

칼로리 소모량을 고려한 지하철 혼잡률 산정방법에 관한 연구

A Study on the Assessment of Congestion Rate of Subway Considering Calory Consumption

김민주

(서울대학교 환경대학원 석사과정)

이영인

(서울대학교 환경대학원 교수)

키워드 : 지하철 혼잡률, 인체치수, 개인 공간, 재차인원, 칼로리 소모량

목 차

I. 서론

1. 연구배경 및 목적
2. 연구 수행과정

II. 관련연구동향

1. 지하철 혼잡률 관련 연구
2. 인체 공간 관련 연구
3. 행동 패턴에 따른 칼로리 소모량

III. 연구방법론

1. 방법론 정립 시 고려사항
2. 방법론 정립

IV. 적용 및 결과 분석

1. 분석 입력자료
2. 적용결과 및 분석

V. 결론

1. 연구결과 요약
2. 향후 연구 과제

참고문헌

I. 서론

1. 연구배경 및 목적

통행목적에 따라 우리의 손과 발이 되어주는 지하철은 1974년 8월 15일 서울역~청량리 9.54km 구간의 1호선 개통을 시작으로 서울을 순환하는 2호선, 남북을 관통하는 3호선 등 현재까지 8개의 노선이 완전 개통되어 서울시내 및 수도권 각지로 승객 및 화물을 수송하고 있다. 승용차에 비해 현저하게 낮은 대중교통 수단 부담률이 환승정책 및 고유가의 여파에 의하여 점차 증가하고 있는 추세로써 서울시의 경우, 2008년 7월 하루 평균 지하철 이용승객이 499만 8000명에 다다르고 있다. 하지만 서울시 지하철은 첨두시 지하철 용량부족으로 인한 극심한 혼잡, 잦은 환승과 환승시 불편, 불합리한 노선망 등으로 인한 통행시간 손실 과다 문제 등을 안고 있다.¹⁾

이용객이 집중적으로 몰리는 출근시간의 경우 소수 역을 제외하고 이미 만차 상태인 지하철에 탑승하려는 승객들과 이미 탑승 중인 승객 사이에 발생한 혼잡으로 이동권을 위한 치열한 전쟁이 일어나고 있는 것을 어렵지 않게 발견할 수 있다. 그 반대로 비첨두시간의 경우 첨두시간에 비해 현저히 낮은 승객수로 차량내 밀도는 높지 않으므로 전자에 비해 쾌적한 이동을 가능하게 한다.

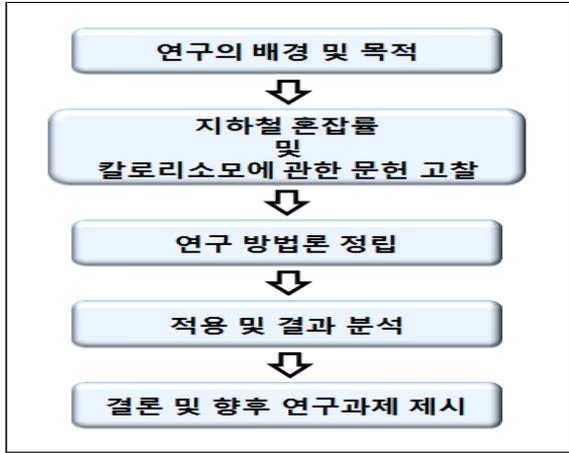
본 연구에서는 시간과 환경에 따른 혼잡의 정도에 따라 승객들의 행동양식이 다양하게 나타나며(좌석에 앉아 이동하는 승객, 서서 이동하는 승객, 독서 중인 승객, 다른 객차로 이동하는 승객 등), 각 승객들의 행동으로 인해 일정한 에너지를 소모한다는 것을 주목하였다. 따라서 본 연구는 차량의 용량과 차량 당 재차인원의 비율로 대표되는 혼잡률의 개념에 개인 공간에 따른 에너지 소모량 개념을 접목 하는 방법을 제시하고자 한다.

