

신뢰도 중심 유지보수 기법을 이용한 3차원 기반의 변전소 유지보수 시각화 프로그램 개발

정홍석, 박창현, 장길수  
고려대학교 전기공학과

Development of a 3D-Graphics Based Visualization Application for Reliability-Centered Maintenance

Hong-Suk Jung, Chang-Hyun Park, Gilsoo Jang  
School of Electrical Engineering, Korea university

**Abstract** - This paper presents a visualization application using 3D-graphics for effective maintenance of power equipment. The maintenance algorithm implemented in the application is based on Condition-Based Maintenance (CBM) and Reliability-Centered Maintenance (RCM). The main frame of the developed application was made up based on Windows Application Programming Interface (API) and Microsoft Fundamental Classes (MFC). In order to develop the interactive 3D application, the WorldToolkit (WTK) library based on Open GL was used. Also Text-to-Speech (TTS) technology was used to enhance the efficiency of operators. The developed application can help the power system operators to intuitively recognize the present state and maintenance information of the equipment.

지보수 프로그램은 text 위주로 구성되어 있다. 하지만 보다 효과적인 유지보수를 위해서는 text 위주가 아닌 컴퓨터 그래픽을 이용한 보다 효과적인 시각화 기능을 갖춘 유지보수 프로그램이 필요하다. 본 논문에서는 CBM 및 RCM을 기반으로 설비의 현재 상태 및 유지보수 정보에 대해 보다 빠르고 직관적인 인식을 가능하게 할 수 있는 3D-그래픽을 이용한 유지보수 시각화 프로그램을 제공하고자 한다.

1. 서 론

최근 전력 공급의 안정성과 신뢰도 향상을 위하여 변전소의 무인화가 진행되고 있으며, 이에 따라 변전소 내 변전설비에 대한 감시 및 제어의 자동화가 절실히 요구되고 있다. 현재 운용되고 있는 전력계통 감시 및 제어 시스템은 EMS와 SCADA 시스템을 근간으로 하고 있으며 이를 통하여 전력계통의 상태를 감시하고 부분적인 제어가 이루어지고 있다. 그러나 변전소 관내의 고장진단과 정전복구는 위에 언급한 감시 시스템으로부터 획득한 정보를 통하여 현장 계통 운용자에 의하여 이루어지고 있으며, 전력계통의 특성상 계통 운용자의 경험적 판단에 크게 의존할 수밖에 없는 실정이다. 그런데, 전력 수요의 증가로 인하여 전력계통의 규모가 날로 확대되고 있고 전력 공급의 신뢰성 향상을 위한 각종 설비들이 확대 적용되어감에 따라 전문가의 경험에 의존하는 것이 점차 어려워지고 있으며, 특히 풍부한 경험을 갖는 숙련된 현장 전문가의 수는 감소하고 있는 반면, 전력계통의 신뢰도 향상으로 인하여 현장 운용자가 풍부한 고장경험을 가질 수 있는 기회는 감소일로에 있다. 따라서 이에 대한 대책으로 보다 직관적이고 효과적인 설비진단 및 유지보수를 위한 어플리케이션 연구가 주목받게 되었다.

효과적인 유지보수를 위하여 다양한 기법들이 적용되고 있다. 현재 시행되고 있는 유지보수 방법은 TBM (Time-Based Maintenance), CBM (Condition-Based Maintenance) 등 다양하지만 신뢰도를 향상시키고 경제적인 유지보수를 위해 RCM (Reliability-Centered Maintenance) 방법의 적용이 늘고 있다. 최근에는 더욱 효과적인 설비 유지보수를 위해 CBM과 RCM을 통합적으로 고려한 방식에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

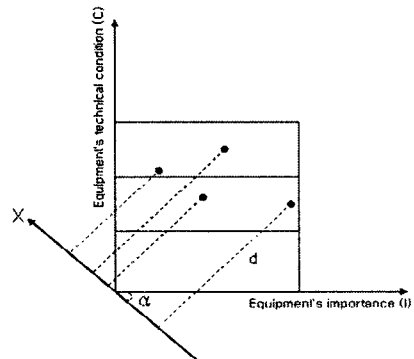
이러한 분석 방법만큼이나 중요한 요소 중 하나가 바로 분석 결과의 효과적인 시각화이다. 현재 대부분의 유

2. 본 론

2.1 적용 알고리즘

효과적인 유지보수를 위해 CBM과 RCM을 접목시킨 모델을 사용하였다[1], [2]. 최초 설비들의 종합적인 상태 (Condition)와 각 설비가 전체 전력 네트워크에서 차지하는 중요도(Importance)를 각각 분석한다. 그리고 실시간으로 이를 종합 분석하여 현재 상태가 교체가 필요한지 혹은 유지보수가 필요한지를 판단하고 동시에 조치 우선순위를 판단한다. 이를 토대로 실제 유지보수 작업 계획에 반영한다.

