

국가중요산업 노후시설물에 대한 세계적 안전검사 방안

송길목 <전기안전연구원 책임연구원/박사>

1 서론

1.1 전기안전 정책 이슈

국내 주요 산업단지 또는 시설물의 노후에 따른 재해발생은 발생지점에 한정되지 않고 사고파급이 광범위하게 확대되는 특징을 가진다. 따라서 경제적 손실은 물론, 기업의 존폐위기까지 거론될 수 있을 만큼 영향을 가지고 있으며, 특히 국가적으로는 대단위 생산시설의 마비가 발생하고 이로 인한 국가적 손실이 막대하게 발생되므로 적극적인 대처가 요구된다. 삼성경제연구소에서 발표한 자료[1]에 의하면, 2012년 한국의 국가브랜드 순위는 그 실체가 13위, 이미지가 17위에 해당하는 것으로 조사되었다. 이는 과거 조사보다 순위가 앞선 것으로 나타나 전반적인 국가위상이 높아진 결과로 풀이되고 있다. 실제 종합 순위는 13위에 해당하나 세부항목에 있어서 과학/기술수준은 세계 4위에 해당한다. 그럼에도 불구하고 국내 전기안전기술에 대한 위기는 연간 전기화재가 평균 30,000건의 화재 중 8,000여건이 발생하며, 전기설비 사고에 있어서도 크고 작은 건수가 매년 10,000건 이상이 발생하는 것으로 알려져 있다[2]. 이는 정부의 무관심과 국민 전체의 안전불감증이 큰

이유가 되며, 실질적으로 생산 중심의 산업화가 전기 안전을 낙후시키는 결과를 낳았다고 볼 수 있다. 최근 산업경쟁력을 갖추기 위한 방안으로 글로벌 기업을 중심으로 하는 산업 전반의 안전을 위한 팀 또는 센터의 운영과 관리가 강화되고 있으나 기존 전기설비는 그 이전에 설치되어 운영됨으로써 노후되는 시점에 도래되어 생산 또는 안전에 위협을 가하고 있다. 현장의 단순한 휴먼에러 또는 설비 트러블이 공장 운영에 지장을 불러일으키고 인근 산업시설물까지 파급되는 실정에 이르고 있다. 대한민국 국가미래전략[3]에 의하면, 미래비전과 4대전략의 하나로 기술분야가 있으며, 기술분야의 새로운 5대 전략산업(MESIA: 의료·바이오, 에너지·환경, 안전, 지식서비스, 항공우주) 중 하나로서 안전이 있다[4].

1.2 전기안전기술의 의의

전기안전기술은 전기에너지의 발생, 이동, 변환, 사용과 소멸에 이르는 전 과정에서 나타나는 의도하지 않은 에너지의 정상유도, 방지 및 제거를 실현하는 에너지 안전을 지향하는 기술이다. 전기안전을 실현하기 위한 방법으로는 절연, 접지, 안전장치로 구분할 수 있다[5]. 전기안전기술을 세분화하면, 설비결함

특집 : 전기안전 및 전기화재

분석과 절연향상을 중심으로 하는 에너지 운영설비 결합분석 및 설비고도화 기술, 유해 전기에너지에 대한 인지 또는 비인지에 대한 잠재 위험노출 방지기술로서의 휴먼에러 방지 및 안전공정기술과 전기에너지 흐름에 대한 감지 및 판단기술에 대한 전기에너지 및 주변 환경 모니터링기술, 끝으로 에너지 설비 및 시스템에 대한 불안전 예측 및 관리에 해당하는 에너지 운영설비 수명예측기술로 구분할 수 있다.

전기안전기술의 주요 요건은 전기에너지가 위화감이 없고 안전하다는 신뢰성에 근거하여야 하며, 주변 환경 변화에도 지속적인 안전을 추구해야 한다는 특징을 가져야 한다. 또한, 시대변화에 대응하고 생활 또는 산업에 적용 가능하다는 효율 극대화를 요건으로 한다.

