

## 전산역설계(Reverse Engineering) 기술을 이용한 편향코일(DY)의 설계 검증 연구

윤정호\*, 전형환\*\*, 최광일\*\*\*, 김용환\*\*\*, 이관형\*\*\*\*

### Design Verification of the DY (Deflection Yoke) Using a CAI (Computer-Aided Inspection) Technique

Jeong-Ho Yoon\*, Hyung-Hwan Jeon\*\*, Kwang-il Choi\*\*\*  
Yong-Whan Kim\*\*\* and Kwan Heng Lee\*\*\*\*

#### ABSTRACT

The deflection yoke (DY) controls the direction of the electron beam that falls on the screen of the television monitor. Its quality depends on the shape and density of coils wound around the DY coil separator. Winding frames are used to make these coils, and therefore, their shapes are essential in making quality coils. A reverse engineering(RE) is applied to create the 3D model of the winding frame. It considerably shortens the design verification time and shows the level of accuracy that is feasible in the production mode. The paper explains each step of the reverse engineering process in detail.

**Key words :** Reverse Engineering, Computer-Aided Inspection, Deflection Yoke, Winding Frame, Laser Scanning

#### 1. 서 론

3차원 CAD 모델링이 효과적이기 위해서는 NC 가공 등의 후속 CAM 공정과의 설계 데이터 연계가 중요하다. 그러나 단순한 형상의 경우는 설계와 생산이 연계되어 가공할 수 있지만, 형상이 복잡한 경우는 설계 시간이 길어지며 설계 시 오차가 발생할 가능성이 크다.

기존의 전체 생산 공정은 Fig. 1과 같은 순서를 따른다. 설계된 CAD 모델을 이용해서 시작품(prototype)을 제작하여 제품 설계처에 대한 특성 평가를 하게 되는데 이 때 설계에 문제가 있으면 설계 변경을 하게 된다. 시작품 파트에 대한 설계 변경은 사상 가공으로 모델의 일부분을 제거하거나 용접 작업

으로 형상을 덧붙이는 등 여러 가지 형태로 할 수 있다. 그러나 이와 같이 형상이 변경된 시작품은 원래의 CAD 모델과 다른 형태를 갖게 되며 수작업으로 모델을 변경했기 때문에 변경된 형상 정보를 설계 부서에 재 입력하는 것은 거의 불가능하다.

Reverse Engineering(RE)은 3차원 디지털링 기술을 응용하여 물체의 3차원 위치 정보를 얻어내는 기술로서 물체의 형상을 측정하여 곧바로 3차원 CAD 모델을 복원할 수 있게 한다. 따라서 3차원 CAD 기술과 RE 기술을 통합하여 시스템을 구축하면 Fig. 2와 같이 실물로 만들어진 제품의 형상 정보를 설계 부서에 정확히 피드백할 수 있다. 이와 같은 과정은 또한 수작업으로 행해졌던 검사 과정을 자동화하여 실제 생산 검사의 통합 자동화 시스템을 구축할 수 있다.

제품의 고도화된 기능에 부응하여 제품 외부 형상 역시 복잡한 자유 곡면의 사용이 늘고 있다. 따라서 기존의 해석적 3차원 CAD 소프트웨어를 이용하여 자유 형상을 설계하는 것은 매우 어렵다. 복잡한 곡면에 대해서는 해석적 방법과 RE를 병행하여 사용

\*중신회원, 삼성전기 CAE실  
\*\*삼성전기 CAE실  
\*\*\*학생회원, 광주과학기술원 기전공학과  
\*\*\*\*중신회원, 광주과학기술원 기전공학과

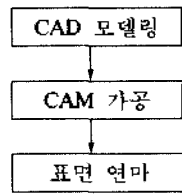


Fig. 1. Contemporary CAD/CAM.

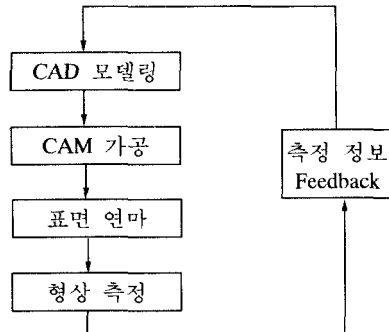


Fig. 2. CAD/CAM integrated with CAI.

하는 것이 효과적이다. 해석적 형상을 다루기 위한 기존의 3차원 CAD S/W와 디지털링 기술을 이용한 자유 곡면의 RE 모델링 방법을 혼합하여 전체적인 CAD 모델링 시스템을 구축하면 생산 시스템의 공정을 단축시키며 완벽한 모델링 데이터를 얻을 수 있다.

이 연구에서는 RE 기술을 사용하여 와인딩 프레임(Winding Frame)의 설계를 검증하려고 한다. W/F의 설계에서부터 생산하기까지 많은 설계 변경이 있게 되는데, 이 때 변경된 데이터를 정확히 측정해야 할 필요성이 있다. 설계 검증된 W/F를 사용하여 RE 기술을 적용해봄으로써 RE 기술이 어느 정도 신뢰성을 갖고 적용될 수 있으며 이를 구현했을 때 실제 생산 시스템과 어떻게 연결될 수 있는지 알 수 있다. 이 연구에서 이루어진 작업은 다음과 같다. 우선 정확한 설계 정보를 갖고 있는 W/F를 측정하고, 측정된 데이터에서 3차원 곡면 모델을 만들어 낸다. 그리고 나서 얻어진 곡면 모델을 사용하여 W/F를 다시 만든 후 측정한다. 이 측정 데이터를 처음 갖고 있던 설계 데이터와 비교한다. 각 단계마다 이루어지는 자세한 내용들은 이어지는 절에서 자세히 설명될 것이다.

