

산업 사진측량에 의한 자동차의 외형 정밀 측정 Precision Measurement of Vehicle Shape using Industrial Photogrammetry

정성혁¹⁾ · 박찬홍²⁾ · 이재기³⁾

Jung, Sung Hyuk · Park, Chan Hong · Lee, Jae Kee

Abstract

This study describes that the method of precision measurement of vehicle shape and the method of measurement the deformation that it is occurred the reason of accident using industrial photogrammetry. The curved shape is measured using the projection target which is able to acquire the point cloud data. 3D coordinates of the target were able to acquire through object picturing and analysis of coordinates. The acquired point cloud data was done 3D modeling to form the surface with TIN. Also, It able to interpretate a deformation surveying accurately the occurred parts of deformation, then can furnish to the analysis of traffic accident the precise and effective data.

Keywords : Photogrammetry, Deformation, Point cloud data, Reverse engineering

요 지

본 연구는 산업 사진측량을 이용하여 자동차의 외형을 정밀 측정하고, 사고 등의 원인으로 변형이 발생하였을 때 변형량을 측정하는 방법에 관한 것이다. 자동차의 외형을 정밀 측정하기 위하여 점군데이터를 취득할 수 있는 프로젝션 타겟을 사용함으로써 보다 곡면에 대한 정밀한 측정이 가능하도록 하였으며, 대상물 촬영 및 좌표해석을 통하여 타겟의 3차원 좌표를 취득하였다. 취득된 점군데이터는 불규칙 삼각망으로 표면을 형성하여 3차원 모델링을 하였다. 또한, 변형 발생부위를 정밀 측정함으로써 교통사고 분석 등에 효율적이고 정밀한 데이터를 제공할 수 있을 것이다.

핵심어 : 사진측량, 변형, 점군 데이터, 리버스 엔지니어링

1. 서 론

최근 급속히 확산되고 있는 디지털사진측량기법은 다양한 디지털영상처리기술의 연구와 각종 수치영상 취득 및 처리 장비의 개발에 힘입어 그 실용화에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 특히, 자동차 산업, 항공우주 산업, 조선 산업 등과 같은 정밀 산업분야에서 설계도면과 비교하기 위한 자료를 취득하고, 물리적인 변형이 발생하였을 때 변형량을 측정하려는 노력이 활발히 이루어지고 있다 (Karara, 1989).

그러나, 유선형 대상물 즉, 자동차 몸체, 항공기 몸체, 대형선박의 곡판 및 스크류 등과 같은 복잡한 곡물로 이루어진

대상물의 형상 및 변형을 측정하기 위해서는 많은 타겟(target)을 설치하여야 하며, 이로 인하여 작업시간이 많이 소요되고, 대상물에 타겟을 설치함으로써 대상물을 훼손할 수 있는 우려가 있다(정성혁, 2003).

따라서, 본 연구에서는 승용차를 대상으로 선정하여 현대 산업분야에서 요구하는 정확하고 신속한 자료취득을 위한 산업 사진측량기법을 제시하고자 하며, 특히, 대상물 표면에 모서리 부분을 측정하기 위한 최소의 타겟만을 설치하고, 비접촉식 타겟인 프로젝션 타겟(projection target)을 이용함으로써 보다 실제 형상에 가까운 정밀한 측량을 수행하고자 한다. 또한, 변형 발생 위치부분의 정밀 측정을 통하여 변형 전과 변형 후의 데이터를 비교하여 변형량을

1) 연결저자 · 정회원 · 충북대학교 토목공학과 공학박사(E-mail:email@chungbuk.ac.kr)

2) 정회원 · 충북대학교 산업대학원 석사과정(E-mail:shinsng@yahoo.co.kr)

3) 정회원 · 충북대학교 토목공학과 교수(E-mail:leejk@chungbuk.ac.kr)

정량적으로 해석함으로써 정밀 산업 분야 및 교통사고 분석 등에 필요한 데이터를 제공할 수 있을 것이다.