1.3 국내 전기안전기술의 관점

기술교역 확대에 따른 국가 산업시설물에 대한 안전관리의 중요성 증가하고 있으며, 전기에너지의 고밀집도 심화에 따른 인체 안전 환경관리가 대두된다.

표 1. 전기안전기술의 주요요건에 대한 관점

| 구 분 | 주요조건 | | |
|--------------|-----------------------|------------------------|---------------------------------------|
| | 신뢰성 | 지속성 | 효율성 |
| 정 부 (공기관) | 각 단체와 전문가를 활용한 객관성 확보 | 국가주요 사업에 대한 정책 이반 가능 | 빠른 기술개발사업에 대한 각종 심의, 위원회 검토에 따른 저속 개발 |
| 공기업 | 공기업의 이권대변 기능성 | 공공성에 대한 관련분야 투자 | 기존 조직의 운영과 관리주체에 대한 불명확성 존재 |
| 민 간 | 기업의 이윤 확대 | 기업의 성장 또는 위기에 따라 단절 가능 | 기업의 이윤과 관련한 효율 극대화 |

따라서 전기환경에서 초래되는 시스템변화에 따른 구조적 해결이 요구되므로 오픈 글로벌 환경에 따른 국가 전기안전기술의 잠식 급속화가 우려되는 시점이다. 전력설비 고밀집도에 따른 전기안전 위험 요소 발생 증가하고, 노후 시설물 운영에 따른 전기안전 저해와 에너지 손실 발생이 예상되는 만큼 본질안전에 대한 인식과 인간중심의 포괄적 에너지 안전시스템 개발이 요구된다. 다수의 기술은 요소 단위화하여 안전에 대한 지향점을 찾고는 있으나 포괄적 투자는 기업의 이익이나 생산성 향상에 직접적인 영향을 주지 않는다는 이유만으로 투자가 기피된 상태이다.

국내 전기안전기술은 전기에너지 안전환경 실현을 통한 대국민 신뢰구축과 전기안전 인프라 및 기술 활성화, 인체 영향을 최소화할 수 있는 감전감지 및 감소 기술을 통한 전기안전 실현으로 안전체계화가 우선될 필요성이 있다.

2. 국내외 전기설비의 안전관리 동향

2.1 자가용 전기설비 법정검사

자가용 전기설비 법정검사는 산업자원부훈령 제32호(2014.3.31., 일부개정)에 의해 정의한다. 이 규정은 법에서 명시하고 있듯이 전기사업법 시행규칙 제31조 및 제32조에 따라 국내에 있는 자가용 전기설비의 사용전검사와 정기검사를 위한 검사절차 및 검사항목 등 세부기준을 정하여 전기설비의 안전성을 확보하는 데 목적이 있다[6-9]. 본 법정검사의 검사기관은 전기사업법 제98조 제2항에 따라 정부로부터 전기설비 검사업무를 위탁받아 한국전기안전공사가 수행하며, 시행규칙 제33조에 의해 기술 자격을 가진 자로서 전기설비 검사업무를 수행하는 공사에 소속된 검사자가 실시하도록 규정한다 [10-12].

