

스마트 카드 자료를 활용한 서울시 버스 노선의 굴곡도 평가

김경태* · 이인묵** · 광호찬*** · 민재홍****

An Evaluation of Curvature for Bus Lines Using Smart Card Data in Seoul

Kyoung Tae Kim* · In Mook Lee** · Ho-Chan Kwak*** · Jae Hong Min****

요약 : 본 연구에서는 스마트 카드 자료를 이용하여 서울시 버스 노선의 굴곡도를 평가하였다. 일반적으로 버스 노선의 굴곡도는 노선의 기종점 간 통행거리와 최단거리/직선거리의 비로 정의되며, 이러한 네트워크 기반의 굴곡도 지표를 본 연구에서는 노선굴곡도로 정의하였다. 하지만 이는 실질적인 대중교통 이용자의 통행특성을 반영하기 어렵다는 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 대중교통 이용자의 통행특성에 기반하여 버스 노선의 굴곡도를 평가하는 경로굴곡도의 개념을 제시하고, 서울시 598개 버스 노선을 대상으로 노선굴곡도 지표와의 비교평가를 수행하였다. 분석 결과 노선굴곡도와 경로굴곡도 간에는 상관관계가 약하고, 노선굴곡도가 경로굴곡도를 제대로 설명할 수 없음을 확인하였다. 따라서 향후 버스 노선의 굴곡도 평가에는 실질적인 승객의 통행 특성을 반영한 경로굴곡도 개념이 적용되어야 할 것이며, 이를 통해 더욱 합리적인 버스 노선 계획 및 운영이 가능해질 것이다.

주제어 : 스마트 카드 자료, 버스 노선, 노선굴곡도, 경로굴곡도

ABSTRACT : This study aims to evaluate curvature of bus lines using smart card data in Seoul. The curvature of bus lines is commonly defined as the ratio of a travel distance and a shortest/straight distance between origin and destination stations and it is called route-based curvature in this study. However it has a limitation that it does not reflect trip pattern of bus passengers. Therefore the concept of trip-based curvature is proposed to evaluate the curvature of bus routes in this study. The trip-based curvature was compared with route-based curvature for 598 bus lines in Seoul. The results of this analysis represented that the correlation between trip-based and route-based curvature is not high, and it means that route-based curvature does not reflect realistic trip pattern of passengers. Thus, the trip-based curvature index should be applied to evaluate the curvature of bus routes and will make it possible to plan and operate more reasonable bus routes.

Key Words : smart card data, bus routes, route-based curvature, trip-based curvature

* 한국철도기술연구원 녹색교통물류시스템공학연구소 책임연구원(Principal Researcher, Green Transport and Logistics Institute, Korea Railroad Research Institute)

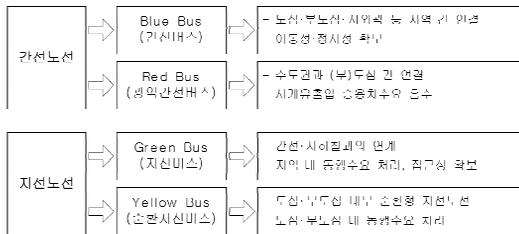
** 한국철도기술연구원 녹색교통물류시스템공학연구소 선임연구원(Senior Researcher, Green Transport and Logistics Institute, Korea Railroad Research Institute)

*** 한국철도기술연구원 녹색교통물류시스템공학연구소 선임연구원(Senior Researcher, Green Transport and Logistics Institute, Korea Railroad Research Institute), 교신저자(E-mail: kwak01@krii.re.kr, Tel: 031-460-5495)

**** 한국철도기술연구원 녹색교통물류시스템공학연구소 책임연구원(Principal Researcher, Green Transport and Logistics Institute, Korea Railroad Research Institute)

I. 서론

서울시는 2004년 버스의 신속성과 정시성을 확보하고 접근성 및 서비스 개선을 통한 편의성 증대를 위해 버스노선체계 개편을 시행하였다. 이에 따라 버스의 기능을 크게 간선과 지선으로 이원화하여, 간선은 장거리 노선으로 지역 간 신속한 이동을 위해 간선도로 위주로 직선화 노선경로를 따라 빠르게 운행하고, 지선의 경우 단거리 노선으로 지역 내 편리한 접근을 위해 보조간선도로 위주로 운행하여 굴곡경로가 형성될 수 있다(윤혁렬, 2004).



