

시내버스 노선망 체계의 효율성 분석에 관한 연구

Analysis on Efficiency for a Bus Network System

이 범 규

연구책임

- 이범규 / 도시·교통연구부 책임연구원

서 문

에너지의 과대사용으로 인해 기후 변화가 급격히 진행되고 있다. 교통부문의 경우에도 자가용 승용차의 증가로 많은 에너지를 소요하고 있어 대중교통의 중요성이 부각되고 있다.

시내버스는 교통약자들이 많이 이용하는 중요한 대중교통수단으로서 시민이 이용하기 편리하도록 지속적으로 개선할 필요성이 있다. 특히 시내버스 이용객의 불편사항 중 많은 부분이 노선체계의 불합리에서 발생하며, 노선체계 개편의 경우 많은 예산을 들이지 않으면서 이용객의 편의를 증진시킬 수 있으므로 합리화할 수 있는 방안을 모색하는 것이 중요하다 할 수 있다.

금번 연구는 시내버스 노선망의 위계를 부여하여 간선-지선체계로 노선계획을 수립하는 것이 타당한지 살펴보고, 타당하다면 어느 정도 수준에서 위계를 부여하는 것이 시내버스 이용객의 편익을 최대화할 수 있는 지를 모색하는 것으로써 매우 가치 있는 연구라 할 수 있다.

아무쪼록 본 연구가 장·단기적인 대전시 시내버스 노선개편 방향의 중요한 근거자료가 될 수 있기를 바라며, 나아가 합리적인 노선체계 구축을 통해 대중교통이 활성화됨으로써 환경, 교통혼잡 등 여러 가지 문제를 줄이는데 일조할 수 있기를 기대한다.

2007. 12.

대전발전연구원장 육 동 일

요약 및 정책건의

■ 연구의 배경 및 필요성

- 시내버스 이용객의 불편요인 중 상당부분이 시내버스 노선체계와 연관되어 있어 대부분 도시의 경우 노선을 새롭게 개편하였거나 개편할 예정으로 있으며, 개편시에는 노선의 위계를 부여하여 간선-지선체계로 운영하는 것을 기본방향으로 설정하고 있음
- 그러나 대부분 도시의 경우 사전연구 없이 선행 도시의 사례를 벤치마킹하여 간선-지선체계로 개편하고 있으며, 위계수준에 대한 고려 및 연구는 미흡한 실정으로 이에 대한 연구가 필요함

■ 연구의 목적 및 내용

- 따라서, 본 연구는 시내버스 노선을 간선-지선체계로 위계를 부여하여 운영하는 것이 효율성이 있는지와 어느 수준에서 위계를 부여할 때 가장 효율적인지에 대해서 분석해 보고자 함
- 이를 위해 대전시 시내버스 노선망을 대상으로 위계가 없는 노선망과 위계수준을 달리한 노선망 대안을 작성하여 효율성을 평가함

■ 연구결과

□ 대전시 시내버스 현황

- 대전시 인구 100인당 시내버스 1일 이용객은 대전이 24인으로 서울 45인, 부산 37인 등에 비하여 월등히 적은 수준이며, 시내버스 운행대수 1대당 1일 이용객 또한 대전은 405명으로 서울 649명, 부산 561명 등에 비해 매우 적은 수준인 것으로 나타남

- 시내버스 이용자를 대상으로 불편사항을 조사한 결과, 배차간격의 과다, 시내버스 노선의 부족(이용하기 적합한 노선의 부재), 정시성 미흡, 시내버스 노선의 굴곡, 시내버스 통행속도 저하, 운전기사의 난폭운전 등이 가장 주요한 불편사항으로 나타났으며, 시내버스 노선과 관련된 불편요인이 전체의 57.3%를 차지하는 것으로 분석됨
- 대전시 시내버스 노선의 가장 주요한 문제점은 배차간격의 과다, 노선의 굴곡도 과다, 통행패턴과의 불일치를 들 수 있음

□ 노선체계 효율성 분석

- 먼저 위계가 없는 노선망과 위계가 있는 노선망 대안을 작성하였는데, 위계가 없는 노선망은 간선-지선 체계의 구분이 없는 기존의 노선망을 대안으로 설정하였으며, 위계가 있는 노선망은 위계수준을 달리하면서 초급, 중급, 상급으로 3개의 노선망 대안을 작성함
- 효율적인 노선망은 결국 시내버스 이용객의 통행비용을 최소화할 수 있는 노선망으로 대안별 차내통행시간, 대기시간, 환승패널티시간의 효과척도를 산출하고, 각각의 시간가치를 부요하여 총통행비용을 분석함
- 분석결과, 총통행비용은 위계가 있는 노선망이 위계가 없는 노선망에 비하여 적게 나타나 효율적이며, 위계가 있는 노선망 중에서는 중급수준의 위계를 가진 노선망의 총통행비용이 적어 가장 효율적인 것으로 분석됨

■ 정책건의

- 개편(12. 30)을 앞두고 있는 대전시 시내버스 노선망의 위계수준은 초급수준의 위계를 가진 노선망으로 보다 효율성을 확보하기 위해서는 현재는 환승에 익숙치 않은 시민의 정서상 어려움이 있으나, 향후 한 수준 더 높은 위계수준으로 개선할 필요성이 있음
- 노선체계의 효율화를 통하여 질적 수준이 한층 개선될 수 있지만 배차간격, 접근성 등을 고려할 때 여전히 한계가 있는 실정으로 마을버스의 확대 등 차량의 추가 공급을 통하여 서비스를 더욱 높일 필요성이 있음

- 목 차 -

제1장 연구의 개요	1
제1절 연구의 배경 및 목적	3
제2절 연구의 범위 및 방법	4
제2장 선행연구 검토	7
제1절 시내버스 노선망 설계	9
제2절 시내버스 노선체계 분석	9
제3절 선행연구와의 차별성	11
제3장 시내버스 현황 분석	13
제1절 시내버스 이용실태 분석	15
1. 시내버스 이용수준	15
2. 시내버스 이용객 불편사항	16
3. 통행단계별 소요시간 분석	18
4. 승용차 이용자의 대중교통 이용 중요도	19
5. 시내버스 이용 만족도	19
제2절 시내버스 노선현황 분석	20
1. 노선수	20
2. 노선 운행거리	21
3. 노선 굴곡도	22
4. 노선 중복도	23
5. 노선 배차간격	24
6. 통행수요와의 일치성	25
제4장 시내버스 노선 위계구조 검토	27
제1절 시내버스 노선 위계구조의 개념	29
제2절 시내버스 노선 위계구조 도입 동향	30

제5장 효율성 평가지표 설정	31
제1절 일반적 효율성 평가지표 검토	33
제2절 효율성 평가지표 설정	34
제6장 시내버스 노선망 위계구조의 효율성 분석	37
제1절 분석개념	39
제2절 분석방법 및 과정	40
제3절 노선망 대안 작성	41
1. 작성방법	41
2. 대안 설명	42
제4절 시간가치의 적용	46
1. 차내통행시간	46
2. 차외시간	46
제5절 노선망 대안 분석	48
1. 차내통행시간비용	48
2. 대기시간 비용	49
3. 환승페널티 비용	50
4. 분석결과 종합	51
제6장 결론 및 정책건의	53
제1절 결 론	55
제2절 정책건의	56
참고문헌	57

- 표 차 례 -

<표 2-1> 연구 유형별 사용된 목적함수	10
<표 3-1> 도시별 시내버스 이용객수 비교	15
<표 3-2> 시내버스 이용객 불편사항 주요 항목	16
<표 3-3> 시내버스 이용객 불편사항 1순위 조사결과	17
<표 3-4> 시내버스 이용객 불편사항 2순위 조사결과	17
<표 3-5> 시내버스 이용객 통행단계별 소요시간	18
<표 3-6> 승용차 이용자의 대중교통 서비스 요소 중요도	19
<표 3-7> 대전시 시내버스 노선현황	20
<표 3-8> 도시별 시내버스 노선수 비교	20
<표 3-9> 시내버스 노선 운행거리 분포	21
<표 3-10> 시내버스 노선 굴곡도 현황	22
<표 3-11> 시내버스 노선 굴곡도 분포	22
<표 3-12> 시내버스 노선 중복도 현황	23
<표 3-13> 시내버스 노선 중복도 분포	23
<표 3-14> 시내버스 노선 배차간격 현황	24
<표 3-15> 시내버스 노선 배차간격 분포	24
<표 3-16> 도시별 시내버스 배차간격	24
<표 4-1> 도시별 노선개편 후 주요 변화	30
<표 5-1> 시내버스 노선 위계구조의 효율성 평가지표	35
<표 6-1> 대안 1 노선망 특징	42
<표 6-2> 대안 2 노선망 특징	43
<표 6-3> 대안 3 노선망 특징	44
<표 6-4> 대안 4 노선망 특징	45
<표 6-5> 승용차와 버스의 평균 통행시간 가치	46
<표 6-6> 시간가치 설정	47
<표 6-7> 대안별 차내통행시간비용	48
<표 6-8> 대안별 대기시간비용	49
<표 6-9> 대안별 환승페널티비용	50
<표 6-10> 대안별 총통행시간비용(원)	51

- 그림차례 -

[그림 1-1] 연구의 방법 및 과정	5
[그림 3-1] 도시별 시내버스 이용객수 비교	15
[그림 3-2] 시내버스 불편사항 분석	16
[그림 3-3] 통행발생량 대비 시내버스 서비스 공급	25
[그림 4-1] 간선-지선체계 노선의 개념	29
[그림 6-1] 시내버스 노선망 위계수준과 통행비용의 관계	39
[그림 6-2] 효율성 분석 방법 및 과정	40
[그림 6-3] 노선망 대안 작성 개념도	41
[그림 6-4] 대안 1 노선망 분포도	42
[그림 6-5] 대안 2 노선망 분포도	43
[그림 6-6] 대안 3 노선망 분포도	44
[그림 6-7] 대안 4 노선망 분포도	45
[그림 6-8] 대안별 차내통행시간비용	48
[그림 6-9] 대안별 대기시간비용	49
[그림 6-10] 대안별 환승페널티비용	50
[그림 6-11] 대안별 위계수준에 따른 통행비용	51

제 1 장

연구의 개요

.....
제1절 연구의 배경 및 목적

제2절 연구의 범위 및 방법
.....

제1장 연구의 개요

제1절 연구의 배경 및 목적

화석연료의 과대사용에 따른 에너지 고갈문제, 그리고 이로 인한 기후변화 문제, 교통혼잡비용, 사고비용과 같은 사회적 비용 증가 문제, 도로, 주차장 확충 등 기반시설 건설재원 마련 문제 등으로 대중교통의 중요성이 부각되고 있다.

우리나라 수송부문의 에너지 소비량은 2005년 기준 35,559toe로 전체 부문의 20.8%를 차지하고 있다. 이러한 결과로 수송부문의 온실가스 배출량은 98.2백만 CO_2 톤으로 전체 부문의 19.7%를 차지하고 있으며, 향후 2020년까지 연평균 2.2%씩 증가할 것으로 전망되고 있다. 또한 수송부문의 대기오염물질 배출량 비중은 전체 오염원중 일산화탄소(CO) 80.4%, 질소산화물(NO_x) 49.3%, 황산화물(SO_x) 14.4%, 미세먼지(PM_{10}) 49.3%, 휘발성유기화합물(VOC) 16.0%로 높은 실정이다.

2006년 기준 교통혼잡비용은 246,000억원으로 7대 도시에서 62.7%가 발생하고 있으며, 2005년 기준 교통사고 비용은 142,818억원이 발생하고 있는 등 많은 사회적 비용을 지불하고 있는 실정이다.

그리고 승용차 이용자의 지속적인 증가에 따라 도로, 주차장 확충 등 막대한 기반시설 건설비용이 투입되고 있는 실정이다.

현재 서울시를 제외한 지방 대도시의 경우 대중교통수단분담률은 매우 낮은 실정으로 앞에서 제기된 많은 사회, 경제적 문제를 완화하기 위해서는 편리한 대중교통체계를 구축하여 승용차 이용을 감소시킬 필요성이 있다.

도시의 대중교통수단은 도시철도와 시내버스를 대표적으로 꼽을 수 있으나, 도시철도의 경우 막대한 건설비는 차치하더라도 완공까지 오랜 기간을 요하므로 우선적으로 시내버스 정책에 관심을 가질 필요성이 있다.

시내버스 이용객의 불편요인을 대전시 사례로 분석해 보면 많은 부분이 시내버스 노선체계와 연관되어 있다. 따라서 대부분 도시의 경우 노선을 새롭게 개편하였거나 개편할 예정으로 있으며, 대부분 노선의 위계를 부여하여 간선-지선체계로 개편방향

을 설정하고 있다.

