

도시철도 서비스수준별 보행속도 및 어깨회전각 연구

Research on the Velocity & Shoulder Movement of the Metro-railway Station Passengers

김광모¹, 박용걸², 김진호³

Kwang Mo Kim, Y.G. Park, Jin Ho Kim

Abstract This research suggests passenger velocity & shoulder movement angle according to the existent Fruin's 6 kinds of Level of Service. As LOS decreases, passenger velocity decreases and shoulder movement increases except LOS F.

Keywords : Level of Service, Passenger Velocity, Shoulder Movement

초 록 도시철도 건설이 증가하고 일부 정거장에서 혼잡이 심해지고 있으나 이를 측정하기 위한 효과척도가 다양화되어 있지 않다. 이에 본 연구에서는 종전의 Fruin 이 제시한 공간모듈별 서비스수준에 따른 보행속도 및 어깨회전각에 대해 고찰하였다. 서비스수준(Level of Service, LOS)가 낮아질수록 보행속도가 낮아지고 어깨회전각은 증가하는 것으로 나타났다. 다만 어깨회전각은 LOS F에서는 다시 저하되는 것으로 나타났다.

주요어 : Level of Service, 보행속도, 어깨회전각

1. 도시철도 보행서비스 수준에 관한 고찰

최근 국가 및 지자체에서 광역도시권의 교통문제 해소 방안으로 도시철도를 건설하고 있으며 철도시설에서 이용객이 직접적으로 체감하는 승강장 및 환승 통로의 경우 혼잡으로 인한 안전사고 위험과 민원이 다수 발생하고 있다. 또한 수도권 일부 정거장의 경우 하루 이용객수가 20만명을 훌쩍 넘고 있으나 이용객 수만으로 혼잡의 정도를 측정하기 어렵고 이를 측정하기 위한 지표도 다양화 되지 않고 있다. 이에 본 연구에서는 종전에 John J Fruin이 제시한 이론에 근거한 편의성의 정도를 측정하기 위한 실내 모의 실험을 통해 각 서비스수준에서의 보행속도를 평가해보고 보행자의 서비스수준별 어깨회전각에 대한 실험을 통해 새로운 지표를 개발 및 제시 해 보고자 하였다.

2. 도시철도 보행서비스수준에 관한 고찰

2.1 관련 지침

¹ 교신저자: 한국과학기술대학교 철도전문대학원(brentkmkim@gmail.com)

² 한국과학기술대학교 철도전문대학원

³ 철도기술연구원 책임연구원

도시철도 건설시 사용하고 있는 “도시철도 정거장 및 환승.편의시설 설계 지침”에서는 서비스수준은 이용객이 느낄 수 있는 편의성의 정도를 수치적인 척도로 설명한 것으로, A 에서 F 까지 6 단계로 나눌 수 있고 서비스 수준 A 는 가장 좋은 상태, 서비스수준 F 는 가장 나쁜 상태를 의미한다. 본 지침에서는 투자재원의 효율성과 사회적.경제적인 측면을 고려하여 이용객의 수가 가장 많은 첨두시간대를 기준으로 하여 승강장 및 내.외부 계단의 서비스수준을 D 이상, 환승통로에서의 서비스수준을 E 이상으로 하고 있다. 보행로에서의 기준은 다음 표와 같으며 효과적도로는 공간모듈, 흐름계수, 밀도를 사용하고 있다.

서비스 수준	공간모듈 (m ² /인)	흐름계수 (인/m.분)	밀도 (인/m ²)	보행상태
A	3.5 이상	20 이하	0.3 이하	보행속도의 자유선택 가능
B	2.5-3.5	20-30	0.4-0.3	정상속도로 같은방향 추월 가능
C	1.5-2.5	30-45	0.7-0.4	보행속도 추월의 자유도 제한
D	1.0-1.5	45-60	1.0-0.7	보행속도 제한
E	0.5-1.0	60-80	2.0-1.0	자신의 보통 보행속도 불가
F	0.5 이하	80 이상	2.0 이상	떠밀리는 걸음, 정지상태

도로에서의 기준은 국토교통부 도로용량편람(HCM : Highway Capacity Manual)에 의하면 보행자도로에서 보행자 서비스 수준은 아래표에 나타난 바와 같으며, 효과적도로는 보행교통류율, 보행점유공간, 밀도 및 속도를 활용하고 있다.