〈그림 1〉 서울시 버스노선체계 개편 내역

이처럼 노선의 과도한 굴곡 및 우회가 포함된 불합리한 버스 노선 및 과다 중복 노선 등에 대한 통합·조정을 통해 버스 운행의 효율성을 제고하였으나, 버스노선체계 개편 이전인 2002년 서울시 버스 수단분담률은 26.0%에서 개편 이후 2006년 27.6%로 소폭 증가하는 데 그쳤다. 이는 현재 대중교통 노선 평가가 기종점 기반의 물리적 네트워크 특성을 기반으로 이루어지며, 대중교통을 이용하는 이용자들의 실제적인 통행패턴에 대한 고려가 미흡하다는 측면에 기인한다. 이에 따라 이용자 중심의 대중교통 노선 선정 및 평가를 위한 대중교통 효과 척도의 개발이 필요하며, 본 연구에서는 버스 노선의 효율성 및 이용수요에 상당한

영향을 미치는 버스 노선의 굴곡도 개념과 승객의 입장에서 출발지와 도착지를 최소의 거리로 최단 시간에 연결해주는 교통서비스를 받고 싶을 것이라는 가정에 기반하여, 실제 버스 노선 이용자들의 경로 특성을 반영한 버스 노선 평가지표로 버스 노선별 경로굴곡도라는 개념을 제시하였다.

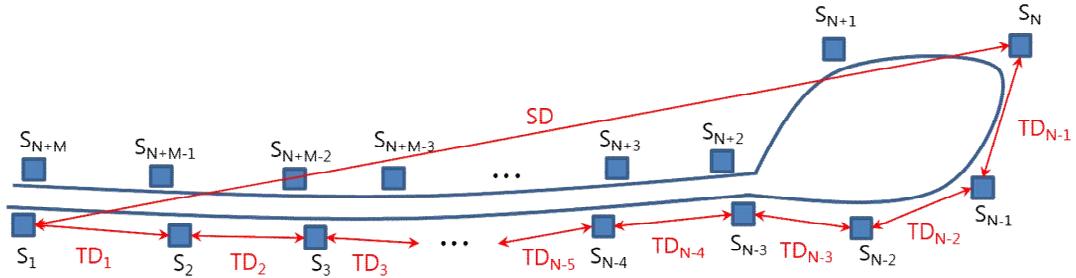
특히, 서울시 대중교통을 이용하는 데 있어 스마트 카드의 이용률이 95%를 상회하고 있는 상황에서 스마트 카드 자료는 대중교통 이용자의 통행 패턴을 규명하는 데 큰 역할을 할 것이다. 이에 따라 본 연구에서는 서울시 버스에서 사용된 스마트 카드 자료의 활용을 통해 개별 통행자의 경로를 추출하고 이에 대한 경로굴곡도를 산출하였다.

II. 이론적 고찰

김대웅 외(2000)의 연구에서는 기존 기종점 기반의 노선굴곡도 개념의 한계를 지적하고 버스 노선 평가를 위해 교차로 간 거리 및 수요 개념 도입을 통해 굴곡도 지표의 개선방안을 제시하였다.

조도형 외(2006)의 연구에서는 도시철도의 수단분담률에 영향을 미치는 요인 규명을 위해 통행 발생량, 굴곡도, 접근성 차이, 평균 환승길이, 종사자 수, 버스노선 수 등의 변수를 고려하였으며, 이 중 가장 큰 영향을 미치는 요인은 노선의 굴곡도 변수임을 규명하였다. 특히, 굴곡도의 경우 한 출발역에서 모든 도착역까지의 노선길이와 직선길이 차이의 평균으로 정의하였다.

홍중섭(2006)의 연구에서는 부산 지하철 3호선과 연계되는 버스 노선에 대한 합리적 노선선정 방안 제시를 위한 현황분석에서 기존 노선의 굴곡도를 평가하였으며, 굴곡도 1.3 이상인 노선을 굴곡이 심한 노선으로 판단하였다.



〈그림 2〉 버스노선 구성도

이범규(2009)의 연구에서는 대전광역시 시내 버스 노선개편 효과 분석을 위한 평가지표 중 하나로 노선굴곡도(기종점 간 운행거리/최단거리) 지표를 활용하였다.

양철수(2013)의 연구에서는 광주광역시 버스 전용차로 적합성을 분석하여 상대적 우선순위를 결정하기 위한 지표 중 하나로 노선굴곡도를 사용하였으며, 노선굴곡도는 운행거리/직선거리로 정의하였다.

