

IGES CAD 데이터의 교환에서 오류 진단 시스템

박상호[#], 박종욱^{*}, 한순홍^{**}, 최영^{***}, 양정삼^{****}, 이병훈^{*****}

Diagnostic System of Modeling Errors Generated from IGES CAD Data Exchange

Sangho Park[#], Jong Wook Park^{*}, Soonhung Han^{**}, Young Choi^{***}, and Jung Sam Yang^{****},
Byeong Hoon Lee^{*****}

ABSTRACT

A diagnostic system has been developed which reports modeling errors generated when exchanging CAD data using IGES (Initial Graphics Exchange Specification) format. The system determines whether the CAD data contains errors. It also helps to define the criteria for determining the integrity and interoperability of CAD data with downstream applications of another CAD/CAM/CAE/PDM systems. The methodology of our algorithms is to analyze IGES model data by identifying errors and anomalies with respect to the diagnosis of geometry and topology. The GUI (Graphic User Interface) of the developed system helps users to input values and to visualize diagnostic results at real time.

Key Words : Data exchange(데이터 교환), IGES, Modeling error(모델링 오류)

1. 서론

현재 CAD(Computer Aided Design), CAE(Computer Aided Engineering), CAM(Computer Aided Manufacturing) 분야에서 이 기종 시스템간의 데이터 상호운영성(interoperability)¹을 위한 교환 형식으로 여러 형태가 사용되고 있다.² 이 중 CAD 데이터 파일을 교환하기 위한 중립형식(neutral format)의 데이터 저장 방식으로 IGES, STEP, DXF, BMI, PCES 등이 널리 사용되고 있으며, 가장 보편화되어 사용되고 있는 중립 CAD 데이터 형식은 IGES와 STEP 형식이다.^{3,4,5}

현재는 상기된 중립데이터 형식의 CAD 모델을 이용하여 이 기종 CAD 시스템이나 CAE/CAM 등 후공정(post-processing) 시스템의 각 분야에서 필요한 작업을 수행하는 것이 보편화 되어있다. 하지만 중립 CAD 데이터를 이용해 각각의 개별 시스템에서 작업을 진행할 경우 전혀 예기치 못한 잘못된 결과를 얻게 되거나 작업의 중단 및 시스템 자체의 실패를 갖는 경우가 빈번하게 일어나고, 이로 인한 재작업의 비효율성과 제품개발시간과 비용면의 큰 손실이 발생하는 문제점을 지니고 있는 것이 현실이다.⁶ Fig. 1은 상기한 상호운영성의 문제점들이 제품 설계과정에서 해결되지 못한 상태로 후 공정

접수일: 2003년 3월 29일; 게재승인일: 2003년 8월 14일
교신저자: 충남대학교 기계설계공학과
E-mail: spark@cnu.ac.kr, Tel: (042) 821-6643
* 썬스타
** 한국과학기술원 기계공학과
*** 중앙대학교 기계공학과
**** 한국과학기술원 기계공학과
***** 충남대학교 기계설계공학과

으로 전환되었을 경우에, 후공정에서는 예상치 못했던 새로운 문제점의 해결을 위해 훨씬 많은 시간과 노력이 요구된다는 사실을 공정별 재작업 흐름도를 통해 구체적으로 보여주고 있다. 이러한 문제점의 원인은 설계자가 상용 CAD 시스템을 이용하여 모델링 작업을 한 후 시스템 자체의 내부 변환 시스템을 통해 IGES나 STEP과 같은 중립데이터 형식으로 변환하는 과정에서 기하(geometry)구조와 위상(topology)구조상의 오류로 인한 변환에러가 대부분이다.⁷

