Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 23, No.2, pp. 89~95 February 2009 논문 23-2-12

건축물에 시설되는 수변전설비 내진설계 방안

(The Plan on the Seismic Design of Electrical Facility Installed in the Building)

김기현* · 이상익 · 배석명 · 조성국
(Gi-Hyun Kim · Sang-Ick Lee · Suk-Myong Bae · Sung-Gook Cho)

요 약

최근 한반도 주변국인 일본, 중국 등에서 크고 작은 지진 발생으로 많은 인명 및 재산 피해가 발생함에 따라 국내에서도 지진발생 추이 및 지진 피해 등 지진위험에 대한 관심이 높아지고 있다. 본 논문은 지진 발생시 건축물에서 위급상황에 대한 대처 및 여러 가지 구제 활동에 필수적인 전원공급 장치인 수변전실의 전기설비 지진 대책에 관하여 국내 현황 및 문제점을 분석하였다. 또한 국내 건축구조설계 기준과 일본의 건축전기설비 내진 설계 · 시공 매뉴얼을 참조하여 건축물 내에 시설되는 수변전설비의 내진 설계 방향을 제시하였다. 본 논문은 전기기기 및 배관 설비 별 상세 설계 방법 제시와 설계 및 시공에 대한 신뢰성 검증을 위한 검사 기준 제시에 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

Abstract

Recently life and properties damage at Japan and China by generating earthquake. So earthquake generation trend and damage in the earthquake risk, and these are a growing interest in domestic. This paper analyzes domestic site and problems of earthquake measures for electrical facility at transformer vault which supply the power the emergence situation at generating earthquake. Also we present the seismic design of electrical facility using "Building construction design standard" in internal and "Manual of seismic design and construction for Building Electrical facility" in japan. This paper will be used detail seismic design of pipe and facility, reliability inspection plan for seismic design and construction of electrical facility.

Key Words : Earthquake, Seismic Design, Electrical Facility, Inspection

1. 서 론

최근 들어 한반도 주변 국가인 일본, 중국 등에 큰 지진이 발생하였다. 2008. 5. 12일 중국 사천성에서 리히터 규모(이하 규모) 7.8의 지진 발생으로 사망이 약 5만 명 정도로 발생을 하였고, 2008. 6. 14일 일본 도쿄 북쪽에서 리히터 규모 7.0의 강진이 발생하여 사망 3명, 부상 100명이 발생하였다. 이에 따라 국내

* 주저자 : 전기안전연구원 연구원
Tel : 031-580-3057, Fax : 031-580-3052
E-mail : ghkim7151@kesco.or.kr
접수일자 : 2008년 11월 12일
1차심사 : 2008년 11월 14일
심사완료 : 2008년 11월 24일

에서도 지진 발생 및 지진 발생에 대한 피해 및 대책에 관심을 많이 갖게 되었다. 국내에서도 최근 몇 년 사이에 건물 흔들림 및 붕괴 등 피해를 줄 수 있는 규모 5.0 내외의 지진이 2004. 5. 29일 울진에 규모 5.2 지진 발생, 2007. 1. 20일 강릉 근교 규모 4.8 지진이 발생하였다. 이에 따라 지진 발생시 위급 상황에서 인명 구조 등 여러 가지 대처 활동에 필수적인 영향을 주는 전기설비에 대한 내진 대책의 필요성이 제기되고 있다. 따라서 본 논문은 국내 건축물 내에 시설된 수변전실의 전기설비에 대한 시설 현황을 조사하였다. 또한 국내 건축구조설계기준을 기본으로 [1] 일본의 건축전기설비 내진설계·시공 매뉴얼을 [2] 참조하여 건축물 내에 시설되는 수변전설비의 내진설계 방향 및 방법을 제시하였다. 추후 이를 토대로 설비 별 상세 설계 방법 제시와 설계 및 시공에 대한 신뢰성 검증을 위한 검사기준 제시에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

