

저상버스 노선선정 방안에 관한 연구 -전라북도 사례를 중심으로-

A Study on Low-Floor Bus Routes Selection - Focused on the Case of Jeollabuk-Do -

이 창 현*
(Chang-hyun Lee)

김 상 업**
(Sang-youp Kim)

최 재 성***
(Jai-sung Kim)

요 약

초고령사회에 근접함에 따라 교통약자의 수는 더불어 증가하고 있는 추세로 여러 국가들은 교통약자의 이동편의를 위해 저상버스를 도입을 적극 추진 중이다. 우리나라 저상버스는 도입은 시내버스 중 30%를 도입하려 하고 있지만 저상버스 노선 운영에 대한 계획은 부족한 상황이다. 실제 저상버스 이용 실태조사에서는 이용효율이 높지 않게 나타나고 있어 저상버스 노선선정 방안이 필요한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 국내 교통약자의 통행특성을 분석하고 저상버스 도입에 따른 노선선정 방안을 검토하였다. 전라북도를 대상으로 설문조사를 한 결과 교통약자의 통행목적은 복지외 의료가 주를 이루며, 일주일에 6회 이상 통행하는 비율이 적은 것으로 나타났다. 또한, 이동을 위한 주 교통수단은 37.6%가 버스로 분석되어 교통약자의 편의증진을 위해서는 버스의 개선이 우선적으로 필요한 것으로 나타났다. 수집한 설문조사를 기반으로 교통약자 O-D를 구축하고 저상버스가 우선적으로 도입해야 하는 노선을 선정한 결과 교통약자 밀집지역을 시종점으로 하는 버스노선이 가장 우선적으로 도입되어야 하며, 다음은 시내를 순환하는 노선, 마지막으로 그 외노선 순서로 저상버스를 도입하는 것이 교통약자의 저상버스 이용효율을 최대화 할 수 있는 것으로 분석되었다. 더불어, 인구 200,000명을 기준으로 이상일 경우 고정된 노선을, 이하일 경우 수요응답형 노선을 제공하는 것이 효율과 경제적 측면에서 가장 적절한 저상버스의 도입방안으로 분석되었다. 향후 본 연구에서 도출한 결과는 교통약자의 편의증진을 위한 교통계획 수립의 기반 연구 및 자료로 활용 될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심어 : 저상버스, 교통약자, 수요조정, 대중교통 운영, 버스노선선정

ABSTRACT

Approaching to aging society with increasing transportation vulnerable, most developed countries has positively promote low-floor bus. Such circumstance in Korea has plan to introduce low-floor bus to intra-city bus system which accounted for 30 percent of total number of buses however there is no specific operating plan for this matter. According to the revealed preference study on bus service, the study shows that the efficiency of low-floor is relatively low than that of other buses, therefore, it is necessary to establish feasible plan for bus route selection. Thus, this study is to conduct research on analyzing trip characteristics of transportation vulnerable and establish bus route selection measures for low-floor bus. The result from the survey in Jeollabuk-do Province reveals that the trip purpose of transportation vulnerable is mainly for welfare and medical service, which was made less than 6 times a week. Furthermore, 37.6 percent of transportation vulnerable use buses, thus, it is essential to improve its service quality for enhancing user's convenience and safety. In that transportation vulnerable O-D needs to be established and forecasts future demand for selecting optimal bus route. According to the estimation, route passing through densely populated areas with transportation vulnerable should take the first priority, city circular and other route would be next. Moreover, it is economically efficient that areas populated more than 200,000 with fixed route and less than 200,000 with limited route responsive to demands would be feasible plans. This study will have greater an impact on transportation planning and further research on transportation vulnerable.

Key words : low-floor bus, transportation vulnerable, demand forecasting, transit operation, bus route selection

† 본 논문은 2014년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구 사업임
(No. 2012R1A1A2005256)

* 주저자 : 전북발전연구원 선임연구위원

** 공저자 및 교신저자 : 전북발전연구원 새만금 지역개발연구부 부연구위원

*** 공저자 : 서울시립대학교 교통공학과 정교수

† 논문접수일 : 2014년 07월 18일

† 논문심사일 : 2014년 08월 01일

† 게재확정일 : 2014년 08월 11일

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

세계의 고령인구는 지속적으로 증가하는 추세로 국제연합(UN:United Nations)은 지금과 같은 고령인구의 증가율이 꾸준히 지속된다면 2050년에는 전체 인구 중 32%를 차지 하여 세계적인 초고령화 사회의 진입을 예측하고 있다[1]. 더불어 세계보건기구(WHO:World Health Organization)은 65세 이상의 고령인구의 신체적능력이 급격히 떨어짐에 따라 장애를 가지게 될 수 있는 가능성이 높아진다는 연구결과와 실제로 장애인 중 노인 인구 규모가 불균형적으로 높은 것을 근거로 세계가 고령사회, 초고령사회로 진행됨에 따라 장애인의 규모도 급격하게 증가할 것으로 예측하고 있다[2-3].

특히, 교통분야에서는 고령인구와 장애인을 교통약자라는 범주에 포함하고 있다. 교통약자는 「교통약자의 이동편의 증진법」 제2조 1항에서 장애인, 고령자, 임산부, 영유아를 동반한 사람, 어린이 등 일상생활에서 이동에 불편을 느끼는 사람으로 정의하고 있다. 교통약자의 정의를 고려하면, 세계적인 고령인구의 증가와 장애인의 증가는 곧 향후 교통약자의 폭발적인 증가를 의미하는 것이며, 이에 따른 대응방안이 절실하다. 이에, 우리나라는 2006년 「교통약자의 이동편의 증진법」을 제정하여 교통약자가 생활을 영위함에 있어 안전하고 편리한 교통서비스를 제공받을 수 있도록 교통복지 증진에 이바지 하고 있다[4].

국가차원에서 진행하고 있는 교통약자를 위한 사업의 목표는 교통약자의 안전성 향상과 이동성향상을 목적으로 하고 있다. 이 중 안전성 향상은 교통시설의 개선을 통해 시행 중이며, 이동성향상은 노선버스 및 도시철도에 대한 이용보장을 통해 시행하고 있다. 노선버스에 대한 이용편의 증진방안에는 자체가 지면에서 320mm에 위치하도록 낮게 설계된 저상버스를 도입하는 방안이 포함되어 있는데, 버스의 바닥이 보행로와 평행하게 위치하여 교통약자가 버스를 이용하기에 편리하고 일반 버스와

는 달리 승하차 시 계단이 없어 버스 체류시간이 짧아져 교통약자의 편의 증진과 대중교통의 운영 효율을 동시에 높일 수 있는 장점이 있다[5-6]. 이러한 연유로 우리나라에서는 법제도를 통해 저상버스의 도입을 의무화 하고 국고 지원을 통해 저상버스의 도입을 적극 추진하고 있다[7].

