

# 부하차단 관점에서의 도시철도역사 전력부하 분석

## Analysis of Electric Load in Urban Railway Considering Load Shedding

박종영<sup>\*†</sup>, 허재행<sup>\*\*</sup>, 신승권<sup>\*</sup>, 김형철<sup>\*</sup>

Jong-young Park<sup>\*†</sup>, Jae-Haeng Heo<sup>\*\*</sup>, Seungkwon Shin<sup>\*</sup>, Hyungchul Kim<sup>\*</sup>

**Abstract** Load of a substation consists of car load and station load which includes lighting, heating, ventilation, air-conditioning, lifts, etc. Load shedding is done to reduce the consumption of electricity, and the electric loads are categorized by the possibility of cut out in the substation of urban railway. It is important to analyze the electric load, because it is needed to stably supply electric power with low cost. This paper presents the analysis of electric load in the actual substation of urban railway and the possibility to reduce the electricity fee with demand response market.

**Keywords** : Electric Load, Urban Railway, Load Shedding

**초 록** 도시철도 부하는 전차선 부하와 역사 부하로 구분할 수 있으며, 역사 부하는 조명, 전열, 동력, 공조 등의 용도로 사용된다. 전력 소비 절감을 위하여 부분적인 부하차단이 이루어지고 있는데, 도시철도 운영기관은 부하의 중요도 및 특성에 따라 부하 차단 가능 여부를 구분하고 있다. 역사에 대한 안정적인 전력공급은 물론이고 추후 수요자원 시장에 도시철도 역사가 참여할 경우의 경제성을 분석하기 위하여 도시철도역사의 전력부하에 대한 분석이 필요하다. 이 논문에서는 도시철도 역사 부하의 부하차단 가능 여부에 따른 각 부하의 구성비를 정리하고, 전력요금제도 및 수요자원 거래 시장 제도 하에서 전력요금비용 절감 가능성에 대해서 검토한다.

**주요어** : 전력부하, 도시철도, 부하차단

## 1. 서 론

에너지 절약 및 효율화의 필요성이 높아짐에 따라 철도분야를 비롯한 여러 분야에서 에너지절감을 위한 활동들이 이루어지고 있다. 도시철도를 비롯한 철도분야에서는 차량을 회생을 이용하는 방안이라든지, 첨두부하 절감을 통한 전력요금 감소를 위한 연구 등이 이루어지고 있다[1-3]. 또한 우리나라 전력소비의 효율화를 위하여, 빌딩, 아파트, 공장 등 소비자가 야간 전기를 모아 판매하여 수익을 창출할 수 있는 수요자원 거래시장이 운영되고 있다.

철도분야에서도 에너지 소비 효율화가 필요하며, 이를 위해서는 우선 철도부하의 특성을 파악하는 것이 중요하다. 이 논문에서는 도시철도 전력부하의 특성을 분석하고, 변화하는 전력시장 환경 하에서의 효율적 전력소비의 방안에 대해 고찰한다.

† 교신저자: 한국철도기술연구원 광역도시교통연구본부 스마트역사연구팀 ([jypark@krii.re.kr](mailto:jypark@krii.re.kr))

\* 한국철도기술연구원 스마트역사연구팀

\*\* 장인의공간

## 2. 도시철도 역사 부하 및 전력요금 분석

### 2.1 도시철도 변전소 부하 분석

#### 2.1.1 도시철도 변전소 부하 종류

도시철도 부하는 전차선 부하와 도시철도역사 부하로 구분할 수 있으며, 그 중 역사 부하는 그 역할에 따라 다양하게 분류된다. 역사 부하는 역시 전등, 전열, 동력, 공조 등을 담당하는 부하와 역사 설비 부하로 구분된다. A도시철도역사에서 사용하는 부하는 Fig. 1과 같다.

