강우와 서울시 대중교통 승차인원과의 관계 분석

The Impact of rain on public transit ridership in Seoul

이광섭*†, 엄진기*, 유소영*, 민재홍*, 양근율**,

Kwang Sub Lee*†, Jin Ki Eom*, So Young You*, Jae Hong Min*, Keun-Yul Yang**

Abstract There are broadly two factors, including internal and external factors, that can influence transit passenger ridership. Internal factors are attributes that are directly related to the level of service such as fares and service frequency. On the other hand, external factors are beyond the control of transit agencies, and include spatial attributes and socio-economic related attributes. There has been little paid attention to effects of external factors, in particular weather, on transit ridership mainly due to lack of transit data. This study investigates the impact of rain on transit ridership. For this purpose the study utilized smart card data in Seoul and analyzed ridership comparisons between on a dry day and a rainy day in terms of total number of ridership by transport mode types, a district level and a passenger type.

Keywords **:** Urban railway, Ridership, Time-series analysis, Metropolitan area

초 록 일반적으로 대중교통 수요는 내부적 및 외부적 요소에 의해 영향을 받는다. 내부적 영향요소는 요금, 운행횟수 등 서비스와 직접적인 관련이 있는 요소들을 말하며 외부적 영향요소는 인구, 사회경제지표, 토지이용, 환경 등 대중교통 운영자가 직접 제어할 수 없는 요소이다. 그 동안 대중교통 수요에 대한 내부적 영향요인은 많이 연구되었으나, 데이터 취득의 어려움이 있는 외부적 영향요인은 상대적으로 연구가 미비하였다. 본 연구에서는 외부적 영향요인 중 강우가 대중교통 승차인원에 미치는 영향을 분석하였다. 분석을 위해, 실적자료인 서울시 스마트카드 데이터를 활용하여 강우일과 비강우일의 수단별, 지역별(구별), 이용자 유형별 승차인원을 비교 분석하였다.

주요어 : 강우의 영향, 대중교통 수요, 서울시, 교통카드 데이터

1. 서 론

대중교통수요에 미치는 영향은 크게 내부적 요인 및 외부적 요인으로 나눌 수 있다[1]. 내부적 영향요인은 대중교통 요금과 운행횟수 등 서비스 수준과 관련된 요소로써 대중교통 운영자들이 직접적으로 통제할 수 있는 요인인 반면, 외부적 영향요인은 토지이용, 밀도 등의 공간적 요소, 인구, 취업, 소득 등 사회경제적 요소, 휘발유가격, 통행료 등 서비스수준과 직접적인 관계가 없는 비용관련 요소를 의미한다.

† 교신저자: 한국철도기술연구원 교통체계분석연구단(leeks33@krri.re.kr)
* 한국철도기술연구원 교통체계분석연구단
** 한국철도기술연구원 녹색교통물류시스템공학연구소

따라서, 대중교통 수요예측 시 통제가 가능한 내부적 영향요인에 대한 영향을 연구를 많이 수행해 왔으며, 정책입안자 또는 운영자들 또한 내부적 요인에 대한 조정을 통해 문제를 해결해 왔다. 이런 이유로 인해 그 동안 강우 등 날씨와 교통수요와의 관계는 내부적 요인영향에 대한 연구에 비해 상대적으로 연구가 미비하였다. 특히 대중교통수요는 데이터취합의 어려움으로 인해 그 동안 날씨가 대중교통수요에 미치는 영향 및 관계분석은 더욱 힘들었었다[2]. 하지만, 최근 자동운임징수시스템(Automatic Fare Collection System; AFC system)의 발전으로 인해 데이터 취합에 드는 비용과 시간을 많이 단축시켰으며 대중교통 승차인원뿐 만 아니라 승차 및 하차의 시간, 장소와 같은 세부적인 정보까지 취득이 가능하다.

날씨와 교통수요와의 관계에 대한 기존 연구는 교통량, 고속도로 통행시간, 승용차 속도, 안전 등 대부분 도로교통에 치중하였다[3-6]. 대중교통수요와 날씨와의 관계연구는 버스와 같은 특정 수단과의 관계연구[1, 7-9]에 치중되었고 분석의 범위 또한 집계된 자료 또는 설문조사 자료를 활용한 분석에 국한되었다. 실적자료인 스마트카드 데이터를 활용한 분석연구는 Guo 등 [2]과 Arana 등 [10]의 연구가 있었다. 하지만 Guo 등 [2]은 날씨와 대중교통수요와의 집계적인 관계분석에 치중하여 세부적 노선별 분석은 제시하지 못했고 Arana 등 [10]은 분석의 공간적 범위가 대중교통 분담율이 매우 낮은 소규모지역에 국한되었고 업무 통행을 제외한 여가 및 기타통행 행태 분석에 국한되었다.