그러나, 현행 저상버스 도입 정책은 저상버스의 운영방안의 수립보다 도입방안에 집중되어 기존 버스가 저상버스로 교체되고만 있는 실정이다. 국토교통부에서 실시한 실태조사 결과에서도 교통약자와 일반인들은 실제 편의성은 좀처럼 느끼지 못하는 것으로 나타나 저상버스를 도입하는 것에 앞서 효율적으로 운영할 수 있는 방안을 우선적으로 검토하는 단계가 필요하다[8-9]

따라서, 본 연구에서는 저상버스의 효과적인 운영을 도모하고 교통약자의 이용효율을 극대화 하고자 저상버스 운행노선을 결정하는 방법론을 검토하였다.

2. 연구의 범위 및 내용

우리나라에서 교통약자는 「교통약자의 이동편의 증진법」에서 장애인, 고령자, 임산부, 영유아를 동반한 사람, 어린이 등 일상생활에서 이동에 불편을 느끼는 사람으로 정의하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 교통약자의 범위를 기존 정의를 기반으로 장애인, 고령자, 임산부, 영유아로 정하였다.

우리나라 교통약자는 약 1,200만명으로 전체 인구의 25.0%에 해당한다. 전라도의 경우 교통약자는 약 110만명으로 전라도 인구의 31.3%수준으로 전국에서 가장 높은 수준으로 나타난다. 이에, 본 연구에서는 교통약자 비율이 높은 전라북도 지역을 공간적 범위로 설정하였다. 또한, 교통약자의 분포 및 행태를 파악하기 위해 최신의 통계자료를 이용하고자 2013년을 연구의 시간적 범위로 결정하였다.

결정한 연구의 범위에 따라 교통약자의 분포 및 이동행태를 연구하고 저상버스 노선의 도입 방법론을 개발하여 향후 교통약자의 이동성을 증진시키기 위한 연구를 수행하였다.

II. 국내·외 선행연구 고찰

국내 연구의 경우 2005년 「교통약자 이동편의 증진법률」이 제정됨에 따라 대중교통과 교통약자에 대한 연구가 활발히 이루어 지고 있다. 특히, 교통약자의 통행 특성을 중심으로 지하철과 버스, 보행에 따른 환승을 총체적으로 고려한 알고리즘을 최소통행시간을 기반으로 구축하였으며, 교통약자 중 고령자의 통행수단 선택에 영향을 주는 용인을 분석하기 위해 50세 이상의 고령자에게 설문조사 기반의 다항로짓모형을 추정하여, 통행 시 가장 주요인은 통행비용인 것을 밝혔다. 또한, 대전광역시의 가구통행실태조사자료를 기반으로 65세 이상의 고령자의 통행행태를 분석하고, 인구 및 사회경제 지표를 변수로 회귀분석모형을 추정하여, 연령이 높을수록 여가목적의 비율이 높아지고, 30분 이내의 단거리 통행의 비중이 높아지는 결론을 도출하였다[10-12].

국외에서는 국내보다 빠른시기에 저상버스 도입되어 저상버스 관련 연구와 정책이 시작되었다. 국외 연구의 경우 국내의 교통약자의 통행과 관련한 연구보다 저상버스 차량 자체의 효과를 중점으로 한 연구가 집중되고 있어, 저상버스는 비침두 시간대 운행이 더 효과적이며, 일반버스보다 운행비용이 11%정도 감소되는 것으로 분석되고 있다[6].

영국 런던의 저상버스 정책의 경우 모든 시내버스가 저상버스로 운행 중이며, 일본은 전국 34%, 도쿄 86%의 보급률을 보이는 것으로 나타나 향후 교통약자의 증가에 대비하고 있다.

영국의 런던과 비엔나의 경우 모든 버스노선에 저상버스를 도입하여 운영하고 있고 중장기 계획인 “Accessibility Plan”을 수립하여 버스노선의 효율 및 필요성을 검토하여 불필요한 노선, 혹은 이용자가 없는 노선은 주기적으로 변경하고 있다. 런던에서는 현재 “Accessibility Plan(2012~2015)”을 진행 중이며, 35개의 고정노선(Fixed Route)와 3개의 Flexible Route를 운영하고, 저상버스가 정차하는 모든 정류장에 교통약자를 위한 접근개선을 계획 중이다[13].

덴마크의 코펜하겐에서는 거의 모든 노선에서 저상버스를 운영 중이며, 차체가 낮아 운행가능한 도로가 한정되는 저상버스의 단점을 극복하고자 저상버스를 설계차량으로 설정하고 시내도로 설계 매뉴얼을 작성하여 이를 적용하고 있다[14].

저상버스를 운영하고 있는 대부분의 국가는 기존노선에 저상버스를 도입하는 형태로 운영 중이며, 영국권 국가는 중장기 계획을 수립하여 기존노선의 문제점, 서비스질 등을 평가하고 개선하려는 노력을 하고 있다. 또한 저상버스의 운행 가능 범위를 확보하고자 시내도로(도시부 도로)의 설계기준 차량을 변경하고 기하구조를 개선하여 교통약자를 위한 버스노선을 제공하고 있다. 이러한 해외사례를 기반으로 국내 도입현황의 가장 큰 한계점은 기존버스를 저상버스로 교체할 뿐, 서비스 품질 개선을 위한 노력은 아직 미흡한 점이다. 따라서, 저상버스의 근본적인 도입 목적인 교통약자에게 편의를 제공하기 위해 해외사례와 같이 저상버스 전용노선을 검토 할 필요가 있다.

