

# 공기압을 이용한 패드 변압기 침수방지용 장치 개발에 관한 연구

논 문  
58P-1-16

## The Development of Flood Protection System for Pad Transformer using Pneumatic Pressure

김기현<sup>†</sup> · 이상익\* · 배석명\*\* · 정찬웅\*\*\* · 이재용<sup>§</sup>  
(Gi-Hyun Kim · Sang-Ick Lee · Seok-Myung Bae · Chan-Oong Jung · Jae-Yong Lee)

**Abstract** - The inundation of substation and ground power equipment breaks out every summer season in low-lying downtown and low-lying shore by localized heavy rain, typhoon and tidal wave. For diminishing flood damage of electrical equipment in the root, flood protection system which is used the basic frame of Pad transformer is developed using pneumatic pressure. This system is established on pressure generator equipment and sensor of flooded level operates at flooding occurrence and is maintained a shutting tightly structure. The system is able to protect indraft water in Pad Transformer and supply the electricity at emergency(flooding). And we tested safety for insulation resistance at flooding and applying an electrical current. We estimate that loss cost which is caused by with flooding and the power failure will be diminished if it is addition to advances the reliability evaluation by setting an example.

**Key Words** : Flood Protection System, Pneumatic Pressure, Pad Transformer

### 1. 서 론

매년 집중 호우 및 태풍, 해일 등에 의해 도심 저지대 및 해안가 지대 수변전실 및 지상 전력기기의 침수 현상이 매년 발생하고 있다[1]. 그로 인한 설비 교체 비용 및 정전으로 인한 사회, 경제적 손실이 더욱 크게 발생을 하고 있다. 또한 국내 환경 변화로 전기설비 침수 발생 빈도는 증가 될 것으로 판단된다[2]. 따라서 침수위험지역에서 전력용 변압기 등 전력기기 시설시 침수방지에 대한 근본적 대책이 필요하게 되었다. 이에 침수방지용 장치는 기본 전력기기의 외형 틀은 그대로 유지하고 그 상부에 공기압을 자동으로 공급 및 압력을 제어 할 수 있는 장치를 개발하였다[3]. 침수 발생 시 물 유입 높이를 자동 감지 작동하여 밀폐구조를 유지함으로 인하여 물 침입을 방지할 수 있도록 하고, 비상시에 설비의 안정성을 유지하며 통전을 가능하도록 제작하였다. 제작된 제품의 신뢰성 검증을 위하여 지상 설치형 변압기 침수시험장에서 실증 시험을 통하여 물 유입 시에 침수 방지 장치의 정상 작동 여부와 침수 상태에서 통전 가능성 및 내부 온도, 절연 상태 등을 검토하였다. 1차와 2차 고장 전력연구원에서의 실증 시험 결과 침수방지 장치의 작동 및 침수 상태에서 통전 상에 문제점이 없는 것을 확인 하였

다. 제품의 신뢰성 및 추후 실용화를 할 수 있도록 시범사업 추진 및 제품의 안전성 부분을 검토하고 있다.

### 2. 본 론

#### 2.1 국내 침수위험지구 현황 및 패드 변압기 설치 현황

소방방재청의 자료에 의하면 2007년 1월 기준 국내 재해 위험지구 지정 현황 중에 침수위험지구의 선정은 표 1과 같이 총 420곳으로 지정되어 관리를 하고 있다. 물론 이 수치는 지정된 곳에 대한 배수 처리 장치 등을 침수 방지 시설이 설치되면 위험지구에서 제외되고 또한 새로운 환경에 의해 지역적으로 새롭게 선정되므로 그 수치는 유동적이다. 하지만 국내 침수 피해 회수는 2000년 500회, 2001년은 534회, 2002년은 773회, 2003년 823회로 매년 증가 되고 있는 것을 확인 할 수 있다. 침수로 인한 피해 또한 연 2조원으로 조사되고 있다[2]. 물론 이부분에 전력기기 침수 피해가 포함이 될 것으로 판단된다. 하지만 전력기기 침수는 설비 자체의 손실 보다는 정전 등으로 인한 경제적 손실로 인한 2차 피해가 더욱 크다고 할 것이다.

