

## 토크컨버터 해석을 위한 다물체 자료 변환 프로그램 개발

이재철<sup>1)</sup> · 천두만<sup>1)</sup> · 안성훈<sup>\*1,2)</sup> · 여준철<sup>2)</sup> · 장재덕<sup>3)</sup>

서울대학교 기계항공공학부<sup>1)</sup> · 정밀기계설계공동연구소<sup>2)</sup> · 한국파워트레인<sup>3)</sup>

### Development of Multi-body Data Conversion Program for Torque Converter Analysis

Jae-Chul Lee<sup>1)</sup> · Doo-Man Chun<sup>1)</sup> · Sung-Hoon Ahn<sup>\*1,2)</sup> · Jun-Cheol Yeo<sup>2)</sup> · Jae-Duk Jang<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>School of Mechanical and Aerospace Engineering, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

<sup>2)</sup>Institute of Advanced Machinery and Design, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

<sup>3)</sup>Korea Powertrain Co. Ltd., 597-10 Daechun-dong, Dalseo-gu, Daegu 704-801, Korea

(Received 10 May 2007 / Accepted 27 September 2007)

**Abstract** : The finite element programs have been developed for structure, collision, flow, dynamics, heat transfer, acoustics, electromagnetism, MEMS (Micro Electro Mechanical Systems), and etc. These programs can be classified as either “package” program or “single purpose” program. Single purpose programs usually have convenient and powerful functions, but these programs have limited expandability to different fields of analysis. Therefore, the method to converter the analysis results of single purpose program to other programs is needed. In the research, multi-body data conversion methods of 1) finite element model and 2) solid model were created to convert fluid analysis result of CFD-ACE+ to ANSYS data structure. Automatic boundary condition algorithms were developed for blade, and finite element model was compared with solid model. It is expected that, by sealess data transfer, the Multi-body Data Conversion Program could reduce the development period of torque converters.

**Key words** : CFD-ACE+, ANSYS, Coupling analysis(연성해석), Torque converter(토크컨버터), Multi-body data Conversion program(다물체 자료 변환 프로그램)

### 1. 서론

현재 전세계에 사용되고 있는 유한요소프로그램은 수백 개가 넘으며, 세계 시장 규모는 12억 달러, 국내 시장은 400억 원 정도의 규모를 가지고 있다.<sup>1)</sup>

이러한 상용 유한요소 프로그램은 구조, 유동, 열 전달, 동역학, 충돌, 음향, 전자기, MEMS 등 각각의 분야에 알맞은 전용 프로그램(single purpose program)과 몇 개의 전용 코드를 결합한 범용 프로그램(package program)으로 나누어 개발되어 왔다. 일정 분야의 전용 프로그램은 강력한 기능과 편의성을

갖추고 있지만, 연성(coupling)이 잘 되지 않아 해석 분야의 확장이 제한적이다. 이에 비해 범용 프로그램은 분야별 연성은 잘 이루어지지만 각각의 기능에는 제한이 있다.<sup>2,3)</sup>

현재 국내에 소개된 프로그램을 기준으로 유동 분야에는 CFD-ACE+, FLUENT, CFX 등이 많이 사용되고 있다. 이들 프로그램은 유동에 대한 전용성을 가진 코드여서 구조 및 피로에 대한 기능이 제한적이거나 기능을 제공하지 않는다. 이에 이러한 프로그램을 쓰는 사용자들은 구조 및 피로해석을 유동 해석과 연성하여 해석하기 위해서는 유동, 구조, 피로해석 모듈을 다 갖춘 범용성이 확보된 프로그램

\*Corresponding author, E-mail: ahnsh@snu.ac.kr

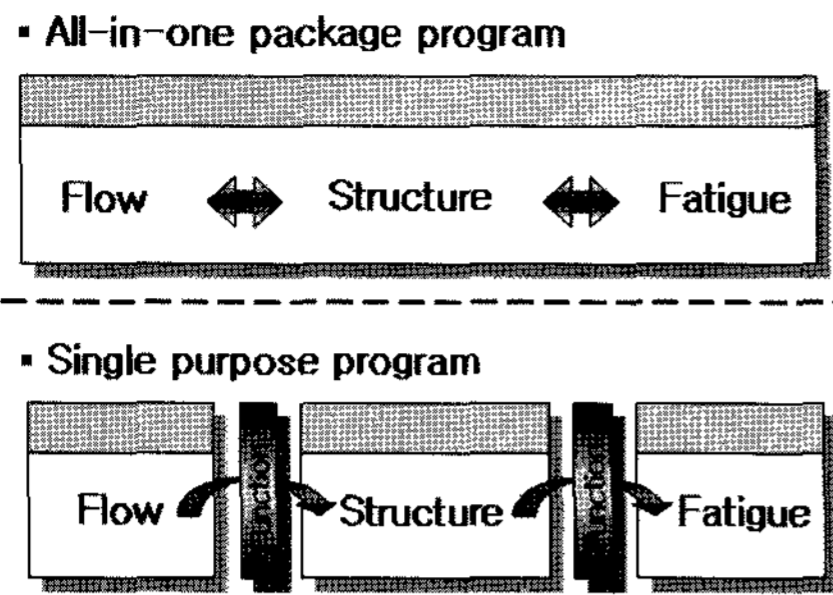


Fig. 1 Schematic diagram of coupling analysis for single purpose program and package program

을 다시 구입하여 사용해야 한다. 또한, 유동해석 부분에서 범용 프로그램이 지원하지 못하는 기능이 있다면 원하는 연성해석은 수행되지 못한다. 따라서 전용 프로그램의 결과 자료를 다른 프로그램들과 공유할 수 있는 방법이 필요하다.

본 연구에서는 유동분야 프로그램인 CFD-ACE+의 결과에 대해 공유 프로그램을 개발하였다. CFD-ACE+는 CFDRC사가 개발한 Free-ware인 DTF (Data Transfer Feasibility)라는 라이브러리를 이용한다. DTF는 Python 프로그래밍 언어로 제어가 가능하여 Python 프로그래밍 언어로 CFD-ACE+의 모든 프로세서를 자동화 할 수 있고, 다양한 시뮬레이션을 사용자가 직접 만든 특화된 GUI에서 수행 할 수 있다. 또한 화학반응, 생화학, 전기화학, 분말 스프레이, 기체상 변화, 플라즈마와 같은 유동 특수분야의 기능이 많고 강력하여 유동해석 분야에서 많이 사용되고 있다.<sup>4)</sup>

그러나 현재 많이 사용되는 CFD-ACE+는 피로해석을 수행할 수 있는 모듈이 없어 유체 유동을 포함하는 기계 구조물의 피로해석을 수행하지 못한다. 이러한 이유로, 산업체에서 CFD-ACE+를 사용하여 유동해석 결과를 데이터베이스화한 업체는 피로해석을 위해 새로운 범용프로그램 유동해석 코드로 해석 데이터베이스를 다시 구축하여야 하며, 이에 많은 비용과 시간이 필요하게 된다.

따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 CFD-ACE+의 유동해석 결과를 다른 프로그램들과 공유할 수 있는 방법을 고안하였으며, 실제로 토크컨버터에 대한 CFD-ACE+의 유동해석 결과를 ANSYS의 입력 자료로 변환하여 구조 해석의 전처

리 과정을 자동화 해주는 다물체 자료 변환 프로그램을 제작하였다. 이로써 CFD-ACE+의 유동해석 결과를 이용하여 구조 및 피로해석을 수행할 수 있게 되었다.