서비스수준	보행교통류율 (인/분/m)	점유공간 (m ² /인)	밀도 (인/m ²)	속도 (m/분)
A	≤ 20	≥ 3.3	≤ 0.3	≥ 75
B	≤ 32	≥ 2.0	≤ 0.5	≥ 72
C	≤ 46	≥ 1.4	≤ 0.7	≥ 69
D	≤ 70	≥ 0.9	≤ 1.1	≥ 62
E	≤ 106	≥ 0.38	≤ 2.6	≥ 40
F	-	< 0.38	> 2.6	< 40

출처 : 국토교통부(2015), 도로용량편람

2.2 Fruin Theory

“도시철도 정거장 및 환승.편의시설 설계 지침”에서 제시하고 있는 설계지침은 John J Fruin 이 고안한 것으로 대기공간, 보행공간, 계단 3 군데 장소에서의 각 서비스수준별 밀도,

흐름계수, 공간모듈을 정의하고 있다. 흐름 계수(F)는 흐름의 방향에 수직이 단위폭 W 의 단면을 단위시간 안에 통과하는 보행자수로 유동계수 혹은 유율이라고도 부르며 F(인/m·sec)로 표시한다. 보행 속도(V)는 군집의 경우 그 군집 평균속도를 말하며 V(m/sec)로 표시한다. 군집 밀도(ρ)는 관찰대상인 보행공간의 단위 면적당의 보행자수이며 일반적으로 1 m²당의 인원수 ρ(인/m²)로 표시한다. 공간모듈(M)은 밀도의 역수, 즉 1 인당 점유하는 면적을 지표로 module (m²/인)로 표시한다. 이는 군집의 행동 특성 중 유동 밀도를 나타내기 위해 J. J. Fruin 이 만든 것으로 각 개인에 근거한 이유로 인해 평형성이 양호하며 M 으로 표시한다. Fruin 의 보행계획의 기초 방정식은 유체역학이론과 유사하게 유도되며 흐름계수를 아래식과 같이 나타냈다.

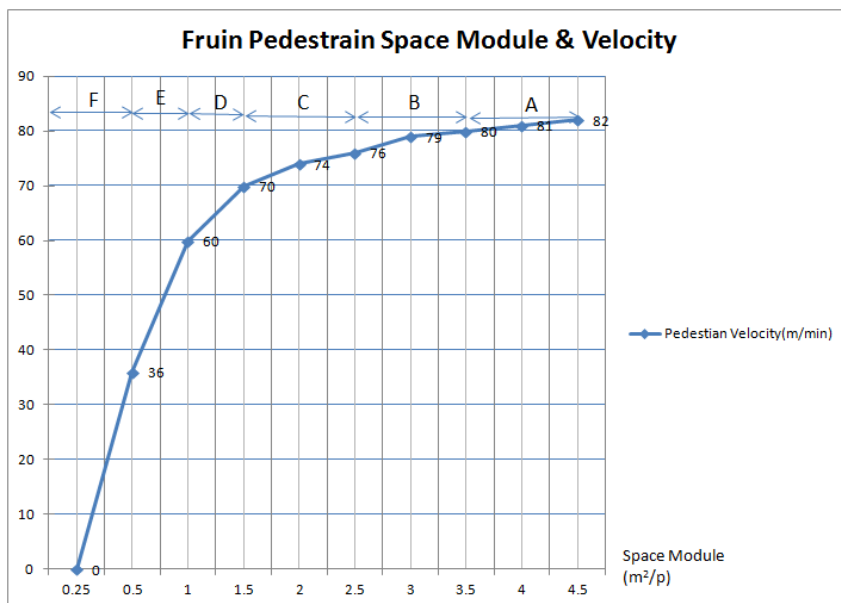
$$\text{흐름계수}(F) = \text{평균밀도}(\rho) * \text{평균속도}(V)$$

여기서, F= 보행교통류율(흐름계수) (인/분/m)

ρ= 보행밀도 (인/m²)

V= 보행속도 (m/분)