## 2. RE 작업 환경

3차원 측정기는 접촉식과 비접촉식의 2가지 종류가 있다. 접촉식 3차원 측정기에서는 물체 표면의 좌

표를 얻기 위해 접촉 프로브를 측정 대상의 표면에 직접 접촉시켜서 측정이 이루어진다. 접촉식 프로브를 디지털링에 사용할 경우 측정되는 점의 좌표값은 실제 접촉점이 아닌 프로브의 중심 위치가 된다. 따라서 실제 표면의 형상은 프로브의 반경만큼 보정해 주어야 한다. 이를 위해서는 측정점의 주변 점들도 추가로 측정하여 측정 부위의 수직 벡터를 추정하고, 추정된 수직 벡터 방향으로 프로브 반지름만큼 보정해 주는 작업을 거쳐야 한다. 이러한 측정 방식으로 인해 필요 이상으로 데이터 량이 증가하게 되고 측정 속도도 느리므로 전체 작업 시간이 길어진다. 또한 모델 표면이 변형되기 쉬운 경우에는 접촉 프로브를 사용하기가 쉽지 않다. 측정 대상의 표면에 프로브를 접촉시키면 표면 형상이 변할 수가 있으며, 때로는 프로브 자체가 손상될 우려도 있다. 측정물을 고정시키는 문제도 해결해 주어야 한다. 완벽한 고정이 이루어지지 않으면 접촉식 프로브로 측정할 때, 접촉 압력이 가해져서 물체의 위치가 바뀔 수 있기 때문이다.

비접촉식 방식의 측정 장비에서는 접촉식 프로브가 사용되지 않기 때문에 접촉 압력에 의한 모델의 외부 표면 변형이나 위치 변화 등의 문제점들을 해결할 수 있다. 또한 정확한 곡면 데이터 값을 빠른 시간 내에 얻을 수 있으며 프로브의 반경 보정 작업도 필요 없다. 본 연구에 사용된 비접촉식 측정 장비는 LDI사의 Surveyor 1200이다. 이 장비는 자동으로 움직이는 XYZ 3축에 회전(rotation), 틸트(tilting)가 가능한 모터리 테이블(rotary table)을 추가 장착할 수 있는 형태로 되어 있다. 전체적인 시스템이 일괄 구축되어 있어 안정적으로 측정할 수 있으며 라인 스캔 레이저(line scan laser)를 장착하여 신속한 측정이 가능하였다. 장비의 정밀도를 알기 위해 블록(block)과 구를 사용하여 실험한 결과 측정 오차가 6 μm 이내의 정밀도인 것으로 나타내어 여러 가지 메카트로닉스 부품의 설계 검증에 사용될 수 있는 정밀도를 갖는 것으로 분석되었다.

Surveyor에서 측정된 점 데이터를 처리하여 곡면 정보를 생성하는데 필요한 소프트웨어로는 DataSculpt와 Imageware社의 Surfacer 두 가지를 사용하였다. DataSculpt는 점데이터 처리 전용 소프트웨어로서 그래픽 사용자 인터페이스(Graphic User Interface)가 사용하기에 불편하다는 단점이 있으나 Surfacer에는 없는 점데이터 처리 옵션과 기능이 매우 많고 특히 머지(merging), 블렌드(blending), 정렬(sorting)과 같은 기능들은 점데이터 수정 작업 시에

매우 유용한 모듈(module)들이다. 사용자 인터페이스는 주로 그래픽 환경에서 이루어지며 명령어 입력 방식도 사용 가능하다.

Surfacer는 잘 개발된 그래픽 사용자 인터페이스를 제공하여 사용하기가 편리한 장점이 있다. 점데이터들의 선택이나 추가(adding) 기능들은 편리하고 많이 사용된다. 곡선과 곡면의 생성 및 수정에 필요한 여러 가지 기능들은 모두 갖추고 있어서 짧은 시간 내에 최종 곡면 모델을 생성할 수 있으며 전체적으로 여러 가지 모듈을 두루 갖춘 프로그램이라고 할 수 있다. IGES 형식을 포함하여 여러 형식의 파일을 읽고 쓸 수 있어 외부 데이터 인터페이스도 뛰어나다.

이들 두 소프트웨어의 활용도를 높이기 위해서 보통 다음과 같은 곡면 재생성 과정을 거친다. 처음 레이저 스캐닝 장비에서 얻어진 점데이터를 DataSculpt에서 정렬, 블렌드, 머지 작업을 하여 필요한 점데이터를 합친 후, 스파이크(spiking), 스무딩(smoothing) 기능을 사용하여 데이터를 필터링(filtering)한다. 이것을 IGES 파일로 변환하여 Surfacer에서 불러들인다. 불러들인 여러 개의 측정 데이터를 레지스트레이션(registration)하여 하나의 완성된 점데이터 모델로 만든 후 여기서 곡선을 만들고 이로부터 다시 곡면을 만든다.

