

## Development of 3D CAD System as a Design Tool for PEACER Development

9 56 -1

### Abstract

In an effort to resolve generic concerns with current power reactors, PEACER[1] has been developed as a proliferation-resistant waste transmutation reactor based on a unique combination of technologies of a proven fast reactor and the heavy liquid metal coolant. In order to develop engineering design and visualize its performance, a three dimensional computer aided design (3D CAD) method has been devised.

Based on conceptual design, system, structure and components of PEACER are defined. Using results from finite element stress analyzer, computational fluid dynamics tool, nuclear analysis tool, etc, 3D visualization is achieved on the geometric construct based on CATIA[3]. A 3D visualization environment is utilized not only to overcome the integration complexity but also to manipulate data flow such as meshing information used in analysis codes. The 3D CAD system in this paper includes an open language, Virtual Reality Modeling Language (VRML)[4,5], to deliver analyses results on 3D objects, interactively. Such modeling environment is expected to improve the efficiency of designing the conceptual reactor, PEACER, reducing time and cost. Results of 3D design and system performance simulation will be presented.

### 1. 서론

본 연구는 핵확산저항성 소멸처리로 (PEACER) 개념설계를 다루었던 1998년도 연구보고서[1]에 기초하여 Pb-Bi 냉각제를 이용한 제 4세대 원자로의 설계 시스템을 구성하는데 목적이 있다. 설계 및 해석과 후처리의 세 가지 과정을 효과적으로 연계시켜 설계의

효율을 피함과 동시에 설계변형에서 오는 형상변화가 해석수행에 미치는 반복 작업의 영향을 최소화 하고 또한 후처리 과정에서 형상과 해석 결과를 동시에 3차원으로 보여주는 데 그 목적이 있다.

PEACER를 설계함에 있어 형상설계에 못지않게 중요한 것이 핵확산저항성, 구조해석 등 설계과정에서의 핵적, 기계적 거동 등을 가시화 하여 보여주는 것이다. 이러한 설계 및 가시화의 두 가지 목적을 달성하고 효율적인 설계를 달성하기 위해 상용 소프트웨어 들을 포함한 연계 시스템을 구축하고 가시화를 구현하는 프로그램을 제작하여 통합 설계 시스템을 구성하였다.

이러한 통합된 시스템을 시험 및 검증하기 위하여 구조해석의 결과를 3차원으로 보여주는 예제해석을 수행하였다. 3차원 CAD 소프트웨어에서 형상을 설계하고 형상자료를 다시 유한요소 소프트웨어에서 받아 구조해석을 수행하며, 후처리 프로그램을 고안하여 3차원 형상 및 구조해석 결과를 가시화하였다.

이러한 시스템을 이용함으로써, 설계 변수 변화에 대하여 재해석 등의 과정을 빠르게 대처할 수 있게 된다. 이 방법은 현재 PEACER의 상세설계에 반영 중이다. 이러한 과정은 크게 CATIA에서 설계된 내용을 어떻게 해석도구와 연계할 것인가와 설계결과를 어떻게 가시화 할 것인가로 나뉘게 된다. 전자는 설계과정에서 만들어진 데이터를 해석 도구에 바로 이용할 수 있게 하기 위함이고 후자는 가시화를 통해 설계 및 해석결과의 문제점을 쉽게 파악할 수 있게 함이다.

## 2. CATIA를 이용한 설계 자동화

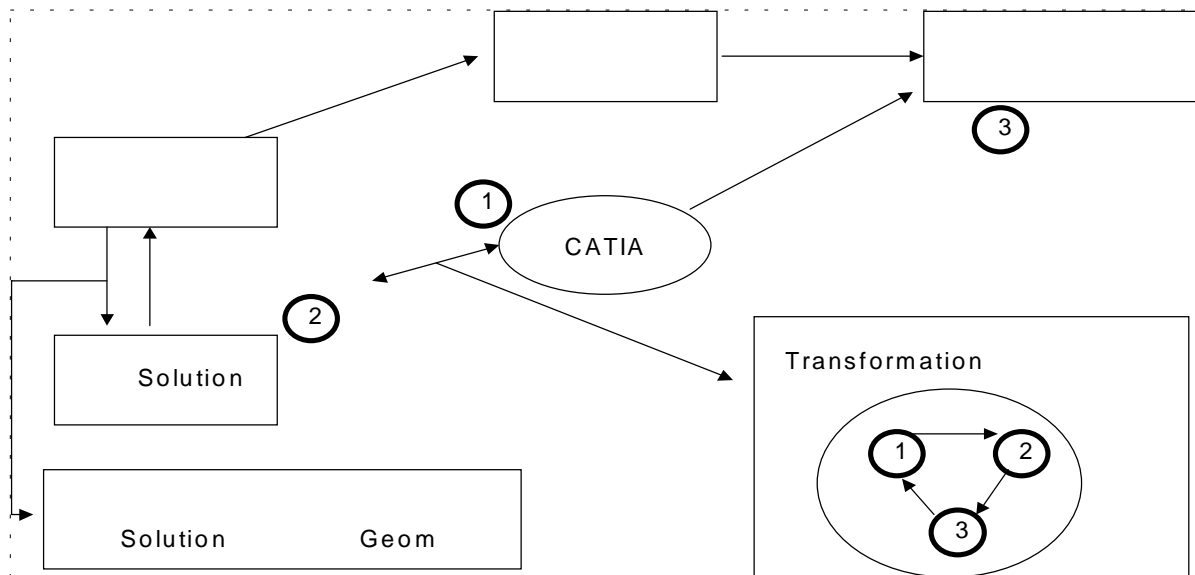


그림 1. CATIA를 이용한 설계 통합 모델

위의 그림 1은 CATIA에서 만들어진 형상데이터를 Solution Code에 제공하고 다시 해석된 결과를 후처리과정에 반영하는 데이터 흐름이다.

