

IEC 60364 기반의 한국형 저압전기설비 통합 실증단지 모델링 및 차단기와 케이블의 선정 방안 고찰

(Study of Selection Plan of Circuit breakers, Cables and Modeling of Korean Low Voltage Electrical Installation integration Test Site based on IEC 60364)

김두웅* · 류규상 · 김한수 · 신대성 · 류기환 · 김철환**

(Doo-Ung Kim · Kyu-Sang Ryu · Han-Soo Kim · Dae-Sung Shin · Ki-Hwan Ryu · Chul-Hwan Kim)

Abstract

IEC is an international standards which are used in many countries with Europe as the center. IEC standard is introduced in Korea according to WTO/TBT agreements, however until now there are no buildings in Korea which are designed applying IEC standard. Therefore, KEA(Korea Electric Association) is scheduled to construct Korean low voltage electrical installation integration test site which is designed applying IEC standard. In this paper, before being under construction of Korean low voltage electrical installation integration test site, power substation is modeled based on real design parameters and method to select circuit breakers and cables is presented applying IEC standard in the modeled power substation. EMTP(ElectroMagnetic Transient Program) is used for simulation program. EMTP which is power system analysis program is easy to model power system and power substation.

Key Words : Low Voltage Electrical Installation, Test Site, IEC Standard, EMTP, Circuit Breaker, Cable

1. 서 론

국내 저압전기설비에 대한 기준은 1932년 조선전기사업령 제정으로 시작되었으며, 1973년 전기사업법 제

정, 1988년 전기설비기술기준제정 등 일본의 기준을 기초로 수정 및 보완되었다[1]. WTO/TBT 협정에 따라 2005년 기술기준에 저압전기설비분야의 국제표준인 IEC 60364를 도입하였다[2-5]. 하지만 IEC 60364는 이론적 표준으로 상세 적용방법 등이 미비하여 국내에 전면 적용된 사례는 없으며, 전기설비의 설계, 시공, 검사 기관 등에서 분쟁 등 민원 발생이 증가하였다[6]. 이와 같이 국제규정에 대한 이해가 부족한 상태로 현장에 도입될 경우 혼란을 야기할 수도 있다. 따라서 본 과제에서는 IEC 표준을 기반으로 하는 한국형 저압전기설비 통합실증단지를 구축하여 설비나 기기들에 대해서 IEC 표준을 적용하고 검증할 수 있는 환경

* Main author : Unified MS & Ph. D Course,
College of Information and Communication
Engineering, Sungkyunkwan University

** Corresponding author : Professor, College of
Information and Communication Engineering,
Sungkyunkwan University

Tel : 031-290-7124, Fax : 031-299-4137

E-mail : knight13th@skku.edu

Received : 2015. 7. 9

Accepted : 2015. 8. 24

을 만들고자 한다. 이러한 환경을 구축하기 이전에 먼저 실증단지가 IEC 표준에 맞게 설계되고 구축되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 한국형 저압전기설비 통합 실증단지를 구축하기 이전에 실제 설계 데이터를 기반으로 수변전 설비를 모델링하고 모델링한 수변전 설비에서 IEC 표준을 적용하여 차단기와 케이블을 선정하는 방법을 제시하였다.

시뮬레이션 프로그램으로 EMTP(ElectroMagnetic Transient Program)를 사용하였다. EMTP는 계통 해석 프로그램으로 계통 모델링, 수변전설비 모델링이 용이하다[7]. 선로, 변압기와 같은 소자들의 실제와 유사한 특성을 모의할 수 있고 뇌서지 모의, 단락 모의 등이 가능하다. 정상상태 및 과도상태를 해석하기 위해서 널리 사용되는 프로그램이다. 따라서 한국형 저압전기설비 통합 실증단지의 설비 중에서 차단기, 케이블의 선정을 위해서 EMTP를 사용하였다.

본 논문에서는 설계 데이터를 기반으로 수변전 설비를 모델링하는 방법 및 IEC 표준에서 제시하고 있는 기준을 설명하고 마지막으로 규정에 따른 차단기와 케이블의 선정 결과를 제시할 것이다.