그림 1은 알고리즘을 2차 평면 그래프에 표현하였다. 가로축은 설비의 중요도, 세로축은 설비 상태를 낸다. 판단 대상이 되는 각 설비들은 중요도와 상태에 따라 그래프 위에 표시된다. 그 중 유지보수가 필요한 설비를 대상으로 기준바(X)에서 각 설비별 위치까지의 거리를 측정함으로써 유지보수 우선순위를 판단할 수 있다.



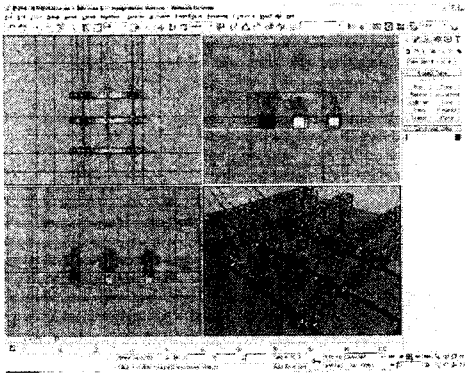
<그림1> 비중 조절 가능 2차 평면 그래프[1]

설비의 유지보수에 있어 설비 상태와 중요도는 설비에 따라 혹은 환경이나 사용자에 따라 그 비중이 달라질 수 있다. 이를 위해 기준바와 가로축 사이의 각도(α)를 조절함으로써 상태와 중요도의 비중을 사용자가 원하는 대

로 조절하여 거리(d)를 재산정하여 유지보수 우선순위를 다시 판단 할 수 있다.

### 2.2 3D 모델링

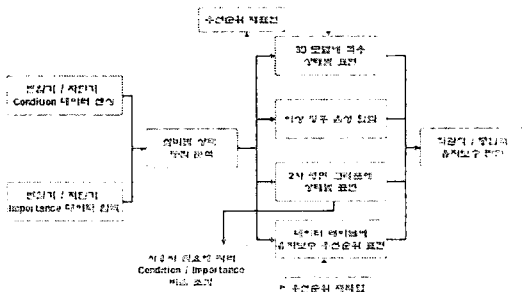
최근 개발되고 있는 대부분의 프로그램은 해석모델만 답이나 결과의 효과적인 표현 방식에도 많은 비중을 두고 있다. 전문적인 분야의 프로그램은 분석결과를 분석하고 판단할 때 완벽히 숙달된 전문가가 아닌 이상 직관적으로 판단하기는 다소 어려움이 있다. 이러한 어려움을 극복하기 위해 실제 설비와 유사한 3D 그래픽을 활용하면 프로그램을 처음 접하는 사용자도 설비의 상태를 보다 쉽고 직관적으로 한눈에 판단할 수 있다. 변전설비의 모델링을 위해 3D-Max를 사용하였으며 과정은 그림 2와 같다.



<그림2> 변전설비 3D 모델

### 2.3 시스템 구성

시스템의 전반적인 흐름은 그림 3에 간단히 도식화 하였다. 앞서 언급하였듯 최초 입력 데이터는 상태 데이터와 중요도 데이터 2가지이다. 입력 데이터를 그림 2와 같은 2차 평면에 표현하기 위해 상태 데이터는 설비의 부품 결합이나 노후 정도 등을 판단하여 최초 0부터 상태가 악화될수록 100에 가깝도록 센싱이 이루어지고, 중요도 데이터는 각 설비마다 전체 네트워크에서 차지하는 중요도 정도를 판단하여 중요도가 높을수록 0 ~ 100사이의 값 중 큰 값으로 입력 받는다. 이렇게 입력된 각 설비별 2가지 데이터를 분석하여 대상 설비의 현재 상태를 구분한다(교체, 유지보수, 정상). 결과는 3D 방식, 2차 평면 그래프와 테이블 형식 총 3가지 형식으로 출력이 되는데 자세한 설명은 프로그램 설명에서 다루진다. 다양한 방식으로 출력된 결과를 통해 직관적이고 종합적인 유지보수 계획을 수립할 수 있다.

