

## 3차원 스캐너와 디지털라이저의 이해 - Part 2

3차원 측정 장치는 엔지니어가 사용했던 다른 장치보다 기교를 요하는 도구이다. 측정된 표면이 원본을 복제하는 정도는 측정에 사용된 제품과 기술 그리고 측정을 수행하는 사용자의 숙련도에 크게 좌우된다. 이러한 사실과 복잡성으로 인해 3차원 측정장치를 선택하는 것은 주관적이 될 수밖에 없다.

따라서 여기서는 CAD 모델을 역공학(reverse engineering) 하기에 가장 적합한 장치를 선정하는 경우에 대해 언급하고자 한다. 또한 원하는 곡면의 형상과 다른 특성들도 고려되어야 할 것이다. 3차원 측정기를 구매하고자 하는 경우, 측정 가능한 정밀도에 한계가 있다는 것을 알고 있어야 하며 장치의 성능을 유지하는 방법을 발전시켜 나가야 한다.

### ◎ Setting the Context

3차원 측정 장치는 이동식 좌표 측정 기구와 광학 및 레이저 스캔 부의 정밀도가 향상됨에 따라 계측분야에서 점점 저변을 확대해 가고 있다. 완제품의 가격은 \$45,000에서 약 \$250,000 까지이며, 이들의 저가격 디지털라이저와 스캐너의 측정오차는  $10^{-2}$ ~ $10^{-3}$ 의 정도를 가지고 있다.

3차원 측정장치는 장난감, 컴퓨터 마우스, 자동차 외관, 날개와 동체단면을 포함하는 대형 항공 구조물 등의 자유형상 물체의 형상 정보를 얻는데 널리 쓰이고 있다. 스캐너는 또한 대형 판재 부품으로부터 스탬핑 다이(stamping die)와 초기 주물을 생성하는 포징 다이(forging die)를 역 과정으로 만드는 데도 이용될 수 있다.

Coldwater Machine Company, LLC.라는 오하이오의 서비스 사무소에서는 자동차 생산업체들에게 부품을 공급하는 하청업체들이 필요한 수많은 다이 부품들을 역공학으로 만들고 있다. Tiffany Feltz라는 엔지니어는 초기 CAD 모델과 공장에서 나중에 만들어진 제품과는 일치하지 않는다고 한다. 예를 들어 CAD 모델의 잘못된 분리선(parting line)으로 인

한 오버드래프트(overdrafts)와 언더컷(undercut)을 교정하기 위해 많은 수정이 이루어진다고 한다. 그는 또한 부품이 좋은 상태를 유지하는 동안 부품으로부터의 정보를 얻을 경우 더 시간이 적게 소요되기 때문에, 부품들이 닳거나 파괴되기 전에 3차원 데이터를 얻음으로써 비용을 줄일 수 있을 것이라고 말한다.

Ohio 주 Mason 시에 위치하는 Makino 사의 다이-월드 부서에 있는 Jeff Wallace은 역공학(reverse engineering)이 저 정밀 생산공정에 적합한 것임에도 불구하고, 많은 부분에서 높은 정밀도의 공차가 매우 엄격하게 요구된다고 한다. Makino 사는 가격이 수백만 달러에 이르고 정밀도는 마이크론(micron) 단위인 최고의 gantry-type 좌표 측정 머신에 견줄 만한 우수한 공차를 유지하는 컴퓨터 제어 밀링 머신들을 만드는 업체이다. Makino 사는 아무 문제 없이 인치당  $2 \times 10^{-2}$ 의 정밀도로 쉽게 절삭할 수 있다고 하지만 스캐너나 디지털라이저를 사용하여 이 정도의 정밀도로 데이터를 얻는 것은 불가능할 것이라고 그는 덧붙였다.

