

지하철 역사의 구조 및 특성을 고려한 동력부하밀도 분석

Power Load Density Analysis considering Structure and Characteristics of Subway Stations

정 현 기* 차 광 석**
Jung, Hyun Ki Cha, Kwang Seok

ABSTRACT

The purpose of this study is to present the design standard for load density in subway station. From the data of electric equipment capacity and electric power consumption for 43 subway stations, current levels of the load density and excess capacity factor were surveyed and analyzed. In addition mean value, standard deviation, maximum value, median value and correlation coefficient were evaluated through excel program.

Also it was carried out the regression analysis. The estimation method of load density and design criterion were studied. As a result, load density in this thesis have been proposed : 51.3 [VA/m²] on the general power load can be a standard value for subway station.

1. 서론

지하철 역사의 전력설비를 합리적으로 설계하기 위해서는 무엇보다 부하용량을 정확하게 산정하여야 한다. 부하용량을 산정하는 방법으로는 첫째, 대한전기협회에서 제정한 내선규정에 의거 표준부하에 따른 산정방법이 있으나 이에 정한 표준부하밀도는 업무용빌딩의 조명용 부하에 한하여 제시하고 있고 일반 동력부하 및 특수부하에 대해서는 제시되고 있는 기준 값이 없어 설계자의 임의로 설계되고 있다.[1]

둘째, 과거의 실적이나 유사 건물의 데이터를 이용하는 방법으로 이 또한 설계 사례를 토대로 참고하고 있지만 자료도 검증되지 않는 일반적으로 제시되고 있는 기준 값들이다.[2]

셋째, 실제 부하에 의한 용량 산정방법으로 이는 건축도면 및 기계설비의 설계가 어느 정도 완료된 단계에서 실제 부하의 데이터가 제시되기 때문에 기본설계 단계에서 결정되는 전력용 변압기의 용량과 수전계통의 구성 등을 결정하는 데에는 크게 도움이 되지 않는다.[3]

따라서 전력설비 설계 시 정확한 부하계산 및 설비특성 분석에 대한 기술 자료가 매우 미흡한 실정으로 국내외 여러 문헌에 의존하기도 하지만 주로 일본·미국 등 외국의 기준 및 설계사례 등을 그대로 적용해 오고 있는 실정이다.

이와 같이 우리 실정과 부합되지 않는 외국의 기준 등을 설계자의 경험적 판단에 따라 수정 보완 없이 적용하게 됨으로써 전력용 변압기의 시설용량이 과다하게 설계되는 사례가 있어 많은 문제점이 제기되고 있다.

특히, 역사의 환승·지하층 구조·승강장 형태 등과 같은 지하철 고유특성에 적합한 부하설비 용량을 설계하기 위한 자료는 학회 등에 보고 된 사례가 거의 없어 참고할 수 있는 기준이 없는 형편이다.

본 논문에서는 지하철 역사의 구조적 특성 및 동력부하별 설비용량의 실태 조사를 통하여 동력부하밀도

를 분석하고, 이를 토대로 합리적이고 통계적인 동력부하설비 용량산정을 위한 기술기준을 제시하고자 한다.

연구논문 등 선행연구 자료에서도 사무용빌딩, 아파트, 주택, 공장, 병원, 호텔 등 업종별로, 조명, 동력, 냉방 등 전력부하 설비별로 부하밀도를 제시하고 있으나 이는 과학적, 실험적 경험에 의한 연구 결과로 보기에는 다소 어려움이 있는 관계로 실제 전기설계 도서를 작성하는 설계자들은 자신의 경험에 의한 노하우로 변압기의 용량 산정에 따른 부하밀도의 적용 기준은 객관성이 다소 부족하다고 볼 수 있다.

따라서 본 논문에서는 지하철 역사의 증장기 전력수요예측에 부합하는 동력용 변압기의 적정 용량산정에 필요한 동력부하밀도의 적정 기준을 특징파라미터(parameter) 및 회귀분석 등 통계적 분석을 통하여 제시하고자 한다.

