

OpenCASCADE를 이용한 CAD 모델의 오류 진단 시스템의 개발

Development of a Diagnosis System for CAD Model Errors using OpenCASCADE

양정삼*, 한순홍*, 최영**, 박상호***
Jeongsam Yang, Soonhung Han, Yong Choi, Sangho Park

ABSTRACT

Automotive engineers involved in a new car project use various CAD systems that are chosen based on work requirements. For example, engineers in Hyundai Motors are using Pro/Designer and Alias for the style design, but they use CATIA to design parts and assemblies, ANSYS for FEM analysis, and Pro/Engineer to design engines. Because they use different CAD systems, they have difficulties in collaborative design. Data, which contains errors, is transferred between CAD systems. It is difficult to find out such errors in a large CAD model. An evaluation method for CAD models has been developed in this study. This diagnosis tool analyses a STEP or an IGES file generated from a CAD system, and produces a quantitative error report. The tool has been tested with actual data sets. This paper proposes an algorithm that produces mathematical error values of entities of IGES models that have geometrical data, and entities of STEP models that have topological data, and inspects every part of a model. To develop this system, we have used the OpenCASCADE kernel, which is an open source kernel developed by Matra Datavision of France.

주요기술용어 : Diagnosis(진단), STEP(Standard for the exchange of product model data), IGES(initial graphics exchange specification), Topology(위상정보), Geometry(기하정보), Entity(형상요소), Kernel(CAD 개발을 위한 엔진)

1. 서론

1.1 개발 배경

자동차를 설계하기 위해서 분야별 설계 특성에 맞는 다양한 CAD 시스템들이 도입되어 사용되고 있다. 현대자동차의 예를 들면, 스타일링 디자인에서는 Pro/Designer나 Alias 등을 사용하고

있고, 요소 설계 및 공학 설계는 CATIA, 엔진 설계는 Pro/Engineer를 사용하고 있으며, 그 밖에 다양한 CAD 시스템들이 사용되고 있다.

그러나, 이와 같은 다수의 CAD 시스템을 도입해서 사용함으로써 해서 설계부서간 협력 설계를 가로 막는 여러 가지 문제점이 발생하는데, 그 중 하나는 서로 다른 CAD 시스템 상호 간에 변환된 CAD 파일에는 여러 가지 종류의 오류가 발생하고 있다는 점이다. 그 원인은 이들 CAD 시스템들이 하나의 모델을 정의하는데 있어서, 그들 고

* 회원, 한국과학기술원 기계공학과

** 회원, 중앙대학교 기계공학과

*** 회원, 충남대학교 기계설계공학과

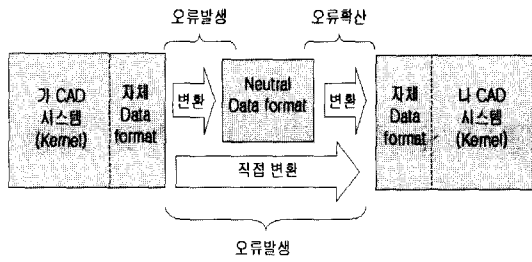


Fig. 1 데이터 변환시 오류의 발생 흐름

유의 file format을 갖고 있어 서로 다른 시스템 간의 호환성을 가로막고 있기 때문이다.³⁾ 이를 해결하기 위해서 IGES나 STEP과 같은 Neutral CAD format을 사용하고 있지만, 상용 CAD 시스템들은 고유의 수학적 이론을 바탕으로 개발되었기 때문에 Neutral format으로 전환될 경우에는 기하학적, 위상학적 오류가 함께 넘겨지게 된다.(Fig. 1)

CAD 모델에 오류가 발생하는 또 다른 원인은 설계자가 모델링 과정에서 CAD 시스템에서 요구하는 tolerance에 맞지 않는 모델링을 하거나, 모델링 프로세스(지침)에서 벗어난 행위로 인해 발생하는 경우가 있다. 이러한 오류들은 복잡한 모델일 경우, 작업자가 직관적으로 파악하기 힘들고, 하나의 모델파일의 오류로 인해 시스템 전체에 잠재적인 오류를 초래할 수 있다.

