

전기철도의 부하특성별 패턴 분석을 통한 에너지 절감방안 연구

전용주 이유경 이성욱
한국철도공사

A study on the energy saving with load characteristic pattern analysis in Electric railway system

Jeon Yong-Joo Lee You-Kyung Lee Sung-Uk
Korea Railroad Corporation

Abstract - This paper presents the methods to save energy by using load consumption pattern analysis. Base on the substation annual power usage data, the characteristic of the substation power consumption have investigated. With this investigation effective electrical billing condition and the control target load has been determined. Most of power usage comes from the motor car, so power system and load table of motor car were reviewed. And In the metropolitan area the peak power consumption occurs at summer or winter rush hours because of its typical characteristics. From this data control point of time are determined. Through the whole study the method to control the power Peak consumption are proposed and prototype was designed.

1. 서 론

전기철도는 높은 에너지 효율과 환경친화성 등의 많은 장점으로 지속적인 성장이 이뤄지고 있다. 우리나라도 고속철도의 개통과 함께 전철화 비율은 급속히 증가하였으며 '05년을 기준으로 전기요금은 1500억원을 초과하였다. 따라서 에너지의 97.5%를 해외에 의존하는 우리는 에너지 절약에 대한 관심이 어느 때보다 높다.

전동차는 가변하는 거대한 변동부하로 기본요금 비율이 상대적으로 높고 복잡 다양한 조건들을 변수로 가지고 있게 된다. 지난 수년간 전기철도에서는 에너지를 절감하기 위하여 차량의 경량화, 팬터의 집전효율향상, 도선의 임피던스 저감, 회생전력의 저장활용, 역율개선, 차량의 운전패턴 조정 등 다양한 방법으로 전기요금 저감을 위한 연구 노력이 활발히 진행되고 있다.

본 논문에서는 각 변전소에서 일반수용가를 대상으로 구분되는 전기요금 체계를 효과적으로 적용하고 피크에너지를 제어 위한 변전소별 부하패턴을 분석하였다.

일반적으로 수용가의 부하패턴은 일정한 특성을 가지게 된다. 전철용변전소의 경우도 계절별, 시간대별로 유사한 부하특성을 가지고 있다. 수도권 급전 변전소의 경우 전동열차를 운행하므로 Rush Hour에 피크전력이 발생하며 냉, 난방기의 영향으로 하절기, 동절기의 전력소모가 상대적으로 크게 발생한다. 따라서 피크전력의 발생시점은 연중 유사한 시점이 되어 제어시간대의 파악이 가능하고 전동열차의 부하테이블 분석을 통하여 제어대상 파악이 가능하므로 이 조사결과를 통해 부하 제어방법을 제시해 보았다.

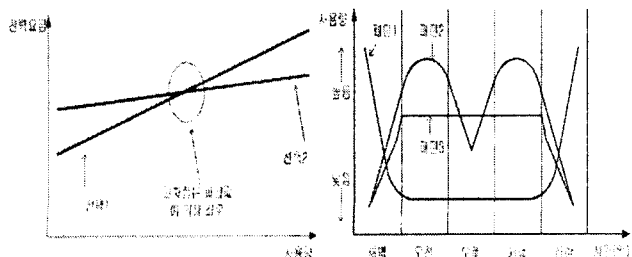
2. 본 론

2.1 전기요금 체계

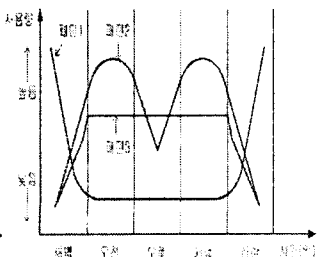
2005년 기준 당사는 국내 전력사용량의 0.57%에 해당하는 대규모 수용가이며 다양한 종류의 전기요금체계의 선택이 가능하다. 전기요금은 수용가의 특성에 알맞도록 사용량과 사용시간 등을 확인하여 가장 유리한 방법으로 선정되나 요금체계는 일반부하를 기준으로 책정된 값이다. 따라서 노선별 뚜렷한 사용량 특성이 있는 철도부하에 적용시 신중한 검토가 요구된다. 전기요금은 사용하는 양으로 결정되는 사용량요금과 검침당월을 포함한 직전 12개월중 7월, 8월, 9월 및 검침당월중의 최대수요전력(15분 평균)을 가지고 결정되는 기본요금으로 나뉜다.