## 2. CFD-ACE+의 유동해석 결과 공유 방법

CFD-ACE+는 Fig. 2와 같이 ANSYS에 대한 내보내기(export) 기능이 없다. 또한 ANSYS 역시 CFD-ACE+와 호환성이 없다. 따라서 두 프로그램 간의 직접적인 자료 공유는 불가능하다.<sup>4,5)</sup>

하지만 대부분의 유한요소 프로그램은 결과를 텍스트로 출력할 수 있다. 또한 이러한 결과 파일 안에는 절점 정보와 요소 정보, 하중 정보 등을 포함하고 있다. 따라서 이 결과 텍스트 파일을 이용하여 필요한 정보를 저장하고, 이 정보를 공유할 프로그램의 입력 자료 형식으로 변환하여 프로그램에 인식시키면 자료가 서로 공유될 수 있다.

CFD-ACE+의 경우도 앞에 언급한 바와 같이 유동해석 결과를 텍스트로 출력할 수 있으며, 결과 출력 파일에는 절점 정보, 요소 정보, 하중 정보를 가지고 있다.

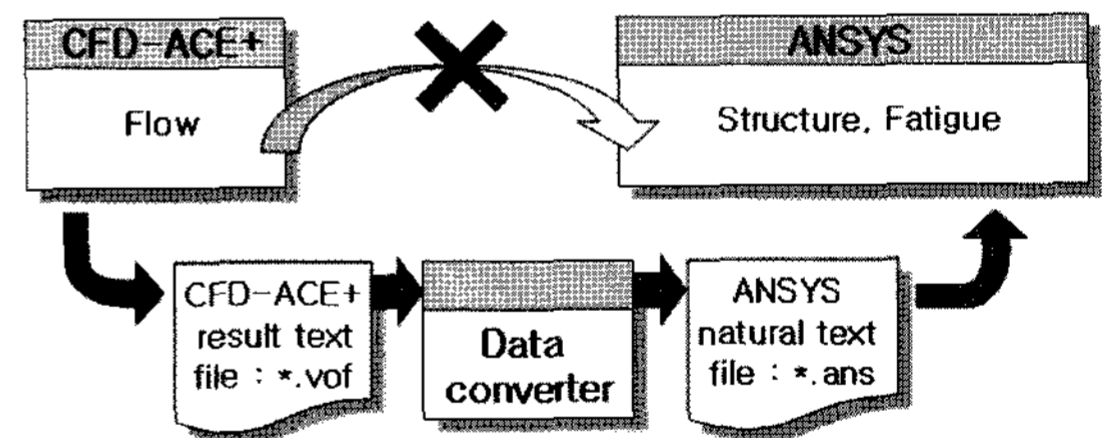


Fig. 2 Schematic diagram of data conversion from CFD-ACE+ to ANSYS

따라서 이를 ANSYS가 인식할 수 있는 텍스트 형식의 파일로 변환하여 인식시키면 CFD-ACE+의 유동해석 결과를 공유할 수 있게 된다. 또한 ANSYS 뿐만 아니라 텍스트 기반 입력방식 기능이 있는 ABAQUS, NASTRAN, ALGOR 등과 같은 다른 프로그램에서도 CFD-ACE+의 유동해석 결과를 공유할 수 있게 된다.<sup>6,7)</sup>

## 3. 토크컨버터에 대한 다물체 자료 변환 프로그램

자동차의 엔진과 변속기를 이어주는 토크컨버터의 구조는 Fig. 3(a)과 같다. 토크컨버터 내부에는 오일이 들어 있어 엔진 축과 변속기 축의 토크를 전달하는 역할을 한다. 이 때 오일에 의해 각각의 블레이드(blade)는 압력을 받게 되고, 이로 인해 토크컨버터는 응력을 받게 된다. 이 응력은 엔진의 운행에 따라 반복적으로 받기 때문에 강도상으로 충분한 여유가 있더라도 피로에 의해 파손될 수 있다. 따라서 피로 해석은 필연적이며, 정확한 해석 결과를 얻기 위해서는 유동해석의 결과를 사용해야 한다.

앞에서 언급한 CFD-ACE+의 유동해석 결과를 공유하는 방법을 이용하여 ANSYS에서 구조 및 피로해석을 수행할 수 있게 도와주는 토크컨버터용 다물체 자료 변환 프로그램을 다음과 같이 작성하였다.

### 3.1 토크컨버터의 유동 해석

유동 해석 모델을 만들기 위해 3차원 전체 모델링에서 각 부분의 블레이드만 추출하여 모델을 생성한다.

해석 모델링을 단순화하기 위해 Fig. 3 (b)와 같이 조립 때문에 존재하는 탭(tab) 부분을 제거 시킨다. 이때 탭이 제거되면서 옆에 존재하는 노치부분 역시 제거되며, 탭에 의해 나누어진 수개의 자유 곡선이 하나의 자유 곡선으로 만들어진다. 탭이 제거된 모델을 두께방향으로 확장(offset)시켜 Fig. 3(c)와 같은 유동해석 영역을 생성한다. 생성된 영역의 경계를 등분하여 적분 공간을 만들고, CFD-ACE+의 해석기(solver)를 이용하여 Fig. 4와 같은 유동해석 결과를 얻는다.<sup>8,9)</sup>

유동해석 결과에서 구조 해석을 위해 필요한 부분은 각 구조체와 접촉하는 부분의 정보이다. 이 부분의 정보는 텍스트 결과 파일("\*.vof")로 얻을 수 있다. 이 파일의 구성 형식은 <형식 번호>, <요소 형식 변수 개수><차원>, <절점 개수><절점 변수 개수> <요소 개수><Nfn>으로 구성되어 있고 17개의 절점 변수는 RHO, U, V, W, P, P\_TOT, Vislam, T, D, K, YPLUS, 12, 13, 14, X, Y, Z 순으로 정렬되어 있으며 수치를 지수형식으로 표현하고 있다.<sup>4)</sup>

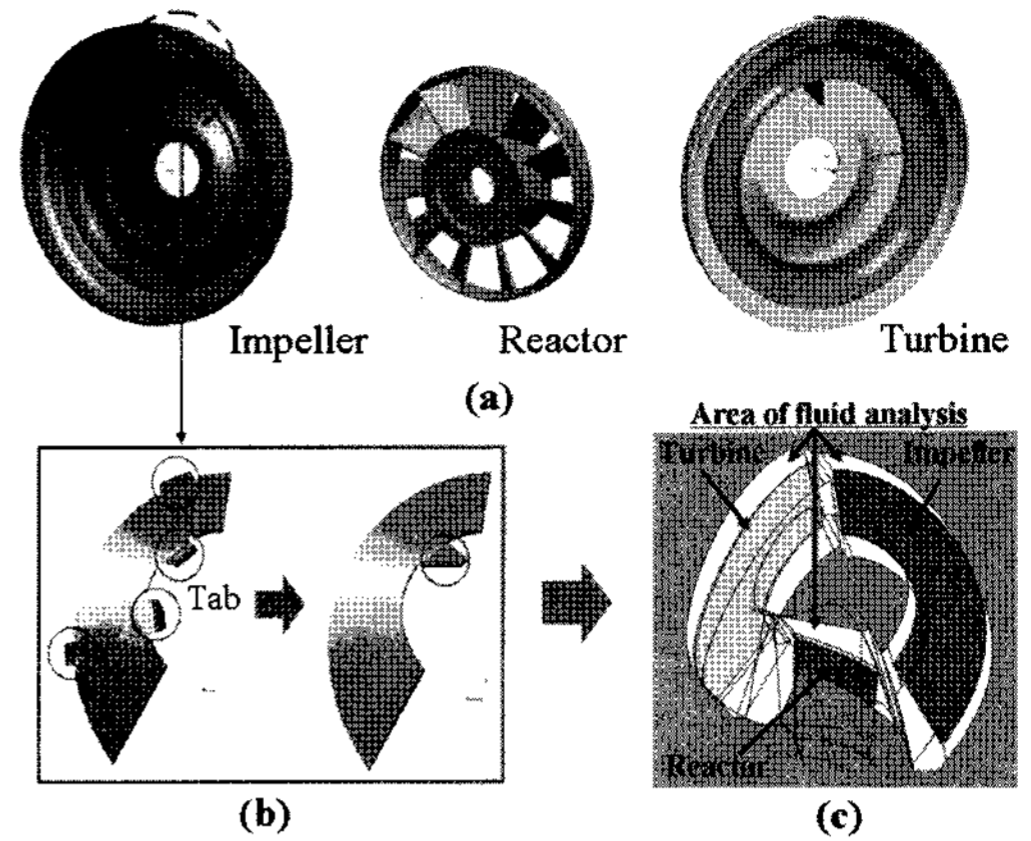


Fig. 3 Simplification process of a blade for geometry conversion to make a fluid analysis model<sup>6,7)</sup>