그러나 대부분 도시의 경우 사전연구 없이 선행 도시의 사례를 벤치마킹하여 간선-지선체계로 개편하고 있으며, 위계수준에 대한 고려는 미흡한 실정이다. 즉 어느 수준에서 위계를 결정할 지에 대해서는 연구가 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 시내버스 노선을 간선-지선체계로 위계를 부여하여 운영하는 것이 효율성이 있는지와 어느 수준에서 위계를 부여할 때 가장 효율적인지에 대해서 분석해 보고자 한다.

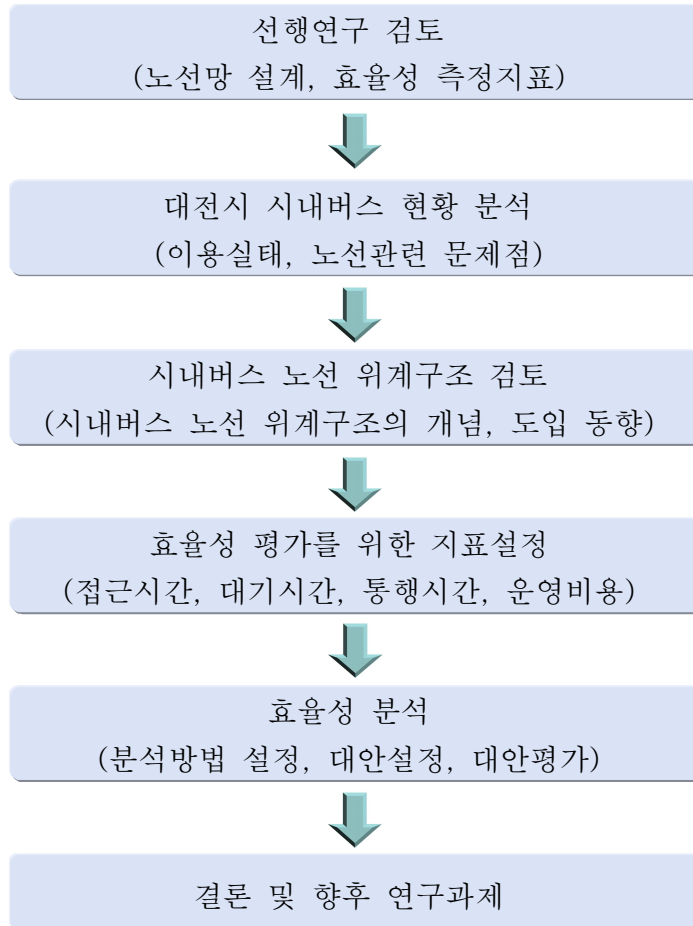
제2절 연구의 범위 및 방법

먼저, 대전시 시내버스의 이용실태 및 노선 등 시내버스 현황을 분석하고, 시내버스 노선 관련 선행연구 및 위계구조에 대해 살펴보았다. 다음으로 시내버스 노선의 효율성 평가를 위한 평가지표를 설정한 후, 대전시를 사례로 위계수준을 달리한 노선망 대안을 작성하여 효율성 평가지표에 의하여 대안을 평가·해석하여 효율성을 분석해 보았다.

본 연구의 내용적 범위를 정리하면 다음과 같다.

- 선행연구 검토
 - 노선망의 설계, 효율성 평가지표 등에 대한 선행연구의 문헌을 고찰한다.
- 대전시 시내버스 현황 분석
 - 대전시 시내버스의 이용실태를 분석하여 불편사항을 분석하고, 시내버스 노선의 문제점을 분석한다.
- 시내버스 노선 위계구조 검토
 - 시내버스 노선 위계구조의 개념 및 국내 도입 동향에 대해서 살펴본다.
- 효율성 평가지표 설정
 - 노선망의 효율성 평가를 위한 지표를 설정한다.
- 시내버스 노선망 위계구조의 효율성 분석
 - 위계수준이 다른 노선망 대안을 작성하여 평가지표에 의해 효율성을 분석한다.
- 결론 및 정책 건의

본 연구의 전반적인 수행방법 및 과정은 다음과 같다.



[그림 1-1] 연구의 방법 및 과정

제 2 장

선행연구 검토

.....
제1절 시내버스 노선망 설계

제2절 시내버스 노선체계 분석

제3절 선행연구와의 차별성
.....

제2장 선행연구 검토

제1절 시내버스 노선망 설계

현재 시내버스 노선의 위계구조에 대한 연구는 없는 실정이며, 시내버스 노선 설계 방법을 제시한 최근의 연구는 Kho(2000), 이승재외(1999), 한종학외(2005), 박준식외(2007) 등이 있다.

Kho(2000)는 우회하는 버스노선의 효율성을 분석하였는데, 우회노선이 효율적인 경우는 우회지점에 있는 승객의 편익이 승객의 비용과 우회노선 운영비용의 합보다 큰 경우로 이는 우회지점에 있는 통행수요와 통행거리에 따라 결정된다고 제시하였다.

이승재외(1999)는 네트워크차원의 최적화를 위한 노선계획 방법론에 대해 연구하였다. matrix 형태의 집합개념을 도입한 Set Covering 이론을 적용하여 노선공급수준을 축소하였으며, 환승을 활용하여 통행수요를 만족하는 최소규모의 노선망을 도출하는 방법론을 제시하였다.

한종학외(2005a)는 국내외 버스 노선망 설계 문제(BTRNDP)에 대해 고찰해본 결과 버스정류장 기반 기종점통행량 구축, 버스 노선망 평가모형 개발, 대중교통통행배분 모형의 개발, 탐색해알고리즘의 개발이 중요한 것으로 제시하였다.

박준식외(2007)는 대중교통노선망 위계구조에 대하여 연구를 수행하였다. 대중교통 노선망을 구성하는 총 비용을 모형화하고 구축된 모형을 통해 위계구조를 갖는 대중교통 노선망과 단일위계로 구성된 노선망의 총 비용을 비교하여 위계구조를 갖는 대중교통 노선망의 효율적 조건을 제시하였다. 대중교통 노선망의 위계는 중전철>경전철>버스의 순으로 위계를 구분하였다.

제2절 시내버스 노선체계 분석

시내버스 노선체계의 분석과 관련해서는 이상용외(2003), 한종학외(2005b) 등이 있다.

이상용외(2003)는 도시내 버스노선체계의 평가를 위한 정량적 지표 분석에 대하여 연구하였다. 평가기준은 버스이용의 편의성, 운행의 생산성, 사회적 비용 최소화 관점

에서 접근성, 승차안락성, 환승률, 노선직결도, 운행 생산성, 형평성, 차량소유대수의 7개 지표를 설정하여 사례분석을 해 본 결과 전반적으로 버스노선체계의 구조와 특성을 잘 반영하고 있는 것으로 제시하였다.

한중학외(2005b)는 버스노선체계 평가모형에 대하여 연구한 결과, 버스 노선망 성능 지표로는 개별노선 관련정보(노선망 및 형상, 배차회수), 수요관련정보(직결수요, 환승수요 등), 이용자 비용(차내통행시간, 대기시간 등), 운영비용(노선연장, 운행시간 등), 노선망 이용도, 노선망 구조 등이 유의한 것으로 분석되었다.

그리고 기타 대중교통체계 분석에 사용되는 목적함수는 특별한 경우를 제외하고는 이용자 비용(접근비용, 대기비용, 통행비용)과 운영자 비용의 합으로 구성된 대중교통 시스템의 총 비용이 목적함수로 사용되고 있는 것으로 나타났다. 기존연구에 사용된 연구유형별 목적함수는 <표 2-1>과 같다¹⁾.

<표 2-1> 연구 유형별 사용된 목적함수

구 분	연 구 자	목적함수
노선(망) 구조	Newell(1979)	U(A, W, T), O
	Kho(1990)	U(A, W, T), O
	Kho(2000)	U(A, W, T), O
	박준식 외(2007c)	U(A, W, T), O
노선간격 및 위치 +배차계획	Hurdle(1973c)	U(A, W, _), O
	Clarens, Hurdle(1975)	U(_ W, T), O
	Wirashinghe(1980)	U(A, W, T), O
	Kocur, Hendrickson(1982)	U(A, W, T), O
	Chang, Schonfeld(1991)	U(A, W, T), O
정류장 간격 및 위치	Vuchic, Newell(1968)	U(A, W, T) _
	Wirashinghe, Ghoneim(1981)	U(A, _ T), O
	Kikuchi, Vuchic(1982)	U(A, W, T) _
	강주란(2006)	U(A, W, T), O
	박준식 외(2007b)	U(A, W, T), O
정류장 간격 및 위치 +배차계획	Kikuchi(1985)	U(A, W, T) _
	이승헌(1999)	U(A, W, T), O
	박준식 외(2007a)	U(A, W, T), O
배차계획+소요차량수	고승영, 고종섭(1998)	U(A, W, T), O

주) U(A:접근비용, W:대기비용, T:통행비용) : 이용자비용, O : 운영자 비용

1) 박준식·권용석(2007), 대중교통 노선망 설계에 관한 해석적 연구의 모형 구조와 풀이, 대한교통학회지 제25권 제6호, 재인용

제3절 선행연구와의 차별성

대중교통 전체 시스템의 위계구조에 대한 연구는 있으나, 시내버스 노선망 위계구조의 효율성 분석에 관한 연구는 현재까지 없는 실정으로 연구의 의미가 있을 것으로 판단된다.

따라서 기존의 유사 연구와 관련하여 연구 방법론적인 측면에서 차별성을 보면, 먼저 기존의 연구는 가상의 격자형 네트워크 또는 도시의 일부 네트워크를 대상으로 분석이 이루어진 반면 본 연구는 광역시 규모의 전체 네트워크를 대상으로 대안을 설정하여 분석했다는 점에서 차이가 있다.

다음으로 기존의 연구는 가상의 통행량 또는 가상의 통행패턴을 가정하여 분석이 이루어진 반면, 본 연구에서는 실제 기종점 통행량을 이용하여 현실 상황에 근접한 분석을 수행했다는 점에서 차별된다 할 수 있다.

본 연구에서는 과제의 특성상 학술적인 연구보다는 대전시를 사례로 실증적인 분석이 될 수 있도록 접근하였다.

제 3 장

시내버스 현황 분석

.....
제1절 시내버스 이용실태 분석

제2절 시내버스 노선현황 분석
.....

제3장 시내버스 현황 분석

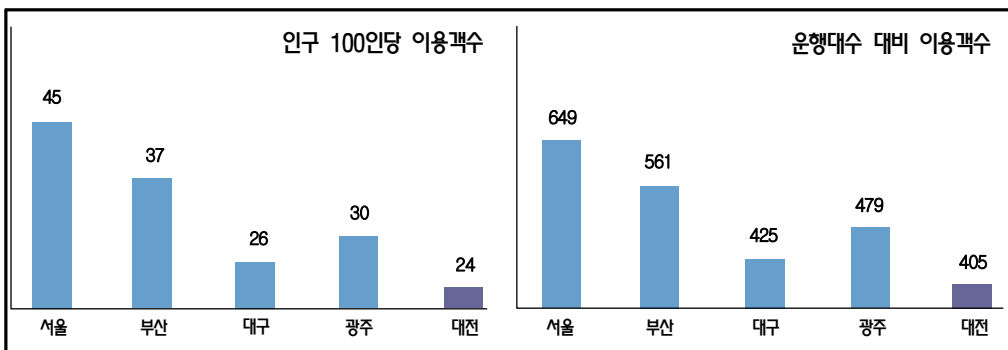
제1절 시내버스 이용실태 분석

1. 시내버스 이용수준

대전시 시내버스 이용객은 타도시에 비해 매우 적은 실정으로 시내버스 이용률이 저조한 실정에 있다. 인구 100인당 시내버스 1일 이용객은 대전이 24인으로 서울 45인, 부산 37인 등에 비하여 월등히 적은 수준이며, 시내버스 운행대수 1대당 1일 이용객 또한 대전은 405명으로 서울 649명, 부산 561명 등에 비해 매우 적은 수준이라 할 수 있다.

