활동과 택시의 정치 및 기타차량의 주차로 인하여 버스의 원활한 소통을 할 수 없었다. 이를 개선하고자 1996년 천호대로 4.5km에 중앙버스 전용차로를 설치하였으며 2004년 7월에 강남대로(9.3km), 도봉·미아로(14.0km), 수색·성산로(8.7km)에 중앙버스전용차로를 실시하였다. 또한 망우·왕산로, 시흥·한강로, 경인·마포로, 통일·의주로, 테헤란로를 포함한 9개 노선에 추가적으로 중앙버스전용차로를 실시할 예정이다.

'04년 7월 버스체계중의 하나인 BMS (Bus Management System)구축으로 인하여 데이터확보가 용이해졌으며 본 연구에서는 이들 데이터중 GPS(Global Positioning System)

<표 3> 버스 도착시간 데이터(일부분)

버스ID	도착/출발	도봉산역(1.7호선) (6356)/0	도봉동한신아파트 (6362)/572.83
서울74사8153/191	도착시간	2005-03-03 4:27	2005-03-03 4:28
서울74사8153/191	수집시간	2005-03-03 4:29	2005-03-03 4:37
서울74사8153/191	도착시간	2005-03-03 8:23	2005-03-03 8:25
서울74사8153/191	수집시간	2005-03-03 8:23	2005-03-03 8:26
서울74사7924/474	도착시간		
서울74사7924/474	수집시간		
서울74사7924/474	도착시간	2005-03-03 7:58	2005-03-03 8:00
서울74사7924/474	수집시간	2005-03-03 7:58	2005-03-03 8:00
서울74사7924/474	도착시간	2005-03-03 12:28	2005-03-03 12:30
서울74사7924/474	수집시간	2005-03-03 12:28	2005-03-03 12:30

주: 공란은 데이터 없음

데이터인 버스속도와 버스정류장 도착시간자료를 이용하여 분석하였고 승용차 속도는 로티스에서 제공하는 데이터를 참조하여 분석하였다.

본 분석에서는 오전첨두시간(7시~9시)의 평균속도를 사용하였으며 주간(월~금)의 평균속도를 최종분석 속도로 사용하여 분석하였다.

정류장별 도착시간 신뢰성 분석을 하기 위해서 본 분석에서는 중앙버스전용차로와 가로변전용차로 일부정류장 데이터를 사용하였으며 오전첨두시간(7시~9시)을 대상으로 분석하였다.

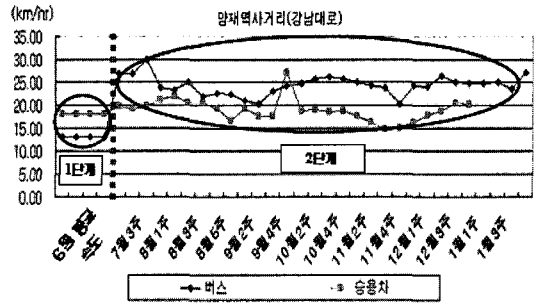
III. 중앙버스전용차로 운행실태 분석결과

1. 중앙버스전용차로 속도분석

속도분석시 각 노선의 기·종점 시간으로부터 산출되는 실제운행시간과 실제운행거리 자료를 활용하여 버스속도를 산출하였고 산출된 속도를 통하여 운행속도의 변화추이를 분석하였다. 서울시 버스체계개편에 따른 버스 운행실태 및 서비스수준 모니터링에 의하면 운행속도 분석결과 12월현재 15~23km범위에 분포하는 것으로 나타났다. 또한 10월이후 변동추이를 살펴보면 모두 큰 증감의 변화를 보이지 않았으며 전반적으로 버스운행이 안정화단계에 접어들었다고 판단되었다. 본 연구에서는 강남대로의 양재역사거리, 도봉·미아로의 방학사거리, 수색·성산로의 세브란스병원역에 대하여 세부분석을 실시하였으며 승용차데이터는 '04년 7월~12월 자료를 활용하였으며 버스데이터는 '04년 7월~'05년 2월데이터를 활용하였다. 또한 통계적 검증으로 t-검정을 활용하였으며 유의수준은 95%로 설정하였다.