2.2 전기설비 안전관리의 중요성

국내 전기설비는 산업발전이 시작한 이후에 큰 폭을 증가하는 추세이다. 66kV 이상 자가용 전기설비는 한국전기안전공사 통계자료 추산에 의하면, 초고압 이상의 자가용설비는 1980년 이전에 28호에 머무르던 것이 지속적으로 증가하여 약 400여호에 이르는 것으로 나타나 있다. 이외에도 산업용 설비를 합한다면, 국내의 전기설비는 단위면적당 밀집도가 상당히 높은 것으로 판단된다. 또한 전기에너지의 의존도가 높아짐에 따라 전기설비에 대한 유지보수 및 교체시기에 대한 관심이 많아지면서 과거의 생산시설 확장에 급급하던 산업안전체계가 전기안전을 인식하고 중요하게 여기는 시기가 되었다. 그럼에도 불구하고 전기설비가 밀집된 국가산업단지에서 발생하고 있는 사소한 전기안전 고장에 의한 사고파급은 국가경제를 위협하는 요소가 되었다. 2008년 여수산단과 2011년 울산산단에서 발생한 전기에너지 고장으로 인한 사고의 파급은 안전관리에 대해 시사하는 점이 크다. 이외에도 알려지지 않은 크고 작은 전기에너지 설비의 고장은 산업경제는 물론 국가 전반적인 안전에 영향을 미치고 있는 실정이다. 2012년 국가전략기술 종합분석 자료에 의하면, 국내 안전과 위기의식에 대한 이해와 대응이 매우 부족한 것으로 조사되고 있으며, 사후 정책이 제시되고는 있으나 실행이 매우 미미한 것으로 안전 전문가들은 응답하고 있다.

본 자료는 2008년 이후부터 정부에서 전기에너지 시설물에 대한 체계적 관리를 위해 66kV 이상 국가중요산업시설물에 대한 주기적 관리방안(6-14)을 정기적으로 실시하여 최근에는 고장을 미연에 방지하고 사고파급을 최소화하기 위한 전략적 접근을 위해 제시된 내용이다. 따라서 30년 이상 또는 취약한 설치 환경에 노출된 전기설비의 단계적 관리를 위해 안전검사 방안을 제시한다.

3. 66kV 이상 주요산업시설물 실태분석

3.1 대단위 설비의 현장 니즈

국내 66kV 이상 전기설비를 관리하는 안전관리자의 현 시점에서 요구하는 사항을 정리하면, 아래의 표와 같다.

표 2. 대단위 설비의 현장 요구기술 비교

| 구분 | 항목 | 내 용 |
|------------|---------------------|---|
| 니즈 기술 | 설비수명 | 표준수명, 표준 교체시기에 대한 제시 |
| | 설비점검 | 방치 설비에 대한 규제 표준 점검 절차서 |
| | 교육 프로그램 | 전문화된 특화 교육 66kV 이상 설비의 실무자용 교육 |
| | 최근 요구기술 | 낙뢰에 의한 전압 sag 원인 및 예방 기술 |
| 현장 경험기술 | GIS정밀검 사주기 | 약 20년으로 판단 옥내와 옥외 설치환경에 따라 매우 다 름 |
| | 제어계통 | 수명주기가 짧고 설비에 영향을 줄 수 있으므로 무조건 5년마다 교체 |
| | 피뢰기 | 2년마다 교체 |
| | 교체시기 주요 결정 요인 | 휴먼에러(작업동선이나 위험요소가 높 다고 판단되는 설비 중심) 노후설비(정밀진단 결과에 따른 노후 도 판단) |

우선적으로 요구되는 사항으로는 국내 설비가 현장에 가장 많이 설치된 시점인 1980년대를 기준으로 하여 설비의 노후에 따른 설비 수명 예측이 필요한 상태이다. 대다수의 전기설비는 정전시 또는 고장에 의한 생산손실을 줄이기 위하여 정밀한 안전검사와 더불어 각 설비를 교체 또는 수리시점에 대한 예측이 요구되며, 경제적이고 효율적인 시점에서 진행되기를 원한다.

3.2 현장실태조사

국내 66kV 이상 자가용 전기설비의 안전관리는 정기적인 안전검사 이외에 자체적으로 안전진단을 실시하여 전기설비의 안전을 지킨다. 현장조사는 국내 주요산업시설물로 선정된 30개소를 중심으로 조사하였다.