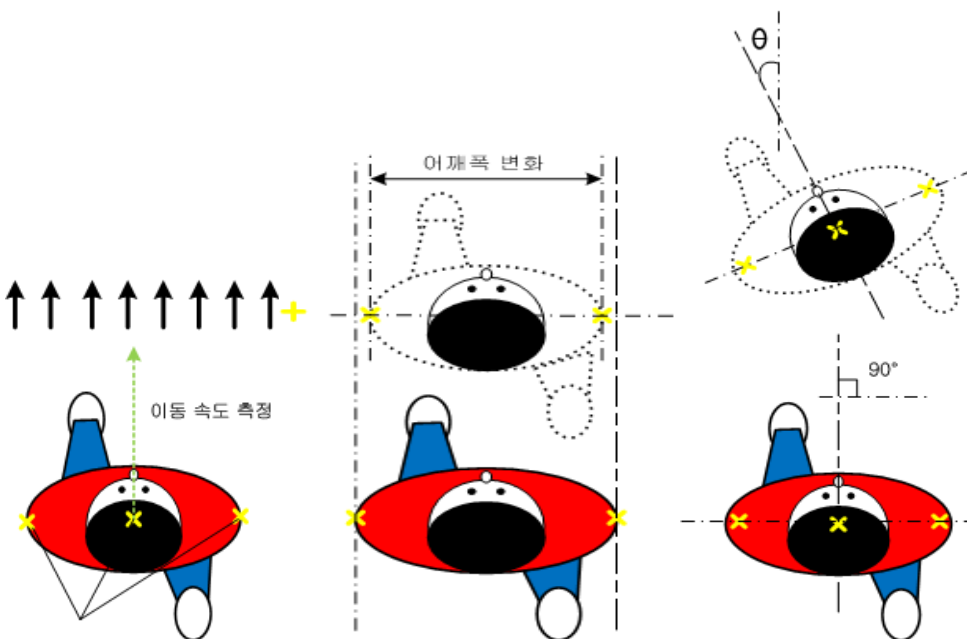
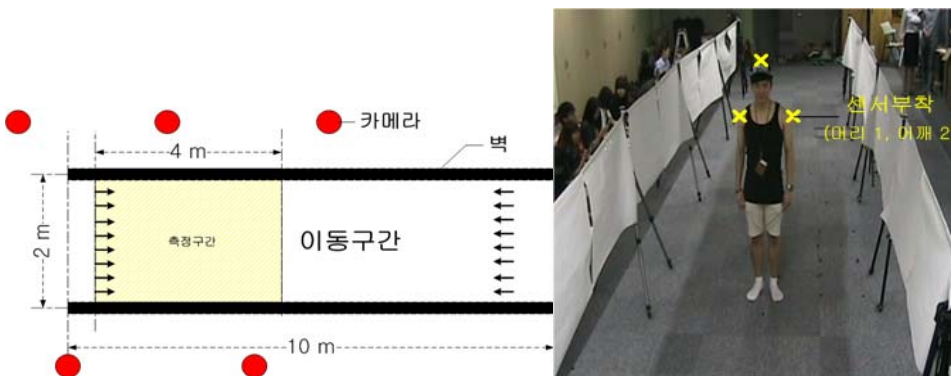
현재 “도시철도 정거장 및 환승.편의시설 설계 지침”에서 쓰고 있는 서비스수준은 보행자 공간모듈을 중심으로 A-F 까지 분류한 것으로 이 때의 흐름계수 및 보행속도는 지침상에는 없고 실험값으로 다음 그림과 같이 참고적으로 제시하고 있다.