본 연구에서는 강우가 서울시 대중교통수요(승차인원)에 미치는 영향을 분석하였다. 분석을 위해 실적자료인 서울시 스마트카드 데이터 및 강우자료를 활용하였고 강우일과 비강우일의 수단별, 지역별(구별), 이용자 유형별, 시간대별 승차인원 등을 비교 분석하였다.

2. 서울시 대중교통 시스템 및 스마트카드 데이터

서울시는 605km^2 면적에 인구는 1,000만명이 넘는 대도시이다. 2012년 기준으로 서울시에서 운행되고 있는 대중교통수단은 9개 지하철노선을 포함하여 14개의 철도노선(319개 철도역)과 67개 버스 운영사에서 7,000여 대의 버스를 운행하고 있다. 버스노선은 총 621개이며 버스 정류장은 12,900 여 개이다. 서울시는 복잡하지만 잘 갖춰진 대중교통 인프라로 인해 대중교통 수단분담율이 2011년 기준으로 65%에 이른다. 서울시 통계에 따르면 평균 천 만 명 이상(2010년 기준)이 대중교통 수단을 이용했으며 버스 이용객은 약 5.7백만 명, 지하철 이용객 약 4.8백만 명이었다.

서울시에서 사용되고 있는 스마트카드는 한국스마트카드에서 발행하는 티머니(T-money) 교통카드이다. 2004년 서울시 대중교통체계 개편에 따라 신형 교통카드로 티머니가 처음 도입되었다. 티머니 교통카드는 IC(Integrated Circuit)칩이 내장된 스마트카드로써 충전이 가능하며 선불 또는 후불형 카드가 있다. 2004년 새롭게 도입된 대중교통체계 개편은 통합거리비례제 및 무료 환승을 도입하여 이용자의 통행비용 절감효과와 함께 대중교통 이용객 증가를 가져왔다. 수도권 통합요금제는 하나의 통행에 대한 대중교통 수단의 총 통행거리에 의해 요금이 부과되며 기본요금과 추가요금으로 구성된다. 기본요금은 버스의 종류에 따라 다르게 책정되지만, 일반 시내버스의 경우, 기본구간 10km에 900원의 기본요금이 부과되고

10km 이상에 대해 5km당 100원의 추가요금이 부과된다.

스마트카드 이용으로 인해 대중교통이용 정보를 보다 정확하게 파악할 수 있는 장점이 있다. 특히 대중교통 이용자의 95% 이상이 교통카드를 이용함으로 인해 승차/하차의 시간 및 장소, 환승을 포함한 많은 정보를 통해 분석이 가능하게 되었다. 스마트카드 데이터는 승하차 정보, 즉 승하차 시간, 승하차 정류장 및 위치, 요금, 대중교통수단, 환승유무, 노선 및 차량 정보, 승객유형, 통행거리 등을 포함하고 있다.

3. 강우가 대중교통수요에 미치는 영향

3.1 분석 데이터

본 연구에서는 분석을 위해 스마트카드 실적자료와 강우자료를 활용하였다. 대중교통카드 자료는 2012년 3월 18일(일)부터 3월 24일(토)까지 1주일간의 자료 중 주중자료를 사용하였다. 대중교통카드 자료는 데이터 필터링을 통해 데이터 오류를 먼저 제거하였다. 데이터 오류는 이용자가 하차 시 태그를 하지 않은 하차 미태그로 인한 하차 또는 환승 오류, 하차시간이 승차시간보다 빠른 비현실적 시간오류, 승하차태그 정류장이 같은 불합리한 태그오류 등으로 나타났다. 강우자료는 기상청으로부터 자료를 수집했으며, 기상청은 서울시에 26개의 지역별상세관측지(AWS; Automatic Weather Stations)를 두고 있다. 분석대상 1주일 중 3월 24(금)에 서울에 약 20㎜/day의 강우량을 보였다.

