승객 수에 따른 전동차 객실공간의 온도변화 특성 연구

A Study on the Temperature Variation Characteristics of Electric Car Depending on Passenger Number

함대주† 박덕신* 남성원** 맹희영***

Hahm, Dae-Ju Park, Duck-Shin Nam, Seong-Won Maeng, Hee-young

ABSTRACT

A Study has been conducted on the characteristics of temperature variation depending on passenger number that is measured in Bundang Line(From Sunleng To Bojong). As a basic study, the air quality of passenger room for the electric rail car is evaluated. Although ISO7730 recommends that the height of measuring points for the heat environment is to set at 0.1m, 0.6m, 1.1m and 1.7m respectively, temperature are measured at two points at 1.1m and 1.7m because of the difficulty to measure temperature of 0.1m height in rush hour. We compared the results of temperature variations between two stations in rush hour(07:56-08:41). In general, the capacity of a passenger car is designed for 160 persons, but over 280 persons often board on electric rail in rush hour. The temperature of room is adjusted from 22℃ to 24℃, but it is measured from 26℃ to 28℃ on average. Therefore, it shows that there are difference between the set temperature and measured one. This article suggests the ways of the time adjusting and air-conditioning to satisfy customer's demand and the guide line to design the optimum capacity of air-conditioner of the new electric rail car which will be introduced in the near future.

1. 서 론

도심지역의 인구집중 및 교통량 증가로 환경오염이 가중되면서 실내 환경에 대한 관심이 본격적으로 대두되기 시작했다. 하루 시간의 대부분을 실내공간에서 생활하는 현대인에게 있어 실내 환경에 대한 요구가 절실한 실정이다. 밀폐된 좁은 공간의 다수의 승객이 체류하는 전동차의 경우 공조 상태를 최적으로 유지하는 데에는 많은 어려움이 있다. 더욱이 160명을 승차정원으로 하는 전동차의 경우 출, 퇴근 시 2배 이상의 승객이 승차하는 실정으로 40평형의 주택에 20평형대의 에어컨을 설치하는 것과 비슷한 상황이다. 전동차의 경우 승객의 안전을 위하여 객실 창문의 개폐가 불가능하며, 출입문의 개폐에만 의존한 자연환기 시스템을 채택하고 있어 정원 이상의 승객이 탔을 경우 약간의 문제가 발생하고 있는 실정이다. 특히, 코레일 광역철도사업본부에서 발간한 '08년 광역전철 수송계획 보고서에 의하면 전동차의 경우 출, 퇴근시간대인 07:00 ~ 08:00, 18:00 ~ 19:00인 2시간 동안 총 이용 고객의 32%가 집중되는 것을 알 수 있다. 요즘과 같이 국내 외 경제 동향을 볼 때 고유가로 인한 에너지 절약과 대중교통 이용이 중시되고 있는 현 시점에서 대량의 승객을 운송하는 전동차의 문제점 해결이야말로 시대적으로 요구하는 과제라 생각한다.

† 책임저자 : 학생회원, 서울산업대학교, 철도전문대학원, 석사과정, 한국철도공사
E-mail : wind1208@hanmail.net
TEL : (02)3299 - 7907 FAX : (02)3299 - 7863
* 정회원, 한국철도기술연구원, 철도환경연구실, 책임연구원
** 정회원, 한국철도기술연구원, 철도환경연구실, 수석연구원
*** 교신저자 : 정회원, 서울산업대학교, 교수

이에, 실제 운행 중 인 전동차의 실내 공기 질을 평가하기위한 기초연구로서 비교적 정량화가 쉬운 온도, 습도를 대상으로 분당선 전동차 선릉 ~ 보정 구간에 객실의 승객이동에 따른 변화 특성연구를 하였다.