III. 저상버스 노선선정 방법론 개발

1. 교통약자 O/D 구축

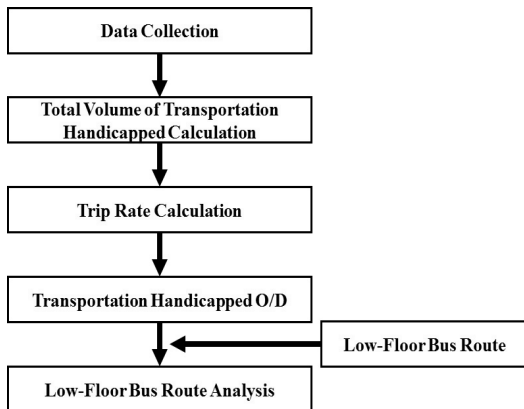
교통분야에서 도로 건설, 대중교통의 노선 수립과 같은 사업의 시행은 해당 서비스를 이용하는 수요에 따라 결정된다. 본 연구의 경우 저상버스 전용노선을 이용하는 수요는 교통약자이므로 교통약자의 수요에 따라 저상버스 노선을 선정하는 것이 중요하다. 그러나, 국내에는 공신력있는 자료기반의 교통약자에 대한 수요를 나타내는 자료가 부족하여 교통약자를 위한 공학적 교통계획 수립이 어려운 실정이다. 특히, 교통약자의 통행특성과 통행수단은 일반인과 상이한 결과를 보이기 때문에 추가적인 조사가 필요하다[15]. 따라서, 본 연구에서는 저상버스 전용 노선 선정을 위해 교통약자의 대중교통수단에 대한 수요를 우선적으로 분석하고자 버스수단이용에 대한 교통약자O/D를 구축하였다.

교통약자에 대한 O/D를 구축하기 위해 교통약자

의 통행특성을 파악을 목적으로 교통약자의 통행목적, 통행빈도, 통행수단을 수집하고 교통약자 O/D 구축을 위해 외출 시 이동경로 및 방문시설에 대한 설문조사를 수행하였다. 이 중 방문시설에 대한 설문은 최종 목적지를 포함한 경유지를 함께 조사하였으며, 교통약자의 대부분이 장애인, 고령자가 차지하는 것을 감안해 응답자에게 도면을 통해 직접 이동경로를 쉽게 작성할 수 있도록 하여 교통약자의 이동경로를 명확히 하였다. 조사에 응답한 교통약자는 2,400명으로 조사지역의 426,730명의 약 1.0%에 해당하며, 교통약자 O/D 구축을 위해 수행한 설문조사의 개요는 <표 1>와 같다.

<표 1> 전라북도 교통약자 설문조사
<Table 1> Revealed Preference Survey of Transportation Vulnerable

Contents	Substance	Date	Site
Sample	Sample size 2,400	2010.05.~07 (51 days)	6 Areas in Jeollabuk-Do (jeonju, iksan, gunsan, gimjae, namwon, jungeup)
Survey Method	Interviewing method		



<그림 1> 교통약자 O-D Matrix 구축 과정
<Fig. 1> Building of Transportation Vulnerable O-D Matrixes.

다음으로, 설문조사된 자료를 O/D 자료로 가공하기 위해 교통약자에 대한 분포를 수집하였다. 교통약자에 대한 분포는 국가에서 배포하고 있는 통계

자료를 활용하였으며, 시·군 단위로 세밀하게 분석하였다[16-18].

수집된 자료는 통행특성 및 거주분포를 융합해 최종적으로 Matrix 형태의 교통약자 O/D로 가공·구축하였으며, O/D로 구축하는 절차는 <그림 1>과 같이 수행하였다.

2. 저상버스 도입 노선선정 방법

구축된 교통약자 O/D를 기반으로 우선적으로 저상버스가 도입되어야 할 노선을 분석하고 선정하기 위해 국내에서 활발하게 이용되는 교통수요예측 프로그램인 Emme/3의 대중교통 수요 예측기능을 활용하였다. 해당 프로그램을 통해 분석하기 위해 구축한 교통약자 O/D와 더불어 기운행중인 시내버스 노선에 대한 정보를 입력하였다. 저상버스 노선선정을 위해 프로그램에 입력한 변수를 요약하면, <표 2>와 같다. 입력한 변수 중 Dwell time은 저상버스와 교통약자에 해당하는 정보여야 하지만 국내에서 새롭게 연구된 내용이 부족하여, 해외 문헌검토를 통해 평균적으로 교통약자가 탑승시 각 정류장에서 발생하는 Dwell time인 2.0초를 활용하였다 [6].

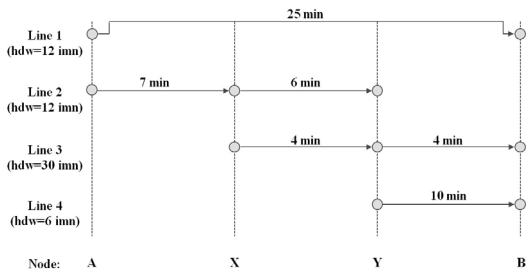
<표 2> 저상버스 전용노선 분석을 위한 입력변수
<Table 2> Input Data of Low-floor Bus Route Analysis

Variable	Information
O/D	origin-destination matrix for transportation Vulnerable
Headway	time heady of each transit line
Transit Route	the path of each bus route
Bus Stop	bus stop location in network (node)
Dwell time	2.0 second for transportation Vulnerable

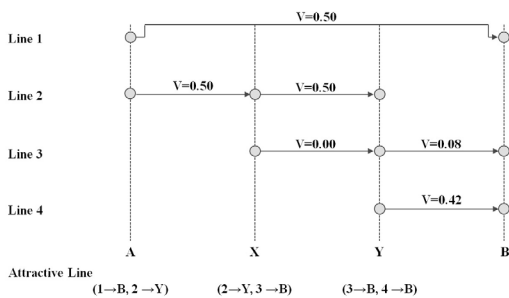
Emme/3의 버스노선 통행배정(transit assignment)은 입력된 변수들을 기반으로 하여 최적전략을 통해 노선의 수요가 결정된다. 여기서 사용되는 최적전략은 배차간격(hdw : headway)를 기준으로 짧은 노선에 우선적으로 승차하도록 모형화 되어있고, 환승비용을 고려하지 못하기 때문에 노선 간 환승

이 많이 발생하는 경로를 최단 경로로 선택 할 가능성이 많은 특징이 있다.

