

수변전설비의 갱신을 위한 진행절차와 갱신계획

김 세 동

두원공과대학 교수(공학박사/기술사)

1. 머리말

근래에 들어 전자통신기술의 발전과 각종 뉴미디어의 실용화로 고도의 정보화사회가 급속하게 진전되고 있는 가운데, 기업은 물론 가정에 이르기까지 컴퓨터 및 정보통신기기처럼 순간적인 전압의 저하도 허용하지 않는 중요한 부하기기의 사용이 급증하고 있다. 이와 같은 정보통신기기 및 컴퓨터시스템 등은 순간정전, 전압변동, 노이즈, 정전기, 고조파전류 등의 영향을 쉽게 받기 때문에 이러한 점을 충분히 고려하여 전원공급설비의 신뢰성과 안전성의 확보가 절실하게 요청되고 있다.

그러나 기존의 15년 이상 지난 건축물에 있는 변압기, 전력용 콘덴서, 고압차단기 등은 상대적으로 노후화한 것이 많아, 전기설비의 열화가 사회문제로 되고 있다. 만약 전기기기의 노후화 등으로 고장사고가 발생하였을 때 전기기기의 고장수리가 즉시 행해질 경우에는 큰 문제가 발생되지 않겠지만 노후화된 전기기기의 재사용이 불가능하게 될 경우에는 자재의 구입, 설계, 설치하는 데까지 많

은 시간이 소요되므로 장시간의 정전이 불가피하게 될 것이다. 이로 인하여 많은 이해관계자와 입주자들로부터 질책을 받게 되고 전기설비 관계자들은 철저히 대비하지 않은데 대해 합당한 책임을 지게 될 것이다.

이와 같은 문제는 비단 15년 이상이 지난 건축물 뿐만 아니라 빌딩의 용도 변경이나 사용기기(OA화) 증대 등에 의한 설비기능의 능력 부족(과부하의 지속 발생)으로 인해 모든 수용가에서 많이 발생되리라 예상된다. 따라서 전기설비 구성 기기의 이상 여부에 대해서는 철저히 점검, 확인, 검사, 열화진단 등의 과정을 통하여 관리해 나가야 하며 최신 기술에 입각한 수변전설비의 갱신, 즉 현대화를 계획할 필요가 있다.

종래 이와 같은 갱신계획은 단지 부분개수의 범위에 대응해서 설비기기의 교체를 검토하는데 지나지 않았다. 그러나 정보화사회의 변화로 전기설비의 무정전화, 정전압 및 정주파수의 유지와 고조파 전류 성분이 없는 전력품질을 요구하고 있으므로 기존의 건물을 보다 합리적으로 재생하여 근대적인 기능을 구비한 건물로서의 리뉴얼 기법이 필요하다.

2. 수변전설비 갱신의 필요성

최근 고도 정보화사회의 진전으로 수변전설비의 중요성은 더욱더 강조되고 있다. 그러나 1970~1980년대와 고도 성장기에 건설된 빌딩, 공장, 플랜트 등의 설비는 20년 이상이 경과되었고, 설비의 노후화에 의해 사고 확률이 높아짐에 따라 전력공급 신뢰도가 크게 저하되고 있다. 따라서, 수변전설비의 갱신의 필요성을 들면 다음과 같다.

