

VRML기반의 원전 3D ISI 시스템 개발

신진호⁰ 송재주 이봉재 장문중

한전 전력연구원

(jinho⁰, jjsong, bilee, mijang)⁰@kepri.re.kr

Development of VRML based ISI 3D system for nuclear power plant

Jin-Ho Shin⁰ Jae-Ju Song Bong-Jae Yi Mun-Jong Jang

Korea Electric Power Research Institute, KEPCO

요 약

최근 가상현실과 Web 3D에 대한 관심이 고조되면서 관련 연구와 기술개발이 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서는 Web 기반에서 3차원 그래픽을 표현하는 표준언어인 VRML을 이용하여, 원자력발전소에서 주기적으로 안정성 평가를 위해 수행하는 ISI(In-Service Inspection : 가동중검사) 업무에 적용하여 가상원전 3D ISI 시스템을 개발하고 그 구현방법을 제시한다. 검사대상 기기, 배관 및 각종 지지구조물에 대한 도면확보 작업을 시작으로 하여, 3D 모델 구축, VR Data 작성, 그래픽 관리 시스템 개발 사례와 가상현실에 의해 구현된 Scene과 각종 DB를 연결하는 Interactive 3D Visualization Tool을 개발하여 기존의 2차원적 DB 운영을 3차원 가상공간에서 운영함으로써 보다 효과적이고 효율적인 DB 운용 방법에 대해서 기술한다.

1. 서 론

가상현실(Virtual Reality)이란 컴퓨터 모형화와 모의 실험을 통해 사용자 하여금 인공적인 3차원 시각적 환경 및 그 밖의 감각적 환경과 상호 반응하게 하는 기술을 의미한다. 오늘날에는 가상현실을 새로운 데이터 전달 매체로 사용하는 기술들이 개발되고 있다. 현재까지 모든 문서나 매체의 전달은 2차원적인 공간에서 이루어져 왔다고 해도 과언이 아닐 것이다. 그러나, 가상현실 기술의 발달은 평범하고 단순한 대체전달 방법을 3차원적이고 상호 작용하는 형태로 바꾸어 놓고 있다. 즉, 그것은 사용자가 실제환경과 유사하게 만들어진 컴퓨터 모델 속에 들어가 시각 청각 촉각과 같은 감각들을 이용하여 그 속에서 정의된 세계를 경험하고 상호 교환적으로 정보를 주고받도록 하는 방식이다. 가상현실의 활용범위를 살펴보면 그 범위는 무한하다고 할 수 있다. 특히, 산업설비 분야에서의 가상현실은 단순히 보여주는 개념의 3D가 아닌 사용자와 PC간의 상호작용을 가능하게 하여 기존의 텍스트방식의 데이터베이스 체계를 시각적인 3차원 방식으로 제공할 수 있고, Web기반의 환경에서 구현할 수 있어 Web을 통한 신속한 정보전달 및 관리를 가능하게 해준다. 따라서, 가상현실과 Web을 이용한 산업설비 관리체계의 개발은 기존의 플랜트 설비 운영에서의 문제점을 개선하고, 비효율적인 2차원적 업무 프로세스를 향상시키며, 유지보수 업무의 체계화를 통한 경제적인 설비 운영을 가능하게 한다. VRML(Virtual Reality Modeling Language)은 인터넷상에서 3차원 장면을 위한 개방형이며 확장 가능한 장면 표현 언어로써, 텍스트, 이미지, 애니메이션, 사운드 등으로 이루어진 3차원 세계와 상호 작용할 수 있다.

본 연구에서는 원자력발전소의 안전성평가를 위해 수행하는 가동중검사(In-Service Inspection: ISI)업무를 가상현실기법을 이용하여 Web기반의 환경으로 개발함으로써, 기존의 수작업방식의 가동중검사 업무 체계의 문제점을 획기적으로 개선한 가상원전 3D ISI 시스템을 개발하였다.