따라서, 본 연구 개발을 통해 정량적인 데이터를 바탕으로 변환된 STEP, IGES 파일을 검증하고, 오류가 발견된 결과 파일을 사용자에게 제공해 주는 도구를 개발하였다. 시스템 개발을 위해 적용된 CAD 엔진은 상업용 CAD 커널이 아닌 공개된 개방형 CAD 커널인 OpenCASCADE를 사용하였다.⁴⁾

1.2 관련 연구 현황

상용 CAD모델 진단 프로그램으로는 미국의 International TechneGroup Inc.(ITI-Ohio)에서 개발한 CAD/IQ가 있다.⁵⁾ CAD/IQ는 CAD 모델 데이터가 유한 요소 해석이나 데이터 형식 변환, 급속 조형(RP) 등의 다양한 목적으로 이용될 때에, 발생할 수 있는 여러 가지 문제점을 미리 찾고 그

것에 관해 리포트 하는 프로그램이다. 지원 형식으로는 곡면이나 솔리드로 구성된 3D CAD 데이터를 지원하며, 2D나 와이어프레임 데이터는 사용하지 않는다. CAD/IQ는 모델 데이터에 대한 수정(healing)은 하지 않으며 문제점에 관한 리포트만을 제공한다. 그 밖에, 유럽 시장에서 많은 사용자 층을 형성하고 있는 영국의 Theorem Solutions사의 CADHealer⁶⁾와 CATIA 환경에 embedding되어 사용할 수 있는 캐나다의 TransCAT사에서 개발한 Q-Checker⁷⁾라는 프로그램이 있다.

국내에는 중앙대에서 자체 STEP 3D 뷰어를 개발하여 이를 바탕으로 모델 데이터의 검증에 관한 연구를 하고 있다.⁸⁾

2. 개발 내용

CAD 모델의 진단 모듈은 차체 외형을 위한 스타일링 디자인에 Pro/Designer가 사용되므로, Pro/Designer에서 변환된 IGES 파일을 검증하는 모듈과 엔진 설계를 위해 사용하고 있는, Pro/Engineer에서 변환된 STEP 파일을 검증하는 모듈로 구성되어 있다. 개발된 각각의 모듈은 PC 환경에서 독립적으로 수행이 가능하며 이 두개의 모듈을 통합한 SGI 버전을 추가로 개발하였다. SGI 버전은 가시화(visualization) 부분은 제외하고 일괄처리 방식(batch mode) 형태로 개발하였다. 개발에 필요한 방향 설정을 위해 자동차 설계 과정에서 일어나고 있는 모델링 표준 항목과 CAD 모델의 오류를 진단하기 위한 항목을 파악하고 문서화하는 작업이 선행되었다.

2.1 IGES 모델의 검증 모듈

IGES 모델 데이터는 위상구조 형태의 데이터가 아닌 기하형상 데이터로 구성되어 있다. 즉, 점 요소(points entity), 선(lines)요소, 곡선(curves)요소, 곡면(surfaces)요소, 솔리드(solids)요소 형태로 이루어져 있다. 이렇게 위상 데이터를 포함하지 않는 형상 요소만을 이용하여 여러 형태의 검증 알고리즘을 구현하기 위해서 본 연구에서는 현재

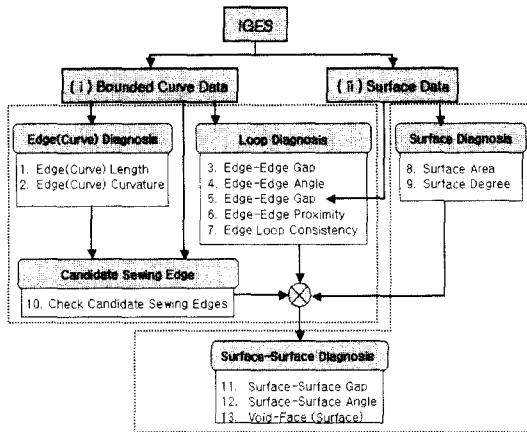


Fig. 2 IGES 모델에 대한 진단 프로세스

의 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 검증 과정과 Candidate Sewing Edge 확인 과정에 적용시켰다.

