소방전원계통의 최적화 알고리즘 개발에 관한 연구

A Study on Development of Optimization Algorithms for Electric Power System in Fire Protection

손봉세* · 최승규**

Son, Bong Sei* and Seung Kyou, Choi**

Abstract

In designing an electric power system for fire protection, special consideration should be given to the effects of shortage of power capacity and voltage drop in preparation for emergencies. If fire protection design is ever made without considering emergencies, it can cause serious results by improper operation of fire protection systems in case of emergencies, especially due to the shortage of power capacity and main power line voltage drop. As such, this study carries out theoretical calculations of power capacities and main power line voltage drops of actual buildings which are being protected by fire protection systems, finds out the resultant problems, develops optimal algorithms for power supply calculation of electric power system by using a linear regression analysis and optimal algorithms for distributed arrangement considering a load center, and proposes an optimal method for electric power source for fire protection, which is based on optimal design flow charts in electric power system for fire protection. As a result of performing simulations, applying the proposed optimization method to electric power system for fire protection for which problem analysis has been made, it is found that the electric power system operates safely and properly, maintaining the rated voltage.

Key words : Electric power system, Power capacity, Voltage drop, Linear regression analysis

요 지

소방전원계통의 설계시에는 반드시 비상상태를 기준으로 계통의 용량과 전압강하의 영향을 고려하여야 한다. 비상상태를 고려하지 않은 소방전원계통의 설계는 비상상태 시, 전원용량의 미달과 전압강하의 영향으로 소방전기설비가 작동이 되지 않는 심각한 결과를 초래할 수 있다. 이에 본 논문에서는 실제 준공된 소방대상물을 대상으로, 전원공급장치의 용량 및 간선의 전압강하를 이론적으로 계산하여 문제점을 도출하고, 이를 해결하기 위해 선형회귀분석법을 이용한 전원공급장치의 최적 공급전압 산출 알고리즘과, 부하중심점을 고려한 최적 분산배치 알고리즘을 개발하여, 소방전원계통의 최적설계 Flowchart에 의한, 소방용 전원의 최적화 방안을 제안하였다. 그리고 제안된 최적화 방안을 문제점을 분석한 소방전원계통에 적용하여 시뮬레이션을 수행한 결과, 규정전압을 유지하면서 전원계통이 안정적으로 운용됨을 확인하였다.

핵심용어 : 소방전원계통, 전원 용량, 전압 강하, 선형 회귀 분석

1. 서 론

최근 소방대상물의 대형화와 고층화 추세에 맞추어 설치되어지는 각종 소방시설이 급격하게 많아지고 있으며, 그에 따른 소방전기계통의 전기용량과 간선의 길이가 비례적으로 증가하고 있다. 소방전원계통의 전원용량과 간선길이의 증가는 과거, 소방대상물이 소규모일 때에는 문제가 되지 않았지만,

소방전원계통의 전원공급장치 용량 미달과 간선의 전압강하 증가에 따른 저전압 문제를 야기 시키고 있다. 현재의 소방전기계통의 설계는 관련법규의 미비로 인하여, 정확한 이론계산 없이 전원공급장치의 용량을 선정하여 배치하고 있으며, 전압강하의 영향 또한 고려하지 않는 등 설계자의 경험에 의해 설계되어 시공되고 있는 것이 현실이다.

소방시설은 그 특성상 정상상태(평상시)에는 감시만을 수

*교신저자. 정회원. 가천대학교 공과대학 소방방재공학과 교수(Tel: +82-31-750-5713, Fax: +82-31-750-5713, E-mail: bsson@gachon.ac.kr)

Corresponding Author: Member, Professor, Department of Fire&Disaster Protection Engineering, Gachon University

**한국기술교육대학교 대학원 전기공학과 박사과정

Ph.D Candidate, Department of Electrical Engineering, Korea University of Technology and Education

행하므로 부하전류가 적어 문제가 되지 않으나, 비상상태(화재시)에서는 각종 소방부하가 집중적으로 작동되어 부하전류가 최대가 되므로, 소방용 전원의 필요용량과 간선의 전압강하를 크게 증가 시키게 된다.