예를 들어 <그림 2>와 같은 네트워크가 있다면, 최소통행시간을 기준으로 Node A에서 Node B까지 통행한다면, 최소통행시간 노선은 Line 2를 출발하여 x지점에서 Line 3으로 환승하는 2→4→5의 경로로 총 15분을 소요하는 노선으로 배정된다. 그러나 Emme/3의 최적전략은 같은 배차간격을 가지는 Line1과 Line2는 같은 비율로 배정되며, Link 2에 배정된 통행량도 Line 3에 비해 Line 2의 배차간격이 짧아 X에서 Y까지의 통행은 Link 3에 전량 배정된다. 즉, 분석 최종경로는 1→2→3→6 순으로 진행하는 것으로 나타난다. 이것은 최단시간으로 통행하는 이용자 특성과 모순되는 결과 일 수 있으나, 본 연구에서는 활용 가능 한 분석 프로그램의 한계로 인하여, Emme/3를 활용, 위 방법론을 통해 교통약자를 버스노선에 배정하였다.



<그림 2> 대중교통 네트워크 예시(in emme/3)
<Fig. 2> Transit Network Example in Emme/3 (in EMME/3 user manual)



<그림 3> 대중교통 통행배정의 최적 전략(in emme/3)
<Fig. 3> Optimal strategy of Transit Assignment (in EMME/3 user manual)

IV. 전라북도 저상버스 적용 사례연구

1. 교통약자 설문조사 결과

1) 외출빈도 및 외출목적

교통약자의 외출빈도는 일주일에 1회~5회 정도가 가장 높은 비중을 가지는 것으로 조사되었다. 지역별로는 도심지 특성을 가지는 전주시, 군산시, 익산시의 경우 주4회에서 주 5회 가량 외출빈도를 가지는 응답자가 가장 높은 비중을 차지하는 것으로 나타났으며, 정읍시, 남원시, 김제시는 주1회, 주2회 외출하는 교통약자가 많은 것으로 나타나, 도시규모가 큰 지역에 비해 작은 지역에 주거하는 교통약자의 외출빈도가 상대적으로 낮게 나타나는 것으로 분석되었다. 전라북도 6개 시지역의 교통약자의 외출빈도는 <표 3>과 같다.

<표 3> 전라북도 교통약자의 외출빈도

<Table 3> Trip Frequency of Transportation Vulnerable

Content	Frequency per one week(%)							Total (%)
	1	2	3	4	5	6	7	
Total	14.1	17.9	13.7	15.2	18.6	9.9	2.8	92.2
jeonju	4.8	10.8	13.3	12.8	40.0	14.3	4.0	100.0
Gunsan	10.0	13.0	10.5	21.0	19.3	10.5	2.5	86.8
Iksan	14.0	17.3	13.3	12.5	23.0	6.5	7.5	94.1
Jungeup	13.3	25.3	19.3	20.3	10.5	4.8	2.5	96.0
Namwon	25.3	18.0	9.8	11.3	7.8	14.3	-	86.5
Gimjae	17.3	23.0	16.0	13.3	11.0	9.0	-	89.6

※ Excepted a percentage of zero frequency in table

<표 4> 전라북도 교통약자의 통행목적

<Table 4> Trip Purpose of Transportation Vulnerable

Content	Trip Purpose(%)								
	welfare	Education	Hospital	Shop	Work	Famil y	Hobb y	Religi on	etc.
Total	15.9	1.1	39.8	9.7	8.0	5.6	10.2	4.7	5.0
jeonju	12.4	1.0	40.7	10.8	7.2	6.2	11.1	4.8	5.9
Gunsan	28.0	1.7	36.7	5.9	10.9	3.7	7.0	4.2	1.8
Iksan	23.5	1.3	14.3	6.0	8.3	5.3	22.0	4.3	15.3
Jungeup	28.3	-	27.5	13.5	16.8	6.5	4.5	1.8	1.3
Namwon	11.3	2.3	39.3	9.3	8.8	11.0	8.0	5.5	4.8
Gimjae	16.3	1.5	64.5	5.3	4.0	3.5	3.3	1.5	0.3

교통약자가 외출하는 통행목적은 <표 4>과 같이 조사되었다. 전 조사지역에서 치료를 위한 병원, 의료원을 방문하는 통행의 비중이 39.8%로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 복지관을 방문하기 위한 통행이 15.9%로 나타나 50% 이상의 교통약자가 치료, 복지를 위한 통행을 하는 것으로 나타났다.

2) 주 이용 교통수단

교통약자가 외출 시 주로 이용하는 수단은 Table 8.과 같이 버스(37.6%)가 가장 높은 비중을 가지는 것으로 나타났으며, 그 다음으로 도보(20.9%), 승용차(12.5%)가 뒤를 이었다. 설문 응답자가 버스를 이용하는 이유는 타 교통수단의 부재(40.3%), 저렴한 요금(27.5%)으로 나타나 버스개선을 통해 교통약자 편의증진을 도모하는 것은 매우 중요할 것으로 판단된다.

<표 5> 전라북도 교통약자의 교통수단 이용비율
<Table 5> Transportation Mode Usage ratio of Transportation Vulnerable

Mode	Percentage
Auto	12.5
Free-Suttle	6.3
Welfare-Taxi	1.5
Taxi	2.7
Bus	37.6
Motorcycle	6.2
Bicycle	7.6
Walking	20.9

3) 교통약자 경유지 및 목적지

본 연구에서 O/D를 정밀하게 구축하기 위해 가 구통행실태조사와 같이 교통약자의 경유지와 목적지를 함께 조사하였다. 수집한 자료는 응답자의 세부적 목적지를 나타내기 때문에 일정 범위마다 대표시설을 설정하여 정리하였다. 본 연구에서 수행한 교통약자 이동실태에 대한 설문자료를 정리한 결과는 <표 6>, <표 7>과 같다. 먼저, 시지역별 교통약자의 통행은 80%이상 이 적어도 1개소 이상의 경유지를 방문하는 것으로 분석되었다. 반면, 전라

북도 최외각에 위치한 남원시의 경우 18명의 응답자를 제외한 모든 응답자가 경유지를 가지지 않는 것으로 나타나 대조가 된다.

