

산업사진측량기법을 이용한 항공기 변형 측정 Aircraft Deformation Measurement using Industrial Photogrammetry

이재기¹⁾ · 유정흠²⁾ · 정성혁³⁾

Lee, Jae-Kee · Yu, Jung-Hum · Jung, Sung-Heuk

Abstract

As industries developed, industrial goods have got more precise. It led producers to feel like having a way to confirm whether the goods are good enough for the needs of consumers or not. Because of that, producers got interested in industrial photogrammetry that can get accurate data quickly with non-contact method. therefore, this study was examined by photographing an O-2A aircraft which was a large and precise one to check the application of Industrial photogrammetry. To measure the aircraft, the check points, that was attached to it was used as it was not possible to measure the aircraft by its design. The experiment was carried out in three parts considering arrangement of the check points and measured with Pro-spot to check any deformation of its external form. As a result, this study enables us to confirm a state of the aircraft alignment promptly and to provide accurate data for producers, which helps them to make a decision.

Keywords : Industrial photogrammetry, O-2A Aircraft, Check point, Point cloud data

요 지

산업이 발달됨에 따라 산업 제품들은 대형화되고 더욱 정밀화 되고 있다. 생산자들은 제품이 요구에 맞게 정밀하게 제작되었는가를 확인할 수 있는 방법이 필요하게 되었고 이러한 이유로 대상물에 접촉을 하지 않으면서 신속하고 정밀한 데이터를 취득할 수 있는 산업사진측량기법이 관심을 끌게 되었다. 따라서 본 연구에서는 산업제품들의 정밀도를 검사하기 위한 방법으로 산업사진측량의 적용성을 알아보기 위하여 O-2A 항공기를 대상으로 실험을 실시하였다. 항공기의 정렬상태를 확인하기 위한 검사점사이의 거리 측정과 변형이 발생하였을 것으로 추정되는 부분의 변형량을 프로젝트 타겟을 이용하여 변형량을 정량적으로 해석함으로써 항공기 정비 및 사고분석 등에 필요한 데이터를 신속히 제공할 수 있었다.

핵심용어 : 산업사진측량, O-2A 항공기, 검사점, 점군 데이터

1. 서 론

산업이 발달하고 변화함에 따라 제품들은 대형화 또는 최소화, 고정밀화되면서 구매자의 요구에 맞게 정확하게 생산되었는가를 확인할 수 있는 측정방법이 필요하게 되었고 이러한 요구를 충족시킬 수 있는 산업사진측량이 관심을 끌게 되었다. 특별히 높은 정확도를 요구하는 항

공산업에서 기존의 측량방법을 개선할 수 있는 새로운 기법으로서 산업사진측량에 대한 큰 관심을 가지고 실제 항공기 정비에 적용을 시도하고 있다.

항공기 정비에서 항공기 설계도와 같은 핵심 기술은 각 국가 및 기업에서 기밀 사항으로 분류하여 공개를 하지 않아 이용을 할 수 없는 실정이다. 따라서, 항공기의 고장이 발생하였을 경우 항공기의 설계도를 이용하여 이상

1) 정회원 · 충북대학교 공과대학 토목공학과, 교수(E-mail:lcej@chungbuk.ac.kr)

2) 연결저자 · 정회원 · 충북대학교 대학원 토목공학과, 박사과정(E-mail:ru2000@chungbuk.ac.kr)

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

유·무를 확인하는 것이 아니고 항공기의 검사점(check point)간의 거리를 측정하여 항공기의 이상 유·무를 확인하고 있다.

본 연구에서는 항공기를 대상으로 현대 정밀산업분야에서 요구하는 정확하고 신속한 자료취득을 위한 산업사진측량기법을 제시하고자 한다. 이를 위하여 산업사진측량시스템인 V-Stars 시스템으로 항공기 검사점의 3차원 좌표를 측정하여 항공기 정렬상태를 측정하고, 변형이 발생된 것으로 추정되는 동체의 부분을 Pro-Spot 시스템을 이용하여 변형량을 정량적으로 해석함으로써 항공기 정비 및 사고분석 등에 필요한 데이터를 신속히 제공하는데 목적이 있다.

