

회귀분석이론을 이용한 지하철 역사의 조명부하밀도 분석

(Recommended Practice for Lighting Load Density by Feature Parameters and Regression Analysis depending on Power Consumption Characteristics in Subway Stations)

정현기* 김세동

(Hyeon-Ki Jung*, Seoul Metro, Se-Dong Kim, Doowon Technical College)

Abstract

It is increased electrical energy consumption with the development of intelligence society in the subway station and thus an energy conservation through efficient use of electricity became more important. This paper shows a reasonable design load density in subway stations, that was made by the systematic and statistical way considering actual conditions, such as investigated electric equipment capacity, peak power consumption, demand factor, etc., for 34 subway stations and 10 electrical design offices. In this dissertation, it is necessary to analyse the key features and general trend from the investigated data. It made an analysis of the feature parameters, such as average, standard deviation, median, maximum, minimum and thus it was carried linear and nonlinear regression analysis.

1. 서론

지하철도 정거장(역사)의 신축 시에는 건축 구조학적인 안전성과 적정 수요에 맞는 대합실 및 승강장의 면적확보도 중요하지만, 쾌적한 지하공간 구성 및 전동차 운행을 위한 각종 시스템 시설에 따른 무정전 전원시스템 구축, 정거장의 대형화 및 고급화 추세에 따른 전원공급시스템 확보 등 전기철도 기능 유지 및 안전 운행을 위한 충족한 안정적 전원시스템 구축이 필요하다.

또한, 불확실한 중장기 전력수요 예측에 대비한 적정한 변압기 용량 산정을 위해서는 총 전력부하 설비 용량과 상관관계가 있는 적정 기준의 전력부하밀도 적용이 사회적으로 중요시되고 있다.

전력부하 설비용량을 적정하게 산정하지 못하고 전력용 변압기 용량을 과대하게 설계한 경우에는 불필요한 과잉투자를 유발하게 되지만, 반대로 용량을 적게 설계한 경우에는 변압기의 과부하로 인한 폭발사고 발생 등 전기안전에 위협을 주게 되므로 비교적 짧은 기간 안에 변압기를 새로 교체하게 되는 문제를 수반하게 되는 등 전기사고 발생 또는 경제적 손실을 불러오게 되므로 변압기 용량의 적정 설계를 위해서는 보다 과학적인 방법과 현장 접목기술을 병행한 부하밀도의 적정 기준

제시가 절실하다 할 수 있다.

전력용 변압기 용량 산정에 직접적인 영향을 주고 있는 부하밀도 산정을 기 설계된 지하철 설계서를 조사 실시한 결과, 대부분의 설계자들은 자의적 경험에 의하거나 일반 건축물의 부하밀도를 적용하고 있는 것으로 나타났다.

그러나, 정거장 전기실의 변압기 용량 산정에 필요한 부하밀도의 적정기준은 산업자원부장관이 승인한 내선규정에서는 조명부하 용량 산정을 위한 표준부하 및 부분적인 부하밀도를 규정하고 있을 뿐, 전기사업법령에 의한 전기설비기술기준에서는 규정되어 있지 않아 법·제도적 효력은 미흡한 실정이다[1-3].

본 논문에서는 지하철도 정거장의 중장기 전력수요예측에 부합하는 적정한 조명용 변압기용량 산정에 필요한 전력부하밀도의 적정기준을 전력소비특성을 고려한 특징과라미터 및 회귀분석 등 통계적 분석을 통하여 조명부하밀도 기준(안)을 제시하였고, 조명용 변전설비용량 산정에 필요한 자료를 데이터베이스화하였다.

2. 변압기 용량 산정과 부하밀도 고찰

2.1 전력용변압기의 용량 산정

변압기는 1차 권선에 공급된 전력을 최소의 손실로 2차 권선에 전달하는 전기기기이다. 변압기의 정격 용량이란 정격 2차 전압, 정격 주파수 및 정격 역률에 있어서 지정된 온도상승 한도를 초과하지 않고, 2차 단자간에 얻어지는 피상전력[kVA]으로 표시한다. 변압기 용량의 적정 설계는 매우 중요하며, 신뢰성있는 변압기의 운전과 운용비의 절감을 도모할 수 있다. 그러나, 변압기 용량이 부하설비용량에 대하여 적정하지 못하면 다음과 같은 문제가 발생할 수 있다[1].