2. 수변전 설비 모델링

실제 설계 데이터를 기반으로 수변전 설비를 모델링하였다. 전원측 등가 임피던스를 모델링하고 변압기, 부하 순으로 모델링을 진행하였다.

2.1 전원측 등가 임피던스 모델링

식 (1)은 %임피던스를 구하는 식이다. 기준용량은 변압기 용량으로 설정하였고 제시된 단락용량은 한전으로부터 얻을 수 있다. 여기서 한전제시단락용량은 520MVA이고 기준용량은 600kVA이다. 따라서 전원측 %임피던스는 다음과 같이 구할 수 있다[8].

$$\%Z = \frac{\text{기준용량}[MVA]}{\text{제시단락용량}[MVA]} \times 100 = 0.115 \quad (1)$$

V_{base} 와 S_{base} 값으로부터 Z_{base} 값을 구해준 뒤 %Z값을 적용하고 X/R 비 10을 적용하여 R, L 값을 구하면 다음과 같다.

$$Z_{base} = \frac{V_{base}^2}{S_{base}} = \frac{22.9kV^2}{600kVA} = 874.02\Omega \quad (2)$$

$$Z_s = Z_{base} \times \frac{\%Z}{100} = 1.005\Omega \quad (3)$$

$$R = \frac{Z}{\sqrt{1+(X/R)^2}} = 0.1\Omega \quad (4)$$

$$X = 10R = 1\Omega \quad (5)$$

$$L = \frac{X}{2\pi f} = 2.65mH \quad (6)$$

2.2 변압기 모델링(Δ -Y 결선인 경우)

변압기의 Z_{base} 값을 구하기 위해 다음의 식 (7)과 (8)을 사용하였다.

$$\Delta\text{결선} : S = \frac{V_{LL}^2}{Z_{\Delta}} \quad (\text{단, } Z_{\Delta} = Z_{ab} = Z_{bc} = Z_{ca}) \quad (7)$$

$$Y\text{결선} : S = \frac{V_{LL}^2}{Z_Y} \quad (\text{단, } Z_Y = Z_a = Z_b = Z_c) \quad (8)$$

EMTP에서 변압기 데이터는 한 상에 대한 값을 입력해야 한다. 따라서 Δ 결선인 경우에는 Z_{ab} , Z_{bc} , Z_{ca} 로부터 Z_a , Z_b , Z_c 를 구해야 한다. 3상 평형인 경우이므로, $Z_Y = \frac{Z_{\Delta}}{3}$ 의 관계로부터 Z_Y 를 구할 수 있다.

변압기 %임피던스 값과 X/R ratio를 이용하여 1차, 2차측 임피던스를 계산하는 과정은 다음과 같다.

- 1차측 : Δ 결선

$$Z_{\Delta} = \frac{\%Z}{100} \frac{V_{LL}^2}{S} = 52.441\Omega \quad (9)$$

$$Z_Y = \frac{Z_{\Delta}}{3} = 17.48 \Omega \quad (10)$$

$$R = \frac{Z_Y}{\sqrt{1+(X/R)^2}} = 3.4282 \Omega \quad (11)$$

$$L = \frac{X}{2\pi f} = \frac{5R}{2\pi f} = 45.4676 \text{ mH} \quad (12)$$

- 2차측 : Y결선

$$Z_Y = \frac{\%Z}{100} \frac{V_{LL}^2}{S} = 0.0144 \Omega \quad (13)$$

$$R = \frac{Z_Y}{\sqrt{1+(X/R)^2}} = 0.0028 \Omega \quad (14)$$

$$L = \frac{X}{2\pi f} = \frac{5R}{2\pi f} = 0.0376 \text{ mH} \quad (15)$$

Table 1. Calculation result of transformer data and impedance

| 변압기 데이터 | | 계산 값 | | |
|---------|---|--------|---------|--------|
| | | | 1차측(Δ) | 2차측(Y) |
| %Z | 6 | R (Ω) | 3.4282 | 0.0028 |
| X/R | 5 | L (mH) | 45.4676 | 0.0376 |

2.3 부하 모델링

3상 전력은 식 (16)으로 구할 수 있고 이 식에서 3상 전력은 각 상 전력의 합임을 알 수 있다.

$$S_{3ph} = \sqrt{3} V_{LL} I_L = 3 V_{LN} I_L \quad (16)$$

$$= V_a I_a + V_b I_b + V_c I_c$$

전부하 전류의 크기만 알면 되기 때문에 역률은 고려하지 않고 순수 저항부하로만 생각하고 계산해도 관계없다. 따라서 $R = \frac{V^2}{P}$ 에서 R 값을 구하였다. 각 분전반에 대해서 부하량에 따른 저항 값을 계산하였다.