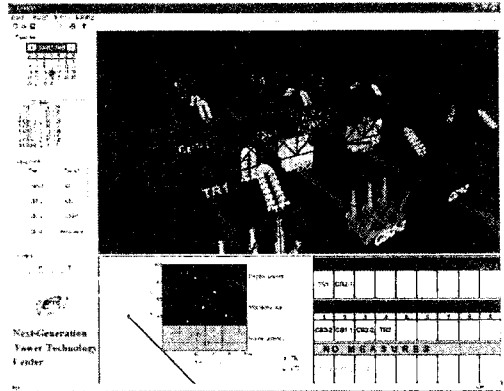


<그림3> 시스템 흐름도

추가적으로 사용자의 의도에 따라 2가지 입력 데이터의 비중을 마음대로 조절함으로써 사용자 목적에 맞는 유지보수 우선순위를 재산정하고 즉각적으로 결과에 반영할 수 있다.

### 2.4 메인 프로그램

프로그램은 Visual C++ (MFC)을 기반으로 구현되었으며 3D-그래픽의 연동을 위해 Open GL기반의 World Tool Kit을 활용하였다[3], [4]. 최초 실행화면은 그림 4와 같다. 화면은 총 3개의 창으로 구성되어 있으며, 1번 창(3D 모델 뷰)은 직관적인 인식이 가능하도록 3D 모델로 표현되고 2번 창(2차 평면 그래프 뷰)은 설비별 상태 및 중요도의 정확한 위치를 표현한다. 마지막으로 3번 창(테이블 뷰)는 최종 분석 결과를 유지보수 우선순위 별로 나열한다.

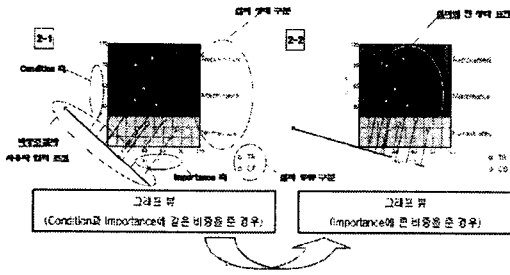


<그림4> 메인 프로그램 실행화면

3D 모델로 표현된 창은 실제 변전소와 동일하게 표현하였다. 3D로 구현하였기 때문에 사용자가 원하는 시점에서의 이동이 자유로울 뿐만 아니라 입체적인 표현으로 초보자도 보다 쉽게 상황을 인지할 수 있다. 최종 분석된 각 설비별 상태를 표현하기 위해 색상의 차이를 이용하였다. 설비의 상태는 교체(Replacement), 보수(Maintenance), 정상(No measures) 등 총 3단계로 구분되며, 각 상태에 따라 적색, 청색, 회색으로 대응된다. 이 중 보수에 해당되는 설비에 한해 우선순위가 필요하게 된다. 이를 위해 농도 개념을 적용하였다. 청색으로 표현된 보수대상 설비들 중 농도가 짙은 설비일수록 우선순위가 빠른 설비로서 빠른 대응이 필요하다는 것을 직관적으로 쉽게 알 수 있도록 하였다.

2차 평면 그래프로 표현된 창은 앞선 2.1절에서 설명한 알고리즘을 그대로 적용하였다. 평면의 가로축은 중요도(Importance), 세로축은 상태(Condition)를 나타내며 3D 모델로 표현한 것과 마찬가지로 3단계로 최종상태를 구분하였으며, 사용자가 필요에 따라 중요도와 상태의 비중을 조절할 수 있는 비중 조절바를 구현하였다. 2가지 입력 데이터를 바탕으로 각 설비별 현재 상태가 평면 위에 점으로 표기된다. 이렇게 표기된 각 설비들의 위치에서 조절바까지의 거리는 중요한 의미를 지니게 된다. 중요도가 클수록 혹은 설비 상태가 나쁠수록 거리는 멀어지게 된다. 모든 설비 중 보수영역에 해당하는 설비를 대상으로 조절바까지의 거리를 비교하여 우선순위를 결정한다. 모든 설비의 최종 상태와 보수대상 설비의 우선순위가 모두 결정되면 최종결과는 다른 2개의 창으로 보내져 표현된다. 설비의 유지보수에 있어 설비 상태와 중요도는 설비에 따라 혹은 환경이나 사용자에 따라 그 비중이 달라질 수 있다. 조절바 변경을 통해 이를 적용할 수 있는데 그림 5와 같이 최초 같은 비중의 조절바 상태

(2-1)에서 중요도에 더 큰 비중을 주기위해 비중조절바를 조정하면 그에 따른 새로운 우선순위 결과가 재산정(2-2) 된다. 우선순위의 변화는 3D 모델 창과 뒤에 설명할 테이블 창 모두에 즉각 반영된다.