1) 강남대로(양재역사거리)

중앙버스전용차로 시행전인 6월달의 평균속도를 비교한 결과 승용차의 속도가 버스의 속도보다 약 5km/h 높은 것으로 나타났으며 이는 수단간 균형이론에 의하면 1단계에 해당되고 있다. 하지만 버스우선정책인 중앙버전용차로 시행이후에는 버스의 속도가 승용차의 속도보다 7월3주~9월4주까지는 약 3km/h 높았으며 9월4주~12월4주까지는 7km/h로 월등하게 높음을 알 수 있다. 이는 수단간 균형이론에 의하면 2단계 현상을 나타낸다. 따라서 향후 수단간 균형인 3단계 현상이 나타날 것으로



〈그림 5〉 강남대로 속도 비교분석

〈표 4〉 강남대로 속도비교 결과

평균속도	승용차	버스
6월	18.0	13.0
7월 3주~9월 4주	20.11	23.41
9월 4주~12월 4주	17.89	24.66

〈표 5〉 강남대로 속도비교 검증결과

귀무가설: 승용차와 버스 속도는 같다.		
	Equal	Not Equal
t statistic	7.682	7.682
Df	46	44.67
Pr>t	<.0001	<.0001

예상된다.

강남대로의 t-검정 결과 분산의 동일성여부와 관계없이 t값이 7.682로서 귀무가설은 기각되고 따라서 승용차와 버스의 속도가 같다고 볼 수 없다.

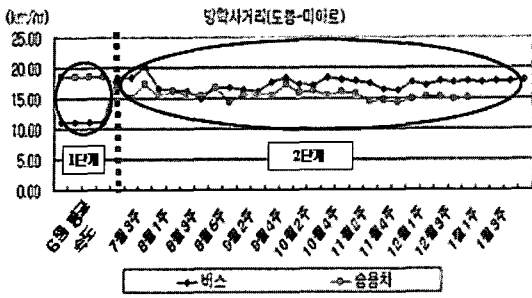
2) 도봉·미아로(방학사거리)

중앙버스전용차로 시행전인 6월달의 평균속도를 비교한 결과 승용차의 속도가 버스의 속도보다 약 7.5km/h 높은 것으로 나타났으며 이는 수단간 균형이론에 의하면 1단계에 해당되고 있다. 하지만 버스우선정책인 중앙버전용차로 시행이후에는 버스의 속도가 승용차의 속도보다 2km/h 높음을 알 수 있다. 이는 수단간 균형이론에 의하면 2단계 현상을 나타낸다. 따라서 향후 강남대로와 같이 수단간 균형인 3단계 현상이 나타날 것으로 예상된다.

도봉·미아로의 t-검정 결과 분산의 동일성여부와 관계없이 t값이 -6.118로서 귀무가설은 기각되고 따라서 승용차와 버스의 속도가 같다고 볼 수 없다.

〈표 6〉 도봉·미아로 속도비교 결과

평균속도	승용차	버스
6월	18.5	11.0
7월 3주~12월 4주	15.24	17.25



〈그림 6〉 도봉·미아로 속도 비교분석

〈표 7〉 도봉·미아로 속도비교 검증결과

귀무가설: 승용차와 버스 속도는 같다.		
	Equal	Not Equal
t statistic	-6.118	-6.118
Df	46	43.33
Pr>t	<.0001	<.0001

3) 수색·성산로(세브란스병원)

수색·성산로의 경우 강남대로와 도봉·미아로와 달리 1단계 현상이 8월3주까지 나타났으며 이는 중앙버스전용차로 시행후에 7주동안 1단계현상이 나타났음을 알 수 있다. 또한 2단계 현상이 나타나지 않고 8월4주~9월3주동안 수단간 균형 상태를 의미하는 3단계 현상이 나타났다. 그리고 다시 3단계에서 1단계현상으로 돌아가는 Rebound 현상이 나타났다. 하지만 10월1주이후 부터는 버스속도가 승용차속도보다 높은 2단계 현상이 나타났다.