2. 이론적 고찰

전동차 냉방장치는 Fig 1 에 전동차 냉방장치가 천정 외벽 상부에 량 당 2개의 냉방 유닛쿨러가 설치되어 있으며, 형식은 옥상노출 천정 집약 분산식으로 1편성(6량)에 12개의 냉방 유닛 쿨러가 설치되어 있다. Fig 2 에서 와 같이 1개의 차량 천정에 2대의 유닛이 설치되어 있으며 1개의 냉방 유닛 당 2개의 냉방 사이클로 되어있다. 전동차 객실은 Fig 3 과 같으며 차량마다 약간씩 차이가 있으며 TC (운전실부 객차), M(동력차), T(일반객차)로 구분되며, 본 실험에서는 M(동력차)를 선정하여 실험하였다. 객실 내부를 기준으로 길이가 19m, 폭이3m이며 전동차의 용적은 133m³ 이고 환기 량은 승객 수 기준으로 31.6m³/min 으로 설정되어 있다.

Fig 3 에 객실 내 천정 상부에 닥트가 양쪽 2열로 설치되어 있으며 길이 방향으로 천정 중앙을 기중으로 좌우로 2열로 배치되어 있고 각 열마다 flow fan - 덕트 의 순서로 flow fan 10개 닥트 11개가 배열되어 양당 flow fan 20개 닥트 22개 있으며 또한 공기 순환을 위해 각 열에 2개의 리턴그릴이 배열되어 량당 4개의 리턴그릴이 있다. 냉방 기류는 리턴그릴을 통해 유입된 실내 공기와 외부 공기가 합쳐서 객실내로 배출되며 배출공기의 70%는 재순환 되고 30%는 외기로 배기된다. 유입 공기의 유속은 0.51m/sec이며 전동차 객실 내부의 유속은 평균 0.2m/sec 이다.

Fig 1. 천정에 설치된 유닛쿨러

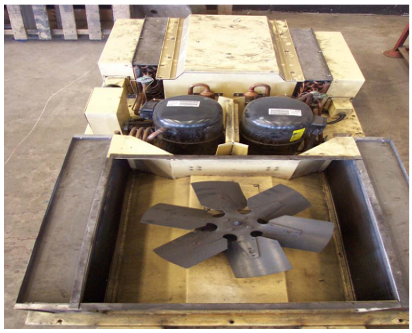


Fig 2. 유닛쿨러

Fig 3. 객실 천정

3. 시험방법 및 측정

3.1 시험대상

분당선 전동차는 선릉 ~ 보정 간 총 연장 27.4km, 영업구간 27.7km, 영업역 20개로 보정역, 죽전역을 제외한 모든 역이 지하구간으로 되어있어 경부선, 경인선과 달리 외기의 영향을 거의 받지 않는다. 그리고 분당선 승객들 대다수는 분당, 성남에 거주하면서 강남으로 출퇴근하는 특징을 가지고 있다.

일반적으로 실내공간에서 기온은 바닥으로부터 높아질 수 록 상승한다. 전신은 열적 중립 상태이더라도 온도차이가 상당히 크면 온 불쾌감이 머리 부분에서 생기고, 냉 불쾌감은 발 부근에서 생긴다. 실내 상하 온도차의 한계에 대해서 ISO 7730에서는 앉은 상태에서 발목(바닥 위 10cm)과 머리(바닥 위 110cm)의 온도차를 3℃ 이내로 유지할 것을 추천하고 있다. 온열환경 수직 측정위치를 지표면에서 0.1m, 0.6m, 1.1m, 1.7m 높이로 할 것을 추천하고 있으며, 0.1m는 발목, 0.6m는 착석 시 인체의 중심, 1.1m는 착석시 인체의 머리, 1.7m는 서있을 때의 머리 높이에 해당 한다.