2. 본 론

2.1 수변전실 전기설비 지진 대책 현황

2.1.1 국내 전기설비 시공 현황

건축물 내에 시설되는 수변전실의 설치 위치는 크게 지하공간, 지상 층 이상의 건물 내 그리고 옥상에 시설된다. 이 공간에서 시설되는 수변전설비의 설치 형태는 큐비클식이 대부분이다. 일부 노출식 수변전실도 있지만 최근에는 대부분 큐비클식 및 소용량의 단독 건물의 경우에는 일체형 수변전설비를 설치하고 있다. 건축물 내에 시설되는 수변전설비는 전기설계 도면에 설비 배치, 크기, 상세도 정도를 기입하여 설계하고, 설계 도면에 제시되지 않는 부분(고정, 낙하 방지 등)에 대해서는 시공자의 개념 및 상황에 따라 시설되고 있다. 따라서 지진시에 설비의 넘어짐, 추락, 이동 등에 대한 대책으로 내진설계 부분이 아직 국내 현장에 적용되고 있지 않는 경우가 대부분이고, 단지 고정, 부착 정도의 개념으로 설비를 시공하고 있다[3]. 전기설비가 지진 발생시에 규정된 지진 강도 이하에서는 넘어짐, 추락 등 구조적으로 문제가 없어야 원활한 전기를 공급할 수 있다. 따라서 국내의 수변전실의 전기설비 시공 현황에 대해 조사하고 그에 대한 문제점 및 대책을 분석하였다.

2.1.2 변압기

수변전설비에서 중요한 설비 중 하나인 변압기는 몰드 변압기, 유입 변압기가 대부분으로 시설되고 있다.

(a) 일부 앵커볼트시설 (b) 고정되지 않음

그림 1. 변압기 고정 앵커볼트 시설 현황
Fig. 1. Construction situation anchor bolt of Transformer

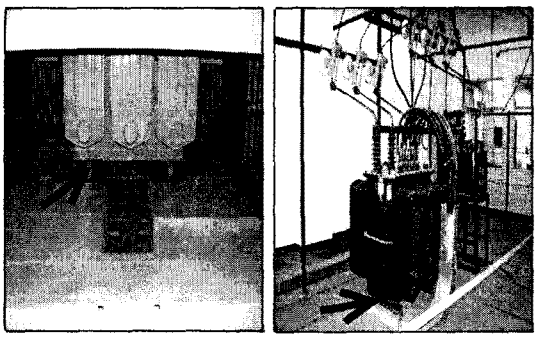

그림 2. 고정 없이 방진 패드위에 시설된 변압기
Fig. 2. Transformer on the vibration production by no fixing

몰드 변압기 경우 제작자에서 기본 베이스를 제작하여 큐비클 내부 바닥 면에 직접 시설하는 경우가 대부분이다. 바닥 면과 변압기 베이스 사이에 방진고무가 시설되고 있다. 방진고무의 두께 부분과 바닥 면과 변압기 베이스와의 고정 부분이 그림 1에서 보는 것처럼 한쪽 부분만 앵커볼트(Anchor bolt)로 고정된 부분이(그림 1에 (a)) 일부 있고, 아예 고정되

지 않은 상태로(그림 1에 (b)) 시공된 곳이 대부분으로 조사되었다.

또한 유입 변압기 경우, 그림 2처럼 방진고무 위에 바로 시설되고 있었다. 따라서 변압기 무게와 크기를 고려한 앵커볼트 굵기 선정 및 설치위치(개수) 등이 고려되어야 할 것이다. 또한 방진고무의 두께 및 성능에 대한 평가 부분도 이루어져야 할 것으로 판단된다.

2.1.3 큐비클 설비

대부분 수변전실의 전기설비 설치 형태는 큐비클 형태이다. 일반적으로 큐비클 시설시 큐비클을 바닥면과 고정시키지 않은 것으로 조사되었다. 일부 시공업체에서는 자체 시공규격서에 지그재그식 방식에 의해 고정하는 경우가 있는 것으로 조사되었다. 큐비클 패널은 바닥 면과 고정할 수 있는 구멍(Hole)을 제작자에서 제작시 그림 3처럼 뚫어 나오는 것으로 조사되었다. 하지만 국내에서 아직 큐비클 구멍의 크기 및 개수에 대한 근거는 없는 것으로 조사되었고, 현장에서 앵커볼트 시공의 어려움 등으로 인해 바닥 면과 큐비클이 고정되고 있지 않는 것이 현실이다. 또한 큐비클이 바닥 면과 고정이 되어 진동에 넘어지거나, 미끄러지지 않는다고 해도 큐비클 내부에 시설된 설비와 큐비클이 제대로 고정되지 않아 이동 및 파손 등으로 수변전설비 본연의 역할을 하지 못하게 될 것이다. 따라서 큐비클과 바닥 면과의 고정과 내부에 있는 VCB, 계전기, MOF 등 각종 설비도 진동에 의해 이탈, 전선 결선 등으로 인해 설비 성능에 영향을 받지 않도록 내진 설계가 이루어져야 할 것이다.