### 3. RE를 통한 와인딩 프레임(Winding Frame)의 설계 검증

#### 3.1 와인딩 프레임(W/F) 측정의 필요성

H-코일은 TV 브라운관에서 전자총에 의해서 생성되는 RGB 빔의 위치가 스크린의 원하는 위치에 쏘여질 수 있도록 조정하는 역할을 하는 편향코일(DY)의 부품중의 하나이다. 하나의 가느다란 코일을 감아서 만드는데 이것이 원하는 형태대로 감아지기 위해서는 Fig. 3과 같이 H-코일의 외부 곡면과 같은 형태의 W/F(권선금형)이 필요하다. 볼트와 너트의 관계와 같은 두 종류의 암수 W/F를 맞물린 상태에서 회전시키고 그 사이에 코일을 넣어서 감게 되면 원하는 형태의 H-코일이 만들어진다. W/F의 곡면은 H-코일의 외부 곡면이 정확히 나올 수 있도록 만들어져야 하고 따라서 W/F의 설계 정밀도는 H-코일의 최종 정확도에 지대한 영향을 미치게 된다.

W/F의 곡면을 따라 H-코일의 형태가 결정되므로 두 곡면의 형태가 완전히 일치하는 것이 이상적인 경우이다. 그러나 H-코일은 여러 줄의 코일이 채워

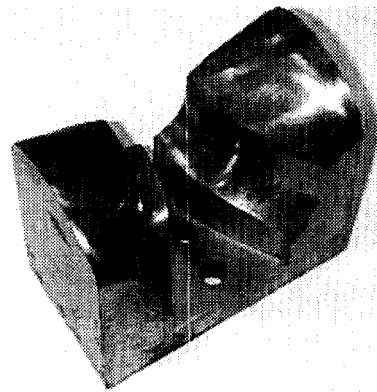


Fig. 3. Winding frame.

져서 이루어진 형상이기 때문에 복잡하고 매끄럽지 못한 외부 곡면을 가지며 형상의 뒤틀림도 있을 수 있다. 또한 코일 사이사이가 완벽히 채워지지 않기 때문에 최종적으로 완성된 H-코일의 곡면 형태는 W/F의 곡면과 다른 모습을 띌 수 있다.

정확한 H-코일을 만들 수 있는 W/F를 제작하기 위해서는 여러 번의 설계 변경 및 수정이 필요하다. 또 완성된 W/F를 보다 정확한 형상으로 만들기 위해 용접을 통한 수정 작업이나 사상 작업을 통해 W/F의 형상을 고쳐가게 된다. 따라서 여러 번의 수정 작업을 거친 W/F 모델은 처음에 설계했던 초기 형상과는 다른 형태를 갖게 된다. 하지만 사상 가공 등의 수정 공정이 대부분 수작업으로 이루어지기 때문에 변경된 형상에 대한 정보가 설계 부서에 전해지기 힘들다.

기존의 접촉식 3차원 측정기(Coordinate Measuring Machine)를 이용하여 W/F과 같은 자유곡면을 측정할 경우에는 여러 가지 문제점으로 인해 측정이 곤란하다. 우선 접촉식 3차원 측정기는 측정 속도가 낮고 측정 데이터의 양이 정확한 자유 곡면을 구하기에는 부족하다. 또한 프로브(probe)를 이용하여 볼체의 곡면에 직접 접촉한 채로 측정이 이루어지기 때문에 불규칙적으로 변하는 자유곡면을 측정할 경우 프로브와 물체의 손상이 생길 가능성도 있다.

비접촉식 측정기인 레이저 스캐너는 빠르게 측정할 수 있고 측정 정밀도도 높기 때문에 3차원 측정기가 가지고 있는 여러 가지 문제점들을 해결할 수 있다. 측정 결과로서 얻어지는 점데이터는 RE 전용 소프트웨어를 이용하여 3차원 곡면 모델(surface model)로 변환된다.

이와 같은 RE 시스템이 구축되면 설계 변경 부분에 대한 정량적인 설계 검증이 가능하며 측정 부서와 설계 부서 상호간의 정보 교류가 가능하게 된다. 또한 설계에서 생산까지 이어지는 전체 공정에 필요한 시간도 줄일 수 있을 뿐만 아니라 DY의 품질 관리 및 개발을 효율적으로 할 수 있기 때문에 경쟁력이 있는 제품을 생산해 낼 수 있다.

**3.2 W/F 측정시의 주요 연구 대상**

정확하면서도 효율적인 W/F의 측정을 위해서 고려해야 할 사항들이 몇 가지 있다. 적합한 레지스트레이션 설정 작업이나 W/F 전용 지그(jig)와 고정구(fixture)의 개발 등은 전문가적인 지식과 경험 등을 필요로 한다. 이에 대한 고려를 통해 RE의 정밀도를 향상시킬 수 있다. 측정 시 중요한 고려 사항을 요약하면 다음과 같다.

1) 일반적인 3축 측정 장비를 가지고 물체의 전체 부분을 한 번에 측정하는 것은 불가능하다. 각 부위 별로 따로 측정을 하게 되며 측정 작업 후에 각 데이터를 동일한 좌표축을 갖는 3차원 공간상에 옮겨 합쳐야 한다. 이와 같은 작업을 레지스트레이션이라고 한다.

여러 개의 측정 데이터를 하나로 합칠 때에는 일반적으로 툴링 볼(tooling ball)이라는 최구술을 이용하게 된다. 툴링 볼을 사용하여 측정하면 툴링 볼의 중심을 근사할 수 있어서 3개의 툴링 볼이 서로 다른 두 개의 측정 데이터 속에 동시에 포함되어 있게 하면 두 개의 측정 데이터를 하나의 통일된 좌표축상에 옮길 수 있다.