### ◎ Digitizers Versus Scanners

디지털라이저(Digitizer: 탐침봉(touch probe)이 끝에 부착된 좌표 측정 머신)는 한번에 하나의 점의 데이터를 얻는다. 이 데이터는 선분, 스플라인, 원, 그리고 단면과 같은 3차원 형상으로 표현된다. 그 다음 디지털라이저에 의해 얻어진 단면을 로프팅(lofting) 시킴으로써 곡면 모델을 만들 수 있다. 특정 CAD 시스템에서는 점 data를 얻는 과정중에 매개변수 형상(dimension-driven features)을 얻을 수도 있다. 디지털라이저는, 점 data의 특성상, 유능한 설계자가 3차원 CAD 시스템으로 설계한 부품의 형상에 대한 data를 보다 잘 얻을 수 있다.

디지털라이저와는 달리, 스캐너는 수많은 점들의 데이터를 한꺼번에 얻게 되는데, 이러한 과정을 클라우드(clouds)라고 한다. 이것은 넓은 표면과 자유

형상 표면을 가지는 부품의 data를 얻는데 더욱더 효과적이다. 대표적인 적용 예는 인형이나 자동차 차체의 경우이다. 이러한 모델은 CAD 시스템으로 생성하더라도 대단한 인내심을 요구하는 작업이기 때문에, 설계실에서 주로 사용하는 방법은 진흙이나 비누로 모양을 만든 후에, 스캐너에서 그 물체의 형상 정보인 무수한 점의 data를 얻는다. 그 다음 적절한 소프트웨어를 사용하여 이러한 data를 돌출된 부분이나, 들어간 곳, 그리고 평평한 부분들로 분류한다.

스캐너와 디지털라이저 중 하나를 선택할 때 주어진 CAD 환경에서의 작업흐름도 고려해야 한다. 클라우드의 설계로부터 생산, 해석, 혹은 신속 시작의 과정을 일관되게 하는데, 이는 클라우드가 수치 제어 밀링이나 다각형 격자 생성을 위한 프로그램으로 상대적으로 쉽게 변환해 주기 때문이다. 그러한 격자들은 신속 시작에서의 STL 파일(stereolithography files)이나 해석용 유한 요소가 될 수 있다.

#### ◎ Mixing and Matching

불행히도 형상의 data를 얻기 위해 어떤 기술을 사용할 것인가에 대한 결정은 부품에 따라 다를 뿐만 아니라 하나의 부품안에서도 형상에 따라 달라진다. Michigan 주 Troy 시에 위치한 서비스 사무소인 3D Solutions 사를 운영하는 Ravi Kapur는 종종 하나의 과제를 수행하기 위해 하나 이상의 기계를 사용한다고 한다. 그는 곡면의 정보를 얻기 위해 주로 스캐너를 사용하지만, 접착된 부분이나, 스캐너의 센서가 볼 수 없는 영역은 탐침봉을 사용한다. CMM(coordinate-measuring machine)은 광학 및 레이저 스캐닝 헤드의 고정기구로 사용되기도 하기 때문에, 스캐너와 디지털라이저를 구분짓는 명확한 경계가 없을 수 있다.

스캐닝 제품을 비교할 때 CMM의 가격이 중요한 고려 요소가 된다. 많은 data는 많은 메모리와 하드 디스크 용량을 요구하기 때문에 스캐너를 잘 사용하려면 강력한 성능의 컴퓨터가 필요하겠다. 적어도 데이터를 얻고 사용하기 위해서는, 펜티엄 III, 512 MB의 DRAM, 30 GB의 하드디스크 용량, 그리고 CD-R/W가 필요할 것이다.

#### ◎ Other Object Characteristics

측정대상의 모양이나 형상으로 측정하고자 하는

표면을 특징 짓는 것 외에도, 다른 성질도 고려되어야 한다. 이미 언급한 바와 같이 지나치게 광택이 심하거나 지나치게 어두운 표면은 광학 및 레이저 스캐너의 정밀도를 떨어뜨릴 수 있다. 왜곡되어 있거나 측정에 민감한 표면은 탐침봉과 같은 접촉식 스캐너에는 적합하지 않다. 만약 측정 대상물을 파괴하거나 열지 않고 내부의 기하학적인 형상을 알고자 할 때의 유일한 선택은 단층 촬영(computed tomography)기법뿐이다. 부품을 파괴해도 무방하면, CGI, Inc 사의 단면 스캐너(cross-sectional scanners)가 사용될 수 있겠다.