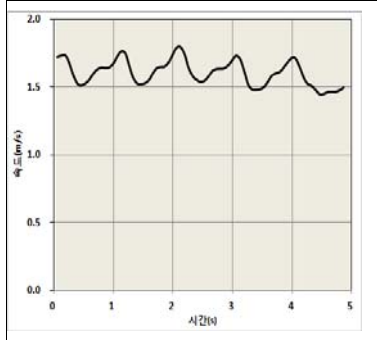
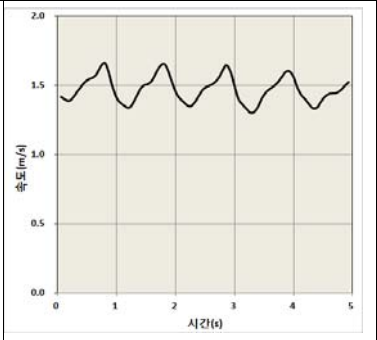
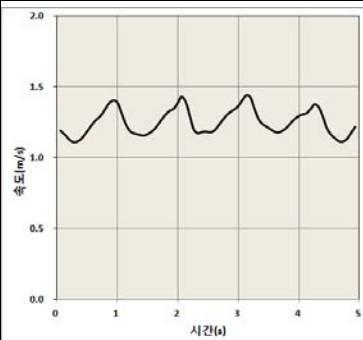
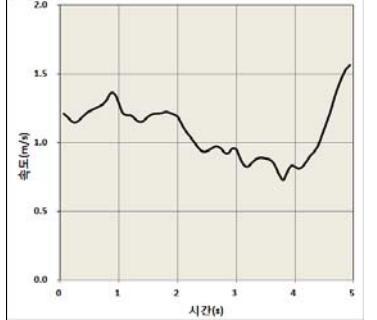
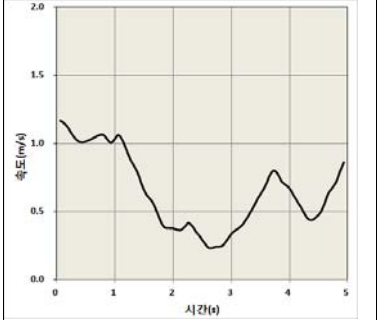
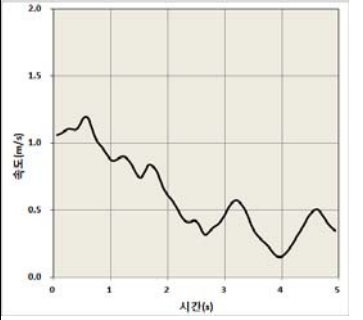
3. 실내 보행환경 모의실험

도시철도 환승통로 및 승강장에서의 보행흐름을 파악하기 위해 서비스수준 등급별에 따른 보행 모의 환경을 설정하고 보행자의 속도, 어깨회전각 및 5초간 어깨폭 누적량을 측정하였다.

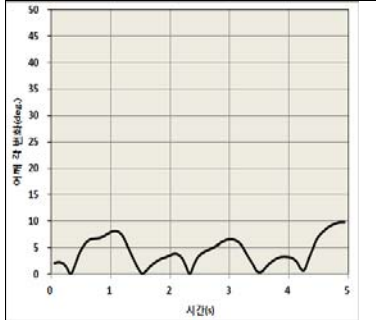
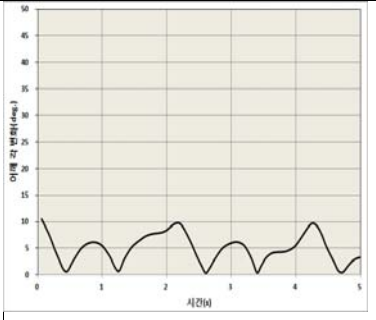
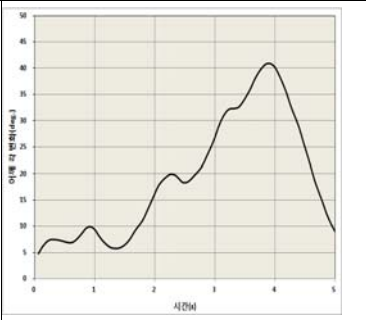
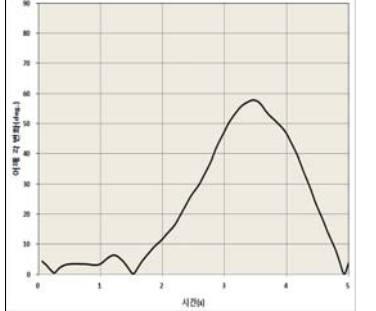
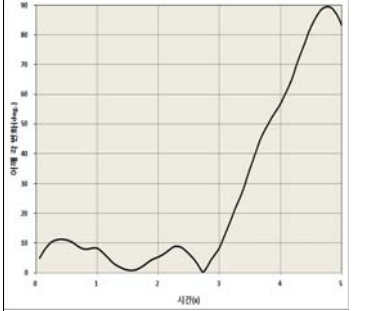
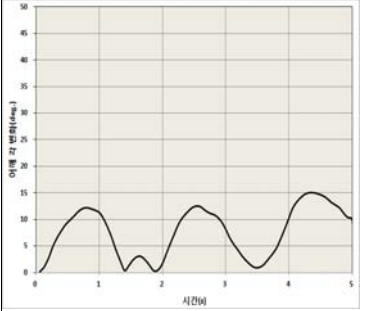
실내 모의실험은 「도시철도 정거장 및 환승편의시설 보완설계지침, 보행로 서비스 수준」을 참고하여 실험구간 내 밀도를 구성하여 실험구간 총 면적 20m²(길이 10m, 폭 2m)중 실험면적 8m²(길이 4m, 폭 2m)로 양방향 밀도별 이동 인원의 설정을 나타내고 있다. 센서 부착 및 세팅 모습은 Fig. 3.2 와 같으며, 이동인원 40 명 중 6 명에게 센서를 부착하였다. 머리센서를 머리에 1 개, 어깨센서 2 개를 양 어깨에 직접 부착하여 보행자 이동속도를 파악하였고 어깨센서를 통하여 보행자의 어깨폭 변화와 양 어깨의 각(90°)을 중심으로 어깨 회전각의 변화량을 산출하였다.