본 연구를 위하여 대상물에 타겟 및 스케일 바(scale bar), 좌표계를 설정하기 위한 오토 바(auto bar)를 설치하였다. 대상물에 프로젝션 타겟을 표시하기 위하여 Pro-Spot 타겟 프로젝터를 이용하였다. 대상물 촬영은 측량용 특수 카메라로 제작된 DIH 카메라를 이용하였으며, 자료처리에는 GSI사의 V-STARS 시스템을 이용하였다. 취득된 점군(point cloud)데이터를 토대로 불규칙 삼각망으로 표면을 형성하여 3차원 모델링하였다.

2. 사진측량 기본 이론

현대 산업분야는 효율적인 정보의 관리와 정확한 정보의 제공을 위하여 자료기반 구축과 갱신에 있어서 빠르고 정확한 정보 취득이 요구되고 있으며, 고해상도 디지털 영상의 취득과 영상자료처리 프로그램의 성능이 강화되면서 실시간 처리에 근접하게 되었고, 그 응용이 점점 증가되고 있다(Mikhail 등, 2001).

2.1 공선조건

사진측량은 사진상의 영상과 렌즈의 투영중심 및 대상물간의 기하학적 관계를 이용하여 각종 대상물의 정량적·정성적 특성을 측정하는 것이다(Moffitt 등, 1980).

사진의 기하학적 원리는 중심투영이며, 사진의 상은 대상물로부터 반사된 광선이 렌즈의 중심을 통과하여 필름면 또는 CCD에 투영되어 나타나게 된다. 이러한 사진과 대상물간의 관계는 공선조건에 의해 해석된다(Wolf, 1983).

공선조건은 대상물의 어떤 한 점 $P(X, Y, Z)$ 이 렌즈의 투

영중심을 통하여 이에 대응하는 한 점 $p(x, y)$ 로 맺혀야 한다는 대상물, 렌즈의 중심 및 영상점 사이의 조건이며, 그림 1과 같다.

2.2 표정 및 광속조정

표정은 여러 방향에서 촬영된 사진들과 대상물과의 관계를 재현하는 것으로 내부표정과 외부표정으로 나눌 수 있다. 내부표정은 카메라의 광학적, 기계적 특성을 나타낸 것으로 주점의 위치 (X_0, Y_0) 및 주점거리 (ck) , 왜곡 수차 등이 포함된다. 외부표정은 카메라와 대상물 좌표계와의 관계를 나타낸 것으로 촬영 위치 (X_c, Y_c, Z_c) 와 회전 각 (α, ϕ, ω) 으로 나타낸다(Kraus, 1997).

다중영상접합은 영상의 기하학적 원리를 이용하여 여러 장의 사진들을 접합함으로써 대상물의 3차원 좌표를 결정하는 것이다. 다중영상접합과정에서 표정을 위해 전방 교회법과 후방교회법을 동시에 이용한다(정성혁, 2001).

표정점 좌표의 조정은 기본단위에 따라 크게 다항식법, 독립모델법, 광속조정법으로 구분하고 있으며, 실제로는 많은 종류의 세부적인 기법과 프로그램들이 개발되어 있다. 이 중 광속조정법은 고정밀 사진측량의 응용을 위해 개발된 조정법이며, 중복 촬영된 임의의 점의 사진좌표들을 이용하여 각 사진의 외부표정요소 및 주어진 사진좌표들에 대응하는 대상물 좌표를 결정하는 방법으로 광속을 조정의 기본 단위로 한다(Wolf, 2000).

3. 실험 및 자료처리

본 연구에서 자동차 외형측정을 위하여 대우자동차에서 생산한 에스페로를 대상물을 선정하였다. 촬영과 자료처리를 위한 산업 사진측량시스템 구성은 그림 2와 같다.