<표 3-1> 도시별 시내버스 이용객수 비교

구 분		대전	서울	부산	대구	광주
인 구 (인)		1,487,836	10,421,782	3,615,101	2,512,670	1,423,460
시내버스 이용객수 (인/일)		356,311	4,655,482	1,334,299	663,647	425,644
시내버스 운행대수 (대)		880	7,178	2,377	1,561	888
이용객수	인구대비 (인/100인)	24	45	37	26	30
	운행대수대비 (인/대)	405	649	561	425	479

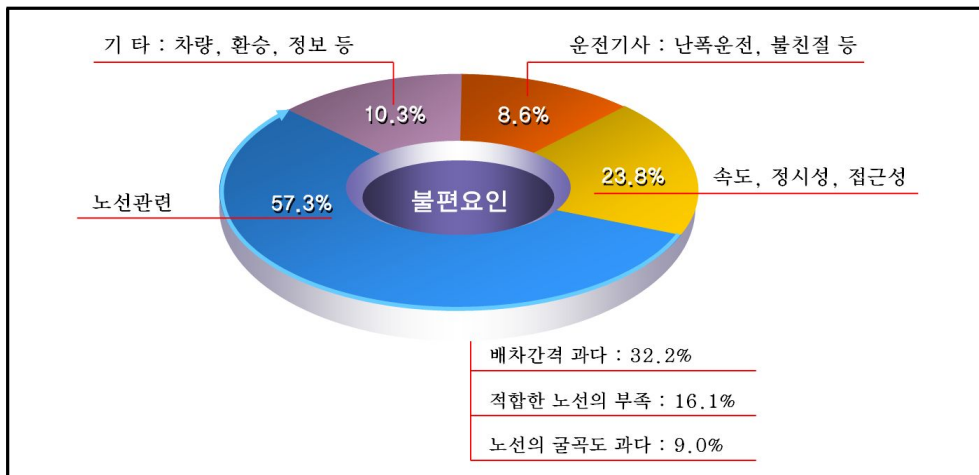


(그림 3-1) 도시별 시내버스 이용객수 비교

2. 시내버스 이용객 불편사항

시내버스 이용자를 대상으로 시내버스의 부문별 요소에 대하여 불편사항을 조사한 결과, 시내버스 배차간격의 과다, 시내버스 노선의 부족(이용하기 적합한 노선의 부재), 시내버스 정시성 미흡, 시내버스 노선의 굴곡, 시내버스 통행속도 저하, 운전기사의 난폭운전 등이 가장 많은 것으로 나타났다.

배차간격의 과다, 적합한 노선의 부족, 노선의 굴곡도 과다 등 시내버스 노선과 관련된 사항이 전체의 57.3%로 나타났다.



(그림 3-2) 시내버스 불편사항 분석

<표 3-2> 시내버스 이용객 불편사항 주요 항목

구분	내용	표본수(개)	비율(%)
운행가능 버스 규모	배차간격 과다	354	32.2
시내버스 노선체계	이용하기 적합한 노선의 부족	177	16.1
	노선의 굴곡도	99	9.0
시내버스 운행여건	정시성 미흡	156	14.2
	통행속도 저하	56	5.1
시내버스 운전기사	난폭운전	62	5.6

<표 3-3> 시내버스 이용객 불편사항 1순위 조사결과

시내버스 불편요소	표본수	비율
1. 시내버스 노선이 부족하다	177	16.1
2. 시내버스 배차간격이 너무 길어 정류소에서 오래 기다려야 한다.	354	32.2
3. 정해진 배차간격을 잘 지키지 않아 정류소에서 오래 기다려야 한다.	156	14.2
4. 버스 노선이 너무 굴곡되어 있어 목적지까지 시간이 오래 걸린다.	99	9.0
5. 노선간 환승체계가 불편하다.	26	2.4
6. 시내버스 운전기사가 불친절하다.	33	3.0
7. 시내버스 차량이 깨끗하지 않고 승차감이 떨어져 불편하다.	15	1.4
8. 과속, 난폭운전 등으로 시내버스 이용시 불편하다.	62	5.6
9. 도로정체 등으로 시내버스의 통행속도가 낮아 시간이 오래 걸린다.	56	5.1
10. 시내버스 차내가 혼잡하여 불편하다.	30	2.7
11. 출발지에서 정류소까지 접근하는데 시간이 많이 소요된다.	50	4.5
12. 노선, 시간 등 시내버스 이용 정보를 획득하기가 어렵다.	42	3.8
합 계	1,100	100.0

<표 3-4> 시내버스 이용객 불편사항 2순위 조사결과

시내버스 불편요소	표본수	비율
1. 시내버스 노선이 부족하다	113	10.3
2. 시내버스 배차간격이 너무 길어 정류소에서 오래 기다려야 한다.	150	13.5
3. 정해진 배차간격을 잘 지키지 않아 정류소에서 오래 기다려야 한다.	159	14.5
4. 버스 노선이 너무 굴곡되어 있어 목적지까지 시간이 오래 걸린다.	119	10.8
5. 노선간 환승체계가 불편하다.	38	3.5
6. 시내버스 운전기사가 불친절하다.	55	5.0
7. 시내버스 차량이 깨끗하지 않고 승차감이 떨어져 불편하다.	35	3.2
8. 과속, 난폭운전 등으로 시내버스 이용시 불편하다.	112	10.2
9. 도로정체 등으로 시내버스의 통행속도가 낮아 시간이 오래 걸린다.	137	12.4
10. 시내버스 차내가 혼잡하여 불편하다.	75	6.8
11. 출발지에서 정류소까지 접근하는데 시간이 많이 소요된다.	59	5.4
12. 노선, 시간 등 시내버스 이용 정보를 획득하기가 어렵다.	48	4.4
합 계	1,100	100.0

3. 통행단계별 소요시간 분석

이용자가 시내버스를 이용함에 있어 통행단계별로 어느 정도의 시간을 소모하고 있는 지에 대하여 조사한 결과, 한번 통행하는 데에는 평균 48.5분이 소요되는 것으로 나타났다²⁾.

차내 탑승시간은 25.2분으로 전체 소요시간 중 52%를 차지하고 있는데 시내버스 이용객의 평균통행거리에 비해서는 많이 소요되고 있는 편으로 시내버스 노선의 굴곡도 조정, 시내버스 통행속도 향상 등을 통해 감소시킬 필요성이 있다.

차외 시간은 총 23.3분으로 전체 소요시간 중 48%를 차지하고 있으며, 세부적으로는 출발지에서 정류장까지 도착시간이 6.9분으로 전체의 14.2%, 정류장에서 버스를 기다리는 시간이 9.1분으로 전체의 18.8%, 하차한 정류장에서 목적지까지 도착시간이 7.3분으로 전체의 15.0%를 차지하고 있는 것으로 나타났다.

정류장까지 도착시간은 통행패턴에 맞는 노선조정, 노선의 확충, 마을버스의 도입 등을 통하여 감소시킬 필요성이 있으며, 정류장에서 대기하는 시간은 일반적으로 평균배차간격의 절반수준으로 시내버스의 배차간격(현재 18.1분)을 크게 줄일 필요성이 있고, 차외시간은 차내 탑승시간보다 많은 활동을 요하게 되어 이용객이 느끼는 시간 가치가 크므로 우선적으로 차외시간을 줄일 필요성이 있다.

〈표 3-5〉 시내버스 이용객 통행단계별 소요시간

구 분	시 간(분)	비 율(%)	비 고
출발지에서 정류장 도착시간	6.9	14.2	차내시간 25.2분(52%)
정류장에서 기다리는 시간	9.1	18.8	
시내버스 탑승 이동시간	25.2	52.0	차외시간 23.3분(48%)
하차 정류장에서 목적지 도착시간	7.3	15.0	
합 계	48.5	100.0	

2) 이범규(2008), 대전광역시 시내버스 정책방향 설정에 관한 연구, 대전발전연구원
92인을 대상으로 각각 10통행에 대하여 출발지에서 정류소까지 소요시간, 정류소에서 대기하는 시간, 버스를 타고 이동하는 시간, 하차해서 목적지까지 소요되는 시간을 조사함

4. 승용차 이용자의 대중교통 이용 중요도

승용차 이용자가 대중교통을 이용하는데 있어 대중교통의 서비스 요소 중 어떠한 요소가 중요한지를 분석한 결과, 승용차 이용자는 접근성(0.394)을 가장 중요하게 생각하며, 다음으로 정류장 및 역에서의 대기시간과 관련된 배차간격(0.297), 수단자체의 쾌적성(0.162), 통행속도(0.147) 순으로 중요하게 여기고 있는 것으로 나타났다³⁾.

성별로 보면 남성은 접근성(0.421)을 특히 중요한 요소로 여기며, 여성은 배차간격(0.327)을 특히 중요하게 생각하고 있는 것으로 나타났다. 연령별로는 연령이 높을수록 접근성에 대한 중요도가 높으며, 연령이 낮을수록 배차간격에 대한 중요도가 높은 것으로 나타났다.

<표 3-6> 승용차 이용자의 대중교통 서비스 요소 중요도

구 분	남 성	여 성	전 체
접 근 성	0.421	0.351	0.394
통행속도	0.154	0.137	0.147
배차간격	0.277	0.327	0.297
쾌 적 성	0.148	0.185	0.162
계	1.000	1.000	1.000

5. 시내버스 이용 만족도

대전시 시내버스 이용자들의 종합만족도는 54.6점으로 매우 낮은 것으로 조사되었으며, 특히, 운행실태(배차간격, 정시성 등), 안전운행(과속, 난폭운전 등), 차량의 쾌적성(냄새, 소음 등), 운전기사(답변태도, 승하차시 배려 등)와 관련된 부분의 만족도가 낮은 것으로 나타났다. 그리고 승객들은 안전운행, 버스시설, 운전기사 등의 순으로 중요하게 여기는 것으로 나타났다⁴⁾.

시내버스 노선체계(굴곡도, 연결노선 등)는 고객만족도 조사에서 제외되어 있으며, 타 조사결과를 보면 50.0점으로 타 부문과 마찬가지로 매우 낮은 것으로 나타났다.

3) 이범규(2005), 승용차 이용자의 대중교통수단 전환에 관한 기초연구, 대전발전연구원

4) 대전발전연구원(2007), 대전광역시 2007년도 고객만족도 조사

제2절 시내버스 노선현황 분석

1. 노선수

대전시 시내버스 노선은 총 93개로 좌석형 버스가 투입되는 노선이 13개, 도시형버스가 투입되는 노선이 52개, 도시형 버스가 투입되며 외곽 벽지지역을 연결하는 순환형 노선이 28개 있다.

노선별로는 좌석형 노선에 163대가 운행되며, 도시형 노선에 672대, 순환형 노선에 45대가 운행되고 있다.

〈표 3-7〉 대전시 시내버스 노선현황

구 분	노선수(개)	운행대수(대)	업체수(개)	업체별 평균 보유대수
좌석형	13	163	13	74.2
도시형	52	672		
순환형	28	45		
계	93	880		

총 93개인 노선은 운행되는 시내버스 1대당 0.11개 수준으로 타 광역시에 비하여 가장 높은 수준이며, 도시면적 1km²당 노선수는 0.17개로 가장 낮은 수준이다.

즉, 개략적으로 볼 때 도시규모에 비해서는 노선이 많지 않은 편이며, 노선당 운행대수는 부족한 것으로 해석할 수 있다.

〈표 3-8〉 도시별 시내버스 노선수 비교

구 분	노선수	비교지표		운행대수당 노선수	km ² 당 노선수
		운행대수	면적(km ²)		
대 전	93	880	539.64	0.11	0.17
서 울	409	7,530	605.41	0.05	0.68
부 산	134	2,217	765.10	0.06	0.18
인 천	163	2,100	388.89	0.08	0.42
대 구	103	1,561	884.46	0.07	0.12
광 주	87	888	501.28	0.10	0.17

주) 2007. 12 기준, 각시도 내부자료를 활용하였으며, 인천시는 강화군, 옹진군을 제외하고 분석

2. 노선 운행거리

대전시 시내버스 93개 노선의 평균 운행거리는 45.3km(편도 22.7km)로 분석되었다. 왕복 50km 이상 노선은 20개 노선으로 30.8%를 차지하고 있으며, 왕복 40km 이상 노선은 39개로 60.0%를 차지하고 있을 정도로 장대노선이 많은 실정이다. 이에 따라 편도 운행시간은 평균 69.6분이 소요되고 있는 실정이다.

노선 평균 운행거리는 서울 29.7km, 부산 37.6km, 광주 19.4km로 면적 및 통행특성에 따라 다르나, 대전시 시내버스 노선의 운행거리는 행정구역의 직경이 약 30km인 점을 고려하면 과도하게 긴 것으로 판단된다.

〈표 3-9〉 시내버스 노선 운행거리 분포

구 분	계	30km 이하	30~39km	40~49km	50~59km	60~69km	70km 이상
합 계	93	11	26	24	15	13	4
좌 석	13	-	-	1	3	7	2
도시형	52	9	17	18	5	3	-
순 환	28	2	9	5	7	3	2

노선의 운행거리가 길어지는 원인은 도시외곽에서 도시외곽을 연결하는 노선이 일부 있으나 많지는 않으며, 대부분 도시 내에서 노선의 굴곡으로 인해 발생하고 있는 것으로 분석된다.