<표 6> 교통약자 통행 시 경유지 방문 특성
<Table 6> Trip Route Characteristics of Transportation Vulnerable

Area	Origin (person)	Route of Trip(person)				Destination (person)
		1	2	3	4	
Total	2,402	1,508	714	280	120	2,402
Jeonju	402	247	63	17	4	402
Gunsan	400	387	218	61	16	400
Iksan	400	336	148	35	8	400
Jungeup	400	333	204	131	75	400
Namwon	400	11	7	0	0	400
Gimjae	400	194	74	36	17	400

<표 7> 교통약자 통행시 통행지점별 도착지 및 경유지
<Table 7> Destination and Via Stop Region of Transportation Vulnerable

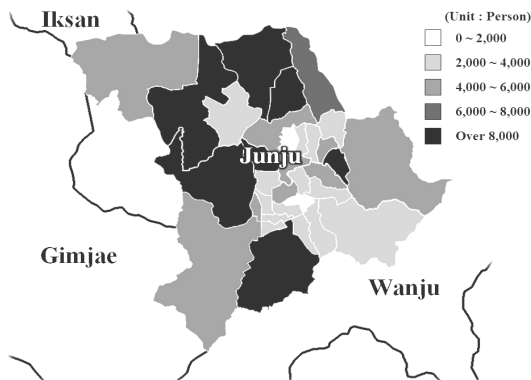
Area	Region number	Number of Respondent	Region number	Number of Respondent
Jeonju	1	296	8	46
	2	198	9	45
	3	112	10	36
	4	79	11	35
	5	72	12	31
	6	68	13	30
	7	48	14	28
Gunsan	1	169	8	43
	2	136	9	41
	3	115	10	40
	4	68	11	36
	5	65	12	32
	6	59	13	27
	7	51	14	21
Iksan	1	156	7	53
	2	136	8	52
	3	58	9	48
	4	57	10	47
	5	56	11	26
	6	54	12	22
Jungeup	1	178	10	40
	2	132	11	36
	3	128	12	32
	4	57	13	28
	5	56	14	28
	6	48	15	28
	7	46	16	22
	8	46	17	20
	9	43	-	-
Namwon	1	106	4	44
	2	84	5	33
	3	50	6	30
Gimjae	1	230	6	36
	2	213	7	32
	3	53	8	24
	4	41	9	23
	5	40	-	-

2. 교통약자 주거분포

전라북도 전주시 외 5개시의 교통약자는 <표 8>와 같이 약 42만명으로 파악되며, 교통약자 대부분이 중심도시인 전주시에 거주하고 있는 것으로 분석되었다. 교통약자의 세부 분류별로 살펴보면, 영유아 및 어린이는 규모가 작은 정읍시, 남원시, 김제시 보다 비교적 규모가 큰 전주시, 군산시, 익산시에 집중되어 있고 반대로 고령자는 규모가 작은 정읍시, 남원시, 김제시에 분포하고 있는 것으로 나타났다. 또한, 본 연구에서는 수집한 6개시의 주거분포를 O/D 구축을 위해 동·읍·면 단위까지 세분화하였으며, 한 예로 전주시와 같은 경우 <그림 4>와 같이 분포하는 것으로 분석되었다.

<표 8> 전라북도 교통약자 분포
<Table 8> Trip Distribution of Transportation Vulnerable

Mode	Transportation Vulnerable(person)					Total
	Infants	Children	Elderly	Pregnant	Vulnerable	
Total	66,569	69,638	179,325	11,934	99,264	426,730
Jeonju	29,719	31,610	58,160	5,067	33,616	158,172
Gunsan	13,680	13,127	30,703	2,170	17,414	77,094
Iksan	12,946	13,691	34,921	2,390	20,297	84,245
Jungeup	4,116	4,554	21,538	922	10,272	41,402
Namwon	3,103	3,614	15,675	674	7,835	30,901
Gimjae	3,005	3,042	18,328	711	9,830	34,916



<그림 4> 지역별 교통약자 분포(전주시)
<Fig. 4> Distribution of Transportation Vulnerable in Jeonju Example

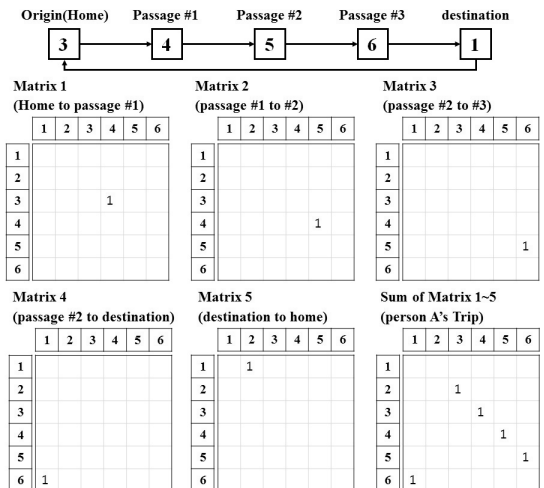
3. 교통약자 O/D 구축

수집된 교통약자에 대한 통행특성 및 주거분포를 기반으로 전라북도에 대한 O/D를 구축하였다. 저상버스 전용노선 선정 분석에 활용 가능한 자료로 사용하기 위해, O/D는 버스통행과 관련된 자료이어야 하고 정밀한 노선선정을 위해 목적지 뿐만 아니라 경유지를 고려해야 한다. 따라서, 본 연구에서는 다음과 같은 과정에 따라 자료를 구축하였다.

하지만, 앞서 문헌검토 단계에서 살펴보았던 교통약자와 관련된 O/D를 구축·분석하기 위한 연구와 방법론은 부족한 실정으로 본 연구에서는 수집한 교통약자의 통행실태를 바탕으로 기존 4단계 수요 추정 방법론을 기반으로 연구를 진행하였다.

- ① 버스 이용 교통약자 총 통행량 산정
- ② 존별 통행비율 산정
 - 읍·면·동 단위로 주거분포 및 설문결과 활용
- ③ 교통약자의 경유지 통행(경유1~경유4) 반영
 - 교통약자 경유지 방문빈도 및 위치 정보 활용
- ④ 교통약자 O-D Matrix 작성

Person A's Trip Chain example



<그림 5> 교통약자 O-D 구축 과정(예시)
<Fig. 5> Flow of Building Transportation Vulnerable O-D Matrix(Example)

4. 저상버스 노선 선정 결과

본 연구에서는 구축된 O/D를 적용하여 저상버스 도입이 우선되어야 할 전용노선의 우선순위를 선정하였다. 저상버스는 차체가 낮아 운행이 가능한 도로가 한정되어, 분석에 앞서 각 지역별로 저상버스 운행이 가능한 버스노선을 선정하고 emme/3 프로그램에 반영하였다. 전주시를 예로 분석을 위해 구축된 저상버스 운행 버스노선은 <표 9>와 같으며, <그림 6>과 같이 emme/3 프로그램에 반영하였다.

