

패턴스캐너를 이용한 자동차부품의 3차원모델링 및 효율성분석

3D Modeling of Automobile Part Using Pattern Scanner and Efficiency Analysis

한승희¹⁾

Han, Seung Hee

Abstract

Effective three dimensional modeling becomes essential in a wide range of drawings, such as construction, machinery and design. In particular, it has been developed as the tool enabling reverse design. Three dimensional modeling requires rapidity, accuracy and tangibility. Data acquisition methods for modeling including contact type coordinate measurement machine, LASER scanner, pattern scanner and digital photogrammetry. In this study, we try to analyze modeling techniques as well as introduce three dimensional modeling using pattern scanner. In addition, this study conducts three dimensional modeling using OPTO-Top pattern scanner with distinguished accuracy and rapidity, and then compare efficiency with digital photogrammetry. And, this study attempts to form environment that enables to turn around models on web in three dimensional ways.

Keywords : 3 dimensional modeling, reverse design, Laser scanner, pattern scanner

초 록

효율적인 3차원 모델링은 건설, 기계 그리고 디자인과 같은 폭넓은 설계분야에서 필수적으로 되고 있다. 특히, 역설계를 가능케 하는 톨로써 발전하고 있다. 3차원 모델링은 신속성, 정확성 그리고 명확성이 요구된다. 모델링을 위한 데이터 획득은 접촉식 좌표측정기, 레이저스캐너, 패턴스캐너 그리고 수치사진측량방법을 이용한다. 본 연구에서는 모델링 기법을 분석하고 패턴스캐너를 이용한 3차원 모델링기법을 소개하고자 한다. 또한, 본 연구는 OPTO-Top 패턴스캐너를 이용하여 3차원 모델링을 시도하고 신속성과 효율성을 수치사진측량기법과 비교분석하였다. 아울러 3차원으로 사용자가 웹환경에서 시뮬레이션 할 수 있는 환경구축을 시도하였다.

핵심어 : 3차원 모델링, 역설계, 레이저스캐너, 패턴스캐너

1. 서 론

구조물에 대한 3차원 CAD데이터를 신속하게 만드는 역설계공학(Reverse Engineering)은 산업현장에서부터 건축, 건설분야, 인터넷 등으로 그 사용영역을 넓혀가고 있으며 새로운 기술영역으로 각광을 받고 있다(Breukmann, 2004).

측정방식은 접촉식과 비접촉식으로 나눌 수 있으며 비접촉식은 주로 광학적인 원리로 측정된다. 접촉식 방법

는 CMM(Coordinate Measurement Machine)이 있으며 비접촉식 방법에는 광학적 스캐너와 사진측량에 의한 방법이 있다. 인체, 흉상, 부조, 엔지니어링, 영상, 애니메이션, 산업디자인, 캐릭터, 의료, 교육, 복제, 문화재복원 등에 활용이 가능하며 측정속도와 정확도향상에 관한 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 일반적인 3차원 모델링 데이터 획득기법에 대해 조명하고자 한다. 또한, 비접촉식 광학스캐너인 OPTO-TOP을 이용하여 자동차부품의 3D모델 구축을 시도함으로써 수치사진측량과의 정확도

1) 정희원 · 공주대학교 공과대학 건설환경공학부 교수(E-mail:shhan@kongju.ac.kr)

및 효율성을 비교하고자 한다. 덧붙여, 웹상에서 사용자가 대상을 3차원적으로 시뮬레이션할 수 있는 환경을 제시하고자 한다.

2. 3차원 모델링기법 고찰

2.1 3차원측정기

CMM 기법은 그림 1에서와 같이 기계적인 방법으로 기계부품의 검사 등에 많이 쓰이는 방법이고 스캐닝기법에는 점, 선, 면 단위로 스캐닝한다(CAD & Graphics, 1999). 포인트 단위의 스캐닝은 레이저를 이용한 반사광법방식으로 송출부에서 보낸 접촉광이 물체에 부딪혀 돌아와서 수광부에 있는 PSD의 착상위치를 이용하여 그 거리를 산출한다. 이 기법은 전기적인 간섭을 받지 않기 때문에 내잡음성이 좋으며 레이저의 파장을 짧게 하면 더욱 높은 정확도로 측정할 수 있다. 정확도는 10-20 μ m 정도이며 측정점 이동을 위한 기구부가 필요하고 측정시간이 과다하게 소요된다는 단점이 있다. 대형의 구조물측량용은 주로 지상 구조물, 플랜트, 도로단면 측량에 사용된다. 대단히 신속한 속도로 스캐닝을 실시하며 손쉽게 3D 모델을 구축할 수 있다. 예를 들어 높이 3층, 길이 100여미터 되는 건물을 1cm 간격으로 스

캐닝한다고 할 때 불과 1-2시간이내에 작업을 완료할 수 있다.

