

보행점유공간 산정을 이용한 환승센터의 효율성 평가¹⁾

Personal area calculation for Transfer center efficiency evaluation

강 경 우

남 승 석

원 민 수

(한양대학교 교통공학과, 교수) (신성엔지니어링, 부사장) (한양대학교 교통공학과, 석사과정)

Key Words : 보행점유공간, 효율성 평가, 환승센터, 대기행렬

목 차

I. 서론

1. 연구배경 및 목적
2. 연구범위 및 방법

II. 이론적 고찰

1. 국내 연구사례
2. 국외 연구사례

III. 자료수집 및 분석

1. 자료수집
2. 분석 및 결과

IV. 결론

참고문헌

I. 서론

1. 연구배경 및 목적

지금까지의 환승센터의 설계와 운용은 주로 운영자의 입장에서 고려되었다. 반면에 환승센터의 서비스 수준 평가는 주로 이용자의 입장에서 평가되었다. 즉, 설계는 운영자의 입장에 따라 결정되었지만, 그러한 설계에 대한 평가는 이용자의 입장에서 결정되었다. 이러한 일방적인 흐름은 이용자의 서비스 수준은 높지만, 운영자의 입장에서는 과다 투자된 시설이 발생할 수 있으며, 반대의 경우도 발생하게 된다. 그러므로 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 이용자와 운영자가 모두 만족할 수 있는 수준에서 설계/평가 될 수 있는 방법이 요구된다. 또한 이러한 합리적인 수준은 환승센터의 효율성 평가와도 밀접한 관계를 가질 수 있다.

2. 연구범위 및 방법

본 연구에서는 환승센터의 효율성을 평가하기 위하여 적정 보행점유공간을 이용하도록 한다. 즉, 환승센터의 실제 보행점유공간과 이용자와 운영자가 모두 만족할 수 있는 적정 보행점유공간을 비교함으로써 환승센터의 효율성 여부를 판단할 것이다.

이용자와 운영자가 모두 만족할 수준의 적정 보행점유공간이란 이용자의 불편 비용과 운영자의 총 운영비용을 모두 합한 총 비용을 최소화 하는 방법으로 정의 될 수 있다.

예를 들어, 이용자는 빈번하게 발생하는 대기행렬과 부족한 보행점유공간 때문에 불편비용을 유발하게 될 것이다. 또한, 운영자는 해당 시설의 면적과 운영비용에 의한 총 운영비용을 유발하게 된다. 적정 보행점유공간이란 이러한 이용자 비용과 운영자 비용의 합을 최소화 하는 시점에서 결정된다. 왜냐하면 총 비용을 최소화 하는 시점이 바로 해당 시설을 가장 효율적으로 운영하고 있는 상태이며, 이 때의 보행점유공간이 바로 가장 효율적이고 적절한 보행점유공간이기 때문이다. 이러한 관점은 더 나아가 현재 운영되고 있는 시설의 적정 보행점유공간과 실제 보행점유공간을 비교함으로써 효율성을 평가할 수 있다.

본 연구에서는 이러한 방법으로 환승센터의 효율성을 평가하기 위하여 Kitti Subprasom(2002)²⁾의 연구를 바탕으로 적정 보행점유공간을 산정하며, 이렇게 산정된 적정 보행점유공간을 이용하여 수원역 환승센터의 효율성을 평가해 보도록 하겠다.

II. 이론적 고찰

1. 국내 연구사례

보행로에 대한 보행점유공간은 KHCM³⁾에 제시되어 있다. 이러한 보행점유공간은 이용자가 느끼는 경험적인 측면에서 제시되어 있으며, 이렇게 결정된 보행점유공간을 이용하여 각 보행로의 서비스 수준을 정의하고 있다.

1) 본 연구는 한국건설교통기술평가원 「교통연계 및 환승시스템 기술개발」 사업의 연구비지원(06교통핵심A02-02)에 의해 수행되었습니다.

