

2호선 혼잡구간 OD수요 분리유도를 통한 혼잡도 개선 방안 (교통카드 빅데이터 분석을 중심으로)

Load Factor Decrease In The Seoul Metro Circle Line through Analyzing Passenger OD Demand

엄진기* · 송지영 · 이광섭

Jin Ki Eom · Ji-Young Song · Kwang-Sub Lee

Abstract This study proposes a policy for urban railway travel demand management system in order to decrease the load factor of the Seoul metro Circle line, particularly for the segment between Sadang and Samsung stations, through analyzing the transit smart card data. We propose mixed train operations of the existing Circle line and a line that goes toward Samsung station in order to transport passengers that have two distinct groups: those with the destination of Samsung station and those with destinations after Samsung station. The introduction of a mixed train operation that encourages passengers passing through Samsung station to take a Circle line train will decrease the congested load factor by 11.3% during the morning peak hours using the mixed train operation of the Circle and Samsung lines. This policy could be an effective method to decrease the load factor and improve the comfort of rail passengers without extra investment in the railway facilities.

Keywords : Urban railway, Load factor, Demand management, Transit smart card data, Comfort

초 록 본 연구는 교통카드자료를 이용하여 승객 OD를 분석하고 서울시 도시철도 최대 혼잡구간인 2호선 외선구간(사당~삼성)의 혼잡도 개선을 위한 통행 수요관리 정책을 제시하였다. 삼성역 이전 목적지 승객과 삼성역 이후 목적지를 가진 승객의 수요를 분리 유도하기 위한 기존 순환선과 삼성역까지 운행하는 단절운행 열차를 혼합으로 운행하는 대안을 제시하였다. 분석결과 순환선 탑승비율이 70%이며 순환선과 삼성행 단절 열차 투입빈도가 1:3일때 최고 11.3%의 혼잡도 개선효과가 있는 것으로 분석되었다. 2호선 혼잡구간을 통과하는 수요를 분리하는 수요관리 대안은 최소의 비용으로 혼잡도를 개선함과 동시에 승객의 쾌적성 개선을 가져올 것으로 기대된다.

주요어 : 도시철도, 혼잡도, 수요관리, 교통카드데이터, 쾌적성

1. 서 론

서울시 도시철도 2호선 외선구간(사당~삼성)은 최대 혼잡구간으로써 수요대비 수송용량의 한계를 넘어 일부 구간이 오전 첨두시에 혼잡도 200%에 이를 정도로 문제를 가지고 있다. 차내 혼잡도가 상승하면 상대적으로 승객들 간의 신체접촉 및 범죄의 가능성이 증가하여 쾌적성이 나빠지며, 승객의 무리한 초과 탑승으로 인해 승하차 시간이 지연되어 후행하는 차량의 운행에도 영향을 주게 되며 전체적인 수송용량이 저하되는 등의 운영측면에서 부작용이 발생하게 된다. 따라서 도시철도를 효율적으로 이용하기 위해서 도시철도의 혼잡도를 분석하고 이를 완화할 수 있는 방안을 마련하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 도시철도 2호선의 혼잡도 완화를 위한 방안의 하나로써 승객 OD분석을 통하여 2호선 외선 이용자 중 삼성역 전·후 목적지를 가진 승객을 분리 유도하여 혼잡구간의 혼잡도를 개선하는 통행수요관리 방안을 제시하고자 한다.

본 연구에서 제시하는 대안은 영국의 사례와 같이 물리적으로 노선의 단절로 인한 환승 불편을 가져오지 않으므로 큰 폭의 혼잡도 개선을 기대하기는 어려우나, 소폭의 혼잡도 개선으로도 승객들의 단위공간 당 탑승인원이 줄어들어 쾌적성을 좀더 개선할 수 있을 것으로 기대된다. 이와 같은 대안의 효과분석은 교통카드 빅데이터 분석으로 가능하므로 본 연구에서는 2호선 승객OD분석 및 OD분리유도 방안에 따른 혼잡도 개선효과를 교통카드 OD분석을 통하여 제시하도록 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 열차 혼잡도에 대한 선행연구 및 사례를 살펴보고 혼잡도와 승객의 스트레스의 관계를 정의하며 2호선 혼잡현황을 분석한다. 3장에서

*Corresponding author.

Tel.: +82-31-460-5467, E-mail : jkom00@krii.re.kr

©The Korean Society for Railway 2014

<http://dx.doi.org/10.7782/JKSR.2014.17.6.457>

는 분석 방법론을 제시하고 순환선과 삼성형 단절운행 열차 혼합 운행에 따른 차내혼잡 완화 효과를 분석한다. 4장에서는 결론 및 향후 연구방향을 제시한다.

2. 선행연구 검토

그 동안 2호선 혼잡을 완화하기 위한 방안으로 운행 간격의 조절을 통한 고밀도 운행, 신호시스템 개량, 유치선 신설, 급행화 추진 등 다양한 방안들이 제안되었으나 현재 2호선 첨두시 운행간격은 안전 등을 고려하여 최소화 운행 중에 있으며 신호시스템 개량, 급행화 등은 상당한 비용과 시간을 요하거나 구조적으로 확장 또는 개량이 어려운 것이 현실이다. 따라서 이러한 시설투자 중심의 2호선 혼잡 개선방안 이외에 다양한 아이디어가 필요하며 이용수요 조절을 위한 통행수요관리 측면에서 혼잡도 개선은 하나의 대안이 될 수 있을 것으로 판단된다. 통행수요관리의 가장 큰 장점으로 는 별도의 시설개량 등 추가적인 비용 없이 혼잡도를 개선할 수 있다는 것이다.