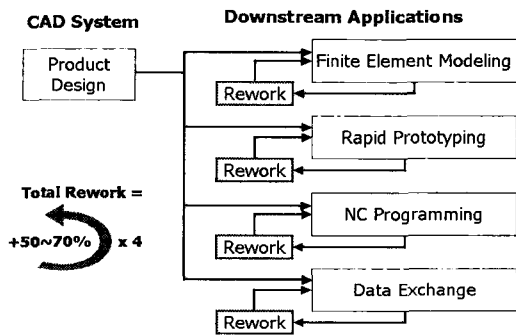


Fig. 1 Downstream rework explosion by interoperability problems

이외의 다른 원인으로서 모델링 시스템 자체 규약의 오류로 인한 에러, 설계자의 기술적 인 차이점에 의한 에러, 중립데이터 형식의 버전차이에 의한 에러 등이 존재하며, 특히 복잡한 모델일 경우엔 작업자가 직관적으로 인지할 수 없는 여러 종류의 에러가 복합적으로 발생하게 된다.^{8,9} 따라서, 이 기종 CAD 시스템이나 CAM, CAE, PDM(Product Data Management) 등의 후공정으로 데이터 전달 시 문제가 될 수 있는 중립 CAD 데이터 자체의 모델링 에러 및 변환 과정에 의해 발생할 수 있는 각종 에러들을 진단할 수 있는 시스템의 개발이 요구된다.

Fig. 2는 초기 CAD 시스템의 원본데이터(native data)를 이 기종 시스템에서 사용하기 위해 중립 CAD 데이터 형식으로의 변환과 이 기종 시스템 데이터 포맷과 일치하도록 직접적인 변환을 수행하는 일반적인 데이터 교환 과정으로서 변환에러가 발생하는 한 예를 구체적인 데이터 흐름도로써 보여주고 있다.

본 연구의 목적은 이 기종 시스템간의 CAD 데이터 전달 시 데이터 품질 정도의 근거 자료를 생성하기 위함이다. 이는 진단 시스템을 이용하여 모델링 에러 진단을 거친 후 진단된 에러들의 형태분류 및 원인분석을 통해 CAM/CAE/PDM 등의 후공정으로 데이터의 전달에 대한 허용 및 불능 판단의 기초 자료를 만들 수 있게 된다. CAD 데이터의 오류를 진단할 수 있는 상용 프로그램으로 XOX Inc.에서 개발한 GDX와 International TechneGroup Inc. (ITI)에서 개발한 CAD/IQ가 있으나, GDX 프로그램은 유한 요소 해석을 위한 메쉬 생성 시에 이용될 솔리드 모델에 대해서만 적용이 가능하며 CAD/IQ는 2D나 와이어프레임 데이터를 사용하지 않는다는 단점을 가지고 있다.¹⁰

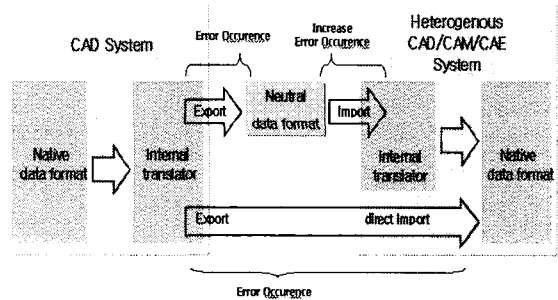


Fig. 2 Downstream error occurrence by exchanging general CAD data between initial CAD and heterogeneous systems

2. 연구 내용

개발된 진단 시스템은 1계층(level) 자립형(stand-alone) 시스템의 형태를 이루고 있으며, 세부적인 연구 과정은 현재 가장 널리 사용되는 표준 CAD 중립 데이터인 IGES 모델 데이터에 대해 변환에러를 포함해 생성자의 모델링 에러, 전후 시스템의 공차 적용상의 차이점에 의한 에러 등 후공정과 관계있는 여러 종류의 에러들을 Table 1과 같이 에러 형태에 따라 각각 열두 개로 분류시킨 후 각각에 대해 직접 구현된 진단 알고리즘을 적용하여 기하구조와 위상구조에 대한 모델링 에러를 진단하게 된다. 상기 과정을 통해 구해진 측정값들은 사용자가 입력한 진단 기준값 또는 프로그램 내부에서 지정한 기준값(default value)과 비교한 후 에러

로 확인된 요소에 대해 그래픽 유저 인터페이스(GUI)를 통한 실시간(real-time)적인 가시화가 가능하도록 시스템을 구성하였다. 또한 진단 결과에 대해서는 여러 요소의 세부적인 정보를 비롯하여 각종 결과 값과 분포도 등을 전문가용과 일반 사용자용으로 분류하여 문서 저장 형태의 로그(log) 파일로 저장할 수 있도록 구성했을 뿐만 아니라, 특히 예러로 확인된 요소에 색상 변화를 주어 가시화용 IGES 파일로 저장되게 함으로써 다른 뷰어(viewer) 프로그램과 연계하여 진단 결과의 조회가 가능하도록 시스템의 구성을 확장시켰다.