2. 산업사진측량 시스템

대상물에서 하나의 좌표를 3차원으로 재현하려면 최소한 2장의 사진에 나타나야 하며, 많은 좌표가 넓게 분포되어있다면 여러 장의 영상을 접합하여야 한다. 다중영상

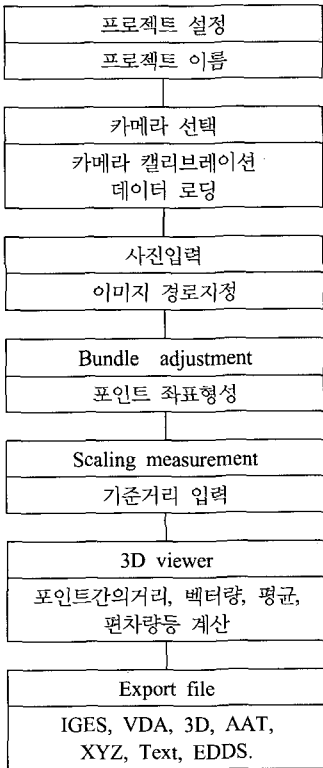


그림 1. 자료처리의 흐름도

접합은 사진의 기하학적 원리를 이용하여 여러 장의 사진들을 접합함으로써 대상물의 3차원 좌표를 정밀하게 결정하는 것이다.

본 연구에서는 다중영상접합과정을 통하여 각 표정점에 대한 3차원 좌표값을 취득하기 위하여 GSI (Geodetic Systems Inc.)의 V-Stars 시스템을 이용하였다. V-Stars 시스템은 디지털 사진기의 영상자료를 처리할 수 있으며, 기존에 작업에 의해 이루어졌던 모든 과정이 자동으로 신속히 수행된다. 또한, Automatch, Triangulation, Bundle 과정을 각각의 조건에 맞게 처리 할 수 있으며, 이 모든 과정을 통합한 Automeasure 모듈을 이용하여 전체의 자료처리과정이 자동화 되어 있으며 정확한 3차원 좌표값을 계산 한다.

본 연구의 다중영상접합과정은 그림 1과 같은 단계를 거친다.

시스템의 구성은 영상을 취득하기 위한 측량용 디지털 카메라, 자동처리 및 특징점의 좌표를 취득하기 위한 각종 타겟, 점군데이터를 취득하기 위한 Pro-Spot 시스템, 기준 좌표축 설정을 위한 Auto bar, 측척 결정을 위한 Scale bar로 구성하였다.

코드 타겟(coded target)은 프로그램상에서 각각의 고유 문양들을 자동 인식함으로써 고유번호가 부여되는 타겟으로써 사진간의 매칭작업을 자동으로 수행하도록 한다.

테이프 타겟(tape target)은 코드 타겟을 부착할 수 없는



그림 2. 디지털 측량용 사진기

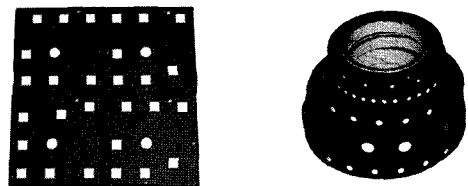


그림 3. 코드 타겟과 테이프 타겟

곳에 설치하거나 일정한 간격으로 측정 하고자하는 곳에 사용한다.

Auto bar는 대상물에 대한 기준 좌표계를 설정하며 그림 4와 같다.

프로젝션 타겟은 대상물에 직접 부착하는 것이 아니고, 빛을 투사하여 조밀한 간격으로 포인트 클라우드 데이터를 생성하므로 복잡한 곡률로 이루어진 대상물의 표면 형상을 보다 정밀하게 측정할 수 있다.

