서울시립대학교 도시과학연구원
도시과학논총 제27권 2001년 12월
The Journal of Urban Sciences
The University of Seoul
Vol.27, No. 1, December 2001

버스정류장간 여객O/D 추정에 관한 연구
- 서울시 동대문구 지역을 대상으로 -

손 의 영 · 김 재 영
(서울시립대학교 교통공학과 교수 · 한국개발연구원)

A Study on bus stop O/D estimation for Dongdaemun

Shon, Eui Young · Kim Jae Young

ABSTRACT

서울시와 같은 대도시의 여객수송에서 버스가 차지하는 역할은 여전히 중요한 위치에 있지만, 교통상황이 과거와 크게 달라졌음에도 불구하고 버스노선 및 산업은 이러한 변화에 능동적으로 대처하지 못하고 있다. 이러한 이유들로는 여러 가지가 있겠지만 그중 한가지는 그동안 버스와 같은 대중교통을 이용하는 승객의 수요를 예측함에 있어서 실제로 조사된 자료와 모형을 통해서 도출된 값의 차이가 워낙 커서 버스노선개편으로 인한 효과분석 결과를 운송업자나 시민들에게 자신있게 주장하기가 어려웠기 때문이다.

만약 정류장을 중심으로 죤을 설정해서 관련 자료를 수집한 다음 통행발생 및 분포모형을 도출할 수 있다면 가장 최상이겠지만, 현실적으로 정류장 단위의 자료를 수집한다는 것은 불가능하다. 또한 너무 죤이 작아도 통계적으로 신뢰성 있는 모형을 얻기 어렵기 때문에 본 연구에서는 기존에 추정된 버스승객 O/D를 이용하되, 현실과 잘 들어맞는 결과값을 얻을 수 있는 모형을 제시하고자 하였다.

본 모형의 내용은 크게 두가지로 나뉜다. 첫 번째는 모형의 예측력을 높이기 위해 죤 체계를 동 단위에서 정류장 단위로 분할하는 것이고, 두 번째는 조사된 승하차인원 자료를 이용해서 기존에 추정된 버스 승객의 수요를 보정하는 것이다. 모형구축을 위한 방법론을 세운 다음, 동대문구 지역을 대상으로 실제 적용결과를 살펴보았다. 모형 적용결과 목적함수로 사용한 재차인원을 기준으로 그 결과를 살펴보았을 때 조사된 관측값과 통행배정결과가 잘 들어맞음을 알 수 있었다.

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

서울시와 같은 대도시의 여객수송에서 버스가 차지하는 역할은 과거에도 그랬고 지금도 여전히 중요한 위치에 있다. 그러나 지하철이 도입되고 승용차 이용자들이 증가함에 따라서 교통상황이 과거와 크게 달라졌음에도 불구하고 버스노선 및 산업은 이러한 변화에 능동적으로 대처하지 못하고 있다. 이러한 가장 큰 이유로는 그동안 버스 노선에 대한 기존 운영업체들의 독점적인 지위가 보장되어 왔으며, 노선 개편에 따른 운송 수입액의 변화라든지 이용승객들의 편익 또는 불편익이 얼마나 발생하는지에 대해서 정확히 파악할 수 있는 합리적인 모형이 없었다는 점을 들 수 있다.

버스와 같은 대중교통 수단을 이용하는 승객수요를 추정함에 있어서 그동안은 주로 4단계 교통계획 모형을 이용해 왔다. 4단계 모형을 이용해서 수요를 추정할 경우 다른 모형들에 비해서 보다 세밀한 분석들을 할 수는 있지만, 각 단계를 거치면서 오차가 누적된다는 단점이 있다. 또한 서울과 같은 대도시에서 매번 조사를 통해 합리적인 교통수요 모형을 도출한다는 것은 비용과 시간에 있어서 한계가 존재하므로 과거에 도출된 모형을 이용해해서 추정한 결과가 조사된 자료와 잘 들어맞지 않음은 당연한 이치일 것이다.

따라서 그동안 실제로 조사된 버스의 승하차 인원 자료와 모형을 통해서 도출된 값의 차이가 워낙 커서 버스노선개편으로 인한 효과분석 결과를 운송업자나 시민들에게 자신있게 주장하기가 어려웠다. 더욱이 앞으로는 노선 입찰제의 실시 및 제 2기 지하철의 완전개통으로 인한 버스노선의 개편이 예정되어 있어 보다 정확한 수요를 추정할 필요가 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해서는 무엇보다도 신뢰성 있는 버스승객수요 모형을 개발하는 것이 급선무이겠지만, 관련 자료들의 부족 등으로 인해서 새로운 대중교통승객 수요모형을 개발한다는 것은 쉽지 않다.

본 연구에서는 새로운 버스승객의 수요모형을 도출하기보다는 기존에 추정된 버스승객 O/D를 이용하되, 현실과 잘 들어맞는 결과값들을 얻을 수 있는 방법론을 제시하고자 하였다. 이를 위해서 정류장단위로 죤을 나눈 다음, 관측값을 이용해서 수요를 보정하는 O/D보정 방법중 하나인 Gradient 방법을 사용하였고, 그 결과 원하는 결과값을 얻을 수 있었다.

만약 정류장을 중심으로 죤을 설정해서 관련 자료를 수집한 다음 통행발생 및 분포모형을 도출할 수 있다면 가장 최상이겠지만, 현실적으로 정류장 단위의 자료를 수집한다는 것은 불가능하다. 또한 너무 죤이 작아도 통계적으로 신뢰성 있는 모형을 얻기 어렵기 때문에 이와 같은 방법론을 적용하게 된 것이다.

이러한 방법론을 이용할 경우 매년 버스업체의 운송수입금 산정을 위해서 조사되는 각 노선별 버스승객 승하차인원 자료를 가지고 버스승객의 O/D를 정확히 추정함으로서 노선개편으로 인한 효과분석을 보다 정밀히 수행할 수 있을

것이다.