Table 1 The contents and lists of modeling error inspection

Lists of Modeling Error Inspection	Contents
1.Edge(Curve) Length	Inspection of Tiny Edge(Curve)
2.Edge(Curve) Curvature	Inspection of Curled Edge(Curve)
3.Edge-Edge Gap	Inspection of Gap
4.Edge-Edge Angle	Inspection of Knife Edge
5.Edge-Face Gap	Inspection of Gap
6.Edge-Edge Proximity	Face Appendage, Mesh Generation Error
7.Edge Loop Consistency	Inspection of Reversed Edge Entity
8.Surface Area	Inspection of Tiny Surface
9.Surface Degree	Inspection of Surface Degree
10.Surface-Surface Gap	Inspection of Gap, Overlapping Surface
11.Surface-Surface Angle	Inspection of Knife Edge, Sliver, Crack, Slot
12.Void Face(Surface)	Inspection of Void Face(Surface)

3. 진단 시스템의 구조

3.1 시스템 개발 환경

진단 시스템의 개발 환경은 아래 Table 2와 같이 구성되었다.

Table 2 The Development environment of diagnostic system

개발 환경	내용
사용 언어	Visual C++ V6.0
사용 컴퓨터	IBM 호환기종 PC 펜티엄III
운영 체제	Windows 95/98/NT Workstation V4.0
모델링 커널	OpenCASCADE V3.0 ¹¹
그래픽 라이브러리	OpenGL

3.2 시스템 구성 모듈

구현된 진단 시스템의 전체 모듈(modules)은 인터페이스(GUI)모듈, 진단(inspection) 모듈, 진단 결과 출력(output) 모듈로 크게 세 부분으로 구성되었으며, 각각의 모듈들은 다시 소그룹 모듈 형태로 분리되어진다. Fig. 3은 진단 시스템의 전체 구성 모듈에 대한 전반적인 구조와 흐름을 보여주고 있다.

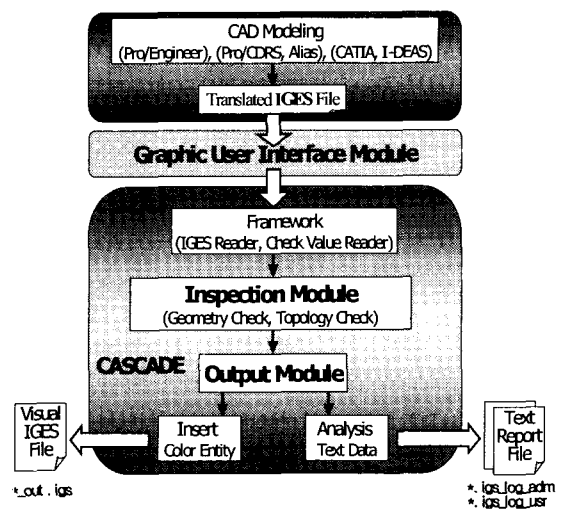


Fig. 3 The modules of our diagnostic system

3.2.1 인터페이스(GUI) 모듈

사용자 인터페이스는 Fig. 4에서 보여지는 것처럼 크게 네 개의 영역으로 구성되어 있다.