2) Kitti Subprasom, "Cost-Based Space Estimation in Passenger Terminals", 2002

3) "도로용량편람", 건설교통부, 2001

<표 1> 보행통로 서비스 수준⁴⁾

LOS	보행점유 공간 (m ² /인)	보행교통류율 (인/분/m)	밀도 (인/m ²)	보행상태
A	3.5 이상	20 이하	0.3 이하	보행속도의 자유선택가능
B	2.5~3.5	20~30	0.4~0.3	정상속도로 같은 방향 추월가능
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

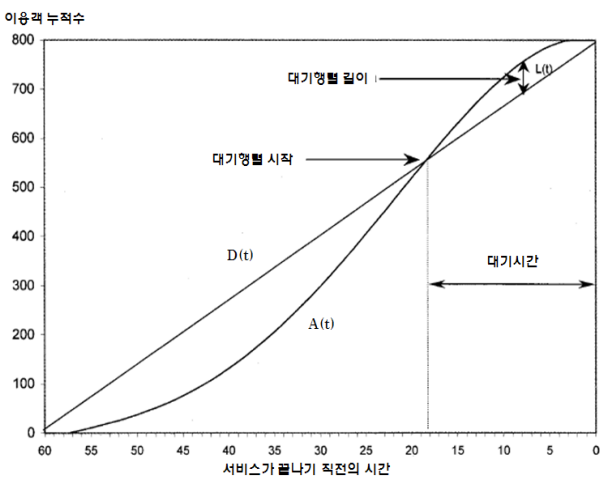
하지만 이러한 방법은 이용자 입장에서의 접근방법이다. 즉, 운영자는 환승센터의 다양한 제약조건을 고려하여 보행점유 공간을 결정할 필요가 있으며, 이러한 보행점유공간은 이용자와 운영자가 모두 만족할 만한 수준에서 결정되어야 한다. 그러나 이러한 점유공간이 이용자 및 운영자중 어떠한 한쪽에 유리한 방향으로 설정된다면 그 환승센터는 총 비용적인 측면에서 비효율적인 운영이 되고 있다고 생각할 수 있다.

2. 국외 연구사례

Kitti Subprasom(2002)⁵⁾는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 이용자와 운영자를 모두 고려한 보행점유공간 산정을 연구하였다.

Kitti Subprasom(2002)은 이용자불편비용(\$/h), 연간 단위면적당 운영비용(\$/m²/year), 도착율(명/h), 대기행렬이론등을 이용하여 보행(이용자)점유공간을 산정하였다.

해당 연구에서는 시간당 800명이 도착한다고 가정하였다. 이러한 도착율을 아래의 대기행렬 이론에 적용하고, Paullin, "Sizing of departure lounges in airport buildings", 1969에서 언급한 도착율에 관련된 함수를 적용하여 최대 대기행렬길이(MaxQ)와 평균 대기행렬길이(AveQ)를 구하였다.



<그림 1> 이용자 도착률(A(t))과 서비스처리율(D(t))

$$F(t) = -1.78 + 0.72t - 0.02t^2 + 0.0025t^3 - 0.00003t^4 \quad (\text{식1})$$

여기서, F(t)=총 이용자의 퍼센트(percent of total passengers)
t=출발 전 시간(minutes before departure)

이렇게 도출된 최대 대기행렬길이(MaxQ)는 61명이며, 평균 대기행렬길이(AveQ)는 40명이 된다.

<표 2> 적정 보행점유공간산정을 위한 입력 데이터

Parameter	Value
Value of time dollars	\$28/h
Value of convenience of area occupant	\$η*28/m ²
Annual construction, operating, and maintenance (COM) cost	\$154.66/m ² /year
Design life	15 years
Discount rate	10% annually
Value of α	0.2
Value of β	0.8
Value of η	varied
Service period	60 min
Passenger arrival rate	800 passengers/h
Maximum queue lengths	61 passengers
Average queue lengths	40 passengers
Delay	740.04 pass min
Number of servers required	21 counters

마지막으로 최적의 보행점유공간(optimal personal space)을 산정하기 위해서 아래의 식에 이용자 불편비용과 운영비용을 적용한다.

$$A_p^* = \left[\frac{a\gamma_i \hat{L}}{b\gamma_c L_m} \right]^{1/(a+b)} \quad (\text{식 2})$$

하지만 위의 (식 2)에 적용된 이용자 불편비용과 운영비용은 불확실성을 내포하고 있다. 그러므로 Inconvenience cost parameter(η)를 적용하여 민감도 분석을 실시하였으며, 다음과 같은 적절한 보행점유공간(optimal personal space)을 도출하였다.