Table 2. Resistance value according to load capacity each switchboard

| 분전반명 | 부하량(VA) | | | 저항(R)값(Ω) | | |
|----------------|---------|--------|--------|-----------|--------|--------|
| | a상 | b상 | c상 | a상 | b상 | c상 |
| L-1A(EPS) | 13,604 | 14,659 | 17,095 | 3.558 | 3.302 | 2.831 |
| L-3A(EPS) | 21,075 | 24,021 | 23,755 | 2.297 | 2.015 | 2.037 |
| L-1B(EPS) | 71,809 | 62,191 | 70,785 | 0.674 | 0.778 | 0.684 |
| L-M(중앙감시실) | 4,480 | 4,280 | 2,640 | 10.804 | 11.308 | 18.333 |
| L-E(전기실) | 2,200 | 1,550 | - | 22.000 | 31.226 | - |
| LE-1A(EPS) | 12,960 | 11,880 | 12,040 | 3.735 | 4.074 | 4.020 |
| LE-3A(EPS) | 660 | 920 | - | 73.333 | 52.609 | - |
| L-MDF(통신실) | 6,830 | 12,000 | 14,000 | 7.086 | 4.033 | 3.457 |
| L-ESS(전기실) | 16,667 | 16,667 | 16,667 | 2.904 | 2.904 | 2.904 |
| P-PAC-PH(실외기) | 57,933 | 49,083 | 49,083 | 0.835 | 0.986 | 0.986 |
| P-OAC-3(실외기) | 44,050 | 43,650 | 43,650 | 1.099 | 1.109 | 1.109 |
| EV-1(전기자동차) | 14,000 | - | - | 3.457 | - | - |
| P-EL-PHA(ELEV) | 6,667 | 6,667 | 6,667 | 7.260 | 7.260 | 7.260 |
| P-EL-3B(ELEV) | 6,667 | 6,667 | 6,667 | 7.260 | 7.260 | 7.260 |

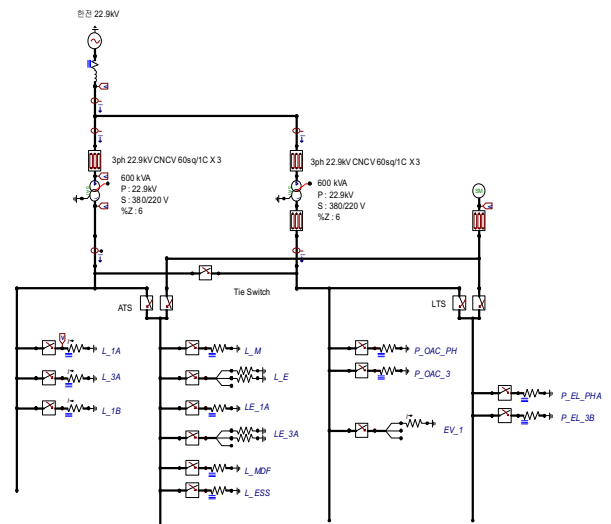


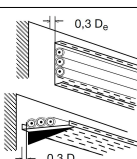
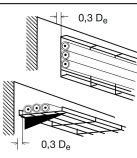
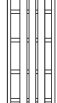
Fig. 1. Distribution panelboard and model of power substation

3. 차단기 및 케이블 선정

3.1 도체의 단면적에 따른 허용전류 산출

차단기 및 케이블 선정을 위해 “IEC 60364-5-52 : 전기기기의 선정 및 설치-배선설비”를 참고하였다 [9-10]. 본 설계에서 도체를 설치하는 방법으로 적용한 방식은 케이블 트레이 또는 래더에 포설하는 것이다. 표 3은 IEC 60364-5-52의 표 A.52.3에서 케이블 트레이와 래더의 경우만을 요약하여 나타낸 것이다. IEC 60364-5-52에서는 전류 용량 확보를 위한 표준 설치방법을 A~G로 분류하였는데 케이블 트레이와 래더의 경우는 E와 F에 해당하는 것을 알 수 있다.

