

전기철도에서의 에너지 절감 방안에 관한 연구 (조명등 및 전동차 운용 실측 분석)

A Study on the Energy Saving of Electric Railway System

이기승* 민병훈** 김학권*** 장상훈****

Lee, Gi-Seung Min, Byung - Hoon kim, Hak - Lyun Chang, Sang-Hoon

ABSTRACT

Recently, since demands of energy saving and efficiency for electric railway system have been increased, the study for electrical operation system is needed.

Therefore, case study according to increase of energy consumption, investigate the actual conditions of the operation of electric cars and lightings were analyzed. From the results therefore, it is found that the energy consumption of electric car is much more winter than summer, because heating for protect of the air pipe frozen. But the energy consumption of electric equipment of station office is much more summer than winter, the reason for air-conditioner.

In future, according to outdoor air temperature and ridership, wish to study about system that can operate cold, block heater automatically.

1. 서 론

전기철도는 타 교통시스템에 비하여 환경친화성, 정시성, 안전측면에서 사회적 주요 관심 대상이 되고 있으며 보다 효율적인 최적의 주행을 위하여 승차감 향상, 주행에너지의 절감, 정시성의 확보를 위한 최적의 운전제에 주안점을 두고 있으며 또한 도시철도 이용시민에게 보다 쾌적하고 조도가 향상된 정거장 및 전동차내의 분위기 조성에 노력하고 있다. 현재 우리나라의 기후 특성과 전력소비 특성을 고려한 합리적인 전기선비 운용에 필요한 기초 자료가 매우 미흡한 실정이다.

산업의 발달과 도시화로 대중교통의 중요성이 점차 강조되고 있으며, 최근 자동차의 증가로 도로에서의 정체현상이 점점 심각해짐에 따라 도시철도의 중요성은 크게 부각되고 있다. 특히 일반철도에 비하여 전기철도는 매연과 소음이 적어 환경친화적이며 고빈도 운전, 대량수송이 가능하며 높은 품질의 교통 서비스를 제공해주는 등 많은 장점 때문에 전기철도의 영역은 날로 확대되어 가고 있으며 세계의 각 나라들도 전기철도망 확충에 많은 관심을 가지고 있는 실정이다.

우리나라는 에너지의 97.5%를 해외로 의존하고 있으며 원유가가 1\$상승할 때마다 10억\$의 무역수지 차이가 발생하는 나라이다.

지하철 1 ~ 4호선 운영하는 서울지하철에서의 전기철도 운행 및 부대설비에 필요한 전력사용량은 년 간 8억4천300만[kWh]이며 전력요금은 610억원으로 하루 약 1억7천만원 소요되고 있다.(2002년 기준) 전력요금이 차지하는 비중은 지하철 순수 수송수입에 11%를 차지하고 있다. 용도별로는 전차용 72%, 역사부대설비용 27%, 상가용 1%이며, 겨울철의 사용량이 가장 높고 여름철, 봄, 가을 순으로 나타나고 있다.

* 서울지하철공사, 정회원

** 서울지하철공사, 정회원

*** 서울산업대학교 교수, 정회원

**** 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원

전동차 운행에 의한 소비보다는 난방을 위한 전력소비가 큰 것으로 나타났으며, 차량기지의 전력소비가 전체 사용량의 20%를 차지하여 매우 높은 점유율을 보였다.

여름과 겨울 전동차 냉, 난방기 가동 기준은 기상청의 온도에 따라 가동하고 있는 실정이다. 현재는 기상청의 온도를 참고하여 냉, 난방기를 가동하고 있는 점이 약점으로 판단된다.

이러한 문제를 해결하기 위해서는 앞으로 이 분야에 대하여 학계의 활발한 연구가 있어야 할 것으로 생각되는데 우선적으로 운영중인 시스템 실태 비교분석에 대한 연구가 선행되어야 할 것으로 판단하여 연구의 테마로 정하였다.

본 연구는 역사의 조도 또한 하절기와 동절기의 역사 및 전동차의 온도 조사 측정하여 기기별 효율적인 운용 관리 방안을 바람직한 방향에 대한 결론을 도출하는 순서로 계획하였다.

2. 2002년도 전력사용량 및 요금 현황

가. 호선별 전력사용 현황

[MWh]

구 분	계	1 호 선	2 호 선	3 호 선	4 호 선
고비용	223,446	18,725	83,829	68,429	52,463
전차용	608,198	55,778	293,965	136,576	121,879
선로손실	1,083	108	552	220	203
상가용	10,519	1,445	3,742	3,594	1,738
계	843,246	76,056	382,088	208,819	176,283

○ 2002년 전력사용량은 1호선 9.0%, 4호선 21.0%, 3호선 24.7%, 2호선45.3% 이다.