(1) 변압기 용량이 부하의 최대수요전력에 비해 너무 작으면 변압기를 과부하 운전하게 되고, 변압기 수명 단축을 초래하는 결과가 된다. 또한, 부하손의 증가로 효율이 저하한다.

(2) 반면에 변압기 용량이 너무 크게 되면 설비비용의 증가, 계약 전력의 증대, 무부하 손실의 증대 등 직접적으로 경제적 부담이 발생한다. 더욱이 우리나라 발전설비용량이 증가하게 되며 국민 경제적 부담이 커지는 요인이 된다.

일반적으로 변압기용량을 산출하기 위해서 먼저 실시하는 작업이 부하조사이다. 부하의 분포 단위마다 부하종류, 전압, 용량 및 대수를 종합한 부하일람표를 작성하고, 이를 토대로 각 부하의 입력치를 계산하여 집계한 다음에 수용률을 곱해서 최대수요전력을 산출한다. 그리고 여기에 장래의 증가분을 감안하여 변압기용량을 산정한다. 그러나, 계획시점에서는 부하가 모두 결정되어 있지 않고 프로세스도 유동적이며 변경되는 수가 많으므로 이러한 부분은 각종 통계자료를 참고로 해서 추정 계산한다. 변압기 용량은 다음과 같이 산정한다.

(1) 조명, 사무자동화기기, 일반동력, 냉방동력, 특수 부하 등의 부하종별 설비용량을 결정한다. 그러나, 기본 설계 단계에서는 부하설비용량을 추정하기가 어려워 각종 국내의 통계자료를 활용한다.

(2) 부하설비용량으로부터 적정 수용률을 곱하여 최대수요전력을 예측하고, 역률, 전압변동률을 고려하고, 아울러 장래의 부하 증가율을 감안한 후, 각 부하종별 변압기의 용량[kVA]을 결정한다.

특히 주변압기 용량은 부하 전체의 특성, 수용

률, 부등률, 부하율 등을 가능한 정확히 파악하고, 장래의 부하 증가율, 운전 조건 및 급전 방식 등의 관련 사항을 충분히 검토하여 적정한 용량이 산정되도록 설계한다.

2.2 부하밀도

부하설비용량을 산정하는 방법은 여러 가지가 있으나 첫 번째 방법으로 내선규정(대한전기협회 제정)의 표준부하에 의한 용량산정 방법이 있으며, 내선규정에 정하고 있는 표준부하밀도는 업무용빌딩의 조명용 부하의 경우에 한하여 제시되고 있고, 일반 동력부하 및 특수부하에 대해서는 제시되고 있는 기준값이 없어 설계자의 임의로 설계되고 있다.

두 번째 방법으로는 과거의 실적이나 유사 건물의 데이터를 이용하는 방법이 있으며, 일반적으로 이와 같은 설계사례를 토대로 참고하고 있지만, 이러한 자료도 검증되지 않는 일반적으로 제시되고 있는 기준값들이다.

따라서, 전기설비 설계시 정확한 전력부하 계산 및 설비특성 분석에 대한 기술자료가 매우 미흡한 실정으로 국내외 여러 문헌에 의존하기도 하지만, 주로 일본, 미국 등 외국의 기준 및 설계사례 등을 그대로 적용해 오고 있는 실정이다. 이와 같이 우리나라 실정과 맞지 않는 외국의 기준 등을 설계자의 경험적 판단에 따라 수정 보완 없이 적용하게 됨으로써 전력용변압기의 시설용량이 과다하게 설계되는 사례가 많아 많은 문제점이 제기되고 있다.

3. 내선규정 및 선행 연구 결과 검토

3.1 내선규정에서 정하고 있는 부하밀도 기준

국내 관련 규정으로는 내선규정이 정하고 있는 단위면적당 부하용량 즉, 표준부하밀도[VA/m²]를 기준하여 부하용량을 산정하는 방법으로서 내선규정 제205절에 사무실, 은행, 상점과 같은 용도의 건물에 있어서 전등 및 소형전등 기계기구의 표준부하밀도는 30[VA/m²]로 규정되어 있다.