#### ◎ The Accuracy Thicket

정밀도는 구매자가 정확히 파악하기 곤란하다. 드문 경우이지만 판매자가 3차원상의 선분을 측정 한 정밀도를 제시하는 경우도 있다. 하지만 대부분 3차원 좌표를 측정할 때의 정밀도에 관한 통계적 자료만 제시한다. 이처럼 좌표들에 대한 관심은 역공학이 아직도 주요한 위치를 가지지 못하는 반면에 측정방법이 여전히 스캐닝 장치에서 주요 시장이 되고 있다는 것을 시사한다. 부품과 가공을 검사하는 품질 검증 부서에서는 측정장비가 각각의 좌표점을 측정할 때의 정밀도에 주의를 기울여야 한다. 그러나 유기적인 표면을 얻기 위해 수십만 혹은 수백만개의 3차원 점으로 이루어지는 점 data를 측정해야 하는 장비의 성능에 대해 평가할 때 개개의 점 데이터의 정밀도가 중요한 것이라고 보기는 어렵다.

정밀도에 대한 논란은 데이터 획득 기술의 종류가 과다한 것에 기인하는데, 이로 인해 장비들 간의 정밀도를 비교 평가할 수 있는 표준이 보편화 되지 못하였다. 무엇을 제시해야 할 것인가는 전적으로 생산자에 달려 있지만, 일반적으로 생산자가 제시한 데이터는 실제 작업장에서 재생하기 어려운 최적 조건 아래에서의 그 장비의 정밀도를 나타내는 경향이 있다.

이러한 불분명한 상황에서 판매자의 정밀도에 대한 설명을 그대로 받아들이는 것은 위험한 일이다. 오직 예외라 할 수 있는 것은 독일의 VDI/VDE에서 발간된 ANSI B89 rules 또는 관련 표준 아래 검증된 좌표 측정 장치의 경우이다. 그러나 일반적으로 문형(gantry-type)의 CMM 장치의 경우에만

그러한 표준에 부합하는지 알 수 있을 뿐이다.

측정 장치의 구매자들은 무엇이 잘못될 수 있는 지에 대해 알고 있어야 한다. 모든 하드웨어는 피하기 어려운 문제를 포함하는 경향이 있다. 예를 들어, 문형 CMM은 “선형변위(linear displacement)”의 문제가 있는데, 이는 센서가 축을 따라 작동영역의 중심으로부터 멀어짐에 따라 오차가 선형적으로 증가하는 것이다. 어떤 판매자는 때때로 이 효과를 고려하여 측정된 물체의 길이 함수로써 여러 량을 나타내기도 한다. 이동식 CMM은 체적편향(volumetric deviation)의 문제가 있다. 즉 몇 개의 회전 축 주위로 선화하는 인공 측정 팔이 측정 영역의 가장자리부분에 이를 때 이러한 오차는 증가한다. 일반적으로 이동식 CMM 판매자는 이러한 오차에 대해 아무런 기준을 제시하지 못하고 있다.

