

# 산업전기설비의 케이블 최적 사이즈 선정 및 접지계산용 프로그램(Optima-K)의 개발

鄭大源\*, 梁承學\*, 魚益秀\*, 李淳炯\*\*  
 호남대학교 전기전자공학부(\*), (주)선강엔지니어링(\*\*)

## Program (Optima-K) Development of Optimal Cable Sizing and Grounding Calculations for the Electrical Facilities

Dae-Won Chung\*, Seung-Hak Yang\*, Ik-Soo Ueo\*, Soon-Hyung Lee\*\*  
 Honam University(\*), Sun-Kang Engineering Co., LTD(\*\*)

**Abstract** - 전기설비설계에 직접 활용할 수 있고, 초보자도 쉽게 사용할 수 있는 위 제목의 프로그램을 개발하였다. 산업전기설비에서 케이블과 접지설계는 안전하고 신뢰성있는 전기설비의 사용을 보장해 주어야함과 동시에 경제적인 설계가 되어야 한다. 이러한 산업체의 요구에 따라 신뢰성이 있고 표준화된 설계가 되도록 전산 프로그램화하였다. 케이블 사이즈의 선정방법은 기존의 수계산에 의한 방법을 토대로 부하용도별로 권장되는 케이블/전선의 종류와 사이즈를 자동으로 선정하여 허용전류, 전압강하 요건을 만족시키도록 하였으며, 접지계산은 접지 종류별로 허용기준치 범위의 저항을 유지하도록 적절한 접지도체의 사이즈를 결정하고 대지저항에 따른 접지저항을 계산하여 현장에서 실측치와도 비교할 수 있도록 하였다. 개발된 프로그램은 기존 계산결과와 상호 비교하는 유용성과 정확성의 검증과정을 거쳤으며, 사용자가 쉽게 사용할 수 있도록 GUI화면으로 구성한 점이 특징이다. 출력자료는 사용자의 필요에 따라 다양하게 출력할 수 있어 전산화의 잇점을 최대한 살렸다.

### 1. 序 論

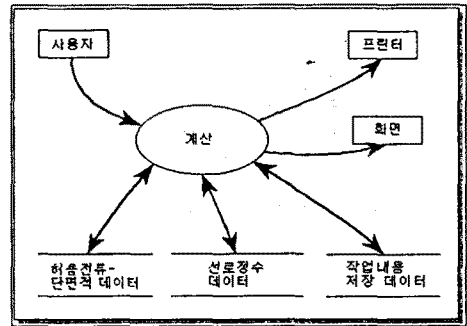
대형건물을 비롯한 산업용 전기설비설계에서 적절한 케이블과 접지계산은 안전하고 신뢰성 있는 전기설비의 운전을 보장하기 위해 빼놓을 수 없는 중요한 설계공정이다. 그러나, 설계시 설치조건별 고려해야 할 요건이 다소 까다롭고 계산과정이 복잡하여 계산결과에 타당성에 대한 의문이 늘 제기되어 보다 신뢰성이 있고 표준화된 설계가 산업계에서 꾸준히 요구되어 왔다. 또한, 설계시간과 경비를 절감하려는 산업계의 시대적 욕구에 부응하여 새로이 전산 프로그램을 개발하였다. 이 프로그램의 초점은 우선 사용자가 사용하기에 편리해야 하고 적용규격과 설계내용면에서 기존에 수행해 오던 것과 큰 차이가 나지않도록 해야하는 점과 현실적으로 적용이 가능한 타당한 설계가 되어야 한다는 점이었다. 즉, 전산 프로그램의 깊은 지식이나 경험이 없어도 쉽게 사용할 수 있도록 화면을 Graphic -User Interface(GUI)를 사용하여 구성하였고, 사용자가 필요한 데이터를 입력하면 해당 계산의 결과와 동시에 관련된 다양한 기술정보를 동시에 얻을 수 있도록 하였다. 내부 관련 계산의 수식과 자료 데이터는 산업계에서 널리 활용되고 있는 문헌 [1,2,3]의 자료를 활용하였으며, 전산프로그램을 이용한 결과와 수계산에 의한 결과를 상호비교하여 개발된 프로그램의 정확성과 유용성을 검증하였으며, 계산된 '예'를 통해 계산내용을 보인다.

