

산업사진측량 기법에 의한 교량 강박스거더 정밀측정 Precise Measurement of the Steel Box Girder Using Industrial Photogrammetry Method

정성혁¹⁾ · 이재기²⁾

Jung, Sung Heuk · Lee, Jae Kee

Abstract

The purpose of this study was to establish the accuracy of the industrial photogrammetry system constructed with INCA2 metric camera and V-STARS system on steel box girder measurement under industrial measurement condition. The objective of the measurement was to determine the distances of plane to plane or plane to libs, precise positions of the bolt holes and angles of the plane to plane on the steel box girder using coded targets, tape targets, edge targets and target adapters. The measurement undertaken has shown that industrial photogrammetry method were a very accurate and more importantly were produced quickly to measure the steel box girder.

Keywords : Industrial Photogrammetry, Steel Box Girder Measurement, INCA2 Camera, V-STARS System

요 지

본 연구의 목적은 INCA2 카메라와 V-STARS 시스템으로 구성된 산업사진측량 시스템을 이용하여 현장 산업 측정 조건에서 강박스거더의 측정을 실시하고, 그 측정 정확도를 평가하는데 있다. 실험을 위하여 코드타겟, 테이프타겟, 에지타겟 및 타겟어댑터를 이용하였으며, 강박스 거더 부재면과 면사이의 거리, 부재와 리브간의 거리, 가조립을 위한 볼트구멍의 정확한 위치 및 부재면과 면 사이의 교차 각도 등을 측정 대상으로 하였다. 실험결과 본 연구에서 제안한 산업사진측량 기법으로 교량용 강박스 거더를 매우 정확하고, 신속하게 측정할 수 있었다.

핵심용어 : 산업사진측량, 강박스 거더, INCA2 Camera, V-STARS System

1. 서 론

최근 각종 산업분야에 급속히 확산되고 있는 산업사진측량기법은 높은 정확도와 비교적 짧은 현장 작업시간 등의 장점을 가지고 있으며, 특히, 각종 현장에서 현재 주로 사용되고 있는 토탈스테이션 측량 방식과 비교하여 산업사진측량기법은 많은 수의 측정의 3차원 좌표를 신속히 처리할 수 있다는 장점을 가지고 있다(Moffitt 등, 1980; Kraus, 1987; Karara, 1989).

이와 같은 장점으로 산업사진측량의 실용화에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 항공우주, 조선, 중공업, 자동차 산업분야 및 터널, 교량 등과 같은 토목 시공분야

에서도 설계도면과 비교하기 위한 자료를 취득하고, 물리적인 변형이 발생하였을 때 그 변형량을 측정하려는 등 산업사진측량의 도입 가능성에 관하여 검토가 이루어지고 있다(Wolf, 2000; Mikhail, 2001; 정성혁 등, 2001; 정성혁 등, 2003).

본 연구는 산업사진측량기법을 이용하여 교량용 강구조 박스거더의 형상을 정밀하게 측정하고자 한다. 교량 강구조 박스거더는 제작 공장에서 제품을 출하하기 전에 설계도면대로 정확하게 제작되었는지를 파악하기 위한 교량 가조립 공정이 포함되어 있다. 이 가조립 공정은 시공현장에 박스거더들이 시공되기 전에 미리 제작 공장에서 조립하는 과정으로 규정된 허용오차를 초과하는 박스거더는

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

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

다시 제작하고 있다. 현재 국내에서 강박스 거더를 생산하는 중공업에서는 토털 스테이션 및 레벨 등과 같은 일반 측량장비를 이용하여 강박스 거더 제작 과정에서 부재의 조립상태를 측정하고 있으나, 박스거더는 많은 부재들이 복잡하게 용접되어 있기 때문에 부재의 모든 측점을 측량하기에는 시간상, 현장 여건상 많은 문제점을 가지고 있다(정성혁 등, 2004).