3.2 한국건설기술연구원의 연구보고서

한국건설기술연구원의 보고서(건기연91-FE-112)에 의하면, 표 1과 같이 사무소용건물을 중심으로

상가없는 건물과 상가있는 건물로 구분하여 조명용 변전시설밀도의 적용 실태를 분석하였다[1].

표 1. 한국건설기술연구원의 적용 실태

구분	변전시설밀도[VA/m ²]	
	건물연면적 기준	조명 전용면적 기준
전체 건물에 대한 평균	23.8	34
상가 없는 건물	22.3	31.9
상가면적비가 10% 이하인 건물	24.6	35.1
상가면적비가 10% 초과인 건물	27.0	38.6
1979년 이전 건물	27.0	38.6
1980~1985년사이의 건물	23.3	33.3
1986년 이후의 건물	22.5	32.1

4. 특징파라미터 및 회귀분석이론을 이용한 조명부하밀도 분석

4.1 종합 조명부하밀도 분석

지하철 정거장의 전력부하 중에서 일반 조명·전열부하용 변압기가 시설되어 있는 실제 부하를 대상으로 분석하였고, 연면적 및 변압기용량은 전기시설물 유지관리 전산시스템에서 작성·관리되고 있는 Recorder상의 기록자료를 기준으로 하였다. 전력부하 설비용량은 현업기관인 분소에서 자체 조사·제시한 Data를 기준으로 검토하였다.

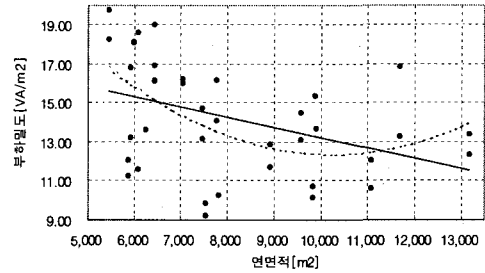
표 2는 지하철 정거장 38개소의 조명·전열부하에 대한 부하밀도의 운용 실태를 조사·분석한 자료이며, 전체 분포되어 있는 조명·전열부하에 대한 부하밀도의 범위는 9.2~19.8[VA/m²], 평균값은 14.2[VA/m²], 표준 편차는 2.9[VA/m²]로 분석되었다.

표 2. 일반전등전열부하의 종합 부하밀도 분석

항 목	최대값	최소값	평균값	표준편차	중앙값	데이터 건수
연면적[m ²]	13,176	5,442	8,055	2,216	7,494	38
부하밀도 [VA/m ²]	19.8	9.2	14.2	2.9	13.6	

그리고, 그림 1에서 보는 바와 같이 조사된 정거장 연면적과 부하밀도와의 상관관계를 보면 연면적이 작은 부분에서 부하밀도가 높게 나타났고 연면적이 큰 부분에서는 낮게 나타났으며, 상관관계는 중간정도인 것으로 분석되었다. 그리고, 최소제곱 평균오차는 1차 선형 회귀모형식과 2차 비선형

회귀모형식에서 2.6[VA/m²] 정도 발생한 것으로 분석되었다.



항 목	회귀 모형식	최소제곱 평균오차	상관계 수
1차선형	$y = -0.0005x + 18.394$	2.6	-0.4004
2차비선형	$y = 0.0000002x^2 - 0.0039x + 32.462$	2.6	

그림 1. 일반전등전열부하의 종합 부하밀도 적용 실태 및 회귀 모형식

조사·분석 결과, 정거장에 설치된 전등·전열부하는 일반 사무용 빌딩이나 백화점에 비해 여유가 별로 없는 것으로 분석되었으며, 따라서 조명·전열부하용 변압기에 접속되는 부하의 종류로는 조명설비부하 외에 지하철 특성상 각종 사무자동화기기, 개인용 냉·난방기기 등이 연결되는 경우가 많아 향후 부하밀도 산정 시에는 동 변압기에 접속된 부하의 특성 등을 종합적으로 검토하여야 한다.