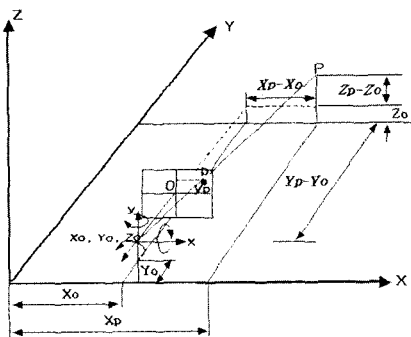


그림 1. 공선조건



그림 2. 산업 사진측량시스템 구성

3.1 시스템 정확도 검증

본 연구에서는 산업 사진측량 시스템의 정확도를 검증하기 위하여 그림 3과 같이 실험실 공간에서 제 1 평면에 8개, 제 2 평면에 5개의 기준점을 설치하여 총 13개의 기준점을 3차원 공간으로 배치하고 1초독 테오돌라이트인 Wild T-2를 사용하여 기준점의 수평각과 연직각의 정밀 측량하였다. 동일 기준점을 V-Stars 시스템으로 촬영과 자료처리를 수행한 결과 RMSE는 표 1과 같다.

3.2 타겟설치 및 촬영준비

사진촬영에 앞서 대상물에 타겟을 설치하였다. 본 연구에서 사용한 타겟은 코드 타겟(coded target), 에지 타겟(edge target), 프로젝션 타겟, 테이프 타겟(tape target)과 같이 4가지 종류의 타겟을 이용하였으며, 자동차 전체 외형을 측정하기 위해 코드 타겟, 에지 타겟, 프로젝션 타겟을 이용하였고, 변형 발생 부분을 측정하기 위해서는 코드 타겟과 테이프 타겟을 이용하였다.

코드 타겟은 자료처리 과정을 자동으로 수행하기 위한 것으로 가로×세로가 6×6mm 크기의 코드 타겟을 자동차 주위에 적당한 간격으로 설치하였다.

코드 타겟은 인쇄된 발광체의 배열이 서로 다르게 되어 있으며, 각각 고유 번호를 가지고 있다. 따라서, 코드 타겟이 서로 다른 사진에 촬영되어 있더라도 V-STARS 시스템 내에서 동일한 점으로 자동 인식되고, 처리된다.

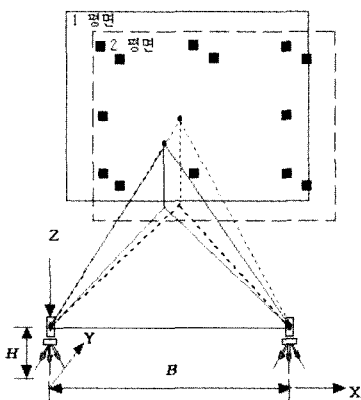


그림 3. 삼각수준측량

표 1. 시스템 정확도 검증 (단위 : mm)

Coordinate	X	Y	Z
RMSE	0.096	0.100	0.220

에지 타겟은 열팽창이 적은 합금재질로 정밀하게 제작되어 있으며, 그림 5와 같이 자동차의 모서리부분을 측정하기 위하여 설치하였다. 검출된 모서리 부분은 그림 6과 같다.

프로젝션 타겟은 대상물에 직접 부착하는 것이 아니고, 빛을 투사하여 조밀한 간격으로 점군 데이터를 생성하므로 여러 곡물로 이루어진 대상물은 표면정보를 보다 정밀하게 측정할 수 있다.

본 연구에서는 프로젝션 타겟을 생성하기 위하여 Pro-Spot 타겟 프로젝터를 이용하였으며, 형상 및 제원은 그림 7, 표 2와 같다.