수색·성산로의 t-검정은 승용차의 속도가 버스의 속도보다 높게 나타나는 7월3주~8월3주 까지에 대하여 실시하였고 승용차의 속도와 버스의 속도가 같은 8월4주~9월3주까지에 대해서 실시하였다. 또한 10월1주후 부터는 버스의 속도가 승용차의 속도보다 높게 나타나기 때문에 총 세 번에 걸쳐 t-검정을 실시하였다.

7월3주~8월3주까지의 t-검정 결과 분산의 동일성여부와 관계없이 t값이 4.356으로서 귀무가설은 기각되고 따라서 승용차와 버스의 속도가 같다고 볼 수 없다.

8월4주~9월3주까지의 t-검정 결과 분산의 동일성여부와 관계없이 t값이 1.532로서 귀무가설은 채택되고 따라서 승용차와 버스의 속도가 같다고 할 수 있다.

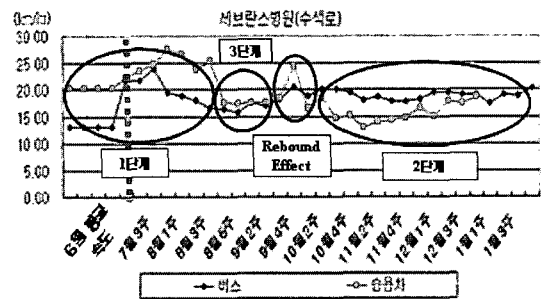
10월1주후부터 t-검정 결과 분산의 동일성여부와 관계없이 t값이 -5.983으로서 귀무가설은 기각되고 따라서 승용차와 버스의 속도가 같다고 볼 수 없다.

수색·성산로의 경우 중앙버스전용차로 시행후 초반

에는 불안정한 상태이었지만 10월1주후부터는 다시 버스우선정책 시행후에 나타나는 2단계 현상이 나타났다. 이는 강남대로와 도봉·미아로에 비해서 수색·성산로가 중앙버스전용차로 시행후의 효과가 미비함을 알 수 있다.

〈표 8〉 수색·성산로 속도비교 결과

평균속도	승용차	버스
6월	20.3	13.1
7월 3주~8월 3주	25.61	19.31
8월 4주~9월 3주	17.68	16.96
10월 1주~12월 4주	15.79	18.75



〈그림 7〉 수색·성산로 속도 비교분석

〈표 9〉 수색·성산로 속도비교 검증결과 (7월3주~8월3주)

귀무가설: 승용차와 버스 속도는 같다.		
	Equal	Not Equal
t statistic	4.356	4.356
Df	8	6.2
Pr>t	0.0024	0.0044

〈표 10〉 수색·성산로 속도비교 검증결과 (8월4주~9월3주)

귀무가설: 승용차와 버스 속도는 같다.		
	Equal	Not Equal
t statistic	1.532	1.532
Df	8	5.27
Pr>t	0.1641	0.1832

〈표 11〉 수색·성산로 속도비교 검증결과 (10월 1주이후)

귀무가설: 승용차와 버스 속도는 같다.		
	Equal	Not Equal
t statistic	-5.983	-5.983
Df	22	15.57
Pr>t	<.0001	<.0001

2. 정류장별 도착시간 신뢰성 분석

서울시 버스종합사령실에서 수집되고 있는 일별, 노선별 정류장 데이터 분석을 통하여 도착시간 신뢰성을 분석하였다. 본 연구에서는 7:30, 8:00, 8:30를 기준 시간으로 설정하였고 정류장 도착시간중 위의 시간과 차이가 가장 적은 시간을 선택한 후 차이에 대한 도착시간 분산 분석을 하였다. 도착시간 분산이 작다면 도착시간에 대한 정시성이 좋다고 판단하였다. 이는 이용자 측면에서 볼 때 어떤 일정한 시간에 버스가 도착한다면 이용자측면에서 신뢰성이 좋다고 할 수 있기 때문이다. 본 연구에서 위의 기준시간은 단지 기준이 되는 시간이고 본 연구의 최종분석은 도착시간 분산이기 때문에 분산이 작다면 버스가 일정한 시간에 계속 도착한다고 설명되어 질 수 있다.