비상상태를 고려하지 않은 소방전원계통의 설계는 전원용량 부족과, 간선의 전압강하의 영향으로 단자전압이 규정전압에 미달하여 비상상황 발생 시, 각종 소방전기설비가 작동되지 않는 부동작으로 인하여, 인명과 재산에 심각한 피해를 발생시키는 원인이 될 수 있다. 그러므로 소방전원계통의 설계 시에는 비상상태를 고려한 적정용량의 전원공급장치 선정과, 간선의 전압강하를 고르게 분산시킬 수 있는 위치를 선정하여, 분산 배치하는 것이 매우 중요하다.

이에 본 논문에서는 실제 준공된 소방대상물의 소방전기설비계통도를 바탕으로 전원공급장치의 용량 및 간선의 전압강하를 이론적으로 계산하여 문제점을 도출하였으며, 도출된 문제점을 해결하기 위하여 선형회귀분석법을 이용한 전원공급장치의 최적 공급전압 산출 알고리즘과, 부하중심점을 고려한 최적 분산배치 알고리즘을 개발하였다. 그리고 개발된 알고리즘을 소방전원계통의 최적설계 Flowchart에 적용하여, 소방용 전원의 최적화 방안을 제안하고 시뮬레이션을 수행하였다.

2. 소방전원계통의 문제점 분석

본 논문의 실용성과 신뢰성을 제고하기 위하여 실존하는 소방대상물을 선정하였으며, 해당 소방대상물의 소방전기설비계통도를 바탕으로 문제점을 분석하였다.

분석한 소방대상물은 경기도 성남시에 소재한 2011년에 준공된 주상복합 건축물로 지상 12층, 지하 2층, 연면적 4,496 m²인 소방시설이 상대적으로 복잡하지 않은 중소규모의 소방대상물이다.

Fig. 1. Schematic Diagram of Fire-fighting Electrical Equipment.

Fig. 1은 소방전원계통의 문제점을 분석하기 위해 소방전기설비계통도를 각 구간별로 구분한 구성도로서, 제연설비(A구간), 자동화재탐지설비 및 옥내소화전설비(B1, B2구간) 스프링클러설비(B3, B4구간) 등의 각종 소방시설이 설치되어 있는 것을 확인할 수 있다. 전원공급장치는 1개소로 정격용량이 360 W이며 공급전압은 DC 24 V, 정격전류는 15 A이다. 사용전선은 감지기 간선 HIV(600 V 내열비닐절연전선) 1.5 SQ, 기타 간선 HIV 2.5 SQ를 사용하고 있다.

2.1 소방전원계통의 전원공급장치 용량

소방전원계통의 전원공급장치 용량계산은 소방시설의 특성상 감시만을 수행하는 정상상태와 실제 부하가 작동하는 비상상태로 구분하고, 소방전기 기기에 대한 부하전류는 소방산업현장에서 소방용 전기기기의 점유율이 가장 높은 “D”사 제품의 정격전류를 기준으로 관계규정에 따라 2개소 화재발생을 전제로 계산하였다(KOFEIS 0304, 2013).

Fig. 2는 비상상태에서 소방부하가 가장 클 것으로 예상되는 지상 1층과 10층의 소화설비용 교차회로 감지기 작동으로, 소화설비가 작동되었을 때를 가정하여 산출한 층별 부하전류 분포도이다.

소방시설의 경보방식은 직상층 우선경보방식을, 제연댐퍼의 작동 중 전실제연댐퍼는 일제개방, 거실제연댐퍼는 해당층 개방방식을 적용하였다(NFSC 203, 2013).