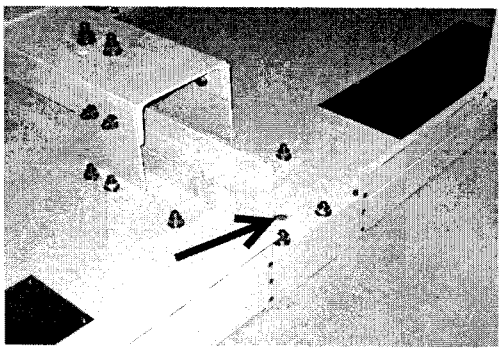

그림 3. 큐비클 Hole 예
Fig. 3. Example of cubicle hole

2.1.4 배관 설비

그림 4는 수변전실에는 케이블 이송 시설을 위한 케이블 트레이(Cable-Tray), 케이블 덕트(Cable-Duct) 시설 및 수변전실 조명설비의 전력 공급을 위한 레이스웨이(Race-Way)가 천장 및 벽면에 고정되어 있는 시설을 나타낸 그림이다. 이들 시설 무게 중량 및 폭 등을 고려하여 행거 로드 간격 및 두께 등 내진 설계가 이루어져야 할 것이다[3].

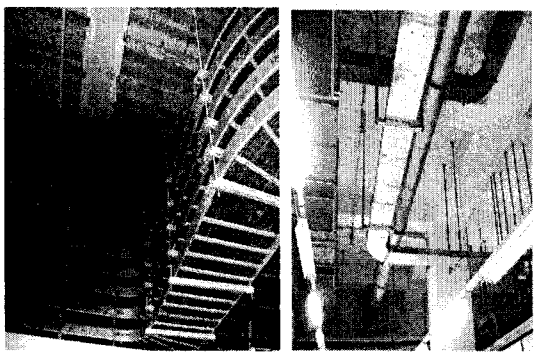

그림 4. 케이블 트레이, 덕트, 레이스웨이 시공 예
Fig. 4. Example of Cable Tray, Duct and race way

국내에서는 일반적 시공자의 의도에 따라 1.5~2.5[m] 간격으로 행거로드를 시설하는 것으로 조사되었다. 이 부분에 대한 구체적 내진 설계 및 시공 부분이 이루어질 수 있도록 해야 지진 발생시 추락 등으로 인해 재해를 막을 수 있고 원활한 전력공급이 이루어질 수 있을 것이다.

2.2 수변전실 전기설비 내진 설계 방향

2.2.1 지진지역의 구분

국내 건축구조설계기준에 따라 건축물 안에 수변전실이 시공될 경우에 그 건축물이 세워지는 지역의 지진 지역계수는 표 1과 같이 지역계수를 적용하고, 국지적인 토질조건, 지질조건과 지표 및 지하 지형이 지반운동에 미치는 영향을 고려하여 표 2와 같이 5종으로 분류되어 있는 지반에 맞게 선정한다[1].

표 1. 지진지역 구분 및 지역계수
Table 1. Classification of earthquake zone and factor

지진 지역	행 정 구 역	지역 계수
1	지진지역 2를 제외한 전지역	0.11
2	강원도 북부, 전라남도 남서부, 제주도	0.07

※ 강원도 북부(군, 시) : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천시, 속초시
전라남도 남서부(군, 시) : 무안, 신안, 완도, 영광, 진도, 해남, 영암, 강진, 고흥, 함평, 목포시

표 2. 지반 분류
Table 2. Classification of site soil

지반 종류	지반종류의 호칭	상부 30m에 대한 평균 지반특성		
		전단파속도 (m/s)	'표준관입시험 $\overline{N}$ (타격횟수 /300mmm)	비배수전단강도 (S_u×10^{-1}N/mm^2)
S_A	경암 지반	1500 초과	-	-
S_B	보통암 지반	760에서 1500		
S_C	매우 조밀한 토사 지반 또는 연암 지반	360에서 760	> 50	> 100
S_D	단단한 토사 지반	180에서 360	15에서 50	50에서 100
S_E	연약한 토사 지반	180 미만	< 15	< 50