이처럼 기존의 대중교통 노선 평가를 위한 굴곡도는 기종점 기반의 노선 선형과 관련된 의미의 지표로 많이 활용되었다. 하지만 버스 이용자의 경우 노선의 기점과 종점 사이의 많은 정류소에서 승차와 하차가 불규칙하게 이루어지기 때문에 이용자 측면의 기종점에 따라서 굴곡도가 큰 노선이라도 최단거리로 이용하는 수요가 클 경우, 그 노선은 필요한 노선이 된다. 따라서 이러한 문제점을 개선하기 위한 새로운 개념의 굴곡도 지표가 필요하다.

III. 굴곡도 산정 방법론

1. 노선굴곡도

버스 노선의 굴곡도는 일반적으로 노선의 기종

점 간 운행거리와 최단거리/직선거리의 비로 정의된다. 그러나 최단거리의 경우 서울시와 같이 가로망이 매우 복잡하거나 버스의 실제적인 통행이 가능한 도로 네트워크에 대한 정의가 명확하지 않은 가운데 실제 가로망에서 최단거리를 산정하는 것이 매우 어려운 문제가 된다. 이러한 복잡한 문제들을 모두 감안하기에는 굴곡도의 산정 방법이 매우 복잡해질 수 있고, 또 굴곡도를 산정하여 활용하는 사람들마다 굴곡도에 대한 이해가 상이할 수 있기 때문에 더욱 단순화한 접근이 필요하다.

이에 따라 본 연구에서는 실제 가로망의 연결 상황은 배제하고, 물리적으로 최단거리를 기준으로 버스 노선의 굴곡도를 산정하고자 하였으며, 이를 노선굴곡도라 정의하였다. 노선굴곡도 산정을 위해 〈그림 2〉의 버스노선 구성을 살펴보자. (N+M)개의 정류장으로 구성된 노선에 대해 기점에서부터 가장 먼 정류장을 S_N 으로 정의한다. 이에 따라 노선의 직선거리는 기점 정류장(S_1)에서 가장 먼 정류장(S_N)까지의 직선거리로 나타나며, 운행거리는 기점 정류장(S_1)에서 가장 먼 정류장(S_N)까지 정류장 간 운행거리의 합으로 정의된다. 이러한 정의에 따라 개별 버스 노선의 노선 굴곡도 산정을 위한 식은 다음과 같다.

$$RC_i = \frac{\sum_{n=1}^{N-1} TD_n^i}{SD_i}$$

RC_i : 버스 노선 i 의 노선굴곡도

TD_n^i : 노선 i 의 n 번째 정류장 및 $(n+1)$ 번째 정류장 간 운행거리

SD_i : 노선 i 의 기점 정류장과 가장 먼 정류장 간 직선거리

N : 노선 i 의 기점 정류장과 가장 먼 정류장까지의 정류장 수

2. 경로굴곡도

이용자 입장에서 관심이 있는 부분은 실제로 자신이 이용하는 거리가 얼마나 우회하는지가 될 것이다. 대부분의 승객들은 전체 버스노선에서 일부분만을 이용하기 때문에 노선의 굴곡도가 심하다고 하더라도 실제 이용하는 구간의 굴곡도는 낮을 수 있다. 앞에서 정의한 노선굴곡도 개념은 기점 정류장과 가장 먼 정류장 간의 운행거리와 직선거리의 비율로 계산한 것으로서, 실제로 이 노선 구간 전체를 통행하는 승객은 매우 제한적일 것이다.

이에 따라 본 연구에서는 버스 노선을 이용하는 이용자들의 경로를 반영한 경로굴곡도 개념을 제시한다. 산정 방법은 다음의 식과 같이 해당 노선을 이용하는 전체 이용자에 대해서 경로굴곡도를 산정하여 평균하는 개념으로 적용할 수 있다.

$$TC_i = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \frac{PTD_m^i}{PSD_m^i}$$

TC_i : 버스 노선 i 의 경로굴곡도

PTD_m^i : 노선 i 의 이용객 m 이 이용한 경로의 운행거리

PSD_m^i : 노선 i 의 이용객 m 이 이용한 경로의 직선거리

M : 노선 전체 이용객 수

본 연구에서는 단거리 구간 이용객보다 장거리 구간을 이용한 이용객에 보다 가중치를 주기 위해서 해당 버스 노선을 실제적으로 이용한 이용자들의 총 통행거리와 총 직선거리의 비로서 경로굴곡도를 산정하였으며, 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$TC_i = \frac{\sum_{m=1}^M PTD_m^i}{\sum_{m=1}^M PSD_m^i}$$