선(線)단위의 스캐닝기법에는 slit-beam을 사용하는 방법이 가장 일반적인데 그림 2에서와 같이 슬릿 레이저를 주사하고 렌즈를 통해 CCD에 그 영상을 기록함으로써 측정된다. 조밀한 데이터를 얻기 위해서는 슬릿의 미세이동장치가 필요하며 정확도는 80 μ m~1mm정도이다. 역시 대상물이 소형일 경우에 적용할 수 있는 방식이다.

면(面)단위의 스캐닝기법에는 공간코드화법, 모아레 기법, 위상차측정법(PMP)이 사용된다. 최근에 역설계나 모델링 기법에서 마이크로미터 단위의 정확도와 신속한 데이터획득으로 각광을 받고 있는 방법은 공간코드화법이다. 측정대상에 패턴을 투사하고 카메라로 물체에 투영된 패턴을 촬영하여 이를 분석, 3차원 데이터를 획득하는 시스템이다. 이밖에 영상식모아레 방법은 한 쌍의 같은 피치를 가지는 동일한 직선격자가 각각 투영격자와 기준격자로 사용된다. 광원에 의해 조영되어진 투영격자는 투영렌즈에 의해 측정 대상물체에 투영되게 되고 투영된 직선형태의 격자는 물체의 높낮이에 따라서 휘어지게 되는데 이 변형된 격자는 결상렌즈에 의해 기준격자 상에 결상된다. 위상측정법은 모아레

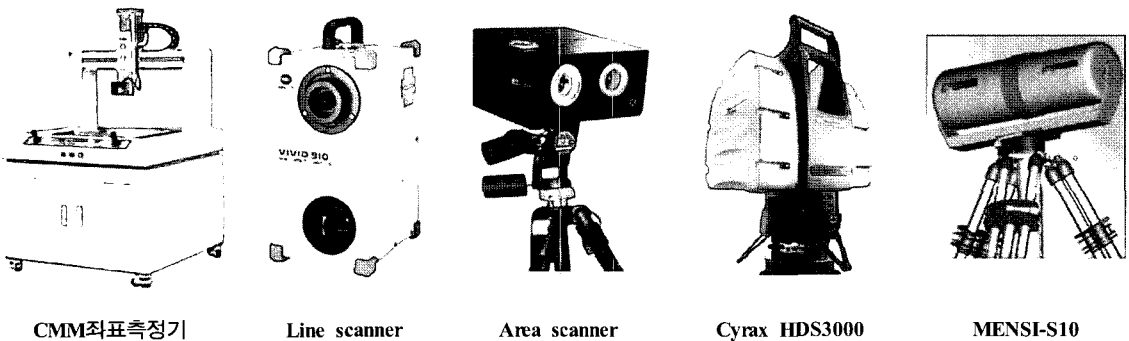
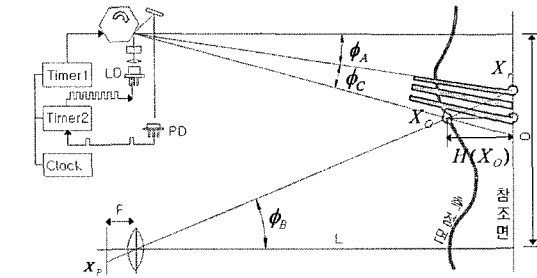


그림 1. 3차원 좌표획득을 위한 여러 방식의 측정기

표 1. 3차원 모델링 방법의 종류 및 정밀도

	CMM	Optical scanner			Photogrammetry	
		point	line	area	point	area
매체	touch probe	LASER	LASER	Light	Light	Light
Accuracy	1/1000in	10 μ m	80 μ m~1mm	10 μ m	10-20 μ m	over 10-20 μ m



$X_r, \phi_A, \phi_B = f(D, L, F, X_p)$ 참조면상의 점 X_r 에서의 위상 \rightarrow 참조위상 ψ_r
 측정면상의 점 X_o 에서의 위상 \rightarrow 물체위상 ψ_o
 $\phi_C = \phi_m$ 모야래위상 $\psi_m \rightarrow$ 물체위상 ψ_o 참조위상 ψ_r

그림 2. 위상측정법의 내부개념도

방법에서 광학계를 대폭간소화한 방법으로 고속으로 회전하고 있는 회전다면경에 레이저다이오드를 이용한 슬릿광을 영사하여 측정영역을 스캐닝하는 방식이다 (아이너스, 2004).