Pro-Spot 시스템은 촬영 카메라와 유/무선으로 동조하므로 촬영과 동시에 작동하게 되며, 그림 5와 같이 레이저로 천공된 필터의 종류에 따라 6,000~22,000개의 원

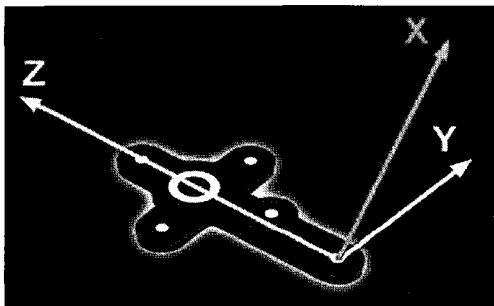


그림 4. Auto bar

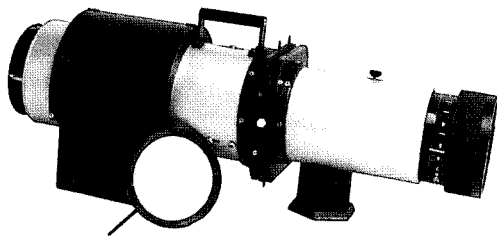


그림 5. Pro-spot 시스템

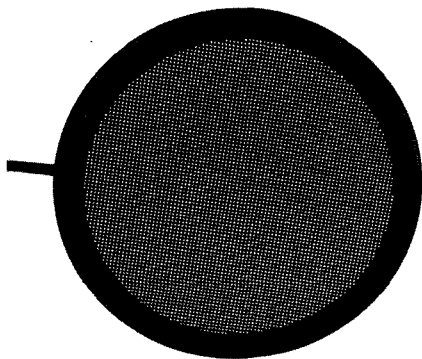


그림 6. 레이저 천공 필터

분 류	성 능
정확도	0.01~0.025mm/m
측점수	6,000~22,000
무 게	5.0 Kg
가동 온도	0~40℃

형 타겟을 대상물 표면에 생성한다. 투영된 점들은 프로그램 상에서 각각의 점에 대하여 임의의 번호를 부여한다. 자유곡면 형상의 3차원 측정을 위해 개발되었으며, 대상물 표면에 직접 타겟을 설치하지 않아도 되기 때문에 비접촉이 요구되는 고열상태의 대상물 측정, 핵관련분야, 문화재분야 및 복잡한 곡률 형상을 가지고 있는 자동차, 우주항공, 선박 및 중공업 분야 등에서 활용될 수 있다. 표 1은 본 연구에서 사용된 Pro-Spot 시스템의 제원이다.

3. 실험 및 결과 분석

본 연구에서는 항공기의 정렬상태를 측정하기 위하여 Cessna사에서 제작한 O-2A 항공기를 대상으로 선정하였다.

O-2항공기의 검사점은 그림 8과 같이 총 12개의 검사점이 있으며, 각 검사점간의 거리는 표 2와 같이 항공기 TO(Technical Order)상의 값을 기준으로 한다.

본 연구에서는 항공기의 검사점간의 거리를 측량하기 위하여 검사점에 타겟을 부착하였고 프로세싱의 자동화를 위하여 10개의 코드 타겟을 부착하였다. 코드 타겟의 위치는 각 사진들의 중복도를 고려하여 부착하였으며, Scale bar(정도;+/-0.003mm)와 기준좌표를 구성하게 하



그림 7. O-2A 항공기

는 AutoBar는 검사점간의 직선상에 위치하도록 하여 정확도를 높였다.

사진촬영은 측량용 카메라인 Nikon D1H를 이용하였

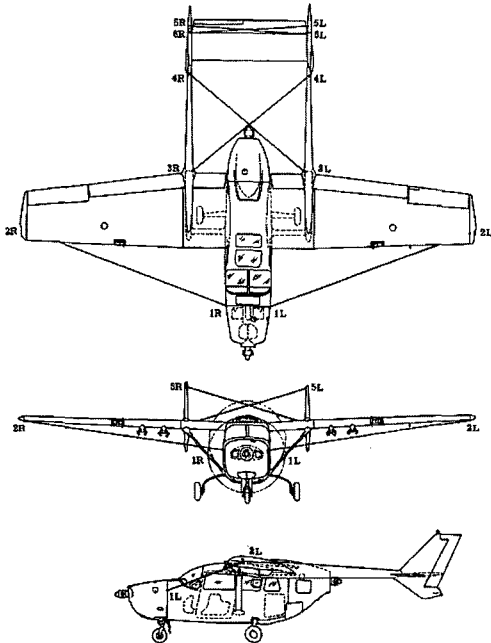


그림 8. 항공기 정렬을 위한 검사점

표 2. 검사점간 거리의 허용범위 (단위 : mm)