IV. 사례 분석

1. 분석자료

분석에 활용한 자료는 2013년 3월 18일 기준의 버스노선 운행실적과 스마트 카드 자료 중에서 버스를 이용한 통행을 대상으로 하였다. 서울시에서는 전체 598개 노선이 운행되었고, 유형별로는 광역버스 13개 노선, 간선버스 122개 노선, 지선버스 230개 노선, 마을버스 233개 노선이 운행되었다. 스마트 카드 자료는 버스를 이용한 2,273,016통행에 대해서 분석하였다. 환승통행은 고려하지 않았으며, 직결 통행 중에서 탑승거리가 0으로 계산되

〈표 1〉 서울시 버스유형별 노선굴곡도 분석

구분	광역	간선	지선	마을	전체
노선 수	13	122	230	233	598
평균	1.32	1.48	1.86	1.74	1.72
최대값	1.47	3.74	4.57	4.32	4.57
최소값	1.17	1.10	1.12	1.04	1.04
표준편차	0.09	0.31	0.59	0.48	0.52

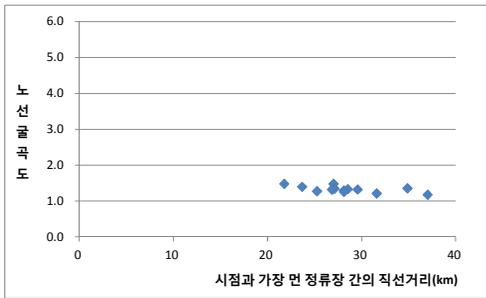
는 통행(승차 정류장과 하차 정류장이 동일한 통행)인 34,199통행도 분석에서 제외되었다.

2. 노선굴곡도 분석

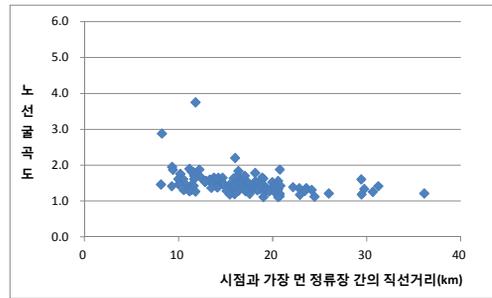
앞에서 제시한 방법에 의해서 노선굴곡도를 분석해 본 결과 전체 노선의 평균 노선굴곡도는 1.72 수준을 보이며, 표준편차는 0.52인 것으로 분석되었다. 버스 유형별로는 광역버스가 가장 낮은 1.32

이며, 지선버스가 가장 높은 수준인 1.86을 나타내고 있다.

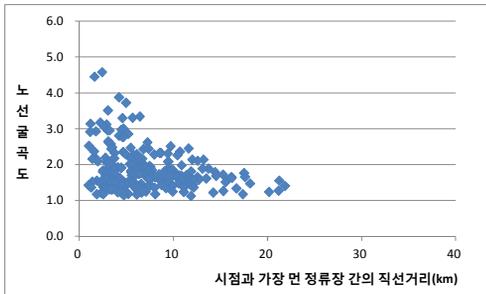
〈표 1〉에서 보면 간선의 경우 최대값이 3.74, 지선의 경우에는 4.57의 값을 보이고 있는데, 이처럼 비정상적으로 높은 노선굴곡도를 가지는 노선들은 〈그림 2〉에서 살펴본 노선의 일반적인 운행 패턴을 따르지 않는다. 이들 노선은 시점이 전체 운행노선의 중간 지점에서 시작하여 한쪽 방향으로 운행하여 반환점을 돌아 다시 시점으로 돌아와서



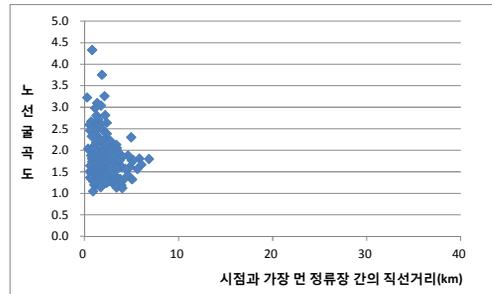
광역버스



간선버스



지선버스



마을버스

〈그림 3〉 시점과 최장거리 정류장 간 직선거리대별 노선굴곡도

반대편 방향으로 운행한 후 다시 시점으로 돌아오는 경우가 대부분이다. 이러한 경향은 주로 지선 버스에서 많이 발생하며, 간선버스에서 일부 찾아볼 수 있다. 이러한 부분을 보정하기 위해서는 굴곡도에 대한 정의를 다시 해야 하는 문제가 발생할 수 있고, 본 연구에서 제시하고자 하는 바에 큰 영향을 주지 않기 때문에 보정하지 않고 그 결과를 제시하였다.