이러한 장거리 노선은 운행중 교통혼잡 상태에 따라 버스차량이 연착되거나 또는 몰려다니는 현상을 초래해 버스의 정시성에 큰 영향을 미치게 된다.

또한 시내버스 노선은 일정한 배차간격으로 유지되기 때문에 수요가 없는 구간에서는 공차거리를 증가 시키고, 수요가 많은 구간에서는 충분한 공급이 어려워 노선의 효율성을 저하시키게 된다.

그리고, 노선이 길어지게 되면 운행시간이 과다하게 소요되어 버스의 안전운행에 지장을 초래하는 문제점이 있다.

3. 노선 굴곡도

노선의 굴곡도는 기·종점을 기준으로 선형의 굴곡도 정도를 나타내는 지표로 기점지와 종점지를 최단거리로 연결할 때 1.0이 된다.

$$\text{굴곡도(거리기준)} = \frac{\text{기종점간 운행거리}}{\text{기종점간 최단거리}}$$

대전시 시내버스 노선의 평균 굴곡도는 1.62로 높은 편이며, 굴곡도 1.5이상인 노선도 34개로 전체의 36.5%를 차지하고 있다.

<표 3-10> 시내버스 노선 굴곡도 현황

구 분	좌석형노선	도시형노선	순환형노선	평 균
굴 곡 도	1.49	1.56	1.80	1.62

<표 3-11> 시내버스 노선 굴곡도 분포

구 분	1.3미만	1.3~1.5	1.5~2.0	2.0초과
노 선 수(개)	25	34	23	11
비 율(%)	26.9	36.6	24.7	11.8

대전시 시내버스 노선의 평균 굴곡도 1.62는 타시도와 비교할 때 매우 높다고 할 수 있다. 타시도의 시내버스 노선 굴곡도는 서울 1.2, 부산 1.36, 대구 1.3 등으로 대전시에 비하여 양호한 것으로 조사되었다.

노선의 굴곡도는 높아질수록 이용자의 정류소 접근거리를 감소시키고, 환승을 줄일 수 있는 측면도 있으나, 이용자 통행시간의 증가, 노선거리 증가에 따른 정시성 감소 등 불합리한 측면이 더 크게 작용하게 된다. 굴곡도는 시내버스 이용자의 통행시간을 증가시키는 가장 큰 요인으로 분석된다.

4. 노선 중복도

노선의 중복도는 동일한 버스노선에 다른 노선이 운행되는 것을 의미하는 것으로 중복도를 이용하여 중복정도를 파악하게 된다. 중복도가 1.0이라는 것은 노선의 기점에서부터 종점까지 전체 구간에서 노선을 공유하는 다른 노선이 하나도 없다는 것을 의미한다.

$$\text{중복도} = \frac{\text{중복되는 노선의 총연장}}{\text{노선 } n\text{번의 연장}}$$

대전시 시내버스 노선의 평균 중복도는 6.7로 서울시(9.6) 등에 비해 중복도가 높지는 않으나, 일부 도로에서 중복도가 심한 것으로 나타나고 있다. 중앙로의 경우 동일 구간에 전체 93개 노선중 38개 노선이 통과하여 중복도는 38.0에 달하고 있다.

〈표 3-12〉 시내버스 노선 중복도 현황

구 분	좌석형노선	도시형노선	순환형노선	평 균
중 복 도	6.4	7.4	6.4	6.7

〈표 3-13〉 시내버스 노선 중복도 분포

구 분	3.0이하	5.0이하	7.0이하	9.0이하	11.0이하	11.0초과
노 선 수(개)	7	15	27	23	18	3
비 율(%)	7.5	16.1	29.1	24.7	19.5	3.2

노선의 중복도 자체가 시내버스 서비스를 저하시키는 것은 아니나, 노선의 효율성 측면에서 문제가 된다. 시내버스 수요에 비해 노선이 과다 공급됨으로써, 상대적으로 노선이 필요한 지역에 노선을 공급하지 못하는 비효율을 초래하게 된다.

5. 노선 배차간격

대전시 시내버스 93개 노선의 평균 배차간격은 42.5분이며, 외곽 순환버스를 제외한 노선의 평균 배차간격은 18.1분이다⁵⁾.

노선별로는 좌석형 노선이 17.3분, 도시형 노선이 18.8분, 순환형 노선이 91.3분으로 특히 순환형 노선의 배차간격이 긴 실정이다. 93개 노선중 10분 이내의 배차간격 노선은 18개밖에 없으며, 30분을 초과하는 노선도 34개나 있다.

〈표 3-14〉 시내버스 노선 배차간격 현황

구 분	좌석형노선	도시형노선	순환형노선	평 균
배차간격(분)	17.3	18.8	91.3	전체 42.5 순환제외 18.1

〈표 3-15〉 시내버스 노선 배차간격 분포

구 분	계	10분 이하	11~15분	16~20분	21~25분	26~30분	30분 초과
합 계	93	18	19	17	3	2	34
좌 석	13		5	8			
도시형	52	18	14	9	3	2	6
순 환	28						28

타도시와 비교해 보면, 서울 6.8분, 부산 10.8분, 대구 10.3분 등으로 대전시 시내버스의 배차간격이 월등히 긴 실정이다.

〈표 3-16〉 도시별 시내버스 배차간격

구 분	대 전	서 울	부 산	대 구
노 선 수(개)	93	409	134	103
배차간격(분)	18.1	6.8	10.8	10.3

5) 평균 배차간격은 노선별 운행대수를 고려하지 않고 산술평균한 값임

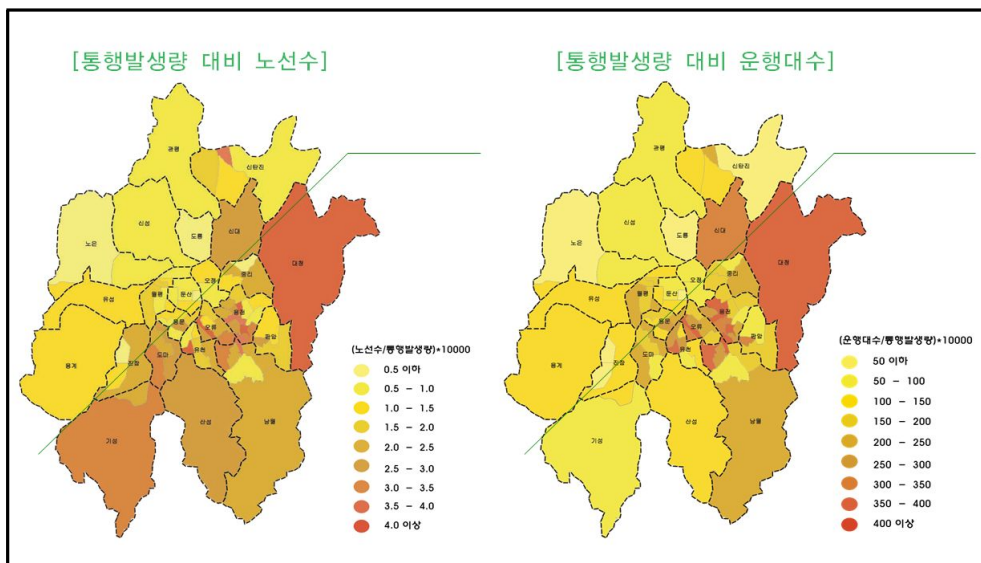
6. 통행수요와의 일치성

시내버스 노선은 통행수요 패턴에 가장 근접한 노선이 합리적인 노선이라 할 수 있다. 통행수요와 시내버스 서비스의 일치성을 판단하기 위하여 동별 통행발생량과 노선수 및 운행대수를 비교하였다.

먼저 노선수의 경우 통행발생량에 비하여 많은 편차를 보이고 있으며, 동남부 지역은 통행발생량에 비하여 상대적으로 많은 서비스가 공급되고 있고, 서북부지역은 상대적으로 서비스가 적게 공급되고 있는 것으로 분석되었다.

같은 방법으로 공급되는 운행대수에 대하여 분석해본 결과, 노선수에 비해서는 편차가 감소하지만 여전히 동남부 지역은 통행발생량에 비하여 상대적으로 많은 서비스가 공급되고 있으며, 서북부지역은 상대적으로 서비스가 적게 공급되고 있는 것으로 분석되었다.

따라서 시내버스 노선 조정 또는 개편 시에는 이러한 특성을 고려하여 서비스 과소 지역에 대하여 공급을 확대할 필요성이 있다.



(그림 3-3) 통행발생량 대비 시내버스 서비스 공급

제 4 장

시내버스 노선 위계구조 검토

제1절 시내버스 노선 위계구조의 개념

제2절 시내버스 노선 위계구조 도입 동향

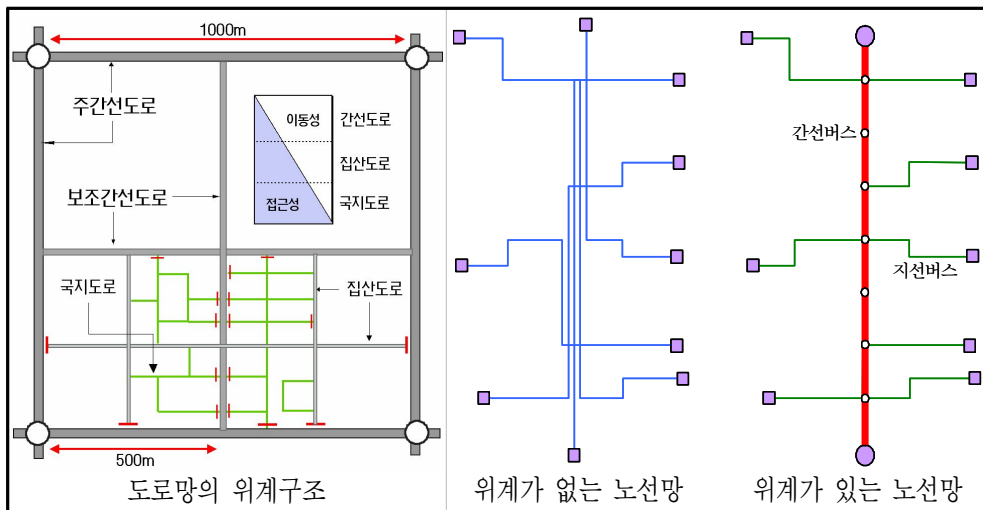
제4장 시내버스 노선 위계구조 검토

제1절 시내버스 노선 위계구조의 개념

시내버스 노선을 간선-지선체계로 구분하여 위계를 부여하는 기본개념은 도로의 위계구조와 유사하다. 시내버스 노선의 간선노선(급행노선, 간선노선)은 도로의 간선도로(주간선도로, 보조간선도로)의 역할을 하고 지선노선은 도로의 집산도로 역할을 수행하는 것으로 이해할 수 있다.

<그림 4-1>과 같이 각각의 기종점에서 주요 생활권을 모두 연결하는 노선체계는 위계가 없는 노선망이라 할 수 있고, 수요가 많고 도로여건이 좋은 생활권을 연결하는 간선노선을 중심으로 지선노선에서 환승하여 이동할 수 있도록 노선의 기능을 부여한 노선체계는 위계가 있는 노선망이라 할 수 있다.

일반적으로 시내버스 노선의 기능을 부여하여 간선-지선체계로 구분하게 되면 노선의 연장이 크게 줄어들게 되고, 이로 인해 차량의 소요규모가 줄어들기 때문에 여유 차량을 이용하여 배차간격을 크게 단축할 수 있고, 노선의 굴곡도를 줄일 수 있는 장점이 있다. 그러나 노선의 위계를 부여하게 되면, 일반적으로 간선-지선간 환승률이 높아지는 단점이 있다.



[그림 4-1] 간선-지선체계 노선의 개념

제2절 시내버스 노선 위계구조 도입 동향

꾸리찌바, 보고타 등 해외도시와 서울, 대구, 부산, 광주 등 국내도시에서 이미 시내버스 노선의 위계를 부여하여 운영하고 있다.

그러나 노선의 위계수준은 각 도시마다 다른 실정으로 꾸리찌바, 보고타 등은 위계수준이 높은 편이며, 국내 도시의 경우에는 위계수준이 낮은 편이다.

이미 시내버스 노선의 위계를 부여하여 운영하고 있는 국내 주요 도시의 개편 전후 주요 변화를 살펴보면 다음과 같다⁶⁾.