본 연구에서 제시하는 방안과 유사한 해외사례는 영국의 순환선(Circle Line)이 있다. 초기에 영국 지하철의 순환선은 서울 2호선과 비슷하게 루프(loop)형태 노선으로 운영되었으나 런던중심가로 밀집하는 통행수요로 인해 혼잡이 극심하자 런던시가 혼잡완화를 위해 2009년 12월부터 Fig. 1에서 보는 바와 같이 순환하던 Circle line 을 Edgware Road 역에서 단절 운행하여 현재 나선형(spiral) 형태의 노선으로 Hammersmith와 Edgware Road 구간을 운영 중에 있다. 다만 이용의 불편을 최소화 하기 위해 Edgware Road역에서 외선과 내선의 환승은 가능하도록 운영하고 있으나 Edgware Road 역의 단절운행은 환승에 따른 불편함을 승객들에게 의도적으로 인식시켜 승객의 목적지에 따라 타 노선이용 및 수 단전환 등의 통행행태 변화를 가져왔으며, 이는 큰 비용투입 없이 혼잡도를 개선하는 데 큰 도움이 된 교통수요관리

HOW THE NEW CIRCLE LINE MIGHT WORK

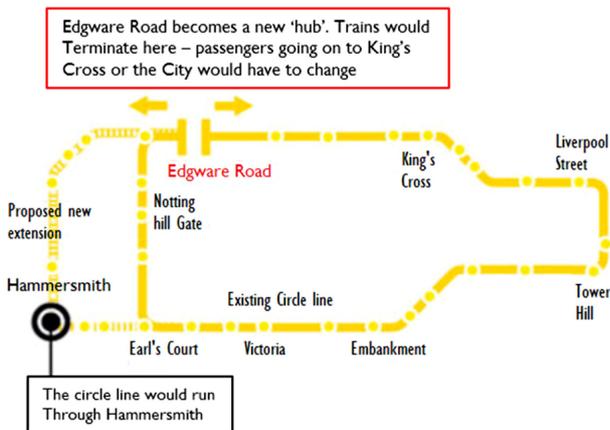


Fig. 1 A spiral urban railway travel demand management system implemented in London's Circle line

정책 사례로 볼 수 있다[1].

3. 도시철도 2호선 혼잡도 현황

3.1 혼잡도의 정의 및 영향

도시철도 혼잡도 분석을 위해 혼잡도가 무엇인지 명확하게 정의해야 한다. 혼잡도는 정량화된 수치로 표현 가능하다. 혼잡도는 식(1)과 같이 열차 내 승객이 점유할 수 있는 최대 객체 수 대비 해당영역에 위치하고 있는 객체수의 비율로써 정의할 수 있다[2].

$$\text{혼잡도}(\%) = \frac{\text{영역에 위치하고 있는 객체수}}{\text{영역에 위치할 수 있는 최대 객체수}} \quad (1)$$

국내 도시철도 운영사의 도시철도 혼잡도 측정 방식은 전 철객차 1량에 160명¹⁾이 승차한 경우의 혼잡도를 100%로 정의하고 도시철도 서비스 구간별 혼잡도 통계자료를 보고하고 있다.

혼잡도의 영향과 관련하여 여러 분야의 선행연구가 진행되었다. 혼잡은 심리적 및 신체적으로 건강에 해로우며 혼잡상황은 사람들에 의해 환경과 상황에 대하여 부정적인 평가를 내리게 할 수 있으며, 정신적 고통과 사회적 위축, 공격성, 적대감, 걱정, 인간적 상호작용에 대한 갈망, 피로, 짜증, 분노, 몰두와 같이 직간접적인 결과들을 유발하기도 한다는 연구결과가 있다[2-9]. 대중교통이용자가 혼잡한 차내에서 불가피한 신체접촉 때문에 개인프라이버시가 침해됨을 느끼고 스트레스가 증가함을 확인하였으며, Fig. 2는 코펜하겐 도시철도의 차량 내 인원이 증가함에 따라 이용자의

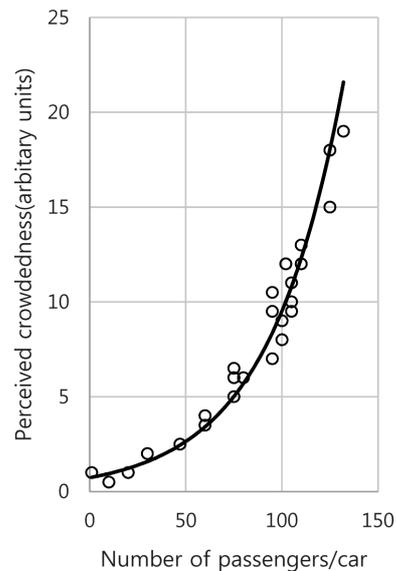


Fig. 2 Perceived intensity of crowdedness as a function of the number of passengers/cars. The simple square function is indicated using the curve drawn in the diagram

1) 대중교통카드를 활용한 도시철도 혼잡도 지표개발연구, 서울연구원, 2011.

혼잡지각이 급격하게 증가함을 나타낸 그림이다[10].