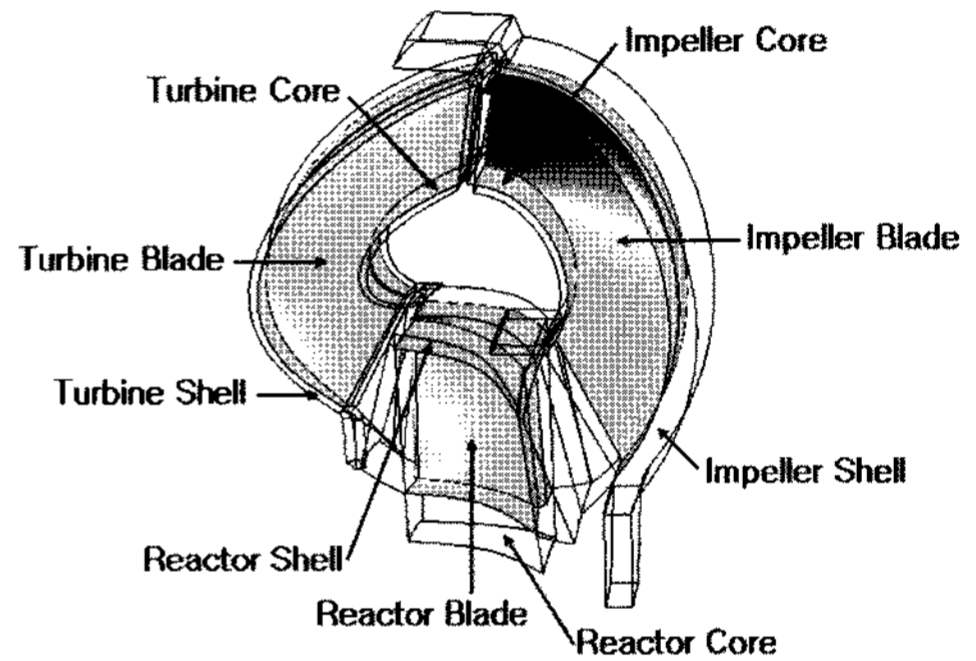


Fig. 4 Result of fluid analysis (Pressure distribution)<sup>7)</sup>

### 3.2 다물체 자료 변환 과정

제작된 토크컨버터용 다물체 자료 변환 프로그램은 Fig. 5와 같이 임펠러(impeller), 터빈(turbine), 리액터(reactor)에 대해 블레이드 단독 또는 셸(shell), 블레이드, 코어(core)를 합해서 해석할 수 있는 선택 옵션(option)들이 있다.

이러한 해석 대상의 유동해석 결과를 ANSYS의 구조해석에 적용하는 방법으로 Fig. 6과 같이 절점(node)과 요소(element)를 직접 생성시키는 유한요소모델(Finite element model) 방법과 주어진 정보로 CAD(Computer-Aided Design) 모델과 압력(pressure) 모델을 생성하고 요소분할(meshing)을 이용하여 절점과 요소를 생성하는 솔리드모델(Solid model) 방법을 고안하였고 선별적으로 사용할 수 있게 프로그램을 개발하였다.