소방 부하전류는 상기 그림에서와 같이 감시전류 2.15 A, 작동전류 12.69 A로 14.84 A이다. 이를 근거로 전원공급장치의 용량을 경년변화에 따른 여유율 1.2를 고려하여 식 (1)에 의해 산출하였다.

$$P = VI \times 1.2 = 24 \times 14.84 \times 1.2 = 427.39 [W] \quad (1)$$

여기서, V : 부하전압, I : 부하전류

분석 소방대상물의 소방전원계통 전원공급장치의 정격용량은 360 W로 설계되어 시공되고 있으며, 2개소의 화재상황을 고려하여 산출한 전원공급장치의 용량은 상기 식과 같이 427.39 W이다. 따라서 분석 소방대상물에 비상상태가 발생된

Fig. 2. Distribution Chart of the Fire-fighting Load Current.

다면, 전원용량의 부족으로 소방전기설비가 작동하지 못할 수 있음을 확인하였다.

2.2 소방전원간선의 전압강하

소방전원간선의 전압강하계산은 전원계통의 부하용량계산과 마찬가지로, 소방시설의 특성을 감안하여 감시만을 수행하는 정상상태와, 실제 부하가 작동하는 비상상태로 구분하고, 2개소 화재상황을 전제로 계산하였다. 또한 전압강하의 구간별 문제점 분석을 위하여 간선을 Fig. 1과 같이 세분하고, 식 (2)의 전압강하 이론식을 적용하여 계산하였다.

$$e[V] = (35.6LI)/(1000A) \quad (2)$$

여기서, A : 전선의 단면적 [mm^2], L : 전선 1본의 길이 [m],
 I : 소방기기의 정격전류 [A]

2.2.1 소방전원간선 “A”간선 구간의 전압강하

“A”간선 제원설비구간의 전압강하계산은 구간별로 식 (2)를 적용하여 계산한 후, 식 (3)을 이용해 간선구간 전체의 전압강하를 산출하였다.

$$e[A\text{구간}] = \Sigma(e[A-12] \sim e[A\text{-전원반}]) \quad (3)$$

Fig. 3은 상기 식에 의해 계산한 “A”간선 구간의 전압강하를 구간별 단자전압으로 환산하여 나타낸 정상상태와 비상상태의 그래프이다.

소방관계법규에 의한 소방전기기기 전압규정은 정격전압의 20%이내에서 이상 없이 작동 할 것으로 규정(DC24 V $\pm$ 20%) 하고 있으므로, 이를 단자전압으로 환산하면 DC 28.8 V이하, DC 19.2 V이상이다(NFSC 203, 2013). 그러나 “A”간선의 구간별 단자전압을 산출한 결과, 상기 그림에서와 같이 정상상태에서는 규정을 충족하고 있으나, 비상상태에서는 “A-5”구간 이후 간선부터 규정전압에 미달하고 있어, 소방전기설비가 작동하지 못할 수 있음을 확인하였다.

Fig. 3. Terminal Voltage of “A” Line Feeder Section.

2.2.2 소방전원간선 “B”구간의 전압강하

“B”간선 구간의 전압강하 및 단자전압 계산은 Fig. 1에서와 같이 “B1”간선에서 “B4”간선으로 세분하고, 감지기 계통이 제외된 각각의 구간을 기준으로 한 전압강하와, 감지기 계통을 포함한 말단 전압강하로 구분하여 “A”간선 구간과 같은 방법으로 계산하였다.

Fig. 4는 “B1”간선의 전압강하를 전원공급장치의 공급전압 DC 24 V를 기준으로 환산한, 구간 및 말단의 단자전압을 나타낸 그래프이다. “B1”간선의 말단 단자전압이 비상상태에서 자동방화문 기동용 도어릴리즈 2개(동작전류: 600 mA)의 작동으로 인하여, “B1-9”구간은 DC 12.73 V, “B1-10”구간은 DC 18.63 V로 소방전기설비가 작동하지 못할 수 있음을 확인하였다.

상기와 같은 방법으로 “B2”간선, “B3”간선, “B4”간선의 구간 및 말단의 전압강하와 단자전압을 산출하였다.

Fig. 5는 “B2”간선의 구간별 단자전압을 나타낸 그래프로, 계통의 길이가 짧고 부하전류가 크지 않아, 비상상태에서도 허용 규정전압 범위를 유지하고 있음을 확인할 수 있다.