표 1 국내 침수위험지구 선정 현황(2007년)

Table 1 Situation of Interior flood danger area(2007)

구분	서울	부산	대구	인천	광주	울산	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주	계
침수 위험지구	2	11	5	6	7	4	18	31	39	51	47	63	54	61	21	420

<sup>†</sup> 교신저자 정희원 : 한국전기안전공사 전기안전연구원 연구원 · 공박  
E-mail : ghkim7151@kesco.or.kr

\* 정희원 : 한국전기안전공사 전기안전연구원 선임연구원 · 공박

\*\* 정희원 : 한국전기안전공사 전기안전연구원 전기안전IT센터장

\*\*\*정희원 : 서울특별시 도로관리담당관 기전관리팀장

§ 정희원 : 영남이공대학 로보테크과 교수 · 공박

접수일자 : 2008년 11월 27일

최종완료 : 2008년 12월 22일

패드 변압기는 1979년부터 도입이 되어 1983년 올림픽 유치준비를 위해 이들의 상용이 급속히 확대되었다. 대도시 중심에는 전주가 없어지고 대부분 지중화 시스템으로 재설치되고 있고, 그 수가 크게 증가하고 있다. 하지만 대도시 도심 중심부에서 미관, 시설 위치, 시설 방법 등 여러 가지 문제가 발생하고 있는 것이 현실이다[3].

그림 1은 지역별 패드 변압기 2007년 4월 기준 설치 현황이다. 그림에서 확인할 수 있는 것처럼 대도시 중심으로 설치되어 있는 것을 확인할 수 있다[4]. 패드 변압기는 대도시에 설치되어 도심의 사업용 건물 부하를 공급, 대단위 아파트 단지에서 전원을 공급하고 있다.

그림 2는 지상 변압기 용량은 30 kVA에서 1000 kVA까지 설치되어 도심 부하 집중화와 전주 사용으로 인한 문제점을 고려하여 계속적으로 패드 변압기 시설은 증가 추세에 있다. 따라서 집중 호우 및 저지대의 침수로 인한 지상 변압기 침수 등으로 인한 전력 차단 등 침수 피해에 대한 대책이 필요하다고 판단된다. 실제로 2007년 8월 4일 천안 구성동 호우와 하천 범람으로 인근 도로 지상 변압기 침수로 인한 정전 피해를 입고 제주도에 같은 해 9월 16일 태풍 나리로 인한 도로변 침수로 인해 지상용 전력기기 침수 및 지하수변전설 침수로 인한 정전 및 설비 손실 피해를 보았다. 이처럼 국내의 기후 및 지역적 여건에 의해 상습 침수지역 외에도 많은 곳에서 침수로 인한 전력시설물 피해 및 정전으로 인한 경제적 손실을 입고 있는 것으로 조사 되었다. 2007년 한국전력 “배전설비 정전 분석 및 예방대책” 자료에

의하면 설비별 정전 건수 조사 및 지중배전 분야 설비 별 분석 자료에 의하면 개폐기 총 정전 건수 384건 중 자연현상으로 20건(5.2%)을 차지하였고, 변압기 총 정전 건수 190건 중 자연현상으로는 9건 (4.7%)으로 조사되었다[5]. 여기에서 자연현상의 개념은 집중 호우, 태풍, 낙뢰 등으로 인한 피해로 정전 발생 원인으로 조사하였다. 침수로 인한 실질적 피해에 관한 자료는 아니지만 집중 호우, 태풍 등에 의해 전력 차단 및 설비 교체 등 침수로 인한 피해 발생이 가능하다고 판단된다.