부하차단과 관련하여 차단 가능 여부에 따라 역사설비 부하들의 구분이 가능하다. 도시철도공사는 부하의 중요도 및 특성을 고려하여 부하차단이 가능한 부하, 일부가 가능한 부하, 불가능한 부하로 구분한다. Fig. 1에서는 역사설비 부하를 제외한 부하를 ‘흰색’으로 구분하였고, 역사 설비 중, 부하차단이 불가능한 부하를 ‘빨간색’으로, 에스컬레이터와 같이 짝(pair) 형태로 운영되어 필요 시 일부 부하의 차단이 가능한 부하를 ‘파란색’으로, 마지막으로 부하의 중요도가 떨어져 유사시 부하차단이 가능한 부하를 ‘노란색’으로 구분하였다. 본 논문에서는 색으로 구분한 부하의 명칭을 사용한다.

각 부하별 용도는 다음과 같다. 흰색 부하는 1,2호계 전등, 전열 및 3호계 동력, 공조 등의 부하가 해당하고, 빨간색 부하는 전기실 UPS, 조명, 역무실, 무인발매기실, 편의시설, 통신기기, 화재수신반 등 역사설비 중 필수부하가 해당된다. 복수 개로 운영되어 일부 차단이 가능한 파란색 부하는 에스컬레이터와 같은 일부 차단이 가능한 부하가 해당되며, 노란색 부하는 그 외 역사 내 광고, 공조, 송풍, 환기 등 필요 시 차단하여도 큰 문제가 없는 부하이다.

#### 2.1.2 도시철도 변전소 부하별 비율

Table 1은 A역사의 7월 각 부하별 용량을 표로 정리한 것이다. 역사 내 부하의 구분을 부하차단 가능여부에 따라 네가지로 구분하고, 부하별 사용량 비율과 전력량요금 비율을 계산, 비교하였다.

Table 1 Amount of load for each type of load shedding possibility

	흰색	빨간색	파란색	노란색	전체
사용량(MWh)	1586.83	52.51	52.51	54.71	1746.56
비율	90.85%	3.01%	3.01%	3.13%	100.00%
전력량요금(백만원)	162.84	5.32	5.70	5.83	179.69
비율	90.62%	2.96%	3.17%	3.25%	100.00%

흰색 부하가 총 부하에서의 비율이 전력량요금 측면과 사용량 측면 모두 약 90%로 큰 비율로 구성되어 있음을 확인할 수 있었고, 부하 차단이 가능한 파란색 부하와 노란색부하의 경우 모두 3% 내외의 비율로 구성되어 있음을 확인할 수 있었다. 전력량요금과 사용량의 비율이 다른 이유는 A 변전소에 적용되는 요금이 계절별, 시간대별로 차등 부과되는 계시별 요금제의 적용을 받고 있기 때문이다.

1:H-2(1호계-전기선선열)	
1:H-3(2호계-전기선선열)	
1:H-6(3호계-공력)	
1:H-7(3호계-공조)	
역사설비	1:ER/UPS(전기실UPS)
	1:GS25
	1:HEATERLTG 전기실 조면
	1:L-AFC1 역무실
	1:L-AFC2 무인발매기실
	1:L-B5 역사안내체계(광고)
	1:L-C 불시기기실
	1:L-F 화재주식방
	1:L=HW 축열식온수기(보일러)
	1:L1-1A
	1:L1-1B
	1:L1-2A
	1:L1-2B
	1:L1-3A
	1:L1-3B
	1:L2-1A
	1:L2-1B
	1:L2-2A
	1:L2-2B
	1:L2-3A
	1:L2-3B
	1:L2-4A
	1:L2-4B
	1:LT-1L 환풍천파기 지반(1)
	1:LT-1L 환풍천파기 지반(2)
	1:LT-1P PSD상
	1:LT-1P PSD하
	1:LT-2L 환풍천파기 지반(1)
	1:LT-2L 환풍천파기 지반(2)
	1:LT-2P PSD상
	1:LT-2P PSD하
	1:LT-LA 상가
	1:MCC-DP 청소점
	1:MCC-DP 청소점
	1:MCC-SP 우수저화조
	1:MCC-VL-E 공조기
	1:MCC-VL-N 승풍기
	1:MCC-VL-C 승풍기
	1:MCC-VR-E 공조기
	1:MCC-VR-N 승풍기
	1:MCC-WP 물탱크실
	1:MCC-WP 물탱크실
	1:P-EC1(1상) 비상급전트
	1:P-EC1(3상) 비상급전트
	1:P-EC2(1상) 비상급전트
1:P-EC2(3상) 비상급전트	
1:P-ELEV1 엘리베이터	
1:P-ELEV2(하서) 엘리베이터	
1:P-ES1 에스컬레이터	
1:P-ES2 에스컬레이터	
1:P-ES3 에스컬레이터	
1:P-ES4 에스컬레이터	
1:P-ES5 에스컬레이터	
1:P-ES6 에스컬레이터	
1:P-ST1(3상) 서터	
1:P-ST2(3상) 서터	
1:P-ST3(3상) 서터	
1:SK텔레콤	
1:TL-LGT1 (102만화상선)	
1:TL-LGT2 (102만화상선)	
1:TL-LGT3 (104만화상선)	
1:TL-LGT4 (104만화상선)	
1:본선화기실(1031)	
1:본선화기실(1041)	