2. 연구범위 및 방법

본 연구의 내용은 크게 두가지로 나뉜다. 첫 번째는 모형의 예측력을 높이기 위해 죤 체계를 동 단위에서 정류장 단위로 분할하는 것이고, 두 번째는 조사된 승하차인원 자료를 이용해서 기존에 추정된 버스 승객의 수요를 보정하는 것이다.

연구에 앞서 우선 제2장에서는 문제점 분석 및 기존연구를 검토하였다. 제3장에서는 2장에서 언급된 문제점중 하나인 정류장단위 죤 구축의 필요성을 보다 심도있게 살펴보았다.

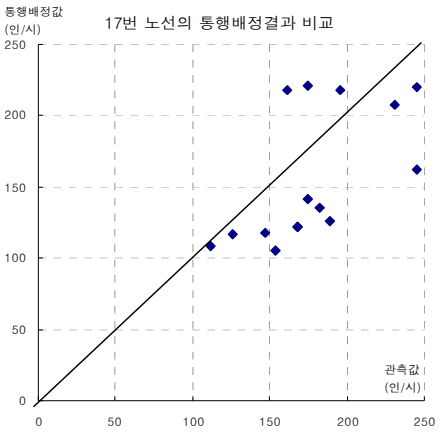
제4장에서는 정류장 단위의 버스승객 수요를 추정하는 방법론에 관해서 나타내었는데, 기본적인 죤분할 원칙 및 Gradient 방법을 이용한 O/D 보정에 관해서 살펴보았다.

제5장에서는 위의 방법론을 실제로 적용해 보았을때 그 결과가 어떻게 나타나는지 살펴보았는데, 분석을 위해서 '96년도 서울시 교통센서스 자료중 전수화된 동별 버스승객 O/D와 각 노선별 승하차 인원 조사자료를 이용해 동대문 지역을 지나는 두 개 노선을 대상으로 적용결과를 살펴보았다.

II. 문제점 분석 및 기존연구 검토

앞서 서론에서 언급한 바와 같이 우리나라에서는 그동안 버스를 비롯한 대중교통 승객수요를 추정함에 있어서 4단계 모형을 일반적으로 이용해왔다. 그러나 4단계 모형의 특성상 각 단계를 거치면서 오차가 있을 경우 그 오차들이 누적되어 최종에 이르러서는 각 수단별로 배정되는 통행량의 오차가 커지게 되는 단점이 있다. 이러한 수요추정 방법상의 문제점으로 인해서 4단계 모형에 의해서 대중교통 승객수요를 추정할 경우 최종적으로 추정된 수요를 조사된 결과와 비교하고 보정하는 것이 필요하다.

아래의 그림은 17번 노선에 대해서 '96년 서울 교통센서스에서 조사된 노선별 구간 재차인원과 통행배정된 구간별 재차인원 결과값을 동대문구 지역에 대해서 비교해서 나타낸 그림이다. 실제 조사를 통해서 관측된 승하차인원과 전수화된 버스승객 O/D를 EMME/2를 이용해서 통행배정한 다음 나타난 결과값에 차이가 큼을 알 수 있다.(아래 그림에 관한 보다 자세한 설명은 제5장에서 하기로 한다.)



<그림 1> 관측값과 통행배정값 비교분포

이처럼 관측된 결과값과 통행배정된 결과값에 차이가 나타나게 되는 요인들로는 여러 원인들이 있을 수 있다. 앞서 말한대로 각 단계별 과정을 고치며 오차가 누적되었을 수도 있고, 각 단계별로 적용된 방법에 문제가 있을 수도 있다. 이러한 오차를 줄이기 위해서 각 단계별로 보다 세심한 주의를 기울이긴 하지만 이에는 한계가 있어 관측교통량을 이용한 O/D보정 기법을 최종단계에서 적용해 오차를 줄이기도 한다.

그밖에 버스와 같은 대중교통 수요를 분석하는 경우에는 통행배정을 함에 있어서 죤 체계와 관련한 문제점도 또한 크게 부각될 수 있다. 한 동에 여러개의 버스정류장이 존재하는 경우 동 단위로 죤을 구축해서 O/D를 추정하고 통행배정 하는 경우 노선별로 과대 혹은 과소 통행배정이 되는 문제가 발생하게 되어 이후 노선별 재차인원을 기준으로 O/D 보정을 하게 되더라도 노선별 승하차 인원이 과대 혹은 과소 보정이 되게 된다. 이에 관해서는 3장에서 보다 더 자세히 살펴보기로 한다.

그동안 발표된 국내의 연구결과들을 살펴보면 대도시의 교통수요를 분석함에 있어서 버스와 같은 대중교통 수단에 대해서 독립적으로 정류장 단위의 죤을 구축하고 연구한 경우를 찾기 어려웠다. 그러다가 최근 교통개발연구원에서 수행하고 있는「전국교통DB 구축사업」에서 비로소 전국의 5대 광역시를 대상으로 버스승객 수요를 분석함에 있어서 정류장 단위로 죤을 나누어 O/D를 추정하고 있다. 위의 연구에서는 정류장별로 승하차인원을 직접 조사해서 각 정류장의 통행발생 및 도착량을 구하고, 중력모형을 이용한 통행분포 방법을 적용하여 정류장간 O/D를 구하였다.

관측교통량을 이용한 O/D 보정과 관련해서는 그동안 국내에서도 많은 연구가 이루어져 왔으며 최근 들어서는 Gradient 방법을 적용한 다수단 O/D보정(김종형, 2001) 및 유전자 알고리즘을 이용한 O/D보정(백승걸 외, 2000)에 관한 연구도 이루어지고 있다.

