

플랜트 산업의 3D 스캐닝 기술

[글] 문두환¹, 김병철²
¹경북대학교
²동아대학교
 1dhmun@knu.ac.kr
 2mir7942@dau.ac.kr

1. 3D 스캐닝 기술의 개요

3차원 스캐닝 기술이란 3차원 스캐너를 이용하여 프루브(probe)를 대상물과 접촉시키거나, 직접 접촉하지 않고 레이저나 거리영상 카메라(range image camera)를 이용해 대상물의 형상정보를 취득하여 컴퓨터가 처리할 수 있는 디지털 정보로 전환하는 과정이다¹. 3D 스캐너로부터 취득된 대상물의 형상 정보는 Fig. 1이 같은 점군(point-cloud) 데이터로 표현된다.

점군 데이터는 List 1과 같이 대상물의 표면에서 추출된 점(point 또는 vertex)들의 집합이고, 각 점은 3차원 좌표로 나타낸다. 3차원 좌표는 직교 좌표계

(Cartesian coordinate system) 상에서 x축 기준 위치(x값), y축 기준 위치(y값), z축 기준 위치(z값)로 표현된다. 점군 데이터 파일에는 점군 데이터 외에도 데이터 처리에 필요한 추가 정보(점의 개수, 해상도 등)가 저장되어 있다.

3차원 스캐너는 접촉식과 비접촉식으로 구분된다. 대표적인 접촉식 3D 스캐너로는 CMM(coordinate measuring machine)이 있다. CMM은 물체의 표면 위치를 검출할 수 있는 프루브가 3차원 공간을 이동하면서 각 측정 점의 공간 좌표를 검출하는 장치이다. 비접촉식에 비해 정밀도가 높지만, 물체와 직접 접촉할 수 없는 경우나 대상물이 큰 경우에는 사용하기 어렵다. 비접촉식 방식은 물체에 직접 접촉하지 않고 스캐닝하는 방식으로 레이저나 거리영상 카메라를 이용한 광학식 스캐너, 자력을 이용한 MRI(magnetic resonance imaging) 장치, X-ray를 이용한 CT(computed tomography) 장치, 음파를 이용한 SONAR(sound navigation and ranging) 장치가 있다. 이 중에서 플랜트 산업에서는 외부 공간에 있는 대형 구조물 및 설비를 스캐닝 해야 하기 때문에 레이저를 광원으로 사용하는 광학식 스캐너를 주로 사용하고 있다. 과거에는 비접촉 방식의 스캐너는 정밀도가 낮았기 때문에 플랜트와 같은 대형 구조물에 적용하기 어려웠으나, 최근에는 정밀도 향상으로 플랜트에도 비접촉 스캐너를 적용하는 것이 가능해졌다.

2. 점군 데이터로부터 3D CAD 데이터 생성 과정

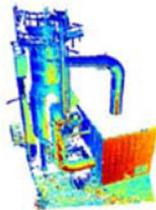
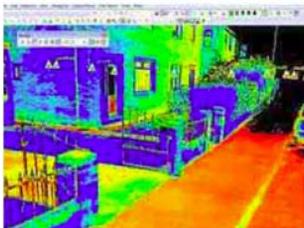


Fig. 1. 3D 스캐닝으로 수집한 점군 데이터

¹Geomagic, <http://www.3dscanning.co.kr/about3dscanning/definition/>, 2015.

List 1. 점군 데이터의 저장 구조²

```

---중략---
element vertex 40256
---중략---
property list uchar int vertex_indices
end_header
-0.06325 0.0359793 0.0420873
-0.06275 0.0360343 0.0425949
-0.0645 0.0365101 0.0404362
-0.064 0.0366195 0.0414512
-0.0635 0.0367289 0.0424662
-0.063 0.0367836 0.0429737
-0.0625 0.0368247 0.0433543
---중략---
    
```

점군 데이터로부터 B-rep(boundary representation) 이나 삼각망 형식의 3D CAD 데이터를 생성하는 과정은 체계화되어 있고 각 단계별로 많은 기술들이 개발되어 있다. 산업에서는 이 과정을 역공학(reverse engineering)이라고 부르기도 한다.

점군 데이터로부터 역공학 방법을 이용해 3D CAD 데이터를 생성하는 과정은 Fig. 2와 같이 데이터 수집(data acquisition), 필터링(filtering), 정합(registration), 분할(segmentation), 곡면 피팅(surface fitting)으로 구성된다.

- 데이터 수집(data acquisition)은 3D 스캐너를 이용해 대상물에 대한 점군 데이터를 수집하는 과정이다.
- 필터링(filtering)은 수집된 점군 데이터에 포함된 노이즈(noise)를 제거하는 과정이다. 측정 데이터

에는 일반적으로 노이즈가 포함되기 때문에 이를 제거할 필요가 있다.

