

절연재료 · 기술의 Expert System

박 대 회

(원광대 공대 재료공학과 조교수)

1. 서 론

전기에너지의 신뢰성 높은 공급은 전기절연기술의 뒷받침이 없이는 실현되기 어려우나, 이를 위한 절연재료에 관한 연구·개발의 성과는 안정성 높은 차기송전체계 및 전력기기의 확대를 실현시키고 있다. 그러나, 최근에는 이 분야의 전문가가 점점 적어지고, 이미 도달한 기술수준마저 지탱하기 어렵다고 한다. 따라서 이미 도달한 기술에 더욱 착실한 기술의 진보를 유도하기 위해서는 새로운 면의 연구전개가 필요하다.

전력기기의 절연기술은 과거부터 사용해오던 재료와 설계기술을 거의 변화됨이 없이 사용하여 오고 있다. 그러나 최근에는 절연기술에 지식공학과 computer의 응용을 도입하여 학문적인 고도학을 추구하고, 좀더 합리화 및 신뢰성 높은 기기절연을 시키고져 expert system(ES)을 응용하고 있다. ES는 전문가의 지식·경험을 computer에 입력시켜, 문제의 해결을 computer가 하도록 하는 것으로, 전기절연 연구에 ES를 도입시키므로 절연설계, 계측, 시험, 절연진단, 재료의 선택 등의 기술에 획기적인 역할을 할 것으로 생각된다.

본 보고에서는 전기절연 기술분야에서의 ES의 응용현황을 중심으로 기술하였다.

2. 절연설계

전력기기의 설계에 있어서 구조·열·전기회로 등의 해석과 함께 절연설계가 중요한 위치를 차지하고 있다. 전력기기에 사용되어지는 절연 매개는, 공기·SF₆ 등의 기체절연, 에폭시수지나 폴리에틸렌 등의 고체절연, 또한 변압기유등의 액체절연 및 진공절연 등으로 나눌 수가 있다. 따라서, 전력기기를 설계하는데는, 절연물에 따라서 절연특성을 파악하는 것이 중요하다.

이들의 절연특성을 추정하기 위해서 해석 program으로서 ES의 연구가 진행되고 있으며⁽¹⁾, 절연설계를 하기 위한 Flow를 그림 1에 나타냈다.

전력기기의 개발이나 설계는, 우선 그의 기기의 사양을 결정하는 것으로부터 시작한다. 그의 사양을 만족하는 기기의 기본 설계는, 과거의 설계 data나 부품 data(부품 data base) 등을 사용하여 CAD (Computer Aided Design) system에 따라 행해지고 있다.⁽²⁾ 여기에서, 설계의 도중이나, 완료되었을 때에, 설계되어진 기기가 사양을 만족하는가 사양을 만족하는가를 확인할 필요가 있으며, 이를 위하여 절연특성의 해석이 되고 있다. 각종의 절연매체의 절연특성은 복잡하나, 해석의 기본이 되는 것은 전계해석이다.

정전계 해석에서는, 기기의 형상이나 절연재료의 물성치(유전율) 및 전위를 주어지는 것으로 해석되어지나, 과도해석에서는, 전압의 파형, 절연물의 체적저항을 및 표면저항을 등이 필요하다. 이의 해석을 위하여 우선 전계해석전에 회로해석에 따라 이상

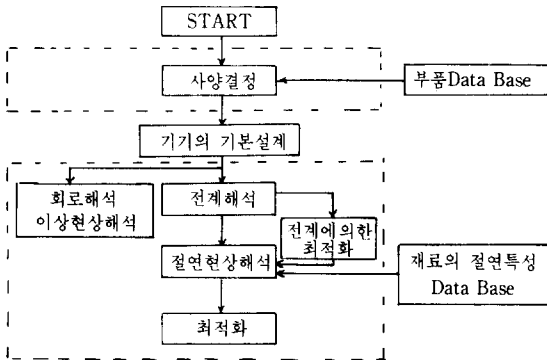


그림 1. 절연설계의 Flow

현상을 추정하고, 이것을 전계해석의 경계조건으로 한다. 이때에 절연재료의 물성치나 절연특성은 data Base화하고, 필요로 하는 data는, 이 data base에 의해 입력한다. 이들의 입력조건이 모아지는 것에 따라 전계해석이 되어진다. 전계해석 program은 해석하는 차원, 파도전계, 정전계 등의 장의 조건에 따라서 자동적으로 선택 지정되어진다. 현재는 주로 표면전하법이나, 유한요소법이 이용되어지고 있다.