2.2.2 설계스펙트럼 가속도

지진발생시 구조물에 발생하는 반응은 구조물의 동적 특성을 대표하는 고유진동주기에 따라서 다르게 나타나는데, 이러한 구조물의 최대지진응답을 고유진동주기의 변화에 대하여 나타낸 함수 또는 그림을 응답스펙트럼이라고 한다. 응답스펙트럼을 이용하면 구조물에 대한 동적해석을 수행하지 않고 구조물의 최대동적응답을 직접 구할 수 있으므로 내진설계에 매우 편리하게 사용될 수 있다. 구조물에 발생되는 지진하중의 본질은 구조물의 질량과 가속도에 의하여 발생하는 관성력이므로 이 기준을 비롯한 일반적인 설계기준에서 응답스펙트럼은 구조물의 고유진동주기에 따른 가속도의 변화로 정의된다. 설계스펙트럼의 형상을 결정짓는 단주기 설계스펙트럼 가속도 S_{DS}와 주기 1초의 설계스펙트럼 가속도 S_{D1}은 다음 표 3과 표 4에서 구한다. 단주기 설계스펙트럼 가속도는 전기설비의 설계지진력에 해당하는 등가정하중의 결정에 사용된다.

표 3. 단주기 설계스펙트럼 가속도 S_{DS}
Table 3. Spectral acceleration of short period

지반종류	지 진 지 역	
	1	2
S_A	0.293	0.168
S_B	0.366	0.233
S_C	0.439	0.279
S_D	0.527	0.372
S_E	0.732	0.559

표 4. 주기 1초의 설계스펙트럼 가속도 S_{D1}
Table 4. Spectral acceleration of 1 sec period

지반종류	지 진 지 역	
	1	2
S_A	0.117	0.065
S_B	0.146	0.093
S_C	0.234	0.149
S_D	0.336	0.214
S_E	0.497	0.317

설계스펙트럼 곡선은 지진의 설계응답스펙트럼 곡선의 임의의 주기 점에서의 스펙트럼 가속도는 다음 식에 따라 구한 후 그림 5와 같이 작성한다.

(1) $T \leq T_0$일 때, 스펙트럼 가속도 S_a는 식 (1)에 의해 구한다.

$$S_a = 0.6\frac{S_{DS}}{T_o}T + 0.4S_{DS} \quad (1)$$

여기서, T : 구조물의 고유주기(초)
T_o: 설계스펙트럼 곡선 정상부 시작점의 주기
S_{DS}: 단주기 스펙트럼 가속도

(2) $T_0 \leq T \leq T_S$일 때, 스펙트럼 가속도 S_a는 S_{DS}와 같다. 스펙트럼 가속도 S_{DS}는 설계스펙트럼 곡선의 정상부 값으로서 단주기 스펙트럼 가속도이다.

(3) $T > T_S$일 때, 스펙트럼 가속도S_a는 식 (2)에 의해 구한다.

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \tag{2}$$

여기서, S_{D1} : 주기 1초의 스펙트럼 가속도 설계스펙트럼 곡선의 정상부 지속구간을 나타내는 주기 T_0와 T_s는 다음 식으로 정의된다.

$$T_o = 0.2 S_{D1} / S_{DS} \tag{3}$$

$$T_s = S_{D1} / S_{DS} \tag{4}$$

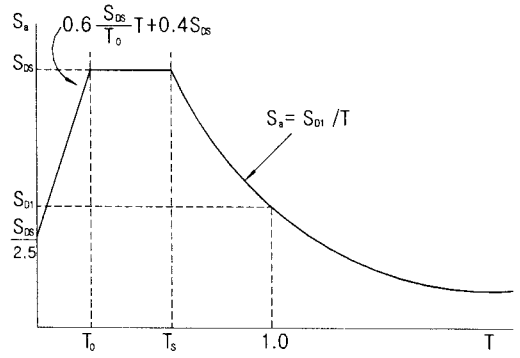

그림 5. 설계스펙트럼 가속도 곡선
Fig. 5. Acceleration curve of design spectrum

2.2.3 설계지진력

1) 설계지진력의 표현

지진력은 설비의 전체 질량에 가속도를 곱하여 구한다. 설비의 질량은 중량을 중력가속도로써 나눈 값이며, 가속도계수는 작용하는 가속도를 중력가속도로 나눈 값이므로 지진력 = (가속도계수 × 기기중량)이 된다. 기기에 작용하는 설계지진력은 그 작용점을 중심으로 수평방향과 수직방향으로 나누어 식 (5), (6)과 같이 표현한다.