혼잡지각은 특정 밀도나 조우회수(level of encounter)에 대한 부정적 평가로 정의되며 이런 평가는 개인이 지닌 가치 판단과 내적 기준에 의해 좌우되기 때문에 밀도와 혼잡을 구분하고 있다. 밀도는 단위면적당 사람의 수를 일컫는 기술적인 용어일 뿐이나, 혼잡지각은 심리학적 영역으로 설명된다[12]. 도시철도의 혼잡지각의 증가의 의미는 차량 내 승객이 증가할 수록 부정적인 심리적 영향을 받는 것이며 정원을 넘기는 인원이 탑승할 경우 기하급수적으로 악화되는 것으로 해석 된다. 또한 차내혼잡도의 증가는 열차의 출입구 혼잡을 야기시켜 승하차 시간이 증가하게 되며 이는 열차의 지연 운행을 초래하게 된다. 엄진기 외 연구 결과에 따르면 차내혼잡이 심해지는 구간부터 도시철도가 자주 연착되며 연착시간은 이후 역까지 누적되어 영향을 끼침을 밝혔다[11]. 따라서, 높은 혼잡도는 승객의 불편과 스트레스를 증

가시키며 열차 지연으로 인해 통행시간 증가 등 사회적 비용을 유발한다.

3.2 도시철도 2호선 혼잡도 현황

서울시 도시철도 2호선 외선구간(사당~삼성)은 최대 혼잡구간 중 하나로써 수요대비 수송용량의 한계를 넘어 일부 구간은 오전 첨두시에 혼잡도 200%가 상회할 정도로 문제를 가지고 있다. 차내 혼잡도가 상승하면 상대적으로 승객들 간의 신체접촉 및 범죄의 가능성이 증가하여 쾌적성이 나빠지며, 승객의 무리한 초과 탑승으로 인해 승하차 시간이 지연되어 후행하는 차량 운행에도 영향을 주어 노선 전체 수송용량이 저하되는 등 운영 및 수송력에서 부작용이 발생하게 된다.

Table 1은 서울시 도시철도 2호선 외선구간의 혼잡도이며, Fig. 3은 2호선 외선구간의 혼잡도 현황을 지하철 노선도 상

Table 1 Observed load factors in the outer circle line (metro line 2)

| Station | Load factor | Station | Load factor | Station | Load factor |
|----------|-------------|---------|-------------|---------|-------------|
| KU | 83 | SC | 40 | BB | 195 |
| SS2 | 72 | HIU | 55 | SC | 205 |
| DS | 72 | HJ | 86 | EU | 165 |
| HYU | 69 | DS | 79 | GN | 150 |
| WSL | 81 | YDPG | 86 | YS | 121 |
| SWSL | 84 | ML | 90 | SR | 68 |
| SD2 | 82 | SDR | 109 | SS | 42 |
| DDMH | 49 | DR | 107 | MS | 43 |
| EJ2 | 59 | GRD | 96 | SC2 | 46 |
| EJ3 | 74 | SDB | 111 | JS | 48 |
| EJ | 43 | SL | 158 | JSNR | 54 |
| Cityhall | 46 | BC | 170 | GB | 62 |
| CJ | 43 | SNU | 185 | GU | 69 |
| AH | 39 | NSD | 213 | | |
| EHU | 38 | SD | 226 | | |

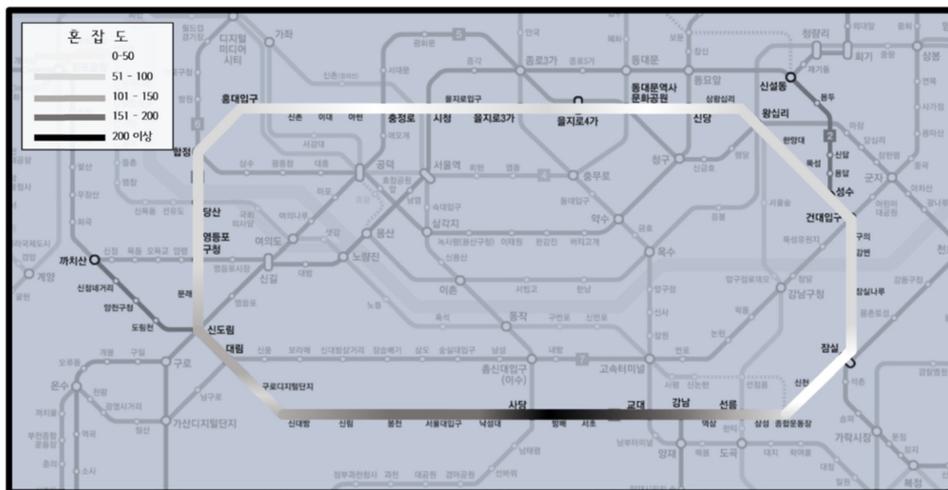


Fig. 3 Crowdedness of outer circle line (metro line 2)

에 표시한 것이다. 본 연구에서는 도시철도 운영기관(서울메트로)에서 조사하여 발표하는 10분간격 혼잡도 자료 중 최고혼잡도를 기록하는 시간인 8시 20~30분 자료를 활용하였으며, 혼잡도 50단위로 색을 구분하였다. 151이상의 혼잡도를 나타내는 구간은 신림에서 강남까지로 주로 한강이남 도심지역에 나타났으며, 매우 혼잡하여 검정색으로 강조된 혼잡도 200이상 구간은 낙성대~사당~서초구간이다. 혼잡도 200 이상은 객실통로와 출입구에 입석이 약 5열이상으로 승차한계에 가까운 혼잡을 의미한다.

4. 분석 방법론 및 분석결과

4.1 분석 방법론

교통카드 OD분석결과 Fig. 4와 같이 2호선 각 역(홍대입구~선릉)에서 탑승하여 혼잡구간(사당~삼성)에서 하차하는 승객이 약 91%를 구성하고 있으며, 비 혼잡 구간인 삼성역 이후 역(종합운동장~잠실나루)에서 하차하는 승객비율은 약 9%를 차지하는 것으로 나타났다(부록 OD표 참조). 따라서 본 연구에서는 통행 OD수요 분리유도를 위해 삼성역까지만 운행하는 단절운행 열차와 기존 순환선과의 혼합 운행 방안을 제안한다. 즉 OD수요에 맞게 분리유도 대상으로 이들 9% 승객에 대해 순환선 서비스를 달리 제공하는 것이다.