가. 전기기기의 고장사고 증가

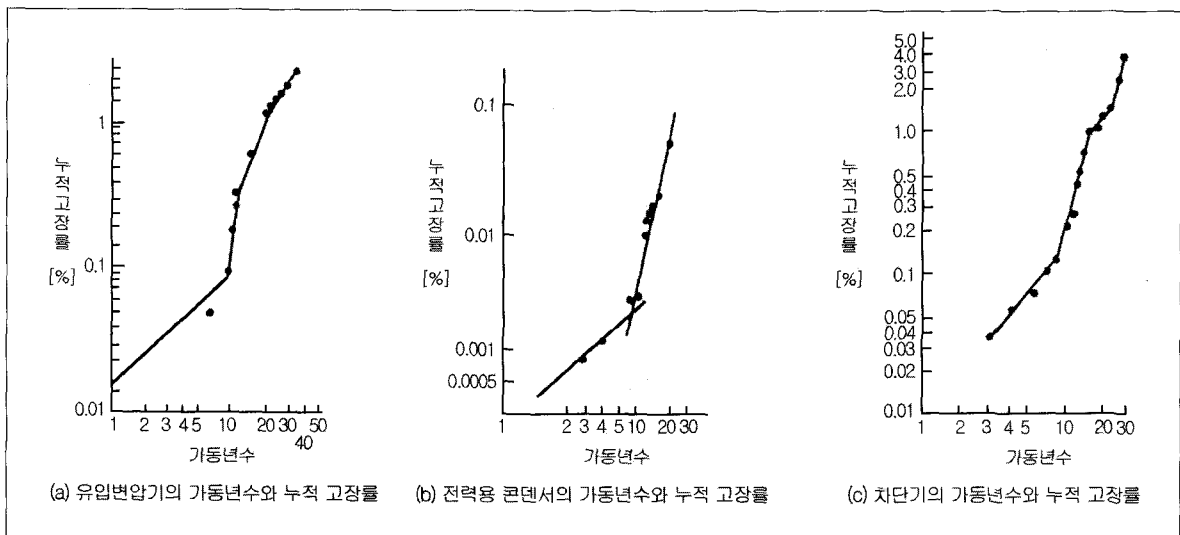
그림 1은 전기기기의 고장률 증가 경향을 나타낸 것이다. 일본전기학회의 기술보고 자료에 의하면 변압기 및 고압 전상콘덴서, 고압 차단기 등은 가동후 10년이 경과되면서 고장 발생률이 크게 높아지는 것으로 분석되었다. 따라서 전기기기의 사고발생시 발생 경위, 원인, 정전 범위, 조치 방법 등에 대해 사고발생 일지를 작성하고 연간 또는 5년, 10년간의 통계를 토대로 갱신 계획을 검토한다.

나. 노후화에 의한 기기의 갱신시기

국내 관련 법규 중에서 공동주택관리령에 의하면 주요 시설의 내구 연한이 명시되어 있는데, 변압기는 17년, 발전기는 16년, 승강기는 18년, 고압 케이블은 30년으로 규정하고 있다. 일반적으로 기기류의 일반적인 기대 수명은 표 1과 같이 보고되고 있으나 기기의 사용 상태(차단기의 부하전류값, 변압기의 부하 상태 등), 과거의 전기사고 발생 현황, 사용 환경 상태에 따라 큰 차이가 있으므로 각각의 진단 기술을 이용해서 판단해야 한다.

다. 정보화사회의 진전으로 부하의 증가

빌딩의 인텔리전트화 등에 의한 전산부하 및 냉방부하의 급증으로 수변전설비 용량의 부족이 초래되고 있다. 한국건설기술연구원의 연구보고서(1995년)에 의하면 조사 건물 121개소 중 변전설비용량을 증가시킨 수용가가 22개소로 분석되었으며, 변압기용량의 증가 요인은 대부분이 사무자동화기기 등 전산부하가 증가되면서 무정전 전원장치가 설치되고 있고, 아울러 냉방부하가 증가한 것



〈그림 1〉 전기기기의 고장률 증가 경향

〈표 1〉 전기기기의 갱신 추천 시기

종 류	갱신 추천 시기
고압 교류부하개폐기	육내용 15년 또는 부하전류개폐 횟수 200회 육외용 10년 또는 부하전류개폐 횟수 200회
단로기	수동조작 20년 또는 조작횟수 1,000회 동력조작 20년 또는 조작횟수 10,000회
피뢰기	15년, 또는 규정개폐횟수
교류차단기	20년
변압기	20년
계기용 변성기	15년
보호계전기	15년
고압한류퓨즈	육내용 15년, 육외용 10년
고압교류전자접촉기	15년, 또는 규정개폐 횟수
고압진상콘덴서	15년
직렬리액터, 방전코일	15년

으로 나타났다.