3.2 대중교통수요 분석

카드데이터 1주일 주중실적을 교통카드 이용자별로 분석한 결과, 요일 및 날씨와 관계없이 일반인이 83%로 가장 많았으며, 그 다음으로 청소년(8%), 고령자(7%), 장애인(2%) 순으로 나타났다. 요일별 및 교통수단 유형별 카드 실적치는 Table 1에 나타나있다. 강우일(금)을 제외하면 대중교통 총승차인원은 월요일(약 1,117만명)이 가장 작았으며, 수요일이 약 1,136만명으로 가장 많았다. 반면 3월 23일 강우일에는 총 승차인원이 천만명에도 미치지 못했다. 일반적으로 대중교통수요는 요일별 패턴을 보이며 금요일에 가장 많은 승차인원을 나타내는 점을 감안한다면, 금요일 총승차인원이 수요일 총승차인원 대비 약 13% 감소했다는 것은 강우의 영향이 크다는 것을 암시한다. 한편, 수요일 승차인원과 비교하여 강우일 승차인원은 버스에서 약 15% 감소하여 지하철 이용율(약 10% 감소)에 비해 강우의 영향을 더 많이 받는 다는 것을 알 수 있었다. 버스 유형별로는 광역버스(16% 감소)와 간선버스(18% 감소)가 지선 및 마을버스보다 승객의 감소가 많은 점으로 미루어볼 때 강우는 장거리 버스통행에 더 큰 영향을 주는 것으로 나타났다.

한편, 지역별(구별) 승차인원을 비교해보면, 대중교통 총승차인원은 서대문구(-14.8% 감소), 동대문구(-14.7% 감소)와 중구(-14.7% 감소)가 강우의 영향을 많이 받은 반면, 서초구(-9.9% 감소)와 광진구(-10.1% 감소)는 상대적으로 영향이 적었다 (Table 2). 수단별로는 철도의 경우, 금천구, 노원, 도봉구의 승차인원 감소가 많았고, 서초구와 용산구의 철도 승객은 상대적

으로 적게 영향을 받았다. 버스 승차인원은 중구와 종로구에서 영향이 컸던 반면, 구로구와 중랑구는 영향이 적었다.

Table 1. Number of passengers by transit mode types

Category	3/19(M)	3/20(T)	3/21(W) (a)	3/22(Th)	3/23(F) (b)	% Changed ((b-a)/a)
Arterial bus	2,252,234	2,289,246	2,312,477	2,285,750	1,899,513	-18%
Connector bus	2,181,861	2,209,347	2,225,322	2,191,241	1,894,181	-15%
Local bus	1,279,777	1,294,342	1,290,772	1,267,901	1,135,470	-12%
Inter-city bus	28,067	28,940	29,044	28,508	24,407	-16%
Bus sub-total	5,741,939	5,821,875	5,857,615	5,773,400	4,953,571	-15%
Railway	5,431,723	5,476,088	5,500,226	5,442,753	4,961,295	-10%
Total	11,173,662	11,297,963	11,357,841	11,216,153	9,914,866	-13%