본 연구에서는 2008년 7월 4일 한국철도공사 소속 분당선 전동차에서 승객이 탑승했을 때의 높이를 실측하여 ISO 7730의 추천 기준에 따랐으며, 실제로 운행하는 전동차에서 실험하게 되는 제약을 고려하여, Fig. 7 과 같이 수직측정위치를 착석 시 인체의 머리인 1.1m, 서 있을 때 인체의 머리 중심인 1.7m로 나누어 4개 지점으로 하여 총 8지점을 선정 측정 하였다. Fig 10에 제원은 내부를 기준으로 길이가 19m이고, 폭이 3m로서 수평 기온 및 습도 측정지점은 전동차 내부 공조기의 위치가 좌우 대칭이므로 전체 객실의 1/2만 측정대상으로 하였다. 또한 화제탐지기온도 및 공기스프링 온도는 운전실에 탑승하여 측정하였다.

Fig 4. 온도센서 설치

Fig 5. 노트북 IES-3000 설치

Fig 6. 노트북 화면

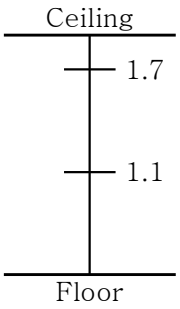


Fig 7. 수직측정 위치

Fig 8. 화탐온도 및 AS압력 측정

Fig 9. 운행중인 전동차 내부

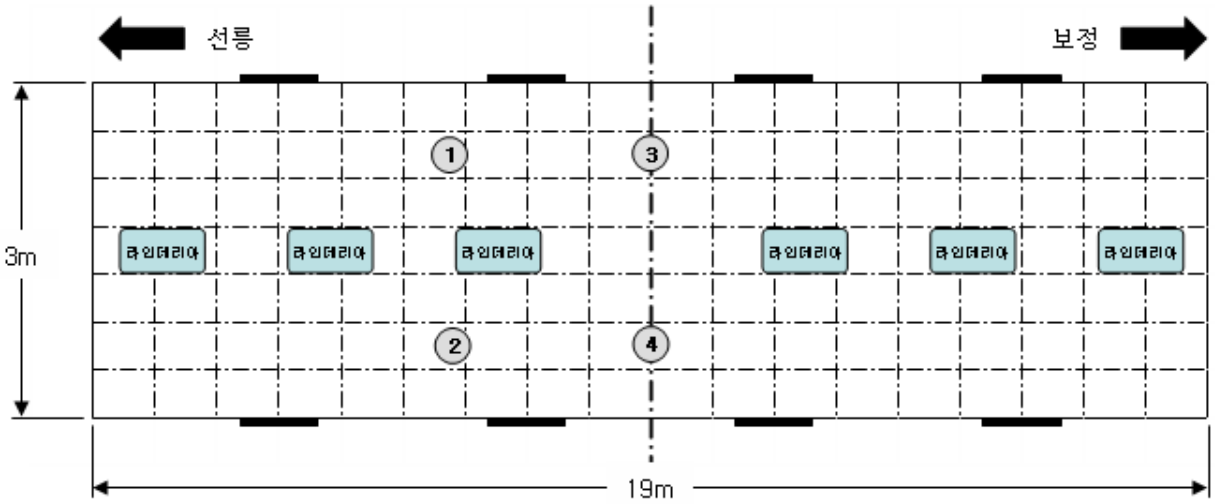


Fig 10. 전동차내 수평 온도/습도 분포 측정위치

3.2 측정장치 및 방법

온도측정에는 USN(Ubiquitous Sensor Network)을 사용하였다. Fig 11 는 본 연구에 사용된 온도센서노드의 사진이다. 온도센서노드는 센서파트, 데이터 송수신을 위한 RF(radio frequency)파트 및 데이터처리와 제어를 담당하는 마이크로 콘트롤러로 구성된다. 센서노드에서 송신된 신호는 마이크로 게이트웨이를 통하여 수집되고 노트북 PC에서 실시간으로 데이터를 처리하게 된다.