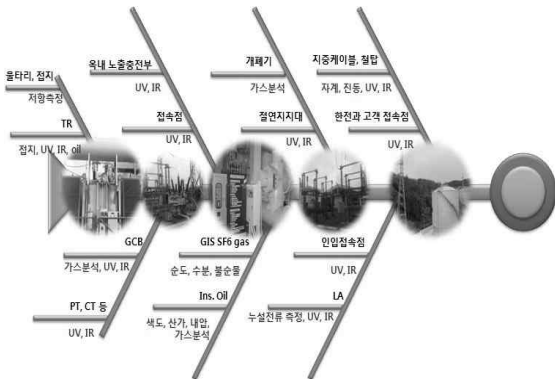


그림 1. 전기설비와 검출기술에 대한 피쉬본

국내의 자가용 전기설비 중 66kV 이상의 인입설비 설치분포를 보면, 옥외에 가공 또는 지중이 63.7%를 점유하는 것으로 나타났다. 옥외에 설치된 설비는 환경영향을 쉽게 받을 우려가 있으므로 환경적 관리가 더욱 중요하다.

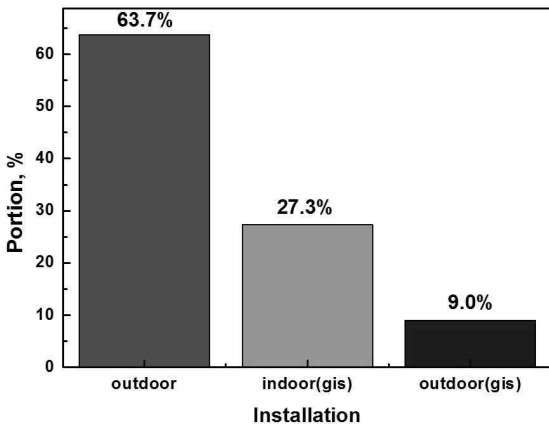


그림 2. 66kV 이상 자가용 전기설비 설치분포

최근 초고압 전기설비에 있어서 지중으로 바뀌는 추세에 있으나 54.5% 이상의 설비가 가공선로인 것으로 조사되었다.

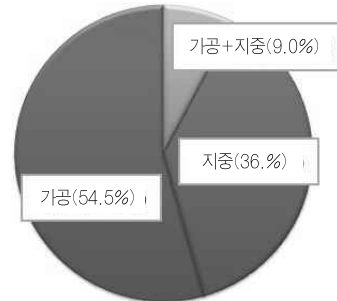


그림 3. 66kV 이상 자가용 전기설비 선로 분포

초고압 전기설비의 절연성능에 있어서 대표적인 GIS내 가스분석 주기를 보면, 대체적으로 1년에 2회 정도의 절연확인을 하는 것으로 확인되었다.

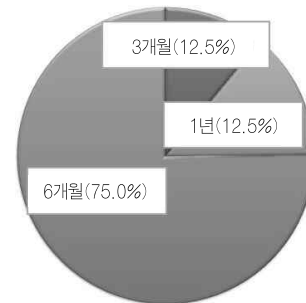


그림 4. 66kV 이상 자가용 전기설비 GIS 가스분석 주기 분포

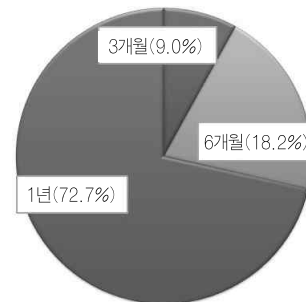


그림 5. 66kV 이상 자가용 전기설비 절연유분석 주기 분포

절연유인 경우에는 약 72.7%가 1년에 1회 정도 절연성능을 확인하는 것으로 조사되었다.

66kV 이상 전기설비는 고가이면서 교체시 대단위 설비의 정전을 초래하므로 생산차질이 우려되므로 교체시기에 대한 관심이 많은 것으로 나타났다.

3.3 안전관리를 위한 수명평가맵 구성

전기설비는 총 5개의 안전관리를 위한 수명평가맵을 구성한다. 구분 요소는 초기 제조, 설계, 시공에서부터 시스템 운영관리, 에너지 부하운영, 주변 환경, 절연상태 등으로 나누어지고 각 세부적인 사항을 검토하여 설비의 건전도를 평가하여야 한다.