분석시나리오는 운영대안에 따른 시나리오와 승객의 선택 유형에 따른 시나리오로 각각 설정하였다. 운영대안은 총 3가지이며 시나리오 A는 총 4대의 열차 운행 시 외선 순환선 3대와 외선 삼성행 1대, 시나리오 B는 외선 순환선 2대

와 외선 삼성행 2대, C는 외선 순환선 1대와 외선 삼성행 3대의 비율로 운영되는 대안이다. 승객의 선택유형은 OD수요분석에서 확인된 삼성 이후 하차 OD수요 9% 중 외선 순환선을 탑승을 위해 외선 삼성행 열차에 탑승하지 않고 역사에서 대기하는 승객의 비율을 30%, 50%, 70%로 가정하여 시나리오를 설정하였다. Table 2는 9가지 시나리오에 해당하는 OD변화 비율이며 삼성 이후 하차 OD수요에 각 시나리오 별 확률을 계산한 값이다. 분석에 활용된 자료는 도시철도 운영기관에서 발표하는 혼잡도 및 재차 인원 자료(2012년기준)와 2012년 3월 22일에 집계된 서울시 대중교통 개별승객 스마트카드 데이터의 전일 데이터와 함께 사용하였으며, 교통카드자료로 2호선 역간 OD분석을 통해 2호선 혼잡도 개선 효과 분석을 수행하였다.

본 연구에서는 교통카드로 혼잡도를 산정하는 것은 현실적으로 매우 어려우므로 Table 3과 같이 도시철도 운영기관에서 제공하고 있는 승객수에 따른 혼잡도 기준을 준용하여 시나리오 별로 분석된 수요 감소에 따른 혼잡도를 비율적으로 산정하였다. 단 카드데이터 수집시기와 2호선 연계 환승노선(분당선 연장선)의 개통시기의 차이로 인해 타 노선에서 환승하는 승객은 편의상 분석대상에서 제외 하였다.

4.2 분석 결과

Table 4는 최고 혼잡구간인 사당-방배구간에 대하여 시나리오 별 분석결과를 오전 첨두 시간대인 08시부터 08시 30분에 대해 10분 간격으로 요약하여 제시한 것이다. 2호선의 최고 혼잡을 기록하는 사당-방배 구간의 오전 첨두시 혼잡

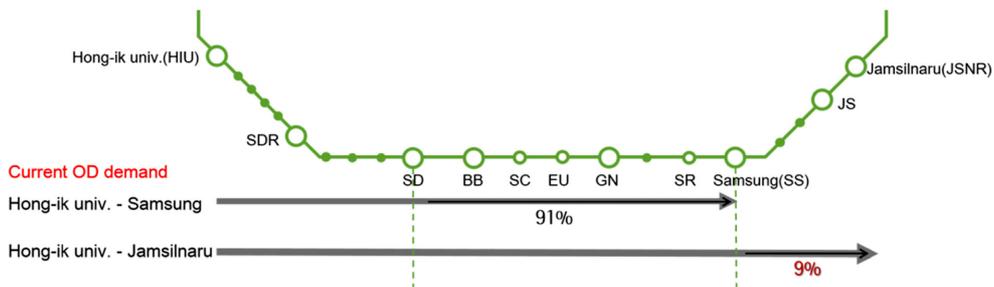


Fig. 4 Transit volume in morning peak times

Table 2 Scenarios by urban railway travel demand management

| | | Scenario by operation | | | |
|--------------------------------|------------|-----------------------|---------------------|---------------------|-------|
| | | Scenario A | Scenario B | Scenario C | |
| | | Circling 3:For SS 1 | Circling 1:For SS 1 | Circling 1:For SS 3 | |
| Scenario by passengers' choice | Scenario 1 | 30% | 0.68% | 1.35% | 2.03% |
| | Scenario 2 | 50% | 1.13% | 2.25% | 3.38% |
| | Scenario 3 | 70% | 1.58% | 3.16% | 4.73% |

Table 3 Load factor defined by Seoul Metro

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Passenger | 38 | 54 | 94 | 120 | 160 | 184 | 216 | 240 | 280 | 320 | 268 | 400 | 432 |
| Load factor (%) | 24 | 34 | 59 | 75 | 100 | 115 | 135 | 150 | 175 | 200 | 230 | 250 | 270 |

Table 4 Decrease of the congested load factor using travel demand management (%)

| | Time | 08:10 ~ | 08:20 ~ | 08:30 ~ | 08:10 ~ | 08:20 ~ | 08:30 ~ | 08:10 ~ | 08:20 ~ | 08:30 ~ | |
|-----------------------|-------------------|-------------|---------|---------|------------|---------|---------|------------|---------|---------|-------|
| | | Before | 205.0 | 238.0 | 194.0 | | | | | | |
| Congested load factor | After enforcement | Scenario a | | | Scenario b | | | Scenario c | | | |
| | | Scenario 1 | 203.6 | 236.4 | 192.7 | 202.2 | 234.8 | 191.4 | 200.8 | 233.2 | 190.1 |
| | | Improved(%) | -1.4 | -1.6 | -1.3 | -2.8 | -3.2 | -2.6 | -4.2 | -4.8 | -3.9 |
| | | Scenario 2 | 202.7 | 235.3 | 191.8 | 200.4 | 232.6 | 189.6 | 198.1 | 230.0 | 187.4 |
| | | Improved(%) | -2.3 | -2.7 | -2.2 | -4.6 | -5.4 | -4.4 | -6.9 | -8.0 | -6.6 |
| | | Scenario 3 | 201.8 | 234.2 | 190.9 | 198.5 | 230.5 | 187.9 | 195.3 | 226.7 | 184.8 |
| | | Improved(%) | -3.2 | -3.8 | -3.1 | -6.5 | -7.5 | -6.1 | -9.7 | -11.3 | -9.2 |