2.2 표면모델링 기법

3차원데이터가 얻어지게 되면 모델링을 위해 표면형성 기법이 필요하다. 기존의 리버스 엔지니어링용 어플리케이션은 일반적인 곡면 모델링기능에 충실하면서 측정점 처리를 위한 특화된 기능들을 요구하고 있다. 기존 리버스엔지니어링 모델방식의 전형적인 작업흐름은 그림 3에서 도시한 바와 같으며 다음의 작업순서를 따른다(CadCAM, 2000).

- 1) 3D coordinate digitizing(scanning)
- 2) Point cloud processing
- 3) Curve generation by processing through scanned point
- 4) Surface generation by lofting, skinning, boundary filling
- 5) Curve defining

이 모델링 방법은 곡선의 재현을 중심으로 한 것임

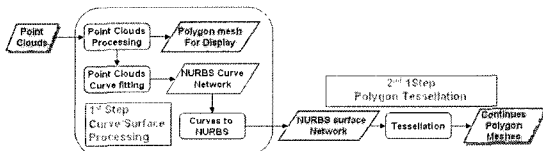


그림 3. 기존 리버스엔지니어링 작업프로세스

로 본 연구에서는 보다 직관적이고 생산성을 향상시킬 수 있는 폴리곤 중심의 모델링기법을 적용하였다. 이 모델링 방법은 폴리곤 중심의 모델링 방법으로 작업흐름도는 그림 4와 같고 다음의 단계를 거친다(Rapidform, 2004).

- 1) 3D coordinate digitizing(scanning)
- 2) Point cloud processing
- 3) Polygon modeling and optimization
- 4) Surface boundary curve extraction from polygon
- 5) Polygon to NURBS(Non Uniform Rational B-Spline) converting

폴리곤 중심작업의 독특한 특징 중의 하나는 측정점들로부터 폴리곤을 형성하고 폴리곤으로부터 곡선 및 곡면을 생성하는 기능을 구현할 수 있다는 것이다. 폴리곤 모델은 곡면표현에 비해서 상대적으로 항상 변형이 어렵고 2차곡면에 대한 표현이 불가능하며 데이터의 양이 방대해 지는 문제가 있다. 그러나 폴리곤 데이터의 품질이 충분히 좋다면 반드시 곡면모델이 필요한 것은 아니라고 할 수 있다(CadCAM, 2000).

NURBS 또는 CAD 데이터 없이 폴리곤 데이터로도 충분히 실용적인 결과를 얻을 수가 있다. 기존 리버스 엔지니어링 방식의 경우는 폴리곤 데이터만이 필요한 경우에도 곡면을 모델링해야 하기 때문에 작업효율이 떨어지는 문제가 있다. 폴리곤 최적화, 모델링 및 비정합데이터 수정기능을 활용하면 측정직후의 기하 또는 위상학적으로 비정합데이터를 포함하는 초기모델을 국소미분가능 폴리곤으로 수월히 수정할 수 있다(H.B Jung, K. Kim, 2000). 따라서 최근의 3차원 모델링 작업은 폴리곤 중심으로 가고 있다고 말할 수 있다. 다음 그림 5는 폴리곤 모델상에서 NURBS곡면을 획득하는 순서를 보여주고 있다.