절연의 최적화는, 전계해석의 결과를 이용하여, 자동적으로 기기의 전계분포를 지정된 조건을 만족 되도록 형태를 수정 변경하는 것이다.

향후, ES로서 절연설계기술을 확립하기 위해서는 전계최적화와 함께 장기신뢰성을 갖는 재료의 각종 특성을 고려한 절연최적화기술이 필요하다. 즉 CAE (Computer Aided Engineering) system의 구축과 함께 재료특성 data base구축이 절연최적화에서는 불가결하다.⁽³⁾

3. 절연재료 선택·개발

재료선택지원 ES의 하나로서 설계부분이 있다. 설계에 있어서 재료선택의 문제는, 설계상의 요구로부터 나타나는 각종 특성에 관한 구속조건을 결정하는 것으로부터 시작된다. 설계상에 중요한 것은, 이의 필요조건을 만족하는 재료선택이며, 규정되어진 특성을 제품이 구비가능한 가공 process의 채용이다. 재료특성은 가공 process에 의존하는 것이 많기 때문에, 설계요구치, 가공 process, 재료선택의 간에는 복잡하다.

재료지식전문가를 설계단계에 있어서 구성재료의

선택에 항상 관여시키는 것은 대단히 곤란하며, 재료선택에 관한 지식군을 효율적으로 이용가능한 재료선택 ES는 기기의 설계에 있어서 큰 효과를 발휘할 것으로 생각된다. 설계만이 아니고, 절연계측, 절연시험, 절연진단에 있어서도 재료전문지식은 중요하며, 재료선택 ES는 대단히 유용하다고 생각할 수 있다.

절연재료선택지원 ES의 기본 개념은 그림 2와 같이 나타낼 수 있다.

기기의 용도, 종류에 따라 설계조건, 기준이 다른 목적에 대응하는 재료선택추정이 필요하다. 지식 base는, 재료의 물성 data base, data예측을 하는 경험식, 실험식을 포함한다. 해석지원은 유한요소법, 경계요소법, simulation program 등을 base로 하여 이용한다.

현시점에서의 절연재료선택지원 ES의 보고에는 적으나, 한 예로서 wire enamel 재료 선정예를 소개한다.⁽²⁾ 이것은, wire enamel 및 전기절연재료선택, 개발을 목적으로서 computer화 data base를 이룬 ES이다. program은 (i) 화학구조를 기초로 한 후보재료의 특성평가. (ii) 재료특성의 통계적 평가 (iii) data base 및 interface로 구성되어져 있다. 물

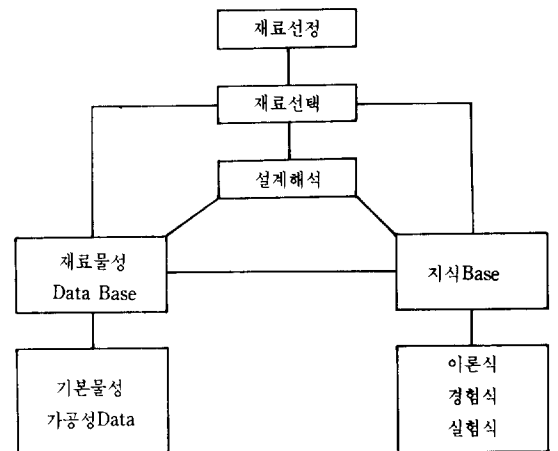


그림 2. 재료선택지원 ES의 개념도

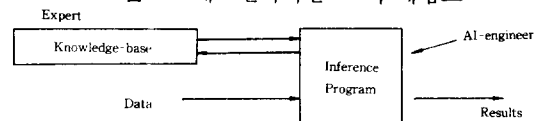


그림 3. 재료선택지원 ES구성에

성특성으로부터 재료선정, 화학구조로 부터 재료특성 예측을 행한다. 구체적인 구성예를 그림 3에 나타냈다.