Fig 11. 온도센서 노드 및 마이크로 게이트웨이

Table 1. 각 역별 승차인원 현황

역 명	출입문 개폐 시간	화탐온도	AS압력	승차인원
보 정	07:49:39AM 출발	21.8	3.7	66
죽 전	07:52:16AM ~ 07:52:32AM	21.8	3.7	94
오 리	07:56:34AM ~ 07:56:53AM	21.3	3.8	116
미 금	07:58:35AM ~ 07:58:47AM	21.3	4.1	146
정 자	08:00:56AM ~ 08:01:12AM	21.3	4.1	168
수 내	08:03:13AM ~ 08:03:25AM	21	4.2	174
서 현	08:04:59AM ~ 08:05:14AM	20.8	4.2	186
이 매	08:17:11AM ~ 08:07:23AM	20.5	4.3	208
야 탑	08:09:32AM ~ 08:09:56AM	20.5	4.4	214
모 란	08:12:37AM ~ 08:13:12AM	20.5	4.5	238
태 평	08:14:47AM ~ 08:15:11AM	20.8	4.7	270
경원대	08:16:42AM ~ 08:16:58AM	21	4.8	276
복 정	08:19:55AM ~ 08:20:38AM	21.3	4.9	308
수 서	08:24:10AM ~ 08:24:46AM	21.3	4.6	260
대모산	08:28:26AM ~ 08:28:41AM	21	4.8	278
개포동	08:29:56AM ~ 08:30:08AM	21	4.8	286
구 룡	08:31:26AM ~ 08:31:38AM	20.5	4.7	270
도 곡	08:32:52AM ~ 08:33:28AM	20.5	4.7	275
한 티	08:34:38AM ~ 08:34:58AM	20.5	4.7	280
선 릉	08:36:47AM ~ 08:38:05AM	-	-	-

측정항목은 Table 1 과 같이 정차시간, 화제 탐지기 온도, 공기스프링 압력, 승차인원을 측정하였고 측정위치는 운전실에서 화제 탐지기 온도, 공기스프링 압력을 객실에서 출입문 개폐시간 및 승차인원을 체크하였다. 승차인원은 분당선 특성상 선릉역에 가까워질 수 록 계속적인 증가를 보였으며 공기스프링 압력 또한 승차인원에 비례하여 증가하였다.

4. 결과 및 고찰

승객 수에 따른 전동차 객실공간의 특성을 평가하기 위하여 정량화하기 쉬운 온도 및 습도를 대상으로 연구를 수행하였다. 온도 및 습도는 2008년 7월 4일 모니터링 된 데이터를 나타내었다. 전동차 냉방설정의 경우 기본적으로 22℃ ~ 24℃로 세팅되어 있으나 실제 측정한 결과 평균적으로 25℃ ~ 27℃ 로 나타나 온도 조정에 전반적인 문제점이 발견되었다.

객실 온도의 경우 시발역을 지나 종착역에 도착할 때까지 계속적인 상승곡선을 보였으며, 습도는 보정역 출발 후 오리역에서 92%로 정점을 찍고 선릉역에 도착할 때까지 하강하는 모습을 보였다. 또한 온도 조정의 기준으로 삼고 있는 화제 탐지기 현시온도의 경우 실제 객실온도는 4℃~5℃차이를 보여 냉방의 척도로 사용하기엔 부적당한 것으로 나타났다.

승객 수와 객실온도, 공기스프링 압력과의 관계를 밝히기 위하여 Fig 12 와 같이 통계프로그램인 minitab을 이용 상관분석을 한 결과 승객수와 객실온도는 중도적인 양의 상관관계로 나타났으며, 승객수와 공기스프링 압력은 강한 양의 상관관계로 나타났다.

또한 변수들 간의 관련성을 규명하기 위하여 회귀분석을 실시하였다. 그 결과 승객수와 객실온도는 신뢰도 76.6%, P값 0.000, 회귀식(승객수= -1871+79.2객실온도)로 나타났고, 승객수와 AS압력은 신뢰도 98.4%, P값 0.000, 회귀식(승객수=-591+183AS압력)으로 나타났다.