Pro-Spot은 촬영 카메라와 유/무선으로 동조하므로 촬영

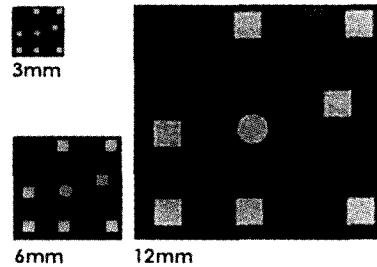


그림 4. 코드 타겟



그림 5. 에지 타겟의 설치

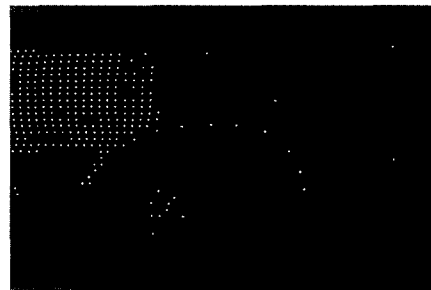


그림 6. 모서리 부분의 검출

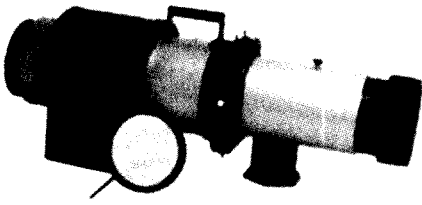


그림 7. Pro-Spot

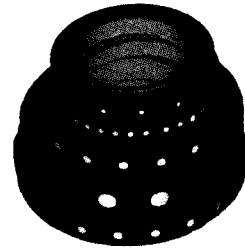


그림 9. 테이프 타겟의 형상

표 2. Pro-Spot 제원

Classification	Features
Accuracy	0.01 ~ 0.025mm per 1m of object size
Point number	6,000 ~ 23,000
Weight	5.0 Kg
Environments of temperature	0 ~ 40 °C

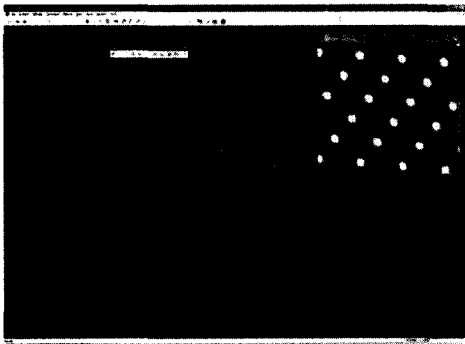


그림 8. 점군데이터 취득

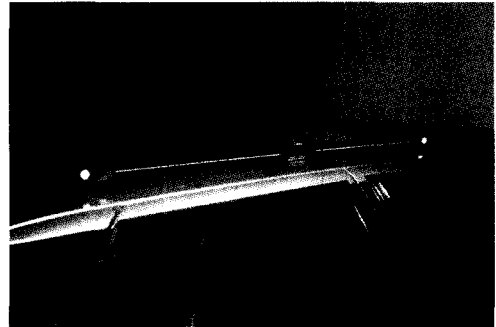


그림 10. 스케일 바의 형상 및 설치

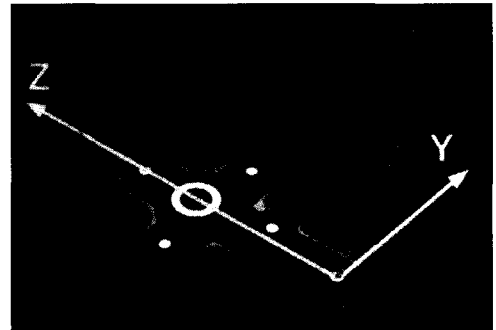


그림 11. 오토 바의 형상 및 좌표축

과 동시에 작동하게 되며, 레이저로 천공된 슬라이드(point slide)의 종류에 따라 6,000~23,000개의 원형 타겟을 생성한다. Pro-Spot은 자유곡면 형상의 3차원 측정을 위해 개발되었으며, 대상물 표면에 직접 타겟을 설치하지 않아도 됨으로, 문화재와 같이 비접촉식 측정이 요구되는 분야와 복잡한 곡률 형상을 가지고 있는 자동차, 우주항공, 선박 및 중공업 분야에서 활용될 수 있다.

Pro-Spot에서 생성한 프로젝션 타겟을 V-STARS에서 자동으로 인식하여 점군데이터로 취득한 결과는 그림 8과 같다.

테이프 타겟은 그림 9와 같이 긴 테이프 형상에 원형 반사 타겟이 인쇄되어 있는 것으로 특정 곡률을 가지는 대상물을 측정하기 위하여 주로 사용된다.

타겟을 대상물에 설치한 뒤 정밀한 측정을 하기 위해 스

케일 바를 설치하였으며, 모델 좌표계를 설정하기 위하여 오토 바를 설치하였다.

합금재질로 제작된 스케일 바는 양단에 원형 반사 타겟이 부착되어 있으며, 원형타겟의 중심간 거리에 대한 정확한 데이터가 함께 제공된다. 본 연구에서 사용한 스케일바의 정확도는 $\pm 0.002\text{mm}$ 로 정밀 가공된 것으로 그림 10과 같이 차량의 지붕위에 설치하였다.