Table 5 Descriptions of the conditions according to the level of passenger load factor

| Load factor(%) | Passenger/car | Condition figure | Descriptions |
|----------------|---------------|---|--|
| 34 | 54 |  | All passenger seated |
| 100 | 160 |  | Passenger standing on 3 lows, 2 persons standing at each door |
| 230 | 360 |  | Passenger standing on 5 lows, 30~40 passenger standing at each door |

source: 『Congestion index of urban rail transit using public transportation card data』, Seoul Institute, 2011

도를 대상으로 각 시나리오 별 혼잡도를 분석한 결과 순환선 탑승비율이 30%이며 순환선과 삼성행 열차 투입빈도를 3:1로 가정하였을 경우 최소 1.3%의 혼잡도 개선 효과(08:30)를 보이고 있으며, 순환선 탑승비율이 70%이며 순환선과 삼성행 열차 투입빈도 1:3에서 최고 11.3%의 혼잡도 개선효과(08:20)가 있는 것으로 분석되었다(개선 전 혼잡도 238에서 개선 후 혼잡도 227(시나리오 C-3)). 기타 분석대상 구간인 사당-삼성 노선의 구간별 혼잡도 완화 효과에 대한 분석 결과는 부록에 별도 첨부하였다.

이러한 분석결과는 삼성역까지 운행하는 단절 노선은 2호선 외선구간 역(홍대입구~선릉 사이)에서 탑승하여 최대 혼잡구간인 사당~삼성구간에 하차하는 OD와 삼성역 이후 역(종합운동장~잠실나루)에서 하차하는 OD수요가 분리될 수 있도록 유도함으로써 혼잡도 개선효과를 기대할 수 있음을 알 수 있다. 삼성역까지 운행하는 단절노선의 도입은 각 역에서 삼성역 이후 역에 목적지를 가진 승객들이 각 역에서 선택적으로 열차를 탑승할 수 있으므로 열차 내 혼잡을 개별 역사로 분산 이전하는 효과를 기대할 수 있다. 더불어 7호선 및 9호선으로 노선 전환 및 내선방향(반대방향)으로 수요전이를 기대할 수 있으며 환승역(사당, 교대, 강남, 선릉)에서 2호선으로 환승하여 삼성 이후 역으로 가려는 승객들의 노선 및 수단전환을 기대할 수 있다.

Table 5에서 보는 바와 같이 혼잡도 230에서는 40명 가까이 되는 승객이 출입구에 탑승하여 더 이상 승객을 태우기가 어려운 승차한계로 볼 수 있으며, 열차 내 승객 1인당 점유하는 공간이 여유가 없이 밀착되어 있는 상태를 의미한다. 따라서 혼잡도 200이상에서는 소수의 승객만 더 탑승하더라도 승객이 느끼는 혼잡지각은 상당히 나빠질 것으로 예상

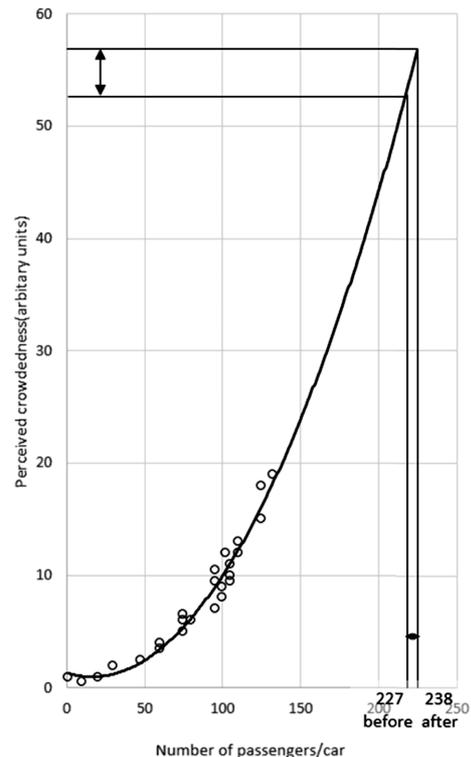


Fig. 5 Changes of the perceived crowdedness due to the decreased load factor

되며, 반대로 소수의 승객이 하차함에도 승객이 느끼는 혼잡지각은 상대적으로 개선될 것으로 판단된다.

앞에서 언급한 혼잡도와 스트레스간의 상호관계를 임상적

으로 설명하는 연구자료를 기반으로 혼잡도 감소에 의한 혼잡지각 및 통행자의 불편 개선 정도를 살펴보면 그림 5에서 보는 바와 같이 개선 전 혼잡도 238에서 개선 후 227에서 비록 혼잡도는 소폭의 개선 효과를 보이지만 혼잡지각 지수의 개선 폭은 혼잡도의 개선 보다 매우 클 것으로 기대된다. 이러한 결과는 승객의 혼잡지각이 탑승객이 늘어날수록 급격하게 나빠짐에 따라 11.3%의 혼잡도 개선도 승객에게는 이 보다 큰 수치의 혼잡지각 개선 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서 언급하고 있는 단절운행열차는 삼성역에서 모든 승객을 하차시키고 다음역인 종합운동장에서 정상적으로 승객을 태우게 하는 방식으로써 열차 단절에 따른 용량 감소를 최소화 할 수 있으며, 후행 열차를 위한 대피선 등에 대한 시설검토가 불필요한 장점이 있다. 그러나 침두시 삼성역에서 승객을 모두 하차시킬 경우 승객하차에 소요되는 시간으로 인해 후행하는 열차의 지체를 가져오는 부정적인 영향이 있을 수 있으므로 승객수요가 적은 종합운동장에서 이러한 단절 운행하는 것을 대안으로 검토할 수 있다.