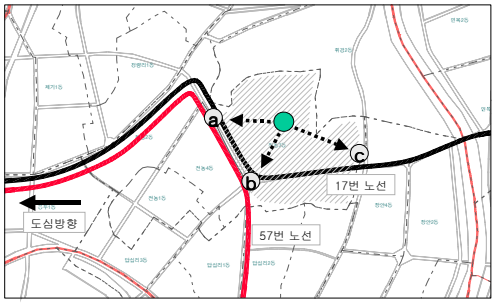
그러나 위의 연구들이 대부분 승용차 또는 다수단 교통량을 대상으로 이루어지고 있어, 차별된 통행배정방법 및 특성을 갖는 대중교통수단에 대해서도 연구가 이루어져야 할 필요가 있다. 외국의 경우에는 실시간으로 지하철 승객의 수요를 추정하는 연구(S. C. Wong, 1998)까지도 이루어지고 있음에 비추어 볼때 국내에서도 그동안 연구된 결과를 대중교통수요의 분석에 적용할 필요가 있다.

Ⅲ. 정류장단위의 존체계 필요성

제 3장에서는 앞서 2장의 문제점 분석에서 언급한 대중교통 수요를 분석함에 있어서 정류장 단위의 죤체계가 필요한 이유를 보다 구체적인 사례를 들어 살펴보기로 한다.

아래의 <그림 2>는 빗금친 지역에 2개의 버스 정류장이 있는 경우의 예인데 동 단위로 죤 체계를 구축했을 때 통행배정 결과에 있어서 어떠한 문제점들이

있는지 살펴보자. 이 지역을 통과해서 도심방향으로 향하는 버스노선은 17, 57의 2개 노선이 있으며 각 노선별로 운행하는 지역은 그림에 표시된 것과 같다고 가정해보자. 이 지역에 살면서 도심방향으로 가려는 승객들은 각 정류장별로 모두 도심방향의 노선이 지나고 있으므로 각기 가까운 정류장에서 승차를 하게 될 것이다.



<그림 2> 예제 network 1

예를 들어 도심방향으로 가려는 승객들이 총 400명이고 이들이 A정류장에서 150명, B정류장에서 150명, C정류장에서 100명씩 각각 승차한다고 가정하면 승객들은 노선별 배차간격에 따라서 각 정류장에서 기다리는 도중 먼저 도착하는 차량에 승차하게 된다. 그 결과 각 노선별 배차간격이 17번은 8분, 57번은 4분이라 한다면 A정류장에서 승차하는 150명의 승객들은 17번 노선에 50명 57번 노선에 100명씩 승차를 하고, B정류장에서 승차하는 150명의 승객들 역시 17번 노선에 50명, 57번 노선에 100명씩 승차를 할 것이다. C정류장에서는 17번 노선만이 있으므로 17번 노선에 100명 모두 승차를 하게 될 것이다. 이 결과 각 노선별로 승차하는 인원을 합하면 17번 노선은 200명, 57번 노선은 200명 승차를 하게 된다.

그러나 동 단위로 죤을 구축했을 경우에는 위와 같은 통행패턴을 잘 반영하지 못해 각 정류장별로 승하차하는 인원을 잘못 추정함은 물론 노선별로 과대 혹은 과소 추정하는 문제가 발생하게된다. 죤의 중심(센트로이드)과 정류장을 잇는 connect link를 어떻게 연결하느냐에 따라서 그 결과가 달라지게 되는데, 아래의 <표 1>에 각각의 경우에 대해서 그 결과를 나타내었다. 이때 나타난 결과는 앞서 살펴본 것과 같이 노선별 배차간격에 의해서 통행배정을 하는 EMME/2의 최적전략에 의한 통행배정 결과이다.

<표 1> connect link의 연결방법에 따른 정류장별, 노선별 승차인원

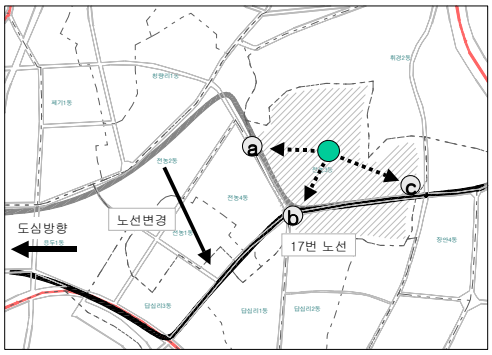
구분	A정류장		B정류장		C 정류장	노선별 합계	
	17번	57번	17번	57번	17번	17번	57번
A 연결	133	267	-	-	-	133	267
B 연결	-	-	133	267	-	133	267
C 연결	-	-	-	-	400	400	-
A,B 연결	133	267	-	-	-	133	267
A,C 연결	133	267	-	-	-	133	267
B,C 연결	-	-	133	267	-	133	267
A,B,C 연결	133	267	-	-	-	133	267

위의 <표 1>을 보면 connect link를 어떻게 연결하느냐에 따라서 각 정류장별로 승차하는 인원이 실제와 크게 차이가 남을 알 수 있다. 한 개만 연결할 경우 그 정류장에 도착하는 버스들의 배차간격에 따라서 통행배정이 되며 두 개

이상을 연결할 경우 도심까지 최단경로가 존재하는 정류장에서 모두 승차하는 것으로 나타나고 있다.

버스승객 수요를 분석함에 있어서 가장 중요한 요소는 노선별로 배정되는 결과인데, 위와 같이 노선별로 과대·과소 추정되는 문제점들로 인해서 실제 조사된 결과와 노선별로 통행배정 되는 결과에 차이가 발생하고, 이후 O/D 보정을 함에 있어서도 그 결과에 문제가 있게 된다.

다음은 동단위로 죤을 구축했을 경우에는 노선 조정에 따른 영향을 잘 반영할 수 없다는 문제점인데, 다음의 <그림 3>을 예제로 살펴보자.