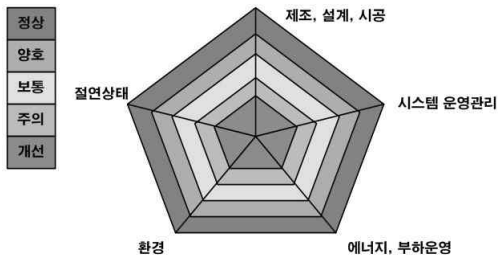


그림 6. 안전관리를 위한 수명평가맵

표 3. 안전관리 평가기준 요소

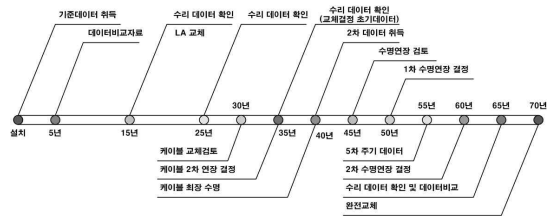
| 구분 | 평가기준요소 | 비고 |
|------------|--|----|
| 제조, 설계, 시공 | 설치장소, 공법의 적정성, 외부환경 영향 가능성 | |
| 시스템운영 | 운영관리체계, 주기적 관리방법, 교육의 적정성, 관리데이터의 연계성 | |
| 에너지, 부하환경 | 고조파, 과전압, 과전류, 노이즈, 누설전류, 코로나 | |
| 환경 | 파티클, 서지, 분진, 수분, 부식, 광, 균열, 강우, 폭풍, 눈, 열, 기온변화 | |
| 절연상태 | 부분방전, 절연, 유도장애(전기통신설비기술기준 제19조), 절연유 누유 및 변질, 가스내 수분침투, 변질 | |

안전관리에 필요한 평가기준 요소는 설치장소나 제조 및 설계 등의 초기요소가 중요하며, 시스템 내부 환경과 에너지 환경 및 외부 열화요인이 되는 분진이

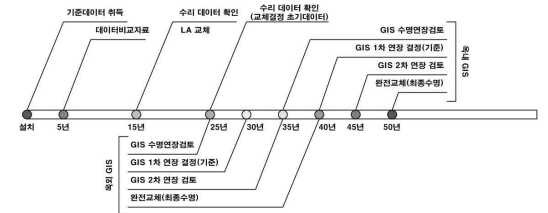
나 온도 등의 주변 환경 요소로 구분한다.

표 4. 국내외 전기설비 교체주기 비교

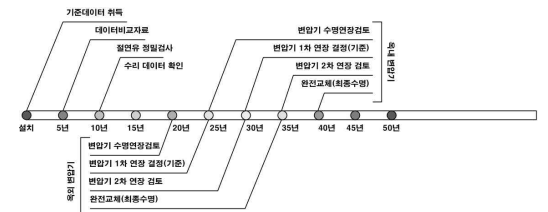
| 구분 | 수명주기, 년 | | 점검(C)/정밀검사(I) |
|------------------|------------|------------|---------------|
| | 일본/대한 전기학회 | 전력기술인협회 | |
| | | 평균 | 교체 |
| 철 탑 | | | |
| 케이블 | | | |
| 피뢰기 | 10-15 | | C(2) |
| GIS | 20-25 | | C(6) I(12) |
| Tr (154/22.9) | 15-20 | 30-32.4-35 | 25 |
| Tr (154/6.6) | 15-20 | 30-32.4-35 | 25 |



(a) 가공 및 지중전선로



(b) GIS



(c) 변압기

그림 7. 66kV 이상 인입설비의 수명평가 스케줄

특집 : 전기안전 및 전기화재

국내외 전기설비에 대한 교체주기를 비교하여 보면, 대체로 20년에서 30년 정도의 수명을 가지는 것으로 나타나 있다.