표1. 설계 대상 역할

	가	VRML
CATIA		
	CATIA	
	Design Parameter	CATIA

### 2.1 CATIA와 Solution Code Interface

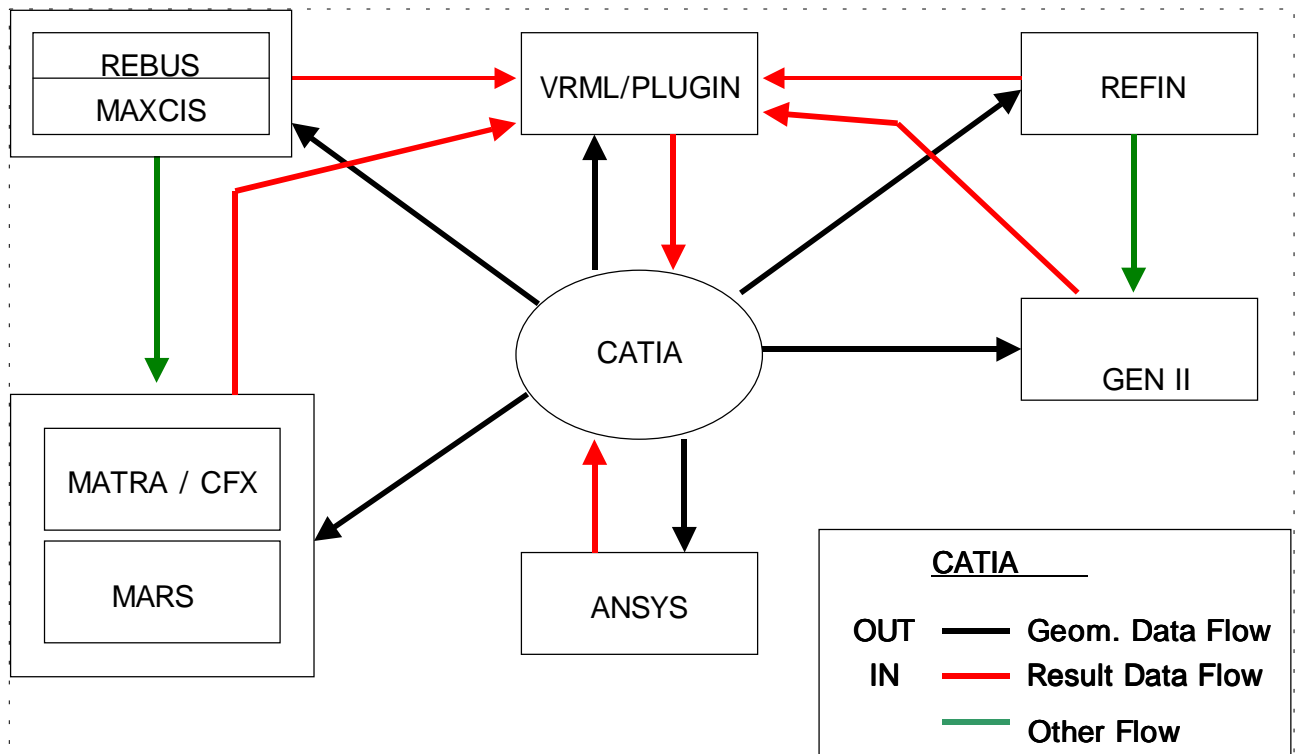


그림 2. CATIA와 Solution Code Interface

각각의 Solution Code에서 출력된 결과 데이터는 CATIA에서 출력된 VRML 스크립트와 결합하여 CATIA에서 시뮬레이션 하거나 다른 VRML뷰어에서 나타낼 수 있게 한다. 그리고 위의 그림 2 에서와 같이 CATIA와 형상데이터가 교환 될 수 있으나 각각의 코드 내에 전처리가 없는 경우에는 CATIA에서 Solution Code로 형상데이터 전환이 당장은 어려우므로, 초기에는 결과 데이터의 후처리 과정이 선행되어야 한다고 판단된다.

## 2.2 각각의 CODE 분석

### (1) REBUS-3

- Triangle Cell은 입력 자동화, Square Cell은 수동 입력(수천 라인)
- 초기 수작업으로 인한 데이터 입력의 오류를 CHECK할 방법 없음.
- INPUT 데이터 입력시간 2~3주 소요
- OUTPUT 데이터의 FORMAT이 후처리 용도에 부적합(TANSFORM필요)
- 자동화된 형상 데이터의 INPUT처리 UTILITY 필요

### (2) CFX

- CFX 코드의 전처리는 Ideal한 형상에서 TEST시보다 복잡도 증가
- 전처리에 CAD에서 설계된 Data Input이 필요
- Output 데이터를 VECTOR Field 및 Contour로 표시하는데
- 유체적 특성을 반영하여야 함

### (3) MATRA

- Channel 별 데이터 후처리 특성 감안
- 전처리에 CAD에서 설계된 Data Input이 필요
- Output 데이터를 VECTOR Field 및 Contour로 표시함
- 유체적 특성을 반영하여야 함.