본 연구에서 정류장별 도착시간 신뢰성 분석에 사용된 방법은 <식 1>과 같다.

$$UCV_a = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (t_a^d - \bar{t}_a^d)^2} \quad \forall a \in A \quad (1)$$

여기서

$$t_a^d = \min_i |st_a - rt_{ai}^d| \quad \forall a \in A, d \in D$$

$$\bar{t}_a^d = \frac{\sum_{i=1}^n t_a^d}{n}$$

st_a : 정류장 a에 도착하는 버스의 기준시간

(예: 7:30, 8:00, 8:30)

rt_{ai}^d : d날에 정류장 a에 도착하는 버스 i의 실제 도착시간

A : 정류장 집합

D : 분석일자의 집합

UCV_a : a정류장에 대한 도착하는 버스의 기준시간 대비 실제 도착하는 시간의 표준편차로 이용자 신뢰성 (UserCoefficient of Variation) 이라 정의함

중앙버스전용차로 도착시간 신뢰성 분석에는 강남대로의 양재역, 도봉·미아로의 길음뉴타운역, 수색·성산로의 사천교밀역을 분석하였고 가로변전용차로 분석에는 경인·마포로의 마포역, 통일·의주로의 연신내역, 망우·왕산로의 상봉역을 분석하였다. 또한 '04년 8월과

'04년 12월 데이터의 비교를 통하여 결론을 도출하였다.

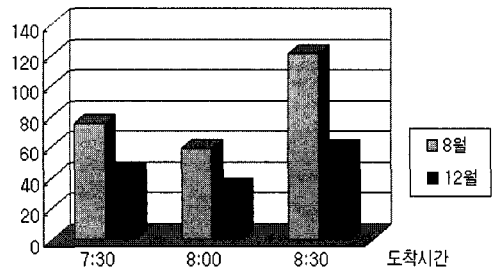
1) 강남대로(양재역)

641번 버스를 대상으로 하였으며 이는 양재역을 통과하는 버스중에 누락된 데이터가 가장 적었기 때문이다. 641번의 양재역 도착시간 분석결과 전체적으로 7:30, 8:00, 8:30분 기준으로 약 1~2분의 오차가 있었으나 8월에 비해 12월의 도착시간 분산이 감소한 것으로 분석되었다. 도착시간 분산의 감소는 일정시간에 버스가 도착한다고 해석할 수 있으며 결국 8월보다 12월에 이용자 신뢰성이 좋아졌다고 볼 수 있다.

<표 12> 강남대로 도착시간 분산변화 결과

	도착시간 분산(sec)		
	7:30	8:00	8:30
8월	75	59	121
12월	43	34	59

Arrival time variation(641번 양재역)



<그림 8> 강남대로 도착시간 분산변화

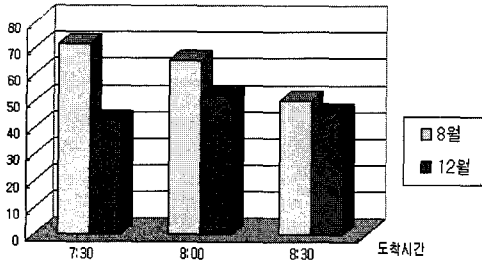
2) 도봉·미아로(길음뉴타운역)

104번 버스를 대상으로 하여 분석하였으며 104번의 길음뉴타운역 도착시간 분석결과 전체적으로 7:30, 8:00, 8:30분 기준으로 약 1~2분의 오차가 있었으나 8월에 비해 12월의 도착시간 분산이 감소한 것으로 분석되었다. 도착시간분산의 감소는 일정시간에 버스가 도착한다고 해석할 수 있으며 결국 8월보다 12월에 이용자 신뢰성이 좋아졌다고 볼 수 있다.