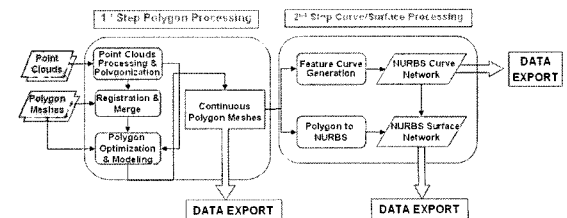


그림 4. 폴리곤 중심 작업프로세스

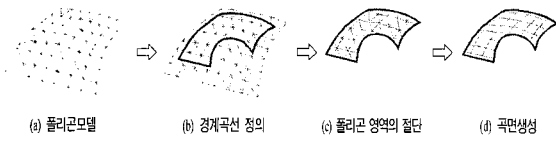


그림 5. NURBS 곡면의 획득

3. OPTO-Top 스캐너의 측정원리

본 연구에서 이용하고자 하는 3차원 센서는 MPT(Miniature Projection Technique), greyscale, 위상차 방법이 조합된 것이다. 강한 광원을 이용하여 줄무늬광선(회절)대상물에 투영하고 깊이 정보는 삼각측량법에 의해 얻어진다. 투사되어지는 격자들은 보통 웨이퍼위에 쓰여지며 격자의 위상오차는 $0.5\mu\text{m}$ 보다 작게 된다. 다양한 격자가 투영기 내에서 이동하며 실시간 비디오 내에 전해지게 된다. 이동은 주기적인 격자에 대해 아주 고정밀도로 수직방향으로 수행된다. 연속의 첫 번째는 그레이코드를 평가하고 두 번째 부분은 위상차를 분석한다. 그러므로 조합된 그레이코드와 위상차는 분리된 위상이동 장치와 어떠한 추가적인 장치나 조정없이 실현될 수 있다. MPT 투영장치는 격자의 연속성뿐만 아니라 웨이퍼의 구조나 크기에 의해 다른 버전으로 구분된다. 표준은 9개의 그레이코드 패턴과 4개의 위상이동 격자 64또는 128라인쌍을 이용한다. 도량학적인 영상처리는 줄무늬 투영기뿐만 아니라 사진측량과 입체측정은 영상처리를 제3의 차원으로 확장시켰다. 그레이 코드와 위상차기술로부터 각도가 자동적으로 계산되고 projector와 CCD camera가 일정한 기선자(base-line bar)상에 고정되어 있으므로 결국 패턴상의 일정한 점은 삼각측량법으로 3차원 좌표를 계산할 수 있다

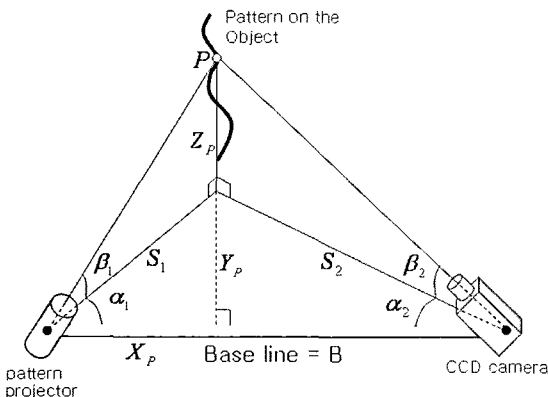


그림 6. 패턴 상 P점의 위치결정 원리

(Breukmann, Germany, 2004).

$$S_1 = \frac{\sin\alpha_2}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)} \times B \quad (1)$$

패턴투영기 중심의 임의 좌표가 X_A, Y_A, Z_A 라 한다면 패턴 상 P점의 좌표 X_P, Y_P, Z_P 는

$$\begin{aligned} X_P &= X_A + S_1 \cos\alpha_1 \\ Y_P &= Y_A + S_1 \sin\alpha_1 \\ Z_P &= Z_A + S_1 \tan\beta_1 \end{aligned} \quad (2)$$

로 얻어지며 스캐닝 해상도에 정해진 대로 패턴 선상을 따라 초당 수 천 수 만점의 좌표를 계산하여 획득한다.

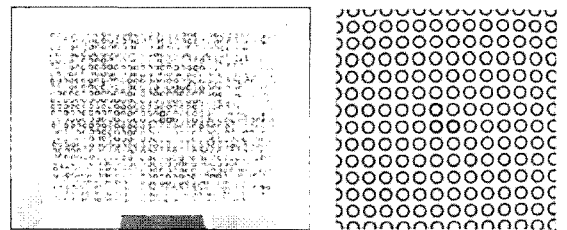
4. 연구내용

본 연구에서는 자동차 부품인 범퍼와 휠캡을 OPTO-Top 스캐너를 이용, 공간코드화 기법으로 3차원 데이터를 획득하고 Rapidform[®]을 이용하여 표면처리를 수행함으로써 3차원모델링의 효율성을 수치사진측량과 비교하여 평가하고자 한다. 또한 웹상에서 모델을 3차원적으로 시물레이션할 수 있는 환경을 제공하고자 하였다.

4.1 실험 및 분석

1) CCD camera의 검정

CCD camera의 검정은 회사에서 제공된 표준 검정플레이트를 사용하였다. 스캐닝 거리가 약 1m였으므로 화각에 해당하는 플레이트를 사용하였으며 검정 스태퍼위에 장치하여 영상을 얻었다. 플레이트 상에는 알고 있는 크기의 원들이 그려져 있으며 중앙의 L자 형태로 굵게 그려져 있는 세 개의 원은 플레이트의 중심을 찾는 데 사용하였다.



(a) Calibration plate

(b) Center loops

그림 7. CCD 렌즈 검정 플레이트

2) 스캐닝

패턴식 스캐너의 제한조건이라면 표면이 빛을 흡수하지 않아야 한다는 점과 금속표면처럼 광택이 있는 대상물은 데이터획득이 용이치 않다는 점이다. 따라서 범퍼와 휠캡에 백색무광 페인팅을 하여 그림 8과 같이 대상물을 위치시켰다.