### (4) REFIN

- 1차원 코드 3차원 변형 중
- 코드 프로그램 당사자와 대화를 통한 최종 후처리 데이터 형식 결정 필요
- 3차원 코드 제작 과정상 실제적인 형상코드의 제작 필요
- 현재 수작업으로 Input File을 생성하고 있음.
- 복잡한 형상 발생시 형상 데이터의 수작업으로 인한 문제점 발생

### (5) GEN II

- REFIN 코드와 같은 현안을 가지고 있음

### (6) ANSYS[2]

- 전처리(형상 데이터)과정은 CATIA에서 ANSYS로 넘길 수 있음
- 후처리 과정에서 결과 데이터 가공 필요

## 3. CATIA에서 데이터 후처리 방법 연구

본 프로젝트에서는 CATIA를 두 가지 용도로 사용하고 있는데 그 하나는 PEACER 설계용 도구로의 이용이고 다른 하나는 각각의 코드로부터 생성된 결과 데이터를 CATIA에서 가시화하는 용도이다. 가시화하기 위하여 CAA를 이용하는 방법과 VRML 프로그램을 이용하는 방법이 있다. CAA를 이용하는 방법은 보다 많은 자유도를 주고 있으나, 본 연구의 목적에는 보다 간단하고 효율적인 방법으로 가시화를 구현할 수 있는 script 언어인 VRML을 이용하는 방법이 선택되었다. 이 방법은 CATIA에서 만들어진 VRML 3차원 설계 데이터와 후처리 데이터를 결합하여 3차원으로 형상과 자료를 함께 가시화할 수 있으며, 경제적인 효율적인 후처리 방법이다. 본 연구에서 제작된 VRML 가시화 도구 PEACER-VIEWER를 이용하여 이러한 데이터와 결합된 형상을 가시화 하게 된다.

### 3.1.1 CAA이용 방법

CAA (CATIA/CADAM Application Architecture)는 CATIA내부 설계 데이터를 가공할 수 있게 하는 API(Application Programming Interface)로서 ICEM사에 CFD Hexa CAA V5: Hexahedral Volume Meshing within CATIA V5(그림 3)의 경우 이 방법을 통해 CATIA에서 설계된 데이터를 직접 CATIA내에서 Mesh Generation하는 틀이 CAA를 이용한 CATIA에 설계 데이터의 후처리의 좋은 예라고 할 수 있다. 본 과업에서도 마찬가지로 이 방법을 이용하게 된다면 3차원 설계를 하면 후처리 과정을 자유롭게 구현 할 수 있을 것이다.

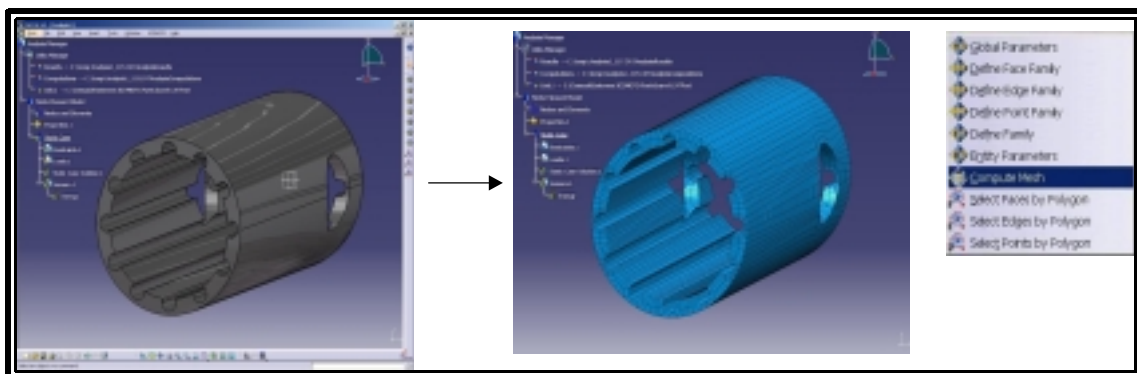


그림 3. ICEM CFD Hexa CAA V5: Hexahedral Volume Meshing within CATIA V5

### 3.1.2 VRML을 이용한 방법

VRML(Virtual Reality Modeling Language)은 VRML은 WEB상에서 3차원 형상을 가시화하기 위해서 만들어진 script 언어인데, VRML 해석기를 통해 3차원 데이터를 화면상에서 가시화 할 수 있게 된다.

아래 그림 4 에서와 같이 CATIA에서 만들어진 형상데이터를 VRML Script로 출력하여 각각의 Solution Code에서 출력된 데이터의 특성치를 VRML Script에 반영한다. 이렇게 되면 새로운 VRML script가 재생성 되는데 이 데이터는 3차원 시뮬레이션을 가능하게 해 준다.