2. 지하철 역사의 동력부하용량 산정에 관한 고찰

2.1 지하철 역사 동력부하의 특성

지하철 역사의 전력부하에 대한 배전계통은 지하철 변전소에서 각 역사마다 설치되어 있는 전기실로 공급한다. 역사 전기실은 변전소로부터 교류 3상 6.6[kV] 3회선을 수전하여 정전이나 기기고장 시에도 전력을 공급될 수 있도록 이중으로 구성하며 1호계와 2호계는 일반 동력, 조명, 신호, 통신 등의 전력 부하에 공급하고, 3호계는 냉방 및 터널환기 부하에 공급한다.[4]

사고 또는 고장을 대비하여 1호계와 2호계 사이에 계통을 연계(link)할 수 있는 차단기를 설치하여 비상시에 상호 급전할 수 있도록 한다. 저압계통은 부하의 특성에 따라 일반부하, 상시(상용)부하, 비상부하로 구분하여 저압을 공급한다.

각 역사 전기실의 동력용 변압기의 용량을 산정하기 위해서는 우선 역사 각 부분에서 사용하는 동력부하설비의 다양한 규격과 용량을 검토하여야 한다. 또한 지하철 역사는 이용승객의 규모, 환승유무 등에 따라 등급을 3단계로 나누고 있으며, 동력용 변압기의 용량산정 시에도 역사등급에 따라 전력사용량을 차등화 하여 검토하여야 한다.

2.2 부하밀도에 의한 동력부하용량 산정

단위면적당 표준부하를 이용한 부하산정은 일반적인 부하용량 산정방법으로 과거의 통계학적 개념 및 부하증가 추세에 의한 부하증가 개념을 복합시켜 소요되는 단위면적당 부하용량을 제시하여 주는 기준 값으로 국내외에서도 널리 사용되고 있는 방법이다.

일반적으로 기본설계 시에는 부하종류별 부하용량이 불분명하므로 건물의 용도, 규모에 따라 관련 기준 등에서 제시되어 있는 부하종류별 단위면적당 부하밀도[VA/m²]를 참고로 하여 또는 과거의 실적(유사건물의 데이터)을 토대로 해서 각 부하마다의 소요전력을 추정한다.

이 표준부하 산정방법은 건물의 설비규모 및 구성 특성, 인텔리젠트화 정도에 따른 차이를 어떤 기준에 의해 표준화하여 부하용량을 산정해야 하는 문제를 갖고 있다. 또한 지하철 역사 및 구조 등이 다양한 특성을 가지는 경우에 동력부하 용량산정을 위한 기초 자료가 거의 없는 실정이다.

각종 문헌상의 데이터나 주요 지표로 사용되는 설계 값은 대개 기존 건물에 대한 실태조사 결과 값이거나 과거의 실적 자료로부터 얻어진 통계 치라고 할 수 있으며, 이것은 건물의 용도, 규모, 부하의 종류, 조사기간, 조사자 등에 따라 상당한 차이를 보이고 있다. 현재 지하철 역사의 설비구성, 환승여부, 지하구조물 층수 등을 고려한 과거의 실적 자료는 전무한 상태이다.

동력설비 부하를 명백히 알 수 없을 경우에는 앞에서 언급한 방법으로 부하용량을 추정하지만, 건물

의 규모, 용도, 설비의 기능을 어느 정도 파악할 수 있을 때는 실제로 설비되는 부하의 종류를 정할 수 있고, 각종 전기설비의 기기 용량을 가능한 정확히 파악한 후 동력부하 용량을 산정할 수 있다.

동력부하설비의 사양이 제시된 경우의 동력부하는 그 부하종류가 다양하고, 용량, 대수, 효율 및 운전방법 등 여러 가지 특성과 사용조건에 따라 차이가 많기 때문에 이들 특성과 조건을 충분히 고려하여 실 설계에 의해 부하기기 종류별로 부하설비용량을 산정하고, 부하설비의 사양이 제시되지 않은 경우의 동력부하는 일반적으로 건물의 규모, 용도 및 냉난방방식을 고려해서 유사한 건물의 조사 데이터를 토대로 단위면적당의 부하용량, 즉 부하밀도를 추정하고 이에 연면적을 곱해서 설비용량을 산출한다.[4]