구성된 검증 모듈의 구조는 Fig. 2에서 보여지는 것처럼 크게 경계곡선 데이터를 이용한 검증 영역(i)과 곡면 데이터를 이용한 검증 영역(ii)으로 나누어져 있고, 계층별 단계로는 3단계로 구분되어 있다.

첫 번째 단계에선 모서리[edge(curve)] 관련 검증 작업과 Loop 관련 검증 작업, 그리고 곡면(surfaces) 관련 검증 작업이 이루어진다. 두 번째 단계에선 Candidate Sewing Edge 확인 작업이 수행된다. 마지막 단계에선 앞의 Candidate Sewing Edge 확인 작업과 곡면 관련 검증 작업을 기반으로 곡면-곡면(surface-surface) 관련 검증 작업이 이루어진다. 두 영역별 분류 및 계층별 검증 단계는

검증 모듈간의 불필요한 중복과정을 피하고 또한 프로그램 수행 속도의 향상을 위해 화살표 방향으로 단계적인 작업 흐름을 갖도록 구성되어 있으며, 순차적인 관계의 검증이 아닌 개별 검증 과정도 가능하도록 개별적으로 모듈화를 이루도록 구성되어 있다. 각 단계별 검증 모듈은 Candidate Sewing Edge 확인 부분을 포함해 모두 13개로 이루어져 있다.

2.2 STEP 모델의 검증 모듈

위상 구조 형태의 STEP 모델 데이터는 STEP Tools사의 ST-Developer V8.0을 이용해서 읽어 들이고 관리를 하게 된다. 읽어 들인 데이터는 프로그램 내부에 저장된 후, 제공되는 함수들을 이용하여 원하는 데이터들을 검색할 수 있게 되는데, 이 상태에서 Topology에 대한 점검을 실시하게 된다. 각 점검의 결과는 자체적으로 구성한 데이터 형식을 따르며 모든 점검이 끝난 후 일괄적인 결과 보고를 하기 위해 저장된다.

Geometry에 대한 점검은 Solid Modeling Kernel인 Open CASCADE 3.0을 사용한다. 내부에 저장되어 있는 STEP 데이터를 Open CASCADE로 변환하는 과정이 필요하며, 이를 위해 자체적으로 제작한 변환 모듈이 사용되었다. 변환 모듈은 ST-Developer를 통해 읽어 들인 데이터를 OpenCASCADE의 자료구조와 맵핑 시키는 부분으로서, 메모리 사용량을 줄이기 위해 각 점검기능에서 필요할 때마다 요구 부분만을 변환하여 Open CASCADE의 데이터 형태로 변환한다. Open CASCADE는 geometry에 관한 낮은 수준의 함수가 잘 준비되어 있으며, 적합한 기능을 사용하여 geometry에 대한 점검을 수행한다. 이 과정에서 얻어진 결과도 topology 점검과 함께 통합적으로 관리된다.(Fig. 3)

각각의 점검들이 모두 완료되면 점검결과로 생성된 데이터들을 사용자에게 보고하기 위해 결과 출력을 하게 된다.

파트를 생성하는데 사용된 STEP의 shape_representation 형식은 다음과 같다.

① advanced_brep_shape_representation

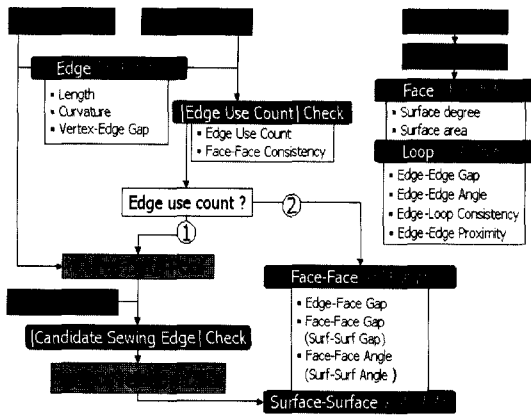


Fig. 3 STEP 모델에 대한 진단 프로세스

- ② manifold_surface_shape_representation
- ③ geometrically_bounded_surface_shape_representation
- ④ faceted_brep_shape_representation
- ⑤ geometrically_bounded_wireframe_shape_representation
- ⑥ hybrid_3d_shape_representation
- ⑦ csg_shape_representation

이 중 실제 점검을 하는 경우는 ①, ②, ③의 경우이고, 다른 경우에는 경고를 표시하고 체크를 하지 않는다. 특히 ④번의 경우는 리포트 파일의 제일 끝에 “faceted_solid used”라는 메시지를 표시하여 사용자에게 faceted solid가 사용되었음을 알린다.