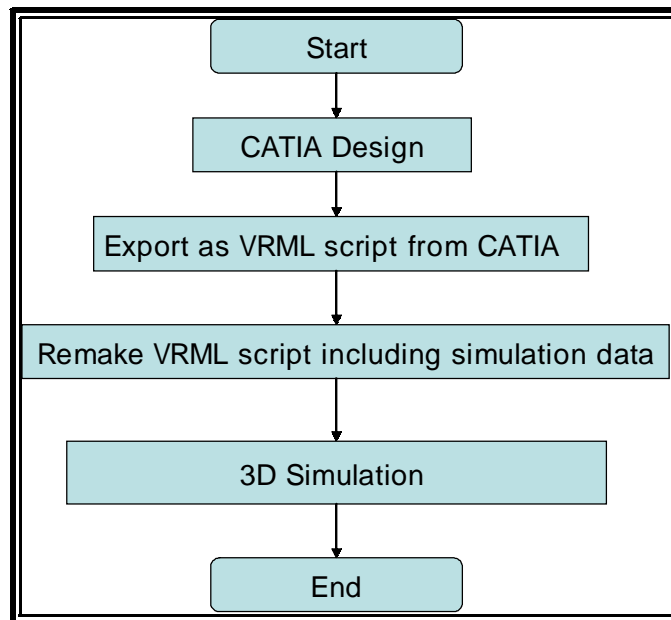


그림 4. VRML Simulation Flow Chart

### 3.1.3 VRML 특성

#### (1) CATIA와의 연계성

##### - EXPORT

CATIA에서 만들어진 형상데이터를 VRML 데이터로 변환 출력 가능

##### - IMPORT

VRML 데이터로 출력된 Format을 CATIA에서 읽을 수는 있지만 편집은 불가능 함

(2) 후처리 기능

- Animation

데이터가 시간에 변화에 따라 다르게 표현되어질 경우, 시간변화에 따라 데이터의 변화를 가능하게 함

- User Interactive Command

3차원 객체를 마우스로 움직이거나 선택했을 때 반응을 정의 할 수 있음

- Navigation

Navigation tool을 이용해 만들어진 구조물 또는 형상 데이터를 마치 걸어 다니면서 사물을 여러 각도에서 관찰 할 수 있음

(3) VIEWER

VRML Viewer는 크게 두 가지로 나눌 수 있는데, CATIA나 기타 독립 Application에서 볼 수 있는 경우와, Web Browser에서 읽을 수 있는 방식임

표2. VRML의 Viewing 방법 및 종류

VRML Viewing	
Application	CATIA, 3D MAX, MAYA, LightWave 3
Web Browser Plug -in	ParallelGraphics Cortona VRML Client, Cosmo Player

(4) 편집도구

- 현재 CATIA에서는 VRML 편집이 불가능함

- 대표적인 GUI 방식의 편집 툴로 3D MAX, MAYA를 예로 들 수 있음

4. CATIA를 이용한 PEACER 550 예비 설계

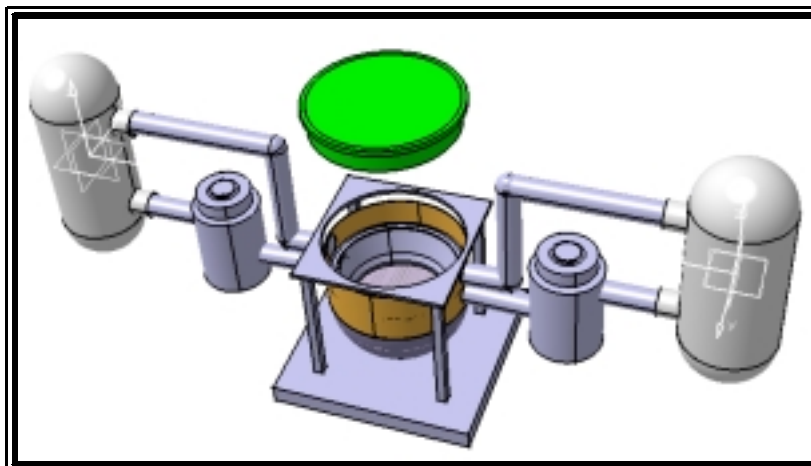


그림 5. PEACER 550의 예비 가시화

그림 5 에서 보는 바와 같이 Reactor Vessel과 Pump 그리고 Steam Generator 그리고 냉각제를 운반할 수 있는 Pipe를 설계하여 가시화 하였다.

#### 4.1 PEACER 550 설계 PART 리스트

표3. PEACER550 예비 가시화 주요 PART

1 . H e a d C l o s u r e
2 . M i d s h e l l
3 . B o t t o m C l o s u r e
4 . F u e l r o d
5 . P i n
6 . A s s e m b l y
7 . A s s e m b l y s u p p o r t e r
8 . B a r r e l
9 . R e a c t o r s u p p o r t e r
1 0 . P i p e
1 1 . P u m p
1 2 . S t e a m G e n e r a t o r