Fig. 1 Composition of load in the substation of urban subway

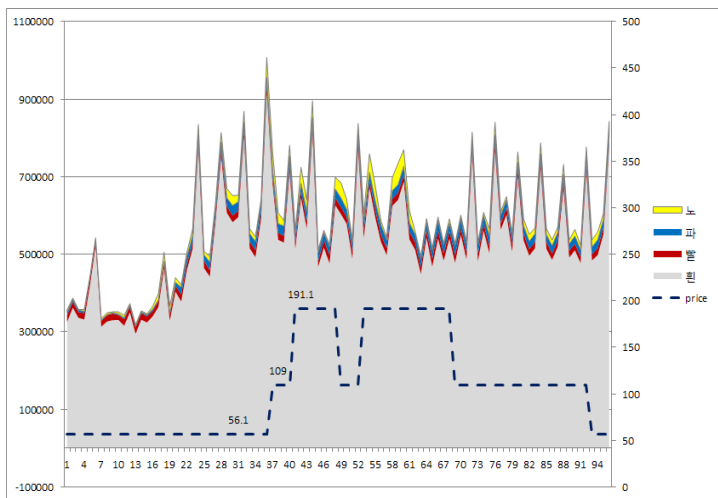


Fig. 2 Daily load curve and the unit cost of electricity

Fig. 2는 7월 하루 중의 부하별 부하 수준과 해당시간의 계시별 요금을 나타낸다. 도시철도는 요금의 적용 및 계측이 15분 단위로 이뤄지기 때문에 하루를 96개의 타임스텝으로 구분하여 도시하였다. 그림을 통해 시간대별 부하 수준과 그 때의 각 부하별 크기를 확인할 수 있다. 또한 최대부하시간대, 중부하시간대, 경부하시간대 세 가지로 구분되는 계시별 요금제의 요율을 표시하여 (각각 191.1원, 109원, 56.1원) 전력량 요금 계산 및 수준을 예상할 수 있도록 하였다.

## 2.2 도시철도 역사 부하와 외부환경과의 상관관계 분석

도시철도 역사의 부하패턴의 분석을 위해 외부환경과 부하의 상관관계를 분석하였다. 고려한 외부환경은 온도, 습도, 강수량으로 각 외부환경의 변화가 부하의 패턴 변화에 어떠한 영향을 주는지 확인하고, 그 상관관계에 따라 진행될 부하차단의 관련자료로의 활용을 기대하였다. 만약 외부환경의 변화와 도시철도 역사의 부하변화와 밀접한 관련이 있을 경우, 외부환경의 예측을 통해 부하를 예측하고 나아가 부하차단의 신호로 사용할 수 있을 것이다.

분석을 위해 7월 한달 간의 부하데이터를 사용하였고, 해당시간의 외부 온도, 습도, 강수량의 실제데이터를 사용하였다. 부하 종류별로 시간대별 부하량과 각 시간대의 온도, 습도, 강수량을 분석하였으며, 상관계수 분석을 통해 수치적으로 얼마만큼의 연관이 있는지 확인하였다. 각 부하별 외부환경과의 상관계수는 아래 Table 2와 같다.