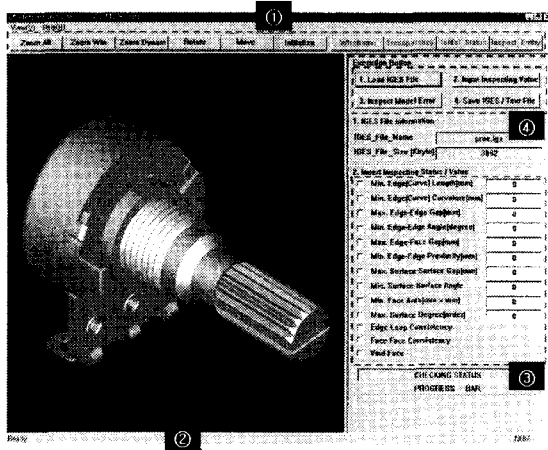


Fig. 4 A visualization example of the result

첫째(①) 영역은 도구모음(viewing tool) 부분로서 IGES 모델 데이터의 로드(load)를 통해 가시화된 모델 형상과 진단 과정을 통해 확인된 요소(entity) 형상에 대해 확대, 축소, 회전, 이동, 와이어 프레임, 투명화, 진단된 요소에 한해서만 제한된 가시화 등의 형태 변화를 임의로 조작할 수 있게 하여 사용자의 이해를 도울 수 있도록 구현되어 있다.

둘째(②) 영역은 가시화(visualization) 부분으로서 로드된 IGES 모델의 가시화뿐만 아니라 진단 과정을 통해 확인된 요소에 대한 실시간(real-time) 가시화가 가능하도록 구현되었기 때문에 진단 항목별 에러 형태에 대해 사용자의 가시적인 확인이 보다 용이하도록 구성되어 있다. 본 영역에서 가시화된 모델은 OpenGL 그래픽 라이브러리를 사용하였다.

셋째(③) 영역은 입력(input) 부분으로서 사용자가 설정할 수 있는 임의의 진단 기준값을 해당 진단 항목별로 입력할 수 있으며, 또한 항목별 진단 여부를 체크박스(check box) 형태로 입력될 수 있도록 구현되어 있다.

넷째(④) 영역은 실행(execution) 부분으로서 진단 시스템과 관련한 순차적인 실행과정을 하나의 그룹에 포함시켜 놓았다. 즉, 가장 먼저 IGES 파일의 로드를 실행하고, 다음으로 사용자의 진단 설정

값과 진단 여부의 입력을 실행하며, 또한 입력된 에러 진단 항목의 실행과 진단 결과에 대한 저장을 실행할 수 있도록 구현되어 있다.

3.2.2 진단(diagnosis) 모듈

IGES 모델 데이터는 위상구조 형태의 데이터가 아닌 기하형상 데이터로 구성되어 있다. 즉 점요소(points entity), 선(lines)요소, 곡선(curves)요소, 곡면(surfaces)요소, 솔리드(solids)요소 형태로 이루어져 있다. 이렇게 위상 데이터를 포함하지 않은 형상 요소만을 이용하여 여러 형태의 진단 알고리즘을 구현하기 위해서, 본 연구에서는 현재의 범용적인 상용 모델링 시스템에서 IGES 데이터를 이용하는 것과 동일하게, IGES의 기하형상 데이터인 곡면에 대한 경계곡선(boundary curve) 데이터(type 102, 126, 141, 142)를 꼭지점(vertex)과 모서리(edge) 그리고 Loop 형태의 위상 구조 데이터로 분리했으며, 마찬가지로 경계곡선을 갖는 곡면 데이터(type 143, 144, 510)는 면(faces) 형태의 위상 구조 데이터로 분리했다. 또한 경계곡선 데이터를 포함하지 않은 곡면 데이터(type 108, 114, 118, 120, 122, 128, 140)는 U, V 매개 변수를 이용하여 각각에 대한 경계곡선 데이터를 생성한 후 곡면 관련 진단 과정과 Candidate Sewing Edge확인 과정에 적용시켰다. 위에 제시한 내용을 기반으로 구성된 진단 모듈의 구조와 종류는 Fig. 5에서 보여지는 것처럼 크게 경계곡선 데이터를 이용한 진단 영역(i)과 곡면 데이터를 이용한 진단 영역(ii)으로 나누어져 있고, 계층별 단계로는 3단계로 구분되며 총 열 세가지의 진단 형태를 갖고 있다.