Fig. 3의 ① advanced_brep_shape_representation은 일반적인 솔리드 데이터의 경우이고, ② manifold_surface_shape_representation은 shell단위로 구성된 위상 정보가 있는 face의 집합이다. 이 두가지의 경우는 edge를 가지는 face들로 구성되며, 위상 정보가 존재하므로 이를 이용하여 점검을 수행한다. 그러나, geometrically_bounded_surface_shape_representation은 곡면단위로 데이터가 포함되어 있으므로 위상 정보가 전혀 존재하지 않는다.

STEP 데이터는 그 크기가 방대해 질수록 내부의 데이터를 찾고 상호 간의 연결상태를 확인하

는 과정에 많은 작업 시간과 메모리가 소요되므로, 이를 최소화하기 위해 비슷한 유형의 데이터를 점검하는 기능들을 그룹화 함으로써 작업 시간과 메모리의 사용을 줄일 수 있다.

2.3 기능별 세부 내용

2.3.1 Edge(Curve) 관련 점검

Edge에는 두 개의 vertex와 기반이 되는 곡선이 존재하며, 이 vertex는 이론적으로는 edge상에 존재해야 하지만, 공차 등의 이유에 의해서 vertex와 기반이 되는 곡선간에 간격이 존재할 수 있다. 대부분의 edge관련 에러들은 이러한 vertex와 edge의 불일치에 의해 발생하는 경우가 많으므로 다음을 점검한다.

- ① Vertex와 Edge의 간격 점검
- ② Edge/Curve의 길이 점검
- ③ Edge/Curve의 곡률 반경 측정

2.3.2 Loop 관련 점검

Face의 형상을 생성하기 위해서는 하나의 Surface와 이를 원하는 형상으로 잘라주는 edge로 이루어진 loop가 필요하다. Face의 boundary를 이루는 loop의 연결 상태 및 loop를 포함하는 face와의 관계에 대한 점검 사항들은 다음과 같다.

- ① Face/Surface 곡률 점검
- ② Edge-Face 간격 점검
- ③ Edge Loop 일관성(consistency) 점검
- ④ Edge 간의 간격/겹침 점검
- ⑤ Edge간의 각도 점검
- ⑥ Edge간의 근접성(Proximity) 점검

2.3.3 Face간의 연결 상태 관련 점검

각각의 Face 상호 간의 연결상태가 불일치 되어 발생하는 오류에 대한 점검을 하게 된다. 이러한 오류는 대부분 번역기(Translator)의 잘못이나, 사용자의 실수 등에 의해 다음과 같이 된다.

- ① Face 간의 간격/겹침 점검
- ② Face 간의 각도 점검
- ③ Edge Use Count 점검

- ④ Face간의 일관성(consistency) 점검
- ⑤ Face(surface) 면적 점검

2.3.4 Surface의 연결 상태 관련 점검

다음과 같이 Topology가 없는 경우의 인접한 곡면 상호 간의 연결 상태를 점검한다.

- ① Candidate Sewing Edge (위상 정보가 없지만 기하학적으로 서로 맞닿아 있는 경우) 점검
- ② Void Face (face가 손실된 경우) 점검
- ③ 곡면 상호 간의 간격/겹침 및 각도 점검

2.4 UNIX 환경으로의 통합

현대자동차와 같은 완성차 업체는 대부분 UNIX 환경의 시스템을 사용하고 있다. 따라서, Silicon Graphics사의 IRIX 6.3 환경에 맞게, IGES 모듈과 STEP 모듈을 통합하였다.(Fig. 4)

PC용으로 개발된 IGES 모델 진단 모듈과 STEP 모델 진단 모듈을 UNIX 환경에 맞게 porting해서 통합 모듈을 만들었다. 그리고, STEP 모델을 OpenCASCADE 커널의 자료 구조로 넘기기 위해, STEP Tools사의 ST-Developer V8.0에서 Rose Library를 만들어 Static 형태로 Linking을 하였다. 또한, OpenCASCADE는 Shared Library 형태로 만들어 모듈화시켰다.