4.2 B등급 정거장

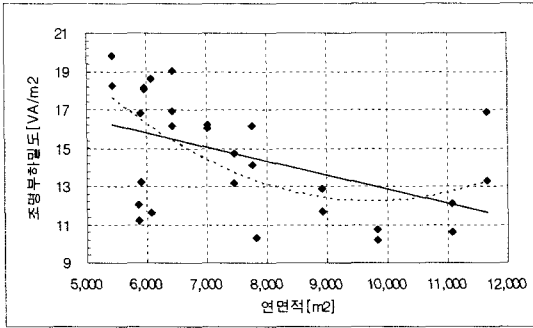
표 3은 조사대상 정거장 중 정거장 등급이 B등급인 29개소 정거장의 조명·전열부하에 대하여 부하밀도의 현장 운용실태를 통계·분석한 자료이며, 전체 분포되어 있는 부하밀도의 범위는 10.2~19.8[VA/m²], 평균값은 14.7[VA/m²], 표준 편차는 3.0[VA/m²]로 분석되었다.

그림 2에서 보는 바와 같이 조사된 정거장 연면적과 부하밀도와의 상관관계를 보면 연면적이 작은 부분에서는 부하밀도가 높게 나타났고, 연면적이 큰 부분에서는 반대로 부하밀도가 낮게 나타났으며, 상호간의 상관관계가 중간정도인 것으로 분석되었다.

그리고 최소제곱 평균오차는 1차 선형 회귀모형식과 2차 비선형 회귀모형식에서 동일하게 2.6[VA/m²] 정도로 나타났다.

표 3. B등급 정거장의 부하밀도 실태 분석

항 목	최대값	최소값	평균값	표준편차	중앙값	데이터 건수
연면적[m ²]	11,662	5,442	7,7571	1,958	7,027	29
부하밀도 [VA/m ²]	19.8	10.2	14.7	3.0	14.7	



항 목	회귀 모형식	최소제곱 평균오차	상관계 수
1차선형	$y = -0.0007x + 20.311$	2.6	-0.4918
2차비선형	$y = -0.0000003x^2 + 0.0056x - 39.662$	2.6	

그림 2. B등급 정거장의 부하밀도 적용 실태 및 회귀 모형식

따라서, 현장 실태조사에 따른 부하밀도의 평균 값을 기준으로 열차운행에 따른 안전율, 장래 부하 증가율, 고조파 발생기기로 인한 변압기 출력감소를 등을 고려하여 용량을 산정할 경우, B등급 정거장의 일반 조명·전열부하의 부하밀도 범위는 일반부하와 상시부하를 동시 공급하는 이중계로 구성하여 호계별로 12 ~ 18[VA/m²], 평균값 14.7[VA/m²] 정도를 반영하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

4.3 지하2층 정거장

표 4는 조사대상 정거장 중 구조가 지하2층인 21개소 정거장의 조명·전열부하에 대하여 부하밀도의 현장 운용실태를 통계·분석한 자료이며, 전체 분포되어 있는 부하밀도의 범위는 9.2 ~ 19.8[VA/m²], 평균값은 14.6[VA/m²], 표준 편차는 3.2[VA/m²]로 분석되었다.

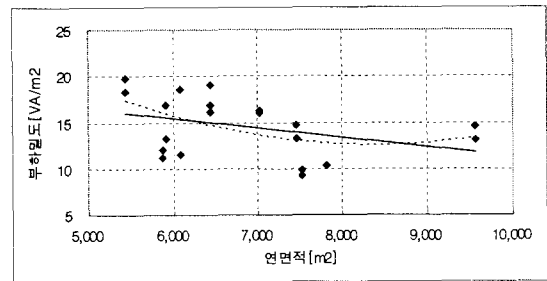
그림 3에서 보는 바와 같이 조사된 정거장 연면적과 부하밀도와의 상관관계를 보면 연면적이 작은 부분에서는 부하밀도가 높게 나타났고, 연면적이 큰 부분에서는 반대로 부하밀도가 낮게 나타났

으며, 상호간의 상관관계가 다소 낮은 것으로 분석되었다.

그리고, 최소제곱 평균오차는 1차 선형 회귀모형식에서 2.8[VA/m²]와 2차 비선형 회귀모형식에서 3.3[VA/m²] 정도로 나타났다.