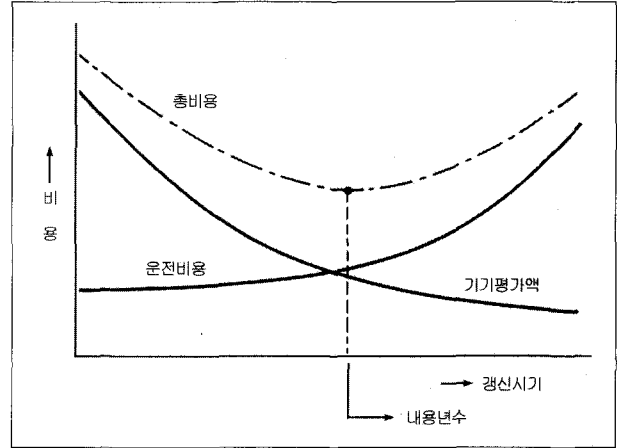
표 2에 인텔리전트빌딩에서의 사무자동화기기 용량과 냉방장치용 전원용량 기준을 나타내었다. 최근의 정보화 사회에서는 인텔리전트화 정도에 따라 부하가 증가되고 있으며 이를 고려한 수변전설비 전체의 갱신이 요구되고 있다.

〈표 2〉 인텔리전트화 단계별 OA기기 용량과 냉방장치용 전원용량

OA화 단계	OA기기	OA기기의 설비용량 (VA/m ²)	냉방장치용 전원용량 (VA/m ²)
제1단계	1대/10인	15	6
제2단계	1대/5인	25	12
제3단계	1대/1~2인	40	28
전산실		200 이상	100 이상

라. 보수비의 증가

전기설비의 노후화가 진행되면서 부품의 교환과 수리 횟수는 점점 많아지게 되며, 이렇게 10년이 경과하게 되면 유지관리비, 즉 유지보전에 따르는 비용은 크게 증가



〈그림 2〉 사용기간의 총비용 추이

하는 것으로 보고되고 있다. 그림 2는 사용기간 동안의 소비비용의 추이를 나타낸 것이며, 라이프 사이클(사용 기간) 비용은 연구, 개발, 설계, 생산, 운용에서 폐기에 이르는 모든 것에 필요한 토탈 코스트이다. 건축물에서 건설비에 대한 준공후의 운용관리 비용의 비율을 살펴보면 일반 사무소용빌딩의 경우 25년을 사용했다면 1.5~2배 정도이지만, 65년이 되면 4~5.5배 정도가 된다. 따라서 사용기간이 짧은 건물에서는 건설비가 중요한 요소이지만 장기간 사용할 건물은 건설비가 아닌 운용관리 비용이 중요한 요소가 된다.

최근 전기기기 기술의 혁신이나 사회 동향의 변화에 따라서 신제품이 개발되고, 에너지절약형 및 콤팩트형, 초소형, 인텔리전트화된 기술이 현저히 향상되고 있는 현재로서는 이러한 최신 기술에 입각한 수변전설비의 갱신, 즉 현대화를 계획할 필요가 있다.

3. 설비의 현상 파악 및 진단

가. 전기설비의 현상 파악

전기설비의 개체에 있어서는 설비에 대한 불만이나 크

레이미 설비의 열화나 노후화의 현상 뿐만 아니라 이 건물을 향후 어떻게 운용하고 싶다는 건물 소유자나 관리자의 의견을 듣고 개선의 목적이 어디에 있는가를 정확히 파악하고 대응하기 위하여 설비를 조사·진단하여 정확히 현황을 확인하는 것이 중요하다.

(1) 개체 목적의 확인

전기설비의 개체 계획에 있어서는 그 목적을 명확히 하여 대응하여야 하며, 주된 개체의 목적에는 다음과 같은 것이 고려된다.

- ① 변압기, 차단기, 전력용 콘덴서, 개폐기 등의 열화 상태 및 기대 수명 파악
- ② 건물의 요구 기능에 대응한 고신뢰도 확보를 위한 전기설비시스템의 기능 향상
- ③ 순간정전 발생의 최소화, 접지(1Ω 이하) 기능의 향상
- ④ 전기설비용량의 증가에 대응한 초에너지절약형 시스템 구성
- ⑤ 사무자동화에 대응한 배선시스템과 건축화 조명방식의 검토
- ⑥ 현행 관련 법규의 적합

(2) 사회 환경의 변화

건물의 사용 환경이 매우 달라지고 있으며 기업에 있어 정보의 중요성이 가장 중요한 요소로 등장하였다. 21세기를 지향하는 빌딩으로서 이미지 제고와 세계화 추세에 부응한 기업 경쟁력 확보, 빌딩 근무자의 창의적이고 편리한 사무환경의 조성이 필요하며 이에 대응한 사항을 고려한다.