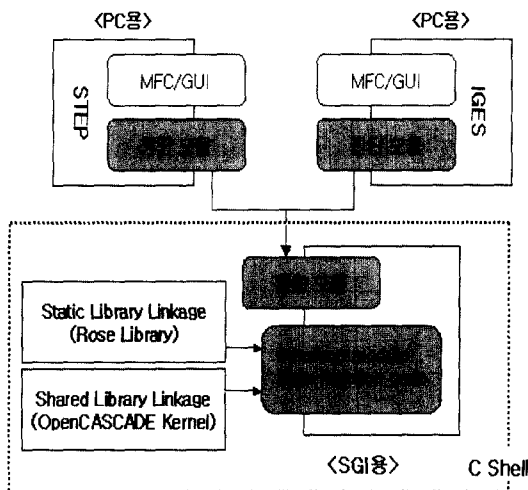


Fig. 4 UNIX 환경으로의 모듈 통합

3. 시스템 환경

Windows Intel	
Operating System	95/98/NT 4.0 SP3 + Y2K Patches
Minimum memory	64 Mb, 128 recommended
Free disk space (complete installation)	300 Mb
CAD Kernel	OpenCASCADE v3.1
Graphic library	OpenGL (provided with the system)
C++	Visual C++ 6.0

SGI	
Operating System	IRIX 6.3 or 6.4 + Y2K Patches
Minimum memory	128 Mb
Free disk space (complete installation)	300 Mb
Minimum swap space	400 Mb
Graphic library	OpenGL (provided with the system)
C++	Compiler N32

4. 모델의 검증 실험

4.1 점검의 절차

Fig. 5에서 보는 바와 같이, 사용자의 진단 조건이 설정된 입력파일(Configuration file)을 Loading 하면서 일련의 점검 과정이 수행된다.

오류가 확인된 결과 파일은 오류 부분에 Color 처리를 한 뒤, STEP/IGES 포맷으로 저장된다. 또한, 결과 분석을 위한 Report 파일을 Text 포맷으로 제공한다.

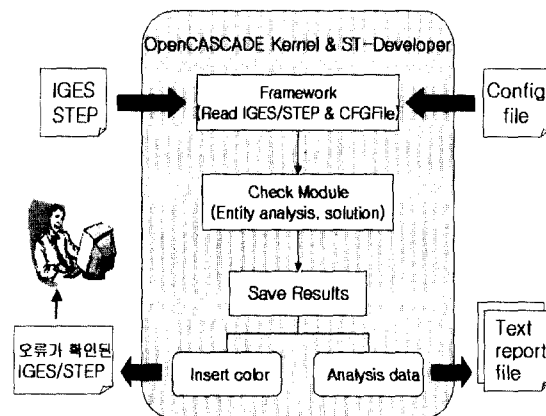


Fig. 5 모델 검증을 위한 절차

4.2 사례별 검증 결과 및 원인 분석

4.2.1 Edge(Curve)-Edge(Curve) gap

Fig. 6은 Tolerance를 0.1 mm로 설정 후 점검 한 결과를 와이어프레임 형태로 보여주고 있다. 빨간색 Edge(AsAe)와 녹색 Edge(BsBe) 사이에 0.1 mm 오차 이상의 Gap이 발생하여 오류로 표시되어 있다. 이것은 번역기를 사용해서 변환되는 과정에서 Edge의 유실이나 정밀도의 차이에 의해 발생된다.