Table 3. Table A.52.3 in IEC 60364-5-52

| 항목 번호 | 설치 방법 | 설명 | 전류용량 확보를 위한 표준 설치방법 |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------|
| 31 |  | 단심 또는 다심케이블 : 수직 또는 수평으로 배치되는 천공형 트레이에 포설 비고 설명은 B.52.6.2 참조 | E 또는 F |
| 32 |  | 단심 또는 다심케이블 : 수직 또는 수평으로 배치되는 케이블 지지대 또는 와이어 메시 트레이에 포설 | E 또는 F |
| 34 |  | 단심 또는 다심케이블 : 케이블 래더에 포설 | E 또는 F |

본 설계에서는 XLPE 절연, 구리도체 케이블을 사용하였다. 따라서 IEC 60364-5-52의 표 B.52.12를 적용하였다. 표 4는 이 중에서 설치방법 E와 F에 해당하는 부분(케이블 트레이와 래더)만 나타낸 것이다. 설치방법, 다심 또는 단심, 배치 형태를 기준으로 도체의 공칭 단면적에 따른 허용전류를 분류하였다.

IEC 60364-5-52의 표 B.52.17에는 회로 또는 케이

블의 수에 따른 저감계수가 나타나 있다. 본 설계에서는 여러가지 항목들 중에서 케이블 래더에 해당하는 5항을 적용하였다. 계산서를 참조하면 래더 당 케이블 또는 회로의 수가 9개 이상이기 때문에 저감계수 0.78을 적용한 것을 알 수 있다[1]. 표 4의 허용전류 값에 저감계수 0.78을 적용하면 표 5를 얻을 수 있다. 본 설계는 이 중에서 다심 케이블은 3개의 부하도체, 단심 케이블은 수평 3개 부하도체가 밀착해 있는 경우에 해당한다.

Table 4. Current-carrying capacities of method of installation E, F(A)

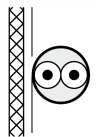
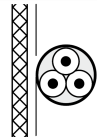
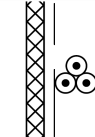
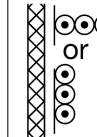
| 도체의 공칭 단면적 mm ² | 표 B.52.1.의 설치방법 | | | |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| | 다심케이블 | | 단심케이블 | |
| | 2개 부하도체 | 3개 부하도체 | 3개 부하도체 삼각배치 | 수평 3개 부하도체 밀착 |
| |  |  |  |  |
| | 방법 E | 방법 E | 방법 F | 방법 F |
| 1.5 | 26 | 23 | - | - |
| 2.5 | 36 | 32 | - | - |
| 4 | 49 | 42 | - | - |
| 6 | 63 | 54 | - | - |
| 10 | 86 | 75 | - | - |
| 16 | 115 | 100 | - | - |
| 25 | 149 | 127 | 135 | 141 |
| 35 | 185 | 158 | 169 | 176 |
| 50 | 225 | 192 | 207 | 216 |
| 70 | 289 | 246 | 268 | 279 |
| 95 | 352 | 298 | 328 | 342 |
| 120 | 410 | 346 | 383 | 400 |
| 150 | 473 | 399 | 444 | 464 |
| 185 | 542 | 456 | 510 | 533 |
| 240 | 641 | 538 | 607 | 634 |
| 300 | 741 | 621 | 703 | 736 |
| 400 | - | - | 823 | 868 |
| 500 | - | - | 946 | 998 |
| 630 | - | - | 1088 | 1151 |