그리고 1point 와 2point는 시간이 지남에 따라 온도가 계속적으로 상승을 하나 3point 와 4point는 규칙적인 변화를 보이지 않았다. 그에 대한 원인은 센서와 유닛쿨러가 근접한 위치에 있어 발생하는 것으로 사료된다. 또한 바닥에서 멀어질 수록 온도가 높아지는게 일반적이지만 이 역시 냉방 유닛쿨러의 영향으로 1.7m높이보다 1.1m의 높이가 더 높은 것으로 나타났으며 습도는 높이에 따른 차이가 거의 없는 것으로 밝혀졌다.

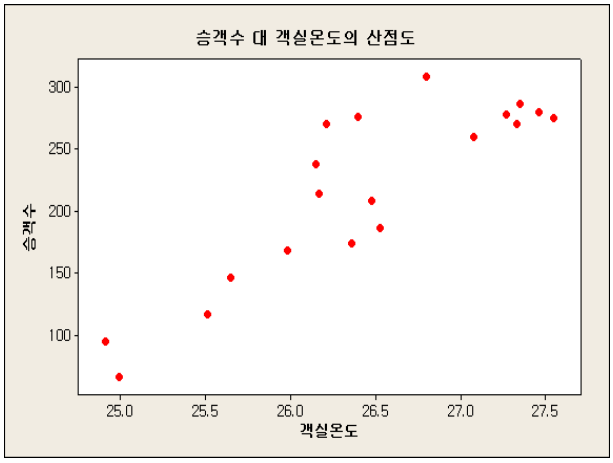


Fig 12. 승객수 와 객실온도

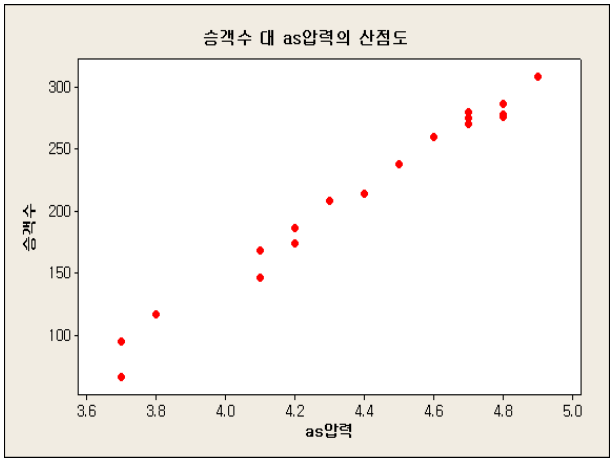


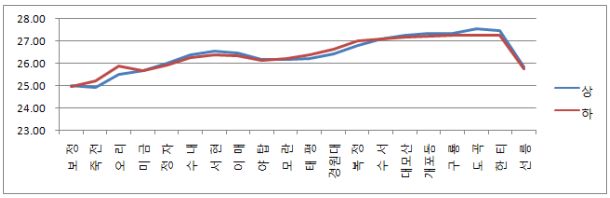
Fig 13. 승객수 와 공기스프링

Table 2. 객실 온도 측정표

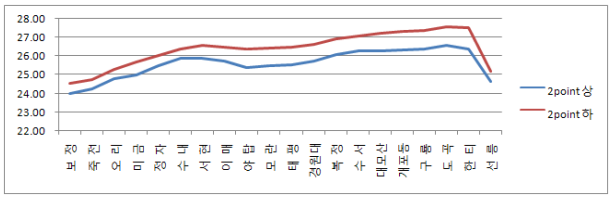
정차역	1point		2point		3point		4point		평균
	상	하	상	하	상	하	상	하	
보 정	24.99	24.95	24.00	24.56	22.43	22.66	21.89	23.28	23.40
죽 전	24.91	25.18	24.25	24.73	21.80	22.16	21.84	22.63	23.23
오 리	25.51	25.87	24.81	25.32	22.41	22.48	22.41	23.66	23.85
미 금	25.65	25.66	24.99	25.68	23.11	23.48	22.78	23.98	24.24
정 자	25.98	25.91	25.48	26.03	23.51	23.92	22.95	23.85	24.52
수 내	26.36	26.23	25.90	26.39	23.77	24.06	23.09	24.13	24.80
서 현	26.53	26.36	25.87	26.58	23.80	24.05	22.98	23.82	24.78
이 매	26.48	26.31	25.72	26.50	23.70	23.95	22.72	23.23	24.59
야 탑	26.17	26.11	25.41	26.38	23.31	23.77	22.37	22.67	24.29
모 란	26.15	26.19	25.49	26.43	22.98	23.23	22.15	22.24	24.10
태 평	26.21	26.35	25.54	26.49	22.53	22.80	22.05	22.03	23.97
경원대	26.40	26.64	25.72	26.64	22.50	22.66	21.89	21.99	23.72
복 정	26.80	27.00	26.08	26.92	22.69	23.16	22.04	22.18	24.30
수 서	27.08	27.09	26.28	27.08	22.31	22.74	22.15	22.51	24.31
대모산	27.27	27.16	26.31	27.23	21.58	22.26	22.14	22.45	24.16
개포동	27.35	27.21	26.37	27.29	21.23	22.19	22.18	22.58	24.15