유한요소모델 방법은 솔리드모델 방법에 비해 빠른 해석을 수행할 수 있으며 ALGOR와 같은 다른

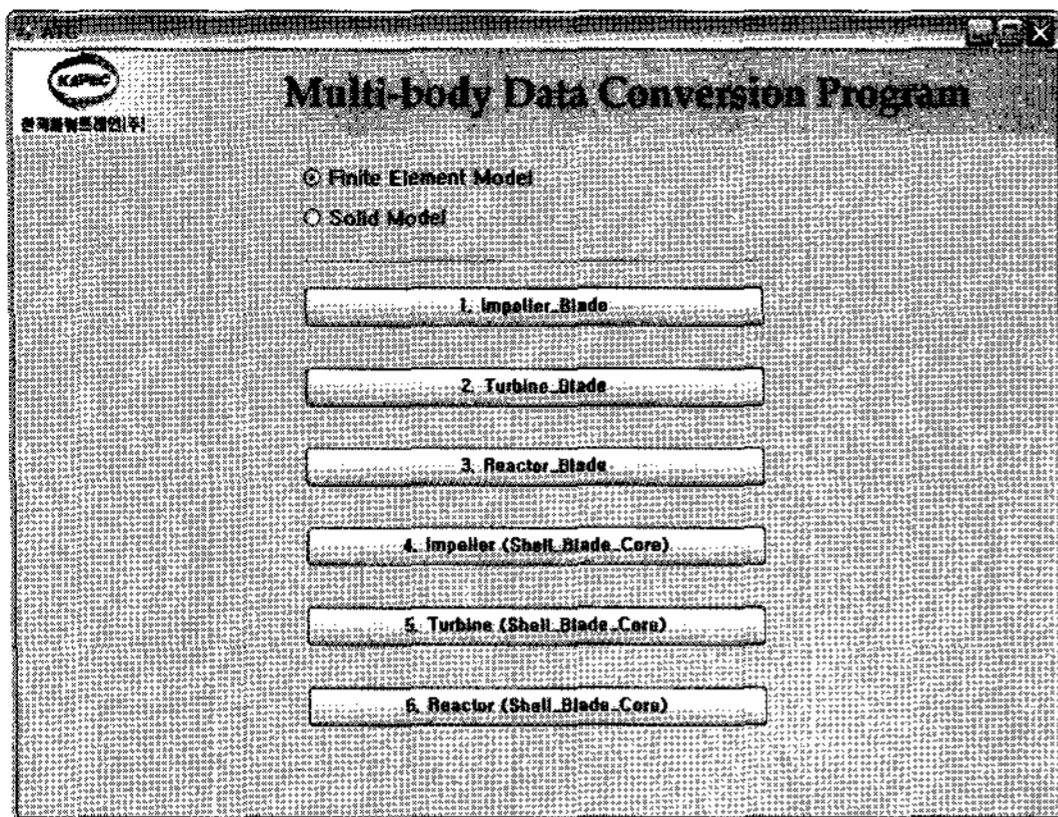


Fig. 5 Analysis options of multi-body data conversion program

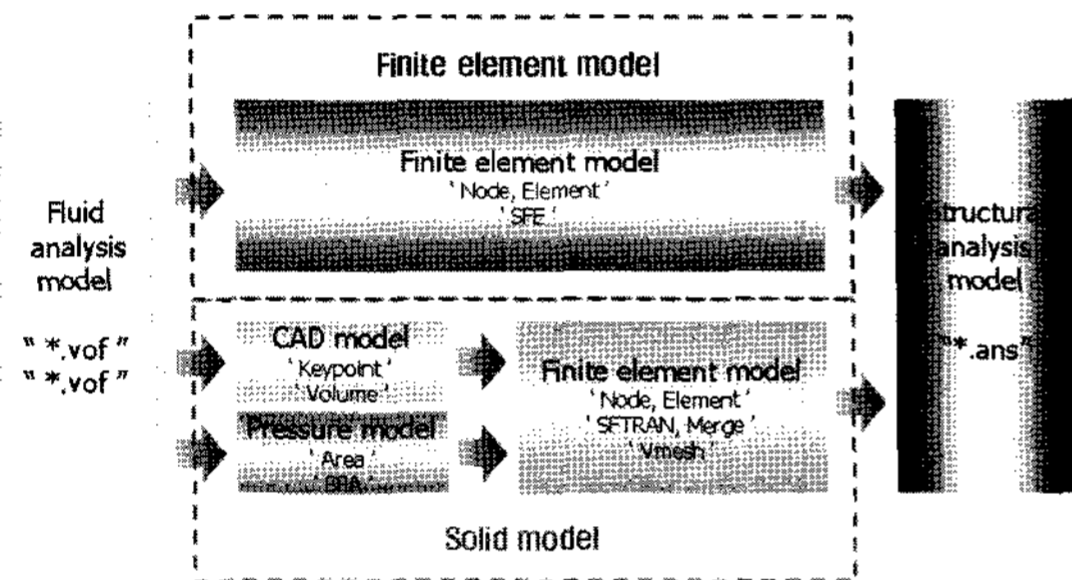


Fig. 6 Schematic diagram of data conversion by finite element model and Solid model

프로그램에서도 바로 사용이 가능하다. 그러나 요소 분할 기능이 없어 사용되는 요소 타입과 요소 크기 등은 CFD-ACE+에서 제어를 해야 하는 불편함이 있다. 솔리드모델 방법은 8절점, 10절점, 20절점의 다양한 요소 타입과 요소 크기를 선택하여 요소를 만들 수 있다. 하지만 유한요소모델 방법에 비해 해석 수행 시간이 길며, ANSYS 외에는 바로 사용하기 어렵다.

### 3.2.1 유한요소모델 방법<sup>6,7)</sup>

CFD-ACE+에서 얻은 유동해석 결과를 유한요소 모델 방법으로 ANSYS의 입력형식으로 변환하는 프로그램의 알고리즘 개요도는 Fig. 7과 같다.

처음 CFD-ACE+에서 얻은 단물체(single-body) 한 면의 "\*.vof" 파일을 읽는다. 이 파일에서 요소를 이루는 절점 개수를 확인하여 새롭게 만들 요소의 형식을 결정한다. 다음으로 토크컨버터의 용접형식에 따라 정확한 구속조건을 부여하기 위한 절점변환

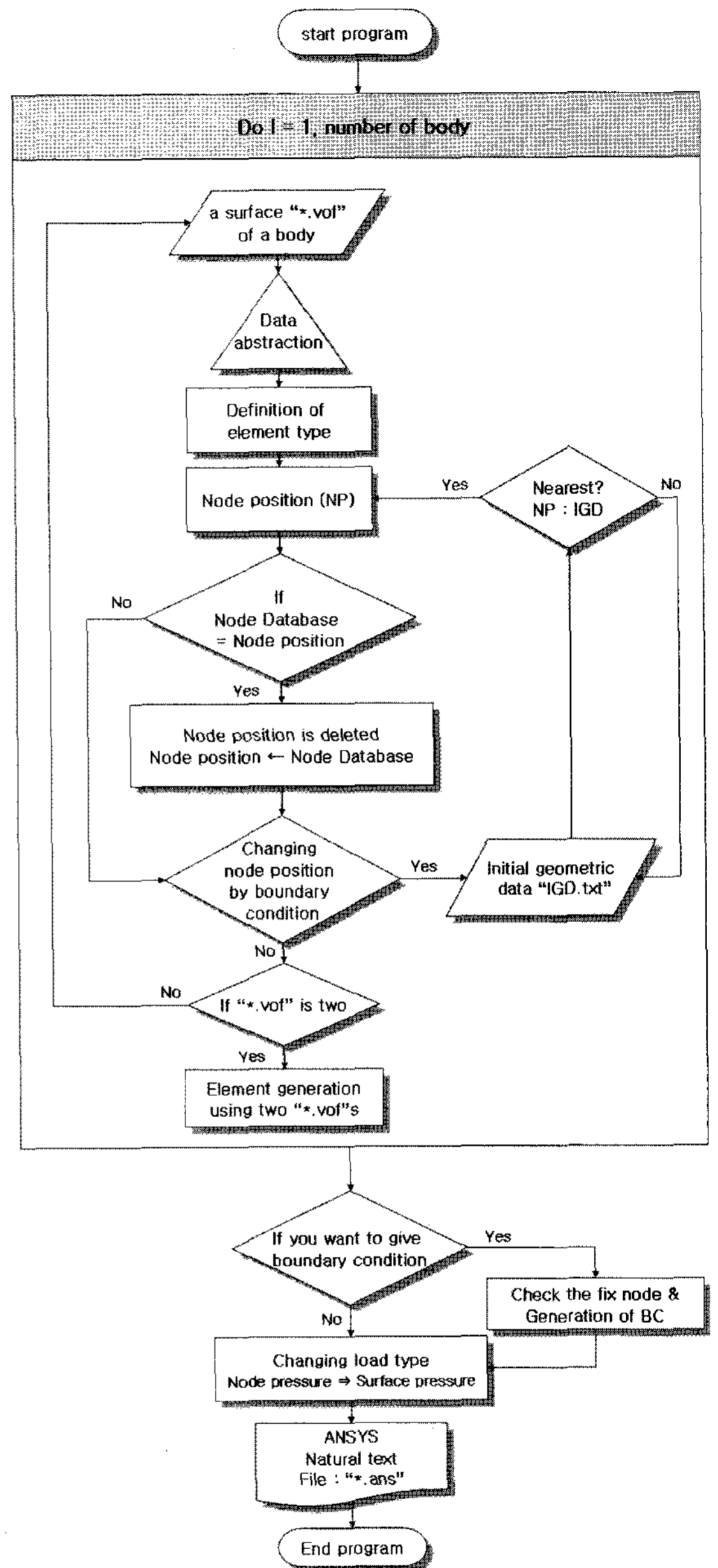


Fig. 7 Schematic algorithms of multi-body data conversion program using finite element model<sup>7)</sup>

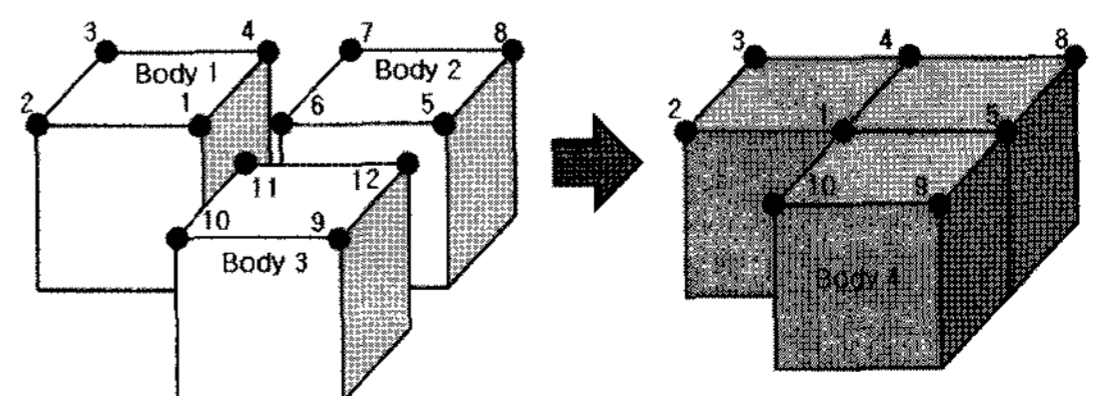


Fig. 8 Node number rule of multi-body assembly<sup>7)</sup>



알고리즘을 사용자의 선택에 의해 실행한다. 절점 변환 알고리즘 실행 후 구조해석에 필요한 정보를 선별하여 메모리에 저장한다. 다시 같은 단물체의 다른 면에 대한 "\*.vof" 파일을 읽어 앞의 과정을 반복한다. 이렇게 얻은 두면의 정보를 이용하여 하나의 단물체를 이루게 된다. 이렇게 만들어진 여러 개의 단물체를 하나의 전체구조물로 결합시켜야 한다. 이런 다물체(multi-body)구조물의 생성을 위해 각각의 단물체에서 만들어진 절점 정보를 검색하여 Fig. 8과 같이 같은 좌표값을 갖는 절점들을 하나의 절점으로 만들어 전체의 절점을 재구성하는 알고리즘을 작성하였다.