2) W/F에는 오목한 형태의 부위가 많이 있다. 이와 같은 부분을 정확히 측정하기 위해서는 레이저의 방향과 오목한 부위의 곡면 법선(normal) 벡터가 같은 방향으로 놓여 있어야 한다. 그렇게 하기 위해서 측정 시 W/F를 비스듬하게 놓을 경우도 있다. 이 경우에 W/F가 움직이지 않고 정확히 측정할 수 있도록 물체를 고정시키는 도구가 필요하다. 단순한 V-블록과 같은 물체를 이용할 수도 있지만 W/F의 형태에 적합한 지그나 고정구를 개발한다면 편리하고 정확한 측정을 할 수 있다. W/F의 오목한 부위를 정확히 측정하기 위해서는 각 오목 부위에 대한 측정 방법을 따로따로 설정해야 한다. 하지만 이와 같은 작업은 많은 시간과 노력이 필요하다. 또한 측정 부위가 많아지면 실수할 가능성도 높아진다. 이러한 것을 방지하기 위해 측정 계획을 효율적으로 세우는 것이 중요하다.

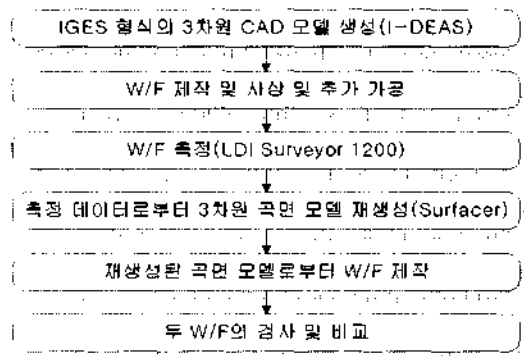


Fig. 4. Overall procedure

**3.3 W/F 설계 검증 공정 절차**

기존의 제작 공정을 통해 만들어진 W/F를 측정한 후 RE 공정에 따라 실물과 똑같은 복제품을 만들어 내는 것이 'W/F 설계 검증 연구'의 목적이다. 이를 위해서 우선 최상의 품질을 갖는 W/F 완성품이 필요하다. 완성된 W/F를 측정하여 제품의 형태와 똑같은 3차원 모델을 재 생성하여 이를 다시 실물로 제작한 후, 기존의 W/F와 RE를 통해 제작된 W/F의 차이를 비교하면 RE의 정밀도를 알 수 있다.

Fig. 4에서는 'W/F의 설계 검증 연구'의 전체 공정 절차를 표시하였다. 기존의 방법인 CAD 모델에서 W/F를 제작하는 공정은 삼성 전기의 설계팀과 W/F 가공실에서 담당하였고 RE에 필요한 모든 공정은 광주과학기술원에서 담당하였으며 최종 결과 분석은 두 기관에서 동시에 수행하였다.

**3.4 W/F 측정 및 데이터의 처리 과정**

이 절에서는 W/F 설계 검증을 위한 RE 공장에서 수행한 여러 가지의 세부 공정들을 상세히 설명하겠다.

**3.4.1 측정 계획 공정**

전체적인 측정 전반에 대한 계획을 짜는 공정이 다. 측정 횟수와 측정 시 물체의 위치 및 측정 방향, 중점 측정 부위 등을 결정한다. 측정 계획의 우열에 따라 전체 공정에 필요한 시간과 정밀도가 좌우된다. 레지스트레이션 공정과 곡면 재생성 공정, 곡면 조각을 합치는 공정 등을 모두 고려하여 최적의 측정 계획을 수립했다. 3차원 스캐너인 Surveyor 1200의 경우, 3축을 갖는 측정 장비이기 때문에 측정 센서의 방향이 한 방향으로 고정되어 있다. 따라서 전체 물체의 형상을 측정하기 위해서는 물체의 위치 및 방향을 변경하면서 여러 번 측정해야 한다. 또한

물체의 위치 변경 작업시, 물체가 완벽히 고정될 수 있도록 고정구 설치(fixturing) 작업도 같이 이루어져야 한다. W/F의 중앙 부분에 깊게 패인 4개의 오목 부분을 측정하기 위해서는 W/F을 비스듬하게 세워 놓고 측정해야 하며, 각 오목 부분을 정확히 측정하기 위해서는 최소한 4번의 측정이 필요하다. 또한 전체적인 형상 측정을 위해서 W/F의 윗면 및 정면 방향으로도 측정해야 한다. 이와 같이 총 6번의 측정이 필요하다고 분석됐다.

또한 툴링 볼은 Fig. 5와 같이 최소한 8개가 필요하다고 분석됐다. 툴링 볼의 크기는 한번에 측정하기 적당한 지름 10 mm가 알맞다. 일반적으로 툴링 볼의 크기는 측정 물체의 크기에 비례해서 선택할 수 있지만 W/F의 경우에는 측정이 필요 없는 W/F 외벽에 툴링 볼을 붙이기 때문에 툴링 볼의 크기를 임의로 선택하여 사용할 수 있다. 툴링 볼을 물체의 외면에 단단히 붙이기 위해서 열에 녹인 실리콘을 접착제로 사용한다.

툴링 볼 작업 시 주의해야 할 사항이 몇 가지 있다. 우선, 높은 정밀도를 갖는 툴링 볼을 사용해야 한다. 레지스트레이션 공정 자체에 필연적으로 오차가 생기기 때문에 오차가 발생할 수 있는 환경을 최대한 제거해야 하기 때문이다. 가령 툴링 볼에 대한 접데이터를 가지고 구(sphere)를 근사시킬 경우 툴링 볼의 정밀도에 따라 구의 형상에 대한 정보(반지름, 구의 중심 등)의 정확도가 달라진다. 이러한 문제점들을 보완하기 위해서 높은 정밀도를 갖는 툴링 볼을 사용하는 것이 바람직하다.