서울시(2004. 7)의 경우 위계를 부여하기 전 618개 노선, 15,556.6km에서 위계 부여 후 632개 노선, 12,350.7km로 노선수는 증가하였으나, 총연장은 감소(20.6%)하였다. 평균 배차간격은 7.8분에서 5.6분으로, 굴곡도는 1.3에서 1.2로 감소하였다.

부산시(2007. 5)의 경우 위계를 부여하기 전 164개 노선, 6,396km에서 위계 부여 후 137개 노선, 5,069km로 노선수 및 총연장이 감소(20.6%)하였다. 평균 배차간격은 15.8분에서 10.8분으로, 굴곡도는 1.38에서 1.36으로 감소하였다.

대구시(2006. 2)의 경우 위계를 부여하기 전 94개 노선, 5,136.9km에서 위계 부여 후 103개 노선, 4,551.7km로 노선수는 증가하였으나, 총연장은 감소(11.4%)하였다. 평균 배차간격은 12.4분에서 10.3분으로, 굴곡도는 1.4에서 1.3로 감소하였다.

광주시(2006. 12)의 경우 위계를 부여하기 전 77개 노선, 1,778km에서 위계 부여 후 86개 노선, 1,668km로 노선수는 증가하였으나, 총연장은 감소(6.2%)하였다. 평균 배차간격은 39.3분에서 31.6분으로, 굴곡도는 1.34에서 1.35로 큰 변화는 없었다.

〈표 4-1〉 도시별 노선개편 후 주요 변화

구 분	노선수(개)		노선총연장(km)		평균배차간격(분)		굴곡도	
	개편전	개편후	개편전	개편후	개편전	개편후	개편전	개편후
서울	618	632	15,556.6	12,350.7	7.8	5.6	1.3	1.2
부산	164	137	6,396	5,069	15.8	10.8	1.38	1.36
대구	94	103	5,136.9	4,551.7	12.4	10.3	1.4	1.3
광주	77	86	1,778	1,668	39.3	31.6	1.34	1.35

6) 각 도시, 교통국 내부자료 인용

제 5 장

효율성 평가지표 설정

제1절 일반적 효율성 평가지표 검토

제2절 효율성 평가지표 설정

제5장 효율성 평가지표 설정

제1절 일반적 효율성 평가지표 검토

시내버스 노선체계를 평가함에 있어 차량소요대수, 환승률, 노선직결도, 형평성, 노선의 중복도, 굴곡도, 배차간격 등 개별적인 요소를 평가하는 경우도 있지만 일반적으로는 통행비용관점에서 분석이 이루어진다.

시내버스 노선의 효율성은 결국 운영비용을 최소화하면서 이용자의 편익을 최대화하는 것으로 일반적으로 이용자 비용과 운영자 비용의 합인 시스템의 총 비용(SC)을 최소화하는 목적함수를 이용하게 된다.

$$\min SC = \text{이용자 비용} + \text{운영자 비용}$$

이용자비용(UC)은 정류장까지의 접근비용, 정류장에서의 대기비용, 통행비용으로 구분된다.

일반적으로 접근비용(접근시간)은 정류장 간격에 비례하며, 대기비용(대기시간)은 배차간격에 비례하고, 통행비용(통행시간)은 통행거리에는 비례하나, 통행속도에는 반비례하는 특성을 가진다.

$$\min UC = \text{접근비용} + \text{대기비용} + \text{통행비용}$$

운영자비용(OC)은 차량구입비, 인건비, 운영비 등으로 일반적으로 노선총연장에 비례한다.

$$\min OC = \text{차량구입비} + \text{인건비} + \text{운영비}$$

제2절 효율성 평가지표 설정

본 연구는 위계구조를 가진 시내버스 노선망의 효율성을 분석하는 것으로 이용자 비용과 운영자비용 중 운영자비용은 제외하고 이용자비용만을 평가지표로 설정하였다.

운영자 비용을 제외한 이유는 운영자 비용의 경우 차량운행대수, 노선연장, 배차간격에 의해 좌우되는데 이러한 요소는 도시의 재원이나 정책에 의해 결정되므로 노선망 대안별로 차이가 나지 않기 때문이다. 즉 차량운행대수는 해당 도시의 여건에 따라 정책적으로 결정되며, 노선연장이 감소하게 되면 배차간격이 단축되고, 노선연장이 증가하면, 배차간격이 함께 증가하는 등 노선망 대안별로 운영비에는 영향을 미치지 않게 된다.

또한 이용자비용 중 접근비용은 효율성 평가지표에서 제외하였다. 정류소까지의 접근비용(접근시간)은 노선의 서비스 거리, 정류소 간격 등 노선의 설계방법에 의해 영향을 받으나, 노선망의 위계구조와는 무관하기 때문이다. 즉 위계수준의 차이가 있는 노선망 대안별로 노선의 서비스 거리, 정류소 간격 등은 같다고 전제하였다.

대기비용(대기시간)은 노선의 배차간격과 매우 밀접한 관계가 있고, 시내버스 노선망의 위계수준에 따라 중복도 및 노선연장이 감소하게 되어 배차간격이 크게 변화되므로 평가지표로 설정하였다. 대기비용에는 출발지 또는 목적지 정류소에서 대기하는 비용과 환승정류소에서 대기하는 환승시간 비용을 함께 고려하였다.

통행비용(통행시간)은 통행속도와 통행거리에 영향을 받으며, 통행속도는 시내버스 노선망과는 무관하나, 위계수준에 따라 노선 굴곡도에 영향을 미치고, 굴곡도 변화에 따라 통행거리가 변화하기 때문에 평가지표로 설정하였다.

그리고 환승활동 자체에 대한 페널티 비용을 평가지표에 포함하였다. 환승을 위해서는 통행하는 중간에 갈아타는 행위, 환승지점 까지 이동하는 행위 등 육체적, 심리적인 불편을 가져오며, 노선망의 위계수준에 따라 환승률에 많은 영향을 미치게 된다.

결론적으로 본 연구에서는 시내버스 노선망 위계수준의 효율성을 평가하기 위한

평가지표로 대기비용(대기시간비용+환승시간비용), 차내통행시간비용, 환승페널티비용을 설정하였다.

<표 5-1> 시내버스 노선 위계구조의 효율성 평가지표

구 분		반영여부	설 명
이용자비용	접근비용	×	위계구조와 무관
	대기비용	○	대기시간 + 환승시간
	통행비용	○	차내통행시간
	환승페널티비용	○	환승자체에 대한 비용
운영자비용		×	위계구조와 무관

제 6 장

시내버스 노선망 위계구조의 효율성 분석

.....
제1절 분석개념

제2절 분석방법 및 과정

제3절 노선망 대안 작성

제4절 시가가치의 적용

제5절 노선망 대안 분석
.....

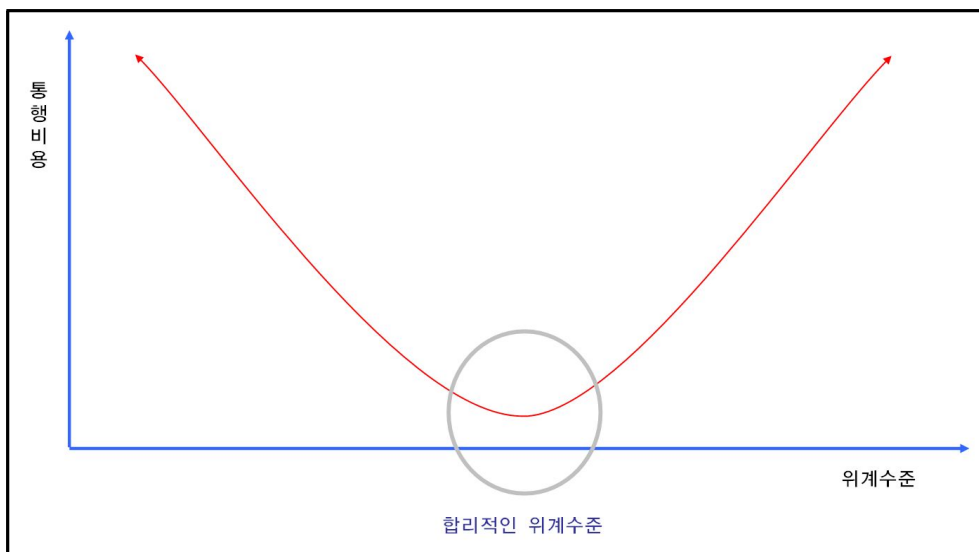
제6장 시내버스 노선망 위계구조의 효율성 분석

제1절 분석개념

위계가 없는 또는 위계수준이 낮은 시내버스 노선망을 위계수준이 높은 노선망으로 개편하게 되면 위계수준이 높을수록 노선 총연장의 감소로 배차간격이 단축되고, 굴곡노선이 직선화되어 이용자의 통행비용(통행시간)이 감소할 것으로 예상된다. 4장에서 살펴본 바와 같이 국내 대부분의 도시에서도 위계가 없는 노선망에 위계를 부여한 결과 모두 배차간격이 단축되고, 노선의 굴곡도가 감소하였다.

그러나 일정 위계수준까지는 시내버스 이용자의 통행비용(통행시간)이 감소하다가 일정 수준을 넘어서게 되면 배차간격, 통행시간이 감소하는 대신 환승회수가 많아지게 되어 이로 인한 환승관련 통행비용이 대기시간의 감소 및 통행시간의 감소분을 상쇄하고 오히려 통행비용이 증가되어 이용자의 불편을 가중시킬 것으로 예상된다.

가장 효율적인 위계수준의 노선망은 이용자의 통행비용을 최소화할 수 있는 노선망으로 본 연구의 기본적인 분석개념은 [그림 6-1] 과 같이 이용자의 통행비용이 최소화되는 위계수준을 모색하는 것이다.



[그림 6-1] 시내버스 노선망 위계수준과 통행비용의 관계

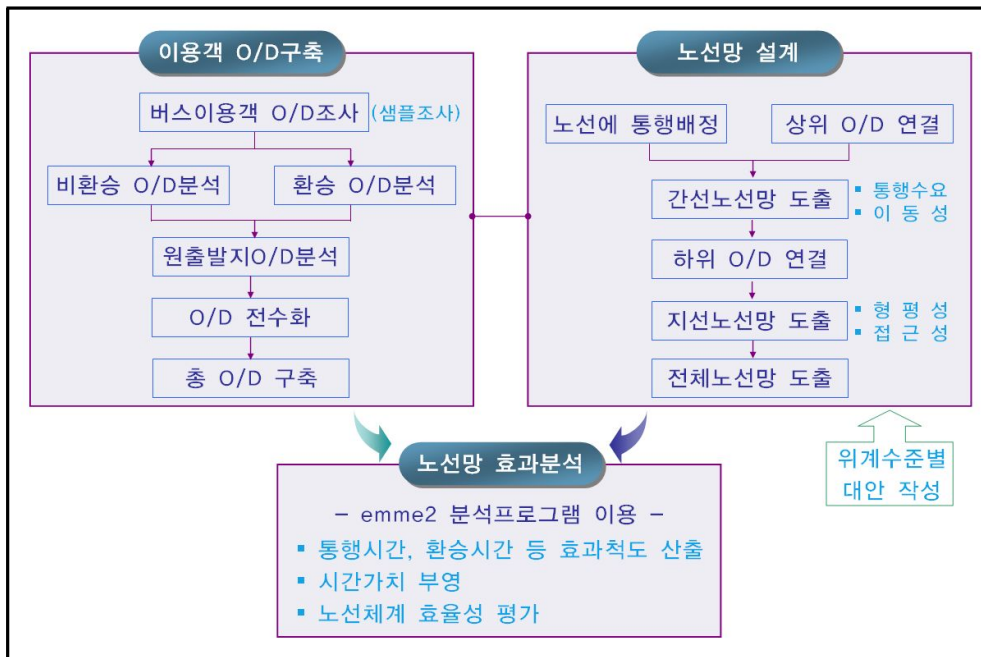
제2절 분석방법 및 과정

시내버스 이용자의 통행비용을 산출하기 위해서는 대기시간, 환승시간, 환승률, 통행시간 등 효과척도 산출이 필수적으로, 이를 위해 교통수요 예측시 많이 사용되고 있는 emme2 프로그램(모형)을 이용하였다.

이를 위해 대전시 시내버스 이용객의 기종점(O/D) 통행량을 표본조사(22%)하여 교통카드 데이터를 이용하여 전수화하였다. 조사시에는 환승과 비환승을 구분하여 원출발지 O/D 통행량을 구축하였다.