4.2.2 Edge(Curve)-Edge(Curve) angle

Fig. 7은 Tolerance를 2°로 설정 후 점검 한 결과

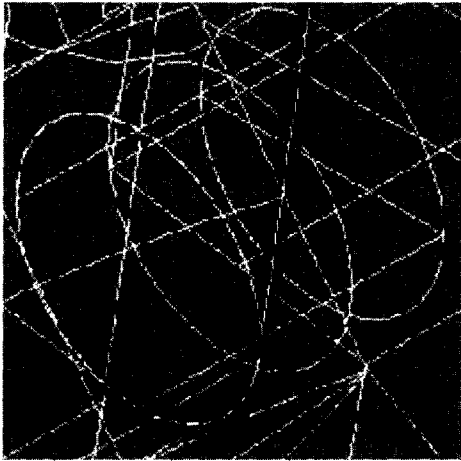


Fig. 6 Edge(Curve)-Edge(Curve) gap 검증 결과

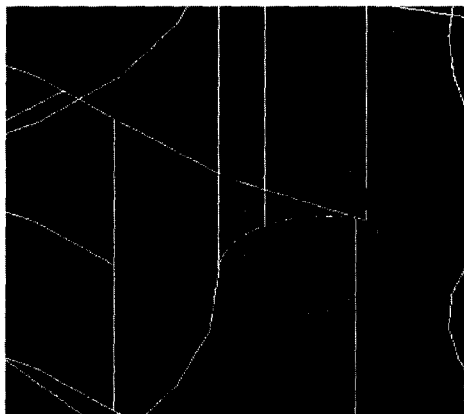


Fig. 7 Edge(Curve)-Edge(Curve) angle 검증 결과

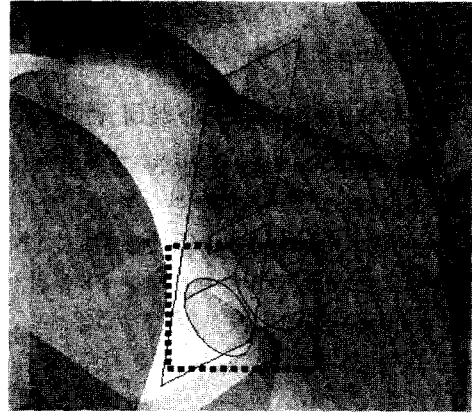


Fig. 8 Edge(Curve) loop consistency 검증 결과

를 보여주고 있다. Tolerance 이하의 Angle을 갖는 연결 Edge에서 발생하게 되며, CAM 가공 시 치명적인 결과를 초래하게 된다.

4.2.3 Edge(Curve) loop consistency

Fig. 8은 Edge loop consistency를 점검한 결과로 Bounded Curve (Type142) loop의 연결 상태가 잘못되거나, 변환 도중 정밀도의 차이에 의해 발생하게 된다.

4.2.4 Surface-Surface gap

Fig. 9은 엔진 블록의 Mount에 해당되는 부분으로 Surface와 Surface 사이의 Gap이 발생함을 보여주고 있다.

4.2.5 Surface degree

허용오차 이상의 높은 차수인 Surface가 존재

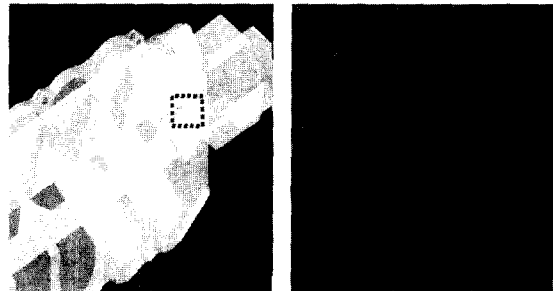


Fig. 9 Surface-Surface gap(左:실린더블록 右:부분확대)