<표 9> 전주시 버스노선 정보
<Table 9> Analysis of Bus Route Information (Jeonju example)

Route No.	Origin	Destination
1	Pyounghwa-dong (rotation)	
2	Dongsan-dong (rotation)	
3-1	Jeonju University	Dongbu Market
3-2	Jeonju University	Moraena
61	Jeonju University	Vision university
119	Jeonju University	Jeonju nonghyup
291	Hanaro Club	Dae-nong
309	Woosuk univresity	Pyounghwa-dong
414	Rural Development Administration	Pyounghwa-dong
551	Jeonju University	Samrye public station
752	Kwan-chon public station	Nong-fish market



<그림 6> Emme/3 프로그램 상 저상버스노선 구축
<Fig. 6> Emme/3 Transit Line for Low-Floor Bus Route Analysis

선정한 노선의 분석결과 전주시의 경우 <표 10>

과 같이 우선순위가 산정되었다. 기존의 119번 노선은 시간당 2,074명이 이용하는 것으로 나타나 교통약자의 수요가 가장 높은 버스노선으로 저상버스가 우선적으로 도입되어야 할 노선으로 분석되었다. 그 다음으로는 2번 노선, 1번 노선이 각각 시간당 1,830명, 1,539명으로 분석에 반영된 다른 노선에 비해 비교적 교통약자의 수요가 높은 것으로 분석되었다.

<표 10> 버스노선 우선순위 산정 결과
<Table 10> Analysis of Bus Route Analysis (Jeonju example)

Rank	Route No.	Average Volume (people/hour)
1	119	2,074
2	2	1,830
3	1	1,539
4	3-2	1,043
5	3-1	989
6	61	734
7	752	711
8	309	428
9	414	303
10	291	138
11	551	80



<그림 7> 전주시 시내버스 교통약자 수요 분석결과
<Fig. 7> Analysis of Transit Volume of Jeonju City Buses

기존 전주시의 버스 운영현황에 따르면, 현재 3-1, 3-2, 119 노선은 저상버스가 투입중이며, 61번 노선은 저상버스 전용노선으로 사용 중이다. 그러

나 저상버스 전용노선인 61번 노선은 시간당 734명의 교통약자가 사용하는 것으로 나타나 현재 운영 현황과 일부 상이한 결론이 도출되었다. 본 연구의 분석결과를 기반으로 한다면, 저상버스는 현 61번 노선보다 교통약자의 수요가 집중되는 119번 버스 노선에 도입·적용하는 것이 타당할 것으로 보인다.

V. 저상버스 노선선정에 관한 제언

1. 기존노선을 활용한 저상버스 도입방안

향후 저상버스 도입 정책이 보다 효과적인 교통정책이 되기 위해 본 연구에서는 분석된 노선별 교통약자 수요에 기반으로 한 저상버스 도입방안을 제안하고자 한다.

전라북도의 경우 <표 11>와 같이 저상버스의 도입은 2013년까지 72대 도입되었으며, 2016년까지 175대를 추가 도입하여, 총 248대를 도입할 예정이다.

<표 11> 국내 시·도별 저상버스 도입계획
<Table 11> Low-Floor Bus Service Plan in South Korea

Area	City Bus	Low-Floor Bus(vehicles)		
		until 2013	to 2016	Total
Seoul	7,534	2,506	1,638	4,144
Busan	2,511	329	675	1,004
Daegu	1,658	203	460	663
Incheon	2,312	280	645	925
Gwangju	930	163	209	372
Daejeon	965	157	229	386
Ulsan	670	90	178	268
Gyeonggi	9,793	1,159	2,758	3,917
Gangwon	567	115	15	130
Chungbok	540	104	58	162
Chungnam	758	48	179	227
Jeonbuk	822	72	175	248
Jeonju	404	56	66	122
Gunsan	114	8	26	34
Iksan	164	8	42	50
Jungeup	57	0	17	17
Namwon	43	0	13	13
Gimjae	40	0	12	12
Jeonnam	680	54	150	204
Gyeongbuk	1,088	45	281	326
Gyeongnam	1,529	384	75	459
Jeju	-	-	-	-
Total	32,357	5,749	7,725	13,474

앞서 분석한 전주시의 경우는 향후 66대의 저상버스를 추가 도입할 예정이며, 분석결과에 따르면 교통약자 수요가 가장 높게 나타나는 119번 노선부터 도입해야 한다. 그러나, 현재 운영 중인 버스노선은 배차간격 및 운영버스 대수의 수가 상이하기 때문에, 이를 반영하여 저상버스의 도입을 고려해야 한다.

기존 분석결과를 기반으로 운행버스를 고려한 교통약자의 수요는 <표 12>와 같이 분석되었다. 앞서 교통약자의 수요가 가장 큰 119번 노선보다 414번 노선이 저상버스 한 대 도입 시 이용할 수 있는 교통약자가 303.0명/대로 나타나 교통약자를 위한 저상버스의 효율이 가장 높은 것으로 분석되었다.

<표 12> 저상버스 이용효율에 따른 버스노선 순위상정
<Table 12> Bus Route Priority on Low-Floor Bus Efficient(example)

Rank	Route No.	Operating Bus	Transportation Vulnerable (people/hour)		Rank (Considering vehicles)
			Average Volume	Average Volume per Vehicle	
1	119	16	2,074	129.6	5
2	2	7	1,830	261.4	2
3	1	7	1,539	219.9	3
4	3-2	8	1,043	130.4	4
5	3-1	8	989	123.6	6
6	61	12	734	61.2	9
7	752	11	711	64.6	8
8	309	12	428	35.7	10
9	414	1	303	303.0	1
10	291	2	138	69.0	7
11	551	9	80	8.9	11

2016년 까지 도입하고자 하는 저상버스 도입목표는 일정 수치로만 정해져 있으며, 한정된 저상버스 도입대수를 노선에 배차하여 교통약자의 편의를 최대화 해야 한다. 앞서 산출한 노선별 차량별 교통약자의 수요를 저상버스 도입에 따른 효과로 설정하면, 저상버스 도입 총 효과는 노선의 도입대수와 교통약자의 수요의 곱의 합 형태인 일차식으로 나타낼 수 있다. 이러한 일차식을 최대화하는 도입대수를 산출하기 위한 방법으로는 선형계획법(LP:Linear