그림 8에서 보는 것처럼 스캐너의 구성은 기선 bar위에 패턴주사장치와 CCD카메라가 장치된 것이다. 부속장치로는 발광생장치, 레이저발생장치, 컴퓨터내의 프레임그래버가 있다. 소프트웨어는 주사된 패턴을 영상처리하여 3차원 포인트좌표를 획득하는 OPTOcat과 좌표로부터 모델링할 수 있는 Rapidform으로 구성되어 있다. 기선길이에 따라 수렴각과 피복면적이 결정되며 대상물에 따라 기선길이가 결정되면 시스템 검정을 실시한다. 그림 9는 대상물에 패턴을 주사한 모습이다. 이 패턴의 라인간격은 1/2씩 감소하며 최소 1mm 까지 주사된다. 3차원 모델링 구축의 과정을 위해 범퍼 중의 안개등 부분을 별도로 스캐닝하여 모델링하였다.

스캐너 앞에 대상물을 준비하고 CCD 카메라에 부착되어 있는 레이저빔을 이용하여 패턴주사기의 초점을 조정하였다. 사진 영상을 획득하여 모니터 상에 대상물 표면에 다양한 색깔의 무늬가 존재하도록 광량상태를 조절하

였다. 준비가 끝나면 대상물 표면에 패턴주사기로부터의 다양한 간격의 슬릿이 투영됨과 동시에 영상을 획득하였다. OPTOcat소프트웨어 에서는 투영된 슬릿과 위상차를 삼각측량법에 의해 3차원 포인트데이터를 산출하게 된다.

4.2 데이터 처리

스캐닝에 의해 얻어진 점군데이터(point cloud)를 얻어 그림 4와 같은 작업과정에 의해 NURBS 표면을 완성하였다.

그림 10은 획득된 3차원 포인트데이터 군이며 그림 11은 이를 폴리곤화 한것이다. 그림자영역이 없게 하기 위해 모든 부분이 투영되도록 스캐닝계획을 세워 데이터를 획득하였다. 그림 12는 각각 다른 방향에서 스캐닝 한 결과이며 이를 병합하는 과정이다(그림 13). 이때 3점의 접합점(tie point)가 필요하며 이미지 상에서 뚜렷한 특징점을 잡아 병합하였다.

병합된 폴리곤들은 오류 수정을 거쳤으며 폴리곤 최적화를 하였다. 이 과정은 벡터라이징에서 라인의 단순화 작업과 같은 맥락으로 폴리곤의 밀도를 최적화시키는 과정이라 할 수 있다. 이어서 NURBS 곡선설계 과정을 거쳤다. 이 과정은 하나의 패치자체가 곡면을 갖는 것으로