Fig. 6은 “B3”간선의 구간별 단자전압을 나타낸 그래프로, “B3-6”구간부터 허용 규정전압 이하가 되고 있으며, 특히 지상 10층(B3-9구간)의 말단은 소화밸브 기동용 솔레노이드(동작전류: 850 mA) 작동으로 인하여, 규정전압을 크게 벗어나고 있음을 확인할 수 있다.

Fig. 4. Terminal Voltage of “B1” Line Feeder Section.

Fig. 5. Properties of Asphalt Binder.

Fig. 6. Terminal Voltage of "B3" Line Feeder Section.

Fig. 7. Terminal Voltage of "B4" Line Feeder Section.

Fig. 7은 "B4"간선의 구간별 단자전압을 나타낸 그래프로, 소화밸브의 기동용 슬레노이드(동작전류: 850 mA) 작동으로 전압강하가 크게 발생하여, "B4-1"구간이 규정전압에 미치지 못하고 있음을 확인할 수 있다.

상기와 같이 소방전원계통을 분석한 결과, 전원공급장치의 용량 부족과 "B2"간선을 제외한 나머지 간선에서 전압강하가 규정전압을 벗어나고 있어, 소방전기설비가 작동하지 못할 수 있음을 확인하였다.

3. 소방전원계통의 최적설계 방안

소방전원계통의 규정전압 이내의 안정적인 운용을 위하여, 계통의 용량과 간선의 전압강하를 고려한 전원공급장치의 적정용량 선정과 공급전압 결정 및 배치는 소방전원계통의 설계시 소방기기의 안정적인 운용을 위해 가장 중요한 요소이다. 따라서 본 논문에서는 소방산업현장에서 관련규정의 미비로 인하여 설계자의 경험에 의해 정확한 이론적 근거 없이 임의로 설계되어, 소방기기의 부작동 문제를 발생시켰던 문제를 해결하고자, 소방전원계통의 용량 및 전압강하를 고려한 전원공급장치의 적정용량선정 및 최적배치 방안을 Fig. 8과 같이 제안한다.

제안한 소방전원계통의 최적설계 flowchart를 단계별로 설명하면 다음과 같다.

Fig. 8. Optimal Design Flowchart of Fire-fighting Power System.

[Step 1] 설계도서 등의 관련 자료를 수집한다.

[Step 2] 소방전기설비의 부하전류(용량)를 감시전류와 작동전류로 구분하여 산출한다.

[Step 3] 소방전원간선의 전압강하를 정상상태와 비정상상태로 구분하여 산출한다.

[Step 4] 산출된 전압강하 값을 단자전압으로 환산하여 적합여부를 판단한다.

소방전기기기의 정격전압에 따른 전압강하 허용 하한범위 ($DC24\text{ V} \times 20\% = DC4.8\text{ V}$)에, 경년변화에 따른 여유율 20%를 고려($DC4.8\text{ V} \times 80\% = DC3.84\text{ V}$)하여, 구간별 전압강하 합계가 DC 3.84 V 이내일 때 적용한다.

[Step 5] 전원공급장치의 전압을 조정하여 공급하고 적합여부를 판단한다.

소방관계규정의 허용 전압에 따른 전압강하 허용범위 ($DC24\text{ V} \times 40\% = DC9.6\text{ V}$)에 경년변화에 따른 여유율 20%를 고려($DC9.6\text{ V} \times 80\% = DC7.68\text{ V}$)하여, 구간별 전압강하 합계가 DC 3.84~DC 7.68 V 이내 시 적용한다.

[Step 6] 전원공급장치의 배치위치를 부하중심점으로 고려하여 전원장치를 이설하고 적합여부를 판단한다.

전원공급장치의 이설에 따른 여유율(20%)을 감안($DC7.68\text{ V} \times 2[\text{분할 2구역}] \times 80\%$)하여, 구간별 전압강하 합계가 DC 7.68~12.29 V 이내일 때 적용한다.