### 2. 본 론

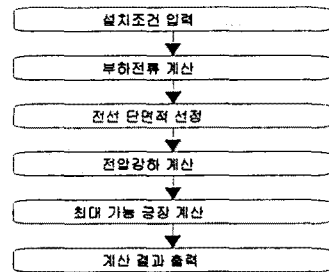
#### 2.1 케이블 사이즈 선정 프로그램

##### 2.1.1 프로그램 概要

사용자가 부하종류 및 사용 목적을 입력하면 사용할 가능한 케이블 또는 전선의 종류를 화면상에 보이고, 설치조건을 입력하면 곧바로 해당 케이블 또는 전선의 단



[그림 1] 케이블 사이즈 계산 프로그램 구조



[그림 2] 계산과정의 흐름도

면적과 전선판 직경, 전압강하, 최대사용 가능한 길이(공칭)를 출력한다. 각 부하별로 계산된 결과는 내부데이터로 저장되어 사용자가 임의로 해당 데이터의 형태별로 재가공하여 출력할 수 있도록 처리한 것도 특징이다. [그림 1]은 케이블 사이즈 계산 프로그램의 구조를 보이고, [그림 2]에서는 계산과정의 흐름도를 보이고 있다.

#### 2.1.2 입력 데이터

사용자가 입력해야 할 최소한의 입력 데이터의 내용은 다음과 같다.

- 설계명 : 사업장별로 구분함
- 선로번호 : 각 전선로의 고유번호를 부여함
- 부하명 : 용도구분으로 사용 가능한 케이블의 종류를 자동으로 선택하도록 함. (동력선|주전선|전동기|전열기|전등|부하|비상전원용)
- 배전방식 : 전압, 전류계산을 자동으로 계산함. (단상2선식|단상3선식|상3선식|상4선식)
- 설치조건 : 설치조건별 케이블의 온도상승제한 조건에 관련되는 사항으로 다음과 같이 구분함. 케이블의 경우 (공중암거|부설|직접매입|부설|관로부설), 전선의 경우(육내|육외)로 구분함.
- 사용전압 : 정격전압 기준으로 3단계로 구분.저압 (600V이하)|고압(600V~6.6kV)|특고압(22kV~33kV급).

- 부하용량 : 단상, 3상 구분없이 최대용량(W)
- 역률 : 사용자가 임의로 입력함.
- 주변 최대온도 : 상온(30° C)를 기준함.
- 유전체손실 및 온도 상승조건 : 절연재료의 종류별, 사용전압,전류별, 도체의 수에 따라 차이가 있으므로 개별 온도상승은 고려치 않고 최대 온도 (90° C).

$$\therefore L = \frac{0.98V}{K_u(R\cos\theta + X\sin\theta)} \times I \quad (8)$$

### 2.1.3 부하전류의 계산 [1]

$$I = \frac{P}{V\cos\theta} \quad (1)$$

(3선식의 경우 분모에  $\sqrt{3}$ 을 곱함)

### 2.1.4 허용전류에 따른 도체단면적 선정법

(가). 계산식에 의한 선정 : 온도상승에 따른 허용전류계산식 (2)에 의한 계산방법을 우선 고려하였다. 이 경우 프로그램의 구조는 매우 간단하나 케이블 종류별, 설치조건별로 많은 경우가 발생하고 사용자가 케이블에 대한 확실한 정보와 필요한 데이터를 정확히 입력해야 하므로 현실성이 없다.