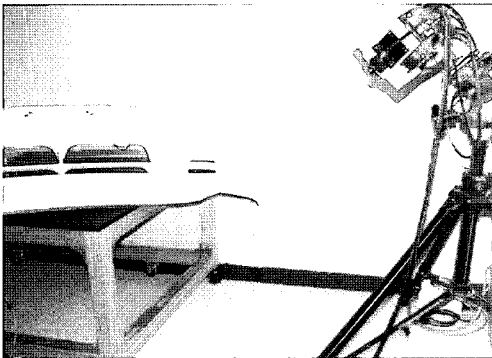


그림 8. 스캐닝을 위한 대상물준비광경

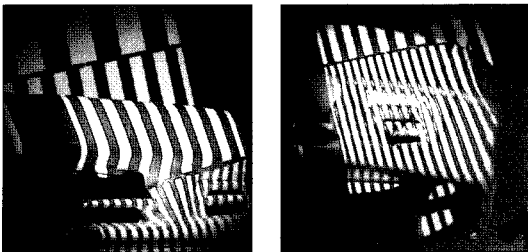


그림 9. 대상물에 투영된 광학패턴

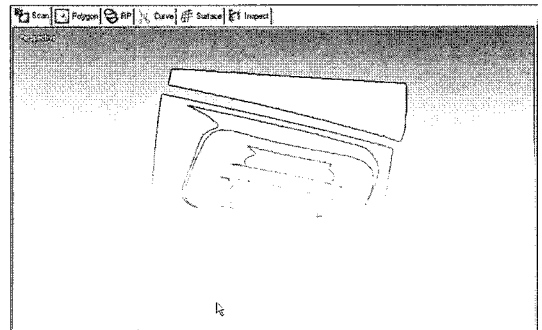


그림 10. 입력된 점군데이터

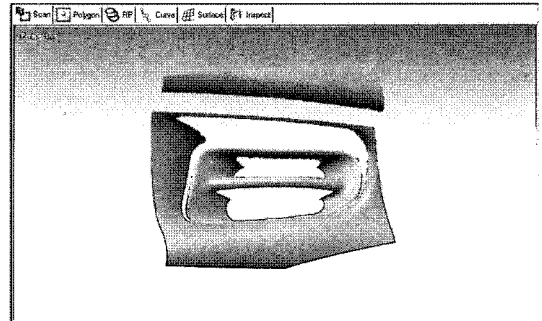


그림 11. 폴리곤(TIN)형성

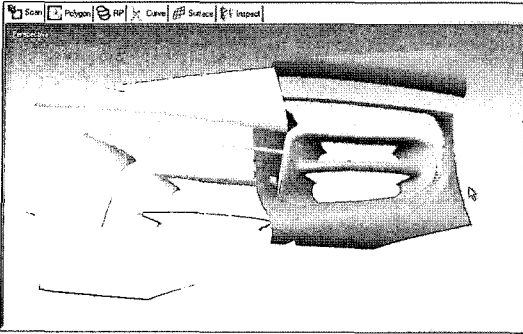


그림 12. 다른 방향에서 각각 획득된 폴리곤모델

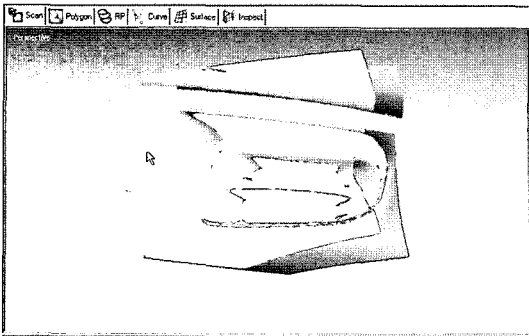


그림 13. 합성된 폴리곤 모델

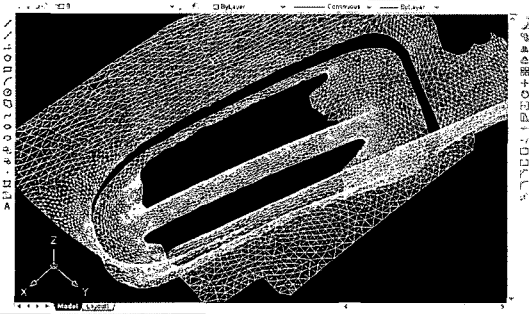


그림 14. AutoCAD상에 디스플레이된 폴리곤

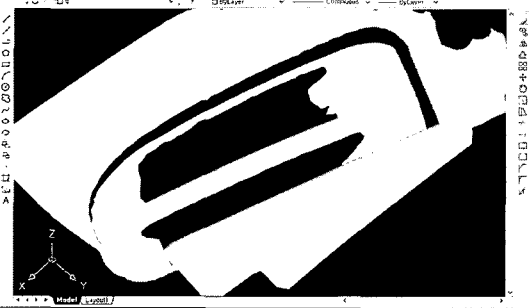


그림 15. 렌더링된 모습

모델자체를 메모리상 가볍게 함으로써 응용을 편리하게 해준다. 예를 들어 Web 상에서 서비스하고자 할 때 수십만 개의 폴리곤을 가지고 처리할 수는 없기 때문이다. 추가적으로 획득된 3D 파일은 dxf 파일로 변환하여 후속적인 작업이 가능하다. 그림 14는 AutoCAD상에서의 TIN을 보인 것이며 그림 15는 이를 렌더링한 것이다.

전체적인 대상물은 3-4회의 스캐닝을 거쳐 폴리곤을 병합하였으며 최종 모델을 얻었다.

독립적인 부품인 휠캡에 동일 기법을 적용하여 보았으며 측정방법은 범퍼라이트의 경우와 같게 하였다. 휠캡의 경우는 볼트의 홀이 깊어 한 방향 스캐닝으로는 모든 면을 표현하기가 불가능했기 때문에 4방향에서 영상을 얻어 해석하였다. 다음 그림 16, 17은 각각 얻어진 TIN과 렌더링한 후의 모습이다. 모든 면이 누락 없이 데이터를 획득할 수 있었다.