- ① 24시간 운용 가능한 공간으로 전기관련 설비는 신뢰성과 안정성의 최우선 배려
- ② 사무공간의 쾌적성, 편리성, 관리성 지향
- ③ 사무자동화 및 안전성 확보 대응
- ④ 전력다소비화 빌딩이므로 에너지절약화에 대응

- ⑤ 에너지의 다양화(전력, 가스, 오일 등)

(3) 전기기기의 현대화 경향

전기설비 기기의 신제품 개발이 빠른 속도로 진행되고 있으며 기기의 효율화, 콤팩트화, 경량화, 범용화가 진행되고 있다. 기기의 갱신에 있어서는 규격화, 경량화, 불연화를 적극적으로 채택하여 운용의 효율화를 유지, 보전비용의 저감화를 도모하여야 할 것이다. 전기기기의 갱신에 있어서 유의할 점은 다음과 같다.

- ① 범용화, 규격화
- ② 콤팩트화, 경량화
- ③ 오일레스화, 불연화
- ④ 프리 메인テナンス화, 페일 세이프 회로화
- ⑤ 고효율화
- ⑥ 전자화
- ⑦ 에너지절약화

나. 점검조사 및 진단의 절차

전기설비의 점검 조사는 일상점검과 정기점검, 정밀점검 등의 방법이 있으며, 최근에는 전기기기의 열화 진단 기법이 개발되어 보다 정확한 설비진단이 가능해졌다. 일반적으로 전기설비의 개체계획을 입안하는 데는 이제까지의 고장 발생 경향, 원인 등의 축적된 정보를 토대로 방향 설정이 필요하며 현재 그들의 전기설비가 어떠한 상황에 놓여 있고 어떠한 상태로 운전되고 있는가에 대하여 정보를 수집할 필요가 있다. 참고로 주요 전기기기의 점검 주기 및 점검대상에 대하여 표 3에 나타내었다.

조사, 진단을 효율적으로 하기 위하여 예비 조사로 현황을 파악하고 이것을 바탕으로 하여 조사, 진단계획서를 작성하며 조사 진단은 1차, 2차로 단계적으로 기준을 높여가는 방법을 취한다.

(1) 점검 조사

점검은 경험과 기술을 갖춘 자가 기술기준에의 적합여

〈표 3〉 주요 전기기기의 점검주기 및 점검 대상

기기의 종류	일상순시점검		정기순시점검		정밀점검		측 정	
	주기	점검 개소	주기	점검 개소	주기	점검 개소	주기	점검 항목
수전용 변압기	1일	외부점검, 누유, 오손, 진동, 음향, 온도	1년	유량, 질소량	2년	탭전환장치 분해, 점검 손질, 기름 교환	1년	절연저항 측정
	1일	탭전환장치 동작	1년	외부의 손상, 부식, 발청, 이완				
	1년	실리카겔 흡습상태	1년	단자접지선 접속부				
	1년		애자관의 오손					
1년	1년	1년	1년	1년	2년	절연내력 시험		
차단기	1일	외부점검, 기름 누설, 과열, 발청, 손상 지시 점등 압력계의 지시	1년	각부의 손상, 부식, 발청, 과열, 변형	3년	분해점검, 개극투입 시간 측정, 패킹류 교체	1년	절연저항 측정
	1년		1년	조작상태기구				
	1년		1년	부속장치의 상태				
	1년		1년	기름의 오손				
	1년	1년	외관외부의 오손					
	1년	1년	1년	단자접지선 접속부				
피뢰기	1일	외부의 손상, 균열, 이완, 오손	1년	외부의 손상, 균열, 이완, 오손			1년	절연저항 측정
	1년		1년	단자접지선 접속부			1년	절연저항 측정 필요에 따라 뇌전류의 측정

부를 육안 또는 점검기구 등으로 검사하여 설비에 내재되어 있는 위험 요인을 조사하는 행위로 정의할 수 있으며, 최근에는 운전상태와 간단한 체크를 위한 측정기구가 여러 가지 고안되어 있으므로 일상 점검의 레벨업을 피하고 정밀도를 향상시키기 위해서도 이들 측정 기구나 새로운 기술을 채택할 필요가 있다. 점검 조사의 주요 내용은 다음과 같다.