표 4. 지하2층 정거장의 부하밀도 실태 분석

항 목	최대값	최소값	평균값	표준편차	중앙값	데이터 건수
연면적[m ²]	9,564	5,442	6,826	1,158	6,439	21
부하밀도 [VA/m ²]	19.8	9.2	14.6	3.2	14.7	



항 목	회귀 모형식	최소제곱 평균오차	상관계 수
1차선형	$y = -0.001x + 21.698$	2.8	-0.3812
2차비선형	$y = -0.0000006x^2 - 0.0094x + 51.828$	3.3	

그림 3. 지하2층 정거장의 부하밀도 적용 실태 및 회귀 모형식

따라서, 현장 실태조사에 따른 부하밀도의 평균 값을 기준으로 열차운행에 따른 안전율, 장래 부하 증가율, 고조파 발생기기로 인한 변압기 출력감소를 등을 고려하여 용량을 산정할 경우, 지하2층 구조 정거장의 조명·전열부하의 부하밀도 범위는 일반부하와 상시부하를 동시 공급하는 이중계로 구성하여 호계별로 9 ~ 20[VA/m²], 평균값 14.6[VA/m²] 정도를 반영하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

4.4 지하3층 정거장

표 5는 조사대상 정거장 중 구조가 지하3층인 정거장 10개소의 조명·전열부하에 대하여 부하밀도의 현장 운용실태를 통계·분석한 자료이며, 전체 분포되어 있는 부하밀도의 범위는 10.2 ~ 18.1[VA/m²], 평균값은 13.6[VA/m²], 표준 편차는

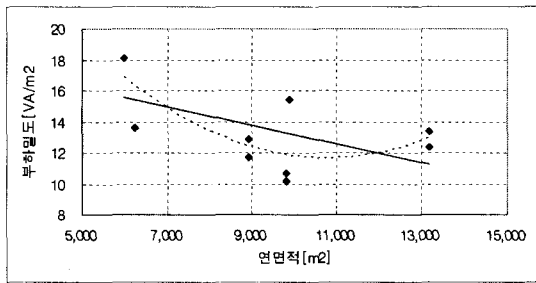
2.8[VA/m²]로 분석되었다.

그림 4에서 보는 바와 같이 조사된 정거장 연면적과 부하밀도와와의 상관관계를 보면 연면적이 작은 부분에서는 부하밀도가 높게 나타났고, 연면적이 큰 부분에서는 반대로 부하밀도가 낮게 나타났으며, 상호간의 상관관계가 중간정도인 것으로 분석되었다.

그리고, 최소제곱 평균오차는 1차 선형 회귀모형식에서 2.2[VA/m²]와 2차 비선형 회귀모형식에서 3.4[VA/m²] 정도로 나타났다.

표 5. 지하3층 정거장의 부하밀도 실태 분석

항 목	최대값	최소값	평균값	표준편차	중앙값	데이터 건수
연면적[m ²]	13,176	5,972	9,188	2,638	9,366	10
부하밀도 [VA/m ²]	18.1	10.2	13.6	2.8	13.1	



항 목	회귀 모형식	최소제곱 평균오차	상관계 수
1차선형	$y = -0.006x + 19.067$	2.2	-0.5591
2차비선형	$y = -0.0000002x^2 - 0.0049x + 37.914$	3.4	

그림 4. 지하3층 정거장의 부하밀도 적용 실태 및 회귀 모형식

따라서, 현장 실태조사에 따른 부하밀도의 평균값을 기준으로 열차운행에 따른 안전율, 장래 부하증가율, 고조파 발생기기로 인한 변압기 출력감소를 등을 고려하여 용량을 산정할 경우, 지하3층 구조 정거장의 조명·전열부하의 부하밀도 범위는 일반부하와 상시부하를 동시 공급하는 이중계로 구성하여 호계별로 10 ~ 18[VA/m²], 평균값 13.6[VA/m²] 정도를 반영하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