첫 번째 단계에선 모서리[edge(curve)]관련 진단 작업과 Loop관련 진단 작업, 그리고 곡면(surfaces) 관련 진단 작업이 이루어진다. 두 번째 단계에선 Candidate Sewing Edge 확인 작업이 수행된다. 마지막 단계에선 선행된 Candidate Sewing Edge 확인 작업과 곡면 관련 진단 작업을 기반으로 곡면-곡면(surface-surface) 관련 진단 작업이 이루어진다. 두 영역별 분류 및 계층별 진단 단계는 진단 모듈간의 불필요한 중복과정을 피하고 또한 프로그램 수행 속도의 향상을 위해 화살표 방향으로 단계적인 작업 흐름을 갖도록 구성되어 있으며, 순차적인 관계의 진단이 아닌 개별 진단 과정도 가능하도록 일부는 개별적으로 모듈화를 이루도록 구성되어 있다. 각 단계별 진단 모듈은 Candidate Sewing Edge 확인 부분을 포함해 모두 열세 가지로 이루어져 있

다.¹²

이러한 진단 모듈 중 모서리-면 간격 진단 모듈은 대부분 변환 과정에서 내부 변환 시스템의 정밀도의 차이와 모델링 시스템에 종속된 공차 범위의 차이점에 의해 발생되며 진단 방법은 Fig. 6에서 보여지는 것과 같이 면의 경계를 구성하는 개별 Loop-

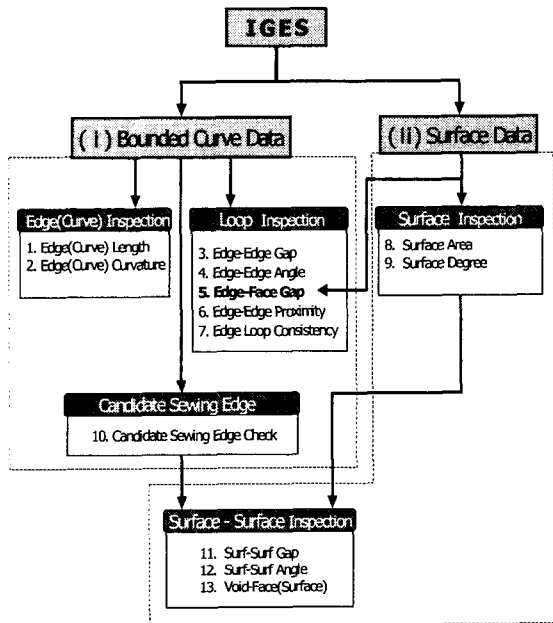


Fig. 5 The detail of diagnostic module and downstream relation

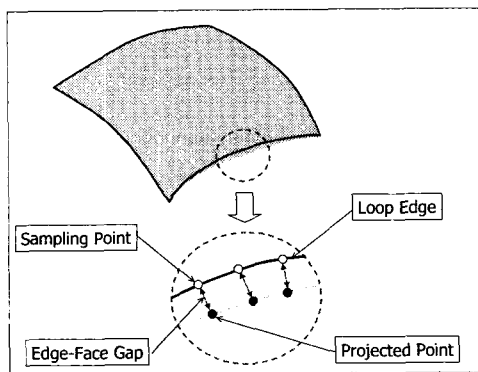


Fig. 6 Edge-face gap inspection

Edge상에 각각 10개의 샘플링(sampling)점을 부여하고, 각 점을 면으로 프로젝션(projection)시킨 후

각각 10쌍의 점간 최소거리를 측정하게 되며, 상기 과정을 포함해 측정된 10개의 최소 값들 중 최대 값을 선별할 수 있는 알고리즘이 적용되었다.