노선망 설계와 관련하여 간선노선망은 상위 기종점 통행량을 이용하여 통행수요 및 이동성 관점에서 도출하였고, 지선노선망은 나머지 기종점 통행량을 이용하여 형평성 및 접근성 관점에서 도출하였다. 이 과정에서 위계수준을 달리하여 4개의 노선망 대안(1개 대안은 위계가 없는 현재 노선망)을 작성하였다.

기종점 통행량 및 작성된 대안별 시내버스 네트워크를 토대로 emme2 프로그램(모형)을 이용하여 효과척도를 산출하였다.



[그림 6-2] 효율성 분석 방법 및 과정

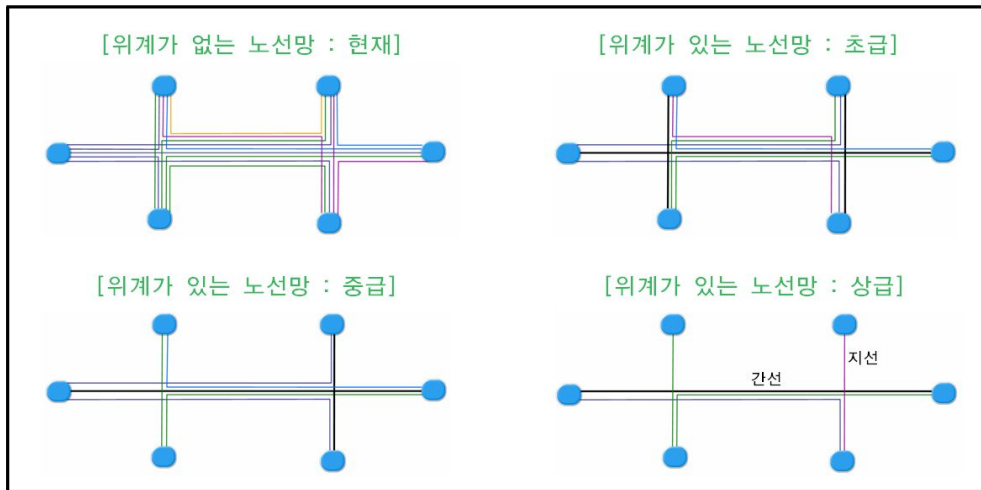
제3절 노선망 대안 작성

1. 작성방법

위계가 없는 노선망과 위계가 있는 노선망 대안을 작성하였다. 위계가 없는 노선망은 간선-지선 체계의 구분이 없는 기존의 노선망을 이용하였으며, 위계가 있는 노선망은 위계수준을 달리하면서 3개의 노선망 대안을 작성하였다. 보다 정확한 위계수준의 효율성을 평가하기 위해서는 가능한 많은 대안의 작성이 필요할 수 있으나, 광역시 규모의 네트워크를 대상으로 하기 때문에 시간 및 비용의 한계로 3개의 대안만을 작성하였다.

먼저 가장 초급수준의 대안을 (그림 6-1) 과 같은 과정으로 작성하였으며, 초급수준의 노선망을 토대로 노선의 중복도를 줄여, 노선 총연장을 감소시키고, 이로 인해 감소되는 차량소유대수는 타 노선의 배차간격을 줄이는 방식으로 중급수준의 노선망을 작성하였다. 다시 중급수준의 노선망을 토대로 같은 방법으로 상급수준의 노선망을 작성하였다. 위계수준은 노선의 총연장을 기준으로 설정하였다.

즉, (그림 6-2) 와 같이 위계가 없는 노선망은 노선의 기능 부여가 없이 모든 생활권을 연결하는 형태이며, 위계가 있는 노선망은 주요 생활권은 간선으로 직접 연결되고, 기타 생활권은 간선으로 환승을 통해 이동하는 형태이다.



(그림 6-3) 노선망 대안 작성 개념도

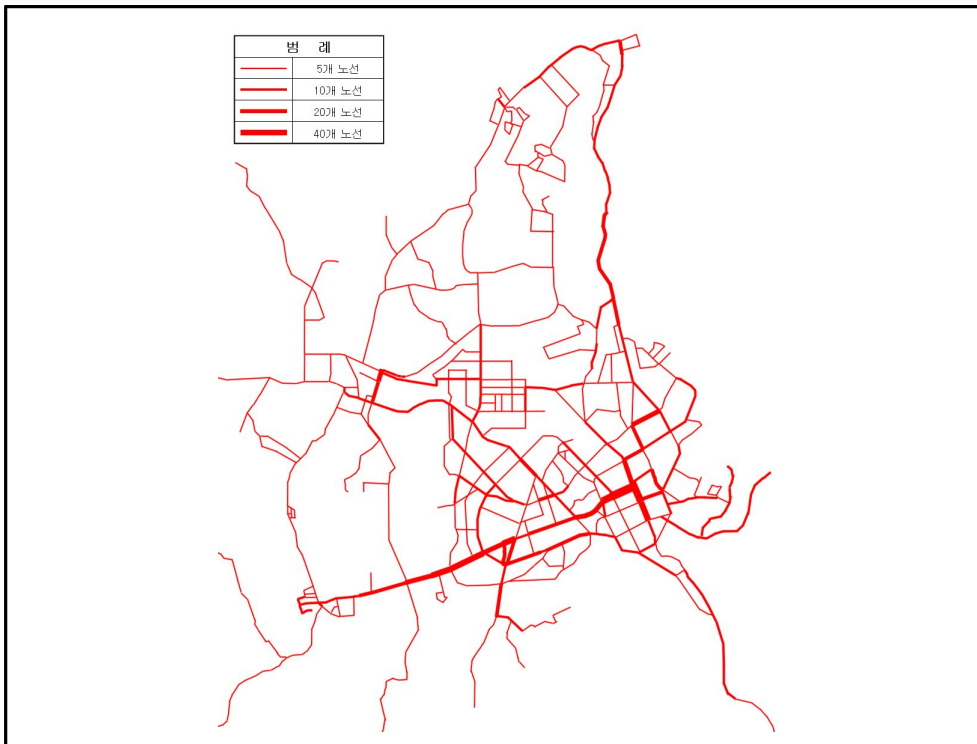
2. 대안 설명

1) 1안 : 위계가 없는 노선망(현재 노선망)

1안은 노선의 기능이 부여되지 않은 위계가 없는 노선망으로 현재 대전광역시 노선망을 대안으로 설정하였다. 노선수는 65개, 총연장은 4,167km로 매우 긴 편이며, 이에 따라 배차간격이 길게 나타나고 있다. 노선의 굴곡도는 1.62이며, 노선 중복도는 7.0이다. 노선의 분포도를 보면, 타 생활권에서 원도심 방향으로 많은 노선이 분포되고 있음을 알 수 있다.

<표 6-1> 대안 1 노선망 특징

구 분	노선수	노선 총연장(km)	배차간격	굴곡도
대안 1	65	4,167	18.1	1.62



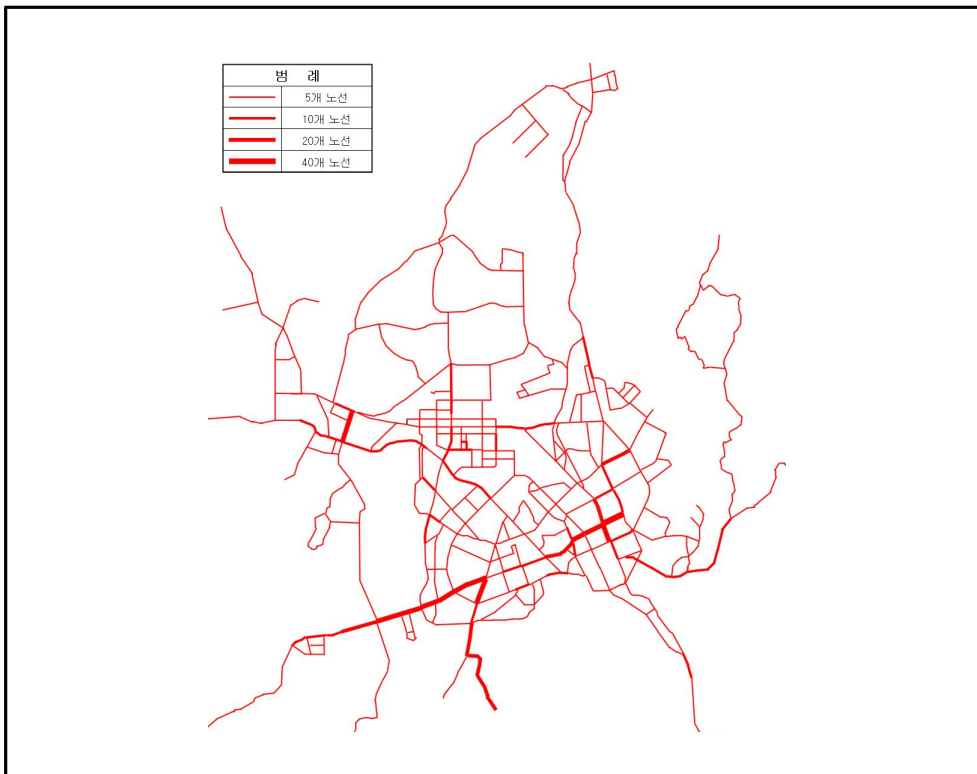
[그림 6-4] 대안 1 노선망 분포도

2) 2안 : 초급수준의 위계를 가진 노선망

2안은 위계가 없는 노선망에 기능을 부여하여, 간선-지선체계로 변화시킨 노선망이나, 위계수준은 매우 낮게 설정한 노선망이다. 노선수는 63개로 1안에 비하여 조금 감소하였고, 총연장은 3,375km로 크게 감소하였다. 이에 따라 배차간격은 12.8분으로 크게 단축되었으며, 노선의 굴곡도 또한 1.35로 감소되었다. 노선의 분포도를 보면, 1안 보다는 크게 감소하였으나, 여전히 원도심 방향으로 집중도가 높게 나타나고 있다.

<표 6-2> 대안 2 노선망 특징

구 분	노선수	노선 총연장(km)	배차간격	굴곡도
대안 1	63	3,375	12.8	1.35



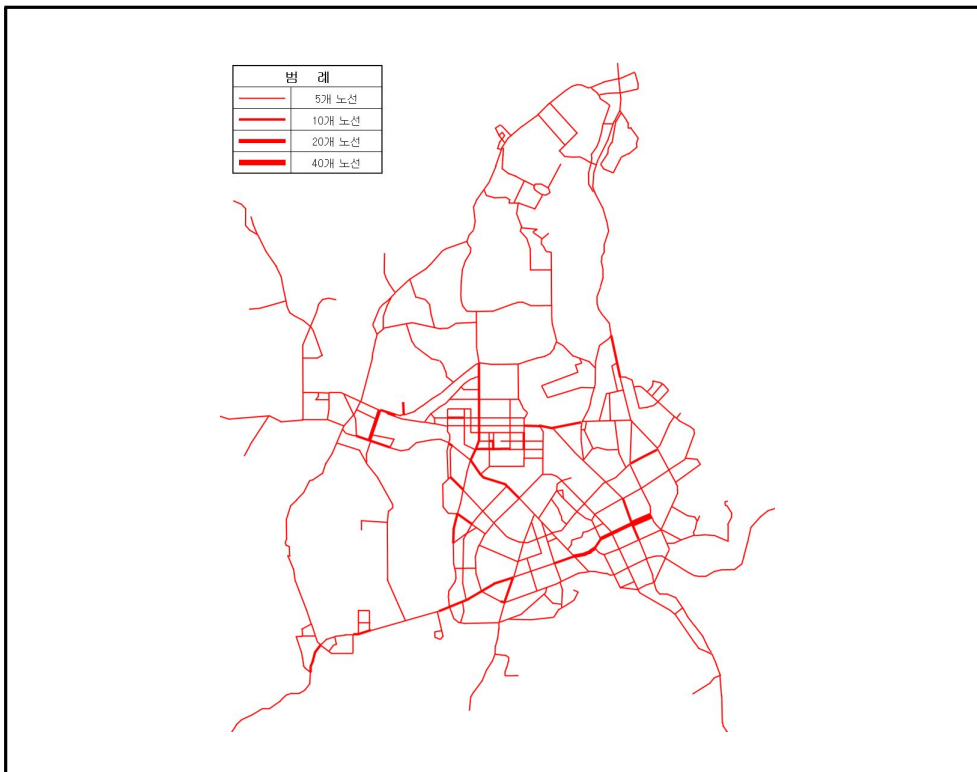
(그림 6-5) 대안 2 노선망 분포도

3) 3안 : 중급수준의 위계를 가진 노선망

3안은 위계가 없는 노선망에 기능을 부여하여, 간선-지선체계로 변화시킨 노선망이며, 위계수준은 2안보다 조금 높은 중간정도로 설정한 노선망이다. 노선수는 75개로 많아지나, 총연장은 3,122km로 2안 보다 감소하였다. 이에 따라 배차간격은 11.4분으로 단축되었으며, 노선의 굴곡도 또한 1.30로 감소되었다. 노선의 분포도를 보면, 몇몇 도로의 집중도가 조금 높으나 원도심 방향으로의 집중도는 크게 완화되는 것으로 나타나고 있다.