소프트웨어와 작업자의 오차는 서로 상승 작용을 하여 상황을 악화시킨다. CMM으로부터 수집된 데이터는 종종 탐침봉의 반경을 고려하여 조정되어야 하는데, 이것은 측정 팔이 측정 표면과 접촉하게 되는 외부 표면이 아니라 탐침봉의 중심위치를 기억하기 때문이다. CMM을 제어하는 소프트웨어는 이러한 오프셋(offset)을 자동으로 고려할 수 있으나, 일반적으로 최적 상태에서 데이터가 얻어진 것으로 가정한다. 즉, 항상 탐침봉의 정점이 표면을 접촉하는 것으로 가정하는데, 실제로 작업자가 탐침봉의 옆면으로 측정하는 경우가 아주 빈번하다. 이러한 일이 일어났을 때, 오프셋 알고리즘은 측정된 점의 위치를 왜곡시킬 것이다. 레이저 및 광학 스캐너의 경우에도 센서의 투시방향이 표면에 법선방향일 때 가장 정확한 데이터를 얻는다. 이러한 조건 때문에 대형 물체의 경우 좋은 결과를 얻기 힘들다.

몇몇 시스템은 측정과정을 자동화 시킴으로 인해서 작동 조건을 좀 더 좋게 제어하고 있다. Digibotics 사의 Digibot laser scanners와 CGI 단면 스캐너들이 좋은 예들이다. 이들 장치들은 NC 밀링 머신과 유사한 이동형 플랫폼을 가지고 있다. 이로 인하여 측정 센서를 물체에 대해 좋은 위치에 둘 수 있어, 물체의 법선방향에 가까운 위치에서 측정할 수 있다. 단점이라면, 그러한 장치의 측정 과정은 수 시간 동안 지속될 수 있으며, 작업 영역을 미리 지정하여야 한다. 이러한 제약으로 인해 CGI와 Digibotic device는 주로 초보적인 검사도구로 사

A point-cloud patchwork

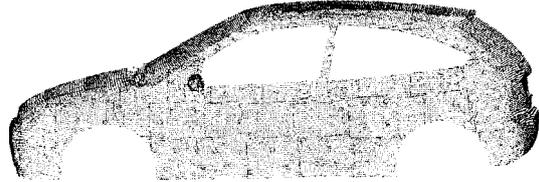


그림 1. Ford Focus의 외관은 점 클라우드에 의해 형성되어서 ATOS 광학 스캐닝 시스템에 의해 정렬된다. 패치들은 표면을 따라 종이 표시자(paper marker)들을 붙여 생성된다. 이 점들의 영상은 두장의 천을 단추로 연결하는 것처럼 패치들을 함께 조합시키기 위해 표면에 덧붙여 세워진다. 패치가 적당하게 생성되기 위해서 연속된 패치들은 적어도 세개의 표시자들을 가지고 있다.

용된다.

정밀도는 측정장치의 부피가 커짐에 따라 떨어지는 경향이 있다. 표준 작업 조건하에 ATOS 광학 스캐너는 그것의 측정 부피가 50×50×40 mm 일 때 ±0.001 inch 내의 정밀도로 점을 나타낼 수 있다. 측정 부피가 800×640×640 mm에 이를 때 오차량은 두 배 이상에 이른다.

Faro Technologies 사의 이동식 좌표측정 장치에서도 비슷한 경향이 발견된다. Faro 사의 Gold Arm 계의 오차량은 측정 부피를 구로 보았을 때 그 지름이 4 feet에서 12 feet의 경우 ±0.001-0.0047 inch의 값이다.

역설적으로 보이지만, GOLD 12가 GOLD 4보다 자동차 몸체와 같은 큰 물체의 스캐닝에 더 나은 결과를 보여 주었다. ATOS 북미 판매업체인 Captur 3D 사의 Rick White는 큰 물체의 스캐닝 때에도 마찬가지로 가시 영역이 클수록 좋은 결과를 얻을 수 있다고 한다. 그 이유는 영역에 비해 물체가 클 경우 분할하여 측정해야 하기 때문이다. 이 때 주의해야 하는 것은 오차가 축적되는 것을 막기 위해 분할된 영역의 경계를 정확히 정렬해야 한다. White는 한번 측정할 때의 정밀도와 구매자가 작업할 때와는 차이가 있으며, 구매자가 원하는 것은 각 부분의 끝점과 끝점의 정밀도를 알기를 원할 뿐 각 패치의 정밀도를 알고자 하지는 않는다고 하였다.