재료선택지원 ES는 기본적으로는 설계조건, 사용조건을 입력하면 추정조건, 최적재료가 열거되어지는 system이라고 말할 수 있으며, 첨가제, 충전제등의 배합제선택, 최적배합설정, 내환경(내열, 내약품, 내후, 내마모)성 재료선택, 재료개발·개선·평가·시험방법 선택 ES등의 개발도 기대되어지고 있다.⁽⁵⁾ 재료 data base의 구체적 예를 소개한다.

(1) CAPDAS⁽⁶⁾ : 일본의 통산성의 신소재관련시책의 일환으로, 고분자소재센터가 약 100회사의 협조를 얻어 작성한 고분자 data system(Computer Aided Polymer Data System, 약칭 CAPDAS)으로, 개발중의 data base 중에서 절연재료에 가장 관련이 깊다. 본 data base는 CD-ROM접속에 의한 많은 양의 data 수록을 하고 있으며, data의 양식은 재료명, 상품명, 특성(인장강도, 신율, young율, ...), 특징, 용도 등으로 나누어져 display되어진다.

(2) CINDAS⁽⁷⁾ : Purdue대학 정보·수치 data 해석센터(CINDAS)에서 EPRI의 project로서 구축중인 절연재료 data base이다. 1,503종류(고체 1,120종, 액체 371종, gas 12종)의 절연재료와 271개의 특성항목, 76개의 독립변수가 수록되어져 있다. 수록 data는 과거 40년간의 문헌으로부터 모아진 것이다. 특성은 전기특성만이 아니고 물리, 화학, 열, 광학적 특성, 난연성, 열화특성, 안전성, 가공성, 가격까지 포함되어 있다.

본 data base는 미국표준국(NIST) 및 국방성(DOD)의 data base system의 일부를 구성한 것이다.

(3) 분자설계지원 system : data base에 의한 화합물 검색과 화학구조에서 물성을 예측한다. 혹은 요구물성을 만족하는 화합물의 분자설계를 목적으로 한 재료설계 system이 개발중에 있다. 이들의 system은 고분자의 화학구조와 제물성을 연결시켜 고분자재료 설계를 지원하는 것이다. 즉 화학구조로부터 각종의 특성치(glass 전이온도, 유전율 등)을 예측하는 기능, 요구물성을 만족하는 고분자의 구조설계 기능을 갖는 system 등의 분자설계 system을 목표로 하고 있다.

4. 절연계측 · 시험

절연측성의 계측이나 시험에 있어서 ES이 적용되어지는 경우, 그 역할은 대략 다음과 같이 분류되어진다.

- i) 숙련을 요하는 계측이나 복잡한 순서에 따라 행하는 시험 등을 행하는데 측정자를 안내하고 지원한다.
- ii) 계측 · 시험의 결과를 기록 · 정리하면서, 적당한 방법으로 표시하고, 일정한 서식에 따라 보고서를 작성하는데 안내 · 지원을 하고, 또는 자동적으로 작성을 한다.
- iii) 계측 · 시험에서 얻어진 결과를 판단하고, 시료의 절연특성을 진단하는데 측정자를 지원한다.

여기에서는 i)항, ii)항에 대하여 ES가 현재 어느 정도 응용되어지는가, 예를 통하여 기술한다. 그리고 iii)항에 대해서는 다음의 절에서 기술하도록 한다.

절연계측중에서 가장 외적, 측정지에 따라 측정이 어려운 부분 방정시험에 대한 지원 system의 예를 소개한다.⁽⁸⁾

그림 4에 부분방전 시험의 block도를 나타냈다.

이 예에서는, expert는 직접적으로 측정결과를 보는 것이 가능하지 않으나, operator가 질문하는 것에 의해서 그의 내용을 알고, operator에 적절한 정보를 준다. operator는 expert와 회화, 상당하면서, 검출기의 display와 expert로부터 주어지는 diagram을 비교하면서 시험을 수행한다. 측정결과와 해석에