오토 바는 좌표체계를 설정하기 위한 기준으로 형상 및 시스템에 설정된 좌표체계는 그림 11과 같다. 차량에 코드 타겟과 오토 바를 설치한 그림은 그림 12와 같다.

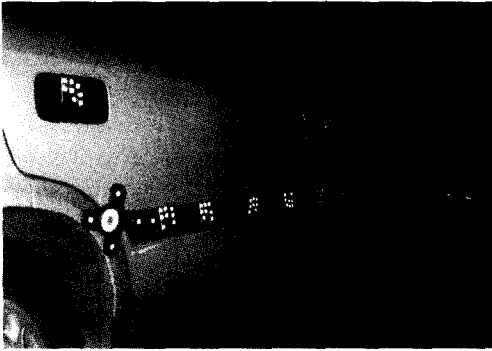


그림 12. 코드 타겟과 오토 바 설치

3.3 대상물 촬영

대상물 촬영에 이용된 카메라는 Nikon D1h 이며 형상 및 제원은 그림 13, 표 3과 같다. 카메라 검정 데이터인 초점거리(ck) 초점위치(xp, yp), 왜곡수치($k1, k2, k3, p1, p2$)는 표 4와 같다.

사진촬영은 대상물 주위를 자유수립촬영하였으며, 차량 전체의 표면을 측정하기 위해 Pro-Spot을 이동하며 촬영하였다. 즉, 그림 14와 같이 점군 데이터를 생성하고자 하는 부분에 Pro-Spot를 설치하고 촬영을 하면 카메라의 후레쉬가 터지는 순간 Pro-Spot도 동기화되어 원형모양의 프로젝트선 타겟이 대상물 표면에 투사된다.

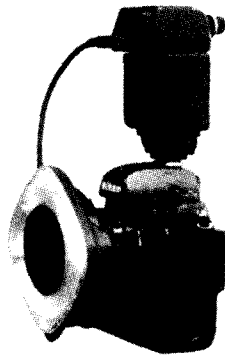


그림 13. 촬영용 카메라

표 3. 카메라 제원

Classification	Features
Principle distance	70
Lens aperture	f 3.5 ~ f 16
Shutter speed	1/120 ~ 1/16,000
Pixel	2000×1312

표 4. 카메라 검정 데이터 (단위 : mm)

index	value
ck	1.8225730391605e+001
xp	-2.9216606191195e-001
yp	-1.5079974613616e-002
$k1$	3.0398421618714e-004
$k2$	-4.5504393626087e-007
$k3$	-3.6091713177948e-010
$p1$	-3.0363845322973e-005
$p2$	-2.5370766484931e-008



그림 14. Pro-Spot을 이용한 촬영

본 실험에서는 자동차 전체의 3차원 점군데이터를 취득하기 위하여 총 12 부분으로 나누어 프로젝트 파일을 형성한 뒤 최종단계에서 하나의 프로젝트 파일로 병합(merge)하였다. 각 부분별 프로젝트에서 사진촬영 매수는 20~30매 촬영하였으며, 총 촬영 매수는 287매 촬영하였다.

3.4 자료처리

자료처리는 V-STARS 시스템에서 수행하였으며, 처리과정은 그림 15와 같다.

촬영된 영상은 시스템으로 불러들여 그림 16과 같이 디스플레이 되며, 자동측정 명령을 통해 각각의 영상에서 촬영된 타겟 및 점군데이터를 그림 17과 같이 빠른 속도로 자동 인식한다.

모든 영상의 타겟 및 점군데이터의 자동 인식이 종료되면 표정, 다중영상접합, 팽속조정 과정을 거쳐 그림 18과 같은 3차원 점군데이터를 디스플레이 한다.

여러 부분으로 나누어 작업한 프로젝트들을 하나의 프로젝트로 합성할 수 있으며, 그림 19는 하나의 완성된 차량으로 합성한 결과를 나타낸다.