##### (1) Head Closure

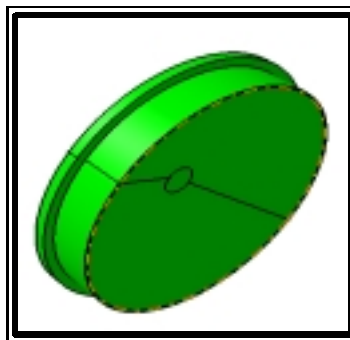


그림 6. Head Closure 가시화



(2) Mid shell

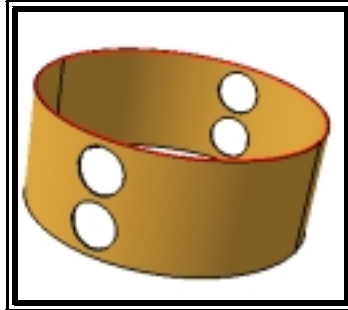


그림 7. Mid Shell 가시화

(3) Bottom Closure

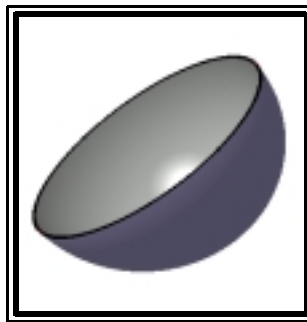


그림 8. Bottom Closure 가시화

(4) Fuel rod

(5) Pin

(6) Fuel Assembly

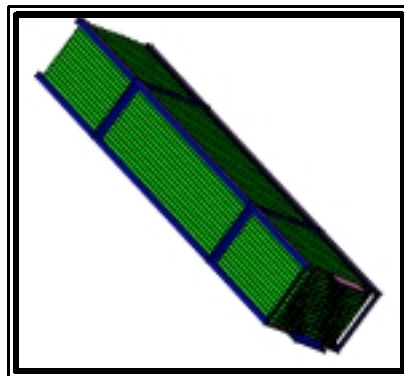


그림 9. Fuel Assembly 가시화

(7) Assembly supporter

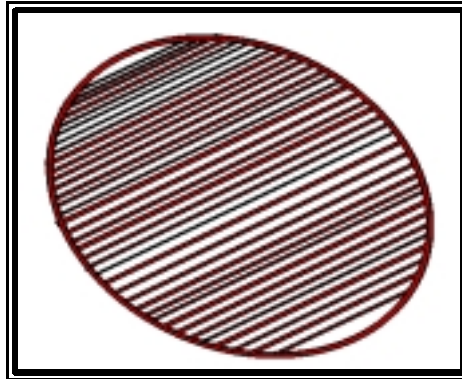


그림 10. Assembly supporter 가시화

(8) Barrel

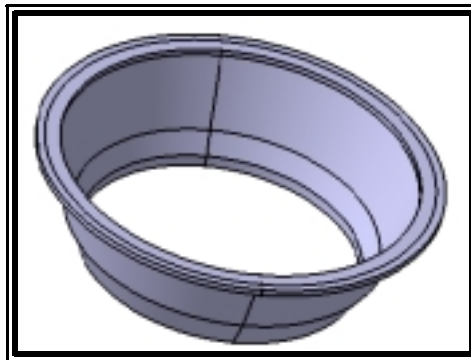


그림 11. Barrel 가시화

(9) Reactor supporter

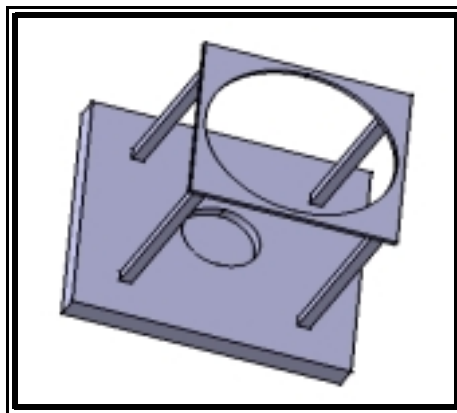


그림 12. Reactor Supporter 가시화

- (10) Pipe
- (11) Pump
- (12) Steam Generator

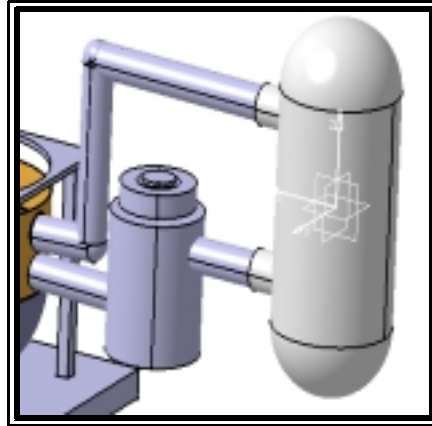


그림 13. Pipe, Pump, Steam Generator가시화

## 5. CATIA-ANSYS 설계, 해석, 가시화 자동화 예제

### 5.1 구조해석 개요

CATIA에서 설계된 모델 중 원자로 용기부분을 분리하여 ANSYS를 이용하여 구조해석을 수행하였다. 해석수행의 목적은 CATIA-ANSYS간 설계-구조해석 인터페이스의 원활함을 점검해보기 위함이다. 원자로용기를 CATIA에서 “model” 확장자를 가진 파일로 저장하였으며, 이를 ANSYS의 CATIA 파일 import기능을 사용하여 읽어 드렸으며 ANSYS 내에서 automatic meshing기능을 이용하여 meshing을 수행하였다. 요소 형상으로는 10-node-Tetrahedral element를 사용하였으며, 원자로용기 meshing에 총 48,490개의 요소와 66,460개의 node가 사용되었다.