2. 연구수행 과정

연구수행과정은 지하철 혼잡도에 따른 승객별 점유 공

1) 서울시 지하철 노선체계 개편방안(pp. 3), 서울시정개발연구원, 손기민, 윤혁민, 김대현, 강수구, 2005

간과 승객의 행동에 따라 소비되는 칼로리 소모량에 대한 문헌고찰을 수행한다. 칼로리 소비량을 지하철 혼잡률에 적용하기 위한 방법론을 제시하며 수집된 정량적 지표들을 분석하여 결론을 도출하는 과정으로 연구를 진행하도록 한다. 연구 수행과정은 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 연구의 수행과정

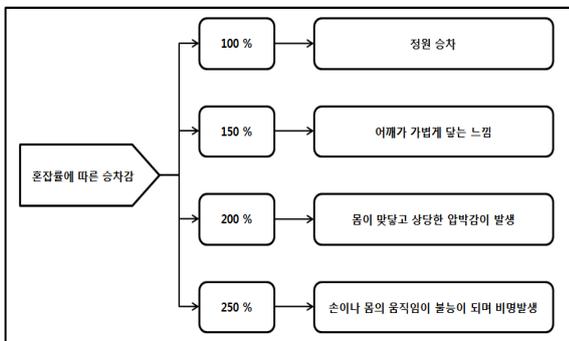
II. 관련연구동향

1. 지하철 혼잡률 관련 연구

원제무(2000)의 저서²⁾에서 정의한 혼잡률은 차량내의 혼잡의 정도를 나타낸다고 하였다. 적정 혼잡률은 승객의 안전성, 편의성, 쾌적성 등을 신중히 고려하여 결정해야 하며, 다음의 계산과정을 통해 혼잡률을 도출하였다.

$$\text{혼잡률}(\%) = \frac{\text{차량당재차인원}}{\text{차량의용량}} \times 100$$

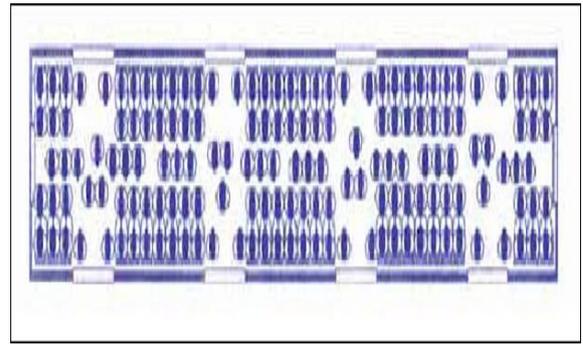
또한 혼잡률에 따른 승차감을 4가지로 구분하여 설명하였는데 다음과 같다.



<그림 2> 혼잡률 별 승차감 상태 예시

지하철 노선 1~4호선을 운영하는 서울도시철도공사와 5~6호선을 운영하는 서울메트로의 경우 지하철 한량의 정원을

을 160명으로 하여 이 인원을 혼잡률 100%로 제시하였다.



<그림 3> 혼잡률 100% 현황

서울시정개발연구원의 「서울시 지하철 노선체계 개편 방안」을 살펴보면, 두 철도공사에서 수집된 마그네틱 승차권을 통해 5개년도(1999~2003) 노선별 혼잡률을 <표 1>과 같이 제시하였다.

구분	1999	2000	2001	2002	2003
1호선	124%	136%	133%	135%	135%
2호선	231%	224%	220%	223%	224%
3호선	141%	140%	136%	141%	140%
4호선	207%	200%	195%	199%	199%
5호선	164%	169%	158%	☆	158%
6호선	-	-	107%	☆	150%
7호선	176%	168%	175%	☆	150%
8호선	190%	157%	151%	☆	160%

<표 1> 출퇴근시 지하철 혼잡도³⁾ (☆= 미조사)

「대중교통 중심도시 구축을 위한 교통정책 시행방안 연구」를 살펴보면 서울시를 순환하는 2선의 경우 첨두 시간 혼잡률이 200%를 상회하고 있으며, 신림→잠실구간의 경우 평균 혼잡률은 157%, 최대 혼잡구간은 사당→방배로써 225%를 나타내고 있다. 이는 사당역에서 환승 후 강남구 방면으로 진입하는 인원이 과다하여 이와 같은 혼잡이 나타나는 것으로 분석되었다.