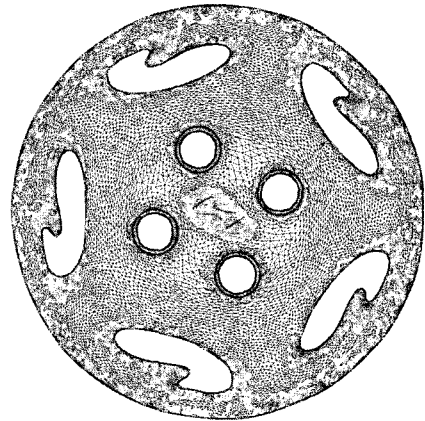


그림 16. 타이어 휠캡의 획득된 TIN

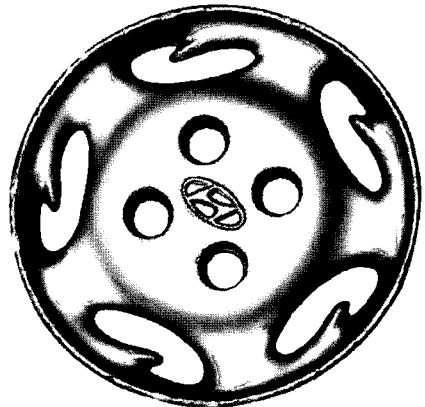


그림 17. 렌더링된 휠캡

4.3 웹환경 시뮬레이션

최근 단순한 3차원 모델링에 그치지 않고 익명의 다수 사용자들이 가상의 공간상에서 시뮬레이션할 수 있는 웹 환경 구축에 주력하고 있다. 이는 부품 및 제품의 이해와 구조 파악에 현실감 있는 도움을 줄 수 있기 때문이다. 본 연구에서는 틀에서 제공하는 기능을 이용하여 범퍼라이트 3D모델을 htm 파일 형태로 만들고 ICF 뷰어로 디스플레이 하였다(그림 18).

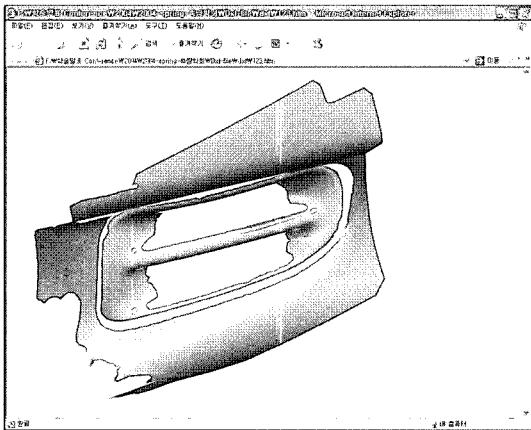


그림 18. 웹상에서 Icf viewer로 디스플레이된 모델

4.4 광학스캐너와 수치사진측량기법의 비교

광학스캐너와 수치사진측량방법을 신속성, 정확성면에서 비교하기 위해 일반적인 작업(오원진 외, 2004)(한승희 외, 2005)에 소요되는 시간과 오차분석을 실시하였다.

표 2에서 촬영계획, 장비의 세팅, 스캐닝 또는 영상 획득 단계에서의 시간적 차이점은 미소하나 3차원 좌표 획득 단계에서 수치사진측량은 영상처리를 기본으로 하므로 많은 시간이 소요되었다. 그러나 스캐닝 방법은 패턴 영상을 획득함과 동시에 단순한 계산식 (1), (2))에 의해 다량의 포인트에 대한 3차원좌표를 산출하므로 상대적으로 적은 시간이 소요되었다. 또한 표 3은 정확도와 이동성, 작업조건, 영상매핑에 관한 내용을 비교하였다. 정확

표 3. 작업조건 비교

	accuracy (at 1-2m)	portable	condition	Obj. size	image mapping
광학스캐너	±50-100μm	only Lab.	dark room	small	impossible
수치사진측량	±20-30μm	anywhere	natural	huge	possible

표 4. 작업소요시간 비교

	network design	test field setup	scanning/capture	3D coord.	total
광학스캐너	30min	30min	30min	10min	1hr 40min
수치사진측량	1 hr	30min	30min	2-3hr	4-5hr

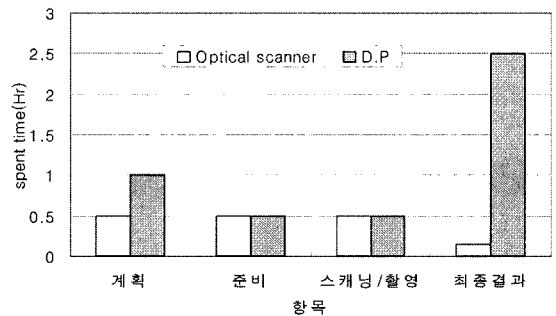


그림 19. 광학스캐너와 수치사진측량의 작업소요시간비교

도는 수치사진측량이 표준오차 ±20-30μm로 양호하였고 이동성 역시 편리하였으며 광학스캐닝의 경우 암실상태를 유지해야 하는 반면 수치사진측량은 자연광을 이용하므로 작업여건이 편리하였다. 가장 중요한 차이는 스캐닝 방식의 경우 포인트데이터를 얻고 표면 모델링에 강한 특징을 보인 반면 사진측량은 영상전체를 데이터의 획득범위로 하며 영상매핑 또는 정사영상의 제작이 가능하다는 면에서 효율성이 낫다는 것이다.

따라서 작업시간면에서 볼때 특정한 대상을 모델링하는 경우 모델링의 목적과 정확도에 따라 적용기법을 달리하는 것이 효율적이라 판단된다. 단순히 3D모델링을 목적으로 한다면 광학스캐닝방법이 적합하지만 높은 정확도로 특정점의 위치결정이나 영상관련 작업을 위해서는 수치사진측량이 적합하므로 상호 데이터를 보완적으로 조합하여 사용하는 것이 정확도 및 효율적인 면에서 바람직할 것으로 판단된다.