또한, 툴링 볼을 붙일 때 측정하고자 하는 물체의 중요 부분을 가리지 말아야 한다. 툴링 볼은 단순히

하나의 좌표축에 모든 곡면들을 일치시키기 위해 부수적으로 사용되는 것이다. 하지만 곡면 측정값의 정확도는 RE의 가장 중요한 목표가 된다. 따라서 툴링 볼이 측정값의 정확도에 나쁜 영향을 끼치지 않도록 주의해야 한다.

툴링 볼을 사용하여 레지스트레이션을 할 때, 우선 물체의 형상을 고려하여 툴링 볼의 최소 개수, 최소 측정 횟수 등을 결정하고, 툴링 볼을 붙이기에 적합한 위치를 찾는 것이 유리하다.

#### 3.4.2 측정 준비 공정

측정 준비 공정에는 3가지 세부 작업이 있다. 3가지 세부 작업에는 툴링 볼을 물체에 부착하는 작업과 물체의 곡면에 스프레이(spray)칠을 하는 작업, 물체를 원하는 위치에 놓고 고정시키는 작업이 있다.

W/F의 곡면은 매우 부드럽게 사상 처리되어 있기 때문에 빛이 산란될 수 있다. 본 연구에서는 레이저를 이용한 측정 방식을 채택했기 때문에 레이저 빛의 산란을 방지하기 위해 측정 물체의 표면에 산란 방지용 스프레이(spray)칠을 하게 된다. 이 때 곡면의 정보를 왜곡하지 않도록 얇게 칠하는 것이 중요하다. 일반적인 스프레이 두께는 1  $\mu\text{m}$  내외이기 때문에 물체의 정밀도에 크게 영향을 끼치지 않는다.

이와 같은 준비 작업이 끝나면 측정 정반 위에 W/F을 올려놓고 측정에 알맞은 위치로 W/F을 고정시키는 것이다. 이 작업에는 W/F을 고정시키기에 적당한 V-블록이나 전용 지그 또는 고정구를 이용하는 것이 편리하다. V-블록을 이용하여 Fig. 6과 같이 W/F을 고정시키고 측정하면 W/F의 오목 부분을 측정하기 쉬워진다.

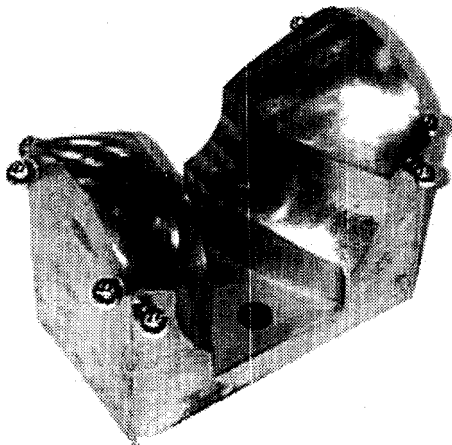


Fig. 5. W/F with attached tooling balls.

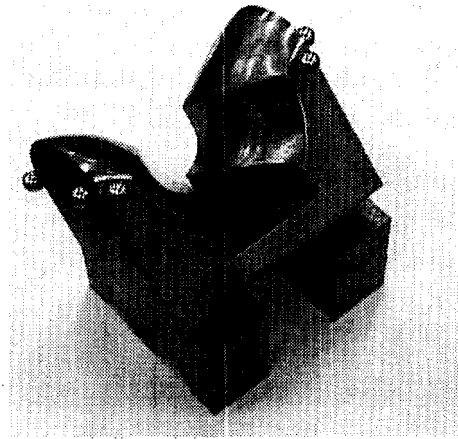


Fig. 6. W/F placed on a V-block.



Fig. 7. Point data of the scanned W/F.

3.4.3 측정 작업

캘리브레이션(Calibration)은 측정 장비에 장착된 센서의 교정을 뜻한다. 완벽한 캘리브레이션이 이루어지지 않으면 실제 물체의 형상 위치와 상이한 측정 결과를 얻게 된다. LDI Surveyor 1200의 초기 설치 시에 레이저 캘리브레이션 작업을 해야 하는데 이 작업은 레이저 라인 센서의 방향을 Surveyor 1200 장비의 실제 Y축 방향과 일치시키는 것이다.

LDI Surveyor 1200을 구동하여 측정하고 싶은 W/F의 위치를 정하고 측정을 시작한다. 초기 위치 설정을 제외하면 자동으로 측정되기 때문에 부가적으로 필요한 작업은 없다. 이 작업으로부터 Fig. 7에서와 같이 W/F 외부 곡면의 형상을 나타내는 약 20-30만개 정도의 점으로 이루어진 데이터 집합을 얻게 된다.

3.4.4 점데이터 수정 작업

측정 장비의 정밀도, 측정설비의 작업 환경, 빛의 산란을 유발시킬 수 있는 물체의 형상 등 여러 가지 요인에 따라 측정 오차가 발생한다. 측정 공정에서 구한 점데이터는 이러한 오차를 포함하고 있기 때문에 측정이 완료된 후 점데이터의 수정이 필요하다.