이렇게 생성된 다물체에 CFD-ACE+ 유동해석의 절점 압력 결과값을 요소압력(element pressure)으로 부여하여 구조해석에서 하중 조건으로 사용한다.

3.2.2 솔리드모델 방법

솔리드모델 방법을 이용한 다물체 자료 변환 프로그램의 알고리즘 개요도는 Fig. 9와 같다. 처음 CFD-ACE+에서 얻은 단물체 한 면의 "\*.vof"를 읽는다. 이 파일에서 솔리드모델을 만들 절점(keypoint) 정보와 볼륨(volume) 정보 그리고 절점 압력(nodal pressure) 정보를 얻는다.

다음으로, 유한요소모델 방법과 마찬가지로 토크 컨버터의 용접 형식에 따라 정확한 구속조건을 부여하기 위한 절점변환 알고리즘을 선택적으로 실행한다. 절점변환 알고리즘 실행 후 구조해석에 필요한 정보를 선별하여 메모리에 저장한다. 다시 같은 단물체의 다른 면에 대한 "\*.vof" 파일을 읽어 앞의 과정을 반복한다. 이렇게 얻은 두 면의 정보를 이용하여 하나의 솔리드 물체(solid-body)를 형성한다. 이렇게 생성된 여러 개의 솔리드 물체들을 결합(merge)기능을 이용하여 하나의 다물체를 생성한다.

이렇게 생성된 다물체에 CFD-ACE+ 유동해석의 절점 압력 결과값을 평균 면압(Average surface pressure)으로 부여하여 구조해석의 하중 조건으로 사용한다.

3.3 블레이드의 자동 경계조건 생성

토크컨버터를 위한 다물체 자료 변환 프로그램은 토크컨버터의 구조해석을 보다 쉽게 수행하게 하기

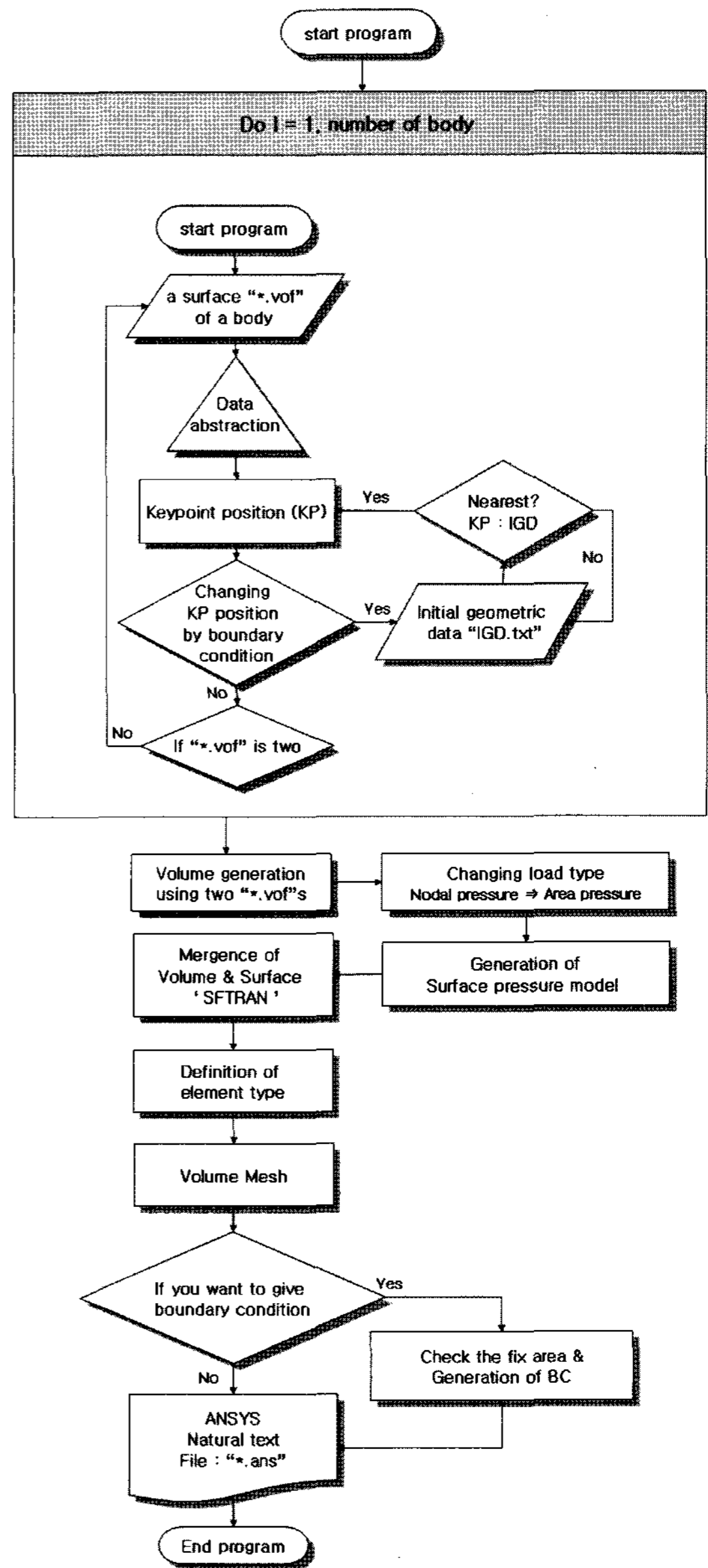


Fig. 9 Schematic algorithms of multi-body data conversion program using solid model

위해서 Fig. 10과 같은 블레이드 자동 경계조건 생성 옵션을 작성하였다.

경계조건 1은 사용자가 ANSYS에서 직접 경계조건을 부여할 수 있게 경계조건을 부여하지 않는 옵션이다.