<표 13> 도봉·미아로 도착시간 분산변화 결과

	도착시간 분산(sec)		
	7:30	8:00	8:30
8월	72	66	50
12월	43	53	46

Arrival time variation(104번 길음뉴타운)



〈그림 9〉 도봉·미아로 도착시간 분산변화

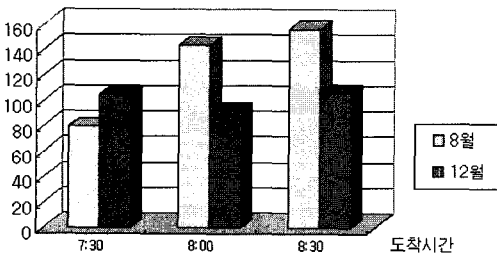
3) 수색·성산로(사천교밀역)

370번 버스를 대상으로 하여 분석하였으며 370번의 사천교밀역 도착시간 분석결과 전체적으로 7:30, 8:00, 8:30분 기준으로 약 1~3분의 오차가 있었으나 8월에 비해 12월의 도착시간 분산이 감소한 것으로 분석되었다. 결국 8월보다 12월에 이용자 신뢰성이 좋아졌다고 볼 수 있다. 하지만 7:30분은 오히려 도착시간 분산이 증가하였으며 이는 8월에 비해 12월의 도착시간 신뢰성이 나빠졌다고 볼 수 있다.

〈표 14〉 수색·성산로 도착시간 분산변화 결과

	도착시간 분산(sec)		
	7:30	8:00	8:30
8월	79	144	156
12월	104	92	106

Arrival time variation(370번 사천교밀)



〈그림 10〉 수색·성산로 도착시간 분산변화

4) 경인·마포로(마포역)

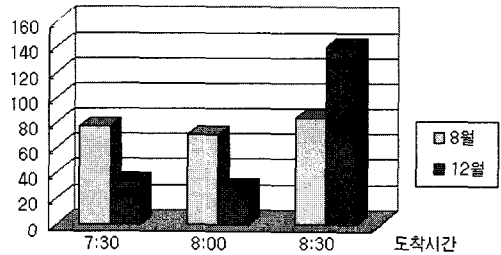
263번 버스를 대상으로 하여 분석하였으며 263번의 마포역 도착시간 분석결과 전체적으로 7:30, 8:00, 8:30분 기준으로 약 1~3분의 오차가 있었으나 8월에 비해 12월의 도착시간 분산이 감소한 것으로 분석되었다. 결국 8월보다 12월에 이용자 신뢰성이 좋아졌다고 볼 수 있다. 하지만 8:30분은 오히려 도착시간 분산이 증가하였으며 이는 8월

에 비해 12월의 도착시간 신뢰성이 나빠졌다고 볼 수 있다.

〈표 15〉 경인·마포로 도착시간 분산변화 결과

	도착시간 분산(sec)		
	7:30	8:00	8:30
8월	78	71	84
12월	34	29	141

Arrival time variation(263번 마포역)



〈그림 11〉 경인·마포로 도착시간 분산변화

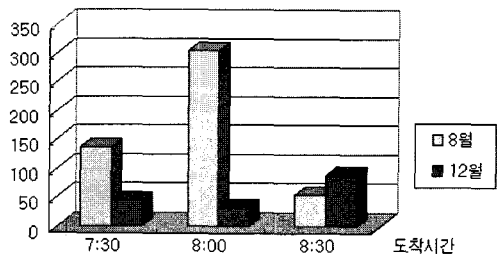
5) 통일·의주로(연신내역)

701번 버스를 대상으로 하여 분석하였으며 701번의 연신내역 도착시간 분석결과 전체적으로 7:30, 8:00, 8:30분 기준으로 약 1~5분의 다소 큰 오차가 있었으나 8월에 비해 12월의 도착시간 분산이 월등히 감소한 것으로 분석되었다. 결국 8월보다 12월에 이용자 신뢰성이 좋아졌다고 볼 수 있다. 하지만 8:30분은 오히려 도착시간 분산이 증가하였으며 이는 8월에 비해 12월의 도착시간 신뢰성이 나빠졌다고 볼 수 있다.