2. 본 론

2.1 ISI 업무 분석

원전 가동중검사는 원자력발전소의 안전성평가를 위해 중요 검사부위를 지정하여 해당주기별로 검사를 수행하여 원전의 안전성을 유지하도록 비파괴검사, 고체역학, 용접, 재료 등의 많은 기술이 복합적으로 사용되는 업무이다. 이 검사를 통해 기록된 모든 점검결과는 원전 가동중 기기 재료의 변화를 평가하기 위하여 후속 가동중 검사 결과와 비교되어야 한다. 또한 가동중검사 결과는 후속기 설계에 반영되어 설계개선을 유도함으로써 궁극적으로 원전의 안전성 향상에 이용되어야 하므로, 가동중검사 데이터들은 체계적으로 분류되어 후속검사에 반영, 종전 데이터와 비교, 검사부위별 결함발생 추이 파악에 이용되어야 하며, 향후 결함 추적 시 당시 검사 조건을 재현하기 위해 검사 데이터의 표준화가 필요하다. 따라서, 본 연구를 통해 검사부위를 구체적이며 사실적으로 보여줄 수 있는 가상현실 기법을 이용한 3D 그래픽 모듈의 개발과 Web기반의 데이터베이스를 구축하여 가상원전 ISI DB 운영시스템을 개발하고 이를 통해 검사의 신속성과 치밀성을 확보하고자 한다.

가상 원전 3D 모델 구축을 위해 올진 원전 1,2호기의 2D 도면을 확보하였다. 주요 기기로는 Reactor Vessel, Reactor Coolant Pump, Steam generator, Pressurizer 및 각 기기를 연결하는 Component, Pipe, Valve, MC&CC 등으로 구성된다. 전체 구성에 해당하는 단위로서 올진 원전 1,2호기는 크게 Class I, II, III로 분류하고 있다. Pilot System은 이 중 Class I에 포함되며, Pilot system의 3D 모델 구축을 위해 2D ISI 도면, 2D Layout 도면, 원전 미니어처 촬영자료 및 Graphic image 자료를 통해 Project Class에 대한 자료를 확보하였다. 2D Layout 도면은 3D 모델링에서 구성 기기의 위치와 크기를 결정하기 위한 참고자료로 사용되며, 원전 미니어처 촬영자료와 Graphic image는 구성 기기의 형상을 상세히 모델링하기 위한 참고자료로 사용된다. 또한 ISI 2D 도면은 각 구성기기 및 배관의 검사부위를 표시하기 위해 사용한다. Project Class I은 Containment building, Elevation,

Area/Room으로 구성되며, 가상 원전 그래픽 관리 시스템에서 각 해당 단위별로 분리, 구성하여 사용자가 해당 구역 내에서 시스템 퍼포먼스의 저하 없이 Navigation할 수 있도록 한다.

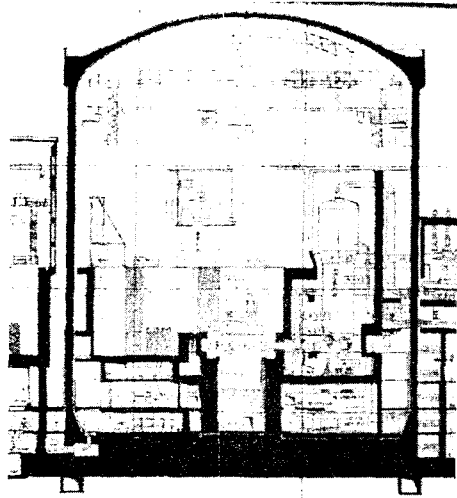


그림.1 Containment Building 2D Layout 도면

2.2 원전 3D ISI 시스템 개발

원전 3D ISI 시스템개발은 가상현실기법을 도입하여 기존의 2차원적 DB 운영을 3차원 가상공간에서 운영함으로써 보다 효과적이고 효율적인 DB 운영을 도모하기 위함이다. 따라서, 본 연구에서는 울진 2호기 1차 계통에 대한 3D 모델을 구축하여 가상원전을 개발하고, ISI DB와 연계, 활용할 수 있는 ISI DB 연계시스템을 개발하였다. 이를 위해, 울진 원자력발전소의 협조를 얻어 울진 2호기에 대한 도면 및 장기가동중검사계획서를 참조하였다. 또한, VR환경을 도입하여 각 데이터에 대한 시각적 정보 제공과 검사 DB와의 연결로 검사자의 이해도를 향상시키도록 하였다. 그림.2는 본 연구에서 개발한 원전 3D ISI 시스템의 구성도를 나타낸 것이다.