2. 인체 공간 관련 연구

지하철에 탑승한 승객은 우선 한정된 객차의 공간 중 일부를 쾌적한 이동을 위해 선점하게 된다. 이러한 과정을 통해 자신의 공간에서 하차하기 전까지 동행인의 유·무, 소지품의 종류에 따라 자신이 선호하는 행동을 하게 된다. 입석승객의 경우 낮은 혼잡률로 인해 충분한 개인공간이 확보되면 타 승객과의 신체적 마찰이 줄어들게 되므로 신문읽기, 디지털기기의 사용 등을 큰 어려움 없이 할 수 있다. 그러나 차량 내 높은 밀도로 인해 개인 공간이 타 승객에 의해 침해받기 시작하면 위와 반대되는 현상이 발생하게 된다.

John J. Feuin의 저서 「Pedestrian Planning and Design」

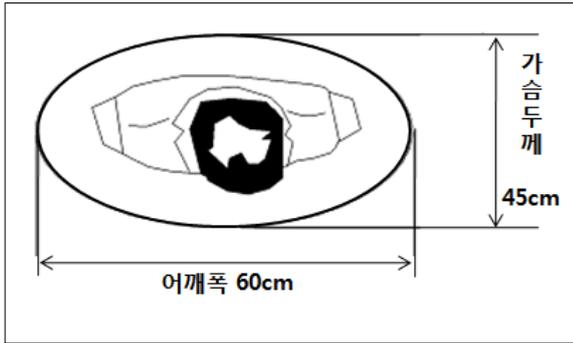
2) 알기 쉬운 도시교통 (pp. 222), 원제무 저

3) 참고자료: 건설교통부 홈페이지 <http://www.moct.go.kr>

을 통해 살펴본 인체 공간은 다음과 같이 분류할 수 있다.

1) 인체 치수 - 인체 타원(Body Ellipse)

인체 연구에서 전하는 바에 의하면 일반인의 어깨폭은 99%가 52.6cm 이하이고 두꺼운 옷을 입었을 경우에는 여기에 3.8cm를 추가하면 된다. 평면적으로 보면 성인 남자의 몸은 약 0.14m²의 면적을 차지하게 된다. 뉴욕시 지하철 차량의 승객 용량의 경우 0.21m²의 인체 타원(45×60cm)이 적용되고 있다.



<그림 4> 인체 타원 예시

2) 개인 공간 - 완충 공간(Body Buffer Zone)

개인공간의 정의는 각자의 주위에 보이지 않는 비누거품과 같은 영역이 있어 이 속에 타인이 침입하면 불쾌감을 느끼게 되는 공간을 말한다. 인간은 자기 주위의 개인적 공간을 중요시 하게 되며 어떠한 경우라도 타인이 자기 몸에 닿지 않도록 자기의 개인적 공간을 지키려고 노력한다. 하지만 대중교통 수단이나 엘리베이터 공간과 같은 상황에서는 잘 지켜지지 않는다는 특징이 있다. 완충공간은 인체공학적, 운동학적으로 충돌을 피하기 위한 여유 공간으로 정의 될 수 있으며 연령, 지위, 성별 등에 의한 우선순위에 의하여 행동양식이 결정된다.

3. 행동 패턴에 따른 칼로리 소모량

칼로리의 정의는 열량의 단위로서, 1atm에서 순수한 물 1g을 14.5℃에서 15.5℃까지 1℃ 올리는 데 필요한 열량을 1 칼로리로 정의한다. 보통은 cal라고 나타낸다. 우리가 식품의 열량표에서 접할 수 있는 열량의 단위인 칼로리는 Cal(kcal)로 나타내며 cal의 1000배에 해당한다.

「남녀신체구성 성분에 따른 칼로리 섭취량과 운동종목별 칼로리 소모량의 비교분석」에 관한 연구에서 신체는 세포, 조직, 기관 계통의 4개 요소로 구성되었으며, 서로 유기적으로 조직화 된 70%의 체세포와 30%의 혈구세포의 협동작용으로 생명력을 가진 하나의 개체가 된다고 하였다. 또한 신체의 성장과 유지, 활동, 체온조절 등 체내에서 일어나는 모든 신진대사를 통해

칼로리가 소비된다고 하였다.