검사점	허용범위
1L to 2L 1R to 2R	5442.712 ~ 5465.064
3L to 4R 3R to 4L	3868.674 ~ 3887.978
5L to 6R 6R to 6L	2911.348 ~ 2930.652



그림 9. 테이프 타겟과 코드 타겟

으며, 사진간의 중복도를 고려하여 자유 수렴방식으로 촬영하였다.

그림 9는 각 검사점에 설치한 테이프 타겟과 코드 타겟, 그림 10은 AutoBar, Scale bar를 나타낸다.

입력된 영상은 Auto-matching을 이용하여 코드 타겟과

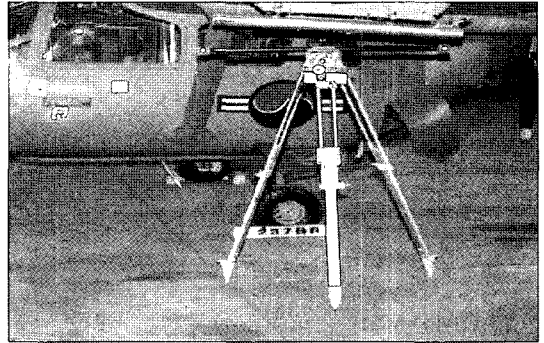


그림 10. Auto bar와 Scale bar

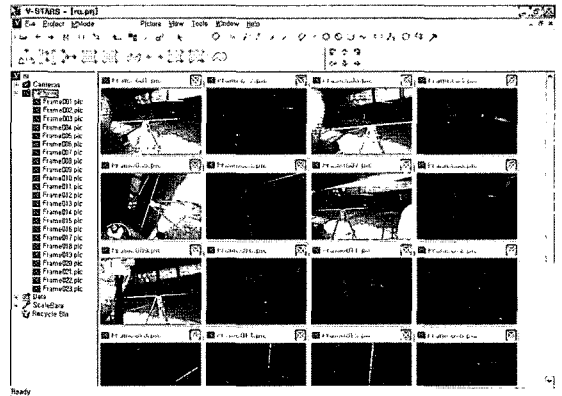


그림 11. 영상처리

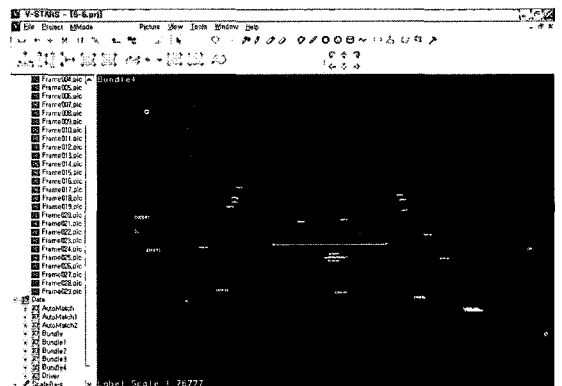


그림 12. 측정된 3차원 점

측척자, Auto bar를 자동으로 인식하고 각각의 사진들을 매칭시키며, 광속조정을 거쳐 Fig. 12와 같이 3차원의 좌표표를 구하였다.