경계조건 2는 토크컨버터에서 가장 많이 사용하는 경계조건으로 블레이드와 셸, 블레이드와 코어

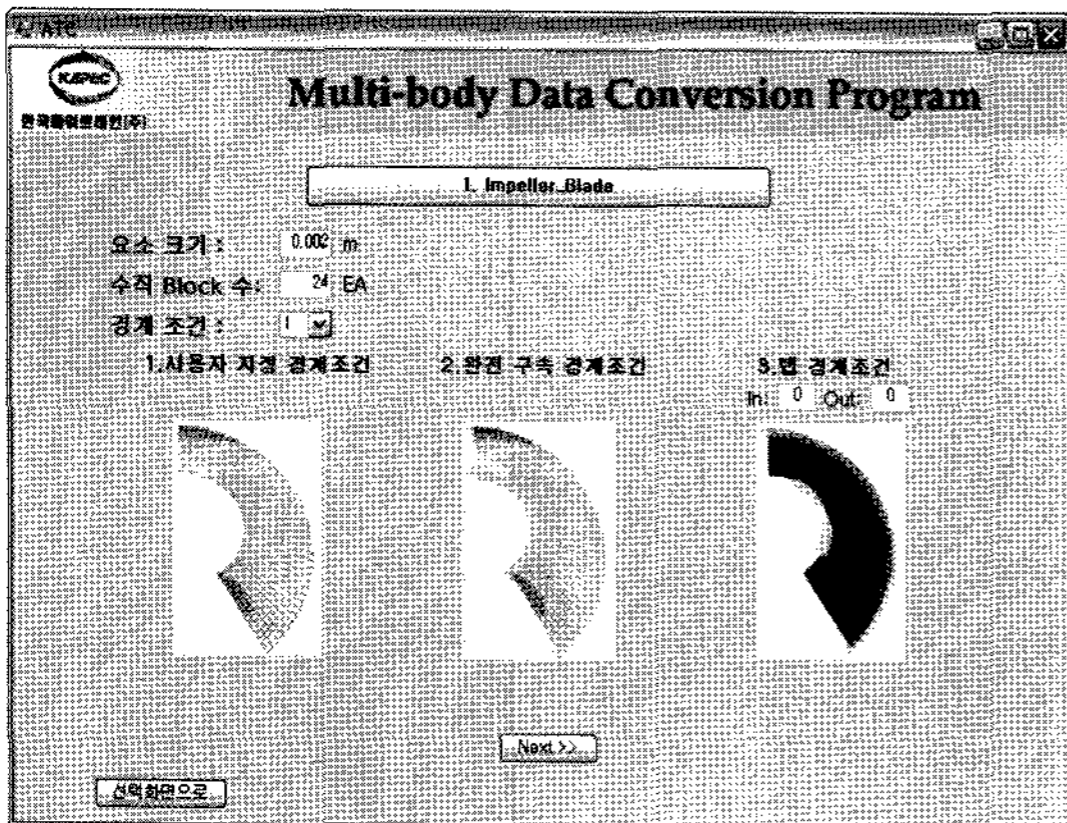


Fig. 10 Automatic boundary condition options for blade

가 결합된 부분 전체를 브레이징(brazing)하는 경계 조건이다.

이 경계조건을 부여하기 위해서는 "\*.vof" 파일에서 얻을 수 있는 요소 개수(NE: element (block) number)들과 경계조건이 부여되지 않는 부분의 블록 개수(NV: vertical element (block) number)를 받아 경계조건이 부여될 블록 개수(NH: horizontal element (block) number)를 계산하고 절점이나 면을 결정한다.

유한요소모델 방법에서 블레이드와 코어가 결합된 부분은 절점 번호 왼쪽 법칙에 의해 요소 번호가 부여되며, 다음 요소와 결합된 경우 중복된 요소 절점은 기존 요소 번호로 대체된다.

이 때문에 요소가 시작되는 부분은 불규칙적으로 번호가 증가한다. 하지만 4번째 이후부터는 규칙적으로 증가한다. 이러한 규칙을 이용하여 블레이드와 코어가 결합된 부분의 경계조건을 부여할 수 있다.

블레이드와 셸이 결합된 부분의 경계조건을 부여하기 위해서는 마지막 절점 번호를 알아야 한다. 따라서 각 단물체(Part)의 마지막 절점 번호를 구하는 관계를 식 (1)과 같이 유도하였다.

$$ENDNODE(Part) = [NH(Part)+1] + \{[NH(Part)+1] \times NV(Part)\} \quad (1)$$

또한 블레이드와 셸이 결합된 부분의 경계조건은 앞의 요소와의 이중 중복 때문에 블레이드와 코어 경계조건 규칙과 다르지만 일정한 규칙으로 증가한다. 따라서 식 (1)과 중복 규칙성에 의해 블레이드와

셸이 결합된 부분의 경계조건을 부여할 수 있다.

솔리드모델 방법에서의 경계조건은 유한요소모델 방법과 달리 CAD 모델의 면 번호를 계산해야 한다. 이를 위해 유한요소모델 방법과 같이 NE, NH, NV를 이용한다. 솔리드모델 방법도 중복되는 면은 이중으로 번호를 부여하지 않으며 일정한 규칙으로 면 번호를 부여한다.

블레이드와 코어가 결합된 부분의 첫 블록은 중복된 면이 없으므로 6개의 면이지만 다음 블록은 중복면에 의해 5씩 증가한다. 이러한 규칙을 이용하여 블레이드와 코어가 결합된 부분의 경계조건을 부여할 수 있다.

블레이드와 셸이 결합된 부분의 경계조건을 부여하기 위해서는 마지막 면 번호를 알아야 한다. 따라서 각 단물체에서 중복되는 면의 수를 식 (2)와 같이 유도하였고 이를 이용하여 식 (3)과 같이 각 단물체의 마지막 면의 번호를 구하였다.

$$ISUR(Part) = \left\{ \begin{aligned} & \left[ \frac{NE(Part) \times NH(Part)}{NH(Part)} \right] \\ & \times [2 \times NH(Part) - 1] \\ & + [NH(Part) - 1] \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$ENDSUR(Part) = [NE(Part) \times 6] - ISUR(Part) \quad (3)$$

블레이드와 셸이 결합된 부분의 면 번호는 증가하는 이중 중복을 가지며 이러한 규칙과 식 (3)을 이용하여 블레이드와 셸이 결합된 부분의 경계조건을 부여할 수 있다.

경계조건 3은 토크컨버터의 블레이드를 브레이징하여 고정하지 않고 탭을 구부려 1차 고정하고 유동부분 외부에서 구부린 탭의 끝부분을 용접하여 2차 고정하는 방법에 대한 경계조건이다. 이를 위해서는 3차원 CAD 모델에서 탭의 위치 값을 미리 문자파일(text file)로 저장해 두어야 한다. 이렇게 저장된 탭 위치 파일을 Fig. 11의 화면에서 선택하여 입력하면 기존 탭 위치에 가장 근접한 절점(유한요소 모델 방법에서는 node, 솔리드모델 방법에서는 keypoint)을 탭의 기존 위치로 이동시키고 이동된 절점에 경계조건을 부여한다.

이를 통해 탭 경계조건을 가지는 토크컨버터 블레이드의 정확한 해석을 수행할 수 있다(Fig. 12).