Table 2. Comparison of ridership by districts

Gu_ Code	District	2012/3/21(W) (a)			2012/3/23(F)-Rain (b)			% Changed ((b-a)/a)		
		Rail(No rain)	Bus(No rain)	Total	Rail(Rain)	Bus(Rain)	Total	Rail	Bus	Total
1	강남구	444,888	353,508	798,396	405,554	298,270	703,824	-8.8%	-15.6%	-11.8%
2	강동구	164,637	118,021	282,658	147,034	101,369	248,403	-10.7%	-14.1%	-12.1%
3	강북구	71,756	215,246	287,002	63,789	186,022	249,811	-11.1%	-13.6%	-13.0%
4	강서구	151,762	198,584	350,346	136,644	169,996	306,640	-10.0%	-14.4%	-12.5%
5	관악구	312,386	421,836	734,222	279,260	357,762	637,022	-10.6%	-15.2%	-13.2%
6	광진구	245,858	132,288	378,146	226,653	113,478	340,131	-7.8%	-14.2%	-10.1%
7	구로구	174,767	217,806	392,573	153,876	189,478	343,354	-12.0%	-13.0%	-12.5%
8	금천구	87,190	184,664	271,854	76,244	159,592	235,836	-12.6%	-13.6%	-13.2%
9	노원구	197,855	181,460	379,315	172,908	155,304	328,212	-12.6%	-14.4%	-13.5%
10	도봉구	106,578	156,006	262,584	91,862	135,173	227,035	-13.8%	-13.4%	-13.5%
11	동대문구	128,095	245,745	373,840	113,088	205,921	319,009	-11.7%	-16.2%	-14.7%
12	동작구	244,122	285,628	529,750	218,950	243,565	462,515	-10.3%	-14.7%	-12.7%
13	마포구	354,129	321,538	675,667	322,003	270,479	592,482	-9.1%	-15.9%	-12.3%
14	서대문구	71,723	239,599	311,322	63,580	201,643	265,223	-11.4%	-15.8%	-14.8%
15	서초구	496,830	366,836	863,666	472,163	306,340	778,503	-5.0%	-16.5%	-9.9%
16	성동구	172,934	146,384	319,318	154,788	125,508	280,296	-10.5%	-14.3%	-12.2%
17	성북구	194,788	385,996	580,784	172,503	323,654	496,157	-11.4%	-16.2%	-14.6%
18	송파구	243,919	244,350	488,269	221,394	208,219	429,613	-9.2%	-14.8%	-12.0%
19	양천구	117,806	202,580	320,386	104,882	175,801	280,683	-11.0%	-13.2%	-12.4%
20	영등포구	257,269	235,789	493,058	232,712	201,530	434,242	-9.5%	-14.5%	-11.9%
21	용산구	205,595	210,986	416,581	193,187	175,073	368,260	-6.0%	-17.0%	-11.6%
22	은평구	154,236	189,969	344,205	135,081	160,420	295,501	-12.4%	-15.6%	-14.1%
23	종로구	139,187	171,129	310,316	126,397	140,146	266,543	-9.2%	-18.1%	-14.1%
24	중구	626,901	274,753	901,654	557,395	211,839	769,234	-11.1%	-22.9%	-14.7%
25	중랑구	135,015	156,914	291,929	119,348	136,989	256,337	-11.6%	-12.7%	-12.2%
	Total	5,500,226	5,857,615	11,357,841	4,961,295	4,953,571	9,914,866	-9.8%	-15.4%	-12.7%

지하철 호선별 승차인원(Table 3)을 살펴보면, 지하철 1, 4, 5, 6, 7호선은 강우일 승차인원이 수요일 승차인원 대비 10% 이상 감소한 반면, 지하철 2, 3, 8, 9호선은 10% 이하로 승차

인원이 감소하여 강우의 영향이 적었다.

Table 3. Comparison of boarding by subway lines

Line	2012-03-21	2012-03-23	Difference	% Change
Line No. 1	614,711	548,547	-66,164	-10.8%
Line No. 2	1,569,974	1,432,229	-137,745	-8.8%
Line No. 3	568,733	525,535	-43,198	-7.6%
Line No. 4	670,580	596,281	-74,299	-11.1%
Line No. 5	609,060	541,843	-67,217	-11.0%
Line No. 6	364,949	323,100	-41,849	-11.5%
Line No. 7	625,595	558,067	-67,528	-10.8%
Line No. 8	112,821	102,364	-10,457	-9.3%
Line No. 9	235,723	218,333	-17,390	-7.4%

시간대별 버스와 지하철 승차인원을 비교하기 위해 하루를 4개의 시간대로 나누었다. 오전 첨두(7AM-9AM), 비첨두(9AM-6PM), 오후 첨두(6PM-8PM), 야간(8PM-midnight)로 나눈 결과가 Table 4에 나타나있다. 버스 승차인원의 경우 오후 첨두시간대에 약 18%의 승차인원이 감소해 강우의 영향을 많이 받은 반면, 오전 첨두시엔 14%만 감소하여 상대적으로 영향이 적었다. 이에 비해 도시철도 승차인원은 오전 첨두(14% 감소)에 강우의 영향을 많이 받았고, 오후 첨두와 야간엔 적게 받았다.

Table 4. Comparison of boarding by time periods

Bus	03-21(W)	03-23(F)	Difference	% Change	Subway	03-21(W)	03-23(F)	Difference	% Change
AM peak	1,058,374	913,072	-145,302	-14%	AM peak	1,064,334	916,648	-147,686	-14%
Off-peak	2,529,673	2,124,138	-405,535	-16%	Off-peak	2,276,277	2,057,359	-218,918	-10%
PM peak	895,325	732,808	-162,517	-18%	PM peak	1,021,709	948,376	-73,333	-7%
Night	1,046,645	892,642	-154,003	-15%	Night	905,474	833,500	-71,974	-8%
Total	5,530,017	4,662,660	-867,357	-16%	Total	5,267,794	4,755,883	-511,911	-10%