- ① 종전부터 고장 발생 경향, 원인 등의 축적된 자료를 토대로 설비의 현재 상태 파악
- ② 돌발 고장의 원인 규명, 정기 점검 정비, 정밀 점검 정비 결과 분석
- ③ 현재 전기기기의 상태와 운전 상황 파악

(2) 진단 레벨의 설정

정밀진단은 점검을 실시한 결과 설비의 재해 예방 및 안전성 확보 등을 위하여 필요시 또는 안전성 및 결함의 원인 등을 조사, 측정, 평가하여 보수, 개체 등의 합리적인 방법을 제시하는 것이라고 정의하고 있다.

진단 레벨은 조사 진단의 목적에 따라 진단 항목, 진단

방법 등에 의해 다음과 같이 구분된다. 점검 조사에 따라서 '개수 목표'에 적합한 진단 레벨을 설정하고 조사 대상은 전기기기와 부위마다 취하는 것으로 하고 그것에 대응하는 조사 방법, 측정 계기, 판정 기준 등을 설정한다.

(가) 1차 진단

전기안전관리담당자 또는 전문 기술자가 점검 조사 결과를 토대로 열화의 진행 상태 등을 정성적으로 알 수 있는 진단

(나) 2차 진단(정밀 진단)

1차 진단에서 평가할 수 없는 부분에 대해서는 전문가나 제작회사의 기술자가 측정 계기 등을 사용하여 계측하고 정량적으로 실시, 평가 진단하여 기대 수명 예측 및 개체 여부 등을 판단

다. 전기설비의 진단

(1) 열화 진단

기존 설비 개개의 기기에 관해서 열화 상태를 진단하고

잉여 수명을 판단한 다음 갱신 대상으로 할 것인가를 판단한다. 열화 진단을 할 때에 유의하여야 할 사항은 다음과 같다.

- ① 기기의 사용 상태(차단기의 부하전류 값, 변압기의 부하 상태 등), 과거의 전기 사고 발생 현황, 사용 환경 상태에 따라 큰 차이가 있으므로 각각의 진단기술을 이용해서 판단해야 한다(표 4 참조).
- ② 기기는 구조에 따라서 수리할 수 있는 것과 수리할

수 없는 것이 있으므로 부품 교환이 가능한 것일지라도 기존 부품의 잉여 수명에 따라서는 종합적인 판단으로 기기의 갱신을 검토해야 한다.

- ③ 열화 진단에서 문제가 없는 기기일지라도 시스템으로 구성되어 있는 다른 재사용 기기의 잉여 수명에 대해 사용 가능 기간이 짧은 경우는 메인터넌스 등을 고려해서 갱신해야 한다.

(2) 법규상의 진단

갱신 계획을 할 때 현행 법규에 소급(遡及)이 문제가 되는 경우가 있으므로 각각 법규에 따라 평가해야 한다. 주요 검토 사항은 다음과 같다.

- ① 수변전설비에 있어서의 보호 협조와 차단용량 확인
- ② 충전부의 보호 방법 확인
- ③ 기기, 반 등의 내진 확인
- ④ 비상용 부하와 일반 부하의 구분, 비상전원과 소방법, 건축법과의 적합성 확인
- ⑤ 전기실, 발전기실 등의 전용 구획 확인
- ⑥ 간선설비에서의 구획 처리 확인

(3) 기능상의 진단

최근에는 순간정전도 허용하지 않는 중요 부하기기의 사용 증가로 인하여 신뢰도 높은 수변전설비의 구성이 요구되고 있으므로 빌딩의 기능상, 성격, 용도 등을 종합적으로 검토하여 신뢰성, 안전성, 경제성 등을 파악하여 계획되어야 한다. 따라서 다음과 같은 사항을 고려하여 검토한다.