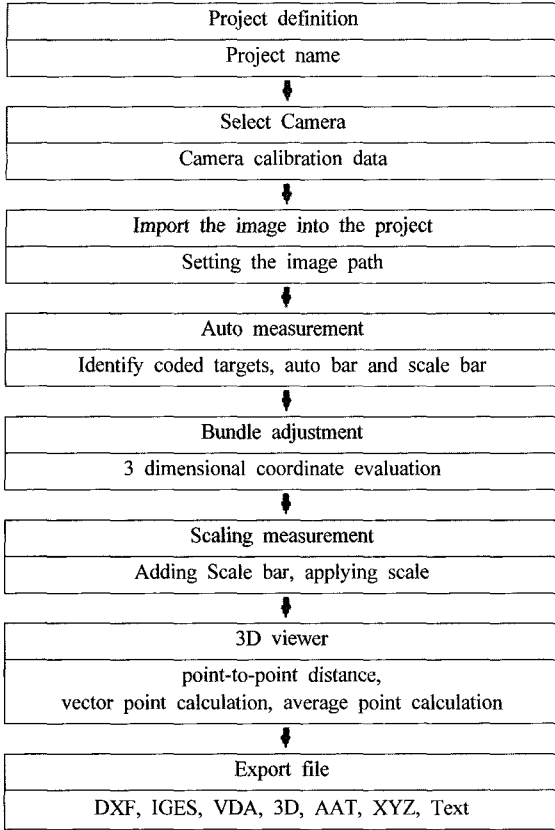


그림 15. 자료처리과정

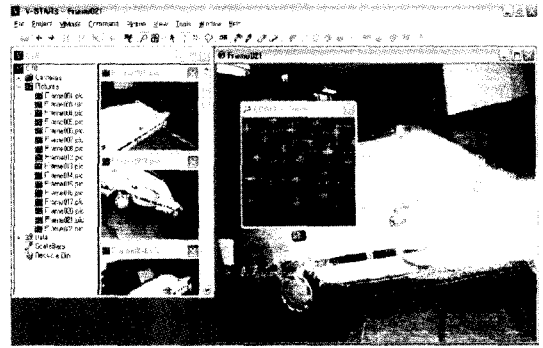


그림 17. 타겟의 자동 인식과정

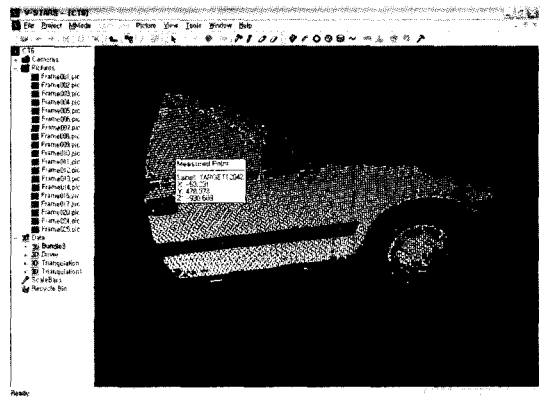


그림 18. 3차원 점군데이터

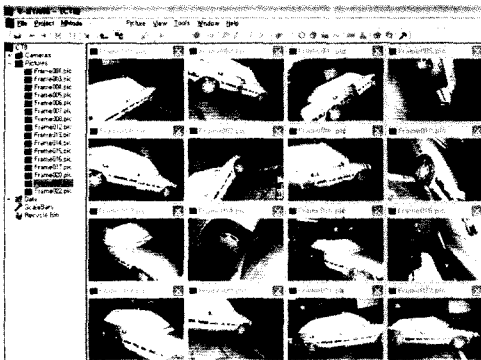


그림 16. 촬영된 영상

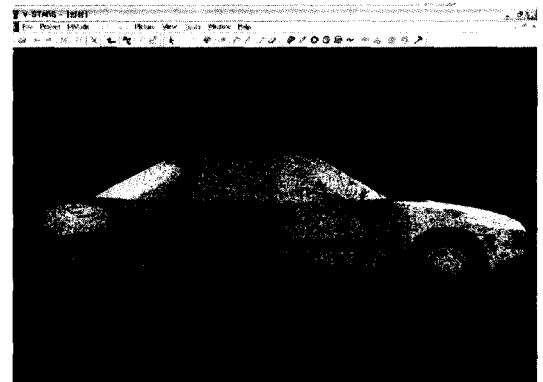


그림 19. 전체 점군 데이터 합성

점군 데이터는 표 5와 같이 각각의 고유 ID와 X, Y, Z 좌표로 구성되어 있으며, 실험에서는 73,090점의 좌표를 취득하였다.