**Table 2** Correlation coefficient of electric load and environment factors

	흰색	빨간색	파란색	노란색	전체
Temperature	0.307195	0.35436	0.397986	0.208429	0.31798
Humidity	-0.13512	-0.19563	-0.26628	-0.14296	-0.15001
Rainfall	0.038282	0.018643	0.024508	0.039996	0.039487

온도, 습도, 강수량과 부하별 상관계수의 평균값은 각각 0.317, -0.185, 0.031로 뚜렷한 양의 혹은 음의 상관관계가 있다고 보기는 어려웠다. 파란색 부하의 경우 온도와 0.398의 비교적 높은 양의 상관관계가 있다고 볼 수 있는 상관계수가 나왔으나, 온도가 높을수록 더 높은 부하 크기가 나왔다고 보기가 어려워 이 역시 부하차단을 위한 신호로 쓰기는 어려웠다. 다만 복합적으로 보았을 경우 섭씨 25도 이상이고 습도 50~70% 인 경우 부하가 높게 나타나는 경향을 확인할 수 있었다. 따라서 온도, 습도, 강수량 정보를 부하차단 신호로 이용하기에는 어려움이 있을 것으로 판단하며, 위 정보를 복합적으로 이용하여, 경험적인 운영을 하는 것이 보다 나은 결과를 나타낼 것으로 보인다.

### 3. 도시철도 역사 부하 및 전력요금

#### 3.1 철도부하와 일반 전력부하 비교 분석

안정적이고 효율적인 전력공급을 위하여 도시철도부하의 특징을 분석하는 것이 필요하다. 일반적으로 전력계통 및 전력시장의 운영은 전력수요와 밀접한 연관성을 가지고 있기 때문에 본 논문에서는 철도부하와 국내 전체 전력수요를 비교, 분석하였다. Fig. 3은 2015년 1월 국내 전체 전력수요와 A 변전소의 전력수요를 나타낸 그림이다.

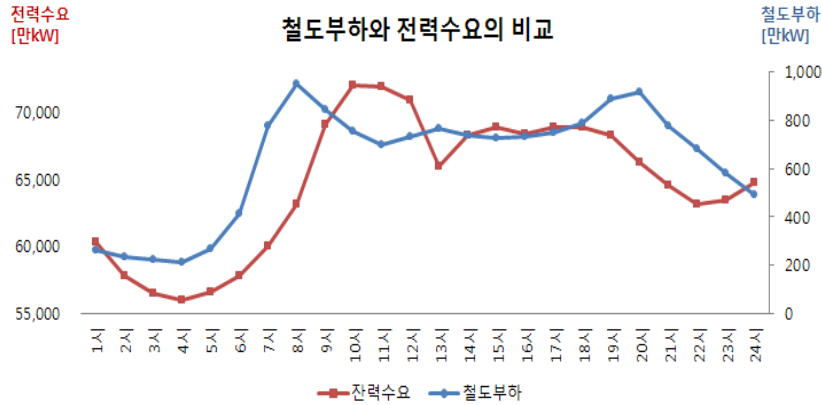


Fig. 3 Comparison between electric loads of normal and urban railway

그림에서 볼 수 있듯 철도부하의 첨두부하 시점이 일반 전력수요와는 다르고, 이 특징을 이용하면 철도부하 운영의 경제성을 높일 수 있다. 일반적인 전력수요는 출근 이후 오전 9시부터 12시까지 첨두부하를 보이고, 점심시간(12시~13시)을 지나 오후 시간대인 13시에서 17시까지 첨두부하를 보여준다. 그림에서는 동계부하를 사용하였기 때문에 난방을 위해 늦은 밤에 부하가 증가하는 계절성 특징이 나타난다. 이런 계절적 특징이 나타나긴 하지만 전력수요는 오전, 오후 근무시간대에 첨두부하가 나타나는 쌍봉형태의 부하패턴을 갖는 것이 일반적이다.