칼로리 소모는 일반적으로 사람마다 같은 운동을 한다고 같은 칼로리를 소모하게 되는 것이 아니며 몸무게, 근육량, 성별, 운동의 강도 및 운동시간 등에 따라 다르게 소비되는 것으로 알려져 있다. <표 2>를 살펴보면 일정시간 동안 운동의 종류, 체중(kg)에 따라 소모되는 칼로리의 양이 각각 다른 것을 알 수 있다.

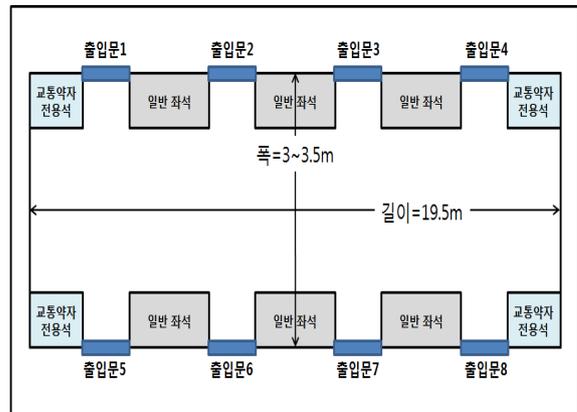
운동 - 몸무게	45Kg	50Kg	56Kg	61.2Kg	67.5Kg	73Kg	78.7Kg	84Kg	90Kg	96.3Kg
점자기	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
TV, 책보기	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
앉아서 말하기	2	13.5	16.5	18	19	19.5	21	22.5	24	25.5
옷입기 OR 씻기	20	15	26	29	32	34.5	37	39.5	42	47.5
서있기	10	23	12	13	14	15	16	17.5	19	21.5
계단내리기	45	11	50.5	56	61.5	72.5	78	83	88	99.5
계단올라가기	117	131.5	146	160.5	175	188.5	202	215.5	229	258.5
청소기로 청소	27	30.5	34	37.5	41	45	47	50	53	60.5
마룻바닥 들침소	30	34	38	42	46	49.5	53	54.5	60	67.5
유리닦기	28	31.5	35	38.5	42	45	48	51	54	61.5
앉아서 글쓰기	12	13.5	15	16.5	18	18.5	21	22.5	24	27
회사의 업무	20	22.5	25	27.5	30	32	34	36	38	44
서 있는 작업	16	18	20	22	24	26	28	30	32	36
타이핑(40단어/분)	15	17	19	21	23	25	27	29	31	35
공장에서 작업	16	18	20	22	24	26	28	30	32	36
페인트 칠하기	23	26	29	32	35	37.5	40	43	46	52
무거운 짐 운반	45	50.5	56	61.5	67	72.5	78	83	88	99
충추기	28	31.5	35	38.5	42	45	48	51.5	55	62

<표 2> 일상생활의 소모 칼로리 예시4)

III. 연구방법론

1. 방법론 정립 시 고려사항

- 지하철 내부 좌석의 경우 다음 <그림 3>과 같으며 7명의 일반인이 앉을 수 있는 좌석과 3명의 교통약자가 앉을 수 있는 교통약자 전용석이 있다. 따라서 총 54명의 승객이 좌석에 앉을 수 있다.



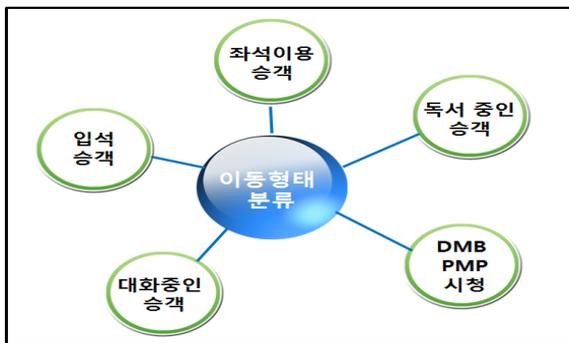
<그림 5> 지하철 객차 구조 예시

- 54명의 좌석승객을 제외한 나머지 승객은 서있거나 기대서 이동하게 된다.
- 승객은 각자의 개인 공간 내에서 선호하는 행동을

4) www.naver.com, 운동별 칼로리 소비율표를 참조하였음

하며, 공간의 쾌적성에 따라 행동의 제약이 따른다.