① 기기의 수평방향 설계지진력

$$F_H = F_p (kgf) \tag{5}$$

② 기기의 수직방향 설계지진력

$$F_V = \frac{1}{2} F_H (kgf) \tag{6}$$

수직방향 지진력은 수평방향 지진력의 1/2 수준으로서 이는 외국의 지진피해 경험을 토대로 결정된 것이다. 식 (5)와 식 (6)에 보인 바와 같이, F_p을 구하면 기기에 작용하는 지진력을 계산할 수 있다. F_p는 등가정하중법 또는 건물의 동적해석을 이용한 방법으로 계산할 수 있으나, 원칙적으로는 등가정하중법에 의하여 구한 설계지진력을 사용한다.

2) 설계지진가속도계수

설계지진력은 건축전기설비의 중량에 대한 지진력의 비율, 즉 가속도계수로서 표현하는 것이 업무의 효율성을 위하여 편리하다. 식 (5)과 식 (6)의 수평방향과 수직방향의 설계지진력은 다음과 같은 방법으로 표현할 수 있다.

$$F_H = \alpha_H \cdot M_p \cdot g = \alpha_H \cdot W_p \tag{7}$$

$$F_V = \alpha_V \cdot M_p \cdot g = \alpha_V \cdot W_p \tag{8}$$

여기서, F_H : 수평방향 설계지진력
F_V : 수직방향 설계지진력
α_H : 수평방향 설계지진가속도계수
α_V : 수직방향 설계지진가속도계수
M_p : 기기의 질량 (kg)
W_p : 기기의 중량 (kgf)
g : 중력가속도 =9.80($m/\sec^2$)

이로부터, 수평방향과 수직방향의 설계지진가속도 계수는 각각 다음과 같이 표현된다.

$$\alpha_H = \frac{F_H}{W_p} \quad 또는 \quad \alpha_H = \frac{F_p}{W_p} \tag{9}$$

$$\alpha_V = \frac{F_V}{W_p} \tag{10}$$

여기서, α_H : 수평방향 설계지진가속도계수
α_V : 수직방향 설계지진가속도계수
W_p : 건축전기설비의 운전 중량

수직방향 설계지진력은 수평방향 설계지진력의 1/2 수준이므로 방향별 설계지진가속도계수의 관계는 식 (11)과 같다.

$$\alpha_V = (1/2)\alpha_H \tag{11}$$

2.2.4 등가정하중에 의한 설계지진력

일반적인 구조의 건축물(높이 60[m] 이하, 강구조, 콘크리트강합성구조, 철근콘크리트구조)에 설치되는 전기설비의 경우는 다음 식을 적용하여 설계지진력을 결정한다.

$$F_p = 0.6 S_{DS}\left(1 + 2\frac{z}{h}\right) W_p \tag{12}$$

여기서, F_p : 전기설비의 질량중심에 작용하는 수평방향 설계지진력
S_{DS} : 단주기 설계스펙트럼 가속도
z : 건물의 밑면으로부터 건축전기설비가 설치된 슬래브까지의 높이
h : 건물의 밑면(기초 하단)으로부터 지붕 층까지의 평균 높이
W_p : 전기설비의 운전 중량

2.2.5 동적해석에 의한 설계지진력

면진구조와 제진구조의 건축물인 경우 등에서는 건축물 설계에서 동적해석(지진응답해석)이 실시되어 각 층의 진동 응답가속도 G_f([m/sec^2])를 계산한다. 이 수치를 바탕으로, 혹은 과거 연구에서 제시하였던 결과를 토대로 다음에 설계지진력을 구하는 방법을 나타낸다. 건축물의 각 층에 발생하는 G_f([m/sec^2])는 설계스펙트럼 곡선에서 제시하고 있는 스펙트럼 곡선을 적용하여 시간이력해석법 등의 동적해석법을 이용하여 결정한다. 60[m]를 초과하는 높이의 건축물에 설치하는 기기에 대해서는 동적해석 방법을 적용하여 설계지진력을 구한다.

1) 수평방향 설계지진가속도계수(α_H)

동적 지진응답해석을 수행하여 건축물의 각 층 슬래브의 진동응답 가속도 값을 구한 경우에 수평방향 설계지진가속도계수, α_H는 식 (13)으로 계산한다.

$$\alpha_H = \left(\frac{G_f}{g}\right) K_F D_{SS} \tag{13}$$

여기서, K_F : 기기의 응답배율
D_{SS} : 설비의 구조특성계수
G_f : 기기가 위치한 층에서 건축물의 지진응답가속도 최대값([m/sec^2])
g : 중력가속도([$9.80m/sec^2$])

2) 수직방향 설계지진가속도계수(α_V)

설계용 수직방향 지진가속도계수가 필요한 경우에는 등가정하중법과 마찬가지로 수평방향 지진가속도계수의 1/2을 적용하므로 식 (11)로 계산한다.