**2.2 침수방지용 장치 개발 및 실증 시험**

**2.2.1 개발 개요**

침수가 많이 발생하는 일본 및 영국 등 외국의 경우에 전력기기 침수 방지에 대해서는 높은 위치에 시설 및 지하 공간에 대해서는 차수문 및 개구부 밀폐 등으로 대책을 제시하고 아직 설비에 대한 근본적 침수 방지에 대한 대책 제품 및 시설은 개발 되지 않은 것으로 조사되었다[6]. 본 논문에서 제시하는 침수방지용 장치 시스템은 전면 부 전기 입력부스 및 출력 단자를 둘러싼 상부밀폐와 하부개방형 구조물을 그대로 사용하여 구조적 안전성에는 문제가 없다[7]. 다만 패드변압기 상부 모형에 따라 다르지만 상부에서 최대 높이로 약 10cm 정도 위로 높아지게 된다. 그림 3에서처럼 침수방지용 시스템은 구조물 내부에 마련된 기계식 공기압력조절을 통한 수위조절 장치와 연결된 공기압축탱크 및 공기공급용 밸브를 통하여 내부 압력을 조절하도록 되어있다. 하부에 개방된 장소를 통하여 설정 수위 이상으로 물이 유입 시 설치된 센서에 감지하게 된다. 센서 감지에 의해 수위가 감지되면 공기압축탱크와 연결된 기압 조절 장치를 통하여 압축 공기가 전면 밀폐 공간과 하부개방부가 물에 의해 밀폐되어 전면부에 내압밀폐공간을 형성하여 공기압력 조절장치에 의하여 투입된 공기에 의해 수위가 낮아진다. 또한 수위감지센서가 미리 설정된 수위이하를 감지하여 압축공기 유입을 차단하여 내부 기체압력과 유입되는 수압과 같아지는 지점에서 일정한 수위를 조절하는 것을 특징으로 하는 침수방지용 시스템이다. 상부에 있는 공기압축탱크에서는 최대 7기압의 공기 압력을 발생할 수 있고 변압기 내부 압력은 외부의 침수 수위에 따라 압력이 따라 다르게 결정이 된다. 이는 변압기 내부로 유입되는 물의 높이가 밀면에 약 15cm 이상(센서 감지 수위)으로 될 경우에 압력 조절장치가 작동하여 변압기 내부 압력을 조절하여 더 이상의

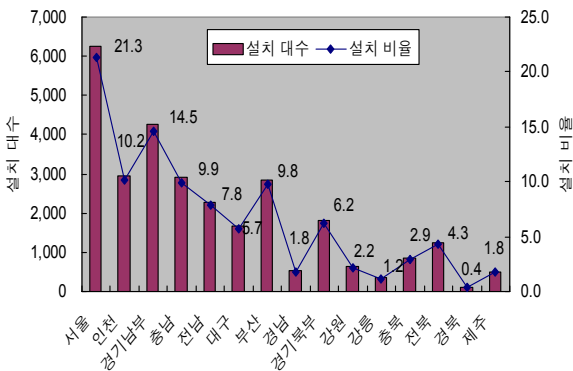


그림 1 지역 별 패드 변압기 설치 현황  
Fig. 1 Installation situation of Pad Tr by area



그림 2 패드 변압기 설치 현장(3상 300kVA)  
Fig. 2 Installation site of Pad Tr (3Φ300kVA)



그림 3 침수방지용 장치 시스템 외형도  
Fig. 3 The outward diagram of flood protection equipment system

물이 유입되지 않도록 되어 침수 피해 방지 및 비상시에 전력을 공급할 수 있도록 구성되어 있다.

모든 부분에서는 정상시에 일반 패드 변압기와 동일하게 작동하기에 내부 온도 및 절연 저항 등 기타 영향 부분에서는 문제가 없다. 또한 실증 시험결과를 통해 침수방지용 시스템 작동에 따른 온도 상승에 관해서는 물 유입으로 인해 변압기 온도 상승에는 문제가 없는 것으로 시험 결과 조사 되었다.