3. 국내외 관련규정 및 선행 연구결과 검토

3.1 국내 표준부하 산정기준 관련규정

건축전기설비설계기준(건설교통부 발행)은 건축물의 전기설비와 관련한 공사를 시행하는 데 있어서 건축전기설비 부문에 대한 계획 및 설계 단계에서 개념 정립, 규격, 품질 성능 등 설계에 대한 최소한의 기준을 제시하여 건축전기설비 설계의 효율성을 제공하는 것을 목적으로 하고 있으며, 이 기준에서 정하고 있는 변압기 용량 산정에 필요한 부하밀도는 계획 또는 기본설계 시 부하용량을 추정하는 경우에는 표 3.1과 3.2와 같이 용도에 따른 유사건물 데이터를 참조한다.

표 3.1 건물용도별 부하설비용량 추정 [3] (단위: VA/m²)

Table 3.1 The deduction for the capacity of load equipment in relation to the use of building[3]

용도종별	일반동력	기타동력부하	합계
대형사무실	59	37	133
점포(대형)	72	43	177
대형창고	45	33	96
대형전산센터	92	60	185
공공건물	41	31	104

표 3.2 사무용 빌딩의 규모별 부하용량[3] (단위: VA/m²)

Table 3.2 The load capacity for the office building in relation to the scale[3]

건물크기	냉방부하	기타동력부하	합계
750[m ²]	40~45	25~30	90~105
1,500[m ²]	35~40	25~30	85~100
3,000[m ²]	30~35	25~30	80~95
6,000[m ²]	25~30	25~30	75~90

주: 냉방부하는 터보식 및 왕복동식인 경우임

3.2 외국의 부하기준 산정 관련규정

미국 NEC(National Electrical Code) 규정은 미연방방화협회(NFPA : National Fire Protection Association)에서 발행하며, NFPA의 National Fire Code 구성은 총 285개의 Code와 Standard로서, 미국

의 NEC에서는 일반사무실의 경우 조명용 부하밀도는 37.6[W/m²]로 규정하고 리셉터클 수량이 불분명한 경우에는 10.74[W/m²]를 추가하도록 규정하고 있으나, 지하철 역사에 관한 부하밀도는 제시하고 있지 않고 있으며[5][6], 일본 또한 제시하고 있지 않다.[7][8]

3.3 한국건설기술연구원의 선행 연구결과

한국건설기술연구원의 ‘사무소건물의 전기설비용량 산정에 관한 연구(건기연 91-FE-112)’ 연구결과는 표 3.10과 같으며, 본 연구에서는 부하설비용량에 대한 자료의 정확성이 부족하여 부하밀도를 분석하지 않고, 변압기시설용량을 기준으로 하여 변전시설밀도를 분석하였다.[9]

또한 한국건설기술연구원의 ‘지하 생활공간 개발요소 기술연구 -전원설비분야-’ (KICT95-ME-1401)’ 연구결과에 의하면, 점포면적과 보도면적 기준시 조명용 변전시설밀도는 70[VA/m²] 이상 확보하는 것이 바람직한 것으로 제시하고 있으며, 일반 동력용 변전시설밀도는 45[VA/m²] 이상 고려하는 것이 바람직한 것으로 제시하고 있다.[10]

4. 회귀분석이론을 이용한 동력부하밀도 분석

4.1 종합 동력부하밀도 분석

지하철 역사의 부하 중에서 일반 동력부하용 변압기가 시설되어 있는 전기실의 실제 부하를 대상으로 분석하였고, 연면적 및 변압기용량은 서울메트로(Seoul Metro) 전산시스템 자료를 기준으로 하였으며, 동력부하설비 용량은 현업분소에서 자체 조사·제시한 데이터(data)를 기준으로 검토하였다.