2.3 수변전실 전기설비 내진 검사 방향

일본의 경우 수변전실 내진에 대한 검사 방법으로는 각 설비가 내진 설계 기준에 적합하게 설계되었는지에 대한 설계 검토 후에 앵커 볼트 시설 및 볼트 풀림은 없는지, 내진 스토퍼의 설치 상황, 전도 방지 처리의 상황, 축전지 진동 방지용 고무 패킹의 설치 부분 등 현장 검사로 이루어고 있다[2, 4]. 국내에서도 건축물 내에 시설되는 수변전설비의 내진설계에 대한 검사 방향은 공사계획신고서 제출 시에 내진설계 적용 부분에 대한 설계 검토와 현장 검사로 이루어질 수 있도록 해야 할 것으로 판단된다.

3. 결 론

지진 대책을 강구하기 위해 국내에서 2008. 3. 28에 지진재해대책법이 제정이 되었고 각 부처별 세부적으로 그에 대한 대책을 강구하고 있다[6-7]. 전기설비 부분 중에 건축물에 시설되는 수변전설비의 경우 지진 발생에 의한 피해 발생시 위급 상황에서 인명 구조 등 여러 가지 대처 활동에 필수적인 영향을 주는 전기설비에 대한 내진 대책의 필요성이 제기되고 있다. 따라서 본 논문은 국내 건축물 내에 시설되는 수변전실의 전기설비에 대한 시공 현황에 대해 조사 분석한 결과를 제시하였다. 분석 결과에 의하면, 국내의 건축물 내 전기설비의 지진에 대한 근본적 설계 기준이 미흡한 현실에서 시공을 하고 있어 그 설비의 지진 내력 및 안전성에 대한 부분을 확인할 수 없는 것으로 조사되었다. 이에 따라 건축물 내에 시설되는 수변전실의 전기설비에 대한 내진설계 방향을 제시하기 위해 국내 건축구조설계기준과 일본의 건축전기설비 내진설계 · 시공 매뉴얼을 참조하여 설계 방향 및 방법을 제시하였다. 추후 구체적 설비에 대한 내진설계 예시를 제시하고 그에 따른 내진설계 및 시공 부분에 대한 신뢰성을 검증할 수 있도록 내진 검사 기준이 제시되어야 할 것으로 사료된다.

References

[1] 국토해양부, 건축구조설계기준, 고시 제2005-81호, 2005.4.6.
[2] 建築電氣設備の耐震設計施工マニュアル 改訂新版, 2006. 4, Japan.
[3] 김기현 외 3명, "국내외 건축물에 시설되는 수변전설비 지진 대책에 관한 조사 분석", 한국조명전기설비학회 논문집, 2008. 12.
[4] 電氣設備工事監理指針 平成9年版, 2007. 9, Japan.
[5] 한국전력공사, 송변전설비 내진설계 실무 지침서(안), 송변전사업본부, 2003. 3.
[6] 지식경제부, 전기설비기술기준, 고시 제2006-65호, 2006.7.4.
[7] 법제처, 지진재해대책법, 법률 제 9001호, 2008.3.28.
[8] FEMA, FEMA 413: "Installing Seismic Restraints for Electrical Equipment", 2004. 1, US.

◇ 저자소개 ◇

김기현 (金基鉉)
1971년 5월 1일생. 1997년 숭실대학교 전기공학과, 2000년 8월, 2008년 2월 동 대학원 석사, 박사 졸업. 2000년 6월~2003년 6월 한국전기연구원 재직. 2006년 전기안전 기술사 취득. 2003년 7월~현재 전기안전연구원 전기안전 IT센터 근무.

이상익 (李尙益)
1968년 12월 9일생. 1994년 호서대학교 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 건국대학교 전기공학과 졸업(박사). 1996년~현재 전기안전연구원 선임연구원.

배석명 (裵錫銘)
1956년 10월 22일생. 1984년 창원기능대학교 전기기기 과 졸업. 1981~1997년 한국전기안전공사 근무. 1997년~전기안전연구원 근무, 현 전기안전연구원 전기안전 IT 센터장.

조성국 (趙城國)
1966년 7월 6일생. 1993년 인천대학교 토목공학과, 1993년 2월, 2004년 2월, 동 대학원 석사, 박사 졸업. 1995~1998년 한국전력기술(주). 2004년~현재 인천대학교 공학기술연구소 책임연구원. 2006년~현재 (주)제이스코리아 기술이사.