- 통행목적에 따라 이동하는 승객들은 개인의 선호에 따른 행동을 하게 되며 그에 따라 일정한 에너지를 소모하게 된다.
- 방법론 정립을 위해 지하철 한량의 객차에 탑승하고 있는 승객들의 몸무게는 2004년 기준 30~34세의 평균 몸무게(5)를 적용하였다. (남자: 71.5kg, 여자: 55.2kg)
- 운동시간에 따라 칼로리의 소모량의 편차가 있으므로 승객들의 지하철 탑승시간을 전체 평균 탑승시간인 34분(6)을 적용하여 분석하였다.
- 지하철 내부 승객들의 이동형태는 <그림 5>와 같이 구분할 수 있으며 이에 따라 소모되는 칼로리의 원단위는 <표 3>, <표 4>와 같다.



<그림 6> 승객 이동형태 분류

- 남성승객의 칼로리 소모 원단위

구분	대화	독서 (책, 신문 등)	디지털 기기 사용
좌석	0.02299	0.02299	0.02270
입석	0.02501	0.02501	0.02472

<표 3> 남성 칼로리 소비 원단위 (단위: kcal/kg·분)

- 여성승객의 칼로리 소모 원단위

구분	대화	독서 (책, 신문 등)	디지털 기기 사용
좌석	0.02200	0.02200	0.02168
입석	0.02398	0.02398	0.02366

<표 4> 여성 칼로리 소비 원단위 (단위: kcal/kg·분)

2. 방법론 정립

- 5) 한국인 인체치수조사, www.sizekorea.kats.go.kr
- 6) 교통카드 이용현황과 대중교통정책의 활용방안(pp. 15), 박진영, 김동준, 한국교통연구원, 2007

좌석에 앉아서 이동하는 승객들은 서서 이동하는 승객들에 비해 자신이 선호하는 행동을 취하는데 큰 제약이 없을 것이다. 각 선호행동을 하는 54명의 좌석승객들의 비율에 따른 칼로리 소모량은 달라지며 입석승객수의 증가에 따라 칼로리 소모량은 다양한 기울기를 갖게 된다. 입석 승객의 경우 완충공간영역이 클수록 타 승객과 마찰의 최소화로 이동이 가능하게 된다. 반대의 경우 승객이 취할 수 있는 행동의 제약이 발생하게 된다.

따라서 고려사항에서 제시한 승객의 연령, 몸무게, 성비, 평균탑승시간을 고려하여 차량내 탑승 승객수의 증감에 따라 다양하게 나타나는 승객의 행동을 구분하여 소모되는 칼로리의 양을 파악하도록 한다. 완충공간에 따른 승객행동의 행동을 분류하고 칼로리 소모량을 산출하기 위한 수식을 나타내면 다음과 같다.

- 완충공간의 면적 $> 0.25m^2$

승객들은 쾌적한 공간의 소유로 대화, 독서, 디지털 기기를 시청하는데 큰 어려움이 존재하지 않는다.

- $0.14m^2 \leq$ 완충공간의 면적 $\leq 0.25m^2$

승객의 완충공간면적이 $0.25m^2$ 보다 작아지면 개인이 선호하는 행동 및 이동에 제약이 발생하게 된다. 따라서 54명의 좌석 승객을 제외한 입석승객의 경우 독서 및 디지털 기기를 사용하는 비율이 감소하게 된다.

- 완충공간의 면적 $< 0.14m^2$

차량 내부는 어깨와 어깨를 마주한 입석 승객에 의해 이동이 어렵게 되며, 54명의 좌석 승객을 제외한 입석승객의 경우 독서 및 디지털 기기의 사용이 불가능하다.

- 수식 제시

$$TCC = C_{sp}^i(x) = \sum_s \sum_p \sum_i C_{sp}^i(x)$$

여기서 TCC : 총 칼로리 소모량
(Total Calory Consumption)
s : 탑승객의 성별
p : 좌석, 입석 승객 구분
x : 승객 점유 면적(여유공간 포함)
i : activity의 집합

IV. 적용 및 결과 분석

1. 분석 입력자료

칼로리 소모량을 분석하기 위해 <표 3>과 <표 4>의 칼로리 소모 원단위를 참조하여 71.5kg의 남성의 경우 좌석대화, 입석대화, 독서, TV시청의 순으로 55.9, 60.8, 55.9, 55.2kcal를, 여성의 경우 남성과 같은 행동 순으로 각각 41.3, 45.0, 41.3, 40.7kcal를 대입하도록 한다. 좌석승객이 소모하는 총 칼로리 소모량을 도출하기 위해 승객수에 따른 행동의 비율을 달리하며 5회 시행하였다. 또한 완충공간의 면적 <math> < 0.14m^2 </math>인 고밀도의 상황에서의 총 칼로리 소모량을 1회 시행하였다.