Table 5. Current-carrying capacities applying correction factor

| 도체의 공칭 단면적 mm ² | 표 B.52.1.의 설치방법 | | | |
|-------------------------------------|-----------------|------------|--------------------|---------------------|
| | 다심케이블 | | 단심케이블 | |
| | 2개 부하도체 | 3개 부하도체 | 3개 부하도체 삼각배치 | 수평 3개 부하도체 밀착 |
| | | | | |
| | 방법 E | 방법 E | 방법 F | 방법 F |
| 1.5 | 20 | 18 | - | - |
| 2.5 | 28 | 25 | - | - |
| 4 | 38 | 33 | - | - |
| 6 | 49 | 42 | - | - |
| 10 | 67 | 59 | - | - |
| 16 | 90 | 78 | - | - |
| 25 | 116 | 99 | 105 | 110 |
| 35 | 144 | 123 | 132 | 137 |
| 50 | 176 | 150 | 161 | 168 |
| 70 | 225 | 192 | 209 | 218 |
| 95 | 275 | 232 | 256 | 267 |
| 120 | 320 | 270 | 299 | 312 |
| 150 | 369 | 311 | 346 | 362 |
| 185 | 423 | 356 | 398 | 416 |
| 240 | 500 | 420 | 473 | 495 |
| 300 | 578 | 484 | 548 | 574 |
| 400 | - | - | 642 | 677 |
| 500 | - | - | 738 | 778 |
| 630 | - | - | 849 | 898 |

3.2 각 분전반의 차단기 및 케이블 선정

IEC 표준에 따르면 차단기 및 도체를 선정하는 경우에 “부하전류<차단기 정격전류<도체의 허용전류”를 만족해야 하기 때문에 부하전류보다 큰 정격을 갖는 차단기, 차단기 정격전류보다 큰 허용전류 값을 갖는 도체를 선택해야 한다. 이와 같은 기준에 따라서 표 5의 허용전류 값을 기반으로 하여 차단기 정격에 해당하는 도체의 단면적을 선정하였다.

Table 6. Selection of CSA according to rating of MCCB

| MCCB 정격 | 도체 단면적(mm ²) | 심선 |
|-----------------|--------------------------|----|
| 4P 50AF(30AT) | 6 | 다심 |
| 4P 50AF(40AT) | 10 | |
| 4P 50AF(50AT) | 10 | |
| 4P 100AF(60AT) | 16 | |
| 4P 100AF(75AT) | 25 | |
| 4P 100AF(100AT) | 35 | |
| 4P 225AF(125AT) | 50 | 단심 |
| 4P 225AF(150AT) | 50 | |
| 4P 225AF(175AT) | 70 | |
| 4P 225AF(200AT) | 70 | |
| 4P 225AF(225AT) | 95 | |
| 4P 400AF(250AT) | 95 | |
| 4P 400AF(300AT) | 120 | |
| 4P 400AF(350AT) | 150 | |

표 6에서 산출한 값을 바탕으로 각 분전반에 사용되어야 하는 차단기와 도체의 단면적 및 심선의 수를 선정하였다.

Table 7. Rating of MCCB, CSA, cable core of each switchboard

| | 최대 상전류 (A) | MCCB 정격 | 도체 단면적 (mm ²) | 심선 |
|----------------|------------------|-----------------|---------------------------------|----|
| L-1A(EPS) | 77.01 | 4P 100AF(100AT) | 35 | 다심 |
| L-3A(EPS) | 108.26 | 4P 225AF(125AT) | 50 | 단심 |
| L-1B(EPS) | 323.58 | 4P 400AF(350AT) | 150 | 단심 |
| L-M(중앙감시실) | 20.186 | 4P 50AF(50AT) | 10 | 다심 |
| L-E(전기실) | 9.9221 | 4P 50AF(50AT) | 10 | 다심 |
| LE-1A(EPS) | 11.517 | 4P 50AF(50AT) | 10 | 다심 |
| LE-3A(EPS) | 4.1497 | 4P 50AF(50AT) | 10 | 다심 |
| L-MDF(통신실) | 63.118 | 4P 100AF(75AT) | 25 | 다심 |
| L-ESS(전기실) | 75.179 | 4P 100AF(100AT) | 35 | 다심 |
| P-OAC-PH(실외기) | 242.63 | 4P 400AF(250AT) | 95 | 단심 |
| P-OAC-3(실외기) | 198.89 | 4P 225AF(200AT) | 70 | 단심 |
| EV-1(전기자동차) | 63.214 | 4P 100AF(75AT) | 25 | 다심 |
| P-EL-PHA(ELEV) | 30.141 | 4P 100AF(75AT) | 25 | 다심 |
| P-EL-3B(ELEV) | 30.141 | 4P 100AF(75AT) | 25 | 다심 |