Programming)이 있다[19]. 전주시를 예로 선형계획법을 통해 저상버스 도입에 따른 효율을 최대화 하기위한 도입노선 선정에 대한 목적함수 및 제약조건은 식(1)과 같다.

$$\text{Maximize } Z = \sum_k \alpha_k X_k$$

$$\text{Subject to, } \sum_k X_k \leq \text{Applying Vehicles of } i \text{ Year}$$

$$\text{And, } X_k \geq 0, X_k \leq X_{Max k}$$

where, α_k : Average volume per vehicle of Route k
 X_k : Nuber of Low-Floor Bus
 Applying vehicles to 2014= 23
 Applying vehicles to 2015= 45
 Applying vehicles to 2016= 66

(1)

선형계획법에 따른 노선별 전주시 저상버스 도입의 최적화 결과는 <표 13>과 같다. 분석결과, 저상버스 도입에 따른 교통약자의 이용 효율이 높은 414번, 2번, 1번, 3-2번 노선부터 우선적인 도입이 필요하고 다음으로는 119번 노선 3-1번 도입, 이후 나머지 노선에 저상버스를 도입하는 것이 효율이 높은 것으로 나타났다. 각 연차에 따른 도입노선을 전주시의 교통약자 분포와 비교해 보면, 2014년에는 교통약자가 밀집된 지역을 시중점으로 하며, 전주시 중심지를 지나는 노선, 2015년에는 전주시 중심부를 통행하는 순환노선, 2016년에는 교통약자가 적은 지역으로 나타났다.

<표 13> 저상버스노선 도입의 최적화 결과
 (Table 13) Optimization Result of Low-Floor Bus Route

Xk	Route No.	α_k	$X_{Max k}$	X_k (vehicles)		
				2014	2015	2016
X1	119	129.6	16	-	16	16
X2	2	261.4	7	7	7	7
X3	1	219.9	7	7	7	7
X4	3-2	130.4	8	8	8	8
X5	3-1	123.6	8	-	6	8
X6	61	61.2	12	-	-	6
X7	752	64.6	11	-	-	11
X8	309	35.7	12	-	-	-
X9	414	303.0	1	1	1	1
X10	291	69.0	2	-	-	2
X11	551	8.9	9	-	-	-

2. 도시규모별 저상버스 도입방안

본 연구에서 노선선정의 예로 작성한 전주시의 경우 도시규모가 크기 때문에 운영 중인 버스 노선의 수와 버스 대수가 <표 14>과 같이 높게 나타나지만, 남원시, 정읍시, 김제시의 경우 전주시에 비해 작은 규모의 도시로 시내버스의 노선이 적고 운행하는 버스 대수가 적다. 이러한 소규모 도시에서 지금과 같은 버스운영은 교통수요에 비해 그 비용이 크게 나타난다[20].

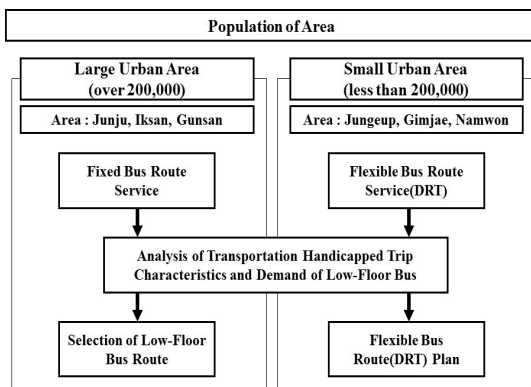
<표 14> 버스노선 운영현황 및 운영대수
 (Table 14) The Number of Bus Route and Operating Bus

Area	Number of Bus Route(lines)	Number of Operating Bus(vehicles)
Jeonju	121	404
Gunsan	54	114
Iksan	107	164
Jungeup	93	57
Namwon	84	43
Gimjae	47	40

이렇듯 버스수요가 적은 소규모 도시지역에는 비교적 적은 운영비용으로 적은 수요에 대한 편의 증진을 도모하기 위해 교통연구회(TRB:Transportation Research Board)에서는 DRT(Demand Responsive Transport)와 같은 수요에 따라 융통적으로 제공할 수 있는 적용기준을 가이드라인으로 제공하고 있다[21]. 실제 유사 연구결과에서도 소규모 도시에서 수요응답형 대중교통 서비스를 제공하는 것이 지정노선을 운영하는 것보다 교통약자의 만족도 및 경제적 효과에서 긍정적인 효과를 보인다는 결론이 도출되고 있다[22].

따라서, 본 연구에서는 분석대상지인 전라북도 6개시 지역에 대하여 효율적인 저상버스 도입방안을 제안하였다. 기존 해외사례에 따르면, 도시규모는 인구 20만명을 기준으로 구분하고 있으며, 20만명을 초과할 경우 지정노선을, 그 이하일 경우 수요응답형 대중교통체계를 권장하고 있다. 이에 따라 분석지역을 구분하면 <그림 8>과 같다.

기준에 따라 구분하면, 전주시, 익산시, 군산시는 인구가 20만명 이상으로 큰 규모의 도시에 해당하기 때문에 본 연구의 과정과 같이 교통약자 O/D를 기존노선에 적용하여 저상버스가 우선적으로 도입되어야 할 노선을 선정하고 정읍시, 김제시, 남원시는 20만명 이하의 소 규모의 도시에 해당하여 구축한 교통약자 O/D를 기반으로 고정되지 않은 버스노선을 검토하고 수요응답형 교통체계 기반의 저상버스 도입방안의 검토가 필요하다.



〈그림 8〉 전주시 시내버스 수요에 따른 도입방안
 〈Fig. 8〉 Analysis of Transit Volume of Jeonju City Buses

VI. 결론 및 향후과제

본 연구는 전라북도 교통약자에 대한 교통특성을 설문조사 결과를 기반으로 분석하고 교통약자 O/D를 구축하여, 교통약자 편의 증진을 위한 효과적인 저상버스 노선 설정 및 지역별 도입방안을 검토하였다. 먼저, 교통약자 O/D 구축을 위해 기존 통계자료와 2,400명에 대한 설문조사를 통해 기반자료를 수집하고 이를 가공하여 교통약자 O/D를 구축하였다. 다음으로 교통수요예측 프로그램인 emme/3 프로그램을 통해 기존 버스노선 중 교통약자가 집중되는 노선을 파악하여 저상버스가 우선적으로 도입되어야 할 노선을 선정하였다. 분석결과 현행 저상버스 전용노선과 교통약자 O/D를 통해 분석한 저상버스 도입 우선순위는 일부 상이한 결

과가 도출되었다. 또한, 전주시, 익산시, 군산시는 큰 규모의 도시로 기존노선에 교통약자 수요에 따라 저상버스를 도입이 필요하고 정읍시, 김제시, 남원시는 소규모의 도시로 이용자의 응답에 따라 노선이 결정되는 수요응답형 교통체계를 도입하여 저상버스를 운영하는 것이 효율성·경제적 측면에서 효과적인 것으로 분석되었다.