<그림 3> 예제 network 2

<그림 3>은 17번 노선의 운행지역이 변하게 되는 경우를 나타내었는데, 이 경우 도심방향으로 가려던 A정류장 주변의 승객들은 다른 수단을 이용하거나 먼 거리를 걸어서 B정류장으로 내려와야만 한다. 그러나 동 단위의 죤체계에서는 B정류장이나 C정류장에 connect link를 연결하는 경우 이들 정류장에서 승하차가 이루어질 수 있기 때문에 이와 같은 변화로 인해 발생하는 불편익을 나타낼 수 없다.

이상으로 버스 승객수요를 분석함에 있어서 정류장 단위로 죤을 구축해야 하는 것이 왜 필요한가에 관해서 살펴보았다. 살펴본 바와 같이 동 단위로 죤을 구축해서 통행배정을 했을때, 한 동에 여러개의 정류장이 있는 경우엔 노선별로 과대 혹은 과소 통행배정이 이루어지는 것으로 나타났다. 이러한 문제는 이후 O/D 보정에 있어서도 그대로 문제를 일으키게 되어 보정전 죤 체계를 정류장 단위로 분할하는 것이 필요함을 알 수 있다.

Ⅳ. 버스 정류장간 승객수요 추정모형

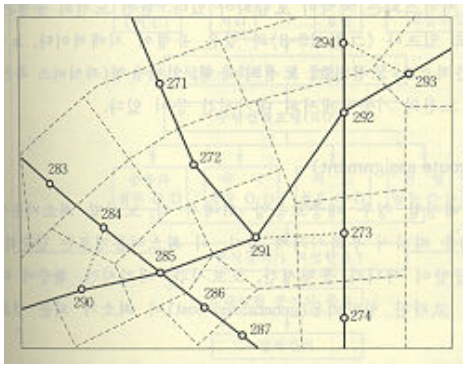
본 모형에서 버스 정류장간 승객수요(O/D)를 추정하는 과정은 크게 두단계로 나뉜다. 첫 번째는 버스정류장간 선행 O/D표를 작성하는 과정이고, 두 번째는 구축된 버스정류장간 선행O/D표를 통행배정한 결과와 조사된 승하차인원 자료에 의해서 보정한 다음 최종의 버스정류장간 O/D표를 구하는 것이다. 각 단계별로 어떠한 방법을 이용해서 결과를 도출하는지 살펴보면 다음과 같다.

1. 버스정류장간 선행 O/D표 산출

만약 기존에 버스정류장간 O/D표가 구축되어 있는 경우에는 이 자료를 이용해서 그대로 선행 O/D표로 이용하면 된다. 그러나 그동안 국내에서 추정된 대부분의 교통수요는 동 단위로 죤이 구축되어 있어 이를 정류장 단위로 나누는 과정이 필요하므로 이에 관해서 살펴보

겠다.

정류장 단위로 죤을 분할하기 위해서는 우선 기존에 각 동별로 구축된 죤을 검토한 다음, 한 동에 여러개의 정류장이 있는 경우 정류장 단위로 새로이 죤을 구축한다. 이때, 일반적인 교통죤의 설정과 마찬가지로 영역이 겹치지 않게 각 버스정류장을 중심으로 경계를 구축하고, 각 영역의 중심에는 버스정류장이 있게 한다. 아래의 <그림 4>는 버스정류장 단위로 죤 경계를 구분한 예이다.(원제무, 1995)



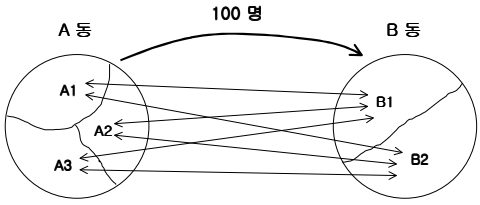
<그림 4> 버스정류장 권역구분의 예

이렇게 정류장 단위로 새로운 죤을 구축하였으면, 기존의 동단위 O/D를 정류장 단위의 O/D로 나누는 것이 필요하다. 이때 고려될 사항으로는 내부죤 통행문제와 새로이 분할되는 죤과 다른 죤간 통행량을 어떻게 배분할 것인가 하는 것들이 있다.

우선 내부죤 통행과 관련해서는 한 동에 많아야 두세개의 정류장이 있기 때문에, 정류장 단위로 분할된다 하더라도 내부죤간 통행이 추가적으로 발생하지는 않을 것으로 가정하였다.

다음으로는 새로이 분할되는 죤과 다른 죤간 통행량을 어떻게 배분할 것인가에 관한 문제이다. 이와 관련해서는 세 가지의 유형이 있을 수 있는데, 각각에 대해서 살펴보면 다음과 같다.

만약 아래의 <그림 5>와 같이 A동에 3개의 버스정류장(A_1, A_2, A_3)이 있고, B동에는 2개의 버스정류장(B_1, B_2)이 있다고 가정을 하자. 이때 A동에서 B동으로의 버스이용 승객이 100명이라 했을 때 어떻게 배분될지 그 절차를 살펴보면 다음과 같다.



<그림 5> 예제 정류장

위의 <그림 5>과 같이 A, B 동에 대해서 죤 영역을 구축했다면 다음으로는 통행발생 지표를 적용해서 동별 버스승객O/D를 배분할 차례이다. 이때 사용할 배분지표로는 영역내의 인구나 정류장에서 승하차하는 승객수 등이 될 수 있다. 인구를 적용하는 경우에는 정확하게 죤 경계를 구축하고 죤의 인구밀도에 따라서 승객수를 배분해야 하는데 이를 위해서는 많은 작업이 필요하게 된다. 따라서 인구보다는 정류장별 승하차 인원을 지표로 이용하는 것이 현실적인 측면에서는 더 바람직하다고 할 수 있다.