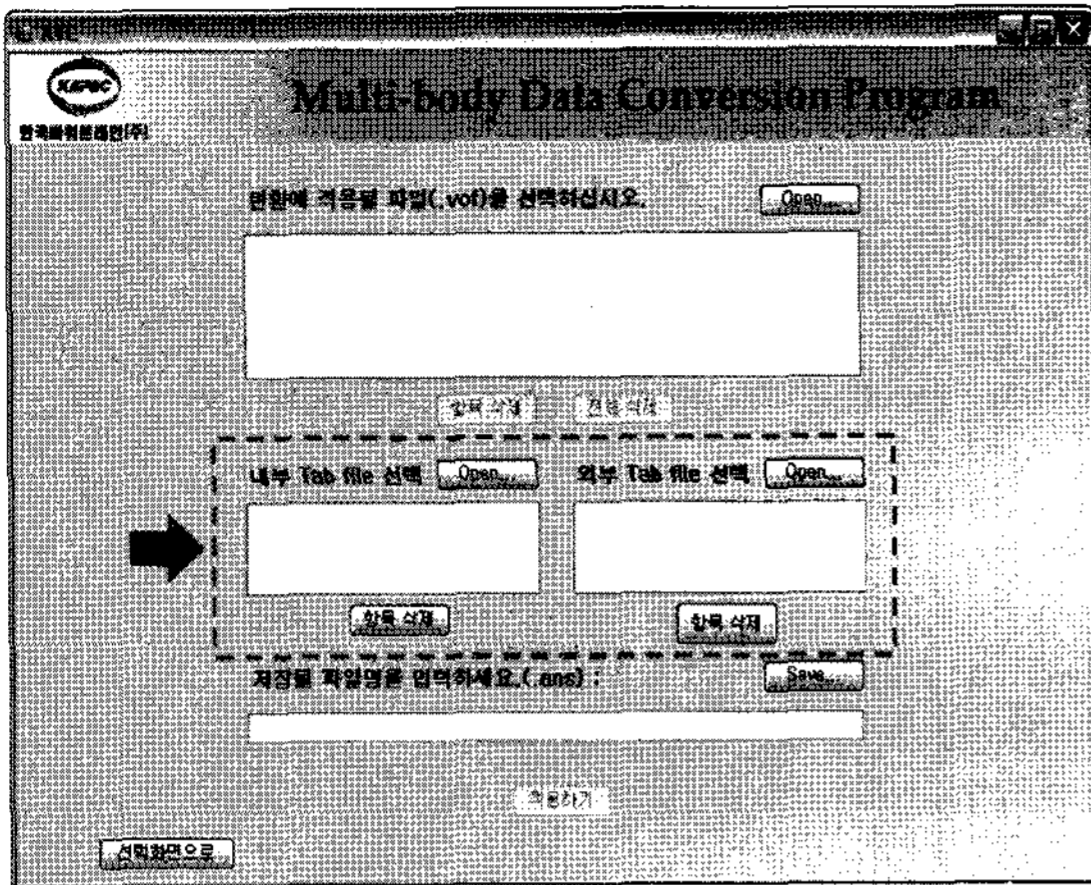


Fig. 11 Input form of tab boundary condition file

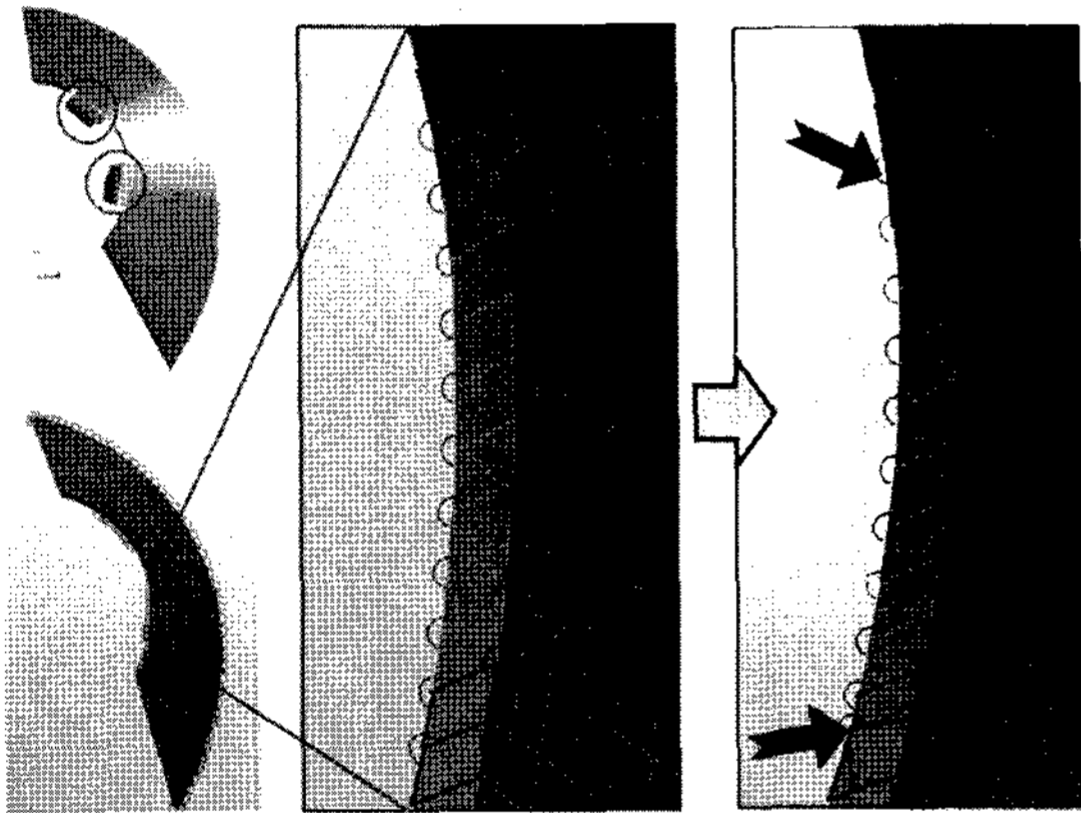


Fig. 12 Implementation of real tab boundary condition<sup>6,7)</sup>

#### 4. 자료 변환 결과 비교

유한요소모델 방법과 솔리드모델 방법으로 변환된 자료를 서로 비교해 보았다. 변환된 자료는 임펠러의 블레이드이며, 같은 조건을 부여하기 위해 같은 요소 크기와 같은 완전 구속 경계조건을 부여하였다.

요소 압력 하중과 평균 면압 하중에 대한 비교는 Fig. 13과 같이 0.91%의 오차를 보였다.

유한요소모델 방법과 솔리드모델 방법의 해석 결과 비교는 Fig. 14와 같이 최대 변위(maximum displacement)에서는 0.2% 미만, 최대 등가 응력(maximum von-Mises stress)에서는 0.8% 미만의 오차를 보였다.