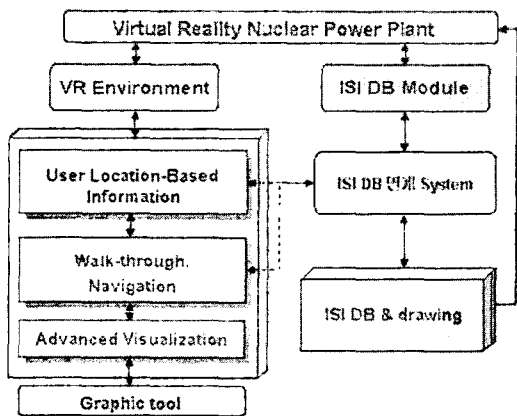


그림.2 System Configuration

2.2.1 3D 모델 구축과 가상원전 개발

원자력발전소를 대상으로 한 3D 모델의 구축은 대용량의 모델데이터 작성을 필요로 한다. 원자력발전소의 구성기기는 Vessel, Pump, Valve, Pipe support, Piping, Component support 및 MC&CC로 이루어져 있으며, 각 기기들은 다시 Area, Elevation, Building, Class의 그룹으로 나누어져 있다. 따라서, 본 연구에서는 가상원전을 구성하기 위한 3D 모델 구축을 위해서 실제 원전내부 기기의 구성과 동일한 3D 모델에 대한 Design DB를 구축하여 방대한 3D 모델데이터에 대한 효율적인 관리와 효율적인 DB검색 및 로딩(loading)이 용이하도록 구성하였다.

가상원전 3D 모델을 구축하기 위해 우선 울진 원자력 발전소 2호기에 대한 도면을 참조하였다. 실제 도면을 바탕으로 앞서 설명한 Design DB에 따라 모델링을 하였다. 본 연구에서는 3DS Max 3.0을 사용하였다. 또한, 구축한 3D 모델을 가상현실 환경에서 구현할 수 있도록 Cosmo Worlds를 사용하여 VRML 코드로 작성하였다. 그림.3은 ISI 검사부위를 Navigation시 확인할 수 있도록 빨간 색상으로 표시하면서 Modeling 작업을 하는 화면을 나타낸 것이다. 이와 같이 가상원전을 구축하는 일련의 과정을 Advanced visualization이라 한다. 이는 일반적인 3D 모델구축 과정 외에 가상현실 기반에서 작동할 수 있도록 LOD, Clone technique등의 VRML기반의 가상현실 기술을 적용하는 과정을 모두 포함한다.

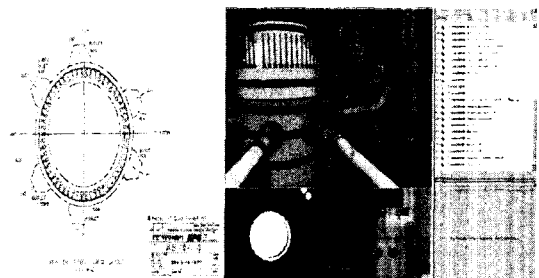


그림.3 검사부위를 포함한 3D Modeling

LOD(Level of Detail)는 View Point와의 거리에 따라 3차원 모델링 데이터의 폴리곤(Polygon) 수나 배열을 조절하는 것이다. Close, Medium 그리고 Far 그룹으로 나누어 아바타와 LOC 노드의 거리에 따라 최적화된 가상 환경을 갖도록 구성하였다. 특히, Close 모드로 접근할 경우 검사부위가 표시되기 하여 Navigation시의 그래픽 성능 및 속도를 유지하도록 했다. 플랜트와 같이 그래픽 데이터 양이 방대한 경우 일반적인 가상 환경 개발과는 달리 한꺼번에 모든 그래픽 데이터를 시각화하는 것은 불가능하기 때문에 디자인 데이터 베이스의 트리(tree)를 바탕으로 선별적인 시각화가 필수적이다.