점데이터 수정 전문 S/W인 DataSculpt는 점들을 부드럽게 이어주는 블렌드, 머지, 스무딩, 필터링 모듈 등과 같이 점데이터에 존재하는 오차를 제거하여 매끄러운 점데이터로 변환하는데 필요한 여러 가지 기능들이 있다. 이 같은 기능들을 이용하여 W/F를 측정된 점데이터를 수정하였다. W/F의 경우, 중앙부의 오목 부위를 측정할 때 빛의 난반사 등에 의해서 산란 현상이 발생하는데 산란된 데이터를 수정하기 위해서 필터링 작업을 했다. 필터링 작업은 잘못된 측정된 점데이터를 없애주는 기능을 한다. 필터링 작

업 후에는 스무딩 작업과 블렌딩 작업, 머지 작업등을 통해 부드러운 형상을 띠는 점데이터로 변환시켰다. 이 같은 기능들을 사용하여 정확하면서도 매끄러운 W/F 형상 데이터를 얻었다.

3.4.5 레지스트레이션 작업

하나의 W/F으로부터 부위별로 측정된 여러 개의 점데이터 집합들은 각각 고유의 좌표축 상에 표시되어 있다. 이와 같이 흩어져 있는 점데이터 집합들을 레지스트레이션을 통하여 하나의 좌표축 상에 옮겨 놓는 작업이 필요하다.

각각의 측정 데이터 집합에는 W/F의 외부 곡면에 붙어 있는 툴링 볼들에 대한 곡면 정보도 포함되어 있다. 이 정보를 이용하여 구 근사화(sphere fitting) 방식으로 추정된 툴링 볼의 중심점은 레지스트레이션 작업 시에 기준점 역할을 한다.

W/F의 점데이터를 레지스트레이션하면 Fig. 7과 같이 서로 떨어져 있는 W/F 초기 점데이터를 Fig. 8과 같이 완벽한 W/F의 형태를 나타내는 점데이터 집합으로 변환시킬 수 있다.

3.4.6 곡면 재생성 작업

Imageware社의 Surfacer S/W는 수정된 점데이터를 IGES 파일 형태로 입력받아서 다양한 방법들을 이용하여 3차원 곡면 모델(3D surface model) 생성을 가능케 한다.

W/F은 여러 개의 불연속적인 곡면들로 이루어진 형상이다. 따라서 전체 W/F 곡면을 여러 개의 연속 곡면으로 분리하여 각 형상을 따로 만들어야 한다. 이와 같이 전체 곡면을 구성하는 하나의 W/F 점데이터로부터 9개의 점데이터 조각으로 나눈다.

부분별로 나뉜 점데이터에서 Fig. 9에서와 같이 형상을 대표하는 곡선을 구한다. 자유 곡면 형상을 표현하기 알맞은 래셔널 B-스플라인(rational B-

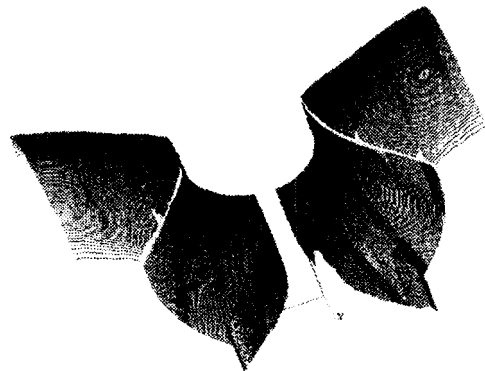


Fig. 8. Registered point data.

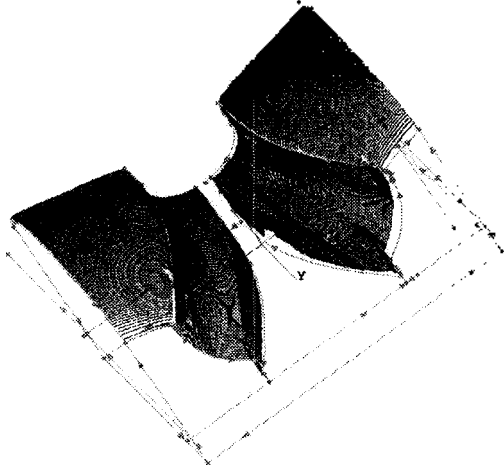


Fig. 9. Feature extraction curves (edges) obtained from the point data.

spline)을 이용하여 경계 곡선 및 특징 곡선을 생성한다. 차수가 높고 컨트롤 포인트(control point)의 수가 많을수록 정확한 형상의 곡선을 구할 수 있다. 하지만 너무 높은 차수인 경우, 곡면이 부드럽지 못하고 계산량도 많아져서 컴퓨터에 과부하를 줄 수 있다.

지금까지 구한 곡선들을 이용하여 로프팅(lofting) 곡면을 생성시킨다. 생성된 곡면은 모델의 점데이터와 일치하면서도 부드럽게 이어져야 한다. 특히 곡면의 테두리 부분에서 우그러지는 현상이 없어야 한다. 우그러진 형상을 가공하는 것은 실제적으로도 어려움이 많다. 가공 툴(tool)이 파손될 수 있으며 곡면들간의 경계 부위가 거칠어진다. 우그러진 형상이 있을 경우에는 곡면을 다시 만들어야 한다.

완성된 부위별 곡면을 4 방향( $u^+$ ,  $u^-$ ,  $v^+$ ,  $v^-$ )으로 늘인다. 주변의 곡면들과 겹치는 부분에서 교차선(intersection line)을 만들 수 있다. 이 교차선은 최종적으로 만들어진 W/F 곡면 조각의 경계선이 된다. 이 경계선을 따라 곡면들을 자르고(trim) 완성된 곡면 조각을 모아서 합치면 Fig. 10과 같이 완전한 W/F 곡면 모델이 된다. 점 데이터에서 최종 곡면 모델을 생성하는데 16~24시간 정도가 소요되었다.