3.2.3 진단결과 출력 모듈

3.2.3.1 가시화용 IGES 파일

본 항목의 진단 결과 가시화용 IGES 파일 저장 모듈이 구성된 목적은 진단 모듈을 통해 확인된 에러 요소에 대해 색상 구분을 주어 사용자의 이해성을 높일 수 있는 가시적인 결과물을 출력하기 위함이 주된 목적이며, 또한 다른 뷰어(Viewer)와 연계된 진단 결과의 조회가 가능하도록 하는 것이다. 작업 방법은 먼저 IGES 요소(entity)에 색상을 부여할 수 있도록 색상 정의 요소(type 314)를 이용하게 된다. 색상 정의 요소는 일반적인 그래픽 장치들에서 사용하는 기본색상(RGB)을 지원하며, 기본색상 각각은 (0~100)%의 밀도 범위를 지원한다. 이러한 색상 정의 요소를 에러로 확인된 요소에 삽입하는 과정은 에러 요소의 디렉토리 기재사항 단락(directory entry section)의 13번째 항목(field)에 색상 정의 요소에 의해 정의된 특정 값을 위치시키는 것이다. 위의 색상 삽입과정이 완료되면 모델링 커널에서 지원되는 IGES 파일 생성 시스템을 이용해 전체 요소에 대한 ASCII 형태의 파일을 생성하게 된다.

3.2.3.2 로그(log) 파일

본 항목의 진단 결과 로그파일 저장 모듈이 구성된 목적은 진단 모듈별로 확인된 진단 데이터를 내용별로 분류한 후 사용자의 이해를 높일 수 있도록 문서화된 형태(log file)로 결과를 저장하는 것이다. 로그 파일의 구성은 크게 두 부분으로 구분되어진다. 처음 부분은 Fig. 7에서 보여지는 것처럼 진단 대상 IGES 파일의 전역단락(global section)에 대한 정보 중 필요한 부분만을 발췌하여 알려주고 있다. 즉, 파일의 이름과 크기, 파일생성 시스템 사양 및 버전, 파일 저작자, 파일생성 시각, 사용된 IGES 버전, 사용된 단위 등을 포함한다. 나머지 부분은 한 예로 Fig. 8에서 보여지는 것처럼 세부 진단 항목에 대한 결과를 나타낸다. 포함되는 내용은 에러로 확인된 요소의 디렉토리 번호(directory entry number)와 해당 진단 값, 진단 최대값 및 최소값 그리고 진단 값의 전체 분포를 나타내는 테이블이 등이 있다. Fig. 8에서는 곡선의 길이에 대한 진단

단 결과만의 예제를 나타내고 있다.

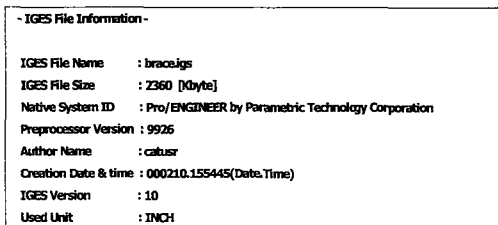


Fig. 7 Global section of inspection log file

Edge(Curve) Length Check Result

Check Value <= 1.000000

Surface DE No.	Curve DE No.	Length(mm)
D 9477	D 9475	0.001
D 9525	D 9523	0.0004
D 9723	D 97*1	0.02

Distribution Parameters -

Tolerance : 1.00000
 Min. Value : 0.00000
 max. Value : 7542.09693
 Tolerance_in : 99.80 %
 Tolerance_out : 0.20 %

Range / Numbers Of Result

0.000	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	6.000	7.000	8.000	9.000	10.000
3	8	4	2	4	4	0	1	1	7	1489

Fig. 8 An example of detail section

4. 진단 시스템의 적용 예

Fig. 9는 열 세 가지 종류의 진단 가능한 에러 형태 중에서 곡면 면적에 대한 에러 진단을 실행한 결과 화면이며, 진단에 사용된 모델은 Pro/Engineer 2000i에서 생성 변환된 임의의 IGES 모델이고, 사용자가 입력한 진단 기준값은 5mm^2 으로서, 모델 전체에서 곡면 면적 측정값이 기준값 5mm^2 이하인 경우만을 확인하여 해당 곡면 요소에 청색(cyan) 매핑을 실행하여 가시화를 시켰다. Fig. 9의 상단은 실시간 진단 화면을 보여주고 있고, 하단은 에러 부분을 보다 자세하게 확인하기 위해 뷰잉툴의 투명성(transparency) 기능과 확대(zoom) 기능을 사용한 예를 보여주고 있다.