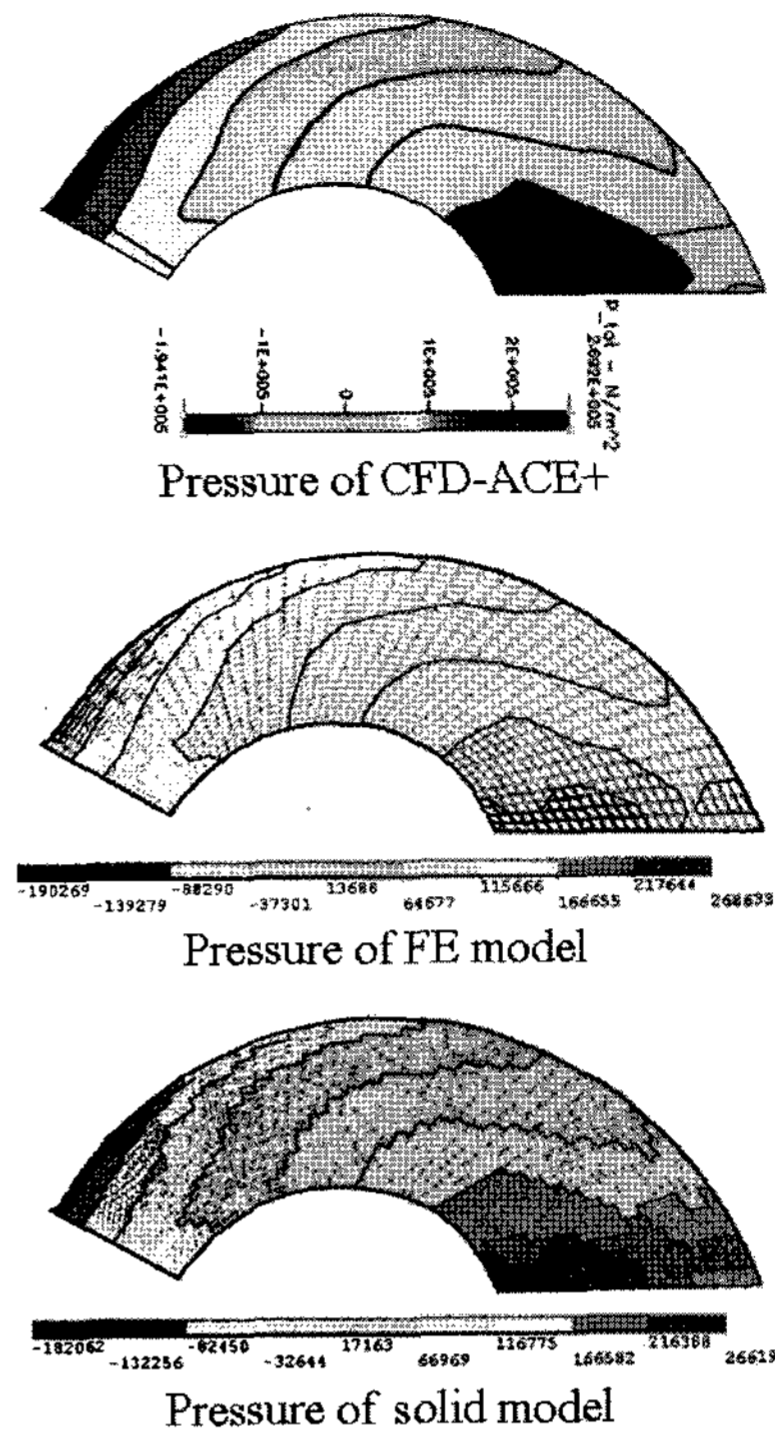


Fig. 13 Pressure comparison between for FE model and Solid model

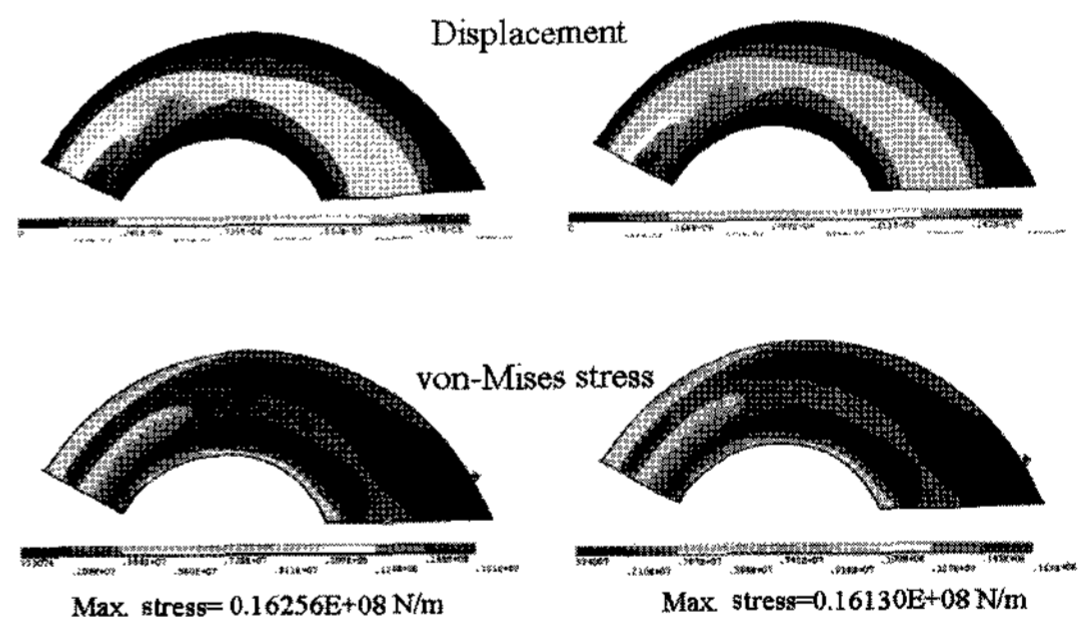


Fig. 14 Analysis result comparisons between FE model and Solid model

#### 5. 결론

본 연구에서는 상용 유한요소 프로그램의 해석 결과를 다른 유한요소 프로그램과 공유하기 위한 방법을 연구하여, 프로그램들 간의 직접적인 호환성이 없는 경우 문자파일을 기반으로 한 입출력 파일을 통해 간접적으로 해석결과를 공유하는 유한요소모델 방법과 솔리드모델 방법을 고안하였다.

두 방법은 같은 조건에서 1% 미만의 변환 오차를



보여 변환 방법에 문제가 없음을 확인하였다. 유한 요소모델 방법은 토크컨버터 블레이드의 각도 변화나 해석 조건 변화 등에 대해 해석 경향을 신속히 파악하려 할 때 유용하며, 솔리드모델 방법은 최종 모델에 대한 정확한 해석을 수행하려 할 때 고차원 요소 타입과 능동적 요소 분할을 사용할 수 있어 정밀한 해석을 수행할 수 있다.

실례로 토크컨버터의 CFD-ACE+ 유동해석 결과를 ANSYS와 공유할 수 있는 다물체 자료 변환 프로그램을 개발하였고, 여기에 블레이드 자동 경계조건 생성 옵션을 추가하여 사용자가 보다 편리하게 구조해석을 수행할 수 있게 하였다.

이를 통해 현재 산업 현장에서 발생하고 있는 연성해석에 대한 문제점을 해결하였고, 유용한 옵션을 통해 빠른 해석 결과 및 정밀한 해석 결과를 얻을 수 있게 되었다.

앞으로 본 연구에서 제작된 다물체 자료 변환 프로그램을 인터넷이 연결된 산업 현장에서 편리하게 사용할 수 있게 웹 기반 서비스 프로그램으로 개발할 계획이다.

## 후 기

이 논문은 서울대학교 2단계 BK21 사업, 정밀기계설계연구소, 우수제조기술연구센터(ATC) 기술개발사업(과제번호: 10007753)에 의해 지원되었으며, 토크컨버터의 유동해석 모델을 제공해 주신 한국파워트레인(주) 관계자 여러분들께 감사드립니다.

## References

1) Y. Y. Back, "The Finite Element Analysis

Program: STRA-D," J. Korean Soc. Mech. Eng., Vol.42, No.2, pp.22-23, 2003.

2) S. K. Ghosh, "State of the Art Surveys on Finite Element Technology: Edited by A.K. Noor and W. D. Pilkey, American Soc. Mech. Engrs., New York, 1983," J. Mechanical Working Technology, Vol.14, No.2, pp.235-236, 1987.

3) R. Kamakoti and W. Shyy, "Fluid-structure Interaction for Aeroelastic Applications," Progress in Aerospace Sciences, Vol.40, No.8, pp.535-558, 2004.

4) www.cfdrc.com

5) www.ansys.com

6) J. C. Lee, D. M. Chun, S. H. Ahn and J. D. Jang, "Data Transfer from Flow Analysis to Structural Analysis: Example of Torque Converter," Proceeding of KSME 2006 Spring Annual Meeting, The Korean Soc. of Mech. Eng., p.347, 2006.

7) J. C. Lee, D. M. Chun, S. H. Ahn and J. D. Jang, "Multibody Data Transfer from Flow Analysis to Structural Analysis," Proceeding of the KSME 2006 Fall Annual Meeting, Korean Soc. of Mech. Eng., p.19, 2006.

8) D. J. Kim, J. D. Jang and I. S. Joo, "A Study of Secondary Flow Loss Coefficient Relating to Torque Converter Flate Ratio," Proceeding of the KSAE 2005 Fall Annual Meeting, Korean Soc. of Auto. Eng., pp.878-883, 2005.

9) A. Whitfield, F. J. Wallace and R. Sivalingam, "A Performance Prediction Procedure for Three Element Torque Converters," Int. J. Mech. Sci., Vol.20, pp.801-814, 1978.