결론적으로 2호선 혼잡구간 OD수요 분리 유도는 열차운영 방식을 순환선과 삼성행 단절노선으로 혼합 운행 함으로써 최대 혼잡구간인 사당-삼성역 구간의 혼잡도 감소를 기대할 수 있으며 이에 따라 혼잡지각 감소효과 또한 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 교통카드자료를 이용하여 승객 OD분석을 통해 서울시 도시철도 최대 혼잡 구간 중 하나인 2호선 외선구간(사당~삼성)의 혼잡도 개선을 위해 사당~삼성구간 목적지 승객과 삼성역 이후 목적지를 가진 승객의 통행을 분리 유도하기 위한 방안으로써 순환선과 삼성역까지 운행하는 단절운행 열차를 혼합으로 운행하는 대안을 제시하였다. 분석 결과 순환선 탑승비율이 30%이며 순환선과 삼성행 열차 투입빈도를 3:1로 가정하였을 경우 최소 약 1.3%의 혼잡도 개선 효과가 나타났으며, 순환선 탑승비율이 70%이며 순환선과 삼성행 열차 투입빈도 1:3에서 최고 11.3%의 혼잡도 개선효과가 있는 것으로 분석되었다.

교통수요관리를 통한 혼잡도 개선효과를 극대화 하기 위해서는 영국의 사례에서 보는 바와 같이 삼성역에서 순환선을 물리적으로 분리시키는 것이 좋을 것으로 판단되나 본 연구의 취지는 승객의 불편을 최소화 하면서 추가적인 환승 시설 설치 없이 최소 비용으로 2호선 혼잡을 완화하는 것이 목표이므로 분석결과와 같이 소규모의 통행OD 분리에도 승객들이 느끼는 쾌적성은 훨씬 크게 개선될 것으로 기대된다.

본 연구의 정책적 효과를 기대하기 위해서는 통행수요관리 취지에 맞게 외선 이용자 중 목적지가 삼성역 이후인 승객들이 타 노선 이용, 내선 순환선 이용, 대체 대중교통 수단 이용 등 통행행태 변화가 필요하며, 순환선과 삼성행 열차의 투입빈도가 적절해야만 차내 혼잡을 개별 역사로 분산시킬 수 있을 것이다. 또한 2호선과 환승되는 노선인 3호선,

신분당선, 분당선 등에서 유입되는 승객의 통행을 고려한다면 본 연구의 분석결과보다 더 큰 효과가 있을 것으로 기대된다. 다만 본 연구에서 제시한 대안은 다수의 편의를 위해 소수의 불편함이 있을 수 있으므로 혼잡도가 높은 특정 시간(출퇴근)에만 적용하는 방안이 필요할 것으로 판단된다. 또한 단절운행열차의 도입으로 인해 순환선 승객의 대기시간 증대 및 통행시간 증가에 따른 불편함이 예상되고, 열차내 혼잡은 완화될 수 있으나 역사 내 대기공간이 혼잡할 수 있으므로 향후 열차 스케줄과 각 역사 별 혼잡도 등을 고려해야 할 필요성이 있다.

단절열차운영 전략의 실현 가능성에 대한 기술적인 한계점으로는 본 연구에서 제시한 삼성행 열차는 삼성역에서 모든 승객을 하차시키고 다음역인 종합운동장에서 다시 정상적으로 승차시키는 방식으로써 승객들이 이러한 운영상황을 인지 할 경우 삼성역 이후 목적지를 가진 승객들이 하차하지 않는 상황이 예상되므로 안내인력 배치, 열차내 소등 등으로 하차를 적극 유도할 필요가 있다. 또한 삼성역에서 모든 승객이 하차시 이에 소요되는 시간이 뒤 따르는 열차의 지연 운행을 가져 올 가능성이 있다. 따라서 단절운행 전략 도입을 위한 선결과제로서 기존 운행스케줄에 영향을 주지 않는 범위의 운행스케줄 설정, 단절열차 운행에 따른 역사 내 혼잡도 가중여부, 2호선 운영수입 감소 여부 등에 대한 기술적 검토가 필요하며 정책적으로 지하철 2호선 수요관리의 필요성을 홍보하며, 제시된 방법론의 실제 운영가능성 여부 및 시범적 운영을 통한 실효성 검토가 추가적으로 필요할 것이다.

References

- [1] <http://london-underground.blogspot.kr/2008/10/circle-line-to-become-semi-circle-line.html>
- [2] Y. Gang, C. Lee, S. Lee (2014) A study on the factors affecting crowding degree in the subway train considering the seoul metropolitan subway network and the land use of its catchment area, *Journal of Korea planners association*, 49(1), pp. 203-218.
- [3] S. Cho, J. Song, I. Jung, J. Park (2013) A study on the way how to mitigate congestion on Seoul subway Line 2, *Proceedings of the Korean Society for Railway conference 2013*, Pyung-Chang, pp. 193-203.
- [4] T. Cox, J. Houdmont, A. Griffiths (2006) Rail passenger crowding, stress, health and safety in Britain, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 40(3), pp. 244-258.
- [5] L.C. Freeman (1977) A set of measures of centrality based on betweenness, *Sociometry*, 40(1), pp. 35-41.
- [6] Richard E. Wener, Gary W. Evans (2004) The impact of mode and mode transfer on commuter stress, the Montclair connection, NJDOT Research project report, NJ.
- [7] S. Jang, J. Go, H. Lim, S. Lee (2012) An analysis on the Congestion of the Seoul metropolitan subway considering the land-use pattern of the area of the adjacent stations, *The International Symposium on Urban Planning*, Taipei, pp.271-282.