표 3. 검사점 측정 결과 (단위 : mm)

거리	비정상 항공기	정상 항공기
1L to 2L	5443.378	5445.247
1R to 2R	5451.242	5451.872
3L to 4R	3868.926	3873.259
3R to 4L	3877.438	3877.016
5L to 6R	2923.540	2915.310
5R to 6L	2932.278	2918.180

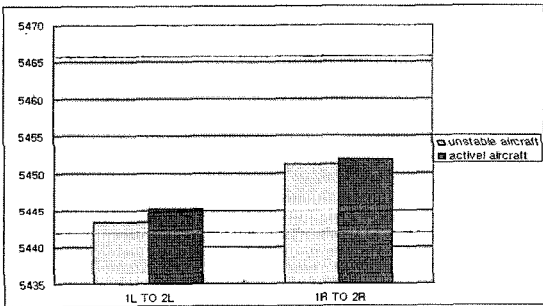


그림 13. 검사점 1 to 2의 측정결과

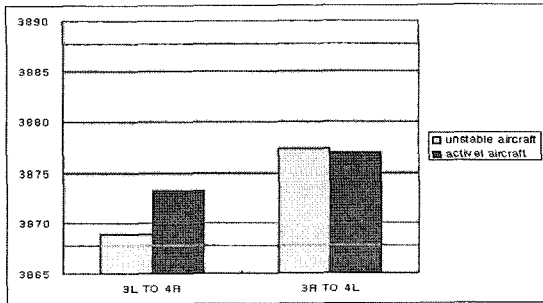


그림 14. 검사점 3 to 4의 측정결과

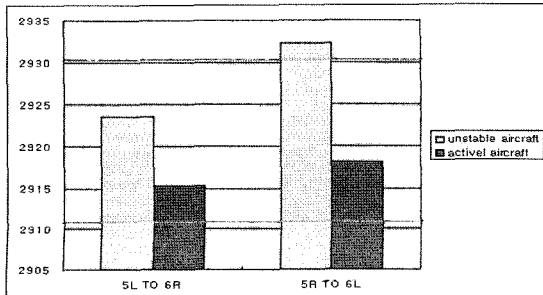


그림 15. 검사점 6 to 7의 측정결과

이와 같은 방법에 의해 산출된 정상항공기와 비정상 항공기의 각 검사점간의 거리는 표 3과 같다.

항공기의 정렬상태를 확인하기 위하여 소요된 작업시간은 타켓설치에 10분, 사진촬영에 2분, 영상처리에 2분으로 측정 작업을 약 15분의 시간이 소요되었다.

항공기 정렬상태를 측정하기 위하여 실시한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

그림 13, 14, 15와 같이 이상이 발생한 항공기의 #5과 #6사이의 거리가 한계범위를 벗어나는 것을 알 수 있었으며, 이상이 발생한 항공기에서 전체적으로 양쪽의 거리값의 차이가 많이 발생하는 것을 알 수 있다.

또한, 항공기 외형의 변형상태를 알아보기 위하여 항공기의 tail boom에 대한 외형 측량을 실시하였다.

항공기의 정확한 설계데이터가 없기 때문에 정상항공기와 이상이 발생한 항공기의 동일부분을 측정하여 서로 비교하였다.

각 항공기의 tail boom에 Pro-spot시스템을 이용하여 점군 데이터를 생성하고 측량용 사진을 이용하여 촬영을 실시하였다. Boom의 길이가 약 4.5m로 정밀측정을 위해 기준이 되는 Auto bar를 중심으로 3부분으로 나누어 촬영하였다.

취득된 영상은 동일한 시스템을 이용하여 점군 데이터에 대하여 좌표계산을 하였다. 자동 인식된 점군 데이터는 boom의 네 모서리에 위치한 타켓점을 이용하여 구성된 기준면으로 투영하고, 투영된 기준면으로부터 측정점까지의 거리를 계산함으로써 두 항공기의 외형적 차이를 비교하였다.

그림 17과 18은 항공기의 tail boom을 측정한 결과로써 기준면으로부터 측정점까지의 거리를 나타낸 것이다. 항공기의 boom과 몸체의 연결부분에서 정상인 항공기의