원자로 용기 내부에는 Pb-Bi 냉각재의 자중으로 인한 압력과 산소분압조절을 위한 가스 주입으로 인한 압력이 적용된다. 산소분압조절을 위한 가스압력을 약 2기압으로 가정한 상태에서 Pb-Bi 냉각재의 자중으로 인한 압력을 계산하였다. 직경 7m 및 높이 8m의 실린더에 Pb-Bi 냉각재가 가득 차 있다고 가정하면, 약 3,000 톤의 질량에 해당한다. 이 때의 원자로 용기의 하반구 정점에서의 등가 압력을 계산하면 약 8기압에 해당한다. 따라서 위의 두 압력의 합인 약 10기압을 내부압력으로 가정하고 해석을 수행하였다.

경계조건으로는 배관과 연결된 부분이 고정되었다는 가정을 하였으며 내부에 압력조건

을 10기압을 가정하여 응력계산을 수행하였다. 그림 17에서 Von Mises 유효응력을 보여주고 있으며, 최대유효응력이 146 MPa에 해당함을 보여주고 있다. 변형은 수 mm 이내로 미약하나, 변형에 충분한 magnification을 주어 변형 양상을 보여주고 있다.

## 5.2 ANSYS에서 얻은 결과를 VRML로 Converting하는 방법

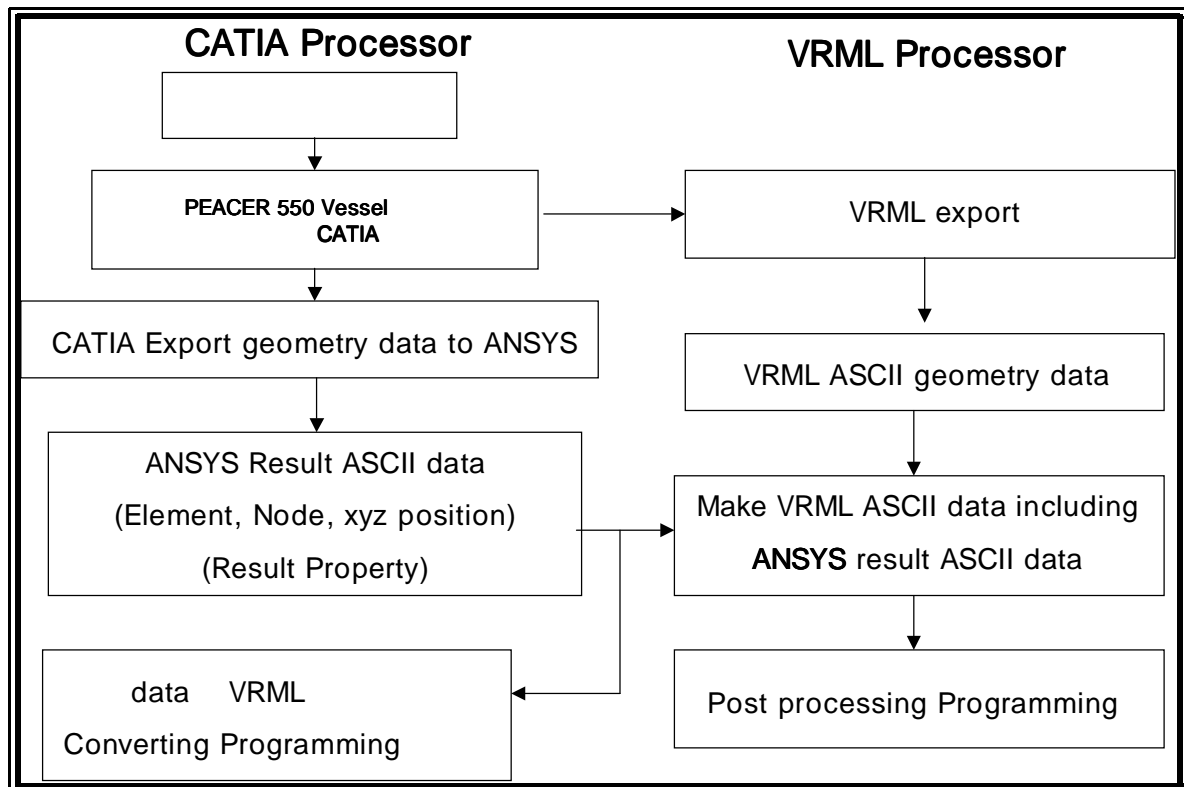


그림 14. CATIA - ANSYS - VRML 가시화 Flow

### - 방법 I)

위의 그림 14에서 보는 바와 같이 CATIA에서 PEACER를 모델링 하여 그 해석 결과를 VRML로 가시화하는 과정은 다음과 같다. CATIA에서 만들어진 3차원 데이터는 두 가지 데이터 흐름을 가지게 되는데, 하나는 VRML에 넘겨질 형상 데이터와 ANSYS에서 해석용으로 쓰여 지는 형상데이터이다. VRML로 넘겨지는 데이터는 VRML 1.0 포맷으로 넘겨지고 ANSYS로 넘겨지는 데이터는 ANSYS에서 CATIA의 형상데이터를 importing할 수 있는 확장자가 model인 바이너리 데이터이다. ANSYS에서 나온 결과 데이터 Node와 Element에서 그리고 stress값을 기 생성된 VRML 데이터와 Combine해서 그림 15와 같이 실제 가시화 데이터를 얻어 내게 된다.