**2.2.2 내부장치 개발**

자동 침수방지용 장치의 상부 압력 발생 저장장치는 그림 4와 같이 상부에 공기 가압용 장치 및 제어 장치로 구성되어 있고 하부에는 전자 밸브 및 기계식 내부 압력 유지 장치로 구성이 되어있다. 자동 침수 방지 기술은 가변 내압 방수 기술 개발과 침수 감지 기술 개발, 침수 단계별 능동 보호 장치 기술 개발 등으로 구분되어 개발하였다. 그중 가변 내압 방수 기술 개발은 패드 변압기 시스템의 전력기기를 둘러싼 상부밀폐 구조와 하부개방형 방열구조물 사이에 내부의 기계식 공기압력 조절을 통한 수위조절 장치와 연결된 공기압축탱크 및 공기공급용 수동밸브를 통하여 내부 압력을 조절하도록 되어 있다.

그리고 침수시에 하부에 개방된 장소를 통하여 내부 기체 압력이 높아지면 수위가 낮아지고 내부 기체 압력이 낮아지면 수위가 높아지는 현상을 기본으로 내부 수위에 따라 공기밸브를 자동 조절하여 내부 압력을 외부 수위에 의한 압력보다 높거나 같게 조절함으로써 외부의 물 및 오염 물질이 내부로 설정 높이 이상으로 침투하는 것을 방지하도록

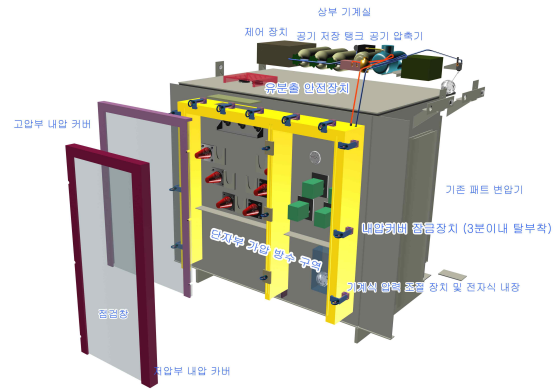


그림 6 침수방지 장치의 세부 장비 설치 위치

Fig. 6 Installed location of detail equipment for flood protection equipment system

되어 있다. 침수방지 장치 개발을 위해 실험용으로 그림 5와 같이 투명 아크릴을 사용한 전면 방수 식 실험용을 제작하였다.

그림 6은 침수방지용 시스템의 상세 구조도로서 패드 변압기 전면 22.9kV 입력 및 220V/380V의 출력 단자를 둘러싼 상부밀폐와 하부개방형 구조물에 마련된 기계식 공기압력조절을 통한 수위조절 장치, 공기압축탱크, 공기공급용 밸브, 수위 감시용 센서로 구성이 되어있다. 정상 작동 상태에서 침수 발생 시 수위 감지센서가 미리 설정된 수위이하를 감지하여 압축공기 유입을 차단하여 내부 기체압력과 외부 수압이 같아지는 지점에서 일정한 수위를 조절하도록 구성이 되어 있다. 침수 감지 장치는 물 유입 시 내부 비상 전원까지 차단되었을 경우를 가정하여 물의 부력에 의한 센서 작동과 센서가 사전에 설정된 기준 높이보다 낮게 위치하면 압축공기 배출라인을 폐쇄시키고 센서가 사전에 설정된 기준 높이보다 높게 위치하면 상기 압축공기 배출라인을 개방시키는 개폐 밸브를 포함하여 구성된다. 그림 6에서처럼 개폐 가능한 커버와 접칠할 수 있는 방수 주름 막과 압축공기를 공급할 수 있는 장치를 구성하여 침수 발생시 지상 및 지하에 설치된 전력기기가 침수되는 것을 방지할 수 있다. 침수방지용 패드변압기는 침수로 인하여 설비에 진흙 등 오염 물질 유입으로 설비 교체 등이 발생하여 사용되는 수리 비용 및 전력공급 중단 시간으로 인한 경제적 손실을 최소화 할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 본 논문 2.1절에서 설명한 상승 침수위험지역 및 지구온난화로 인한 집중 호우, 해일 등의 자연 재해로부터 설비를 보호 할 수 있고 비상시 운전이 가능하여 수해지역에서의 정전으로 인한 2차적 경제 피해를 최대한으로 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