2. 적용 결과 및 분석

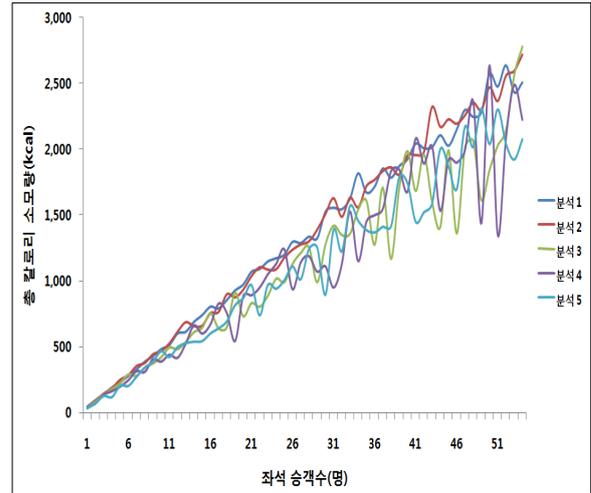
제시된 방법론을 통해 도출된 결과는 <표 5>, <그림 7>, <그림 8>과 같다. 좌석승객의 경우 설명변수인 승객의 수, 행동의 비율에 따라 이동을 하면서 소모하는 총 칼로리 소모량이 최소 35.58kcal 부터 최대 2780kcal까지 다양하게 나타났다.

<그림 8>의 경우 350명의 승객의 총 칼로리 소모량을 추정한 결과 차량내 승객수가 54명을 넘어서면서 총 칼로리 소모량이 급격하게 늘어나는 것으로 나타났다. 이는 승객이 좌석에 앉아서 쾌적하게 이동하는 것보다 서서 이동하는 것이 육체적인 피로도가 높으며, 다른 승객과의 마찰을 최소화 하기위해 신경을 써야하는 심리적인 요인이 영향인 것으로 보인다.

· 좌석 승객의 칼로리 소모량

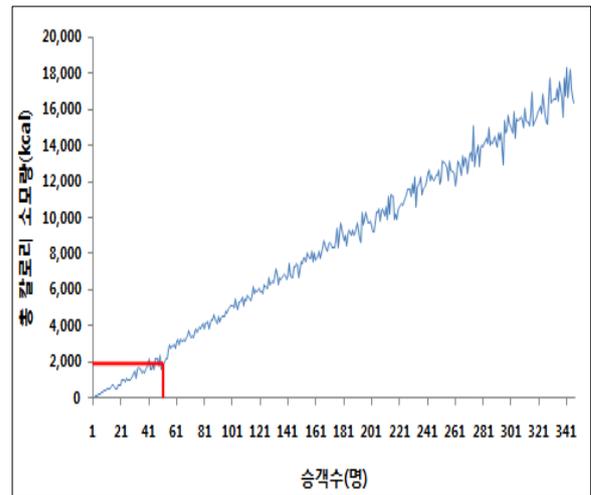
승객수(명)	분석 1	분석 2	분석 3	분석 4	분석 5	분석 6
1	49.78	45.88	44.91	44.73	35.58	41.17
2	99.29	97.47	88.70	76.27	76.63	88.98
3	144.09	152.76	145.07	142.13	129.84	116.80
4	195.60	192.82	186.36	168.47	121.35	166.83
5	234.35	256.66	229.48	203.17	207.17	223.85
6	283.39	291.12	295.63	251.64	206.36	271.42
7	332.56	360.43	285.23	319.93	276.47	286.71
8	391.37	383.35	348.42	314.25	344.60	324.42
9	432.13	449.28	379.59	409.73	390.63	411.19
10	486.09	472.76	426.18	392.42	469.93	469.75
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
45	2030.14	2230.15	1994.68	1920.61	1871.29	1641.82
46	2153.00	2196.69	1364.76	1898.55	1698.36	2205.13
47	2301.99	2259.75	2015.06	1991.81	2170.46	2243.61
48	2249.34	2355.49	2067.39	2364.21	2017.54	1832.26
49	2282.26	2301.68	1617.40	1440.41	2309.82	2408.02
50	2574.80	2472.21	1845.22	2634.35	2039.73	1585.65
51	2480.18	2369.13	2031.01	1350.36	2302.97	1993.71
52	2640.01	2560.37	2145.46	2082.97	2041.55	1932.78
53	2435.74	2596.67	2563.21	2486.69	1922.15	2235.69
54	2510.71	2720.36	2780.31	2223.94	2075.62	2227.30