- 정합(registration)³은 다양한 위치에서 수집한 여러 개의 점군 데이터 집합(파일)을 한 개로 합치는 과정이다. 일반적으로 한 곳에서 대상물 전체를 스캐닝 하는 것은 불가능 하기 때문에 다양한 위치에서 스캐닝 한 후, 한 개의 좌표계를 기준으로 합치는 것이 필요하다.
- 분할(segmentation)⁴은 점군 데이터 집합을 여러 기준(예로, 법선(normal), 곡률(curvature))을 적용하여 구역으로 나누는 과정이다. 전체 점군 데이터를 한 개의 곡면으로 피팅하는 것은 어렵기 때문에, 곡면을 피팅할 수 있는 단위로 구역을 분할한다.

²Stanford 3D Scanning Repository, <http://graphics.stanford.edu/data/3Dscanrep/>, 2015.

³Zhang, Zhengyou, "Iterative point matching for registration of free-form curves and surfaces". International Journal of Computer Vision, Vol. 13, No. 12, pp. 119-152, 1994.

⁴Besl, P. J. and Jain, R. C., "Segmentation through variable-order surface fitting", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 10, No. 2, pp. 167-192, 1988.

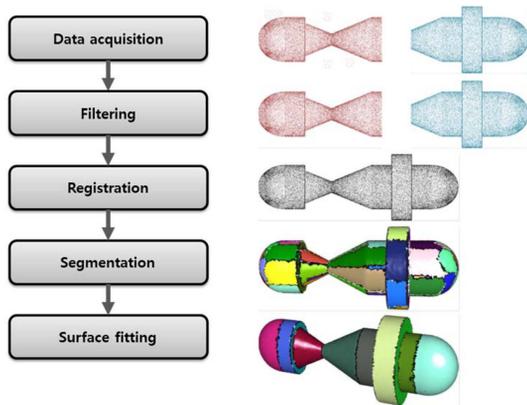


Fig. 2. 점군 데이터로부터 3D CAD 데이터를 생성하는 과정

- 곡면 피팅(surface fitting)⁵은 분할된 점군으로부터 B-rep이나 삼각망 데이터를 생성하는 과정이다. 점군 데이터에서 곡면을 생성할 때는 사용 목적에 따라 삼각망이나 곡면으로 피팅한다. 삼각망 모델을 생성할 때는 일반적으로 들로네 삼각화(Delaunay triangulation) 방법을 적용한다. 곡면의 경우에는 다양한 형태의 곡면으로 피팅하는 것이 가능하며, 목적에 따라 2차 곡면(quadratic surface)⁶, 베지어 곡면(Bzier surface)⁷, B-스플라인 곡면(B-spline surface)⁸, 스위프 곡면(sweep surface)⁹ 등으로 보간하거나 근사화시킨다.

3. 플랜트 산업에서 3D 스캐닝 기술의 활용

플랜트 산업에서 3D 스캐닝 기술은 실물 완성(as-built) 플랜트의 3차원 정보를 수집하는 시간을 단축

시키며 이를 통해서 프로젝트 기간과 비용을 절감할 수 있다¹⁰. 플랜트 설계 및 시공 단계에서 전체 일정의 10%를 단축한 사례가 보고되기도 하였다. 실물 플랜트의 상세 ‘as-built’ 지식을 설계자에게 제공함으로써 프로젝트 위험도를 완화시킬 수 있고 재설계를 줄임으로써 비용 절감 효과를 얻을 수 있다. 플랜트 소유주와 운전자 또한 3D 스캐닝 기술의 효과를 인식하고 있다. 레이저 스캐닝 기술은 보건 및 안전 규정(health and safety regulation)의 준수를 용이하게 하고, 원격에서 실물 플랜트 데이터를 얻는 것을 가능하게 하며, 높은 곳에서의 작업을 줄일 수 있다. 특히 조업자들이 플랜트 사이트 내에서 잠재적으로 위험한 상황에 노출되는 시간 및 횟수를 줄일 수 있다. 플랜트 산업에서 3D 스캐닝 기술을 적용함으로써 예상되는 효과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 플랜트 프로젝트의 위험도 완화
- 플랜트 shutdown 기간 단축
- 플랜트 현장 제작 업무 절감 및 효율 향상
- 플랜트 설계 및 시공 재작업 횟수 절감
- 플랜트 설비의 설치 시간 및 인력 절감
- 현장 생산성 향상
- 위험도 높은 현장 작업 소요 절감
- 프로젝트 조기 종료

플랜트 시공 단계에서의 3D 스캐닝 기술의 대표적인 응용 분야로는 간섭 체크, 조립성 검사, 정도 관리, 공정 모니터링 등이 있다. 플랜트 운전 및 유지보수 단계에서의 3D 스캐닝 기술의 대표적인 응용 분야로는 기존 플랜트의 3D 모델 구축, 플랜트 설비의 교체 및 확장 시의 설계안 검토, 플랜트 설

⁵B. Sarkar, C.-H. Menq, “Smooth-surface approximation and reverse engineering”, Computer-Aided Design, Vol. 23, No. 9, pp. 623-628, 1991.

⁶Marek Vanco, Bernd Hamann, and Guido Brunnett, “Surface Reconstruction from Unorganized Point Data with Quadrics”, Computer Graphics Forum, 27(6), pp. 1593-1606, 2008.