[Step 7] 전원공급장치의 분산배치 위치를 다중 부하중심점을 고려하여 분산배치하고 적합여부를 판단한다.

소방전원계통에 부하전류가 크고 계통의 길이가 길어 전압강하가 DC 12.29 V 이상으로 크게 발생할 때 적용한다.

3.1 선형회귀분석법에 의한 전원공급장치의 최적공급전압 산출 알고리즘

소방전원계통에서 규정 전압범위를 충족하면서, 전원공급

Fig. 9. Terminal Voltage Scatter Plot of "B4" Line Feeder Section.

장치가 계통에 공급해야 할 최적의 전압을 찾아내기 위해, 최소제곱법의 원리를 이용한 선형회귀분석법을 적용하였다.

Fig. 9는 전원공급장치의 공급전압 DC 28.8 V를 기준으로 나타낸, 소방전원계통 "A"간선의 무부하시와 전부하시의 구간별 단자전압을 나타낸 산점도이다. 산점도에서 보는 바와 같이 소방전원간선에서 구간과 소방부하를 고려한 전압강하에 따른 단자전압이 일정한 상관관계를 가짐을 확인할 수 있다.

상기 산점도의 상관관계를 바탕으로, 단순선형회귀모형을 이용한 "A"계통의 적합된 회귀직선을 찾아내기 위해 다음의 이론식을 적용하였다. 식 (4)는 독립변수가 오직 하나만 존재하는 경우의 단순회귀분석을 고려한 모형의 구조식이다. b_0 와 b_1 을 β_0 와 β_1 의 추정량이라고 하였을 때 X 에 대한 Y 의 추정식은 식 (5)이며, 최소자승법(least square method)에 의한 추정량 b_0 와 b_1 을 구하기 위한 식은 식 (6)과 같다. 그리고 $y=a+bX$ 에 대한 해를 구하여 최종적인 식 (7)의 적합된 회귀직선식으로 나타낼 수 있다.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

여기서, Y_i : 소방전원계통의 구간별 전압,

X_i : 소방전원계통의 구간별 부하, β_0, β_1 : 모수, ε_i : 오차항

$$\hat{Y}_i = b_0 + b_1 X_i \quad (5)$$

$$\min \sum_{i=1}^n (e_i)^2 \quad (6)$$

$$b = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum (X_i - \bar{X})^2}, a = \bar{Y} - b\bar{X} \quad (7)$$

$$\therefore \hat{Y}_i = a + bX_i$$

상기의 이론식을 바탕으로 소방전원계통의 전압을 최적화하는, 전원공급장치의 최적 공급전압 산출 알고리즘을 제안한다. 여기서 선형회귀분석법에 의한 소방전원계통의 최적 공급전압 산출 알고리즘은, 소방전원계통의 구간별 전압을 반응변수인 y 축으로, 구간별 부하를 독립변수인 x 축으로 하여, 모수

a 와 b 를 추정하는 선형최소자승회귀분석법에 의해, 구간의 허용 규정전압의 최대 공급전압인 DC 28.8 V 공급기준으로, 정상상태와 전부하시의 회귀직선식을 각각 구한 후, 평균화하여 회귀직선식을 도출하고, 도출된 평균 회귀직선식에 의해 소방전원계통에 공급할 최적의 공급전압을 산출하는 것이다.

3.2 부하중심점을 고려한 전원공급장치의 최적 배치 알고리즘

소방전원계통에 부하전류가 크고 계통의 길이가 길어, 전압강하가 크게 발생하는 구간은, 소방전원계통을 재설정하여 다수 개의 전원공급장치를 분산하여 배치하여야 한다.

Fig. 10은 부하중심점을 고려한 전원공급장치 최적 분산배치의 개념을 나타낸 그림이다.