4. 결 론

교통수요에 미치는 영향요인은 내부적 요인과 외부적 요인 등 여러 가지가 있다. 최근 외부적요인과 교통수요와의 관계연구가 점차 늘어나고 있으나 강우 등 날씨와 대중교통수요와의 관계는 분석이 미비하였다. 가장 큰 이유는 대중교통 실적자료 취득의 어려움이 있으며, 실적자료를 활용하더라도 집계적인 분석(Aggregated analysis)에 국한되었다. 본 연구에서는 서울시 대중교통실적자료인 교통카드자료를 활용하여 강우가 서울시 대중교통수요에 미치는 영향을 분석하였다. 분석을 위해 강우를 포함하는 2012년 3월 중 1주일 실적자료를 활용하였다. 교통카드 이용자별 분석을 통해 요일 및 날씨와 관계없이 일반인이 83%를 차지하였다. 분석기간 중 비강우일 최대 대중교통 총승차인원은 수요일(약 1,136만명)이 가장 많았으

며 월요일(약 1,117만명)이 가장 작았다. 반면, 강우일인 금요일에는 총승차인원이 약 991만명으로 나타났다. 일반적으로 금요일의 대중교통 승차인원이 가장 많은 점을 고려하면 강우가 대중교통수요에 영향을 끼쳤다는 걸 알 수 있었다. 교통수단 유형별로 분석 한 결과, 강우일 철도 승차인원은 비강우일(수요일) 대비 약 10% 감소한 반면, 버스는 약 15% 감소하였다. 지역별로 살펴보면 서대문구, 동대문구 및 중구가 강우의 영향을 많이 받은 것으로 나타났다. 첨부와 비첨두 시간대별 승차인원을 분석한 결과, 버스는 오후 첨두시에 철도는 오전 첨두시에 강우에 의해 영향을 많이 받았다. 본 연구는 대중교통카드 실적자료 중 1주일 자료를 활용함으로 인해 그 한계가 있다. 향후 더 많은 강우 및 비강우일의 교통카드 실적자료를 활용할 수 있다면 교통계획가와 대중교통운영자들이 강우가 대중교통수요에 미치는 영향을 이해하고 이에 맞는 교통계획 및 운영스케줄을 조절 등이 가능하리라 판단된다.

참고문헌

[1] Stover, V.W and McCormack, E.D. (2012) The impact of weather on bus ridership in Pierce County, Washington, *Journal of Public Transportation*, 15(1), pp. 95-110.

[2] Guo, Z., Wilson, N.H.M., Rahbee, A. (2007) Impact of weather on transit ridership in Chicago, Illinois, *Transportation Research Record*, 2034, pp. 3-10.

[3] Lamm, R., Choueiri, E. and Mailaender, T. (1990) Comparison of operating speeds on dry and wet pavements of two-lane rural highways. *Transportation Research Record*, 1280, pp. 199–207.

[4] Ibrahim, A. T., and Hall, F. M. (1994) Effect of adverse weather conditions on speed-flow-occupancy relationships. *Transportation Research Record*, 1457, pp. 184–191.

[5] Kyte, M., Khatib, Z., Shanon, P., and Kitchener, F. (2001) Effect of weather on free-flow speed. *Transportation Research Record*, 1776, pp. 60–68.

[6] Tsapakis, I., Cheng, T., Bolbol, A. (2013) Impact of weather conditions on macroscopic urban travel times, *Journal of Transport Geography*, 28, pp. 204-211.

[7] Hofmann, M., and O'Mahony, M. (2005) The impact of adverse weather conditions on urban bus performance measures. *Intelligent Transportation Systems, IEEE*, pp. 84–89.

[8] Yi, C., Ko, J.H, Kang, Y.E., Lee, T.K. (2011) The impact of rainfall on public transport service in Seoul: Focusing on the changes in punctuality and speed of bus service, *Journal of Korea Planners Association*, 46(7), pp. 73-87.

[9] Park, K.Y., Lee, S.B. (2012) A study on the effect of adverse weather conditions on public transportation mode choice: Focusing on bus trips in Busan, Korea, *Journal of Civil Engineering*, Korean Society of Civil Engineers 32(1), pp. 23-31.

[10] Arana, P., Cabezudo, S., Penalba, M. (2014) Influence of weather conditions on transit ridership: A statistical study using data from smartcards, *Transportation Research Part A*, 59, pp. 1-12.