현장에서 조사된 내용과 수집된 자료를 근거로 하여 교체시기 스케줄을 정리하여 수명연장에 대한 기준으로 활용한다.

4. 전기설비 정밀안전검사를 위한 관리지수

66kV 이상의 전기설비는 조그만 고장으로 인한 사고의 파급과 경제적인 손실이 크기 때문에 기존 정기검사 주기로는 설비의 안전을 확보하기가 어렵다. 또한, 전체 설비를 동시에 정밀안전검사를 실시하는 것에 대해서는 많은 시간과 비효율성이 내포되어 있으므로 국내에 설치운영 중인 400여개소의 66kV 이상 국가주요산업시설물에 대하여 초기 관리지수에 의한 평가를 실시하고 총 4단계의 관리방법을 제시하는 것이 효율적이다. 따라서 국내외 자산관리 자료와 현장에서 수집한 전기설비의 운영실태를 평가하여 가공전선로, 지중전선로, GIS, 변압기에 대한 각 세부적인 요소를 13개로 구분하고, 수령, 환경, 점검시기, 고장이력에 대한 내용으로 단계별 평가를 실시한 후 정량적인 관리지수를 마련하였다.

현장실태조사를 통해 피드백된 자료를 근거로 하여 관리지수에 대한 단계 단계별 관리방법을 제안한다. 양호, 자체, 보고, 집중관리로 구분하여 실시하고 양호인 경우에는 설비의 상태 노후정도 및 건전도가 매우 양호한 상태를 의미한다. 자체관리에 해당하는 부분은 설비의 설치상태는 일정기간 지났으나 주기적인 관리나 설비의 환경이 양호하여 자체적인 점검을 통해 가능하다. 보고관리가 필요한 설비는 기존에 실시하는 1년에 2회의 전문가 정밀점검을 통해 보고자료가 정부에 보고되며, 관리되는 설비를 의미한다. 또한 집중관리 대상 설비는 고장이력과 설비의 노후도 및 설치환경이 열악한 상태로 주기적인 정밀안전검사를

통해 강제적인 관리가 요구되는 설비를 의미한다. 국가 중요산업시설물은 조그만 고장요소로 주변 설비와 인근지역에 영향을 파급하는 정도가 큼으로 집중적인 관리를 통해 안전을 확보할 필요가 있다.

표 5. 66kV 이상 전기설비의 구분과 평가표

| 구분 | 수령 <10~20≤ | 환경 옥내외/ 지중 | 점검 1<,없음 | 고장 없음, ≤3< |
|-------|---------------|------------------|-------------|---------------|
| | | | | |
| 지중전선로 | 맨홀 | 케이블 | 부속품 | |
| GIS | 가스 | 본체 | 부싱 | |
| | 절연유 | | | |
| | 변압기 | 본체 | 부싱 | |

표 6. 관리지수별 관리방법

| 구분 | 관리지수 | 내용 | 비고 |
|----|---------|--|--------------------------------|
| 양호 | 0≤M<40 | 자체 관리 및 점검이 양호한 기업 지속적인 관리로 사고가 거의 없는 기업 열화진행이 늦도록 설계된 환경 | 정기검사 |
| 자체 | 40≤M<50 | 장기간 설치 운영중인 설비 설치된 지역이 설비에 영향을 미치는 환경 사고이력과 설치환경이 좋지 않은 설비 | 정기적인 확인 (인지) (정기검사 때 안내) |
| 보고 | 50≤M<60 | 설치된 설비의 이력관리가 필요한 상태 환경영향을 쉽게 받을 수 있는 설비 정기적인 관리가 미미한 상태 | 정기적인 보고 (기존방식) |
| 집중 | 60≤M | 방치 수준의 설비 자체관리가 이루어지지 않는 설비 장기간 사용된 설비 사고이력 | 정기적인 검사강화 (검사주기 조정 등) |