#### 3.4.7 곡면과 점데이터의 비교

Surfacer에서 만들어진 3차원 곡면 모델과 점데이터를 비교하면 Fig. 11과 같이 재생성된 곡면의 정확도를 파악할 수 있다. 실제로 곡면의 모서리 부분 등에서 오차가 많이 발생하였다. 비교 작업을 통해 잘못된 부분을 확인할 수 있으며 잘못된 곡면 부분은 부분별로 삭제한 후 다시 정확한 곡면을 재생성

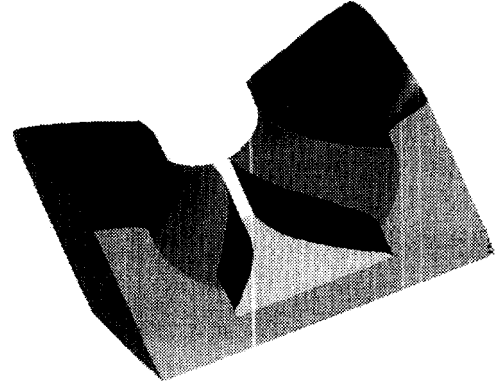


Fig. 10. W/F surface model made from the scanned point data.

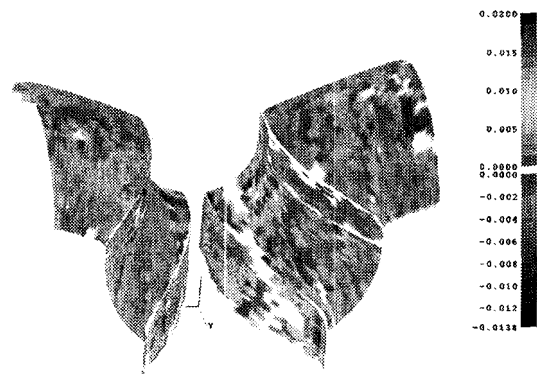


Fig. 11. Surface-to-point cloud difference (error).

하였다.

생산 공정 상에서 설계 작업 및 측정 작업, 사상 가공, 재설계 작업등을 통해 하나의 완벽한 모델을 만들기 위해서는 보통 한달 정도가 소요된다. 하지만 W/F 곡면 재생성을 통해 모델을 만드는데 필요한 전체 시간은 단지 24시간 정도이면 된다. 속련도가 높을수록 작업 시간은 더 줄일 수 있으며 전체 공정의 시간도 그만큼 짧아진다.

## 4. W/F의 측정 결과

곡면 재생성 작업을 통해 만들어진 W/F의 3차원 곡면 모델은 Fig. 12에서 보이는 바와 같이 알루미늄으로 가공된 후 측정과 검사 작업을 수행하였다.

측정 시 오차는 Table 1과 같이 대체로 40  $\mu\text{m}$  정도 내외로 나왔다. 삼성 전기 품질 관리팀에서 정한 오차 한계는 40  $\mu\text{m}$ 이기 때문에 매우 만족할만한 결과를 얻었다고 말할 수 있다. 특정 부분에서는 100

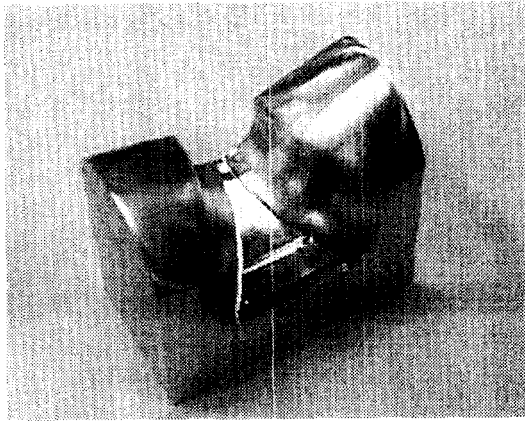


Fig. 12. W/F model obtained through RE.

Table 1. Comparison between the nominal and the inspected value of  $F_R$

Z값	$F_R$ 의 nominal 치수(mm)	$F_R$ 의 실측 치수(mm)	오차(mm)
-10	35.2265	35.1040	0.1225
-20	28.8132	28.7650	0.0982
-30	23.8858	23.9225	-0.0367
-40	20.8391	20.8665	-0.0274
-50	19.2515	19.2460	0.0055

$\mu\text{m}$ 의 오차도 나왔지만 가공 시 발생한 오차로 추정되었다.

기존의 방법대로 여러 번의 설계 변경을 거친 W/F의 경우, W/F의 설계 및 제작에 필요한 총 소요 시간이 대략 6개월 정도라고 한다. 하지만 RE 시스템에서 가공된 W/F의 경우, 오차가  $40 \mu\text{m}$  이내의 모델을 2-3일 내에 신속하게 생산할 수 있다. 이와 같은 결과는 시간 단축과 고 정밀도를 얻고자 하는 생산 분야에서 RE 시스템이 유용하게 사용될 수 있다는 점을 보여 준다. 지속적인 연구를 통해서 안정적인 정밀도를 얻게 되면 완벽한 RE 시스템을 구축하여 설계 및 생산 분야에 획기적인 기술 혁신을 이룰 수 있다.