<표 6-3> 대안 3 노선망 특징

구 분	노선수	노선 총연장(km)	배차간격	굴곡도
대안 1	75	3,122	11.4	1.30



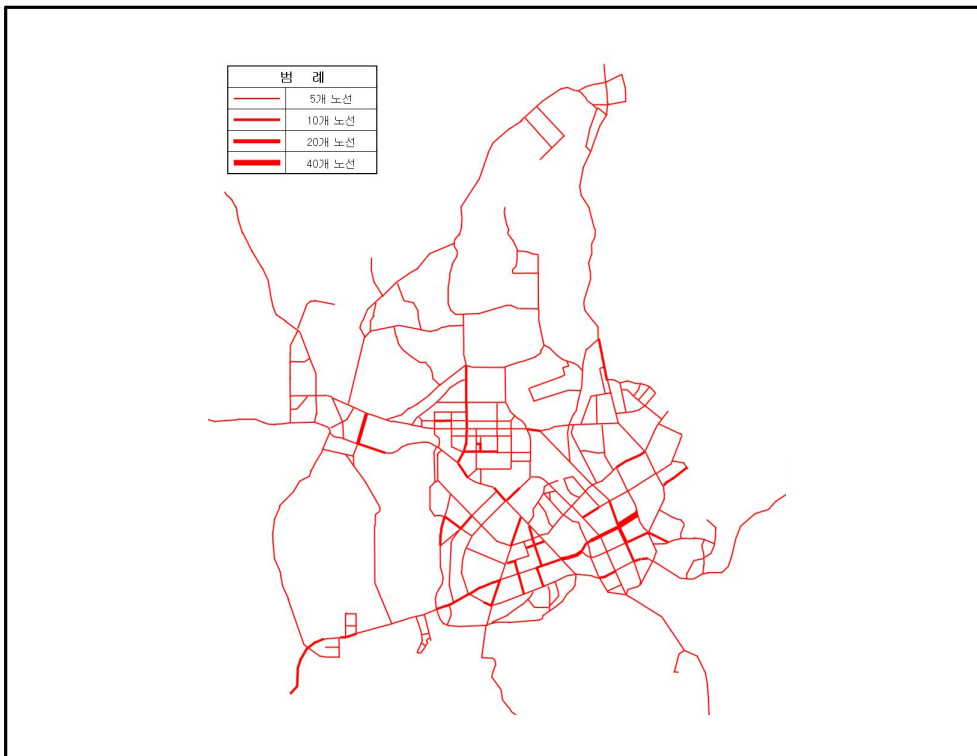
[그림 6-6] 대안 3 노선망 분포도

4) 4안 : 상급수준의 위계를 가진 노선망

4안은 위계가 없는 노선망에 기능을 부여하여, 간선-지선체계로 변화시킨 노선망이며, 위계수준은 3안보다 높은 상급정도로 설정한 노선망이다. 노선수는 68개로 크게 차이가 없으나, 총연장은 2,636km로 3안 보다 크게 감소하였다. 이에 따라 배차간격은 9.8분으로 단축되었으며, 노선의 굴곡도 또한 1.28로 감소되었다. 노선의 분포도를 보면, 원도심 방향으로의 집중도 및 특정 노선의 집중도가 크게 완화되는 것으로 나타나고 있다.

<표 6-4> 대안 4 노선망 특징

구 분	노선수	노선 총연장(km)	배차간격	굴곡도
대안 1	68	2,636	9.8	1.28



(그림 6-7) 대안 4 노선망 분포도

제4절 시간가치의 적용

1. 차내통행시간

시내버스 이용자의 차내통행시간 가치는 일반적으로 사용되는 예비타당성조사 지침에서 분석된 시간당 2,350원을 적용하였다.

<표 6-5> 승용차와 버스의 평균 통행시간 가치 (대전권 : 2006년 기준)

구 분	승용차		버스(대당)	
	업 무	비업무	업무	비업무
재차인원(인)	0.31	1.27	1.91	9.72
시간가치(원)	14,420	4,716	10,149(1인) 14,420(0.91인)	2,350
시간가치(원/대·시)	4,443	5,999	23,232	22,849
평균시간가치(원/대)	10,442		46,081	

주 : 1) 버스 재차인원은 업무 : 비업무 = 16.4 : 83.6을 적용하였음

2) 소비자물가지수를 이용하여 2006년 자료로 보정

자료 : 한국개발연구원(2007), 도로·철도 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판)

2. 차외시간

대기시간, 환승시간, 환승회수 등 차외시간 가치를 지역별로 정확하게 조사한 연구는 없는 실정으로 기존의 몇 가지 연구를 검토하여 적용하였다. 윤희렬(2000)은 차내 시간에 비해 차외시간이 불확실, 비생산적임에 따라 차외시간(접근시간, 대기시간)이 차내시간에 비해 1.54배 높으며, 환승시간(접근시간, 대기시간, 환승페널티 포함)은 5.81배 높은 것으로 제시하였다. 양창화·손의영(2000)은 서울시 지하철 이용객을 대상으로 환승시간은 차내시간에 비해 1.0~2.0의 한계대체율을 가지며, 환승회수는 10.0~15.0의 한계 대체율을 가지는 것으로 연구하였다. Liu, Pendyala, polzin(1997)은 미국 뉴욕, 뉴저지를 대상으로 연구한 결과, 차외시간은 차내시간의 1.69분, 환승회수는 8.0분에 해당하는 것으로 제시하였다.

여러 연구결과를 종합해볼 때 정류소 대기시간(최초 이용과 환승으로 인해 정류소

에서 기다리는 시간)은 차내시간가치의 약 1.7배 수준인 3,995원을 적용하였으며, 환승회수는 기존 연구의 경우 차내시간의 5.81분~15.0분으로 다양한바 환승회수 1회당 10분의 페널티를 부여하여 차내시간가치를 적용하여 비용으로 환산하였다.

<표 6-6> 시간가치 설정

구 분	차내시간가치(원)	대기시간가치(원)	환승대기시간가치(원)	환승페널티
시간가치	2,350원	3,995원	3,995원	10분(차내시간기준)

제5절 노선망 대안 분석

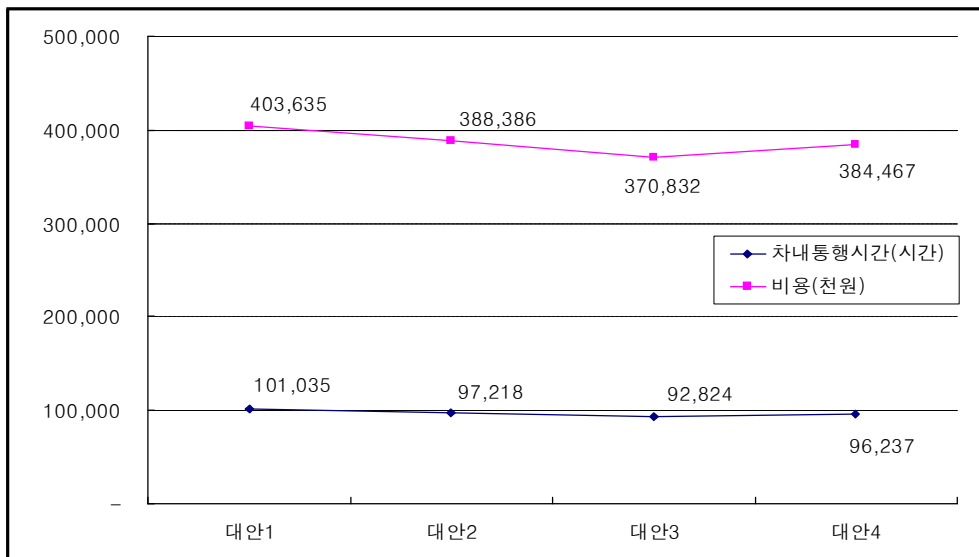
1. 차내통행시간비용

대안별 차내통행시간비용을 분석해본 결과, 위계가 없는 노선망인 대안 1이 가장 높게 나타났으며, 위계가 높은 대안일수록 감소하다가 가장 위계가 높은 노선망인 대안 4에 가서는 다시 높아지는 것으로 나타났다.

이는 노선망의 위계를 부여함에 따라 노선의 굴곡도가 감소하여 목적지까지의 통행거리가 짧아지기 때문으로 풀이되며, 대안 4의 통행비용이 증가하는 것은 위계가 지나치게 높아짐으로 인해서 직결성이 떨어져 오히려 통행거리가 길어지기 때문으로 해석된다.

〈표 6-7〉 대안별 차내통행시간비용

구 분	ALT 1	ALT 2	ALT 3	ALT 4
시 간(시간)	101,035	97,218	92,824	96,237
비 용(원)	237,432,250	228,462,300	218,136,400	226,156,950



〔그림 6-8〕 대안별 차내통행시간비용

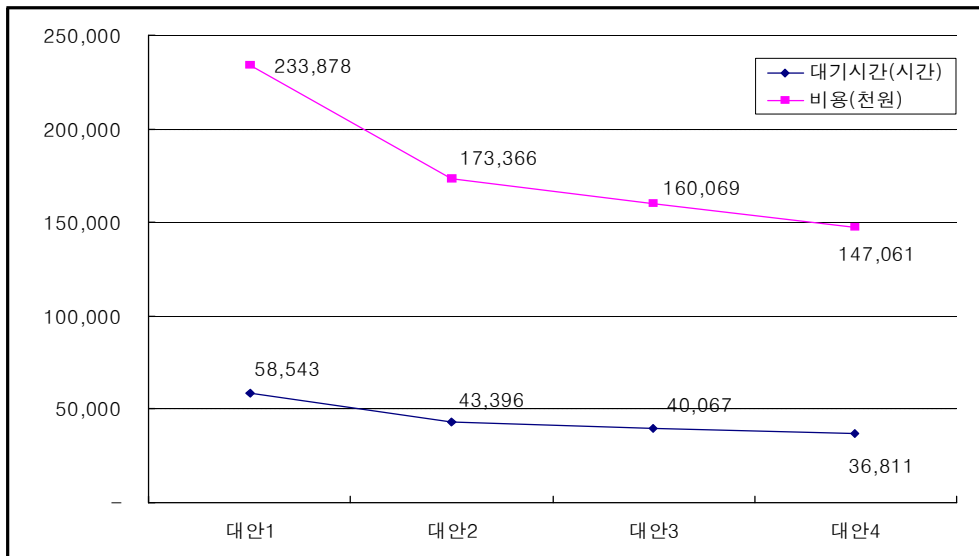
2. 대기시간 비용

대안별 대기시간(최초 정류소 대기시간 + 중간 환승대기시간)을 분석해본 결과, 위계가 없는 노선망인 대안 1이 가장 높게 나타났으며, 위계가 높은 대안일수록 큰 폭으로 감소하는 것으로 나타났다.

이는 노선망의 위계를 부여함에 따라 배차간격이 단축되기 때문으로 풀이된다. 대기시간에는 환승으로 인한 대기시간이 포함되어 있고, 위계가 높은 노선망일수록 환승률이 증가되는 특성이 있으나, 환승으로 인한 대기시간 증가분보다 배차간격 단축으로 인한 대기시간 감소분이 크기 때문으로 해석된다.