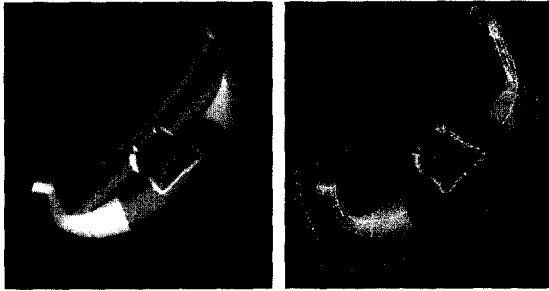


Fig. 10 Surface degree 검증 결과

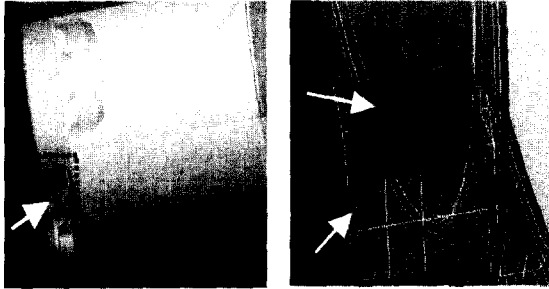


Fig. 11 Void face 검증 결과

할 경우에 발생된다.(Fig. 10)

4.2.6 Void Face (Surface)

Face 또는 Surface의 일부분이 유실되었을 경우에 발생하게 된다.(Fig. 11)

4.3 결과 파일

IGES 모델에 대한 13개 항목과 STEP 모델에 대한 19개 항목에 대한 오류 진단을 완료하게 되면, 사용자의 판단을 돕기 위해 그 결과를 다음과 같은 2가지 형태로 출력하게 된다.