그림 16. Pro-spot을 이용한 항공기 Boom 측정

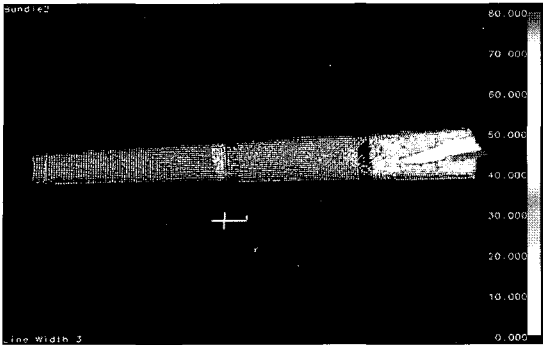


그림 17. 정상항공기의 Pro-spot 측정결과

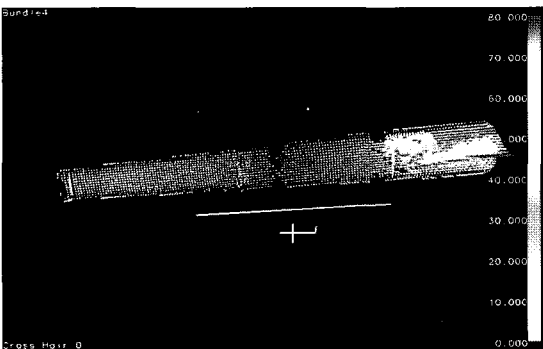


그림 18. 이상 발생 항공기의 Pro-spot 측정결과

기준면으로부터의 높이보다 이상이 발생한 항공기에서의 기준면으로부터의 높이가 짧게 측정된 것을 알 수 있다.

4. 결 론

산업사진측량을 이용하여 항공기의 정렬상태와, 변형 부분을 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 항공기의 정렬상태를 측정하기 위한 작업시간은 타켓설치에 10분, 촬영에 2분, 영상처리에 2분으로 측정 작업을 15분이 소요되었다. 기존의 측정 방법으로는 측점에 대한 3차원 측정은 측정 포인트 수가 늘어남에 따라 측정 소모시간이 계속 증가하게 되지만 제안된 기법을 이용하여 측정 포인트 수 및 항공기의 크기에 관계없이 프로세

싱을 마치면 일괄적으로 측정의 3차원 좌표가 생성되므로 신속한 측정이 가능하다.

2. 각 검사점의 거리를 비교한 결과 5R과 6L 사이의 거리에서 오차의 범위를 1.626mm 벗어나는 것을 알 수 있다. 각 검사점 거리를 비교하면 정상 항공기 보다 이상이 발생한 항공기에서의 거리차가 더 많이 발생한 것을 정량적으로 분석할 수 있었으며, 이것은 이상이 발생한 항공기의 정렬 상태가 변형되었다는 것을 나타내고 있다.

감사의 글

이 논문은 2004학년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었기에 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 정성혁, 이재기 (2001), 수치사진측량기법을 이용한 펜더의 3차원 모델링, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제19권, 제2호, pp. 147-154.
- 정성혁, 박찬홍, 이재기 (2004), 산업사진측량에 의한 자동차의 외형정밀측정, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제22권, 제2호, pp. 179-186.
- Pazar, R. E. (1999), Small-Scale Digital Photogrammetry in a Cryogenic Vacuum Environment, *NASA CONFERENCE PUBLICATION*, Vol.-No.208598.
- Kooyman, T. (2000), Verifying Aircraft Assembly with Real-Time Digital Photogrammetry. *Sensors*, Vol.17, No.6.
- Toni schenk (2000) digital photogrammetry, Terrascience The ohio state university pp. 135-154.
- H. M. Karara., (1989), Non-Topographic Photogrammetry, *American society for photogrammetry and remote sensing* 2nd ed, pp. 349-355.
- Sanjib K. Ghosh. (1988). Analytical Photogrammetry. 2nd, Pergamon-press, pp. 187-195.
- Paul R. Wolf. (2000). Elements of Photogrammetry, 3rd ed, McGraw-Hill Inc. pp. 384-390, 551-556.
- Edward M. Mikhail., James S. Bethel., J. Chris McGlone. (2001), Introduction Modern Photogrammetry, *John Wiley & Sons Inc.*, pp. 247-275.
- V-STARS, www.3dsystems.co.kr

(접수일 2005. 5. 26, 심사일 2005. 6. 2, 심사완료일 2005. 6. 20)