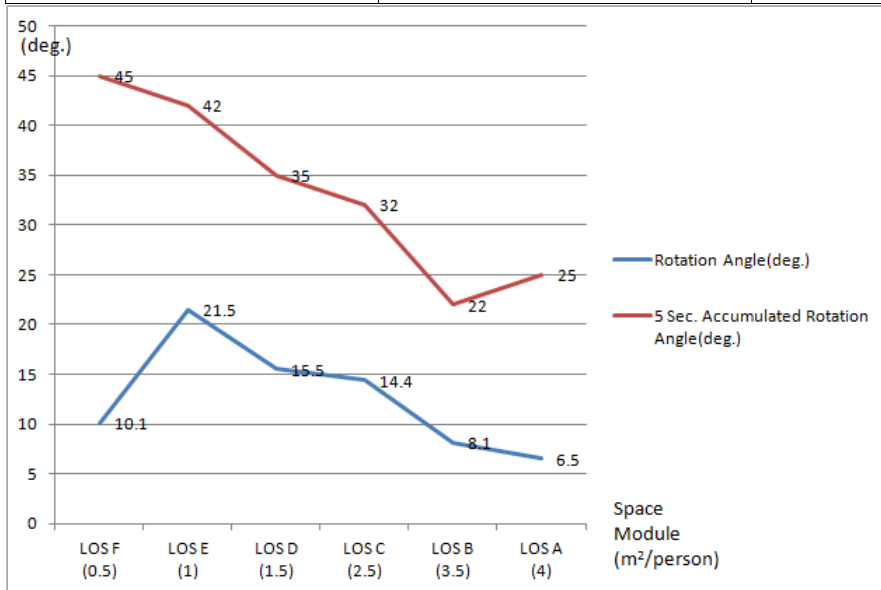


보행환경 실험결과 Fruin 의 LOS 등급에 따른 실험구간의 보행속도는 그림과 같이 나타났다. LOS 가 낮아질수록 평균속도가 감소하며 속도의 변화폭이 증가함을 알 수 있다. LOS A~C 등급에서는 속도 변화폭이 0.25~0.55 m/s 로 일정한 보행패턴이 나타났으나, LOS D~F 등급에서는 보행패턴 유지가 어렵거나 심하게 변경되면 0.78~1.1m/s 로 속도의 변화폭이 큰 것으로 측정되었다.

<p>[LOS A]</p> 	<p>[LOS B]</p> 	<p>[LOS C]</p> 
<p>Average Speed: 1.55 m/s Speed Range: 1.3~1.8 m/s</p>	<p>Average Speed: 1.43 m/s Speed Range: 1.3~1.55 m/s</p>	<p>Average Speed: 1.33 m/s Speed Range: 1.1~1.65 m/s</p>
<p>[LOS D]</p> 	<p>[LOS E]</p> 	<p>[LOS F]</p> 
<p>Average Speed: 1.22 m/s Speed Range: 0.7~1.48 m/s</p>	<p>Average Speed: 1.04 m/s Speed Range: 0.3~1.35 m/s</p>	<p>Average Speed: 0.73 m/s Speed Range: 0.15~1.2 m/s</p>

본 논문에서는 철도 여객의 보행류 관찰을 위해 기존의 보행속도, 공간모듈 및 흐름계수 외에 서비스수준별 보행자의 순간최대회전각과 5초간 어깨폭 누적량을 다음표와 같이 측정하였다. LOS가 낮아질수록 평균어깨회전각은 LOS A 6.5°에서 LOS D 21.5°로 증가하며 LOS F에서 10.1°다시 감소함을 알 수 있다. 이는 LOS A, B에서는 보행속도를 자유롭게 선택할 수 있는 충분한 공간이 확보되어 정상 보행속도 및 반대방향 보행자의 접촉이나 추월이 없으나 LOS D에서는 보행방향 속도제한, 반대방향 보행자와의 충돌, 추월의 곤란으로 어깨회전각이 15°로 발생하며 LOS E에서는 22°로 증가하다 LOS F에서는 속도제한이 극심하고 속도변경이 힘들어 어깨회전각이 10° 상태에서 이동함을 관찰 할 수 있다. 5초간 어깨폭누적량은 LOS A,B 상태에서는 22~25mm로 일정하다 LOS가 낮아질수록 누적량이 46mm로 증가함을 알 수 있다. 이는 혼잡이 심할수록 어깨의 좌우폭의 변화량이 증가함을 알 수 있다.