A동에서 B동으로 버스를 이용할 것으로 추정된 승객수가 100명이고, 각 정류장별로 승하차하는 인원이 다음과 같이 조사되었다고 가정할 때, 각 정류장별 승하차 인원에 비례해서 동간 통행량이

정류장간 통행량으로 나뉘는 결과를 살펴보자.

<표 2> 각 정류장별 승하차 인원

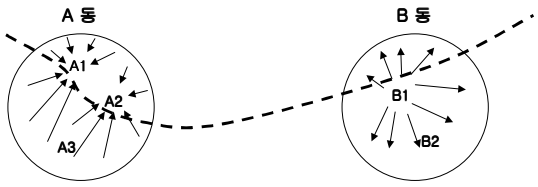
구 분	A 동			B 동	
정류장	A_1	A_2	A_3	B_1	B_2
승하차인원	200	80	80	200	50

각 정류장간 승객수를 T_{ij}라 하면, A_1 정류장에서 B_1 정류장으로의 승객수는 다음과 같이 구한다.

$$T_{A_1 \rightarrow B_1} = 100 * \frac{A_1}{A_1 + A_2 + A_3} * \frac{B_1}{B_1 + B_2}$$

$$= 100 * \frac{200}{360} * \frac{200}{250} = 44.4$$

이러한 방법에 의해서 1차적으로 비례배분한 다음에 정류장간 연결 노선에 의해서 다시 한번 조정할 수도 있다. A동과 B동을 연결하는 버스노선이 아래의 <그림 6>과 같은 경우엔 A→B 동으로의 버스승객을 A_1, A_2 정류장에서 B_1정류장으로 전량 배정해야 할 것이다. 따라서 이 경우 위에서 제시된 정류장별 승하차 인원에 의해서 비례배분한 다음 정류장간 연결노선을 고려해서 다시 한번 계산을 해야 한다.



<그림 6> 연결 버스노선에 의한 정류장별 이용 예

단지 정류장수만 고려하는 경우와 각 정류장별 승하차 인원을 고려하는 경우, 그리고 정류장간 연결노선까지 고려하는 경우에 대해서 각각 A동에서 B동으로의 버스승객수요 100명을 정류장 단위로 비례배분한 결과는 다음의 <표 3>와 같다.

<표 3> A동에서 B동으로의 버스승객 100명을 정류장별로 배분한 결과비교

정류장 구 분	가중치를 적용안한 경우	승하차인원에 비례해서 가중치를 적용한 경우	승하차인원비례 + 연결노선을 고려한 경우
$A_1 \rightarrow B_1$	16.7	44.4	71.4
$A_1 \rightarrow B_2$	16.7	4.4	0
$A_2 \rightarrow B_1$	16.7	17.8	28.6
$A_2 \rightarrow B_2$	16.7	4.4	0
$A_3 \rightarrow B_1$	16.7	17.8	0
$A_3 \rightarrow B_2$	16.7	4.4	0

본 연구에서는 위의 세가지 방법들 중에서 승하차 인원에 비례해서 배분하는 방법을 이용하기로 하였다. 이는 각 정류장간 버스 노선의 연결 여부를 고려하는 것이 보다 정확한 선행 O/D표를 얻을 수 있긴 하지만, 대규모 네트워크에서는 이를 고려해서 배분하는 것이 쉽지 않기 때문이다. 따라서 각 정류장 단위로 분할된 쪤에서 승하차하는 승객수를 기준으로 해서 동간 버스승객O/D표를 분할해 정류장간 버스승객O/D표를 구하였다.

2. Gradient 방법을 이용한 O/D 보

정

관측교통량을 이용한 O/D 보정의 기본 개념은 통행배정 모형에 의해서 배정된 통행량과 조사된 통행량이 같도록 맞추는 것이다. 이때 통행배정 모형이 현실을 잘 반영할수록 보다 더 합리적인 결과를 얻을 수 있다. 그러나 현실적으로 완벽한 대중교통통행배정 모형이 없기 때문에, 노선별로 과대 혹은 과소 배정되는 오차가 존재하는데, 이 오차를 조금이나마 더 줄이고자 정류장 단위로 죤을 분할해야 하는 필요성에 관해서 앞서 언급을 하였다.

대중교통수요의 통행배정 방법에는 여러 가지가 있기 때문에 어떠한 모형(프로그램)을 선택할 것인지 우선 결정하는 것이 필요한데, 본 연구에서는 EMME/2 프로그램을 이용해서 결과를 도출하였다. 이는 여러 교통계획 프로그램들 중에서 EMME/2가 가장 많이 사용되고 있으며 대중교통의 경우에는 더더욱 그러하기 때문이다.

O/D 보정의 기준이 되는 통행량으로서 승용차의 경우에는 일반적으로 관측된 링크의 교통량을 이용하지만, 버스의 경우에는 차량대수보다는 차에 탑승하고 있는 재차인원을 기준으로 해서 O/D를 보정해야만 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 EMME/2를 이용해서 노선별 정류장간 재차인원을 가지고 O/D를 보정하는 방법을 적용하였다.

EMME/2에서는 최적 전략을 이용해서 버스를 이용하는 승객들을 노선별로 배정하고 있으며, Gradient 방법을 이용해서 O/D를 보정할 수 있도록 모듈을 제공하고 있다. 여러 반복적인 단계를 다음과 같은 Macro를 이용해서 손쉽게 수행할 수 있도록 하고 있는데, Macro에 들어가는 각 단계별 절차는 다음과 같다.