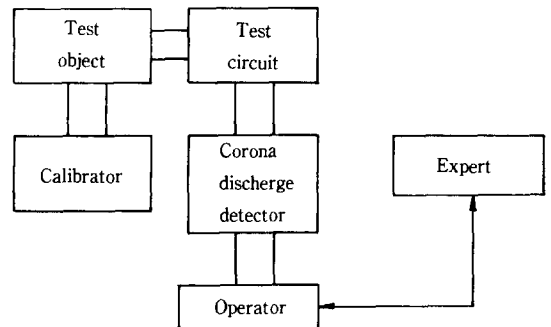


그림 4. 부분방전 시험용 ES

대해서도 같은 정보를 제공한다. 또다른 부분방전시험지원 system의 예는 pulse analyzer를 조합시켜서, 부분방전의 크기, 빈도 등과 인가전압의 파고치나 위상관계를 나타내는 통계적 parameter를 구할 수 있으며, 결과를 적당한 방법으로 표시도 한다.⁹⁾ 제측에서 ES의 도입은 시험기간의 단축, 오동작의 방지, 신속한 보고서 작성을 할 수도 있다. 또한 측정환경에 따른 보정 부분에서는, 기압, 온도, 기기형태, 전극간거리를 입력시키면 교정되어진 절대온도와 보정계수가 구해지며, 이것이 시간 단축과 오차저감에 공헌될 수 있다.

5. 절연진단

전력기기는 각종의 산업분야에서 중요한 역할을 담당하고 있으나, 열화에 의한 사고 발생이나 불의의 사고방지를 예방하기 위하여, 고도의 진단기술을 갖춘 기술자가 요구되고 있다.

전력기기의 주요기술인 절연진단에 있어서도 경험

을 갖춘 고도의 전문가를 대신하여, 문제해결의 의사결정을 지원하는 절연진단 ES의 개발이 요망되고 있다.

절연진단에 있어서 문제가 되는 고장의 증상에는 반드시 원인이 있고, 논리적인 인과관계로부터 성립이 되어진다.

그러나, 절연의 열화현상은 열화요인이 다각적으로 걸쳐 있으며, 그의 열화 기구 해명이 복잡하여 여러 시각에서 연구가 진행되고 있으나 명확한 판정기준이 확립되어져 있지 않다.

그림 5에 절연진단기술의 ES 예를 나타냈다.

지식공학에 있어서 ES는 대상으로 하는 문제영역의 전문가로부터 얻어진 지식에 computer를 이용하여 추론하고, 전문가와 동일 level에서 문제해결을 하거나 advice를 하는 system이다. 비전문가의 경우는 전문가와 같은 절연진단의 지원을 받아서, 지식base의 개량과 함께, 새로운 전문적 사실의 발견에 연결하는 것으로 절연진단에 있어서 기대되어지는

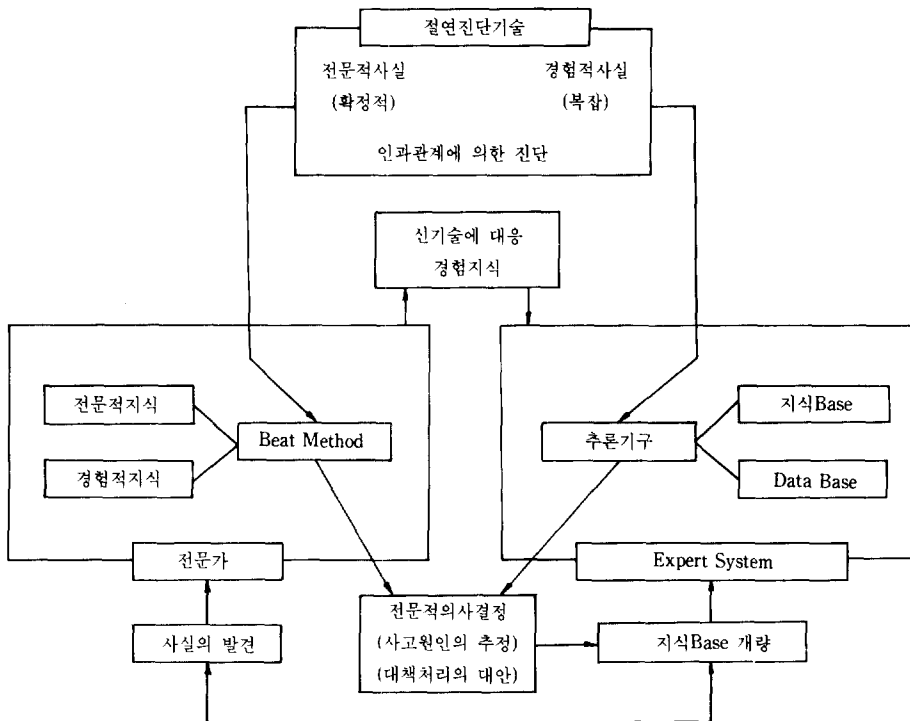


그림 5. 절연진단기술의 ES

분야이다.⁽¹⁰⁾

여기에서는, 절연진단에 ES의 응용으로서, 실용화되어지고 있는 유입 변압기의 절연진단 ES이나, 실용화가 기대되고 있는 고압회전기 절연진단 ES 등이 있다.