V-STARS 시스템은 다른 측정장비에서 취득한 다양한 포맷(IGES, 3D, CSV, DXF 등)의 데이터를 import 하거나, 반대로 export 하여 Cad, Rhino3D, Rapidform 등과 같은

각종 3D 그래픽 프로그램에서 후처리 할 수 있다.

취득된 점군데이터는 DXF 포맷으로 export 하였으며, 불규칙 삼각망으로 표면을 형성하여 3차원 모델링을 한 결과 그림 20과 같다.

또한, 본 연구에서는 자동차의 변형을 측정하기 위하여 차량 전면에 찌그러진 부분을 측정하였다. 우선 측정할 부

표 5. 점군 데이터 좌표

ID	X	Y	Z
TARGET1	-120.600	-449.162	454.623
TARGET2	-120.054	-449.825	443.483
TARGET3	-120.501	-436.860	476.989
TARGET4	-120.606	-411.981	521.201
TARGET5	-117.126	-437.614	443.538
TARGET6	-117.969	-450.106	409.722
TARGET7	-117.191	-438.934	371.333
TARGET8	-119.082	-412.436	498.773
TARGET9	-119.744	-425.878	465.638
TARGET10	-120.276	-400.217	532.135
TARGET11	-117.007	-425.919	454.431
TARGET12	-117.698	-439.639	409.601
TARGET13	-119.843	-401.465	510.111
TARGET14	-120.087	-388.345	543.129
TARGET15	-117.138	-453.014	364.549
TARGET16	-118.080	-440.408	398.224
⋮	⋮	⋮	⋮

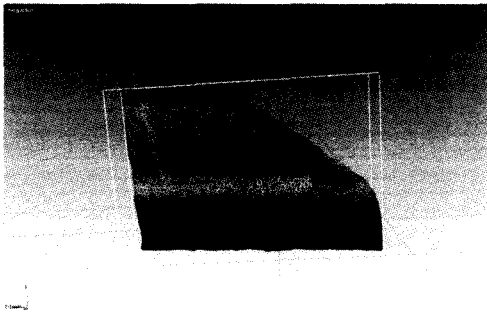


그림 20. 3차원 모델링

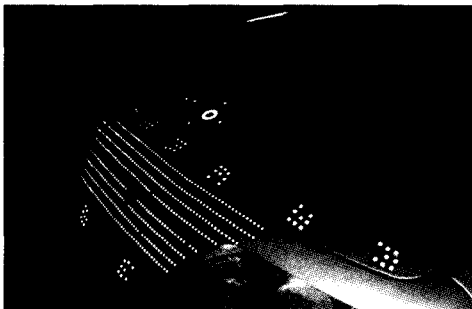


그림 21. 타겟 설치

분에 테이프 타겟을 이용하여 그림 21과 같이 타겟을 설치하였다.