- 1단계 : 1차 통행배정후 노선별 재차인원 산출
- 2단계 : 목적함수 계산(관측값과 통행배정값간 차이)

$$Z(g)=\frac{1}{2}\sum_{a\in A}(v_a-\hat{v}_a)^2$$

- 3단계 : additional option assignment 수행
- 4단계 : Gradient matrix 산출 및 재배정
- 5단계 : 재배정된 결과를 이용해서 Optimal step length 계산

$$\lambda^*=\frac{\sum_{a\in A} v_a'(\hat{v}_a-v_a)}{\sum_{a\in A} v_a'^2}$$

- 6단계 : O/D matrix를 갱신

$$g_i^{\ell+1}=\begin{cases}\hat{g}_i & \ell=0\text{에서}\\ g_i^{\ell}\left(1-\lambda^{\ell}\left[\frac{\partial Z(g)}{\partial g_i}\right]_{g_i^{\ell}}\right) & \ell=1,2,3,\cdots\end{cases}$$

- 7단계 : 수렴조건에 부합되면 정지, 그렇지 않으면 1단계로 되돌림

Ⅴ. 실제 사례적용

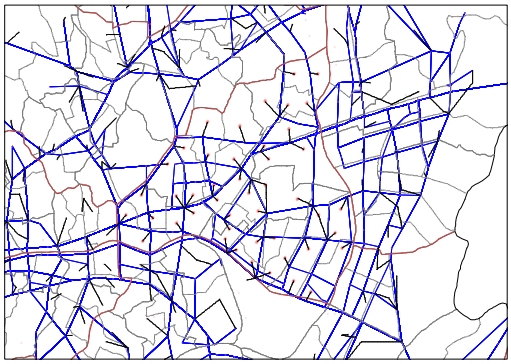
본 연구에서 제시한 방법을 실제로 적용했을 경우 어떠한 결과가 나타나는지 살펴보기 위해 '96 서울시 교통센서스 자료를 이용해서 적용결과를 살펴보았다. 서울지역 전체를 정류장 단위로 나누는 데에는 방대한 작업이 요구되어 본 연구에서는 동대문구만 정류장 단위로 죤을 구축해서 보정되는 결과를 살펴보

았고, 기타 지역들은 동 단위의 죤을 그대로 이용하였다.

1. 입력자료 구축

EMME/2 프로그램을 이용해서 버스승객 수요를 노선별로 배정하고 그 결과를 살펴보기 위해서는 이 프로그램에서 인식할 수 있는 형태로 O/D matrix와 network를 구축해야만 한다. 본 연구에서는 과거 서울시에서 구축했던 '96 서울시 교통센서스 자료를 이용하였는데, 동대문구 지역에 해당하는 부분만 본 연구의 목적에 맞게 버스정류장 정보와 노선별 정보를 수정하였다.

총 237개소가 있는 버스 정류소를 위치와 이용 현황에 의해 93개소로 묶은 다음에 이를 network 구축시 반영하였다. 정류장 단위로 죤을 구축했을때의 centroid와 connect link 및 버스 노선망을 나타낸 그림은 아래와 같다.



<그림 7> 정류장 단위의 network

1) 노선별 재차인원 산정

Gradient 방법을 이용해서 O/D를 보정하기 위해서는 노선별 재차인원을 알 수 있어야 한다. 각 노선별로 승하차하는 인원을 각 정류장별로 일일이 조사해서 파악하는데는 어려움이 크기 때문에 본 연구에서는 과거에 조사된 자료를 이용하기로 하였다. 향후 실제 버스노선 개편에 따른 분석을 위해서는 이들 자료를 정확히 조사하는 것이 필요하겠지만 본 연구에서는 조사 자료의 정확성보다는 이러한 방법론의 적용 가능성에 그 목적을 두고 있기 때문이다.

이용한 자료는 96 서울시 교통센서스에 포함된 대중교통조사 중 각 노선별 승하차 인원 조사자료이다. 이 조사는 대중교통 운영업체의 현황파악 및 버스 수송실적 전수화의 보조자료 확보를 위해서 1996년 10월에서 12월 사이의 평일에 730개 전 노선에 걸쳐서 이루어졌다. 이 자료에는 각 노선별로 기점부터 승하차하는 인원정보가 입력되어 있기 때문에 이를 누적해서 합산하면 정류장간 평균 재차인원을 알 수 있다.

이렇게 해서 각 노선별로 조사된 평균 재차인원에 해당 노선의 평균배차간격을 곱해서 각 노선별로 1시간 동안의 총재차인원을 구하였다.

2) 1시간 버스승객 O/D 산정

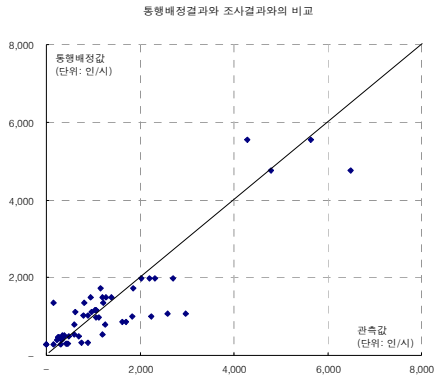
앞서 구한 각 노선별 1시간 총 재차인원을 기준으로 비교하기 위해서는 O/D 역시 1시간 단위의 버스승객 O/D가 필요하다. '96 서울시 교통센서스에서는 수단별로 일일 총 O/D와 첨두 1시간 O/D를 제공하고 있는데, 앞에서 구한 각 노선별 1시간 총 재차인원값이 일일동안의 평균값을 의미하므로 첨두 1시간 O/D를 사용한 결과는 전체적으로 O/D의 양

이 너무 많은 것으로 나타났다.

따라서 1일 총 O/D를 기준으로 해서 1시간 단위의 적정 비율을 결정하여야 할 필요가 있는데, 가구통행실태조사 자료중 시간대별 버스수요 분포의 평균은 4.76%인 것으로 나타났다. 그러나 4.76%를 사용해서 통행배정한 결과 역시 계산된 재차인원과 비교해 보았을 때 전체적으로 과대 추정되는 것으로 나타나, 보다 비율을 낮추면서 적정비율을 찾아본 결과 3.5%를 선택하게 되었다.