데이터를 구성하는 일반적인 방법은 같은 형상에 대하여 연속적인 부분으로 나누어 측정하고, 점 클라우드가 겹쳐 졌을 경우 두 개의 영역의 경계를

잘 정렬한다. 소프트 웨어를 이용하여 이 과정을 자동으로 처리하지만 명확한 특징이 없는 곡면들의 경우 서로 일치하지 않을 수 있다. 이런 오차를 막기 위하여 과학적 스캐닝을 할 때 주로 사용방법인 고리표, 탁구공, tooling balls, modeling clay 등과 같은 표식물을 표면에 부착한다. 하지만 이 경우 스캐닝을 하면 표식물의 크기 만큼의 data를 나중에 다시 채워야 한다.

또 다른 방법은 전체(global) 좌표 시스템을 분할하여, 대상물체와 이동식 측정 장치가 서로 적합하도록 맞추는 방법이다. 즉, 이동식 CMM은 장치를 미끄러져 움직이는 안내선로에 부착하면, 선로는 모든 측정 데이터에 대해 X축 방향으로 정렬하기 위한 기준이 된다. 부품은 때로 그 자체가 작업의 기준으로 사용될 수도 있다. 항공 엔지니어들은 실제로 날개나 동체에 직접 간단한 선을 그어 기준을 만든다. 이러한 방식으로 사진 측량법(photo grammetry)이라 불리는 기술이 있는데, 물체를 격자점으로 덮어 찍은 후 전체 표면에 대한 디지털 사진을 찍는다. 그리고 난 후 광학 스캐너는 그 격자점의 표시자들을 이용하여 패치들을 조합한다. 만약 중첩된 부분이 있으면 전체 물체의 디지털 사진을 기준으로 수정한다.

#### ◎ Qualifying Capture Equipment

정밀도에 대한 신뢰성이 없을 경우, 구매자는 스캐너와 디지털타이저를 검증할 수 있는 그들 자신의 체계를 갖추어야 한다. 이러한 검증 시험에서는 회사가 디지털타이즈할 제품과 유사한 종류의 물체를 채택해야 한다. 그리고 판매자에게 측정 과정에 대

한 설명과 CAD 모델을 생성할 수 있도록 도움을 요청해야 한다. 그 다음 결과 데이터가 공차범위를 만족하는지를 검증한다. 이러한 검증을 수행하는 S/W가 있는데, 이를 이용하면 색깔 등급을 사용하여 스캔 또는 디지털타이즈된 데이터와 CAD 모델의 일치 여부를 검사할 수 있다.

Capture 3D 사의 Rick White는, CAD 모델을 생성하는 과정을 포함한 전체적인 작업 과정을 고객이 주지하라고 충고한다. 그렇게 주의 깊게 관찰하다보면 시간, 기술, 그리고 부가적인 소프트웨어 장치에 대한 아이디어를 얻을 수 있을 것이다.

#### ◎ Service Bureaus

요구되는 기술수준에 관하여, 여전히 남아 있는 의문점은 단지 서비스에만 의지하여 좋은 결과를 얻을 수 있을 것인가 하는 것이다. 그 해답은 수행할 작업과 당신의 엔지니어들이 그 작업을 충분히 잘 수행할 수 있도록 훈련시킬 여유가 있느냐는 것에 달려있다. 스캐너 및 디지털타이저를 가지고 유용한 모델을 얻는 과정은 시간과 인내심이 요구되는 고도의 기술이기 때문이다.

-----  
 << CAD Report Vol. 20, No. 3, Mar. 2000 >>  
 -----

본 기사는 부산대학교 정용호 편집위원이 "CAD Report"에서 발췌하였으며, 출판사인 CAD/CAM Publishing Inc.의 연락처는 다음과 같다.

- Fax : +1-619-488-6052
- E-mail : Cadcirc@aol.com
- Web site : <http://www.cadcamnet.com>