전원공급장치의 최적배치 위치를 찾기 위해 소방대상물의 E.P.S(Electric Pipe Shaft)실의 구조를 고려하여, 여유율이 적용된 허용 전압범위를 유지하면서 안정적인 전압공급이 가능한, 최적의 위치와 분산배치 개소를 선정한다. 또한 소방전원계통에서 전원공급장치의 최적 배치위치를 찾기 위해 규정 전압범위를 충족하면서, 계통의 부하중심점을 고려하여 계통의 전압강하가 고르게 분산되는 구간을 선정할 수 있는, 식 (8)을 제안한다.

$$X_C = \frac{\sum_{k=1}^n (w_k x_k)}{W} \quad (8)$$

여기서, W : 계통의 소방부하 합계,

X_C : 계통의 소방부하 중심점, w_k, x_k : 절점

4. 시뮬레이션 결과 및 분석

소방전원계통의 적정용량 산출과 전원공급장치의 최적배치 및 최적 공급전압을 결정하기 위해, 본 논문에서 제안한 소방

Fig. 10. Optimal Distributed Position of Fire-fighting Power Supply.

전원계통의 최적설계 Flowchart에 따른, 선형회귀분석법을 이용한 전원공급장치의 최적 공급전압 산출 알고리즘과, 부하 중심점을 고려한 최적 분산배치 알고리즘의 유용성을 확인하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다.

4.1 소방전원계통 “A”간선의 시뮬레이션

소방전원계통 “A”간선 구간은 구간별 말단 전압강하 합계가 DC 7.68 V 이내이므로, 전원공급장치의 이설 및 추가설치 없이 최적 공급전압 산출 알고리즘을 적용하면, 비상상태에서 안정적인 전원공급이 가능한 구간이다. 따라서 전원공급장치의 최적 공급전압을 결정하기 위하여, 반응변수인 구간의 전압을 y 축으로, 독립변수인 구간별 부하를 x 축으로 하여, 모수 a 와 b 를 추정하는 선형최소자승회귀분석을 실시하였다.

전원공급장치의 최적 공급전압을 구하기 위하여, Fig. 11과 같이 구간의 허용 규정전압의 최대 공급전압인 DC 28.8 V 공급을 기준으로 무부하시와 전부하시의 회귀직선식을 구하였다.

상기 그림에서 보는 바와 같이 “A”계통의 선형함수는 무부하시 식 (9), 전부하시는 식 (10)이다. 그리고 무부하시와 전부하시의 회귀함수를 평균화하여 도출한 회귀함수식은 식 (11)이다.

$$y = 28.681 - 0.0273x \quad (9)$$

$$y = 26.061 - 0.666x \quad (10)$$

$$y = 27.371 - 0.3466x \quad (11)$$

전원공급장치 최적의 공급전압은 무부하시와 전부하시의 회귀함수를 평균화하여 도출한, 회귀함수식 $y = 27.371 - 0.3466x$ 에 의해 DC 27.371 V로 결정하였다.

상기의 Fig. 12는 결정된 최적의 공급전압을 적용하여 나타낸, 비상상태에서의 구간별 단자전압 그래프이다. 그림에서 보는 바와 같이 비상상태에서 “A”간선의 구간별 단자전압이 DC 20.56 V에서 DC 24.48 V로, 안정적으로 유지되고 분포됨을 확인할 수 있다.

Fig. 11. Optimal Supply Voltage of “A” Line Feeder Section.

Fig. 12. Terminal Voltage of “A” Line Feeder Section.

4.2 소방전원계통 “B”간선의 시뮬레이션

소방전원계통 “B”간선 구간은 구간별 말단 전압강하 합계가 DC 7.68 V 이상이므로, 전원공급장치를 이설하거나 분산 설치하여야만 비상상태에서 안정적인 전원공급이 가능한 구간이다. 따라서 소방전원계통의 최적설계 Flowchart에 따라 안정적인 전원공급을 위하여 전원계통의 간선 구간을 E.P.S 실의 구조를 고려하여, Fig. 13과 같이 재구성하였다.

재구성된 “C”구간과 “D”구간의 소방 부하용량 및 전압강하를 다시 계산하고, 전원공급장치의 최적공급전압 산출과 배치 위치를 선정하여 다음과 같이 시뮬레이션을 수행하였다.