5. 결 론

66kV 이상 전기설비는 대단위 산업시설에 분포되어 있으며, 설비의 트러블에 의해 광범위한 사고파급이 예상된다. 따라서 각 요소의 취약지점의 관리는 초기 대응 및 지속적인 설비관리에 중요한 역할을 담당한다. 본 자료는 기존의 검사항목에서 포함된 부분과 포함되지 않은 다양한 기법이 있으나 최종적으로는 전기설비에서 발생하는 다양한 이상신호를 효과적으로 검출하고 관리하고자 하는 데 그 목적이 있다. 특히 설비대상물의 취약지점을 선정하고 그중에 위험우선순위를 정함으로써 내부의 트러블이나 설비이력관리에 도움이 될 수 있도록 자체 측정 및 진단표를 개발하였다. 가공전선로는 지지물이나 절연, 자계 영향이 중요한 이슈가 되므로 이에 대한 기록관리가 필요하다. 또한, 지중전선로는 전력구 내부의 콘크리트 구조에 대한 평가가 중요하며, 이외에도 전기설비의 이상신호를 효과적으로 관리할 수 있는 데이터 관리방법이 요구된다. GIS는 옥내 또는 옥외 관리방법에 따라 수명이 달라지므로 설치환경에 의한 평가와 내부 절연물인 SF6가스 분석이 요구된다. 변압기는 외관 상태와 내부 절연물인 절연유의 분석을 세분화하여 관리하는 것이 중요하다. 본 자료는 154kV 설비에 있어서 각 철탑에 대한 기록, 각각의 지중전선로 또는 GIS나 변압기의 기록을 정리하여 관리하는 방법을 제안한 것으로 설비의 교체시기 결정이나 주기적인 안전관리에도 매우 효과적일 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 이동훈, 김경란, 양수진, “2012 국가브랜드지수 조사결과”, SERI issue paper, SERI-PCNB NBDO(대통령직속 국가브랜드위원회 및 삼성경제연구소가 개발한 NBDO모델), 2012.
- [2] 한국전기안전공사, “전기재해통계분석”, 제23권, 2014.
- [3] 이광형 등, “대한민국 국가미래전략”, KAIST 문술리포트 2015.
- [4] 송길목 외 5명, “20년 이상 노후 수전전기설비 실태조사 및 정밀안전검사 매뉴얼 개발”, 2014.
- [5] 송길목, “전기설비 자산관리 시스템 개발동향과 전기안전전략”, Vol.240, pp.14~17, 2015.03.
- [6] IEC 60060-1:1989, “High-voltage test techniques - Part 1: 4General definitions and test requirements”.
- [7] 전기설비기술기준 제2절 전기공급설비의 시설 제41조 가스 절연기기 등의 시설.
- [8] IEC 62067(2006) Power Cable with extruded insulation and their accessories for rated voltage above 150kV(Um=170kV) up to 500kV(Um=525kV) - Test methods and requirements.
- [9] IEC/EN 62061, “Safety of machinery: Functional safety of electrical, electronic and programmable electronic control systems”.
- [10] CIGRE TF 15.03.07: “Long-term performance of SF6 insulated systems”, CIGRE Report 15-301, Session 2002, Paris.
- [11] IEC 60567, “Oil-filled electrical equipment - Sampling of gases and of oil for analysis of free and dissolved gases - Guidance”, 2005.
- [12] 한국전기안전공사, “무정전검사매뉴얼”, 2012.
- [13] NEMA TP 1-2002, “Guide for Determining Energy Efficiency for Distribution Transformers”, 2002.
- [14] ASTM D7150, “Standard Test Method for the Determination of Gassing Characteristics of Insulating Liquids Under Thermal Stress at Low temperature”.

◇ 저 자 소 개 ◇



송길목(宋佶穆)

1967년 3월 31일생. 1994년 숭실대 전기공학과 졸업. 2007년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 책임연구원.