4.5 섬식 승강장 정거장

표 6은 조사대상 정거장 중 승강장 구조가 섬식

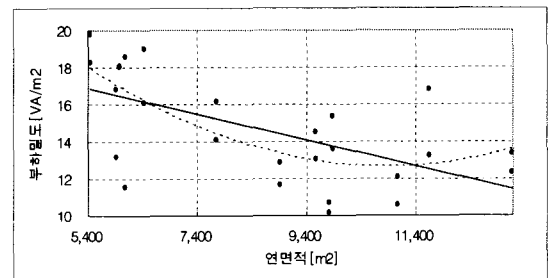
인 정거장 26개소의 조명·전열부하에 대하여 부하밀도의 현장 운용실태를 통계·분석한 자료이며, 전체 분포되어 있는 부하밀도의 범위는 10.2 ~ 19.8[VA/m²], 평균값은 14.6[VA/m²], 표준 편차는 2.9[VA/m²]로 분석되었다.

그림 5에서 보는 바와 같이 조사된 정거장 연면적과 부하밀도와와의 상관관계를 보면 연면적이 작은 부분에서는 부하밀도가 높게 나타났고, 연면적이 큰 부분에서는 반대로 부하밀도가 낮게 나타났으며, 상호간의 상관관계가 다소 높은 것으로 분석되었다.

그리고, 최소제곱 평균오차는 1차 선형 회귀모형식에서 2.2[VA/m²]와 2차 비선형 회귀모형식에서 3.3[VA/m²] 정도로 비교적 근소한 차이를 나타냈다.

표 6. 섬식 승강장 정거장의 부하밀도 실태 분석

항 목	최대값	최소값	평균값	표준편차	중앙값	데이터 건수
연면적[m ²]	13,176	5,442	8,562	2,472	8,907	26
부하밀도 [VA/m ²]	19.8	10.2	14.6	2.9	13.9	



항 목	회귀 모형식	최소제곱 평균오차	상관계 수
1차선형	$y = -0.007x + 20.673$	2.2	-0.6035
2차비선형	$y = -0.0000002x^2 - 0.0038x + 33.65$	3.3	

그림 5. 섬식 승강장 정거장의 부하밀도 적용 실태 및 회귀 모형식

따라서, 현장 실태조사에 따른 부하밀도의 평균값을 기준으로 열차운행에 따른 안전율, 장래 부하증가율, 고조파 발생기기로 인한 변압기 출력감소를 등을 고려하여 용량을 산정할 경우, 섬식구조 승강장 정거장의 일반 조명·전열부하의 부하밀도 범위는 일반부하와 상시부하를 동시 공급하는 이중계로 구성하여 호계별로 10 ~ 20[VA/m²], 평균값 14.6[VA/m²] 정도를 반영하는 것이 바람직한

것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 지하철 정거장의 조명용 전력소비 특성을 고려하여 특징파라미터를 분석하였고, 회귀분석을 통하여 경향을 확인하였다. 이를 토대로 조명부하밀도의 적용실태를 분석하였고, 주요 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 실태조사 결과, 조명부하의 종합 부하밀도는 14.2[VA/m²]로 분석되었으며, 내선규정에서 정하고 있는 표준부하밀도의 1/2 수준으로 나타났다.

2) 조명용 부하밀도의 적용 실태는 다음과 같다.

구 분	실태조사 부하밀도 평균값 [VA/m ²]	부하밀도 적용 범위 [VA/m ²]
B등급 정거장	14.7	10.2~19.8
지하2층 정거장	14.6	9.2~19.8
지하3층 정거장	13.6	10.2~18.1
섬식 승강장	14.6	10.2~19.8

3) 최근에는 지하철 정거장의 플랫폼홈에 스크린 도어를 설치하고 있으며, 이로 인하여 조명 환경이 매우 좋아졌으므로, 향후에는 이러한 사항을 고려하여 조명부하밀도를 조정하는 것을 검토하여 설계에 반영하는 것이 필요하다.

References

- [1] 김세동, 사무소용건물의 전기설비용량 산정에 관한 연구, 건기연 91-FE-112, 연구보고서, 1991
- [2] 지철근 외, 건축전기설비설계기준, 건설교통부, 2000
- [3] 대한전기협회, 내선규정전문위원회, 최신개정판, 내선규정, pp.198~199, 2005