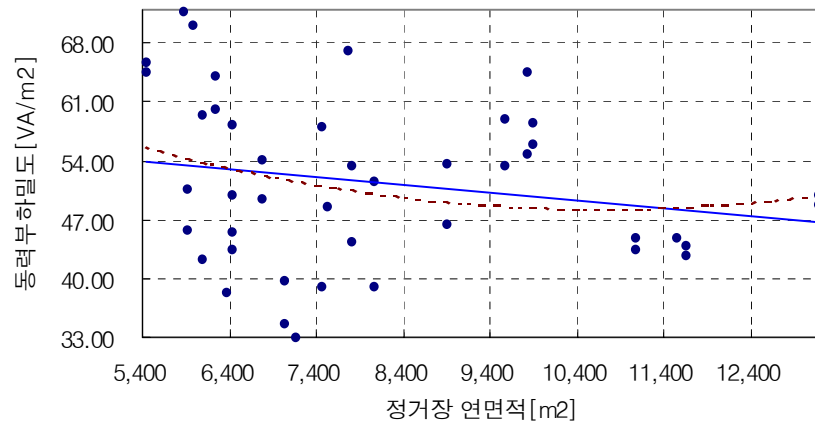
표 4.1은 서울메트로 역사 43개소의 배수펌프, 오수펌프, 일반 공조·환기설비, 에스컬레이터, 급수펌프 등 일반 동력부하에 대한 부하밀도의 운용 실태를 조사·분석한 자료이며, 전체 분포되어 있는 동력부하에 대한 부하밀도의 범위는 계통별로 33 ~ 71.9[VA/m²], 평균값은 51.3[VA/m²], 표준 편차는 9.7[VA/m²]로 분석되었다.

표 4.1 일반 동력부하의 종합 부하밀도

Table 4.1 Total load density of the general power loads

항 목	최대값	최소값	평균값	표준편차	중앙값	데이터건수
X : 연면적[m ²]	13,176	5,442	8,088.4	2,153.9	7,466	43
Y : 부하밀도[VA/m ²]	71.9	33	51.3	9.7	49.9	

그림 4.1에서 보는 바와 같이 조사된 역사 연면적과 부하밀도와의 상관관계를 보면 연면적이 작은 부분과 큰 부분의 부하밀도가 약간의 차이가 있는 것으로 나타났으며, 상관관계는 다소 낮은 것으로 분석되었다. 최소제공 평균오차는 1차 선형 회귀모형식에서 9.4[VA/m²]와 2차 비선형 회귀모형식에서 9.7[VA/m²] 정도 발생한 것으로 분석되었다.



항 목	회귀 모형식	최소제곱 평균오차	상관계수
1차 선형	$y = -0.0009x + 58.848$	9.4	-0.2059
2차 비선형	$y = 0.000003x^2 - 0.0057x + 78.693$	9.7	

그림 4.1 일반 동력부하의 종합 부하밀도 적용실태와 회귀모형식

Fig 4.1 Regression model and the actual condition about application to total load density of general power loads

역사의 동력부하밀도는 현장 실태조사에 따른 부하밀도의 평균값을 기준으로 하여 열차운행에 따른 안전율, 장래 동력부하 증가, 고조파 발생기기로 인한 변압기 출력감소 등을 고려하여 용량을 산정할 경우, 일반 동력용 부하의 부하밀도 범위는 일반부하 50%와 방송, 통신, 역무자동화설비 등의 상시부하에 동시 공급하는 이중계통로 구성하여 한쪽 계통의 설비용량 산정에 42 ~ 61[VA/m²](평균값 51.3[VA/m²]) 정도를 반영하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

4.2 A등급 역사 분석

표 4.2는 조사대상 역사 중 1일 승하차 인원이 평균 15만명이상인 역사 또는 환승 역사로 A등급인 역사 8개소의 동력용 부하에 대하여 전력부하밀도의 현장 운용실태를 통계·분석한 자료이며, 전체 분포되어 있는 부하밀도의 범위는 계통별로 44.8 ~ 59[VA/m²], 평균값은 52.4[VA/m²], 표준 편차는 5.1[VA/m²]로 분석되었다.