진단되어진 모델에 대한 일반적인 정보와 진단 결과와 오류 Entity에 대한 Identity를 Fig. 12와 같은 텍스트 형태로 출력하는 로그 파일(Log file)이 출력되며, 오류가 확인된 Entity에 대해 사용자가 입력한 Config. 파일에 따라 해당 Entity를 특정 Color로 표시를 한 CAD 파일(STEP/IGES) 형태로 출력하게 된다. 따라서, 사용자는 EAI사의 VisView¹⁶⁾와 같은 CAD Viewer를 통해 오류의 위치를 눈으로 파악할 수 있다.

```

--- Administrator's Result File ---
- IGES File Information -
IGES File Name      : tiny_face.igs
IGES File Size      : 2360 [Kbyte]
Native System ID    : Pro/ENGINEER by Parametric Technology Corporation
Preprocessor Version : 9926
Author Name         : cactus
Creation Date & time : 000210.155445(Date,Time)
IGES Version        : 10
Used Unit           : INCH
-----
Edge(Curve) Length Check Result
-----
Check Value <= 1.000000
-----
Surface DE No.      Curve DE No.      Length(mm)
-----
D 9477              D 9475      :      0.00000
D 9525              D 9523      :      0.00000
D 9723              D 9721      :      0.00000
-----
- 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. 12 검증 결과 로그 파일(일부분)

5. 결론

다양한 CAD 시스템에서 형상을 설계하고, 데이터 교환을 하는 과정에서 CAD 모델의 오류가 빈번하게 발생하고 있다. 이러한 CAD 모델의 오류는 설계 당시 발견되지 않고, 생산하는 최종 단계에서 발생하기 때문에 설계 변경을 위해 Feedback하는 과정에서 많은 시간과 비용이 낭비되고 있다.

본 논문에 소개된 연구는 위의 문제점을 해결하기 위해 각각의 설계 단계에서 IGES 모델과 STEP 모델에 대해 정량적인 데이터를 바탕으로 모델의 오류를 진단하는 S/W를 소개하였다. 개발된 시스템에 대한 안정성 검증을 위해 설계부서에서 사용하고 있는 다수의 IGES와 STEP 모델들을 대상으로 오류 진단을 실시하였고, 여러 가지 모델 파일에서 오류를 확인하였다.

ITI사의 CAD/IQ는 완성도 높은 가시화 기능을 통해 진단 결과의 좋고(good), 나쁨(bad)을 평가할 수 있다. 그러나, 사용자는 진단 결과를 확인하는 수준뿐만 아니라, 오류가 확인된 부분을 수정(healing) 하기 위해 상세한 데이터를 필요로 하는데, CAD/IQ에서 출력된 결과를 바탕으로 사

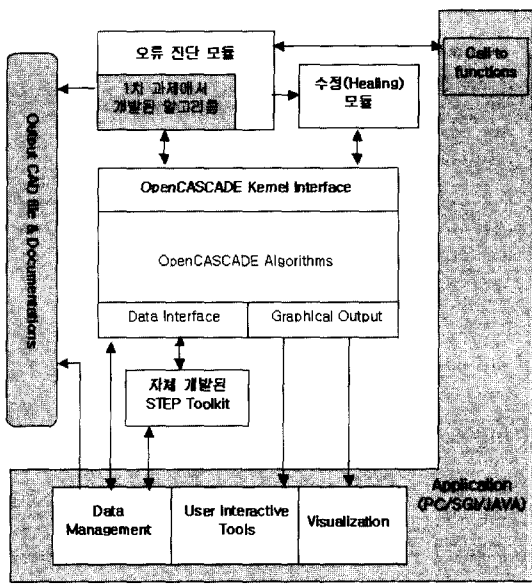


Fig. 13 진단/수정 S/W에 대한 개략도

용자가 오류를 객관적으로 판단하거나 수정하기에 부족하다. 개발된 프로그램은 일괄처리 방식(batch mode)으로 개발되어 사용자 인터페이스 측면에서는 취약하지만, 진단 결과에 대해 좋고 나쁨에 대한 구체적인 결과 데이터를 고급 사용자용 결과 파일(log file)과 일반 사용자용 결과 파일(log file)로 함께 출력하므로, 사용자가 모델에 대한 분석을 쉽게 파악할 수 있다.

또한, CAD/IQ는 10Mbyte 이상의 복잡한 모델의 경우에 dump error가 발생했지만, 본 연구를 통해 개발된 프로그램은 50Mbyte 이상의 대용량 CAD모델 데이터에 대해 안정적인 진단이 이루어진다. 그러나, 실제 실무자들이 쉽게 사용할 수 있도록 하기 위해서는 사용자 인터페이스 측면과 가시화 측면에 대한 추가적인 개발이 필요하다.

Fig. 13은 현재 개발이 진행중인 CAD 모델 진단 및 수정을 위한 시스템의 layout을 보여주고 있다.

후 기

본 연구는 현대자동차의 지원으로 한국과학

기술원, 중앙대, 충남대가 공동으로 수행하였으므로 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- 1) 오유천, 한순홍, "CAD와 PDM 시스템 간에 STEP 제품구조 정보의 교환," 한국CAD/CAM 학회 논문집, 제5권 제3호, pp.215-223, 2000.
- 2) 문두환, 한순홍, "매크로 파라메트릭 방법론을 이용한 CAD모델의 교환," 한국CAD/CAM 학회 논문집, 제6권 제4호, 2001.
- 3) Injection Molding Magazine, Fear of IGES Files, pp.38-41, 1999.
- 4) OpenCASCADE, <http://www.OpenCASCADE.org>
- 5) International TechneGroup Ltd., <http://www.iti-oh.com>
- 6) Theorem Solutions Ltd, <http://www.theorem.co.uk>
- 7) TransCAT, <http://www.q-checker.com>
- 8) 최 영, 여창훈, "3차원 STEP Data의 가시화," 한국CAD/CAM학회 학술발표회 논문집, pp. 223-227, 1999.
- 9) 박종욱, 박상호, "CAD 데이터 교환 오류 검증 시스템 개발," 한국CAD/CAM학회 학술발표회 논문집, pp.17-23, 2001.
- 10) G. Farin, Curves and Surfaces for Computer Aided Geometric Design, Academic Press Inc., 1992.
- 11) S. Wolfe, "When Bad Things Happen to Good Users," Computer-Aided Design Report, 1998.
- 12) K. Reed, The Initial Graphics exchange Specification (IGES) V5.0, U.S. Department of Commerce, 1990.
- 13) Matra Datavision, OpenCASCADE Kernel Book#1 ~ #7, Matra Datavision(Fr), 2000.
- 14) STEP 연구회, 제품모델 정보 교환을 위한 국제표준: STEP, 성안당, 1996.
- 15) Spatial Technology, ACIS Shape Healing Husk, Spatial Technology, 2000.
- 16) Engineering Animation Inc.(EAI), <http://www.eai.com>
- 17) Korea STEP Center, <http://www.kstep.or.kr>