**2.2.3 침수방지용 패드변압기의 실증 시험**

침수방지용 패드변압기에 대한 안전성 및 침수방지에 대한 성능 평가를 위해 2008년 10월 7일 ~ 9일에 걸쳐 고창 전력연구원 지상 설치형 변압기 침수시험장에서 시험을 실시하였다. 시험 방법은 크게 전원 공급 없는 상태에서 침수 시험장에 침수방지용 패드 변압기를 그림 7과 같이 침수 시에 침수방지용 장치가 정상적으로 작동하여 내부 침수 설정



그림 4 능동 방수용 압력 발생 장치

Fig. 4 Equipment of pressure generate for activity waterproof

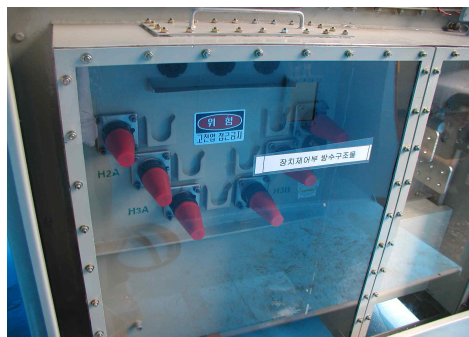


그림 5 입력 측 전면 방수 구조물

Fig. 5 Structure of front waterproof at input side

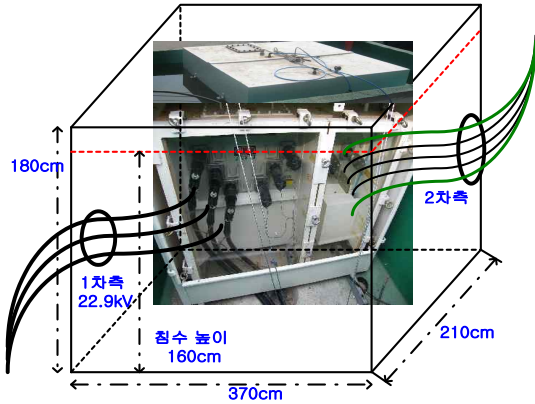


그림 7 실증 시험장의 수조 구성도  
 Fig. 7 Water tank diagram of actual test site

높이 이상 물 유입이 되는지에 대해 실험을 하였다. 다음으로는 침수 상태 전 후에 대한 안전성 및 통전 시의 문제점을 확인하기 위해 패드변압기 2차 측의 각상과 외함 사이의 절연저항 측정을 하였다[8]. 최종적으로 24시간 동안 패드 변압기 전체를 침수한 상태에서 22.9kV를 통전하여 설비 운전상에 문제점 여부를 확인 하였다.

그림 7에서처럼 침수 시험용 수조의 크기는 370cm(가로) × 210cm(세로) × 180cm(높이)이고 시험장에서 측정한 패드 변압기 외함 접지 저항(3중 접지 저항)은 0.5Ω으로 측정 되었다. 패드변압기 통전을 확인하기 위해 2차 측에 전동 부하를 설치하여 통전의 정상 여부를 확인 할 수 있도록 하였고, 침수에 따른 감전 부분의 위험성을 확인하기 위해 변압기 2차 측 각상과 외함간의 절연을 측정할 수 있도록 변압기 2차 측에서 각상과 외함 접지선을 연결하여 외부에서 측정이 가능하도록 설치하였다.