- [8] R. Prud'homme, M. Koning, L. Lenormand, A. Fehr (2012) Public transport congestion costs: the case of the Paris subway, *Transport Policy*, 21, pp. 101-109.
- [9] A. Tirachini, D.A. Hensher, J.M. Rose (2013) Crowding in public transport systems: effects on users, operation and implications for the estimation of demand, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 53, pp. 36-52.
- [10] U. Lundberg (1976) Urban commuting: crowdedness and catecholamine excretion, *Journal of Human Stress*, 2(3), pp. 26-36.
- [11] J. Eom, M. Choi, D. Kim, J. Lee, J. Song (2012) Evaluation of metro services based on transit smart card data, *Journal of the Korean society for railway*, 15(1), pp. 80-87.
- [12] B. Shelby, J. Vaske, T. Heberlein (1989) Somparative analysis of crowding in multiple locatioins, Result from 15 years of research. *Leisure science*, 11, pp. 269-291.

접수일(2014년 9월 24일), 수정일(2014년 11월 19일),
게재확정일(2014년 12월 9일)

Jin Ki Eom: jkom00@krii.re.kr
Transportation system research team, Korea Railroad Research Institute,
#360-1, Woram-Dong, Uiwang-City, Gyunggi-Do 437-757, Korea

Ji-Young Song: jysong@krii.re.kr
Department of Transportation and logistics & ITS engineering, Uni-
versity of Science and technology, #360-1, Woram-Dong, Uiwang-
City, Gyunggi-Do 437-757, Korea

Kwang-Sub Lee: leeks33@krii.re.kr
Transportation system research team, Korea Railroad Research Institute,
#360-1, Woram-Dong, Uiwang-City, Gyunggi-Do, 437-757, Korea

Appendix

A1. OD Volume of Circle Line 2

Table 1 O/D demand on outer circle line (metro line 2, from HIU to JSNR)

| O/D | HIU | HJ | DS | YDPG | ML | SDR | DR | GRD | SDB | SL | BC | SNU | NSD | SD | BB | SC | EU | GN | YS | SR | SS | MS | SC2 | JS | JSNR | Total |
|-------|-----|----|-----|------|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-------|-----|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-----|-----|-------|------|--------|
| HIU | 2 | 60 | 92 | 108 | 119 | 170 | 95 | 322 | 61 | 71 | 18 | 89 | 45 | 111 | 65 | 60 | 69 | 227 | 225 | 206 | 247 | 16 | 11 | 102 | 27 | 2,618 |
| HJ | | 1 | 63 | 85 | 120 | 101 | 95 | 299 | 42 | 69 | 13 | 65 | 18 | 51 | 39 | 40 | 63 | 123 | 121 | 117 | 131 | 11 | 10 | 58 | 15 | 1,750 |
| DS | | | | 45 | 101 | 151 | 125 | 489 | 43 | 69 | 35 | 129 | 60 | 85 | 61 | 39 | 19 | 88 | 119 | 181 | 183 | 12 | 10 | 77 | 23 | 2,144 |
| YDPG | | | | | 31 | 57 | 68 | 172 | 34 | 39 | 11 | 57 | 37 | 69 | 48 | 37 | 35 | 117 | 130 | 115 | 132 | 7 | 6 | 31 | 5 | 1,238 |
| ML | | | | | | 37 | 60 | 155 | 25 | 37 | 12 | 46 | 21 | 81 | 39 | 129 | 50 | 177 | 143 | 132 | 123 | 5 | 6 | 36 | 1 | 1,315 |
| SDR | | | | | | | 69 | 363 | 88 | 154 | 63 | 167 | 92 | 246 | 142 | 199 | 219 | 701 | 512 | 498 | 482 | 39 | 16 | 150 | 18 | 4,218 |
| DR | | | | | | | 3 | 124 | 51 | 133 | 65 | 119 | 55 | 196 | 110 | 122 | 173 | 502 | 343 | 267 | 306 | 34 | 13 | 116 | 23 | 2,755 |
| GRD | | | | | | | | | 35 | 99 | 57 | 143 | 108 | 340 | 238 | 293 | 376 | 1,049 | 782 | 743 | 656 | 61 | 35 | 280 | 31 | 5,326 |
| SDB | | | | | | | | | | 58 | 39 | 108 | 74 | 269 | 142 | 153 | 225 | 542 | 380 | 340 | 339 | 27 | 12 | 120 | 19 | 2,847 |
| SL | | | | | | | | | | | 90 | 273 | 249 | 1,181 | 594 | 659 | 893 | 2,225 | 1,470 | 1,393 | 1,299 | 114 | 71 | 433 | 61 | 11,005 |
| BC | | | | | | | | | | | 74 | 74 | 111 | 500 | 178 | 216 | 287 | 720 | 459 | 440 | 417 | 40 | 23 | 137 | 15 | 3,617 |
| SNU | | | | | | | | | | | | | 64 | 765 | 330 | 527 | 636 | 1,728 | 1,046 | 1,032 | 1,023 | 77 | 48 | 288 | 34 | 7,598 |
| NSD | | | | | | | | | | | | | | 416 | 207 | 285 | 361 | 1,009 | 624 | 615 | 566 | 45 | 37 | 188 | 21 | 4,374 |
| SD | | | | | | | | | | | | | | 2 | 275 | 402 | 529 | 1,258 | 1,025 | 1,045 | 987 | 61 | 44 | 266 | 44 | 5,938 |
| BB | | | | | | | | | | | | | | | | 115 | 172 | 416 | 230 | 230 | 236 | 19 | 19 | 90 | 16 | 1,543 |
| SC | | | | | | | | | | | | | | | | | 22 | 154 | 182 | 206 | 196 | 16 | 12 | 57 | 10 | 855 |
| EU | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 96 | 261 | 284 | 309 | 23 | 16 | 88 | 7 | 1,085 |
| GN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 705 | 912 | 1,165 | 62 | 48 | 274 | 31 | 3,197 |
| YS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 87 | 147 | 13 | 16 | 91 | 13 | 367 |
| SR | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 132 | 21 | 19 | 127 | 15 | 314 |
| SS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 27 | 29 | 111 | 21 | 188 |
| MS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 87 |
| SC2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 193 |
| JS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 73 |
| Total | 2 | 61 | 155 | 238 | 371 | 516 | 515 | 1,924 | 379 | 729 | 403 | 1,270 | 934 | 4,312 | 2,468 | 3,276 | 4,130 | 11,132 | 8,757 | 8,843 | 9,076 | 730 | 522 | 3,327 | 575 | 64,645 |