표 4.2 A등급 역사의 동력부하밀도

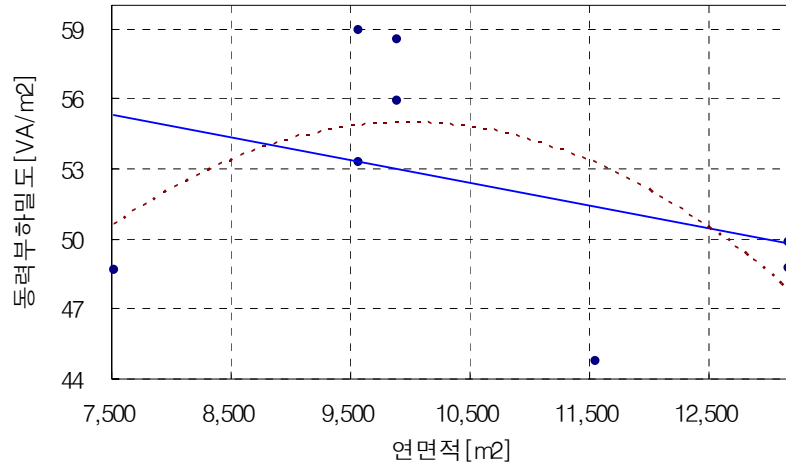
Table 4.2 The power load density of the A grade station

항 목	최대값	최소값	평균값	표준편차	중앙값	데이터건수
X : A등급 역사 연면적[m²]	13,176	7,523	10,541.1	1,956.2	9,886	8
Y : 부하밀도[VA/m²]	59	44.8	52.4	5.1	51.6	

그림 4.2에서 보는 바와 같이 조사된 역사 연면적과 부하밀도와의 상관관계를 보면 연면적이 9,500 [m²] 부분에서는 부하밀도가 다소 높게 나타났고, 연면적이 큰 부분에서는 반대로 부하밀도가 다소 낮

게 나타났다.

상호간의 상관관계는 다소 낮은 것으로 분석되었으며, 최소제곱 평균오차는 1차 선형 회귀모형식에서 4.5[VA/m²]와 2차 비선형 회귀모형식에서 4.3[VA/m²] 정도로 나타났다.



항 목	회귀 모형식	최소제곱 평균오차	상관계수
1차 선형	$y = -0.001x + 62.678$	4.5	-0.372
2차 비선형	$y = -0.0000007x^2 + 0.0143x - 16.348$	4.3	

그림 4.2 A등급 역사의 동력부하밀도 적용상태와 회귀모형식

Fig 4.2 Regression model and the actual condition to be applied to the power load density of the A grade station

현장실태 조사에 따른 부하밀도의 평균값을 기준으로 열차운행에 따른 안전율(비상시 배수펌프의 여유 고려), 장래 부하증가율, 고조파 발생기기로 인한 변압기 출력감소율 등을 고려하여 A등급 역사의 일반 동력부하의 부하밀도를 산정하여야 한다. 일반부하 50%와 방송설비, 배수펌프 등 상시부하를 동시에 공급하는 이중계통으로 구성하여 한쪽 계통의 설비용량 산정에 48 ~ 57[VA/m²](평균값 52.4[VA/m²]) 정도를 반영하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

4.3 지하3층 역사 분석

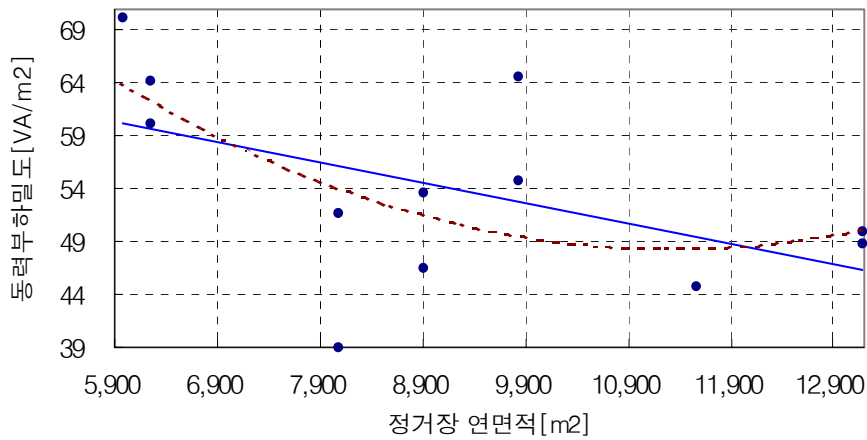
표 4.3은 조사대상 역사 중 구조가 지하3층인 역사 12개소의 일반 동력부하에 대하여 전력부하밀도의 현장 운용실태를 통계 분석한 자료이며, 전체 분포되어 있는 부하밀도의 범위는 39.1 ~ 70.2[VA/m²], 평균값은 54[VA/m²], 표준 편차는 9.2[VA/m²]로 분석되었다.