<p>[LOS A]</p> 	<p>[LOS B]</p> 	<p>[LOS C]</p> 
<p>Avg. Rotation Deg.: 6.55 5 Sec. Acc. Rot.: 25 mm</p>	<p>Avg. Rotation Deg.: 8.1 5 Sec. Acc. Rot.: 22 mm</p>	<p>Avg. Rotation Deg.: 14.4 5 Sec. Acc. Rot.: 32 mm</p>
<p>[LOS D]</p> 	<p>[LOS E]</p> 	<p>[LOS F]</p> 
<p>Avg. Rotation Deg.: 15.5 5 Sec. Acc. Rot.: 35 mm</p>	<p>Avg. Rotation Deg.: 21.5 5 Sec. Acc. Rot.: 42 mm</p>	<p>Avg. Rotation Deg.: 10.1 5 Sec. Acc. Rot.: 45 mm</p>



앞에서 언급한 LOS 별 속도와 5 초간 어깨폭누적량 및 평균최대회전각과의 관계를 정리하면 다음 표와 같다. LOS 가 낮을수록 속도는 낮아지고 어깨폭누적량은 증가되고 LOS F 를 제외하면 회전각도 증가하는 것을 알 수 있다.

LOS	순간 속도(m/s)	평균	평균	Fruin	5 초간	순간	평균
-----	------------	----	----	-------	------	----	----

	Min	Max	속도 (m/s)	분당 속도 (m/min)	분당 속도 (m/min)	어깨폭 누적량 (mm)	최대 회전각 (deg.)	최대 회전각 (deg.)
A	1.3	1.8	1.55	93	80 이상	25	5~9	6.5
B	1.3	1.55	1.43	86	76-80	22	6~11	8.1
C	1.10	1.65	1.33	80	70-76	32	13~15	14.4
D	0.7	1.48	1.22	73	60-70	35	37~59	15.5
E	0.3	1.35	1.04	62	36-60	42	85~90	21.5
F	0.15	1.2	0.73	44	36 미만	45	12~15	10.1

4. 결론

본 연구에서는 도시철도 보행자의 LOS 별 보행속도와 어깨회전각에 대해 고찰하였다.

(1) 보행속도에서는 LOS A 에서 LOS F 로 갈 수록 평균보행속도가 증가하며 이 수준은 Fruin 이나 도로용량편람보다 높은 수준으로 나타났다. 이는 실내모의실험에서 실험대상이 젊은 대학생들이어서 실제 도로나 철도 보행자의 다양한 연령대가 반영되지 못해서이다.

(2) 어깨회전각에서는 LOS A 에서 LOS F 로 갈수록 5 초간 어깨회전누적량이 증가하고 LOS F 를 제외하고는 추월, 충돌회피를 위해 어깨회전각이 증가함을 알 수 있다. 다만, LOS F 에서는 극심한 혼잡으로 추월, 충돌회피를 할 수 없어 낮은 보행속도로 줄 지어 가는 군집보행의 형태를 가짐을 알 수 있다.

5. 출처

John Fruin. (1971). "Pedestrian Planning and Design"

국토교통부. (2013). "도시철도 정거장 및 환승·편의시설 보완 설계 지침"

국토교통부. (2015). "도로용량편람(HCM : Highway Capacity Manual)"

한국철도기술연구원. (2015). "도시철도 역사의 밀도에 따른 동작패턴 측정 및 분석" 용역보고서

김광모, 김진호, 신민정, 김희규, 박용걸. (2015). "도시철도 환승시설의 안전 및 편의성 향상을 위한 연구", 대한방재학회지, 제 15 권, 제 2 호, p.63~70.

김광모. (2016). “광역·도시철도 정거장의 적정면적 산정에 관한 연구”, 서울과학기술대
박사학위논문