선택된 적정 비율이 가구통행실태조사에 나타난 시간대별 버스수요 분포의 평균값보다 더 낮게 나타난 이유는 버스승객 승하차인원 조사가 노선별로 일일 운행대수 전체에 대해서 이루어진 것이 아니므로, 출퇴근 시간대의 혼잡으로 인해 집중률이 높은 출퇴근 시간대보다는 기타 시간대의 조사율이 더 높았기 때문인 것으로 추측된다.

아래의 그림은 1일 총 O/D의 3.5%를 적용해서 통행배정한 다음 동대문구 전체 가로상에 대해서 조사된 재차인원과 통행배정된 재차인원을 비교한 것인데, 그 기울기가 45。로 나타나 적정함을 알 수 있다. 대부분의 구간들은 시간당 약 3,000명 이하의 승객들이 재차하고 있는 것으로 나타났며, 약 5,000명 이상의 승객들이 재차하고 있는 것으로 나타난 구간들은 망우로와 왕산로이다.

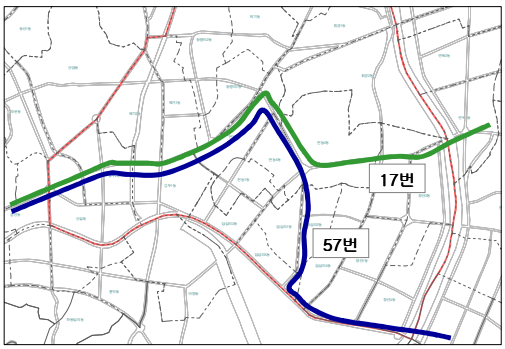


<그림 8> 동대문지역 전체가로를 대상으로한 비교도

3) 실제 적용노선 선택

위와 같이 기본이 되는 O/D와 Network 자료를 구축한 다음 동대문구를 지나는 73개 노선들 중에서 비교대상으로 17번과 57번 노선을 선정하고, 각 노선별로 조사된 자료에 의해서 정류장간 평균 재차인원을 구하였다. 이렇게 구한 값은 O/D보정시 기준이 되는 관측값으로 이용된다.

비교 대상이 되는 두 노선의 운행지역을 <그림 9>에 나타내었으며 산정된 정류장간 평균 재차인원은 <표 4> ~ <표 5>에 나타내었다.



<그림 9> 비교 대상노선도

<표 4> 17번 버스의 정류장별 평균재차인원

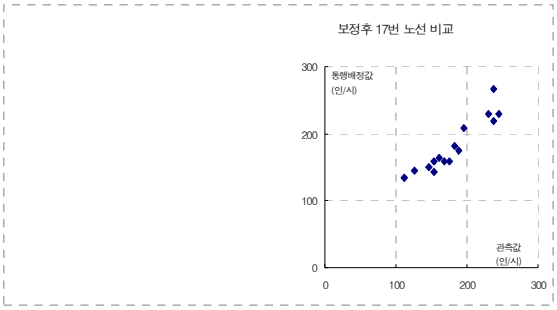
정류소						
	안암교	제기동	청량리	시립대	시립대입구	시립대앞
평균재차인원	22	21	27	26	25	22
	혜성여상	전농동	배봉초등학교	장안동	장안교	
	28	21	25	25	23	
	장안교	장안동	배봉초등학교	전농동	혜성여상	시립대앞
	28	33	34	34	35	35
	시립대입구	시립대	청량리	오스카극장	제기동	안암교
	34	34	24	25	18	16

<표 5> 57번 버스의 정류장별 평균재차인원

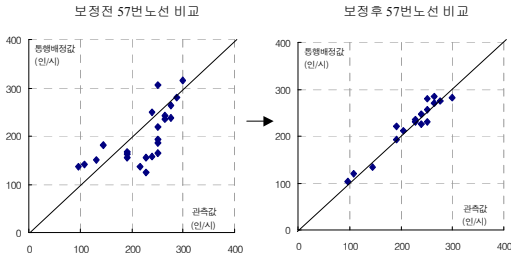
정류소						
	장안평중고매매	청년회의소	답십리역	구종점	답2동사무소	답십리극장
평균재차인원	16	16	19	21	23	25
	전농로터리	혜성여상	시립대앞	시립대입구	시립대	청량리
	25	20	21	21	20	12
	오스카극장	제기동	안암교			
	11	9	8			
	안암교	제기동	청량리	시립대	시립대입구	시립대앞
	16	21	21	22	23	24
	혜성여상	전농로터리	답십리극장	답2동사무소	구종점	답십리역
	23	23	22	21	20	19
	청년회의소	장안평중고매매				
	17	18				

2. 모형적용결과 검토

위와 같이 각 노선별로 입력자료들을 구축한 다음에 Gradient 방법에 의한 O/D 보정작업을 10회 반복해서 노선별로 조사된 관측값(재차인원)과 통행배정된 값의 차이를 살펴보면 다음의 <그림 9>, <그림 10>과 같다. 회귀 결정계수 R^2값은 약 0.6→0.95 정도로 좋아지는 것으로 나타나, 관측값 (재차인원)을 기준으로 O/D 보정작업을 했을 때 보정전보다 훨씬 더 실제와 비슷한 결과값을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

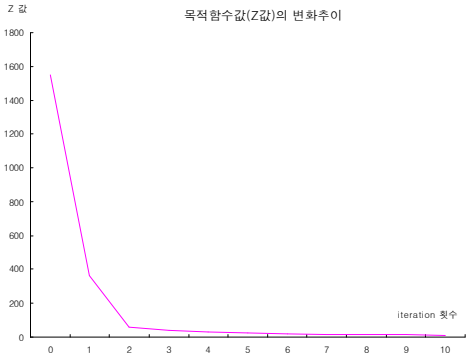


<그림 9> 17번 노선의 O/D 보정 전후 통행배정결과 비교



<그림 10> 57번 노선의 O/D 보정 전후 통행배정결과 비교

아래의 <그림 11>은 반복과정을 수행함에 따라서 목적함수값이 수렴되는 것을 보이고 있다.