표 4.3 지하3층 역사의 동력부하밀도

Table 4.3 The power load density of the underground 3 layer station

항 목	최대값	최소값	평균값	표준편차	중앙값	데이터건수
X : 지하3층 역사 연면적[m ²]	13,176	5,972	9,163.8	2,497	8,907	12
Y : 부하밀도[VA/m ²]	70.2	39.1	54	9.2	52.6	

그림 4.3에서 보는 바와 같이 조사된 역사 연면적과 부하밀도와의 상관관계를 보면 연면적이 작은 부분에서는 부하밀도가 높게 나타났고, 연면적이 큰 부분에서는 반대로 부하밀도가 낮게 나타났다. 그리고 상호간의 상관관계가 중간정도인 것으로 분석되었으며, 최소제곱 평균오차는 1차 선형 회귀모형식에서 7.5[VA/m²]와 2차 비선형 회귀모형식에서 7.8[VA/m²] 정도로 나타났다.



항 목	회귀 모형식	최소제곱 평균오차	상관계수
1차 선형	$y = -0.0019x + 71.499$	7.5	-0.5167
2차 비선형	$y = 0.0000005x^2 - 0.0122x + 117.86$	7.8	

그림 4.3 지하3층 역사의 동력부하밀도 적용실태와 회귀모형식

Fig 4.3 Regression model and the actual condition to be applied to the power load density of the underground 3 layer station

지하3층 역사의 동력부하밀도는 현장실태 조사에 따른 부하밀도의 평균값을 기준으로 하여 비상시 배수펌프의 여유 고려, 장애 동력부하 증가요인, 고조파 발생기기로 인한 변압기 출력감소 등을 고려한 동력부하의 부하밀도로서 범위는 일반부하 50%와 상시부하에 동시 공급하는 이중계통으로 구성하여 한쪽 계통의 설비용량 산정에 45 ~ 63[VA/m²](평균값 54[VA/m²]) 정도를 반영하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

4.4 상대식 승강장 역사 분석

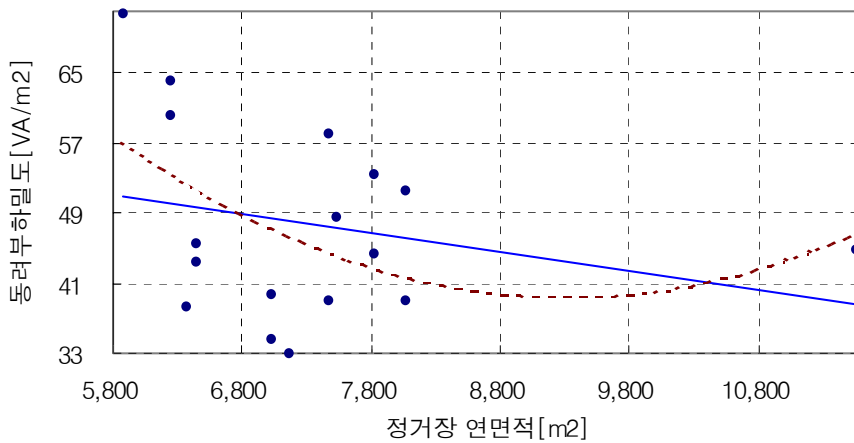
표 4.4는 조사대상 역사 중 승강장 구조가 상대식인 역사 17개소의 동력부하에 대하여 전력부하밀도의 현장 운용실태를 통계분석한 자료이며, 전체 분포되어 있는 부하밀도의 범위는 계통별로 33 ~ 71.9[VA/m²], 평균값은 47.7[VA/m²], 표준 편차는 10.9[VA/m²]로 분석되었다.