시점과 가장 먼 정류장 간의 직선거리를 기준으로 버스유형별 노선굴곡도 분포를 도식화하면 <그림 3>과 같다. 유형별 특성이 분명하게 나타나는데, 간선노선으로 분류되는 광역버스는 모든 노선이 20km 이상의 거리를 운행하는 것으로 나타나며, 간선버스는 대부분의 노선이 10km 이상의 거리를 운행하는 것으로 나타난다. 지선노선으로 구분되는 지선버스의 경우 대부분의 노선이 20km 이내를 운행하며, 마을버스는 10km 이내를 운행하는 것으로 나타난다. 광역과 간선, 간선과 지선, 지선과 마을버스만이 서로 중복되는 구간이 존재하는 것으로 나타나 버스유형별 역할이 거리대별로는 제대로 구현되는 것으로 판단된다.

광역버스의 경우 거리대에 따른 노선굴곡도의 편차나 경향성은 잘 관찰되지 않는 것을 알 수 있다. 간선버스의 경우 20km 이내의 거리대에서는 거리가 짧을수록 노선굴곡도의 편차가 커지는 경향을 보이지만 명확한 경향을 보이지는 않는다. 지선버스의 경우 거리가 짧을수록 노선굴곡도의 편차가 커지는 경향을 더욱 분명하게 확인할 수 있으며, 마을버스의 경우에도 거리가 짧을수록 노선굴곡도의 편차가 커지는 것을 확인할 수 있다.

선행연구에서는 노선굴곡도가 1.3 이상인 것을 굴곡도가 심한 노선으로 평가하고 있다(홍중섭, 2006). 노선굴곡도가 1.3 이하인 굴곡이 심하지 않은 노선의 빈도수를 버스유형별로 살펴보면, 광역버스가 5개(38.5%), 간선버스가 27개(22.1%), 지선버스가 24개(10.4%), 마을버스가 31개(13.3%)로 그 비율이 매우 낮은 것을 알 수 있다. 기준을 1.5로 할 경우 광역버스는 모두 부합하며, 간선버스는 80개(65.6%), 지선버스는 73개(31.7%), 마을버스는 84개(36.1%)만이 부합하는 것으로 분석되어 많은 노선이 굴곡도가 매우 심한 것으로 평가할 수 있다.

<표 2> 노선굴곡도 범위별 노선 수 분석

(단위: 개, %)

굴곡도(r)	광역			간선			지선			마을		
	빈도	비율	누적	빈도	비율	누적	빈도	비율	누적	빈도	비율	누적
$r \leq 1.1$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.4	0.4
$1.1 < r \leq 1.2$	1	7.7	7.7	10	8.2	8.2	8	3.5	3.5	7	3.0	3.4
$1.2 < r \leq 1.3$	4	30.8	38.5	17	13.9	22.1	16	7.0	10.4	23	9.9	13.3
$1.3 < r \leq 1.4$	6	46.2	84.6	26	21.3	43.4	21	9.1	19.6	25	10.7	24.0
$1.4 < r \leq 1.5$	2	15.4	100.0	27	22.1	65.6	28	12.2	31.7	28	12.0	36.1
$1.5 < r \leq 1.6$	-	-	-	15	12.3	77.9	20	8.7	40.4	23	9.9	45.9
$1.6 < r \leq 1.7$	-	-	-	13	10.7	88.5	23	10.0	50.4	25	10.7	56.7
$1.7 < r \leq 1.8$	-	-	-	4	3.3	91.8	18	7.8	58.3	17	7.3	63.9
$1.8 < r \leq 1.9$	-	-	-	6	4.9	96.7	14	6.1	64.3	17	7.3	71.2
$1.9 < r \leq 2.0$	-	-	-	1	0.8	97.5	13	5.7	70.0	16	6.9	78.1
$2.0 < r$	-	-	-	3	2.5	100.0	69	30.0	100.0	51	21.9	100.0
합계	13	100.0		122	100.0		230	100.0		233	100.0	

〈표 3〉 서울시 버스유형별 경로굴곡도 분석

구분	광역	간선	지선	마을	전체
노선 수	13	122	230	233	598
평균	1.21	1.26	1.42	1.55	1.43
최대값	1.34	1.48	2.12	2.93	2.93
최소값	1.15	1.05	1.09	1.14	1.05
표준편차	0.06	0.09	0.17	0.26	0.23