〈표 6-8〉 대안별 대기시간비용

구 분	ALT 1	ALT 2	ALT 3	ALT 4
시 간(시간)	58,543	43,396	40,067	36,811
비 용(원)	233,877,847	173,365,529	160,068,844	147,060,617
환승률(%)	12.3	17.7	22.0	30.4



〔그림 6-9〕 대안별 대기시간비용

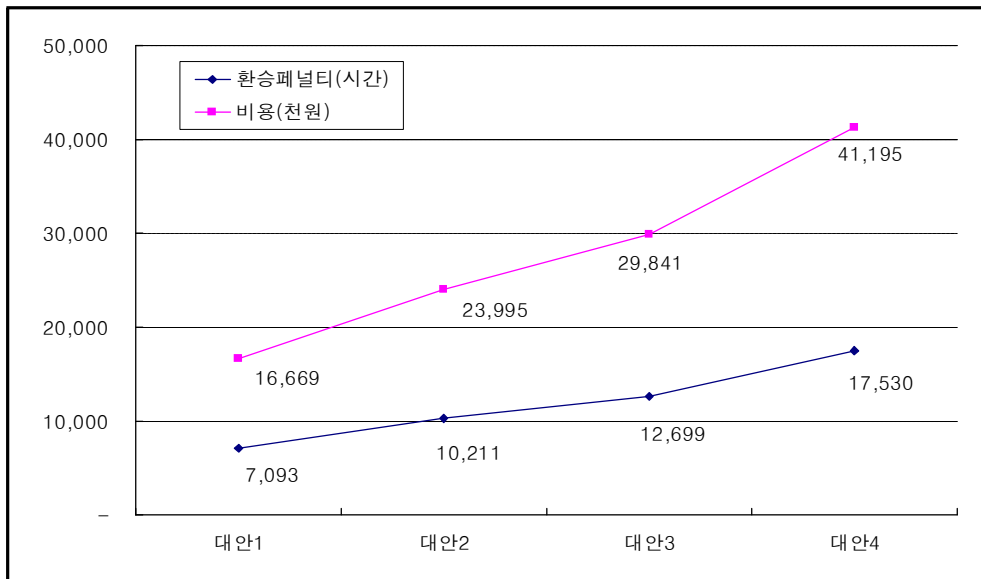
3. 환승페널티 비용

대안별 환승으로 인한 페널티 비용을 분석해본 결과, 위계가 없는 노선망인 대안 1이 가장 낮게 나타났으며, 위계가 높은 대안일수록 큰 폭으로 증가하는 것으로 나타났다.

이는 노선망의 위계를 부여함에 따라 직결성이 떨어져 환승률이 높아지기 때문으로 당연한 현상이라 해석된다. 환승통행수는 대안 1의 경우 42,558통행에서 위계수준이 높은 대안일수록 증가하다가 대안 4에 가서는 105,179통행으로 2.47배 증가하게 된다.

<표 6-9> 대안별 환승페널티비용

구 분	ALT 1	ALT 2	ALT 3	ALT 4
시 간(시간)	7,093	10,211	12,699	17,530
비 용(원)	16,669	23,995	29,841	41,195
환승통행수(통행)	42,558	61,264	76,191	105,179



[그림 6-10] 대안별 환승페널티비용

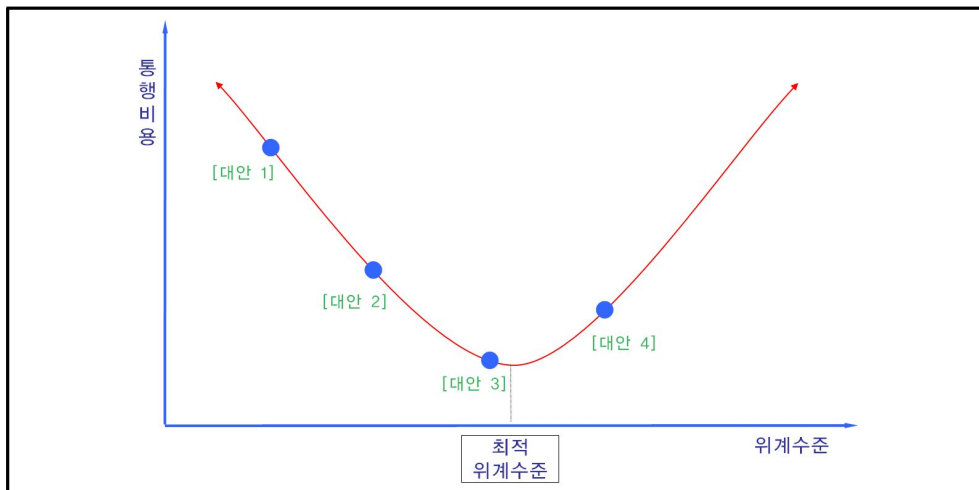
4. 분석결과 종합

대안별 차내통행시간비용, 대기시간비용, 환승페널티 비용 등 총 통행비용은 위계가 없는 노선망인 대안 1이 위계가 있는 노선망에 비하여 높은 것으로 나타났다. 따라서 노선망의 위계를 부여하면, 굴곡도 감소, 배차간격 단축 등에 따라 이용자의 통행비용이 감소하는 것으로 나타났다.

위계가 있는 노선망의 경우에는 중급수준의 위계를 가진 노선망인 대안 3에서 통행비용이 최소화되는 것으로 나타났는데, 이는 위계가 높을수록 굴곡도 감소, 배차간격 단축 등으로 총통행시간비용이 감소하다가, 일정 수준을 넘어서면 노선직결성 감소에 따른 통행거리 증가, 환승률의 증가에 따른 환승대기시간 및 환승페널티 비용이 증가하여 결국 총통행시간이 증가하는 것으로 해석된다.

〈표 6-10〉 대안별 총통행시간비용(원)

구 분	차내통행시간비용	대기시간비용	환승페널티비용	총통행비용
ALT 1	237,432,250	233,877,847	16,668,550	487,978,647
ALT 2	228,462,300	173,365,529	23,995,067	425,822,895
ALT 3	218,136,400	160,068,844	29,841,475	408,046,719
ALT 4	226,156,950	147,060,617	41,195,108	414,412,676



〔그림 6-11〕 대안별 위계수준에 따른 통행비용

제 7 장

결론 및 정책건의

제1절 결 론

제2절 정책건의

제6장 결론 및 정책건의

제1절 결 론

에너지 과대사용 문제, 기후변화 문제, 각종 사회적비용의 증가 문제 등을 고려해 볼 때 대중교통체계의 개선을 통해 승용차 이용을 줄일 필요성이 있다. 대전시를 비롯한 지방 대도시에서 가장 중요한 대중교통수단은 시내버스로 많은 불편사항이 노선체계와 연관되어 있다.

따라서 노선체계의 합리화가 필요하며, 대부분 도시의 경우 노선을 간선-지선체계로 개편하는 추세에 있는 바 시내버스 노선을 간선-지선체계로 위계를 부여하여 운영하는 것이 과연 효율성이 있는 지와 어느 수준에서 위계를 부여할 때 가장 효율적인지에 대해서 분석해 보았다.

이를 위해 대전시 시내버스의 이용실태 및 노선 등 시내버스 현황을 분석하고, 시내버스 노선 관련 선행연구 및 위계구조에 대해 살펴보았으며, 시내버스 노선의 효율성 분석을 위한 평가지표를 설정한 후, 위계수준을 달리한 노선망 대안(대안 1은 위계가 없는 노선망, 대안 2는 초급수준의 위계, 대안 3은 중급수준의 위계 부여, 대안 4는 상급수준의 위계 부여)을 작성하여 효율성 평가지표에 의하여 대안을 평가·해석하여 효율성을 분석하였다.

분석결과 차내통행시간비용은 위계가 없는 노선망인 대안 1이 가장 높게 나타났으며, 위계가 높은 대안일수록 감소하다가 가장 위계가 높은 노선망인 대안 4에 가서는 다시 높아지는 것으로 나타났다. 대기시간비용은 대안 1이 가장 높게 나타났으며, 위계가 높은 대안일수록 큰 폭으로 감소하는 것으로 나타났다. 환승 페널티 비용은 대안 1이 가장 낮게 나타났으며, 위계가 높은 대안일수록 큰 폭으로 증가하는 것으로 나타났다.

종합적으로 볼 때 총 통행비용은 위계가 없는 노선망이 위계가 있는 노선망에 비하여 높은 것으로 나타나 위계구조를 가진 노선망의 효율성이 있는 것으로 나타났으며, 위계가 있는 노선망의 경우에는 중급수준의 위계를 가진 노선망이 통행비용을 최소화하는 것으로 나타났다.

제2절 정책건의

본 연구의 결과를 토대로 시내버스 정책추진시 고려사항을 정리하면 다음과 같다.

첫째, 현재 대전시 노선체계 개편의 위계수준은 초급수준의 위계를 가진 노선망으로 한 수준 더 높은 위계수준으로 개선할 필요성이 있다.

대전시 시내버스 이용자의 경우 환승에 익숙하지 않아 환승에 대한 거부감이 매우 높은 실정으로 현재로서는 초급수준의 위계를 가진 노선망으로 시작하되, 시차를 두고 지속적으로 위계수준을 높일 필요성이 있을 것으로 판단된다.

둘째, 노선체계의 효율화를 통하여 질적 수준이 한층 개선될 수 있지만 여전히 한계가 있는 실정으로 차량의 추가 공급을 통하여 서비스를 더욱 높일 필요성이 있다.

현재 대전시 시내버스 노선의 배차간격은 18.1분으로 노선체계 개편을 통하여 12.8분까지 단축시킬 수 있지만 대중교통수단으로서의 제 기능을 수행하기 위해서는 10분내로 단축시키는 것이 바람직하다. 따라서 노선체계 개편을 통하여 일부 서비스 수준을 높이고, 그래도 모자라는 부분에 대해서는 운행대수를 확충하여 서비스수준을 향상시킬 필요성이 있다.

그러나 현재 시내버스 이용객이 타도시에 비하여 적은 수준이고, 요금의 인상이 자유롭지 못하며, 시내버스 준공영제의 시행으로 지자체에서 운영비용을 모두 부담해야 하는 상황으로 어려움이 있는 것이 사실이다.

따라서 마을버스의 도입을 통하여 소도로는 마을버스가 담당하게 하고, 기존의 소도로를 운행하던 버스는 간선노선으로 편입하여 서비스를 강화하는 것이 바람직하다. 현재 시내버스 운행시간을 보면 이용객 평균 통행시간(48.5분) 중 정류장까지의 접근시간이 16.0분으로 전체의 33.0%를 차지하고 있는 실정으로 이는 출발지 또는 목적지에서 정류장까지의 거리가 멀기 때문에 발생하는 현상으로 마을버스의 확대를 통하여 집산도로 이하까지 담당하게 함으로써 접근시간을 감소시킬 필요성이 있다.

참고문헌

- 이범규(2008), 기후변화와 대전시 교통정책 방향, 대전발전포럼 가을호
- _____ (2008), 대전광역시 시내버스 정책방향 설정에 관한 연구, 대전발전연구원
- _____ (2005), 승용차 이용자의 대중교통수단 전환에 관한 기초연구, 대전발전연구원
- 대전발전연구원(2007), 대전광역시 2007년도 고객만족도 조사
- 한국개발연구원(2007), 도로·철도 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판)
- 이승재·최재성·백혜선(1999), Set Covering 이론을 이용한 시내버스 최적노선망 구축에 관한 연구, 대한교통학회지, 제17권 제2호
- 한중학·이승재·임성수·김종형(2005), 버스 노선망 설계 문제(BTRNDP)의 고찰, 대한교통학회지 제23권 제3호
- 박준식·권용석(2007), 대중교통 노선망 설계에 관한 해석적 연구의 모형 구조와 풀이, 대한교통학회지 제25권 제6호
- 이상용·박경아(2003), 시내버스노선체계 평가를 위한 정량적 지표의 설정 및 적용, 대한교통학회지 제21권 제4호
- 한중학·이승재·김종형(2005), 버스 노선망 설계를 위한 평가모형 개발, 대한교통학회지 제23권 제2호
- 윤혁렬(2000), 용량을 고려한 대중교통 통행배정모형 구축에 관한 연구, 서울대학교 대학원
- 양창화·손의영(2000), 서울시 지하철 이용객의 환승 관련 변수의 가치 추정, 대한교통학회지 제18권 제4호
- 손상훈·최기주·유정훈(2007), 대중교통 통행배정을 위한 일반화비용 추정, 대한교통학회지 제25권 제2호
- Kho, S.Y.(2000), Zigzagging of Bus Routes - An Analytical Approach, Transportation Research Record, 1731
- Liu, R., Pendyala, R., and Polzin, S.(1997), Assessment of Intermodal Transfer Penalties Using Stated Preference Data, Transportation Research Record 1607

기본연구보고서 2008-11

시내버스 노선망 체계의 효율성 분석에 관한 연구

발행인 육 동 일

발행일 2008년 11월

발행처 대전발전연구원

302-846 대전광역시 서구 월평본1길 39(월평동160-20)

전화: 042-530-0000 팩스: 042-530-3528

홈페이지 : <http://www.djdi.re.kr>

인쇄 : ○○○○○ TEL 042-○-○ FAX 042-○-○

이 보고서의 내용은 연구책임자의 견해로서 대전광역시의 정책적 입장과는 다를 수 있습니다.
출처를 밝히는 한 자유로이 인용할 수 있으나 무단 전재나 복제는 금합니다.