나. 호선별 전력요금 현황

[천원]

구 분	1 호 선	2 호 선	3 호 선	4 호 선	계
지하철	5,426,304	27,143,413	14,832,292	12,546,929	59,948,938
상가용	128,176	378,106	369,318	196,623	1,072,223
계	5,554,480	27,521,519	15,201,610	12,743,552	61,021,161

○ 2002년 전력요금은 위 도표에서 분바와 같이 약6백10억원임.

다. 2002년도 열차주행거리

구 분	1 호 선	2 호 선	3 호 선	4 호 선	계
열차주행거리(C-k CM)	21,937	91,863	52,528	55,725	222,053

○ 2002년 열차주행거리는 약2억2천km이다.

라. 월별 전력사용 현황

월별 분포는 여름철 요금이 적용되는 8월과 9월이 다른 월에 비해 비교적 높게 나타났다. 또한 1월에도 동절기 난방 사용 등에 따른 계절적 요인으로 전력사용량이 높게 나타났으며, 이를 그림으로 살펴보면 다음과 같다.

계절별로는 겨울철, 월별로는 8월이 가장 많았으며 반면 5월이 가장 낮았다. 이는 겨울철 차량 난방 등 전력소모가 비교적 큰 것에 따른 것으로 분석 되며, 8월은 여름철 냉방전력 사용이 주 원인인 것으로 보인다.

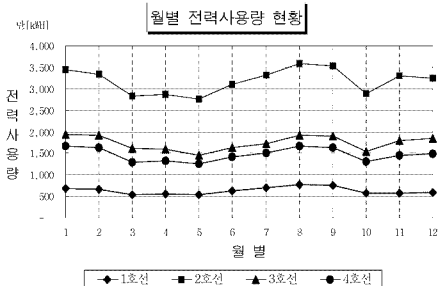


그림 2 호선별 전력사용량 증감추이

마. 고압배전용 전력사용량

고압배전용 전력사용량은 2호선 37.5%, 3호선 30.5%, 4호선 23.5%, 1호선 8.4%순으로 나타났으며, 지하철 역사조명 및 동력설비 등의 역사 부대용 전력이 차지하는 비중은 지하철 전체 전력사용량의 27%를 담당하고 있다

(고압배전용 전력사용량)

단위 : [MWh]

구 분	1 호 선	2 호 선	3 호 선	4 호 선	계
1 월	1,361	7,360	5,408	4,607	18,736
2 월	1,313	7,437	5,792	4,625	19,167
3 월	1,257	6,524	5,353	3,922	17,056
4 월	1,100	6,064	5,300	3,777	16,241
5 월	943	5,531	4,861	3,223	14,558
6 월	1,446	6,217	5,411	3,751	16,825
7 월	2,251	7,841	6,213	4,811	21,116
8 월	2,736	9,179	7,496	5,866	25,277
9 월	2,582	8,377	6,947	5,592	23,498
10 월	1,415	6,099	5,142	3,922	16,578
11 월	1,141	6,412	5,341	4,172	17,066
12 월	1,175	6,783	5,173	4,189	17,320
계	18,720	83,824	68,437	52,457	223,438

바. 전차용 전력사용 현황

전차용 전력사용량은 6억80만[MWh]로 총 지하철 전력사용량의 72%를 차지하였다. 2호선 2억9천만[kwh], 3호선 1억4천만[kwh], 4호선 1억2천만[kwh]의 순으로 나타났으며 구간이 짧고 기지를 갖고 있지 않은 1호선이 5천만[kwh]로 낮게 나타났다. 월별로는 여름철인 8월과 9월, 그리고 겨울철인 11월 ~ 2월까지가 많은 전력소비를 보이고 있고, 냉방수요가 비교적 많은 8월이 높은 전력수요를 나타냈으며, 또한 차량의 난방 수요가 많은 1월이 비교적 높게 나타났다.

한편, 냉, 난방수요가 거의 없는 5월과 3,4월 그리고 10월이 전력 소비가 낮게 나타났다. 냉, 난방의 소비가 거의 없는 5월 전차용 전력량을 기준으로 동절기(12,1,2월) 차량난방 소요비율과 하절기(7,8,9월) 차량 냉방 소요비율을 비교한 것으로 여기에 표기된 수치는 열차운영에 소요되는 전력량에 대한 비율로 볼 수 있다.