표 4.4 상대식 승강장 역사의 동력부하밀도

Table 4.4 The power load density of the relative type platform's station

항 목	최대값	최소값	평균값	표준편차	중앙값	데이터건수
X : 상대식 역사 연면적[m ²]	11,554	5875	7329.3	1292.1	7159	17
Y : 부하밀도[VA/m ²]	71.9	33	47.7	10.9	44.8	

그림 4.4에서 보는 바와 같이 조사된 역사 연면적과 부하밀도와의 상관관계를 보면 연면적이 작은 부분에서는 부하밀도가 다소 높게 나타났고, 연면적이 큰 부분에서는 반대로 부하밀도가 다소 낮게 나타났으며, 상호간의 상관관계가 다소 낮은 것으로 분석되었다. 최소제곱 평균오차는 1차 선형 회귀모형식에서 10.2[VA/m²]와 2차 비선형 회귀모형식에서 29.6[VA/m²] 정도로 분석되었다.



항 목	회귀 모형식	최소제곱 평균오차	상관계수
1차 선형	$y = -0.0021x + 63.393$	10.2	-0.2546
2차 비선형	$y = -0.000001x^2 - 0.0275x + 167.85$	29.6	

그림 4.4 상대식 승강장 역사의 동력부하밀도 적용실태와 회귀모형식

Fig 4.4 Regression model and the actual condition to be applied to the power load density of the relative type platform's station

상대식 승강장 구조인 역사는 현장 실태조사에 따른 부하밀도의 평균값을 기준으로 열차운행에 따른 안전율(비상시 배수펌프 여유 고려), 장래 부하증가율, 고조파 발생기기로 인한 변압기 출력감소율 등을 고려하여 상대식구조 승강장 역사의 동력부하의 부하밀도를 산정하여야 한다. 전기실의 전력계통은 일반부하 50%와 상시부하를 동시 공급하는 이중 구조로 구성하여 호계별 설비용량 산정에 37 ~ 59[VA/m²]{평균값 47.7[VA/m²]} 정도를 반영하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 논문은 지하철의 전력소비에 대한 효율적인 수요예측과 신설 지하철의 계획 및 설계 등에 필요한 기초 자료로 지하철역사의 동력부하밀도에 대한 적정기준(안)을 제시하기 위하여 동력부하밀도의 적용 실태를 서울메트로 3호선과 4호선을 중심으로 역사 동력부하를 종합, 역사 층수별, 승강장 구조 형태별로 특성을 고려하여 특징파라미터를 분석하였고, 회귀분석을 통하여 경향을 확인하였으며, 이를 토대로 동력부하밀도의 적용실태를 분석하였다.

조사분석 결과, 지하철 역사에서 사용되고 있는 펌프·환기·승강기 등 일반용 동력부하(냉방부하 제외)의 종합적인 동력부하밀도는 $51.3[\text{VA}/\text{m}^2]$ 로 분석되었다.

최근 지하철역사의 승강장에 스크린도어를 설치하고 있고, 장애인 편의설비 증설 및 기능실 냉난방 확대에 의해 동력부하가 날로 증가되는 등 향후 부하설비 용량의 가감사항을 검토하여 동력부하밀도를 조정, 설계에 반영하는 것이 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] “내선규정”, 대한전기협회, 2005
- [2] “전기설비기술계산 핸드북”, 도서출판 기다리, 2004
- [3] “건축전기설비설계기준(건설교통부 승인)”, 2005
- [4] “지하철9호선설계기준”, 서울지하철건설본부, 2001
- [5] “National Electrical Code”, NFPA, 2002
- [6] Robert D. Briskman, IEEE Recommended Practice for Electric Power Systems in Commercial Buildings, 1974
- [7] “日本 Azalea地下街 規程”, 2004
- [8] 新築ビルディング電氣設備データ一覽表, 社團法人 日本電設工業協會, 2003
- [9] 김세동 외, “사무소건물의 전기설비용량 산정에 관한 연구”, 한국건설기술연구원, 1991
- [10] 김세동 외, “지하생활공간 개발 요소기술 연구-전원설비 분야”, 한국건설기술연구원, 1995