본 연구의 결과를 실제 저상버스 도입 및 운영계획에 반영하기 위해서는 저상버스 노선 분석에 사용하는 자료가 국가기관을 통해 공신력을 확보하여야 한다. 또한, 이 연구는 전라북도의 저상버스 운영 중 차량 운영에 한정하여 연구를 진행하였다. 그러나, 대중교통 운영은 버스를 포함한 대중교통은 수단에 대한 운영 뿐만 아니라 정류장 및 안내시설에 대한 운영도 포함하고 있기 때문에 주변시설에 대한 운영 및 교통약자 접근성 제고방안에 대한 추가적인 연구가 필요하다. 또한, 본 연구에서 사용한 emme/3 교통수요추정 프로그램에 관한 분석은 배차간격이 작은 노선에 우선적으로 수요가 배정되도록 설계되어 있어 비현실적인 환승 통행이 증가된 분석이라는 한계가 있다. 향후 교통약자의 노선과 관련한 승차 행태까지 고려한 대중교통수요추정 방법론 수립과 관련한 연구가 지속적으로 필요할 것으로 판단된다.

REFERENCES

- [1] United Nations, World Population Ageing 2013, United Nations, 2014.
- [2] World Health Organization and World Bank, World Report on Disability, Switzerland, World Health Organization, 2011.
- [3] H. Orimo, H. Ito, T. Suzuki, A. Araki, T. Hosoi and M. Sawabe. "Reviewing the definition of "elderly"", *Geriatrics & Gerontology International*, vol. 6, no. 3, pp.149-158, 2006.
- [4] KMGL, *The Promotion Act of Transportation Handicapped Convenience*, Korea Ministry of Government Legislation, South Korea, 2006

- [5] European commission, *COST 332. Low floor buses. The low floor bus system.* Luxembourg, 1995.
- [6] J.S. Hugo and J Stanbury, "Towards the Introduction of Low Floor Bus Technology in South African Cities", *20th South African Transport Conference*, Pretosp.ria, 2001.
- [7] MLTMA, *2012 Survey of Transportation Hadicapped' Trip : Final Report, Ministry of Land, Infrastructure and Maritime Affairs*, South Korea, 2012.
- [8] MOCT, *2006 Low-Floor Satisfaction Survey Report*, Ministry of Construction and Transportation, 2006.
- [9] MLTMA, *The Second Plan of Transportation Hadicapped Transport Convenience Increasing*, Ministry of Land, Infrastructure and Maritime Affairs, South Korea, 2012.
- [10] D.S. Yun and G.S. Shin, "Analysis Travel characteristics and Mode Choice Behavior of the Transportation Handicapped: A Case Study of Gyeongsan City", *The Korea Spatial Planning Review*, vol. 66, pp.25-45, Korea, Sep, 2010.
- [11] N.K. Jo and D.S. Yun, "Mode Choice Factors of the Elderly", *The Korea Spatial Planning Review*, vol. 33, pp.129-144, Korea, April, 2002.
- [12] S.H. Choo, "Analysis of the Elderly's Travel Behavior", *Transportation research*, vol. 15, no. 2, pp.129-144, 2008
- [13] London Transit Commission, *Accessibility Plan 2012-2025*, London Transit Commision, Lodon, United Kingdom, 2011.
- [14] Vicroads, *Designing Local Roads for Ultra Low Floor Buses*, Australia, July, 1999.
- [15] D. Yun and G. Shin, "Analyzing Travel Characteristics and Mode Choice Behavior of the Transportation Handicapped:A Case Study of Gyeongsan City", *Korea Land Research*, vol. 66, pp.25-45, 2010.
- [16] MOSPA, *2013 Population Statistics, Ministry of Security and Public Administration*, South Korea, 2013.
- [17] MW, *2013 Statistics of Handicapped*, Ministry of Health and Welfare, South Korea, 2014
- [18] Statistics Korea, *2013 Korean Population Trends*, South Korea, 2014
- [19] A. Schrijver, *Theory of Linear and Integer Programming*. Chichester : NewYork, 1998
- [20] P.M. Schonfeld and M. Kim, *Intergration of Fixed and Flexible Route Public Transportation System, Phase II*, U.S. Department of Transportation, University Transportation Centers Program, 2012
- [21] J.F. Potts, E.C. Crockett and J. Washington, "A Guide for Planning and Operating Flexible Public Transportation Services" *TCRP report 140*, Transportation Research Board, 2010
- [22] K. Broome, L. Worrall, J. Fleming and D. Boldy, "Evaluation of Flexible Route bus Transport for Older People." *Transport Policy*, vol. 21, pp.85-91, 2012

저자소개



이 창 현 (Lee, Chang-Hyun)

2003년 3월 ~ 현재 : 전북발전연구원 선임연구위원(부원장 직무대리)
2012년 5월 ~ 2014년 5월 : 전북발전연구원 부원장
1990년 9월 ~ 1995년 2월 : 조선대학교 대학원 국토 및 도시계획전공(공학박사)



김 상 엽 (Kim, Sang-Youp)

2012년 8월 ~ 현재 : 전북발전연구원 새만금 지역개발연구부 부연구위원
2011년 3월 ~ 2012년 8월 : 서울시립대학교 교통공학과 연구교수
2006년 3월 ~ 2011년 2월 : 서울시립대학교 일반대학원 교통공학과 박사졸업(공학박사)
e-mail : whiteallen@naver.com



최 재 성 (Choi, Jae-Sung)

2001년 8월 ~ 현재 : 서울시립대학교 교통공학과 교수
1997년 3월 ~ 1998년 2월 : 미국 Texas A&M 대학교 토목공학과 객원교수
1984년 8월 ~ 1987년 12월 : 미국 위스컨신-매디슨 주립대 토목공학과 박사졸업