$$I = K_0 \sqrt{\frac{1}{nR} \left( \frac{T_1 - T_2 - T_d - T_c}{R_{th}} \right)} \quad (2)$$

(단, 문자 기호의 의미는 [참고문헌 1] 참조)

(나). 허용전류표 데이터에 의한 선정[1] : 기존의 관련 기술기준에 의해 공인된 허용전류표의 설치조건별, 사이즈별 허용전류 데이터를 이용할 경우 프로그램의 구조는 매우 복잡해지나 기존에 수행해오던 수계산의 방식과 동일한 데이터와 과정을 전산화 과정만을 도입함으로써 동일한 계산결과를 도출하고 사용자가 필요한 최소의 정보의 입력으로 사용할 수 있다. 따라서, 본 프로그램은 보다 현실성이 있는 방법으로 개발하였다. 이를 위해 필요한 입력 데이터의 정보는 다음과 같다.

- 설치조건, 도심의 수, 도체의 수, 도체의 종류, 케이블 또는 전선의 종류로써 단면적 선정
- 기존의 허용전류표는 데이터 베이스 파일을 이용하여 해당 데이터를 찾는 방법을 선택하였다. 이 경우 각 케이블의 선로조건별 저감율은 무시할 수 있다. 또한, 단락전류의 조건과 간헐부하에 다른 전류 조건등은 현실성이 없는 설계조건이므로 이를 무시한다.

### 2.1.5 보호전선관의 사이즈 결정

케이블 사이즈의 선정결과에 따라 케이블 단면적을 기준으로 32%의 수용률을 허용하도록 케이블 보호용 전선관의 단면적을 계산하고, 표준 사이즈를 선정한다.

$$\text{- 전선 단면적 : } A = \pi r^2 \quad (3)$$

$$\text{- 전선관 단면적 : } \pi R^2 \quad (4)$$

$$\therefore \text{전선관직경 : } D = 2 \times \sqrt{\frac{0.32\pi}{A}} \quad (5)$$

### 2.1.6 전압강하 계산

해당 케이블 또는 전선의 선로정수를 이용하여 전압강하를 계산한다. 선로정수는 제작자에 의해 제공된 실제 케이블의 선로정수를 데이터베이스 형태로 저장하여 해당 데이터를 읽어들이면서 계산한다[1,2].

$$e = K_u(R\cos\theta + X\sin\theta) \times I \times L \quad (6)$$

(단,  $K_u$ 는 배전방식에 따른 계수)

### 2.1.7 최대사용 공장계산

2.1.6의 계산결과에 따라 허용전압강하를 간선로인 경우 60m이내(3%), 60~120m(5%)로, 분기선로인 경우 2%내이므로 일괄적으로 2%를 적용하여 계산한다. 즉,

$$\frac{V-e}{V} = 0.02, \quad e = 0.98V \quad (7)$$

### 2.1.8 보조출력

프로그램을 보다 적절히 활용하고 사용자가 필요한 정보를 쉽게 얻도록 하기 위해 저감 계수, 케이블/전선의 물리적 데이터의 테이블을 도움말에 출력한다. 또한, 케이블 구조의 그림을 도움말에 출력하여 항시라도 필요한 케이블의 물리적인 정보를 쉽게 얻도록 하였다.

### 2.1.9 작업화면의 구성

화면구성은 입력과 출력을 하나의 화면으로 구성하여 사용자가 쉽게 입출력의 데이터를 확인하고 사용할 수 있도록 설계하였다. 또한, 계산 결과의 출력은 입력된 값과 계산된 값을 모두 출력하는 방법과, 출력결과를 선종별/size별 수량만을 출력하여 최종 물량 산정에 직접 사용할 수 있는 방법이 있다. 그림 3에서 출력 데이터 화면의 예를 보여주고 있다.