또 ES구축은 아직 이용하고 있지 않으나, 절연진단 ES의 한 단계로서 절연진단의 이론은 program화하고, PC를 이용하여 진단기술을 자동화하여 측정 data의 정밀성 향상과 성력화를 하여, 진단전문가를 대신하는 절연진단 종합 시험장치도 있다.

이들의 절연진단 ES는 전력기기의 on-line상태보다 off-line형의 경우가 많다.

일반적으로 제조Plant은 각종의 설비기기의 집합이나 기술로 구성되어, Plant의 이상은 각각의 설비기기의 고장으로, 그의 고장은 절연불량등의 기기구성요소의 불량으로 발생하는 것이다.

이 사실은 공장 전체의 설비보전을 실시하기 위하여 기기별 혹은 진단요소별 ES를 개발하여, 그들의 지식을 다중계층화로 한 종합설비진단 ES로 하는 것이 이상적이다. 또, 설비는 상태감시보전이 기본이고, 운전중에 이상을 진단하는 것이 목표인 것으로, 절연진단 ES도 정지시의 절연진단정보와 함께 운전시의 각종 센서로부터 얻어지는 정보를 입력시켜 진단하는 On line Real Type형이 궁극적인 목표가 된다.⁽¹¹⁾

6. 맺는말

이상과 같이 절연분야에 있어서 Expert System (ES)의 응용에 대하여 기술하였다. ES는 절연설계, 계측, 시험, 절연진단, 재료선택지원의 각 분야에서 응용되어지고 있으며, 응용의 확대가 되어질 전망이다.



박대희(朴大熙)

1954년 11월 10일생. 1979년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1985~89년 일본 오사카대 전기공학과 졸업(공학박). 1991년 금성전선 연구소 선임연구원. 현재 원광대 공대 재료공학과 조교수. 당학회 편집위원.

따라서, 국내에서도 이에 대응하는 전기절연재료의 data base의 구축과 함께 절연기술에 관한 ES의 연구가 필요하며, ES의 도입은 절연재료 기술에 있어서 새로운 연기분야가 될것으로 의심치 않는다.

참 고 문 헌

- [1] 安田, 他; “電気機器の絶縁における計算機応用” 日本電気学会 絶縁材料研資, EIM-87-94(1987)
- [2] W.T.A.Su, et al; “Computer-Assisted Selection/Development of Electrical Insulation Materials by Use of Artificial Intelligence” Proc. 17th Electric and Electronic Insulation Conf. p. 170(1985)
- [3] R.R. Mitchell; “PC Software for Insulation Design” IEEE Elect. Insul. Magazine, 2. 9(1986)
- [4] 中島, 他; “材料選択支援エキスパートシステム”, 情報処理学会第34回全国大会, 1417(1987)
- [5] 小崎, 他; “絶縁材料エキスパートシステム 調査専門委員会の活動”, 日本電気学会 絶縁材料 研資, EIM-88-81(1988)
- [6] 藤重; コンピュータ支援高分子データシステム (CAPDAS)について, 第5回高分子知識・システム研究会資料, 14(1988)
- [7] EPRI; “Computerized Data Base on Dielectric Materials”, EPRI Technical Brief, sheet No. 70. EP7897-05
- [8] P.E. Wootton; “An Expert System for High Voltage Tests”, Discharge Proc. CEIDP 1987. 65.(1987)
- [9] J.D. Gassaway, et al; “Computer-Aided Partial Discharge Measurement and Recognition”, Proc., 5th, ISH, 41. 03(1987)
- [10] M. Kosaki, et al; “Application Experience of Expert System to Insulation Diagnosis of Power Apparatuses” CIGRE 15133-04(1990)
- [11] 泉, 他; ミニコンピュータによる自動計測解析システムの遮断器短絡試験への適用”, 1983年 日本電気学会 1041(1983).