수조 안이 건조한 상태 경우 및 통전 전에서는 변압기 2차 측 A상 - 외함, B상 - 외함, C상 - 외함의 절연저항이 2000MΩ 이상으로 측정이 되었다. 침수 시험용 수조에 물이 유입됨에 따라 내부 침수 방지 장치의 정상 작동에 의해 그림 8처럼 지면으로부터 약 15cm 미만 까지만 침수되고 더 이상 높게 물이 변압기 내부로 유입되지 않았다. 시험용 수조의 침수 높이 그림 7에서처럼 160cm 까지 침수하여 16시간을 유지 하였다. 침수 상태를 유지함에 변압기 2차 측 A상 - 외함, B상 - 외함, C상 - 외함이 침수 전에 2000MΩ



그림 8 변압기 내부와 외부의 침수 높이 차이  
 Fig. 8 Flooded level difference of transformer Internal and external



그림 9 변압기 완전 침수 시험 장면  
 Fig. 9 Test sight of the whole flooded for Transformer

이상에서 침수 후 계속 떨어져 침수 후 14시간 이후부터는 4MΩ을 계속 유지 하는 것을 확인 하였다.

침수 상태에서 16시간 지속하여도 물이 변압기 설정 침수 높이 이상(약 지면으로부터 15cm)으로 유입되지 않아 장비 및 침수 방지 센서의 문제가 없는 것을 확인 하였다. 침수 상태로 16시간 지속 후에 22.9kV를 통전하여 침수 상태에서 전원 공급 시 및 전원공급 유지 시에 발생 될 수 있는 변압기 온도 및 절연 상태 등의 문제점 여부를 확인 하였다. 침수 상태에서 변압기 통전은 24시간을 지속 했고, 유지 상황에서 내부 온도는 30℃로 변화가 없는 것을 확인했다. 이 부분은 2차 측 부하의 종류 및 용량에 따라 변할 수 있는 부분이라고 생각 할 수 있지만 2차 실증 시험 부분에서는 다양한 부하를 고려하지 못하였다. 하지만 외부에는 전체 침수가 되어 있어 내부 온도 변화에 큰 영향을 받지 않을 것으로 판단된다. 절연 상태는 최종 통전이 종료된(침수 통전 시간 : 24시간) 시점에서 140MΩ이 측정이 되었다. 이는 침수 상태에서 통전 시점에서의 절연 저항이 4MΩ에 비하면 크게 절연이 좋아진 것을 확인 할 수 있는 부분인데 이는 통전에 따른 변압기 내부 발생 열에 의해 내부 습기 부분이 일부 제거됨으로 인해 건조 상태 유지할 수 있어 절연이 좋아진 것으로 판단된다. 전기설비기술기준에 의하면 220V/380V의 저압 측 절연 저항의 경우 0.2MΩ(대지 전압이 150V이상 300V이하) 이상으로 규정하는 것을 기준으로 침수 상태에서 발생될 수 있는 감전에 대한 문제점은 없는 것으로 조사되었다[8]. 또한 통전 중단 및 침수 시험용 수조에서 물을 완전 배수 한 상태에서의 각 상별 절연저항을 측정한 결과 200MΩ 이 측정이 되었다.

### 3. 결 론

국내 환경 변화에 따른 매년 집중 호우 및 태풍, 해일 등에 의해 도심 저지대 및 해안가 등에서 전기설비 침수 피해가 발생을 하고 있고 또한 2차적 피해가 증가되는 추세이다. 따라서 본 논문은 국내 상습 침수지역에 대한 조사 및 패드 변압기의 설치 현황과 전력기기 침수에 피해 현황에 대해 조사 분석하였다. 분석한 결과 국내 상습 침수지역에 대한 관리 미흡 및 국내 기후 변화 등에 의한 전력기기의 침수 피해가 발생하는 것으로 조사되었다. 따라서 이런 침수 피해를 막고 전력기기 침수에 대한 근본적인 대책을 제시하기 위해 공기압을 이용한 침수방지용 장치를 개발하게