- ① 부하의 중요도를 고려하고 중요 부하의 전기설비에 대해 공급신뢰도를 높일 수 있는 수변전 및 배전 방식에 관해 검토한다.
- ② 순간정전도 허용되지 않는 부하에 대해서는 무정전 전원장치의 설치 여부를 검토한다.
- ③ 고조파 영향의 유무에 관해 검토한다.
- ④ 변압기의 부하 구분은 적절히 되어 있는지를 검토

〈표 4〉 전기설비의 진단 센서 기술

감시대상기기	측정 항목	방법
GIS	부분방전	절연스페이스법 외피전극법 전압차동법 전자카폴링법 내부전극법 가속도센서법
	부분방전(이물검출)	초음파법
	가스압력	압력센서 가스밀도스위치
	지락검출	지락전류법 충격압력검출법 지락섬광법 진동법 온도법 압력센서법
GCB	개폐시간	개폐시간법(광센서, 보조점점) 스트로크 측정법 저속구동법 전류검출법
	점점소모량	전류검출법(CT)
	유압	유압센서
피뢰기	누전류	동기정류법 제3고조파 검출법(고주파CT)
	방전전류	방전전류검출(고주파CT)
변압기	부분방전 지락검출 국부과열	유중가스 검출법 코로나 마이크법 CT 전류법
	유온	온도센서
	유면	유면센서
	변압기(LTC)	동작시간
모터전류		CT법
축토크		토크센서법

한다.

- ⑤ 간선설비에서 계통 구분이 갱신 계획에 적합한지를 검토한다.

4. 갱신 계획

가. 계획의 순서

먼저 기본방침을 입안하여 그 방침에 근거하여 기존 설비용량이 갱신계획의 부하설비 및 장래의 상정 부하에 공급할 전력량을 충족시킬 것인가의 여부를 검토하여 충분하다면 기존설비 각 항목의 기능을 진단, 검토한다. 불충분하다면 계약 전력량의 검토, 수전 시스템과 배전 방식을 선정해야 하고 기존 설비의 그레이드업 정도에 관해서는 초기투자비와 유지관리비를 종합적으로 판단한 다음 현대화 기술의 도입을 검토하여 갱신안을 작성한다. 더욱이 기존 건물 고유의 계약 조건을 가미하여 갱신안에 대한 평가를 하는 것이 중요한 일이다.

나. 수전설비 용량의 검토

수변전 및 간선설비의 갱신 계획을 입안함에 있어 먼저 부하설비의 계획을 바탕으로 그 부하의 집계, 수전설비용량을 선정한다. 기존 부하설비와 현재의 부하설비와의 주된 상위점은 조명설비나 공조설비의 충실, 엘리베이터 기타 설비의 다양화, 방재설비의 신규 도입 등에 따른 공급전력량의 증대 및 OA 기기의 증가에 대한 공급전력량의 증가이다.

이를 위해서는 갱신 외에 부하설비 용량을 충족시킬 뿐만 아니라 장래의 빌딩 상정 부하용량을 적절하게 파악하고 그 대응책을 마련해야 한다.

다. 고신뢰도 전원공급설비 구축

수변전설비의 무정전화를 도모하기 위해 고신뢰도 전원시스템을 계획할 경우 유의점과 구체적 구성 예를 들면

다음과 같다.

- ① 수전방식은 상용·예비 2회선 수전으로 한다.
- ② PCT는 1PCT 바이패스로 한다.
- ③ 특별고압 변압기는 2대로 하고, 1차 개폐기는 차단기를 채용한다.
- ④ 모선은 2계통으로 하고, 모선 연락차단기를 2대 직렬로 한다.
- ⑤ 비상용 발전기는 2대 이상으로 하고, 분할된 모선 각각에 접속한다.
- ⑥ 저압 간선은 이중화한다.
- ⑦ 부하의 용도별로 전력공급을 구분하고, 순간정전도 허용되지 않는 부하에 대해서는 UPS를 설치한다.

라. 기존설비의 제약조건 검토

기존 건물의 갱신이므로 신축공사의 경우에 비해서 각종 제약조건이 발생한다. 갱신계획을 입안할 때 이러한 조건을 충분히 파악하여 대책을 강구해야 한다.

(1) 기존 건축상의 제약조건

갱신의 경우 대부분이 기존 전기실, EPS 등을 사용하는 경우가 많다. 이러한 경우, 갱신계획에는 다음과 같은 점을 고려해야 한다.