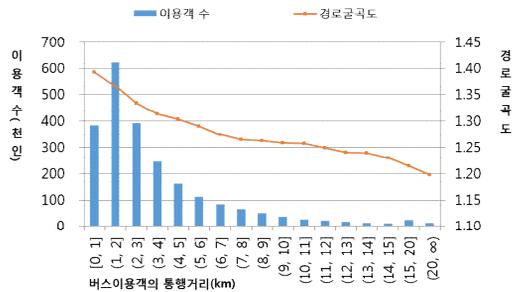
그러나 단순히 노선굴곡도만으로 버스 노선의 굴곡도를 평가하는 것에는 문제가 발생할 수 있다. 〈표 2〉에서 보는 바와 같이 많은 노선이 굴곡도가 심한 것으로 평가되는데, 실제 이용자의 입장에서 도 그렇게 인지하는지에 대해서는 확실하게 알 수 없다. 예를 들어, 환승수요가 많은 지하철과의 연계를 위하여 어쩔 수 없이 우회하는 경우도 있을 것이다. 앞에서 언급한 바와 같이 노선굴곡도가 2.0 이상인 노선들 중에는 1회 운행에서 특정 구간을 여러 번 순환하거나 단거리를 운행함으로써 어쩔 수 없이 굴곡도가 커지는 경우도 있다.

3. 경로굴곡도 분석

본 분석에서는 스마트 카드 자료를 활용하여 노선별 이용객들이 실제로 이용한 구간에 대한 경로굴곡도를 분석하였다. 경로굴곡도를 계산해 보면, 〈표 3〉에서 보는 바와 같이 지선버스와 마을버스의 순위가 역전되는 현상을 발견할 수 있다. 경로굴곡도는 광역버스, 간선버스, 지선버스, 마을버스의 순서로 나타나며, 전체 평균값도 1.43으로서

노선굴곡도의 평균인 1.72에 비해서 대폭적으로 개선되는 것을 알 수 있다. 따라서 노선굴곡도가 높더라도 실제 이용객들은 보다 합리적으로 해당 노선을 이용하고 있음을 알 수 있다.

노선별 이용수요를 가중치로 하여 버스유형별 경로굴곡도를 계산해 보았다(〈표 4〉 참조). 그 결과 광역버스의 경우에는 차이가 없었지만 간선버스, 지선버스, 마을버스의 순서로 경로굴곡도 값이 더 개선되는 것을 알 수 있다. 즉 경로굴곡도가 낮을수록 이용수요가 더 많다는 것을 알 수 있다. 또한 〈그림 4〉의 이용한 거리대별로 경로굴곡도를 보면 이용거리가 길어질수록 경로굴곡도는 감소하는 것을 알 수 있다.



〈그림 4〉 통행거리별 이용객 수 및 경로굴곡도

〈표 4〉 서울시 버스노선 이용객의 경로굴곡도 분석

구분	노선 수	이용객 수	통행거리 합	직선거리 합	경로굴곡도
광역	13	30,787	569,655	472,597	1.21
간선	122	988,648	5,521,442	4,440,862	1.24
지선	230	846,729	3,197,123	2,345,770	1.36
마을	233	406,852	777,841	523,941	1.48
전체	598	2,273,016	10,066,062	7,783,171	1.29

〈표 5〉 경로굴곡도 범위별 노선 수 분석

(단위: 개, %)

굴곡도(r)	광역			간선			지선			마을		
	빈도	비율	누적	빈도	비율	누적	빈도	비율	누적	빈도	비율	누적
$r \leq 1.1$	-	-	-	4	3.3	3.3	1	0.4	0.4	-	-	-
$1.1 < r \leq 1.2$	6	46.2	46.2	22	18.0	21.3	15	6.5	7.0	6	2.6	2.6
$1.2 < r \leq 1.3$	6	46.2	92.3	60	49.2	70.5	33	14.3	21.3	21	9.0	11.6
$1.3 < r \leq 1.4$	1	7.7	100.0	25	20.5	91.0	71	30.9	52.2	48	20.6	32.2
$1.4 < r \leq 1.5$	-	-	-	11	9.0	100.0	45	19.6	71.7	49	21.0	53.2
$1.5 < r \leq 1.6$	-	-	-	-	-	-	36	15.7	87.4	36	15.5	68.7
$1.6 < r \leq 1.7$	-	-	-	-	-	-	16	7.0	94.3	29	12.4	81.1
$1.7 < r \leq 1.8$	-	-	-	-	-	-	7	3.0	97.4	11	4.7	85.8
$1.8 < r \leq 1.9$	-	-	-	-	-	-	3	1.3	98.7	9	3.9	89.7
$1.9 < r \leq 2.0$	-	-	-	-	-	-	0	0.0	98.7	8	3.4	93.1
$2.0 < r$	-	-	-	-	-	-	3	1.3	100.0	16	6.9	100.0
합계	13	100.0		122	100.0		230	100.0		233	100.0	