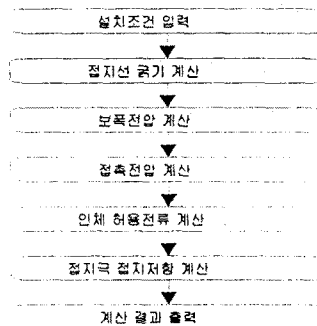
선종	단면적(mm <sup>2</sup> )	전체 공장(m)
CV	2	1
WV	2	12

[그림 3] 케이블 사이즈 선정 프로그램 출력화면

## 2.2. 接地設計 計算 프로그램

### 2.2.1. 프로그램의 개요

접지설계는 접지사고시 감전을 방지할 목적의 기기접지와 계통의 중성점 전위확보를 위한 계통접지 그리고, 소신호선계통에서 대지전위확보를 저신호용 접지로 구분된다. 이 중에서 계통접지는 접지방식에 따라 적절한 접지저항의 계산이 선행되어야 하므로 그 범위가 넓고, 저신호용 접지는 접지계산이 별도로 불필요한 점으로부터 본 프로그램에서는 광범위하게 적용되고 실제적인 문제의 표준화가 요구되는 기기접지를 대상으로 하였다. 그리하여, 접지종류별로 허용기준치의 접지저항을 유지하기 위한 접지봉 또는 매설접지망의 크기 및 설치방법을 결정하고, 반대로 대지저항률과 접지 설치 방법을 결정한 후에 접지저항치, 보폭전압, 접촉전압, 인체허용전류의 계산이 가능하도록 하였다. 화면구성과 프로그램의 구조는 앞서 기술한 케이블 사이즈 선정용 프로그램과 유사하다. 계산 과정의 흐름도는 그림 4과 같다.



[그림 4] 계산과정의 흐름도

### 2.2.2. 입력 데이터

사용자가 입력할 데이터는 다음과 같다.

- 설계명 : 사업장별로 구분함.
- 접지종류 : 접지종류별로 1종|2종|3종|특3종
- 접지방범 : 봉접지|대지접지로 구분함
- 고장지속시간 : 지락사고시 최대지속시간
- 접지선의 용단에 대한 최고 허용 상승 온도
- 고장 전류 : 최대 지락전류
- 표토층의 대지 저항률 (참고문헌 [1] 기준)

### 2.2.3 접지계산에 사용된 수식

- 접지선의 굵기 계산

$$A = \sqrt{\frac{8.5 \times 10^{-6} \times s}{\log_{10}\left(\frac{t}{274} + 1\right)}} \times I \quad (9)$$

- 보폭전압 계산

$$E_{step} = (1000 + 6\rho_s) \times \frac{0.116}{\sqrt{t}} \quad (10)$$

- 접촉전압 계산

$$E_{touch} = (1000 + 1.5\rho_s) \times \frac{0.116}{\sqrt{t}} \quad (11)$$

- 인체 허용전류 계산 :  $I_k = \frac{0.116}{\sqrt{t}}$  (12)

- 접지극의 접지저항

o 접지봉이 하나인 경우

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left( \log_e \frac{4l}{a} - 1 \right) [\Omega] \quad (13)$$

o 접지봉이 다수인 경우

$$R_n = k \sum_{j=1}^n \frac{1}{R_j} \quad (k : \text{집합계수}) [\Omega] \quad (14)$$

o 매쉬접지선

$$R = \rho \left( \frac{1}{4r} + \frac{1}{L} \right) [\Omega] \quad (15)$$

### 2.2.4. 입출력화면의 구성

사용자의 작업 결과는 다음에 다시 참조하거나 재사용할 수 있도록 해당 파일에 저장하도록 하였다. 파일의 저장구조는 Microsoft Access의 MDB 형식을 따랐다. 케이블 사이즈 선정 프로그램과 동일하게 입출력을 동시에 확인할 수 있도록 화면을 구성하였으며 그림 5, 6에 케이블 사이즈 선정 및 접지설계 화면의 예를 보여준다.