Clone technique은 방대한 양의 VRML 파일에 대해 그래픽 처리 속도 및 성능을 유지하기 위한 방법으로 사용되는 기술이다. 중복되는 노드를 VRML 97에서 지원하는DEF/USE문을 사용하여 복제하면 복제된 노드는 원본 노드의 기하학적인 정보-위치와 회전은 제외-와 외관 정보를 공유하게 된다. 그림.4의 5번째 라인에서 Reactor_Coolant_Pump1라는 이름으로 DEF(복제되는 원본은 반드시 DEF문으로 고유한 이름을 가지고 있어야

한다)된 transform 노드의 거의 모든 정보가 간단하게 USE문을 사용하여 복제되어 새로운 transform 노드에 적용되어짐을 볼 수 있다. 복사 방법의 경우는 Reactor Coolant Pump의 모든 코드가 그대로 다시 코딩되어야 하고 똑같은 정보에 대한 메모리도 따로 할당받게 된다. 그래서 복사(Copy)를 사용하여 중복 노드를 표현하는 방법보다 클론 기법을 사용하여 표현하는 것이 VRML 파일의 로딩 속도를 빠르게 한다. 실제로 클론 방법과 복사 방법으로 복제한 Reactor Coolant Pump 데이터의 용량은 각각 212KB, 280KB로 현격한 차이가 났다.

```

1 #VRML V2 0 utf8
2
3
4 DEF Reactor_Coolant_Pump Transform {
5   translation -268 302 527 513 -366 996
6   children
7     Shape {
8       appearance Appearance {
9         material Material {
10          diffuseColor 0 65098 0 698039 0 698039
11        }
12      }
13     geometry DEF Reactor_Coolant_Pump IndexedFaceSet {
14       ccw TRUE
15       solid TRUE
16       convex FALSE
17       coord DEF Reactor_Coolant_Pump-COORD Coordinate { point [
18         0 0 -1 57662 0 0 984252 -1 57662 0 0 984252 -1 29921
19         0 0 -1 29921 0 539235 0 -1 48154 0 539235 0 984252 -1 4815
20         0 444357 0 984252 -1 22086 0 444357 0 -1 22086
21         1 01343 0 -1 20776 1 01343 0 984252 -1 20776
22         0 835118 0 984252 -0 995255 0 835118 0 -0 995255
23         1 36539 0 -0 788309 1 36539 0 984252 -0 788309
24         1 12515 0 984252 -0 649606 1 12515 0 -0 649606
25       ]
26     }
27   }
28 }
29
30 Transform {
31   children USE Reactor_Coolant_Pump01
32 }
33
34 translation -423 302 20 104 -366 996
35 rotation 0 935094 0 756982 -0 256986 1 63
36 }
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

```

그림.4 Embodiment of Clone technique

구축한 가상원전은 검사자가 실제 가동중검사업무에서 활용할 수 있도록 네비게이션, walk-through등의 기능을 포함한 브라우저 형식으로 제공되어야 한다. 이는 기존의 수작업 방식의 업무체계에만 익숙한 검사자의 혼란을 최소화하고 새로운 시스템 도입을 통한 가동중검사업무의 효율을 높이는데 매우 중요한 역할을 하므로, 가능한 사용이 쉽고, 검사결과 반영이 정확한 시스템을 구축해야한다는 점에서 매우 중요하다. 따라서, 본 연구에서는 그래픽 관리시스템(Graphic Management System : GMS)이라는 가상원전을 위한 Web기반 브라우저를 개발하였다. 그래픽 관리시스템은 일반적인 가상현실 기법에서 제공하는 네비게이션, Walk-through기능 외에 검사자의 현재 위치를 알려주는 검사자 위치 정보기능(User Location-Based Information)과 방대한 그래픽 처리속도 향상을 위한 원전내부의 층별 네비게이션 및 Graphic Acceleration기법을 제공한다. 따라서, 검사자는 그래픽 관리시스템을 이용하여 원전내부를 가상현실을 통해 시각적으로 경험할 수 있으며, 방대한 그래픽으로 인한 속도저하 없이 실시간으로 검사업무에 활용할 수 있다.