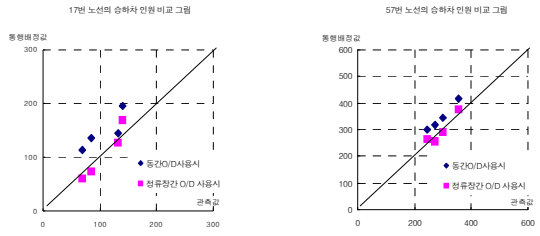
<그림 11> 목적함수 Z값의 변화추이

이밖에 노선별 승하차 인원에 의한 비교도 할 수 있는데, O/D 보정시 사용되었던 지표가 재차인원 이었던 만큼 노선

별 승하차 인원을 평가지표로 사용하는 것에는 무리가 있다.

다만 보다 다각적인 분석을 위해서 보정후 나타난 결과를 살펴보면 아래의 <그림 12>에서 보여지는 바와 같은데, 이는 분석구간 내에서 각 노선별로 승하차하는 인원을 합하여 정류장 단위로 죤을 구축했을때와 동 단위로 구축했을 때 결과가 어떻게 달라지는지 비교해서 나타낸 그림이다.

앞서 2장 문제점 분석에서 동 단위 죤을 구축했을 경우 한동에 여러개의 정류장이 있으면 노선별로 과대 혹은 과소 통행배정이 되므로, O/D 보정시 문제가 된다고 지적한 바 있다. <그림 12>에 나타난 결과를 보면 앞서 지적한 바와 같이 동 단위의 O/D를 이용했을 때에는 정류장간 O/D를 이용했을 때와 비교해서 보정후에도 노선별로 승하차 인원이 과대추정 된다는 사실을 알 수 있다.



<그림 12> 노선별 승하차인원 비교

Ⅵ. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 기초 자료의 수집 및 새로운 모형개발의 어려움으로 인해 기존의 결과를 가지고 현재 승객들의 통행실태를 잘 반영할 수 있는 방법을 연구하는데 중점을 두었다. 즉, 잘 들어맞지 않는 버스승객 수요를 보다 정확히 추정하기 위해서 새로운 모형을 개발하기 보다는 정류장 단위로 죤을 나누고, 관측값을 이용한 O/D 보정 방법을 적용하는 방법론을 제시하였다.

일반적으로 승용차를 대상으로하는 경우에는 관측된 링크 교통량에 의해서 O/D를 보정하지만 버스의 경우에는 통과 교통량에 대응되는 재차인원에 의해서 O/D를 보정하는데, 그 결과 재차인원은 매우 잘 들어맞지만 승하차 인원은 재차인원만큼 잘 들어맞지 않는 것으로 나타났다.

이는 목적함수에 각 죤별 통행발생에 해당하는 승하차인원이 고려되지 않기 때문으로서, O/D 보정후 기존의 O/D패턴에 변화가 있을 수도 있음을 의미해 분석자의 주의를 요한다. 버스와 같은 대중교통 수단에 있어서는 승하차 인원이 노선별 수입액에 바로 영향을 미치는 만큼 재차인원 뿐만 아니라 정류장별 승하차 인원 또한 고려할 수 있는 모형이 앞으로 개발되어야 할 것이다.

또다른 한계점으로는 본 연구의 모형에서는 노선이 지나는 지역이 변화하거나 새로운 노선이 신설될 때 장기적으로 나타나는 버스승객 수요의 변화를 나타낼 수 없다는 점이다. 기존에 고정된 승객의 수요는 정확히 추정함으로서 단기적으로 그들에게 발생하는 편익과 불편익은 정확하게 계산할 수 있지만, 새로이 변화되는 수요를 예측할 수 없다.

따라서 향후 노선 개편에 따라서 발생하게될 새로이 전환되는 승객들의 편익과 불편익을 예측하기 위해서는 이를 고려할 수 있는 새로운 버스승객 수요모형을 구축하는 것이 필요하다.

<참고문헌>

[1] 서울시, 1997, 서울시 교통센서스 및 데이터베이스 구축 -가구통행실태조사- , 서울시

[2] 김순관, 1998, 서울시 교통수요 예측모형 정립(I) -통행발생 및 통행분포-, 서울시정개발연구원

[3] 김순관, 1999, 서울시 종합교통분석체계 정립 및 광역통행분석, 서울시정개발연구원

[4] 노정현, 1999, 교통계획 -통행수요이론과 모형-, 나남출판

[5] 원제무, 1995, 도시교통론, 박영사

[6] 김종형, 2000, Gradient 방법에 의한 통행량기반 수요추정연구 -다차종통행배분 및 대규모 교통망 적용을 중심으로-, 서울시립대학교 박사학위 논문

[7] 윤혁렬, 2000, 용량을 고려한 대중교통 통행배정모형 구축에 관한 연구, 서울대학교 박사학위 논문

[8] 김재영, 2001, 버스정류장간 승객수요 추정에 관한 연구, 서울시립대학교 석사학위 논문

[9] S. C. Wong, 1998, Estimation of Time-Dependent Origin - Destination Matrices For Transit Networks, Transportation research. Part B, v.32 no.1, 1998)

[10] INRO, 1994, emme/2 User's Manual Release 7, Montreal Canada

[11] Spiess, H, 1990, A gradient approach for the O-D matrix adjustment problem, INRO

[12] Spiess, H, 1993, Transit equilibrium assignment based on optimal strategies : An implementation in EMME/2, INRO