- 방법 II)

CATIA에서 출력된 데이터를 ANSYS로 넘긴 후에 해석결과를 VRML1.0 포맷으로 얻은 후 이 결과를 VRML 2.0 포맷을 Converting하고 Legend bitmap과 결합하여 후처리 결과를 가시화 할 수 있다.

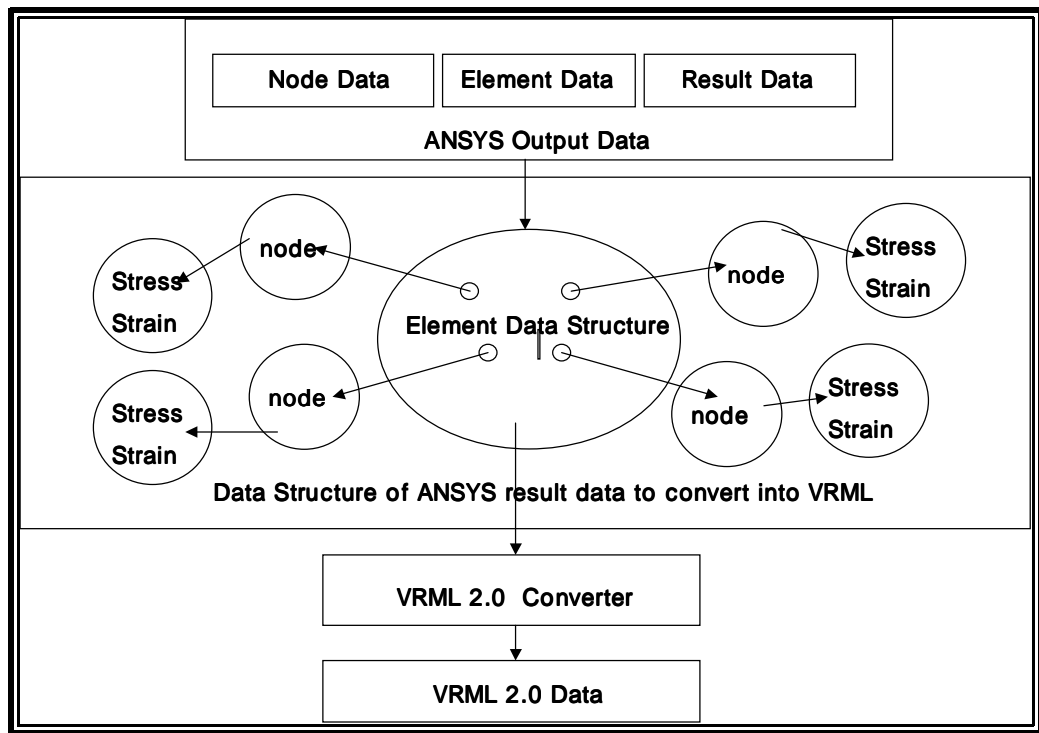


그림 15. 데이터를 VRML 2.0으로 넘기는 과정

ANSYS의 결과 데이터를 한번에 VRML 2.0으로 옮기는 과정을 변환기를 이용해서 해결하기 위해서는 변환기 내에 ANSYS에서 출력된 Node, Element, 해석 결과 값을 제어할 수 있는 제어 구조가 필요하다. 그러기 위해서는 Element가 각각의 Node를 제어하고 Node가 각각의 Stress와 Strain값을 가지고 있으면, FEM의 기본 단위인 Element를 VRML의 면요소로 넘기고, 이 면 요소에 Node별 Stress, Strain값을 Contour데이터로 VRML에 결합시키면 형상요소와 결과 요소를 결합한 3차원 가시화 모델을 얻을 수 있다.

### 5.3 PEACER의 3차원 가시화 모델을 위한 통합 Application PEACER-VIEWER

VRML로 3차원 가시화를 추진하기 위해서는 체계적인 Application이 필요하게 되는데, 이를 위해서 통합 Application PEACER-VIEWER Application을 설계하게 되었다. 이 Application을 이용하게 되면 구조설계, 핵설계, 열수력, 처분장의 모델 데이터와 해석결과 데이터를 체계적으로 분석하고 살펴 볼 수 있어서 PEACER에 대한 설계 Process관리 및 일반인들에 PEACER의 핵확산 및 저항성에 대한 확실하고 체계적인 가시화를 구현할 수 있을 것이다.

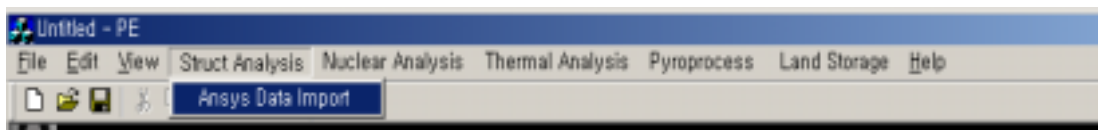


그림 16. PEACER-VIEWER의 메뉴구조

그림 16에서 보는 바와 같이 PEACER VIEWER는 각각의 설계 Interface에 대한 메뉴 구조를 가지게 될 것이며 이것은 PEACER 전체에 대한 PART들의 해석결과와 형상 데이터를 충분히 가시화해 줄 것이다. (그림17. 참조)