구 룡	27.33	27.24	26.39	27.36	21.23	22.11	22.10	22.53	24.14
도 곡	27.55	27.24	26.59	27.56	21.03	22.04	22.36	22.72	24.22
한 티	27.46	27.25	26.41	27.49	21.62	22.32	22.25	22.52	24.27
선 릉	25.85	25.73	24.66	25.18	21.43	22.10	21.26	21.31	23.10

Table 3. 객실 습도 측정표

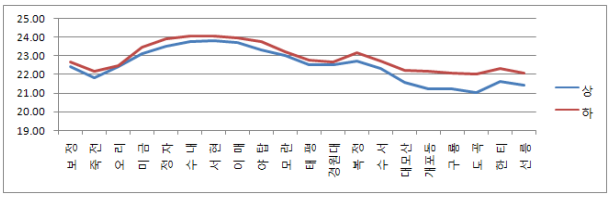
정차역	1point		2point		3point		4point		평균
	상	하	상	하	상	하	상	하	
보 정	79.18	78.29	84.20	79.37	88.13	87.29	86.94	82.48	83.24
죽 전	81.64	77.98	83.52	78.93	93.39	91.41	91.52	89.74	86.02
오 리	92.42	89.51	93.40	89.43	99.69	99.20	101.51	95.66	95.10
미 금	91.45	91.30	95.66	91.40	99.57	98.23	97.30	92.39	94.66
정 자	90.55	90.40	93.93	89.75	94.31	93.67	95.62	92.95	92.65
수 내	89.33	89.08	93.01	89.12	94.43	93.71	93.78	91.60	91.76
서 현	83.83	83.64	88.09	83.24	88.53	88.34	87.23	85.89	86.10
이 매	79.28	79.01	83.61	78.59	84.61	83.93	82.51	82.96	81.81
야 탑	77.32	77.06	81.50	76.25	81.01	78.94	80.47	81.19	79.22
모 란	76.69	76.15	80.32	75.03	81.46	80.59	81.51	83.19	79.37
태 평	77.13	76.20	80.26	74.87	82.18	81.28	79.57	82.01	79.19
경원대	78.30	76.75	81.50	76.11	85.02	83.84	81.68	84.29	80.94
복 정	79.10	77.59	82.41	77.37	87.17	85.64	86.20	87.28	82.85
수 서	77.29	75.86	80.97	75.86	84.21	82.14	84.09	84.08	80.56
대모산	75.24	74.80	78.85	73.62	86.23	83.27	82.67	82.66	79.67
개포동	75.28	74.99	79.12	73.77	86.64	81.85	80.82	80.82	79.16
구 룡	75.10	74.73	79.07	73.72	87.02	82.26	81.95	82.22	79.51
도 곡	74.56	74.82	80.82	74.37	89.17	84.25	84.14	83.96	80.76
한 티	74.21	74.44	78.38	72.00	88.01	84.78	82.29	83.29	79.68
선 릉	62.69	62.07	66.82	63.40	78.26	74.11	74.87	77.59	69.98