- ① 기존 전기실, 발전기실, 축전지실에서 기기의 레이아웃과 메인터넌스 공간의 검토
- ② 기존 EPS에서의 간선설비와 각 반(Panel)의 레이아웃 및 메인터넌스 공간의 검토
- ③ 갱신 기기의 반입루트 확보 등 관련사항(반입구의 크기, 반입 루트의 선정, 기설 승강설비의 허용하중, 인양중기의 선정, 설치장소, 도로사용 허가 등) 검토

(2) 빌딩 영업종 갱신 시공에 따른 제약조건

기존 빌딩의 갱신이므로 빌딩 업무와의 관련에 따른 제

약 조건은 공정상 큰 영향을 준다. 시공 계획에 임해서는 다음과 같은 점에 유의해야 한다.

- ① 정전을 필요로 하는 작업과 필요로 하지 않는 작업을 구분해야 하고, 정전작업 횟수를 파악하여 사전에 공정상의 조정을 해야 한다.
- ② 안전상 충전부와 작업범위를 충분히 검토하여 활선 작업, 활선근접 작업을 충분히 계획하고 정전작업을 철저히 하도록 한다.
- ③ 갱신 작업 및 복구 작업의 반복이 많으므로 한 공정의 작업시간을 충분히 파악, 예비시간도 고려하여 복구에 지장이 없도록 한다.

5. 맺음말

전력수요에 따른 공급이 안정되면서 수용가는 보다 양질의 전력을 요구하게 되고 따라서 전기설비는 장기간의 원활한 운용과 신뢰성 확보가 매우 중요한 문제가 되고 있다. 더욱이 전력설비의 용량이 커짐에 따라서 사고시 그 파급효과가 커져서 정치, 사회 문제로까지 확대될 수

있다. 이와 같은 사회적 요청에 따라 전기설비를 합리적으로 유지 보수함으로써 안정성과 신뢰성을 확보하며 사고를 미연에 방지하는 것은 매우 중요하며, 이때 전력공급의 중단 없이 설비의 이상 유무를 진단, 감시하기 위한 기술이 활발히 연구되고 있다.

발전기와 같은 전력설비는 회전부분이 있어서 고장날 가능성이 큰 만큼 유지보수에 많은 관심을 기울여야 하며, 예방 보수에 역점을 두어서 1년에 한번은 고장이 없더라도 정지시킨 다음 분해, 검사를 하고 재조립하는 과정을 거친다. 그러나 변압기는 정지기기로서 고장이 잘 나지 않는 설비이므로 예방 보수보다는 고장이 났을 때 교체하기 위한 예비 변압기를 준비하는 정도이고 절연 열화를 검사하기 위한 유중가스 분석이 고작이었다. 그러나 1981년대에 들어서면서 우리 나라에서도 변압기 고장률이 급격히 증가하면서 전력용 변압기의 예방진단에 관하여 관심을 갖기 시작하였으며, 앞으로 전기설비 구성기기의 몰드화, 난연화, 가스절연화, 컴팩트화하는 것은 물론 상시 감시가 가능한 예방 보전시스템의 도입이 적극 검토되고 있다. ☒

참고 문헌

- 1. 편집부, '예방보전과 최근의 진단기술 동향', 월간 전기, No.5, 2000
- 2. 김홍국, '빌딩의 전기안전관리', 전기안전, No.4, 1995
- 3. 편집부, '라이프사이클 코스트 분석법' 전기기술, No.1, 1996
- 4. 김세동 외, '전기설비의 고장사고 예방 및 진단기법에 관한 연구', 한국건설기술연구원, 1995
- 5. 구자윤 외, '전기설비의 예방보전과 보존관리', 한국조명전기설비학회, 1999
- 6. 김영록, 김선경, '자가용전기설비 보수관리 핸드북', 성안당, 1997
- 7. 전기기술편집부, '변압기의 고장진단 요령', 성안당, 1997
- 8. 中島廣一, '電源システムの 障害とその 影響', 日本電氣設備學會誌, No. 11, 1997
- 9. 中島和弘, '停電對策と電源設備の高信賴化', 日本電氣設備學會誌, No. 11, 1997
- 10. 當麻喜弘, '高信賴化技術入門', 日本規格協會, 1988
- 11. 田中久雄外, '受配電設備更新マニュアル', 오ム社, 1997
- 12. 中川康彦外, '電氣設備のモダニゼーション', 日本電設工業協會, 1997
- 13. R.C. Dugan, M.F. McGranaghan and H.W. Beaty, 'Electrical Power Systems Quality', McGraw-Hill, pp.70~80, 1996