2.2 급전용 변전소의 부하패턴 분석

부하특성 패턴을 파악하기 위해 특징있는 변전소를 각각 선정하여 2년간('04년~'05년)의 데이터를 대상으로 조사하였다.



〈그림 1〉 전력요금체계의 비교 예



〈그림 2〉 급전변전소의 부하패턴

첫번째 데이터는 운행구간이 대부분 지상으로 구성된 의정부 변전소의 15분 피크 전력 데이터이다. 연간 전력피크치와 일별 피크 발생시간을 조사한 결과 계절의 특성이 뚜렷하게 반영되어 있으며 상대적으로 하절기 보다는 동절기에 전력피크치가 발생됨을 파악할 수 있었다. 최대치는 2월로 25,620[kw], 최소치는 10월로 19,244[kw]로 상호 1.33배 정도의 차이가 발생하였다.

〈표 1〉 수도권 변전소(의정부) 연간 및 일 피크전력(2005년) 데이터

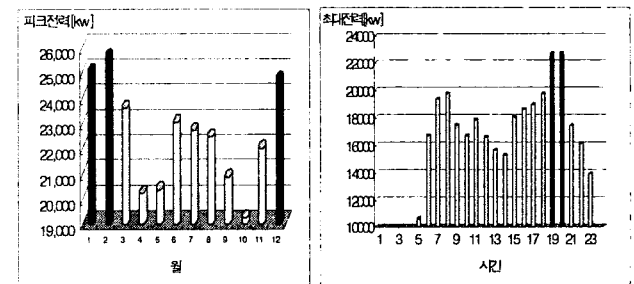


표 2는 전체가 지하구간으로 이루어지고 한 개의 변전소에서 교류 25kV로 전력공급을 수행하는 특성을 가진 분당선 변전소의 전력피크치 사용 데이터이다. 계절별 특징이 뚜렷하며 하절기에 피크가 발생됨을 파악할 수 있었다. 최대치는 8월로 19,446[kw], 최소치는 5월로 14,532[kw]로 상호 1.34배의 차이가 발생하였다.

〈표 2〉 수도권 변전소(모란) 연간 및 일 피크전력(2005년) 데이터

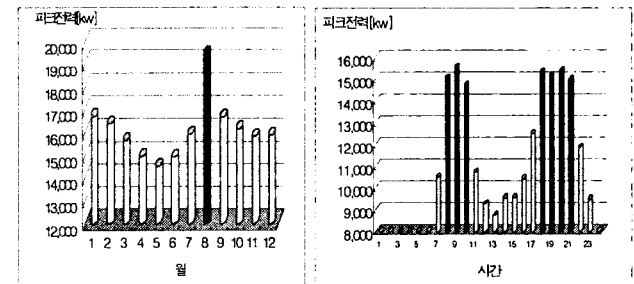
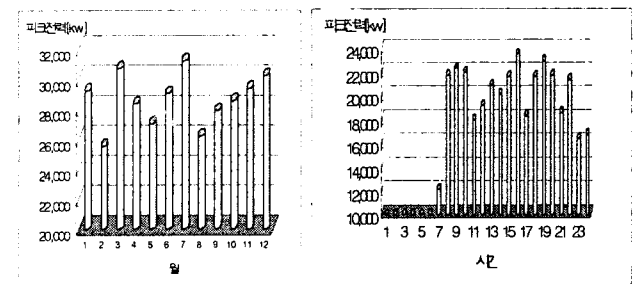


표 3의 경우는 '04년 신설된 고속철도 급전변전소의 경우로 배차간격이 수도권의 전동차에 비하여 길고 차량 환원성당(13,600kw) 전력사용량이 크므로 계절별, 시간대별 커다란 특징은 없는 것으로 분석되었다. 그러나 지속적인 운영을 통한 데이터의 추가적인 집계가 필요하다 할 수 있다.