4.2.1 소방전원간선 “C”구간

재구성된 “C”간선 구간의 전압강하를 다시 계산한 결과, 간선 전체의 전압강하 합계는 정상상태에서 DC 1.87 V로 양호하나, 비상상태에서는 DC 8.08 V이다. 따라서 관계규정의 허용 전압범위를 크게 벗어나고 있음을 확인하였다. 또한 Fig. 14는 전원공급장치가 간선의 시작단에 설치되었다고 가정할 때, 공급전압 DC 24 V를 기준으로 환산한 각 구간별 단자전압을 나타낸 그래프이다. 그림에서와 같이 “C-5”구간 이후부터 허용전압을 벗어나고 있다.

Fig. 13. Reconfig. of “A” Line Feeder Section.

Fig. 14. Terminal Voltage of "C" Line Feeder Section.

Fig. 15. Load Current "C" Line Feeder Section.

"C"구간의 전압강하 합계는 DC 9.35 V로서, 부하중심점을 고려하여 전압강하가 고르게 분산되는 위치에, 전원공급장치를 이설하면 안정적인 전원공급이 가능한 구간이다. 따라서 전원공급장치 배치 위치는, 계통에서 부하중심점을 고려하여 전압강하가 고르게 분산되는 구간을 선정하여 배치하면 될 것이므로, 본 논문에서 제안한 부하중심점을 고려한 전원공급장치의 최적 배치의 알고리즘을 적용하여 선정하였다.

Fig. 15는 전부하시 각각의 구간별 부하에 거리를 곱하여 나타낸 그래프이다.

"C"구간의 최적의 전원공급장치 배치위치는 상기의 구간별 전선거리와 부하량에 근거하여, 본 논문에서 제안한 아래의 식 (12)을 적용하여 선정하였다.

$$X_C = \frac{\sum_{k=1}^n (w_k x_k)}{W} \quad (12)$$

$$X_C = \frac{2,696.00 \times (1) + \dots + 348.00 \times (16)}{82,555.25}$$

$$\therefore X_C = 6.81$$

상기 식에 의한 계통의 부하중심점 선정은, 계통이 방사상이 아닌 직선적이므로 절점 x_k 를 고려하지 않고 산출하였으며, 산출한 계통의 부하중심점 X_C 는 6.81구간이다. 따라서 "C"간선 구간의 최적 전원공급장치 배치위치는, 부하중심점에 가장 인접한 "C-7"구간으로 선정하였다.

Fig. 16은 "C"구간의 최적의 전원공급장치 배치위치를 "C-

Fig. 16. Terminal Voltage of "C" Line Feeder Section.

7"구간으로 선정하여 배치하고, 전원공급장치의 공급전압을 DC 24 V로 계통에 공급하였을 때를 가정하여 나타낸 정상상태 및 비상상태의 그래프이다.

상기 그림에서와 같이 소방부하의 작동이 가장 많은 것으로 예상되는 지상 1층 및 10층의 비상상태를 가정한, "C"간선 구간의 구간별 말단의 단자전압이, 고층부는 DC 21.86 V 이상, 저층부는 DC 22.67 V 이상으로 안정적으로 유지되고 분포를 확인할 수 있다.

4.2.1 소방전원간선 "D"구간

재구성한 "D"간선 구간의 전압강하를 다시 계산한 결과, 정상상태에서는 전압강하의 합계가 DC 1.54 V로 양호하나, 비상상태에서는 DC 5.50 V로 허용 전압범위를 벗어나고 있음을 확인하였다.