5. 결 론

이상으로 모델링을 위한 3차원데이터 획득기법을 고찰하였고 패턴스캐너를 이용하여 직접 모델링함은 물론 수치사진측량과 효율성과 신속성에 대해 분석한 결과 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

1. 스캐너 방식의 고밀도, 고정도 데이터의 경우에는 점

군 표현만으로도 모델의 상세한 영역까지 기하학적인 정보를 추출할 수 있으며 측정점들로부터 폴리곤을 형성하고 이로부터 곡면을 생성하는 방법인 폴리곤 중심의 모델링 기법이 타당하다.

2. 작업시간 면에서 특정한 대상물을 모델링하는 경우 스캐닝방식의 기법이 적당하나 영상을 기본으로 높은 정확도($\pm 20-30m$)의 위치결정이나 영상관련 작업을 위해서는 수치사진측량의 강점이 있으므로 상호 데이터를 보완적으로 조합하여 사용하는 것이 정확도 및 효율적인 면에서 바람직할 것으로 판단된다.

3. 최근 역설계공학(Reverse Engineering)이 두드러지게 발전하고 있으며 이에 맞추어 스캐너 및 RP(Reverse prototype)장비가 빠르게 보급되고 있다. 이에 수치사진측량의 보완적인 역할을 찾아내고 개발하여 경쟁력을 갖추어야 할 것이다.

참고문헌

- 3D ARTISAN (2000), RapidForm을 이용한 실물 NURBS 모델링.
- CAD & Graphics (1999), 리버스엔지니어링 방식의 3차원 스캐닝 솔루션, pp. 206-207.
- 아이너스 Co. (2004), 3D Scanner 기술동향, INUS education tool.
- 아이너스 Co. (2004), Rapidform 2004 메뉴얼.
- 한승희, 오원진, 배연성 (2004), OPTO-Top패턴주사기에 의한 자동차부품의 3차원모델링”, 한국측량학회 2004 학술발표회 논문개요집
- 한승희, 배연성, 김홍진, 배상호 (2005), 패치작업을 위한 사진측량과 스캐닝 기법의 응용분석, 대한토목학회 2005 학술발표 논문 CD-Rom.
- A. F. Habib, M. S. Ghanma, M. F. Morgan and E. Mitshita (2004), Integration of Laser and Photogrammetric Data for Calibration Purposes, TS - PS: WG I/5 Platform and Sensor Integration ISPRS International congress, DVD-Rom
- A. Zamirroshan (2004), Designing Software for 3D Object Modeling Using Digital Close Range Photogrammetry, Commission III, *ISPRS International congress*, DVD-Rom
- Ajmal S. Mian, Mohammed Bennamoun, Robyn A. Owens (2004), Automatic Correspondence and Global Registration of Range Images for 3D Modeling, Working Group III/2, *ISPRS International Congress CD-Rom*.
- Bae, S.H and Cho, B.K (2002), NURBS Surface Fitting Using Orthogonal Coordinate Transform. KAIST Technical report.
- Breukmann, Germany (2004), Manual of OPTO-Top.
- Jianqing Zhang, Jun Tao and Zuxun Zhang (2000), 3D Reconstruction of the Solid of Rotation Lacking in Texture, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 34, Part XXX.
- Jung, H.B and Kim, K. (2000), A New Parameterisation Method for NURBS Surface Interpolation, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* (2000) 16:784-790.
- Kyong-Ho Kim, Seung-Keol Choe, Jong-Hun Lee and Young-Kyu Yang (2000), Managing and Modeling Geo-Features in Web-Based 3D GIS Using XML, *ASPRS 2000 Proceedings CD-Rom*.
- Lee, J.J, Cho, N.I and Kim, J.W (2002), Watermarking for 3D NURBS Graphic Data, 0-7803-7714-1/02, IEEE.
- Lovas, T., Toth, C. K., Barsi, A. (2004), Model-based Vehicle Detection From LiDAR Data, Commission II, WG II/2, *ISPRS International congress*, DVD-Rom.
- Monthly CadCAM (2000.3), *3D Reverse Modeler RafidForm 2000*.
- Oh, W.J., Yoon, H.C., Han, S.H., Bae, Y.S. and Song, S.H. (2004), 3D Digital Modeling of Modern times Building for Preservation and Restoration, *ISPRS (International Society of Photogrammetry and Remote Sensing) conference*, CD-Rom, Istanbul, Turkey.

(접수일 2005. 8. 29, 심사일 2005. 9. 5, 심사완료일 2006. 3. 10)