도시철도부하 역시 쌍봉형태의 부하패턴을 갖지만 일반적인 전력수요와 첨두부하 시간대가 다르다. 도시철도부하는 철도의 승객 수가 급격히 증가하는 출근시간대, 7시부터 9시까지, 그리고 퇴근시간대인 19시에서 21시까지 첨두부하를 나타낸다. 이를 통하여 하루 중 시간에 따라 사람들의 이동량 또한 확인할 수 있다.

#### 3.2 철도부하와 TOU(Time Of Use) 관계

전력요금은 전기사용자에게 전기사용량 혹은 시간대에 영향을 주는 유인 및 신호가 된다. 따라서 수요반응(DR, Demand Response)을 통해 전기요금이 높은 부하 시간대의 부하를 줄이거나, 부하를 전기요금이 낮은 부하시간대로 이동시켜 보다 경제적이고 안정적인 계통 운영이 가능하도록 한다. 하지만 전기요금제는 국내 총 전력수요를 기반으로 하여 만들어지고, 도시철도부하는 일반적인 전력수요패턴과는 다른 형태를 가지기 때문에 일반 전력부하와는

다른 운영이 필요하다.

도시철도부하의 출근 시 첨두부하가 나타나는 시간대는 일반 전력수요 첨두부하의 이전 시점으로 도시철도에 적용되는 요금제 역시 경부하시간대 요금이 부과된다. 반대로 일반전력의 첨두부하가 나타나 높은 요금의 요금이 적용되는 시간대에 도시철도부하는 비교적 낮은 부하수준을 나타낸다. 이러한 특성을 이용하여, 도시철도 부하는 낮고 요금이 비싼 시간대에 부하를 차단하거나 에너지 저장장치(ESS, Energy Storage System) 등을 방전하여 부하를 절감 혹은 이동시킬 수 있다.

부하절감은 소비자의 효용을 감소시킨다는 단점이 있다. 그러나 이러한 철도부하 패턴의 특성을 이용하여 소비자의 효용 감소를 최소로 하면서, 전력요금이 비싸고 수요가 많지 않은 시간대에 부하를 감소시킬 수 있다. 에너지 저장장치를 이용한 부하의 이동은 소비자들의 효용을 감소시키지 않아도 된다는 장점을 가지며, 같은 양의 전력을 사용함에도 불구하고 경제적으로도 이익을 얻을 수 있을 것이다.

#### 4. 결론

이 논문에서는 도시철도 전력부하의 특성을 분석하고 그 비용을 절감할 수 있는 방안을 고찰하였다. 이를 위하여 차단가능 여부에 따라 역사부하를 부하차단이 불가능한 부하, 일부 차단이 가능한 부하, 부하차단이 가능한 부하로 분류했다. 그리고 기온, 습도, 강수량 등 외부 환경과 부하량과의 상관관계는 크지 않았다. 철도부하는 첨두부하가 나타나는 시점이 출퇴근 시간대로서 일반 전력부하와는 다른 양상을 보이며, 이러한 특성을 이용하여 에너지저장장치 등을 이용한 전력요금 절감이 가능할 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업(PK1603C)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- [1] Hansang Lee, Donghee Yoon, Hyungchul Kim, Sung-Kwan Joo, and Hosung Jung, "Efficiency Improvement Effect Analysis for Marginal Storage Capacity in DC Electric Railway Systems," *Trans. of KIEE*, vol.63, no.8, pp. 1159-1163, 2014.
- [2] Cheon Heon An, Han Min Lee, Gil Dong Kim, and Hi Sung Lee, "A Study on Effects of Energy Saving by Applying Energy Storage System," *Journal of Korean Society for Railway*, vol.12, no.4, pp. 582-589, 2009.
- [3] Jong-young Park, Hosung Jung, Hyungchul Kim, and Seung-kwon Shin, "Capacity Determination of ESS for Peak Load Shaving Based on the Actual Measurement of Loads in the Substation of Urban Railway," *Trans. Of KIEE*, vol. 63, no. 6, pp. 860-865, 2014.