4. 결 론

한국형 저압전기설비 통합 실증단지는 국내에서 처음으로 IEC 표준을 도입하여 설계한 건축물이다. 본 논문에서는 실제 설계 데이터를 기반으로 한국형 저압전기설비 통합 실증단지의 수변전 설비를 모델링하고 IEC 표준을 적용하여 차단기 및 케이블을 선정하는 방법을 제시하였다. 향후 IEC 표준을 기반으로 하는 건축물 설계 시에 본 논문에서 제시한 방법을 참고할 수 있을 것이라 생각된다.

감사의 글

본 연구는 산업경제 기술혁신사업(에너지표준화 및 인증 지원사업)의 과제번호 I-2013-003-T2 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- [1] Yong-Ki Jeong, Baek-Soo Lee, "Summary for KSC/IEC 60364 enactment", KIIE, 2002.12.
- [2] Jin-Soo Jung, Woon-Ki Han, Oh-Hwan Kim, Jae-Chul Kim, "The Comparison and Analysis about Earth System based on IEC60364", KIIE, Vol.24, No.1, 2010. 1.
- [3] in-Soo Jung, Woon-Ki Han, "An Investigation into the Actual Condition of Electrical Equipments Installation and Management for Application to IEC60364 in Korea", KIIE, Vol.22, No.10, 2008.10 Jin-Soo Jung, Woon-Ki Han, Oh-Hwan Kim, Jae-Chul Kim, "The Comparison and Analysis about Earth System based on IEC60364", KIIE, Vol.24, No.1, 2010. 1.
- [4] KESCO, "IEC 60364 electrical installation of a building manual", 2006.11.
- [5] KIIE, "standard of a design of electrical installation of a building ", 2011.
- [6] Ki-Hyun Shin, Dae-Sung Shin, Sang-Hyun Kang, Ae-Lim Kim, Jae-Chul Kim, "IA study on Introduction and Status of IEC 60364 in Korea", KIIE Fall Conference, 2013.
- [7] Willis Long, David Cotcher, Dan Ruiu, Philippe Adam, Sang Lee, Rambabu Adapa, "EMTP-a Powerful Tool for Analyzing power System Transients", IEEE Computer Applications in Power, July 1990.
- [8] Jung-Chul Kim, "Understanding of Electrical Installaion", Kidari, 2014.
- [9] Korea Standard Association, "KS C IEC 60364-5-52 Low Vaoltage Electrical Installation-5-52".
- [10] IEC 60364, "Electrical Installations for Buildings".

◇ 저자소개 ◇



김두용 (金杜雄)

1986년 9월 8일생. 2012년 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학부 졸업. 2012년~현재 동 대학원 정보통신대학 석박통합과정.



류규상 (柳圭相)

1980년 8월 18일생. 2006년 건국대학교 전기공학과 졸업. 2014년~현재 성균관대학교 공과대학 석사과정.



김한수 (金漢洙)

1965년 1월 20일생. 1992년 부경대 전기공학과 졸업. 1994년 경성대 산업공학과 졸업(석사). 2008년 서울과학기술대 신에너지공학과 졸업(박사). 1983~1997년 한국전력공사 근무. 1997년~현재 대한전기협회 기술기준처 처장. 본 학회 평의원(사업이사).



신대성 (申大成)

1975년 9월 22일생. 2001년 서울과학기술대학교 안전공학과 졸업. 2003년 동 대학원 졸업(석사). 2008년 동 대학원 졸업(박사). 2005년~현재 대한전기협회 기술기준처 팀장.



류기환 (柳起桓)

1984년 11월 15일생. 2010년 안양대학교 전기전자공학과 졸업. 2012년 숭실대학교 전기공학과 졸업(석사). 2012~2013년 일진전기 CTO실 연구원 근무. 2013년~현재 대한전기협회 기술기준처 직원.



김철환 (金喆煥)

1961년 1월 10일생. 1982년 성균관대 전기공학과 졸업. 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 성균관대 정보통신대학 교수. 전력IT인력양성센터 센터장.