〈표 3〉 고속선 변전소(신청주) 연간 피크전력(2004년) 데이터

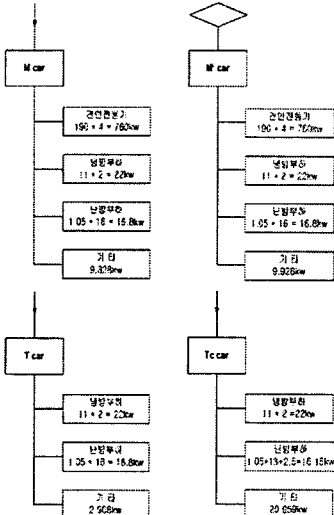


상기의 조사 자료를 통하여 각 변전소별로 피크전력치의 발생 패턴의 파악이 가능하였으며 최대, 최소의 비율 감소시키기 위한 대상 시간의 판단이 가능할 것이다. 제어대상시간과 연간 시간과의 비는 년중 대상 개월을 6개월, 주 5일에, 1일 운행시간을 6시간 제어대상으로 삼으면 10% 정도가 될 것으로 판단되나 기본요금의 절약분은 연간 적용이 가능할 것이다.

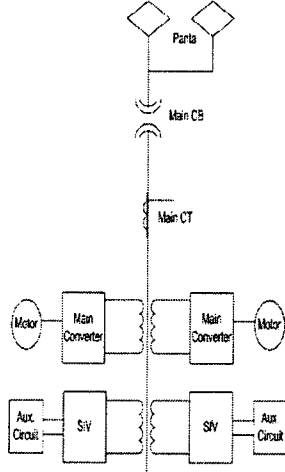
2.3 전동차량의 부하 Table 및 비율

운영구간의 특성상 전동차량에서 소모되는 전력은 일반 지하철보다 높으며 대략 80% 정도를 차지한다. 따라서 전동차량의 부하테이블과 운전특성을 조사함은 전체 소모부하의 대부분을 차지하는 매우 중요한 요소이다. 그림2는 각 car별 부하테이블이며 그림 3은 제어방안을 강구하기 위한 간략한 차량의 주요 전력회로도이다.

10량 편성의 경우 M' car는 3량, M car 2량, T car 3량, Tc car 2량으로 구성된다. 부하테이블에서와 같이 견인전동기는 전동차 부하설비의 대부분을 차지하게 된다. 하지만 운행도중 계속해서 동작되지 않는다. 하기 표는 수도권 전동차량의 운행시간별 역행, 타행, 제동의 비율을 조사한 값이다.



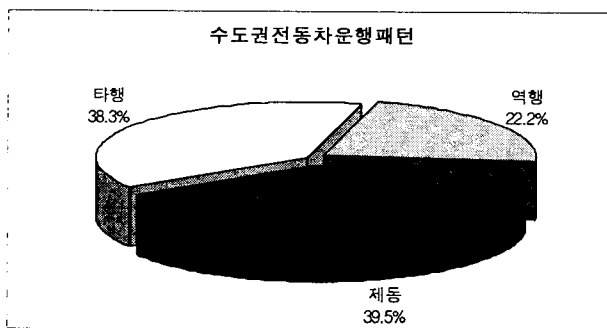
〈그림 3〉 차량의 car별 부하테이블



〈그림 4〉 차량의 주요 전력회로도

〈표 4〉 노선별 전동열차 운행패턴

구 분	운행 시간	역행	제동	타행	
		취급(%)	취급(%)	운전(%)	
분당선 (선릉~보정)	하행	0:45:00	22.5	40.3	37.2
	상행	0:45:00	15.8	38.4	45.8
지하4호선 (오이도~당고개)	하행	2:01:12	20.4	40.2	39.4
	상행	2:01:15	25.7	34.4	39.9
지하1호선, (의정부~인천)	하행	1:50:13	26.1	49.9	24.0
	상행	2:01:02	22.9	46.1	31.0
지하1호선 (청량리~철안)	하행	2:14:10	25.8	32.7	41.5
	상행	2:18:34	19.4	33.6	47.0