"D"간선 구간의 전압강하 합계는 DC 5.50 V로서, "A"간선 구간과 같이 선형회귀분석법을 이용한 최적 공급전압 산출 알고리즘에 따라 간선에 공급할 최적의 전압을 산출하였다. "D"간선 구간의 최적의 공급전압은 정상상태와 전부하시의 회귀함수를 평균화하여 도출한 회귀함수식에서 DC 27.7 V로 결정하였다. 또한 결정된 최적의 공급전압을 적용하여, "D"간선 구간의 비상상태를 기준으로 시뮬레이션을 수행한 결과, 구간별 말단의 단자전압이 비상상태에서 DC 22.20 V이상으로 안정적으로 유지되고 분포를 확인하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 관련규정의 미비 등으로 인하여 정확한 이론적 근거 없이 설계자의 경험에 의해 임의로 설계되고 시공되었던, 소방전원계통의 용량산정과 전원공급장치 배치의 불합리성을 개선하고자, 실제 준공된 소방대상물의 소방전기설비 계통을 대상으로, 전원공급장치의 용량 및 간선의 전압강하를 이론적으로 계산하여 문제점을 도출하고, 소방전원계통의 안정적이고 합리적인 설계와 운용에 대한 최적설계 Flowchart 및 알고리즘을 제안하였다. 또한 제안된 소방전원계통의 최적설계 Flowchart에 따른 적정 용량의 전원장치 선정과, 선형회귀분석법을 이용한 소방전원계통의 최적 공급전압 산출 및

최적 분산배치 알고리즘을 적용하여 시뮬레이션을 수행한 결과, 소방전원계통에서 소방용 전원이 안정적으로 분포되고 유지됨을 확인하였다.

본 논문의 주요 연구 내용을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 소방대상물의 실제 소방전원계통을 대상으로 이론 계산에 의해, 계통의 용량과 전압강하에 따른 문제점을 분석한 결과, 비상상태에서 전원공급장치의 용량 부족과 규정치를 벗어나는 전압강하 발생으로, 계통의 소방전기설비가 작동되지 못하는 문제점이 있음을 확인하였다.
- 2) 전원공급장치의 용량 부족과 규정치를 벗어나는 전압강하 발생으로, 계통의 소방전기설비가 작동되지 못하는 부작동 문제를 해결하기 위해, 본 논문에서는 소방전원계통의 최적설계 Flowchart에 따른 적정 용량의 전원장치 선정과, 선형회귀분석법을 이용한 전원계통의 최적 공급전압 산출 및 부하중심점을 고려한 최적 분산배치에 대한 알고리즘을 제안하였다.
- 3) 제안한 알고리즘을 소방전원계통에 적용하여 시뮬레이션을 수행하여 분석한 결과, 전원계통의 전압이 허용 전압이내로 유지되면서 전압강하가 고르게 분포되어, 소방전원계통이 안정적으로 운용됨을 확인하였다.
- 4) 정확한 이론적 근거 없이 설계자의 경험에 의해 임의로 설계되고 시공되었던, 소방전원계통 용량산정과 전원공급장치 배치의 불합리성을 확인하고, 전원계통의 합리적인 운용과 설계를 위한 개선 방안을 제시하였다.
- 5) 건축물의 허가 동의 시 소방전원계통의 용량과 전압강하

계산에 대한 산출내역서의 제출 의무가 없는 등의 소방관련규정 미비에 대한 문제점과 관련규정 개선의 필요성에 대한 근거를 제안하였다.

References

- Adler (2009) IEEE Standard conformance Test Procedures for Equipment Interconnecting Distributed Resources with Electric Power System, IEEE 1547.6.
- Brown (2005) IEEE Standard conformance Test Procedures for Equipment Interconnecting Distributed Resources with Electric Power System, IEEE 1547.1.
- Cooley, Dae-seok Rho, *et al.* (2011) Optimal Algorithms for Voltage Management in Distribution Systems Interconnected with New Dispersed Sources, Journal of Electrical Engineers and Technology, Vol. 6, No. 2, pp. 192-201.
- Korea Fire Institute (2013) KOFEIS 0304, 3.15.
- National Emergency Management Agency (2013) NFSC 203-National Fire Safety Code for Automatic Fire Detection Equipment. 8.1.2.
- National Emergency Management Agency. (2013) NFSC 203-National Fire Safety Code for Automatic Fire Detection Equipment 8.1.4.

Received ■ April 29, 2014

Revised ■ May 2, 2014

Accepted ■ May 15, 2014