## 5. 기대 효과 및 결론

이상의 연구에서 보는 것처럼 W/F 목업(mock-up) 모델이나 실제 W/F가 있을 때에는 CAD 모델 및 복제품을 제작하는 시간이 파격적으로 줄어든다. 기존의 방법처럼 처음부터 새로 모델링을 한 후 가공 및 후처리 공정을 거치는 것이 아니라, 설계 변경이 완료된 완전한 W/F를 측정하여 3-4일 내에  $40 \mu\text{m}$  이내의 오차를 갖는 복제품을 만드는 방법이기 때문에

신속하면서도 정확하게 W/F의 CAD 모델 및 실제 제품을 만들 수 있다. 이에 따라 생산 사이클의 단축, 모델 변경의 용이, 변경된 형상 정보의 데이터베이스화 등의 파급 효과가 있을 수 있다.

W/F의 측정에 이용된 RE 기술은 설계에 필요한 디자인 파라미터를 최적화하여 설계 변경에 필요한 시간을 줄일 수 있다. 설계된 CAD 모델을 곧바로 생산할 수 있기 때문에 설계 부서에서 생산, 검사 부서로 넘어가는 공정들을 단순화시킬 수 있다. 또한 정확한 측정이 가능하기 때문에 전자계 해석 프로그램과 같은 분석 프로그램에 정확한 데이터를 입력하여 효과적인 분석을 가능하게 한다.

이와 같은 RE 시스템은 제품의 품질 향상과 제품 개발 기간 단축, 제품 설계의 3차원 정보 일원화 및 데이터베이스화를 실현시킬 수 있다. 또한 검사 과정의 자동화 및 전산화가 구축되며 설계 부서로의 정보 피드백이 가능해진다. 이로부터 설계 생산 검사의 최적화를 이룰 수 있다. 이와 같은 RE 시스템은 다른 외관 부품의 설계 및 제작 공정 등에도 파급 효과가 있을 것으로 예상된다.

## 참고문헌

1. Besl, P.J. and McKay, N.D., "A Method for Registration of 3-D Shapes", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 14, No. 2, 1992.
2. Chen, F.L. and Su, C.T., "Vision-based Automated Inspection System in Computer Integrated Manufacturing", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 11, pp. 206-213, 1996.
3. Cheng, W.L. and Menq, C.H., "Integrated Laser/CMM System for the Dimensional Inspection of Objects Made of Soft Material", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 10, pp. 36-45, 1995.
4. Craig, J.J., *Introduction to Robotics: mechanics and control*, 2nd edition, Addison Wesley, New York, 1986.
5. Marshall, A.D. and Martin, R.R., *Computer Vision, Models, and Inspection*, World Scientific Publishing, Singapore, 1992.
6. Stefani, S.A., Nagarajah, C.R. and Toncich, D.J., "Non-contact Inspection for the Detection of Internal Surface Defects in Hollow Cylindrical Workpieces", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 11, pp. 146-154, 1996.
7. Várady, T., Martin, R.R. and Cox, J., "Reverse en-



- gineering of geometric models - an introduction", *Computer-Aided Design*, Vol. 29, No. 4, pp. 255-268, 1987.
8. Zeid, I., *CAD/CAM Theory and Practice*, McGraw-Hill, New York, 1991.
  9. ICEM SURF's User's Guide, version 2.0, A Division Control Data System, Inc., 1997.
  10. *Proceedings of Rapid Tooling and Manufacturing*, Anaheim, California, 2-3 December 1997, 1997.
  11. Surfacer User's Guide, version 7.0, Imageware, Inc., 1997.



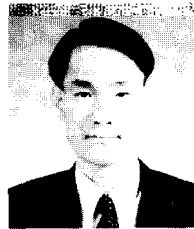
### 윤 정 호

1984년 서울대학교 기계공학과 학사  
 1989년 KAIST 기계공학과 박사  
 1990년 ~ 현재 삼성전기(주) 종합연구소  
 Software센터 CAE 팀장  
 관심분야 : CAD/CAM/CAE, CIM, 3D  
 CAD 데이터의 활용 및 이용



### 전 형 환

1990년 중앙대학교 기계공학과 석사  
 1990년 ~ 1993년 LG 생산기술원 주임연구  
 구원  
 1993년 ~ 현재 삼성전기(주) 종합연구소  
 Software센터 CAE팀 선임연구  
 원  
 관심분야 : 사출성형 CAE, 3D금형 CAD/  
 CAM 기하공차해석



### 최 광 일

1996년 고려대학교 산업공학과 학사  
 1998년 광주과학기술원 기전공학과 석사  
 1998년 ~ 현재 광주과학기술원 위촉연구  
 원  
 관심분야 : Reverse Engineering, Rapid  
 Prototyping



### 김 용 환

1996년 한양대학교 공과 대학 산업공학  
 과 학사  
 1998년 광주 과학기술원 기전공학과 석사  
 1998년 ~ 현재 기아자동차 중앙기술 연구  
 소 연구원  
 관심분야 : Reverse Engineering, Computer-  
 Aided Inspection



### 이 관 행

1976년 서울대학교 섬유공학과 학사  
 1982년 서울대학교 산업공학과 석사  
 1988년 미국 North Carolina State대 산  
 업공학과 박사  
 1988년 ~ 1994년 미국 Northern Illinois  
 대 조교수  
 1995년 ~ 현재 광주과학기술원 기전공학  
 과 부교수  
 관심분야 : CAD/CAM, Rapid Prototy-  
 ping & Manufacturing, Re-  
 verse Engineering, Medical  
 Applications