⁷Hyungjun Park, Kwangsoo Kim, 1995, “An adaptive method for smooth surface approximation to scattered 3D points”, Computer-Aided Design, 27(12), pp. 929-939.

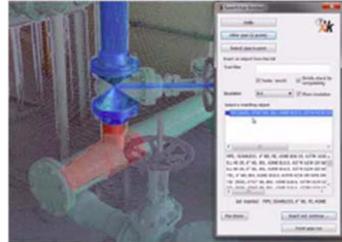
⁸W. Ma, J. P. Kruth, “Parameterization of randomly measured points for least squares fitting of B-spline curves and surfaces”, Computer-Aided Design, 27(9), 1995, pp. 663-675.

⁹Wen-Der Ueng, Jiing-Yih Lai, Ji-Liang Doong, “Sweep-surface reconstruction from three-dimensional measured data”, Computer-Aided Design, 30(10), pp. 791-805, 1998.

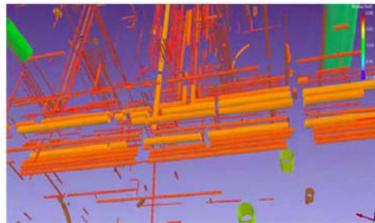
¹⁰LFM Software Limited, <http://web.lfm-software.com/en/Laser-Scanning.aspx>, 2015.



Leica사의 Cyclone



Kubit사의 PointSense Plant



ClearEdge사의 EdgeWise Plant



AVEVA 사의 Laser Modeller

Fig. 3. 점군 데이터로부터 플랜트 3D CAD 데이터 생성 지원 시스템

비 검사 및 유지보수, 3D CAD 모델과 as-built 플랜트와의 동기화 등이 있다.

국내 사례를 살펴보면 현대중공업은 해양플랜트의 정밀한 오차 측정을 위해 3차원 스마트 정도 관리 시스템을 개발하여 건조 중인 FPSO(부유식 원유생산저장하역설비)에 적용했다¹¹. 이 시스템은 기존의 광파거리측정기와 함께 3D 스캐너를 병행 사용해 해양구조물의 입체 영상을 만들고 이를 자동으로 3D 설계 도면과 비교하여 오차를 분석한다. 그리고 삼인정보¹²는 광파거리측정기 데이터와 레이저스캐너를 통해 수집한 데이터를 플랜트의 설계모델과 3D 상에서 비교/분석/계산을 하여 플랜트의 정도를 관리하는 시스템인 EcoInspection을 개발하였다. 이 시스템에서 제공하는 기능으로는 레이저 스캐닝 데이터 뷰잉, 레이저 스캐닝 파일 데이터 로딩, 레이저 스캐닝 데이터의 거리 계산, 구조물 스캔 데이터의 진원

도/직진도/편평도 체크, 3D 설계 데이터와 점군 데이터간의 편차 확인 기능이 있다.

플랜트 산업에서 3D 스캐닝 기술을 활용하기 위해서는 3D 스캐닝을 통해 수집한 점군 데이터를 응용 목적에 맞도록 플랜트 3D CAD 데이터로 변환해야 하는데, 현재는 이 과정이 대부분 수작업으로 이뤄지고 있다. 예를 들어 인트라테크(사)¹³의 자산 관리 솔루션인 RightLink Enterprise의 데이터베이스 구축 절차는 다음과 같이 세 가지 단계로 구성된다.

- 공장 전체를 3D 레이저 스캐닝을 한다.
- 플랜트 전용 3D CAD 시스템에서 모델링하고 운전 센서를 입력한다.
- 구축된 3D모델을 RightLink Enterprise에 적용한다.

이와 같은 플랜트 3D CAD 데이터로 변환 작업을 돕는 상업용 시스템으로는 Leica 사의 Cyclone, CloudWorx, AVEVA 사의 Laser Modeller, LFM 사의 LFM Modeller, Kubit 사의 PointSense Plant,

¹¹L2K, <http://www.l2k.kr/>, 2015.

¹²삼인정보, <http://www.samini.com/>, 2015.

¹³인트라테크, <http://www.intra.co.kr/>, 2015.

ClearEdge 사의 EdgeWise Plant, Trimble 사의 RealWorks EasyPipe 등이 있다¹⁴. 이 시스템들은 플랜트 3D CAD 데이터의 자동 생성을 지원하지 않고 사용자의 수작업을 돕는 유틸리티 기능이나 간단한 배관 형상의 인식 기능을 제공한다.

4. 결 론

3D 스캐닝 기술에 대해서 간략하게 소개한 후 3D 스캐닝을 통해 수집한 점군 데이터로부터 3D CAD 데이터를 생성하는 과정에 대해서 설명하였다. 그리고 플랜트 산업에서 3D 스캐닝 기술을 적용할 때 얻을 수 있는 효과를 분석하였고, 3D 스캐닝 기술의 활용 사례 및 관련 시스템들에 대해서 살펴 보았다.

¹⁴이인환, 석사학위논문, 레이저 스캔 데이터와 3D CAD 데이터베이스를 활용한 플랜트 설비 모델의 3 차원 복원, 한국과학기술원, 2015.