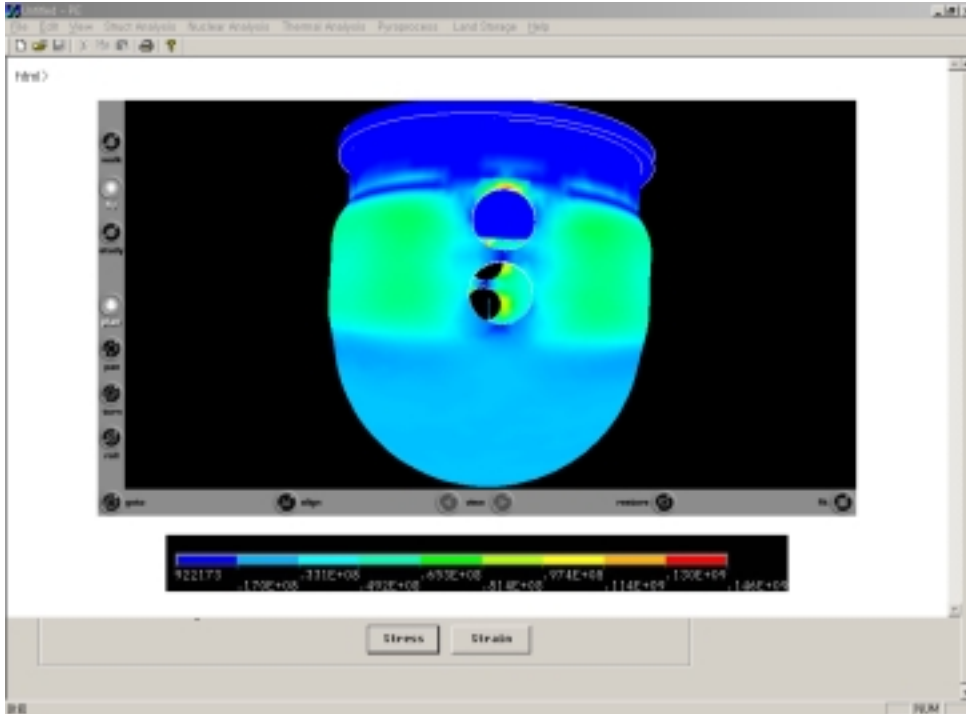


그림 17. ANSYS의 Vessel부분을 PEACER-VIEWER에서 가시화 예

그림 17에서 보는 바와 같이 위의 CATIA와 ANSYS간의 형상 데이터 교환 과정을 거쳐 VRML로 변환한 데이터를 PEACER-VIEWER에서 가시화한 예이다.

## 6. 결론

설계의 복잡도가 증가할수록, 잦은 설계 변수의 수정이 필요하게 된다. 이러한 설계 변수의 수정은 연속적으로 설계 형상 뿐 아니라 연계 해석코드 및 후처리 데이터 등 반복 수정의 필요성을 낳는다. 이러한 일련의 반복 수정작업은 작업 효율을 저하시킬 뿐 아니라 많은 시간적 인적 소요와 함께 나아가 금전적 소요를 야기하게 된다.

본 연구에서 PEACER 설계에 적용하고 있는, 3D CAD 소프트웨어를 중심으로 구성된 3D 설계시스템은 핵설계, 열수력설계, 재료 및 구조설계 등 여러 해석 코드들과의 연계성을 고려하여 유연성과 효율성을 극대화 한 것으로서, 형상설계 및 이의 검토를 위한 가시화의 일련의 과정이 연결되어 설계변수의 변화로 오는 재설계 및 재해석 등의 반복 작업을 최소화 할 수 있도록 하여준다.

이러한 설계시스템의 예로써 PEACER 원자로용기에 대한 형상설계와 연계 구조해석을 수행하여 이의 결과를 가시화 하여 보였다. 여기에는 3D CAD 소프트웨어로서 CATIA 상용 CAD를 사용하였고, 연계코드로는 ANSYS 상용 유한요소 소프트웨어를 사용하였다. CATIA의 형상 및 연계코드의 해석결과의 3차원 가시화를 위하여 VRML script를 이용한 프로그램을 작성하여 가시화 하였다.

본 연구에서의 설계시스템을 사용함으로써, 형상설계 및 연계코드에서의 이 형상을 통한 해석과 해석결과를 포함하는 3차원 형상을 가시화 하는 것이 서로 효과적으로 연계될 수 있음을 보였다. 또한 이러한 설계시스템은, 사용이 용이한 상용 CAD 및 FEM 코드를 이용한 동시에, script 언어를 이용하여 가시화를 구현 하였으므로 쉽고 편리하게 활용 가능하게 된다.

## 참고문헌

- [1] 핵확산저항성 소멸처리로 개념설계 연구 최종 보고서, '98 과학기술부
- [2] ANSYS User's Manual, ANSYS Inc.
- [3] CATIA Version 5 Documentation, Dassault Systems.
- [4] Rikk Carey, Gavin Bell, "The Annotated VRML 2.0 Reference Manual", Addison-Wesley, 1997
- [5] Andrea L. Ames, David R. Nadeau, John L. Moreland, "VRML 2.0 Sourcebook", 2nd Edition, 1996