하절기와 동절기간 차량 냉, 난방 비율

구 분	1 호 선	2 호 선	3 호 선	4 호 선	계
차량냉방비율(%) (7, 8, 9월)	7.9	19.6	19.0	12.6	16.8
차량난방비율(%) (12, 1, 2월)	14.0	15.9	40.4	21.2	22.0

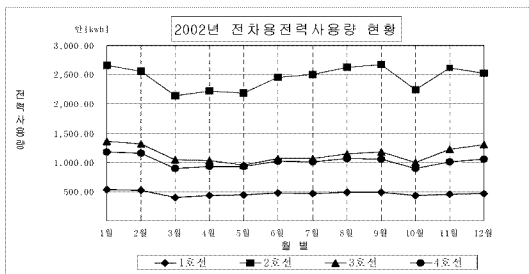


그림 3 호선별 전차용 전력사용 현황

3. 전기사용기기 시스템 운용실태조사 및 측정

가. 조명

(1) 내용 : 1 ~ 4호선 115개 역사 중 9개 A급 역사 선정 승강장 및 대합실 조도측정

(2) 기간 : 2003. 10. 6 ~ 11. 5

(3) 측정 현황

구 분	기준조도 [lux]	실측조도[lux]				실측평균	
		A	B	C	D	조도[lux]	기준조도 대비비율[%]
대합실	300	470	410	880	750	610	250
계단부	200	250	350	300	236	325	162
승강장	250	305	350	795	470	410	164

나. 전동차 냉, 난방 기준

(1) 본선 주행시 : 난방(18 ~ 20℃ 유지), 냉방 : 대기온도 26℃시 가동(26℃~28℃ 유지)

(2) 차량기지

구분	대기 온도	운용 기준	비고
난방	영하 0℃ ~ 영하 5℃	1단 가동(350w)	소속장 판단
	영하 5℃ ~ 영하 10℃	2단 가동(700w)	
	영하 10℃ 이하	3단 가동(1,050w)	

다. 온도 측정

(1) 기상청과 차량기지

구분	기상대	A기지	B기지	C기지	D기지	E기지
온도[℃]	-0.6	-1	-1.5	-1	-2	-1

(2) 전동차 객실

- 측정장소 : 2, 4호선 전동차 내

측정일	역사명	시간	온도[℃]	측정일	역사명	시간	온도[℃]	승객수
2003. 12.22. (동절기)	사당(4)	15:26	15 ℃	2004. 8.10. (하절기)	방배	13:41	24.6	100~ 80명 정도
	충신대 입구	15:27	18.5 ℃		서초	13:43	25.2	
	동각	15:30	20.5 ℃		교대	13:45	25.9	
	신용산	15:35	21.8 ℃		강남	13:47	26.0	
	삼각지	15:36	20.6 ℃		역삼	13:49	25.2	
	숙대입구	15:39	21.7 ℃		선릉	13:51	26.8	
	회현	15:41	21.7 ℃		삼성	13:53	26.8	
	명동	15:43	20.8 ℃		종합운동장	13:54	26.6	
	충무로	15:45	24.9 ℃		신천	13:56	26.6	
	동대문	15:49	23.0 ℃		충정로	14:39	30.0	
해화	15:50	20.9 ℃	아현	14:41	30.0			
쌍문	16:05	21.7 ℃	신도림	15:00	22.7			
창동	16:08	20.1 ℃	대림	15:04	22.7			

(3) 역사 내, 외 온도

- 측정일 : 2004. 8. 2 ~ 8. 6.(13:30 ~ 16:00)

측정일	호선	역사명	온도[℃]						측정 시간
			승강장	대합실	외기	기상청			
						최고	최저	평균	
8월 2일	1	청량리	32.0	32.0	34.0	33.2	23.7	28.3	13:30
"	"	종로3가	33.0	32.5	34.2	"	"	"	14:00
"	"	종각	32.8	31.9	34.5	"	"	"	14:40
8월 3일	2	교대	27.6	26.5	33.0	32.7	25.7	28.8	14:20
"	"	삼성	27.2	28.6	33.1	"	"	"	14:50
"	"	잠실	25.8	24.0	35.0	"	"	"	15:20
8월 4일	2	신림	28.9	28.3	35.3	32.9	23.2	28.5	14:20
"	"	신도림	28.1	28.2	37.8	"	"	"	14:40
"	"	합정	29.3	27.2	33.0	"	"	"	15:20
8월 5일	3	고속터미널	27.0	27.6	32.3	32.7	23.8	27.6	14:10
"	"	입구정	27.1	28.1	33.8	"	"	"	14:30
"	"	종로3가	29.8	29.0	31.6	"	"	"	15:00
8월 6일	4	사당	26.0	24.5	34.8	32.9	24.7	28.3	13:30
"	"	충무로	26.6	28.3	33.5	"	"	"	14:10
"	"	수유	28.6	27.8	35.3	"	"	"	15:10