〈표 16〉 통일·의주로 도착시간 분산변화 결과

	도착시간 분산(sec)		
	7:30	8:00	8:30
8월	137	306	55
12월	46	33	89

Arrival time variation(701번 연신내역)



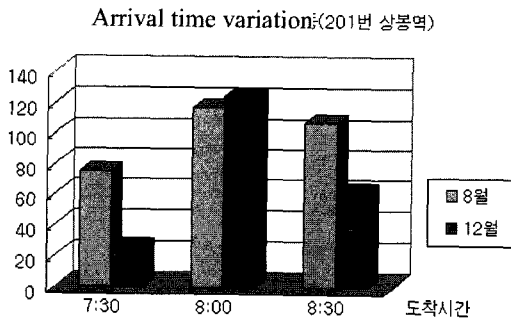
〈그림 12〉 통일·의주로 도착시간 분산변화

6) 망우·왕산로(상봉역)

201번 버스를 대상으로 하여 분석하였으며 201번의 상봉역 도착시간 분석결과 전체적으로 7:30, 8:00, 8:30분 기준으로 약 1~3분의 오차가 있었으나 8월에 비해 12월의 도착시간분산이 감소한 것으로 분석되었다. 결국 8월보다 12월에 이용자 신뢰성이 좋아졌다고 볼 수 있다. 하지만 8:00분은 오히려 도착시간분산이 증가하였으며 이는 8월에 비해 12월의 도착시간 신뢰성이 나빠졌다고 볼 수 있다.

<표 17> 망우·왕산로 도착시간 분산변화 결과

	도착시간 분산(sec)		
	7:30	8:00	8:30
8월	75	117	108
12월	26	124	63



<그림 13> 망우·왕산로 도착시간 분산변화

IV. 결론

버스는 오늘날 많은 이용자들에게 많은 불만을 사고 있다. 버스 서비스는 이용자에게 신뢰를 주지 못하며, 불편하고 위험해서 교통계획가들과 공공단체들은 선로를 기반으로 하는 지하철과 같은 고비용 대중교통수단으로 버스를 대체하기도 한다. 그러나 중앙버스전용차로의 시행은 버스속도의 향상과 이로 인한 통행시간절감 및 도착시간 신뢰성을 충족시켜 줄 수 있다.

본 연구에서는 2004년 7월 서울시 버스체계개편과 관련하여 시행된 중앙버스전용차로를 대상으로 효과분석을 실시하였다. 분석은 속도분석과 도착시간 분산을 통한 신뢰성분석을 하였으며 속도분석시 Downs-Thomson Paradox 이론을 통하여 중앙버스전용차로 시행후의 효과분석을 하였다.

속도 분석 결과 강남대로와 도봉·미아로의 경우 수단

간 균형이론에서 버스우선정책 이후에 나타나는 2단계 현상이 나타났으며 향후 수단간 균형이 이루어지는 3단계 현상이 나타날 것으로 예상 되어진다. 수색·성산로의 경우 중앙버스전용차로의 효과가 다른 도로에 비하여 미비하게 나타났고 또한 9월4주에는 승용차와 버스의 속도가 같아지는 3단계에서 다시 승용차의 속도가 버스의 속도보다 높아지는 1단계로 돌아가는 Rebound effect 현상이 나타났다. 하지만 10월1주후부터는 대중교통 우선정책 시행후의 현상인 버스속도가 승용차 속도보다 높은 2단계현상이 나타났다.