되었다. 침수방지용 장치의 공기압축탱크에서는 최대 7기압의 공기 압력을 발생할 수 있고 변압기 내부 압력은 외부의 침수 수위에 따른 압력 변화에 따라 다르게 결정이 된다. 이는 변압기 내부로 유입되는 물의 높이가 밀면 약 15cm 이상으로 될 경우에 압력 조절 장치가 작동하여 변압기 내부 압력을 조절하여 더 이상의 물 유입이 되지 않도록 조절하여 침수 피해 및 비상시에 전력을 공급할 수 있도록 할 수 있다. 침수시 변압기 내부로 물 유입 및 침수 상태에서 전력 공급에 대한 안전성 및 성능 평가를 위한 실증 시험 결과 물 유입 상황에서의 침수 방지 장치가 정상 적으로 운영이 되어 밀면으로부터 15cm 이상으로 물이 유입되지 않음을 확인 하였고 침수 상태에서 통전시에 절연 저항 및 내부 온도 등에 대한 조사 결과 문제점이 없는 것을 확인 하였다. 추후 제품의 신뢰성 및 실용화를 위한 시범사업을 통하여 개선점 및 안전성 부분에 대한 검토가 진행 될 것이다. 시범사업의 진행 및 성공적 운영이 이루어진다면 침수 및 소규모 지하공간에서 운영 될 수 있어 침수 인한 설비 교체 및 정전 등으로 인해 발생하는 비용 감소와 도심 미관상의 문제에도 큰 효과가 있을 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금에 의해 수행되었습니다.

### 참 고 문 헌

- [1] 한국환경정책평가 연구원, “지구온난화에 따른 한반도 주변의 해수면 변화와 그 영향에 관한 연구Ⅱ”, 보고서, 2002. 12
- [2] 한국화재보험협회, 풍수재해예방가이드, 2004. 7
- [3] 이재용 등 8인, “침수지역에서 지상설형 지중전력기기와 지하설치형 수변전설비의 침수방지용 장치개발”, 중간보고서, 영남이공대학, 2008. 2
- [4] 한국전력공사, 지중설비 설치 통계 자료, 2007
- [5] 한국전력공사, “2006 배전설비 정전분석 및 예방 대책”, 보고서, 2007. 4
- [6] 김기현 외 4인, “국의 수변전설 및 지상 전력기기 침수 방지 대책에 관한 조사 연구” 대한전기학회 추계학술대회, pp.305-307, 2008.
- [7] 한국전력공사, 한전표준구매 시방서(지상설치형 변압기), 2001. 6.
- [8] 지식경제부, 전기설비기술기준 및 판단기준, 고시 제 2006-65호, 2006.7.4

## 저 자 소 개



### 김 기 현(金基鉉)

1971년 5월 1일생. 1997년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 2000년 8월 동 대학원 졸업(석사). 2008년 2월 동 대학원 졸업(박사). 2006년 전기안전기술사 취득. 2003년 ~ 현재 전기안전연구원 주임연구원  
Tel : 031-580-3057  
Fax : 031-580-3052  
E-mail : ghkim7151@kesco.or.kr



### 이 상 익(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  
Tel : 031-580-3053  
Fax : 031-580-3111  
E-mail : sangickl@kesco.or.kr



### 배 석 명(裵錫銘)

1956년 10월 22일생. 1984년 창원기능대학교 전기기기과 졸업. 1981~1997년 한국전기안전공사 재직. 1997년~현재 전기안전연구원 전기안전 IT센터장  
Tel : 031-580-3050  
Fax : 031-580-3111  
E-mail : sukmyong@hanmir.com



### 정 찬 응(鄭燦雄)

1958년 1월 6일생, 1988년 한양대산업대학원 졸업(석사), 2007년 서울산업대학교 철도전문대학원 수료(박사), 1983년~현재 서울시청 도로관리담당관 기전관리팀장  
Tel : 02-3707-8164  
Fax : 02-3707-8160  
E-mail : chan56@seoul.go.kr



### 이 재 용(李在容)

1966년 10월 10일생. 1991. 02 경북대학교 전기공학과 졸업. 1993년, 1996년 동 대학원 석사, 박사 졸업. 1995년부터 현재 영남이공대학 로보테크과 교수  
Tel : 053-650-9631  
Fax : 053-624-4736  
E-mail : ljj@ync.ac.kr