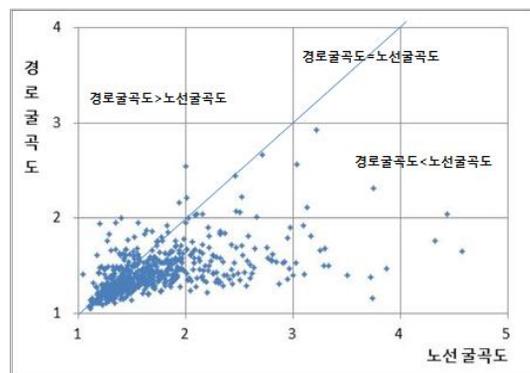
경로굴곡도에 대해서도 굴곡도 범위별로 노선 수를 분석하였다(〈표 5〉 참조). 경로굴곡도가 1.3 이하인 빈도수를 보면 이 기준에 부합하는 노선은 광역버스가 13개(100.0%), 간선버스가 86개(70.5%), 지선버스가 49개(21.3%), 마을버스가 27개(11.6%)이다. 노선굴곡도에 비해서 마을버스를 제외하면 대폭적으로 그 비율이 개선되는 것을 알 수 있다. 기준을 1.5로 할 경우 광역버스와 간선버스는 모두 부합하는 것으로 분석되었고, 지선버스는 165개(71.7%), 마을버스는 124개(53.2%)로 굴곡도가 크게 개선되는 것으로 분석되었다. 그럼에도 불구하고 상대적으로 마을버스의 경우에는 운행 거리가 매우 짧기 때문에 노선굴곡도에 비해서는 덜하지만 경로굴곡도 측면에서도 노선이 많이 우회하는 경향을 보이고 있다.

4. 노선굴곡도와 경로굴곡도의 비교 분석

앞에서 노선굴곡도의 전체 평균은 1.72였고, 그 범위가 1.04~4.57이었지만 경로굴곡도의 노선별

단순 산술평균을 구해 보면 전체 평균은 1.43이고, 범위는 1.05~2.93으로서 노선 간 변동폭이 많이 줄어드는 것을 알 수 있다.

〈그림 5〉에서 보는 바와 같이 노선굴곡도와 경로굴곡도는 상관관계가 0.51 정도로 노선굴곡도가 높다고 경로굴곡도가 반드시 높다는 강한 상관관계는 찾아볼 수 없다. 노선굴곡도와 경로굴곡도를 낮은 순서로 순위를 매겨 보면 순위 변동이 없는 노선은 4개 노선이며, 순위가 상승한 노선은 309개, 순위가 하락한 노선은 285개이다. 순위의 변동



〈그림 5〉 노선굴곡도와 경로굴곡도의 상관관계

폭도 평균적으로 112에 해당하여 순위 변동이 매우 심한 것으로 분석되었다. 전반적으로 노선굴곡도에 비해서 경로굴곡도가 개선되는 것이 일반적이지만, <그림 5>에서 보는 바와 같이 오히려 굴곡도가 더 심해지는 노선도 99개 발생하는데, 간선 3개, 지선 27개, 마을 69개 노선이 이에 해당한다. 이 경우는 해당노선에서 이용객들이 굴곡이 심한 일부구간을 집중적으로 이용하기 때문에 발생하는 현상이다.

<그림 6>은 노선굴곡도에 비해서 경로굴곡도가 더 높은 노선을 도시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 노선굴곡도는 1.30 수준이지만 승객들이 주로 이용하는 구간의 경로굴곡도가 2.0 이상인 경우가 많이 포함되어 있어 노선 전체의 경로굴곡



<그림 6> 사례노선(노선굴곡도 < 경로굴곡도)



<그림 7> 사례노선(노선굴곡도 < 경로굴곡도)

도가 1.66으로 높게 나타나는 현상을 보이고 있다. 반대로 <그림 7>은 노선굴곡도는 2.16으로 매우 높은 수준을 보이고 있지만 승객들이 주로 이용하는 구간의 경로굴곡도가 대부분 1.50 이하인 경우가 많아서 전체 노선의 경로굴곡도는 1.39로서 매우 큰 차이를 보이고 있다.