정류장별 도착시간 신뢰성 분석결과 중앙버스전용차로의 경우 전체적으로 8월에 비해 12월달의 도착시간변화가 작음을 알 수 있었다. 그러나 수색로의 경우 7:30분대에는 오히려 나빠졌으며 전체 도착시간 분산이 90이상 나타났기 때문에 정시성이 좋아졌다고 볼 수 없었다. 가로변버스전용차로의 경우 전체적으로 8월에 비해 12월의 도착시간 변화가 적었으나 중앙버스전용차로에 비해 조금 미흡했으며 신뢰성이 나빠진 시간대가 비교적 많이 있었다.

서울시 버스체계개편에 따라 버스서비스 변화를 평가하고 이를 사업에 반영하는 과정은 필수과정중의 하나이다. 현재 대중교통의 수요는 2003년 12월 9,516천명에서 2004년 12월 10,063천명으로 2004년에 6.6%가 증가하였다. 또한 대중교통이용객중 버스이용객은 2003년 12월 4,799천명에서 2004년 12월 5,333천명으로 11.1% 증가하였다. 증가의 요인에는 많은 요인이 있지만 중앙버스전용차로의 시행이 큰 요인중의 하나라고 생각된다. 본 연구결과 대중교통 우선정책에 따른 중앙버스전용차로 시행이 성공적으로 시행되고 있다고 분석되었다. 하지만 수색로의 경우 시행의 효과가 미흡하기 때문에 적절한 대응책 마련이 요구된다. 또한 현재 Downs-Thomson Paradox 이론에 근거하면 현재 단계는 2단계로서 3단계 현상이 나타나기 위해서는 대중교통 우선정책을 더욱더 강화하여 승용차 통행을 억제해야 하며 지속적인 모니터링 분석을 통하여 수단간 균형에서 다시 승용차 속도가 높아지는 Rebound effect 현상을 방지해야 할 것이다.

참고문헌

1. 김창균(2005), "중앙버스전용차로제의 합리적인 추진방향", 교통기술과 정책, 제2권 제1호, 대한교통학회, pp.125~139.

2. 노승일·정광복(2004), "모니터링 기법을 이용한 중앙버스전용차로제 시행효과 분석", 교통기술과 정책, 제1권 제3호, 대한교통학회, pp.121~133.
3. 이승재·정일호·류승규·권혁(2004), "수도권 통행패턴 변화분석을 통한 교통정책 방향 도출연구", 국토연구원.
4. 임강원·임용택,(2003), "교통망분석론", 서울대학교 출판부, pp.233~273.
5. 서울시(2004), "중앙버스전용차로 설치 교통상황 모니터링 결과".
6. 서울시정개발연구원(2005), "서울시버스체계개편에 따른 버스운행실태 및 서비스수준 분석".
7. Cairns, S. Hass-Klau C. and Goodwin P.B.(2002) "Disappearing traffic? the story so far", Municipal Engineer 151.
8. Downs, A.(1962) "The law of peak-hour expressway congestion", Traffic Quarterly, 16, pp.393~409.
9. Mogridge, M.J.H.(1983) "The car market", Pion, London.
10. Mogridge, M.J.H.(1995), "Modal equilibrium in congested urban networks", Working Paper, VCL.
11. Thomson, J.M(1977), "Great Cities and their Traffic", Gollanz: London.
12. Transit Capacity and Quality of Service Manual(2003), "Transit Cooperative Research Program Web Document No. 6". TRB, National research Council, Washington, D.C.
13. Bell, M.G.H and Y.lida.(1997), "TRANSPORTATION NETWORK ANALYSIS", Wiley, pp.1~16.
14. Ortuzar, J.D. and Willumsen, L.G.(2001) "Modelling Transport", Wiley, pp.1~32.

✉ 주 작 성 자 : 류승규

✉ 논문투고일 : 2005. 6. 18

논문심사일 : 2005. 7. 15 (1차)

2005. 8. 18 (2차)

심사판정일 : 2005. 8. 18

✉ 반론접수기한 : 2005. 12. 31