진단 대상 모델에서 확인된 에러 부분은 Fig. 9 하단의 확대된 와이어프레임 화면을 통해 알 수 있듯이 두 파이프가 교차하는 부분에서 교차 곡선 생성 후 작업자가 인지할 수 없는 작은 곡면이 생성되어 발생하는 에러를 나타낸다.

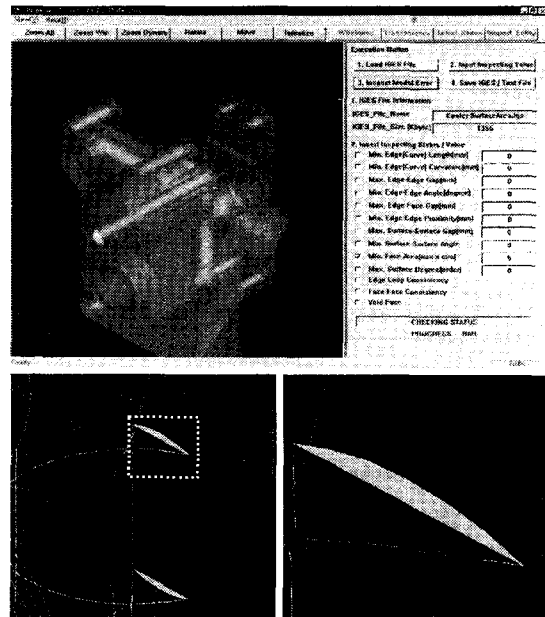


Fig. 9 An example of visual result of surface diagnosis

Fig. 10은 곡면 면적 진단에 대한 결과용 로그 파일 일부를 보여주고 있다. 포함된 내용은 크게 세 영역으로, 처음 영역은 에러로 확인된 곡면 면적 요소에 대한 디렉토리 번호(directory entry number)와 해당 요소의 면적 측정값을 나타내고, 둘째 영역은 사용자가 설정한 진단 기준값, 진단된 전체 요소 중 면적의 최대값 및 최소값, 사용자가 설정한 진단 기준값에 포함되고 벗어나는 요소들의 비율을 나타내고, 마지막 영역에는 진단 기준값의 배율 간격에 따라 나누어진 각 구간에 포함되는 측정값 요소의 개수를 표기하는 테이블을 나타내고 있다.

```

*****
Surface Area Check Result
*****
Check Value <= 5.000000
-----
Surface DE No.      Area(mm*mm)
-----
D 93       : 0.00797
D 119      : 0.04689
D 143      : 2.66061
D 163      : 2.66061
D 767      : 0.00797
D 1713     : 0.04689
D 2217     : 2.66061
D 2237     : 2.66061

- Distribution Parameters -
tolerance      : 5.00000
Min. Value     : 0.00797
max. Value     : 26063.76716
Tolerance_in   : 94.37 %
Tolerance_out  : 5.63 %

Range / Numbers Of Result
-----
0.000 5.000 10.000 15.000 20.000 25.000 30.000 35.000 40.000 45.000 50.000
      8   0   2   0   3   2   0   0   0   0   3   124
    
```

Fig. 10 An example of textual result of surface area diagnosis

Fig. 11은 곡면 면적 진단 과정을 통해 에러로 진단된 결과 요소에 대해 색상 삽입 과정을 완료하여 가시화용 IGES 파일로 저장시킨 후, 저장된 결과 파일을 전문 모델링 프로그램인 Pro/Engineer 2000i를 이용하여 와이어 프레임 형태로 가시화한 경우로서, 보다 다양한 툴을 이용하여 에러 부분을 확인할 수 있게 된다. 가시화용 IGES 파일 저장 목적은 사용자의 이해성을 높일 수 있도록 가시적인 결과물을 출력하기 위함이 주된 목적이며, 또한 다른 뷰어(Viewer)와 연계하여 진단 결과의 조화가 가능하도록 하는 것이다.¹³