라. 전동차 냉, 난방기 전압, 전류측정(○○차량기지 변전소 54C3)

(1) 냉방기

- 측정일 : 2004. 06. 15(화) ~ 16(수)

- 측정값

구분	저항차			chopper차			VVVF차			비고
	전압(V)	전류(A)	전력(kW)	전압(V)	전류(A)	전력(kW)	전압(V)	전류(A)	전력(kW)	
OFF	1600	42	67.2	1620	33	53.5	1595	33	52.6	판타 및 객실조명 포함
FAN 가동	1590	60	95.4	1614	49	79.1	1602	40	64.1	
HALF	1617	92	148.8	1613	91	146.8	1615	90	145.4	
FULL	1613	168	271.0	1625	150	243.8	1590	150	238.5	

(2) 난방

- 측정일 : 2003. 11. 27(목) ~ 28(금)

- 측정값

구분	저항차			chopper차			VVVF차			
	전압(V)	전류(A)	전력(kW)	전압(V)	전류(A)	전력(kW)	전압(V)	전류(A)	전력(kW)	
판타 및 조명ON	1,623	35	57	1595	48	77	1,601	45	72	
노차	1년	1,602	576	923	1,596	227	362	1,650	241	398
	2년	1,602	975	1,562	1,591	280	445	1,603	975	1,563
	3년	1,610	975	1,570	1,601	952	1,524	1,625	975	1,584
	4년	1,587	975	1,547	1,606	952	1,529	1,600	975	1,560
난방	350W	1,624	13	21	1,625	13	21	1,614	12	19
	700W	1,611	48	77	1,591	53	84	1,624	40	65
	1050W	1,621	85	138	1,623	95	154	1,629	78	127

4. 결 론

본 연구를 통하여 조사한 결과 지하철에서 1년 중 전력사용을 많이 사용하는 계절은 여름철과 겨울철이며, 전동차는 겨울철이 여름철보다 더 많이 사용하고 있다. 이는 겨울철 차량기지에서 주박전동차가 동파를 방지하기 위하여 난방기를 가동하기 때문인 것으로 나타났다. 역사 부대설비는 여름철이 겨울철보다 많이 사용하는 것으로 나타났으며, 이는 역사에 설치된 냉동기를 여름에 집중가동하기 때문인 것으로 나타났다. 또한 정거장의 조도와 정거장 및 차량기지의 주위온도를 조사 측정한 결과, 역사 및 차량기지의 실내 온도는 각 장소마다 차이가 있고, 주행 중인 전동차의 내부 온도가 승객 및 장소에 따라 변화되며, 기상청에서 발표되는 온도와 차량기지 및 역사의 온도가 차이가 있다. 역사의 조도는 역사 냉방공사 시행으로 고효율기기 사용 및 광고조명 설치로 당초 조도보다 향상되고 있는 것으로 조사됐다. 전기사용을 절감할 수 있는 방법으로는 기상청의 온도에 따라 전동차 냉, 난방기 가동하던 방법을 위치 및 승객에 따라 기준온도 값으로 운용하고, 역사 조도는 계 측정하여 기준조도로 운용하면 전력이용의 효율성 제고, 경제성을 추구 할 수 있을 것으로 기대된다. 향후에는 외기 온도 및 승객에 따라 자동으로 냉, 난방기를 가동할 수 있는 시스템에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

1. 서울지하철공사, "전기관련규정", 22page, 2004. 4.
2. 서울지하철공사, "지하철 3,4호선 건설지", 8page, 841page, 1987.5
3. 한국전력공사 "전력요금 고지서", 서울지하철공사 "전력요금 분석보고서" 4~8page 1992.
4. 서울지하철공사(대우중공업), "전동차 정비지침서" VIII장 냉방장치, XII장 전기난방기, 1998.