A2. Decrease of the Congested Load Factor Using Travel Demand Management (%)

Table 2 Decrease of the congested load factor using travel demand management(from SD to SS, Scenario 1-A ~ 3-C)

| Before enforcement | | | | | | | | | |
|--------------------|--------------|------|------|--------------|------|------|--------------|------|------|
| | 8:10 | 8:20 | 8:30 | | | | | | |
| SD | 205 | 238 | 194 | | | | | | |
| BB | 206 | 206 | 208 | | | | | | |
| SC | 178 | 215 | 214 | | | | | | |
| EU | 177 | 171 | 197 | | | | | | |
| GN | 140 | 155 | 173 | | | | | | |
| YS | 116 | 124 | 120 | | | | | | |
| SR | 72 | 70 | 75 | | | | | | |
| SS | 41 | 42 | 41 | | | | | | |
| After enforcement | | | | | | | | | |
| | Scenario 1-A | | | Scenario 1-B | | | Scenario 1-C | | |
| | 8:10 | 8:20 | 8:30 | 8:10 | 8:20 | 8:30 | 8:10 | 8:20 | 8:30 |
| SD | 204 | 236 | 193 | 202 | 235 | 191 | 201 | 233 | 190 |
| BB | 205 | 205 | 207 | 203 | 203 | 205 | 202 | 202 | 204 |
| SC | 177 | 214 | 213 | 176 | 212 | 211 | 174 | 211 | 210 |
| EU | 176 | 170 | 196 | 175 | 169 | 194 | 173 | 168 | 193 |
| GN | 139 | 154 | 172 | 138 | 153 | 171 | 137 | 152 | 169 |
| YS | 115 | 123 | 119 | 114 | 122 | 118 | 114 | 121 | 118 |
| SR | 72 | 70 | 74 | 71 | 69 | 74 | 71 | 69 | 73 |
| SS | 41 | 42 | 41 | 40 | 41 | 40 | 40 | 41 | 40 |
| | Scenario 2-A | | | Scenario 2-B | | | Scenario 2-C | | |
| | 8:10 | 8:20 | 8:30 | 8:10 | 8:20 | 8:30 | 8:10 | 8:20 | 8:30 |
| SD | 203 | 235 | 192 | 200 | 233 | 190 | 198 | 230 | 187 |
| BB | 204 | 204 | 206 | 201 | 201 | 203 | 199 | 199 | 201 |
| SC | 176 | 213 | 212 | 174 | 210 | 209 | 172 | 208 | 207 |
| EU | 175 | 169 | 195 | 173 | 167 | 193 | 171 | 165 | 190 |
| GN | 138 | 153 | 171 | 137 | 152 | 169 | 135 | 150 | 167 |
| YS | 115 | 123 | 119 | 113 | 121 | 117 | 112 | 120 | 116 |
| SR | 71 | 69 | 74 | 70 | 68 | 73 | 70 | 68 | 72 |
| SS | 41 | 42 | 41 | 40 | 41 | 40 | 40 | 41 | 40 |
| | Scenario 3-A | | | Scenario 3-B | | | Scenario 3-C | | |
| | 8:10 | 8:20 | 8:30 | 8:10 | 8:20 | 8:30 | 8:10 | 8:20 | 8:30 |
| SD | 202 | 234 | 191 | 199 | 230 | 188 | 195 | 227 | 185 |
| BB | 203 | 203 | 205 | 199 | 199 | 201 | 196 | 196 | 198 |
| SC | 175 | 212 | 211 | 172 | 208 | 207 | 170 | 205 | 204 |
| EU | 174 | 168 | 194 | 171 | 166 | 191 | 169 | 163 | 188 |
| GN | 138 | 153 | 170 | 136 | 150 | 168 | 133 | 148 | 165 |
| YS | 114 | 122 | 118 | 112 | 120 | 116 | 111 | 118 | 114 |
| SR | 71 | 69 | 74 | 70 | 68 | 73 | 69 | 67 | 71 |
| SS | 40 | 41 | 40 | 40 | 41 | 40 | 39 | 40 | 39 |