### 2.3. 設計計算의 '예'

두가지 설계계산의 예를 그림 5, 6의 화면에서 보이고 있는 바와 같이 다양한 형태의 출력데이터를 얻을 수 있다. 또한, 기존의 수계산에 의한 방법에 비하여 계산오차가 발생하지 않아 정확성과 신뢰성을 높일 수 있으며 누구나 사용이 가능한 표준화된 설계를 제공한다.

### 2.4. 計算된 프로그램의 檢證

본 프로그램의 정확성과 유용성을 검증하기 위하여 개발된 프로그램을 실제 산업체에서 1개월 이상 사용하여 타당성을 검증하도록 하였다. 검증결과 설계의 정확성과 표준화의 문제점은 발견되지 않았으며, 계산과정의 타당성 확인을 위해서 관련 수식을 도움말에 넣어 필요시 확인할 수 있도록 보완하였다. 또한, 사용 편리성을 위해 처음으로 접하는 기술자도 쉽게 사용할 수 있음을 확인하였고 이를 정량적으로 평가하기는 어려웠다.

## 3. 結 論

본 프로그램의 개발로 산업설비 계산과정의 표준화와 정확한 계산 및 설계요소시간을 단축하였음은 물론 소요되는 물량산출도 용이하게 출력하여 실제 설계에서

직접 널리 활용될 수 있는 유용한 프로그램임이 확인되어 전기설비 설계의 전산화에 더한층 이바지하고 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

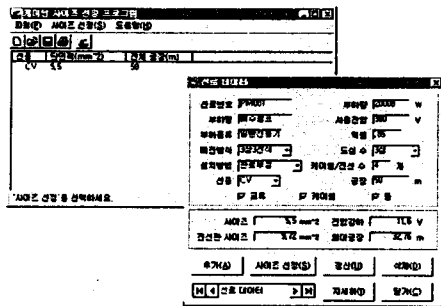
- 정확하고 표준화된 설계를 통해 전기설비사용에서 안전성과 신뢰성의 확보하였으며,
- 설계 소요시간 단축을 통해서 인건비를 절감할 수 있으며, 다양한 형태의 데이터 출력으로 전산 프로그램의 효율성을 입증하였으며,
- 설비설계의 신뢰성 있는 계산 근거를 제공하였으며,
- 소프트웨어 산업의 활성화에 기여하였다.

현재 미국을 비롯한 일부 국가에서 이와 유사한 상용화된 프로그램을 개발하여 선보이고 있으나 우리나라 실정에 맞게 보다 체계적이고 실용성이 높은 표준화된 설계가 되도록 노력한 점이 특징으로 산업계에서 많이 활용되기를 기대한다.

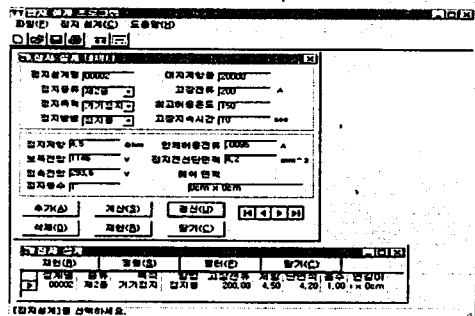
### (참 고 문 헌)

- (1) 기다리, “電氣設備技術計算 핸드북”, 1983
- (2) 국내 전기관계법규집
- (3) JIS규격집
- (4) Cable Catalogue and Data(국제전선, LG전선, 대한전선)
- (5) IEEE 80 “Guide for Safety in ac substation grounding”
- (6) IEEE 142 “Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power System”
- (7) IEEE 525 “IEEE Guide for the Selection and Installation of Control and Low Voltage Cable System in Substations”

본 논문 및 프로그램의 개발은 산학연 공동기술개발의 광주지역 콘소시움 과제에 수행됨



[그림 5] 케이블 사이즈 선정 계산 화면의 “예”



[그림 6] 접지설계 계산화면의 “예”