〈그림 5〉 역행, 타행, 제동비율

대상노선별로 운행 특성에 따라 다소 차이가 발생할 수 있으나 견인전동기가 동작되는 역행시간은 대략 20% 전후가 되어 운행도중 지속적으로 동작되는 냉, 난방기의 비중이 상대적으로 높아지게 된다. 즉 냉, 난방기의 설비용량은 견인전동기 대비 대략 5%정도에 불과하나 실제 운행시간을 고려해 본다면 사용전력 대비 최대 30% 정도 될 것으로 판단되고 하절기 및 동절기에 발생하는 피크전력의 주요요인으로 작용됨을 알 수 있다. 실제 차량 시운전 데이터를 통한 기록을 보면 전체 전동열차 소모전력의 대략 20% 정도 발생함을 알 수 있다.

2.4 부하제어

전철용변전소의 부하패턴 분석을 통하여 제어시기를 판단하였으며 전력소모의 대부분을 차지하는 차량 전력회로도와 부하 Table을 통하여 제어대상을 선별 하였다. 피크전력은 15분을 주기로 갱신됨을 가만하여야 할 것이다. 수도권 전철의 경우 15분이면 한 전동차가 대략 5분 이상의 기동과 정차를 반복하게 되고 Rush Hour의 배차간격이 대략 3분 정도임을 가만할

때 교류 25kV로 운영되는 한 변전소의 동일 구간내에 운전되는 차량의 대수는 15대 이상이 될 것이다(20km 복선구간기준). 냉방기를 제어할 경우 1car 당 대략 22kw의 전력소모가 이루어 짐을 가만할 때 10량 편성 15대가 동시에 운전된다면 제어대상 설비용량은 3,300kw가 되어 충분히 제어 효과가 있을 것이다. 현재의 냉방기는 제작사별로 다소 차이가 있을 수 있으나 2단동작(Half, Full)으로 나뉘어져 있으며 외기의 온도와 내부의 온도차에 의해 자동으로 동작된다. 난방기의 경우는 16개의 코일이 각각 2단으로 구성되어 동작된다. 따라서 제어 경우의 수는 다양하게 발생 가능할 것이다.

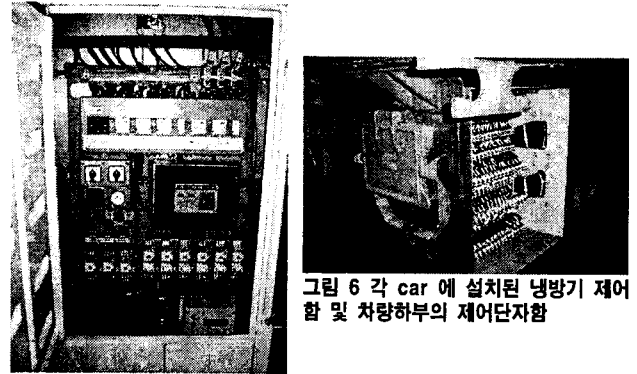


그림 6 각 car 에 설치된 냉방기 제어함 및 차량하부의 제어단자함

그러나 전력저감을 목적으로 서비스 질의 하락이 발생하지 않도록 제어함이 중요한 요소가 될 것이다. 최근 제작되는 차량 냉방기의 경우 설비용량은 20,700kcal/h x2 이며 이를 업소용으로 환산해 보면 대략 110평형 냉방기와 동일한 냉방능력을 보유하고 이 된다. 빈번한 출입문 개폐, 출, 퇴근 시간의 일시적 승객 폭주 등으로 강력한 냉방능력이 요구되나 현재 차량이 대략 20평정도 됨을 고려할 때 최근 생산되는 신형 차량의 냉방기 성능은 상당히 우수하다 판단된다.