변형량을 측정하기 위하여 본래의 상태에 대한 데이터

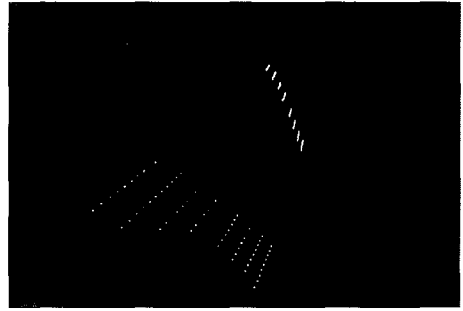


그림 22. 곡률의 역추적

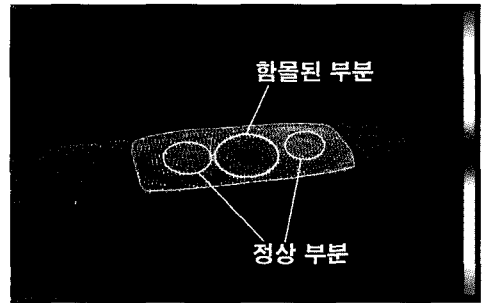


그림 23. 변형부위의 변형벡터

인 설계도면을 이용하여 비교하는 방법이 일반적이나, 대상물의 설계도면을 입수하지 못할 경우를 고려하여 본 연구에서는 설계도면을 이용하는 방법 대신 훼손되지 않은 부분의 일부 점 데이터를 이용하여 곡률을 역추적하는 방법으로 그림 22와 같이 정상상태의 도면을 생성하였다. 생성한 정상상태의 도면과 실제 측정 데이터를 중첩하여 분석함으로써 그 변형량을 확인할 수 있다.

4. 결 론

산업 사진측량 기법을 이용하여 자동차 외형을 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 본 연구에서 제시한 산업 사진측량기법의 정확도를 검증한 결과 $\sigma_x=0.09mm$, $\sigma_y=0.100mm$, $\sigma_z=0.220mm$ 이었다.

2. 실험결과 73,090점의 조밀한 점군데이터가 취득되었으며, 기존의 설치된 타겟만을 이용하여 보간에 의해 곡면을 생성한 방법보다 실제 자동차 외부 형상에 가까운 모델링 할 수 있었다.

3. 프로젝션 타겟을 이용하여 대상물에 직접 타겟을 설치하지 않으므로 타겟 설치에 소요되는 시간과 타겟 설치

에 따른 대상물의 훼손 등과 같은 문제를 해결할 수 있다.

4. 자동차의 훼손되지 않은 부분에 있는 점 데이터를 이용하여 곡률을 역추적하여 정상상태의 도면을 생성할 수 있었으며, 변형부위의 변형량을 확인할 수 있었다.

이상과 같이 본 연구에서 제시한 산업 사진측량기법을 이용하여 실제 제품을 설계 데이터와 비교하거나, 열 변형 실험 전후 또는 로드 테스트(load test) 전후의 상태를 비교하여 변형량을 측정할 수 있다. 또한, 프로젝션 타겟을 이용하여 조밀한 점군 데이터를 취득함으로써 대상물에 직접 타겟을 설치하기 어려운 대상물의 표면정보를 타겟 설치 없이 취득할 수 있으며, 복잡한 곡률로 이루어진 대상물의 표면정보를 정밀하게 취득할 수 있다. 현재, 본 시스템을 이용한 교량 강구조 블록의 가조립 및 조선소 대형 선박 블록의 조립과 같은 중대형 대상물에 관한 연구를 진행중에 있다.

참고문헌

- 정성혁, 이재기 (2001), 수치지진측량기법을 이용한 펜더의 3차원 모델링, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제19권, 제2호, pp. 147-154.
- 정성혁, 유정훈, 손세원, 이재기 (2003), 근거리사진측량과 레이저 스캐너를 이용한 문화재 정밀측정, 춘계학술발표회 논문집, 한국측량학회, pp. 493-496.
- 정성혁, 박경식, 이계동, 이재기 (2003), 상용 디지털카메라에 의한 3차원 측정의 정확도 분석, 추계학술발표회 논문집, 한국측량학회, pp. 153-156.
- E. M. Mikhail, J. S. Bethel, J. C. McGlone (2001), *Introduction to Modern Photogrammetry*, John Wiley & Sons Inc., pp. 247-275.
- F.H. Moffitt, and E.M. Mikhail (1980), *Photogrammetry*, Harper & Row, Inc, pp. 150-170.
- H. M. Karara (1989), *Non-Topographic Photogrammetry*, 2nd ed., ASPRS, pp. 349-355.
- K, Kraus (1987), *Photogrammetry*, 4th ed, Ferd. Dummlers Verlag, Germany.
- P.R.Wolf. (1983), *Elements of Photogrammetry*, 2nd ed, MCGRAW-HILL Inc, pp. 1-19, 41-59, 477-513, 603-610.
- P.R.Wolf. (2000), *Elements of Photogrammetry*, 3rd ed, MCGRAW-HILL Inc, pp. 384-390, 551-556.

(접수일 2004. 5. 31, 심사일 2004. 6. 14, 심사완료일 2004. 6. 25)