결국 노선굴곡도는 실질적으로 해당 노선을 이용하는 승객들의 경로굴곡도를 대표할 수 없는 것으로 분석되었으며, 승객들은 전체 노선의 굴곡도가 아닌 실질적으로 이용하는 구간의 굴곡도를 해당 노선의 굴곡도로 인식할 가능성이 높다. 따라서 향후 버스노선의 굴곡도에 대한 평가는 실제 이용객들의 행태를 반영한 경로굴곡도를 이용하는 것이 타당할 것이다.

V. 결론

본 연구에서는 서울시 버스의 스마트 카드 이용 실적을 활용하여 이용자 측면에서 버스 노선의 굴곡도를 평가하였다. 일반적으로 버스 노선의 굴곡도는 노선의 기종점을 중심으로 네트워크 측면에서의 접근이 이루어졌지만, 이는 실질적인 대중교통 이용자의 통행 특성을 반영하기 어렵다는 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 대중교통 이용자

의 통행 특성에 기반하여 버스 노선의 굴곡도를 평가하는 경로굴곡도의 개념을 제시하고, 서울시 버스 노선을 대상으로 일반적인 노선굴곡도와 비교평가를 수행하였다.

본 분석에서는 서울시 598개 버스 노선을 대상으로 굴곡도를 산정하였다. 분석 결과 노선의 기종점에 기반한 노선굴곡도 지표는 버스 이용객의 통행 특성을 반영한 경로굴곡도 지표와의 상관관계가 비교적 낮은 것으로 나타났으며, 이는 노선 굴곡도 평가 결과와 경로굴곡도의 평가 결과가 일치하지 않을 수 있음을 의미한다. 즉, 버스노선의 굴곡도를 평가함에 있어 단순히 노선굴곡도만으로 평가하기에는 한계가 있을 것으로 판단되며, 실제 버스 이용객들이 해당노선을 이용하는 통행 패턴을 반영한 경로굴곡도를 이용하여 노선의 굴곡도를 평가하는 것이 타당할 것으로 사료된다.

마지막으로 본 연구에서 제시된 경로굴곡도 지표를 정책적으로 활용하기 위해서는 몇 가지 추가적인 연구가 필요하다. 우선, 경로굴곡도가 실제적인 대중교통 이용자들의 수단 선택에 어느 정도의 영향을 미치는지에 대한 정량적인 연구가 필요하다. 본 연구에서는 대중교통 이용자 중심의 경로굴곡도 개념을 제시하였지만, 해당 지표가 기존의 노선굴곡도 지표보다 수단 선택에 보다 합리적으로 영향을 미치는지에 대한 정량적 결과를 통해 해당 지표의 정책적 활용성을 높일 수 있을 것이다. 또한 본 연구에서는 경로굴곡도 산정을 위해 환승을 제외한 직결 통행에 대한 분석을 수행하였

다. 따라서 환승 통행을 포함한 추가적인 분석을 통해 연계 노선 및 이에 따른 연계 통행에 대한 더욱 실제적인 지표의 활용성을 제시할 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 추가 연구가 이루어진다면 본 연구에서 제시된 평가지표를 통해 더욱 합리적인 버스 노선 계획 및 운영이 가능해질 것이다.

참고문헌

- 김대웅·류영근·이명미, 2000, “도시 버스교통 평가지표의 개발과 통합화방법에 관한 연구”, 『국토계획』, 제35권 제2호: 93~104, 대한국토·도시계획학회.
- 양철수, 2013, “버스전용차로 노선 적합성에 관한 연구: 광주광역시를 중심으로”, 『대한교통학회지』, 제31권 제4호: 18~31, 대한교통학회.
- 윤혁렬, 2004, 『서울시 버스체계개편에 따른 모니터링 연구』, 서울시정개발연구원.
- 이범규, 2009, 『대전광역시 시내버스 노선개편 효과분석』, 대전발전연구원.
- 조도형·손기민·김대현·김익기, 2006, “서울시 도시철도 이용에 영향을 미치는 요소를 반영한 노선 조정 효과 분석”, 『대한토목학회 논문집』, D26(6D): 935~943, 대한토목학회.
- 홍종섭, 2006, “버스 노선선정 방안에 관한 연구: 부산 지하철 3호선 연계노선”, 경주대학교 석사학위논문.

원 고 접 수 일 : 2014년 11월 18일
1차심사완료일 : 2014년 12월 8일
최종원고채택일 : 2014년 12월 23일