2.5 향후 연구방향

냉, 난방기의 제어는 직접적인 승객에 대한 서비스로서 조심스런 접근을 시도해야 할 것으로 사료된다. 또한 차량별로 구성에 다소 차이가 있고 운전 중인 차량의 안전성 및 신뢰성 차원에서 기존에 차량에 적용하기보다는 향후에 제작 설계되는 차량에 적용함이 타당할 것이다. 현재의 냉방기 회로엔 제어함이 있어 일부 로직의 제어가 가능하도록 구성되므로 이를 활용함이 효율적일 것이다. 그러나 냉방기는 난방기와 달리 그 구조상 기동 및 정지에 일정시간이 소요되고 대용량의 부하로서 기동시 순간돌입전류가 과다하게 발생될 소지가 있어 이에 대한 주의가 필요할 것이며 제어시 최대 효율을 발생시키기 위한 냉방기의 특성에 대한 상세한 조사가 수행될 것이다. 또한 시험회로의 경우 제한된 공간인 차량내에 부착되는 특수성으로 인하여 공간적 제약과 함께 기존회로와의 상호 영향의 조사가 필요할 것인듯, 먼지, 분진 등으로부터 시험이 장애를 받지 않도록 견고한 설치가 필요할 것이다. 현재 시험회로의 성능 및 효과의 입증하기 위한 시험차량내 설계한 시스템을 부착중이며 하절기 시운전을 통하여 서비스 질의 유지상태 및 전력저감 효과를 검증할 계획이다.

3. 결 론

고속철의 개통과 더불어 당사의 전기요금은 급속히 증가추세이고 에너지 절감에 대한 요구가 절실히 요구된다. 특히 당사의 경우 대규모 수용가 이므로 전력요금 절감을 위한 연구는 매우 필요하다. 에너지 절감을 위하여 차량의 경량화, 팬터의 집진효율향상, 도선의 입피선식 저감, 회생전력의 저장 및 활용 방안, 역율개선, 차량의 운전패턴 조정 등 다양한 방법들로 연구가 진행 중이며 실제 적용되어 운전되고 있다. 그러나 신제품 제작 및 적용이나 기존 계통의 변경 등과 같이 초기투자비용이 다소 과하게 발생하거나 또는 주변환경에 세심한 주의가 필요하였다. 그러나 냉, 난방기의 제어 로직을 통한 피크치 절감시도는 자동 로직의 조정을 통하여 투자비 대비 효과가 우수할 것으로 판단되고 운영자 측면에서 가장 큰 부담사항인 추가적인 유지보수 항목도 크게 발생하지 않는 장점이 있다. 하지만 철도의 업무는 경제성만큼이나 공공성이 우선시되는 업무로 지나치게 비용측면만을 생각한다면 고객에 필요로 하는 서비스의 질을 저하시키는 결과를 초래할 수도 있을 것이며 오히려 전체적인 이미지의 실추도 발생할 소지가 다분히 존재할 것이다. 따라서 신중한 검토와 철저한 시험을 바탕으로 한 데이터가 필요할 것으로 사료된다.

〈참고 문헌〉

- [1] 전용주 외, 전기철도의 부하패턴 분석을 통한 피크 에너지 절감방안 연구, 한국철도학회 춘계학술대회, 2006.05
- [2] 이기승, "전기철도에서의 에너지 절감 방안에 관한 연구", 서울산업대학교 대학원 논문지, 2004
- [3] Albert Chui, "Traction Energy Management in KCR", IEE 2nd international conference on Advances in power system control, Operation and Management, 202-208, 1993.12
- [4] 김치태 "에너지를 절감하는 열차운영", 철도공기기술지, 2005