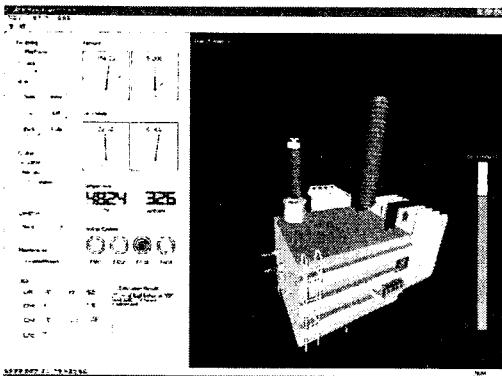


<그림5> 2차 평면 그래프 창 비중 조절바 조정

마지막으로 테이블로 표현된 창은 단순히 문자로써 최종 결과를 표현하는 창이다. 압선 방식들과 마찬가지로 최종 설비 상태에 따라 3가지로 구분되어 있다. 교체와 정상상태의 설비는 즉각 조치가 하거나 조치가 불필요하기 때문에 순서와 상관없이 표현되고 유지보수가 필요한 설비는 2차 평면 그래프의 결과에 따라 우선순위가 높은 순으로 나열한다.

2.5 세부 데이터 확인 화면

메인 화면에서 3D 모델 창에 나타난 설비 가운데 사용자가 원하는 하나의 설비를 더블 클릭을 하게 되면 세부 데이터 확인 화면이 생성된다. 메인 화면에서 변전소 전체를 확인하고 제어 한다면 세부 데이터 확인 화면은 특정 설비에 관한 자세한 세부 데이터를 표현해 줌으로써 보다 정확한 진단을 할 수 있도록 도와준다. 그림 6은 문제가 발생한 변압기 상태를 임의적으로 나타내었다.



<그림6> 세부 데이터 확인 화면

메인 화면과 마찬가지로 선택된 설비에 대한 3D 모델을 표현해 준다. 차이점은 간략화된 모델이 아닌 부분별로 세부 모델링을 하여 문제가 발생한 설비의 어느 부분이 문제가 발생했는지 사용자에게 정확히 알려준다. 그림 6에 나타난 상태는 오일 탱크와 쿨링 시스템 일부에 문제가 발생했음을 알려준다. 오른쪽의 막대바는 전체 시스템을 고려했을 때 가장 중요하다 할 수 있는 과부하 정도를 나타낸다.

원편 메뉴 다이얼로그는 선택된 설비의 세부 측정 데이터를 실시간으로 나타내준다. 측정 데이터의 종류는

변압기 1, 2차측 전압 및 전류, 오일 및 외부 온도, 쿨링 시스템 작동상태 등이며, 사용자가 가장 쉽게 인지할 수 있도록 전압 및 전류는 시침 계기판, 온도는 디지털 계기판, 쿨링 시스템은 알람표시등으로 나타내었다.

원편 메뉴 다이얼로그 하단에 변압기 상태 판단 기준으로 많이 사용되고 있는 DGA를 사용할 수 있도록 구성하였다. 총 7가지 가스(CH4, C2H8, C2H4, C2H2, H2, CO, CO2)를 입력받아 Estimation Result 창에 현재 상태를 알려준다.

3. 결 론

3D-그래픽을 이용한 설비 유지보수 시각화 프로그램을 구현하였다. 유지보수 프로그램에 있어 정확한 결과 산출 만큼이나 해석 결과에 대한 효과적인 시각화는 매우 중요하다. 본 프로그램은 3D 모델링을 이용한 효과적인 시각화 기능과 함께 CDM과 RCM 기반의 사용자 중심의 인터페이스를 갖추도록 구성하였다. 이는 유지보수가 필요한 모든 설비들에 응용될 수 있을 것이며 특히 유지보수가 더욱 중요시 되고 있는 전력관련 설비에 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

본 연구는 과학기술부/한국과학재단 우수연구센터 육성사업의 지원으로 수행되었음 (차세대전력기술연구센터)

[참 고 문 헌]

- [1] Jie Yu and Hao Zhao, "Maintenance plan based on RCM", IEEE/PES Transmission and Distribution Conference & Exhibition : Asia and Pacific Dalian, China, 2005
- [2] Jurgen Schlabbach, Torsten Berka, "Reliability-Centred Maintenance of MV Circuit-Breakers", IEEE Porto Power Tech Conference, Sep. 2001
- [3] David J. Kruglinski, Inside Visual C++, Microsoft Press, 1996
- [4] WorldToolkit Reference Manual, Release9, Engineering animation, Inc, Sense8 Product Line