<표 3> Optimal personal space 와 서비스 수준 비교

Inconvenience cost parameter (η)	Personal area from queuing model (m ² /passenger)	Queuing level of service [according to IATA(1996)]
0.20	0.94	F
0.25	1.17	E
0.30	1.41	C
0.35	1.65	B
0.40	1.87	A

4) "도로용량편람", 건설교통부, 2001

5) Kitti Subprasom, "Cost-Based Space Estimation in Passenger Terminals", 2002

III. 자료수집 및 분석

1. 자료수집

적정 보행점유공간을 산정하기 위해서는 다음과 같은 자료가 필요하다.

<표 4> 적정 보행점유공간 산정을 위한 조사자료

조사자료	
	- 이용자 불편비용(원/시간)
	- 단위면적 당 운영비용(원/㎡)

본 연구에서는 모든 환승센터의 이용객이 같은 분포의 도착률을 가진다고 가정하였다. 그러므로, Paullin(1969)⁶⁾에서 언급한 (식 1)을 이용하여 최대 대기행렬길이(MaxQ)와 평균 대기행렬길이(AveQ)를 구하였다. 여기서 상기할 점은 이렇게 구해진 최대 대기행렬길이와 평균 대기행렬길이의 비는 다음과 같이 항상 일정하다는 사실이다.

$$\left[\frac{\hat{L}}{L_m} \right] = 0.65421288$$

즉, 본 연구에서는 모든 환승센터의 도착률이 동일한 함수의 형태를 가진다고 가정하였으므로, 각 환승센터의 도착률(명/h)는 조사대상에서 제외되었다.

보행점유공간을 산정하기 위한 단위면적 당 운영비용(원/㎡)은 각종 통계자료와 교통영향평가 자료를 이용하였다. 이용자 불편비용(원/시간)은 교통개발연구원(1997)⁷⁾을 참고하여 9,971 원/시간으로 정하였다.

단, 환승센터의 단위면적 당 운영비용(원/㎡)은 실제로 모든 항목의 운영비용을 고려할 수 없으므로, 총공사비에 단위면적을 나누어 계산하였다.

본 연구에서는 수원역을 대상으로 분석이 실시되었다. 수원역 중에서 보행교통량이 비교적 많은 1번 출구 방향 보행통로를 대상으로 하였다. 조사시간은 저녁 침두시간인 저녁 5시부터 8시까지 실시되었다. 카메라를 이용하여 15동간의 양방향 보행교통량을 조사하였다. 조사결과는 <표 5>와 같다.

대상구역의 침두시간은 오후6시15~30분까지이며, 이 때의 보행 교통량은 양방향 2441명/15분이 된다.

대상구역의 보행통로 폭이 4.8m 이며 각 좌우 총 이격거리는 1.8m 이다.<표 6> 그러므로, 유효폭은

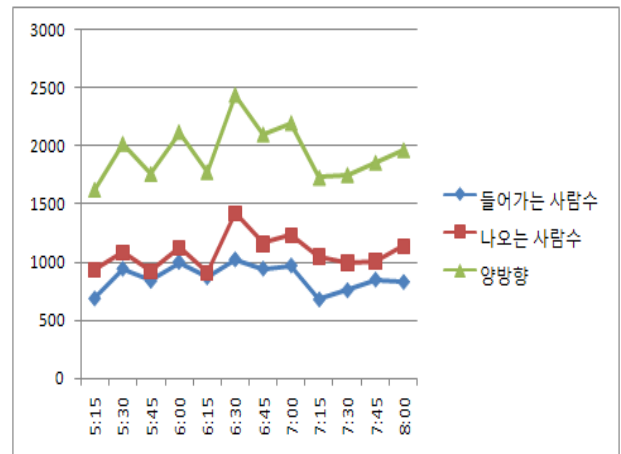
$$4.8m - (0.9m + 0.9m) = 3m$$

6) Paullin, "Sizing of departure lounges in airport buildings", 1969
 7) 교통개발연구원, "수도권 여객통행태의 조사 : 개별통행태 모형의 정립을 중심으로", 1997

3m가 된다. 즉, 대상구역의 보행교통량은 54.24명/분/m가 된다. 이러한 보행교통량은 KHCM기준을 적용해 보면 서비스 수준 D의 상태이다.