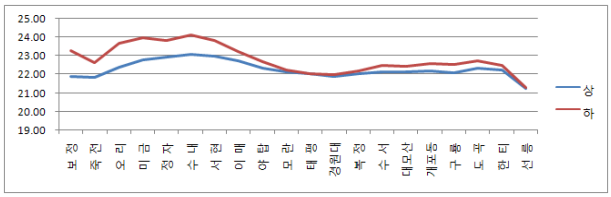
a) 1point



b) 2point

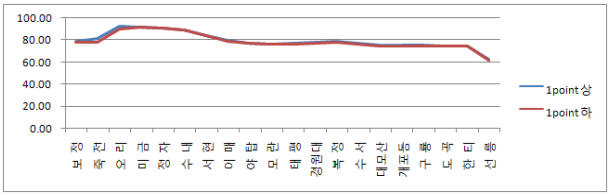


c) 3point

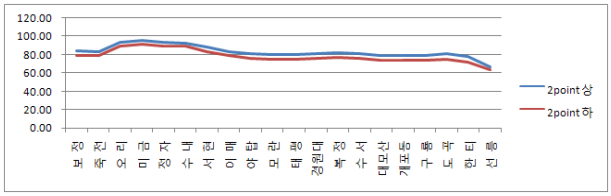


d) 4point

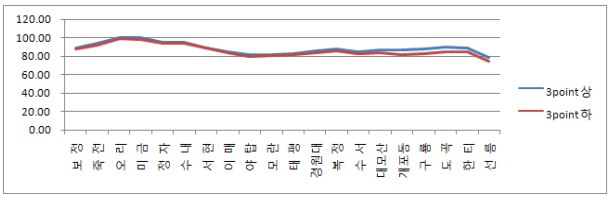
Fig 14. 객실 온도



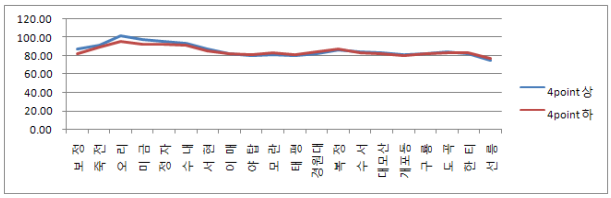
a) 1point



b) 2point



c) 3point



d) 4point

Fig 15. 객실 습도

5. 결론

실제 운행 중 인 전동차의 실내 공기 질을 평가하기위한 기초연구로서 비교적 정량화가 쉬운 온도를 대상으로 분당선 전동차 선릉 ~ 보정 구간에 객실의 승객이동에 따른 온도변화 특성연구를 하였다. 연구결과, 1.7m지점과 1.1m지점 사이의 온도차가 ISO 7730에서 권장하는 범위인 온도범위 3℃범위내에 있었으며 분당선이 지하구간이라는 특성 때문에 시발역을 지나 종착역에 도착할 때까지 계속적인 온도 상승을 보였다. 이 논문에서는 시격조정과 효율적인 냉방조정 방법을 제시함으로서 전동차 이용 고객의 만족도를 향상시키고, 향후 신조 전동차를 설계하기위한 자료로 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

6. 참고문헌

1. 철도공사(2008) ‘08년 광역전철 수송계획 보고서
2. 박덕신, 배상호, 정병철, 이주열(2003) 한국철도 학회논문 제6권 제1호
   철도 전동차내의 쾌적성 평가에 관한연구 “p42~43
3. 권순박, 조영민, 박덕신, 박은영(2007) 전동차 객실의 실내공기질 평가-CO_2 농도와 승객 수,
   한국철도학회 춘계학술대회