2.2.2 ISI DB 연계 시스템 개발

ISI DB는 원전 가동중검사의 점검결과에 대한 데이터 베이스를 말한다. 기존의 가동중검사 결과는 각 검사업체에서 검사 후 작성한 문서로 보관되어 있다. 따라서, 본 연구에서 개발한 원전 3D ISI 시스템에 점검결과에 대한 온라인 정보를 제공하기 위해, 점검결과의 디지털 자료화 작업을 수행하였다. 우선 해당검사부위에 대한 고유 ID를 부여하고, 각 검사부위를 주기별로 구별할 수

있도록 색상을 달리하여 모델링하였다. 또한, 가동중검사 계획서를 참조하여 각 검사부위에 대한 기록을 DB로 구축하였다. 이와 같이 ISI DB 구축을 통해, 검사자가 해당검사부위에 대한 결과를 신속히 조회하고, 점검결과에 대한 기록 및 점검업무에 대한 종합적인 진행상황을 정확히 파악할 수 있도록 ISI DB 연계 시스템을 개발하였다. 본 시스템을 사용하여 검사자는 해당 검사부위를 시각적으로 확인할 수 있고, 해당 검사부위에 대한 ISI DB를 마우스 클릭만으로 확인할 수 있다.

그림.5에는 ISI DB 연계시스템 브라우저와 해당검사부위에 대한 DB를 보여주고 있다. 그림.5의 검사부위를 클릭하게되면 해당 검사부위에 대한 검사부위 ID가 출력되고 고유한 검사부위 ID에 의해 검사자는 해당검사부위에 대한 DB를 검색할 수 있다.

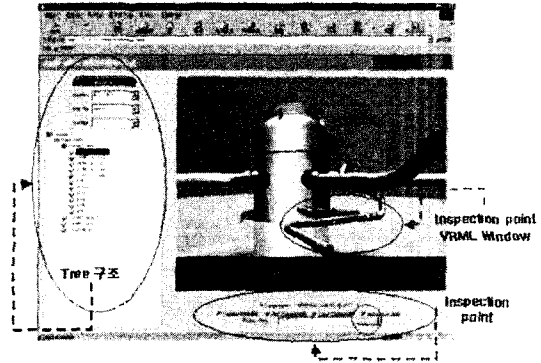


그림.5 ISI DB System 연계

3. 결 론

본 연구에서는 원자력발전소의 가동중검사업무의 효율을 높이고, 원전 안전성 확보 및 유지 기술의 개발을 위해 가상현실기법을 이용하여 원전 3D ISI 시스템을 개발하였다. 본 연구를 통하여 기존의 가동중검사업무에서 야기될 수 있는 검사결과 누락 및 손실 등과 같은 2차원적 업무 프로세스에 의한 문제점을 개선하고, 검사자의 검사 루트(route) 표준화, 검사업무의 체계화를 유도하였다. 또한, 최근 각 산업 및 공학분야에서 새로운 어플리케이션 형태로 적용되고 있는 가상현실 기법을 적용하여, 원자력발전소와 같은 대규모 플랜트설비에서의 적용가능성과 개발 방향을 제시하였다.

[참 고 문 헌]

[1] 한국전력공사, "울진 원자력발전소 1호기 제2주기 장기가동중검사계획서", 2001.11
 [2] 한국전력공사, "울진 원자력발전소 2호기 제2주기 장기가동중검사계획서", 1999.7
 [3] 한국전력공사, "가동중검사", 1995.10
 [4] Laura Lemay, "3D Graphics & VRML 2.0", Sams.net, 1997.5