<표 5> 좌석승객 수에 따른 칼로리 소모량
(단위: kcal)



<그림 7> 좌석승객의 총 칼로리 소모량

· 입석승객의 완충공간의 면적 <math> < 0.14m^2 </math>일 경우의 칼로리 소모량 (승객수 350명, 좌석:54명, 입석: 296명)



<그림 8> 350명 승객의 총 칼로리 소모량

V. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 지하철 객차 및 탑승객 특성을 고려하여 평균 통행시간 동안 소모되는 칼로리의 양에 따라 혼잡률을 산정하는 방법을 제시하였다. 지하철에 탑승하여 목적지까지 이동하는 승객들이 선호하는 대표적인 이동형태를 3가지로 분류 하였으며 확실적인 방법을 통해 좌석 및 입석 승객의 형태에 따라 얼마만큼의 칼로리가 발생하는지를 파악하였다. 하지만 이러한 과정을 수행하면서 승객들의 다양성, 예를 들면 연령, 체중, 탑승 시간, 행동 등을 충분히 고려하지 못하였다는 한계점이 존재하는 것을 발견하였다.

연구의 과정을 통해 드러나는 새로운 과제는 첫째, 지하철 이용승객에 대한 좀 더 사실적인 접근이 필요하다는

것이다. 현장조사를 통해 지하철 탑승 승객의 수, 승객 이동패턴 및 남녀의 비율이 명확하게 제시된다면 좀 더 사실적인 분석이 가능하리라 예상된다. 둘째 각 지역을 운행하는 도시철도 차량의 공간적인 특성의 다양성을 고려해야 하겠다.

향후 연구를 통해 현재 차량의 용량과 재차인원으로 대표되는 혼잡률을 개념에 에너지 소모량과 이에 따라 지하철 이용 승객들이 느끼는 피로도를 지표로 사용할 수 있으리라 예상된다. 또한 버스, 경전철 등 다양한 대중교통 수단에도 적용이 가능하며 이에 따라 발생하는 사회적 비용의 추정에 칼로리 소모량의 개념이 이용 될 것으로 예상된다.

참고문헌

1. 서울시 지하철 노선체계 개편방안, 서울시정개발연구원, 손기민, 윤혁민, 김대현, 강수구, 2005
2. 알기 쉬운 도시교통, 원제무 저
3. 대중교통 중심도시 구축을 위한 교통정책 시행방안 연구, 2008.06
4. 남녀신체구성 성분에 따른 칼로리 섭취량과 운동종목별 칼로리 소모량의 비교분석
5. 한국인 인체치수조사 (www.sizekorea.kats.go.kr)
6. 교통카드 이용현황과 대중교통정책에의 활용방안, 박진영, 김동준, 한국교통연구원, 2007
7. 통합거리비례요금제와 차내혼잡을 반영하는 통합대중교통망 통행배정 모형 구축, 대한교통학회지, 박준환, 2007.04
8. 한국인의 에너지 소비량에 관한 연구, 한국영양학회지, 오승호, 황우익, 이영희
9. 실내 인공적 복합 환경에 대한 주·야간 평가비교, 대한설비공학회, 진지현 외 2, 2005
10. 철도자동차 내의 쾌적성 평가에 관한 연구, 한국철도학회논문집, 2003
11. 전동차내 쾌적성 평가에 관한 기초연구, 한국철도학회, 박덕신 외 2, 2002
12. 자동차 실내공간의 열적 쾌적성, 한국과학기술원, 홍성호, 2006
13. Pedestrian Planning and Design, John J. Fruin