<표 5> 수원역 1번 출구 방향의 보행교통량

시간	들어가는 사람수	나오는 사람수	양방향
5:15	690	938	1628
5:30	942	1080	2022
5:45	840	923	1763
6:00	1000	1121	2121
6:15	870	910	1780
6:30	1021	1420	2441
6:45	943	1160	2103
7:00	970	1230	2200
7:15	682	1049	1731
7:30	760	995	1755
7:45	850	1010	1860
8:00	830	1137	1967



<그림 2> 수원역 1번 출구 방향의 보행교통량 추이

<표 6> 수원역 1번 출구 방향의 보행통로의 폭

보행통로 폭	이격거리	
	오른쪽 광고판	왼쪽 상점 Display
4.8m	0.9m	0.9m

2. 분석 및 결과

이렇게 조사된 보행교통량과 대기행렬 이론을 이용하여, 최대 대기행렬 길이와 평균 대기행렬 길이를 산정하고, 이렇게 산정된 값을 이용하여 적정 보행점유공간을 산정하도록 한다.

대상 보행통로의 보행교통량이 54.24명/분/m이므로, 한 시간에는 3255명/시/m의 보행자가 이동한다. 이러한 보행교통량을 아래의 대기행렬 이론에 적용하고, Paullin(1969)의 (식 1)을 이용하여 최대 대기행렬길이(MaxQ)와 평균 대기행렬길이(AveQ)를 구하도록 한다.

이렇게 도출된 대상 보행통로의 최대 대기행렬길이(MaxQ)는 249명이며, 평균 대기행렬길이(AveQ)는 163명이 된다. 마지막으로 최적의 보행점유공간을 산정하기 위해서는 이용자의 보행시간가치 비용과 대상지역의 운영비용을 정의해야 한다. 이용자의 보행시간가치는 교통개발연구원, “수도권 여객통행행태의 조사 : 개별통행행태 모형의 정립을 중심으로”, 1997을 참고하여 9,971원/시간으로 한다. 운영비용은 박종서, “수원민자역사 개발 전·후 역세권의 토지이용 및 특성 변화에 관한 연구”, 2006. 과 철도청, “수원민자역사, 준공”, 1999. 를 참고하여 1,756,463원/m²으로 산정하였다.

이렇게 도출된 최적의 보행점유공간(A_p^*)은

$$A_p^* = \left[\frac{a\gamma_i \hat{L}}{b\gamma_c L_m} \right]^{1/(a+b)} = \frac{0.2 \times 9971 \times 163}{0.8 \times \frac{1756463}{2080} \times 245} = 1.931177289$$

즉, $A_p^* = 1.931177289$ 가 나온다.

이러한 기준은 KHCM으로 서비스 수준 C에 해당 된다.

IV. 결론

본 연구에서는 환승센터의 효율성을 평가하기 위하여 적정 보행점유공간을 이용하였다. 즉, 해당 환승센터의 실제 보행점유공간과 이용자와 운영자의 총 비용을 고려한 적정 보행점유공간을 비교함으로써 효율성을 평가하고자 한 것이다. 분석의 결과를 보면 수원역의 실제 보행점유공간은 서비스 수준 D의 상태였다. 하지만 이용자와 운영자 비용을 고려한 적정 보행점유공간은 서비스 수준 C의 상태이다. 즉, 수원역의 경우 운영자의 입장보다는 이용자의 입장에서 좀 더 유리하게 운영되고 있다고 판단 할 수 있다. 이러한 상태는 수원역이 효율적으로 운영되고 있다고 말하기 어렵다는 것을 의미한다. 하지만 이러한 실제 보행점유공간과 적정 보행점유공간의 차이를 두고, 어떠한 수준까지를 효율적이다 비효율적이다라고 판단하기에는 아직 부족한 점이 많다. 이러한 기준은 향후 연구에서 좀 더 고민되어야 할 것이다. 또한 적정 보행점유공간 산정 방법에 있어, 총 운영비용의 산정과 보행자 도착율을 이용한 대기행렬 이론이 많은 가정을 내포하고 있다. 이러한 점도 향후에 좀 더 연구되어야 할 것이다.

참고문헌

1. Paullin, "Sizing of departure lounges in airport buildings", 1969
2. "Highway Capacity Manual" 2000
3. "도로용량편람", 건설교통부, 2001
4. Paullin, R., and Horonjeff, R., "Sizing of departure lounges in airport buildings", 1969
5. John J. Fruin, "Pedestrian Planning and Design", 1987
6. Lishan Sun, "Evaluation of Passenger Transfer Efficiency of an Urban Public Transportation Terminal", 2007