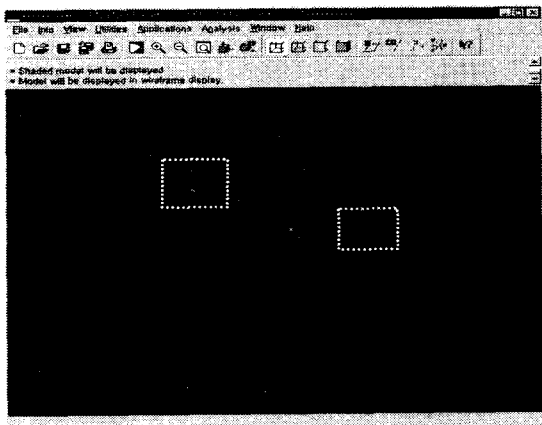


Fig. 11 Visualization result by Pro/Engineer 2000i of surface area diagnosis

5. 결론

본 논문에서 수행된 연구는, 설계 초기 CAD 데이터를 이 기종 시스템간의 교환에 따른 후공정 과정에서의 예기치 못한 작업 실패와 이로 인한 재작업의 비효율성을 발생시키는 각종 모델링 애러에 대한 구체적인 진단을 할 수 있는 새로운 시스템을 개발하는 과정으로서 연구 내용은 다음과 같은 주요 특징을 갖는다.

첫째, 설계자의 모델 데이터에 대한 자가 진단 자료의 생성과 상호운영성(interoperability)에 따른 후공정으로 CAD 데이터 전달 시 허용 및 불능 판단의 기초 자료를 마련하였다. 둘째, 시스템에 적용한 열 세 가지의 애러 형태 분류는 후공정 과정에서 의 문제의 소지가 될 수 있는 전반적인 애러 발생 요인을 모두 포함하고 있다. 셋째, 시스템에 적용한 애러 진단 알고리즘은 CAD 데이터의 기하형상 및 위상구조 간의 논리적 계산 과정에 대한 기본적인 방법론을 이용하였다. 넷째, 구현된 사용자 인터페이스(GUI)는 진단 과정에서 확인된 애러 요소에 대해 실시간(real-time)적인 가시화가 가능하도록 구축되었다. 이는 진단 항목별 애러 형태에 대한 사용자의 가시적인 확인을 돕게 된다.

후 기

본 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었습니다.(KRF-2002-003-D00320) 이에 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Izurieta, C. E., "CAD Model Interoperability/Solutions for Rapid Prototyping," Rapid Prototyping second quarter, Vol. 6, No. 2, 2000.
2. Teeuw, W. B., Liefting, J. R. and Demkes, R. H. J., "Experiences with Product Data Interchange," Computer in Industry, Vol. 31, pp. 205-221, 1996.
3. Reed, K., D. Harrod Jr, and Conroy, W., "The Initial Graphics exchange Specification (IGES)," U.S. Department of Commerce, Vol. 5.0, 1990.
4. The IGES 5.x Preservation Society Homepage, <http://www.iges5x.org>

5. A Society for the STEP Research, STEP for Exchanging Product Model Data, Sungandang, pp. 99-114, 1996.
6. Lee, S. S., "A Computer Aided Automatic Verification System for Mechanical Drawings Drawn with CAD System," Journal of the Korea Society of Precision Engineering, Vol. 13, No. 8, pp. 60-71, 1996.
7. Kwon, K. U., Park, M. J., Cho, S. W., "Distributed CAD/CAE Environment Using STEP," Journal of the Korea Society of Precision Engineering, Vol. 14, pp. 395-399, 1997.
8. Wolfe, S., When bad things happen to good users, Computer-Aided Design Report, 1998.
9. Beckert, B. A., "Different Paths to Improving Design Models and Processes," Computer-Aided Engineering, 1999.
10. Yang, J. S., Han, S. H., "Healing of STEP AP214 Automotive CAD Data," Journal of Korea Society of CAD/CAM Engineers, Vol. 7, No. 3, pp. 170-176, 2002.
11. OpenCASCADE, <http://www.OpenCASCADE.org>.
12. Yang, J. S., Han, S. H., Choi, Y., Park, S. H., "Development of a Diagnosis System for CAD Model Errors using OpenCASCADE," Journal of Korea Society of Automotive Engineers, Vol. 10, No. 3, pp. 151-158, 2002.
13. Engineering Animation Inc.(EAI), Homepage <http://www.eai.com>, 1992.