따라서, 본 연구는 산업사진측량기법을 이용하여 교량용 강박스 거더의 형상을 정밀하게 측정함으로써 강박스 거더 조립시 중요한 항목인 각종 부재의 크기, 볼트 구멍 등의 정확한 위치 및 치수와 부재간 용접상태를 점검하기 위한 부재간 교차 각도 등을 측정하고자 한다. 또한, 측정된 데이터를 이용하여 강구조 교량 박스를 제작하는 공장에서 제품 출하전에 실시하고 있는 가조립 공정을 대신하고, 교량 공사 현장에서 박스 조립시 오차를 최소화함으로써 품질향상, 공기 단축 등의 효과를 얻는데 그 목적이 있다.

연구대상으로 국내 창원소재의 ○○중공업에서 제작한 길이 13.75m, 폭 2.8m, 높이 1.6m의 강 박스 거더를 선정하였으며, 연구방법으로 첫째, 대상물에서 가장 중요한 요소인 각종 부재의 치수를 측정하여 설계도면에 맞게 제작되었는지를 분석하고, 둘째, 박스 거더와 박스 거더를 서로 조립할 때 중요한 항목인 볼트 구멍의 3차원 위치를 측정하였다. 셋째, 부재와 부재간의 용접상태를 확인하기 위하여 부재간 교차각도를 측정하였다. 넷째 이상과 같은 일련의 측정을 통해 박스 거더의 3차원 모델링을 수행함으로써 제조사에서 실시하고 있는 조립 시뮬레이션에 기초 데이터로 제공하고자 한다. 타겟 설치 및 사진촬영에서 자료처리 및 모델링에 소요되는 시간과 결과물인 대상물의 도면 및 3차원 모델 생성 능력을 분석하여 그 실용성을 검토하였다.

2. 사진촬영 및 자료처리

INCA2 측량용 카메라와 V-STARS 시스템을 이용한 산업사진측량 시스템의 정확도를 검증하기 위하여 제 1 평면에 8개, 제 2 평면에 5개의 기준점을 설치하여 총 13개의 기준점을 3차원 공간으로 배치하고 1초독 데오돌라이트 Wild T-2를 사용하여 삼각수준측량을 실시하였다. 동일 기준점을 본 연구에서 이용한 INCA2 측량용 카메라로 촬영하고, V-STARS 시스템으로 자료를 처리한 결과 RMSE는 표 1과 같다.

연구 대상으로 선정된 교량용 강 박스 거더의 형상은 그림 2와 같다. 사진촬영에 앞서 박스 거더에 타겟을 설치하였으며, 본 연구에서 사용한 타겟은 자동화 처리를 위한 코드타겟, 부재의 평면 형상을 측정하기 위한 테이프 타겟과 에지타겟 그리고 볼트 구멍의 정확한 위치를 측정하기 위하여 제작한 타겟 어댑터를 이용하였다.

또한, 스케일을 설정하기 위하여 $\pm 0.002\text{mm}$ 로 정밀하게 제작된 2개의 스케일 바를 그림 3, 그림 6과 같이 대상

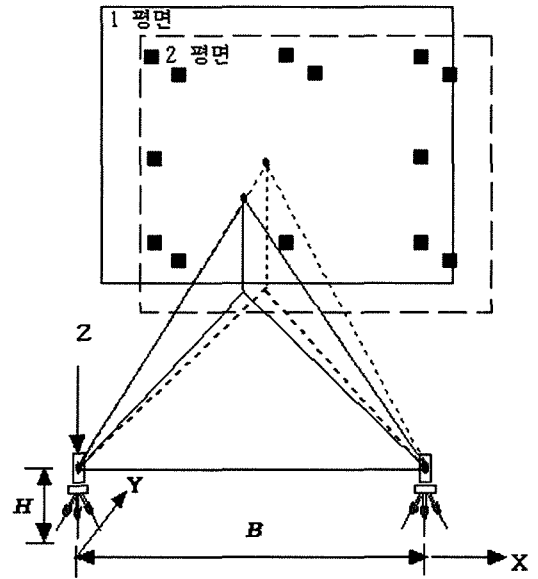


그림 1. 삼각수준측량

표 1. 시스템 정확도 검증 (unit : mm)

Coordinate	X	Y	Z
RMSE	0.04	0.03	0.05

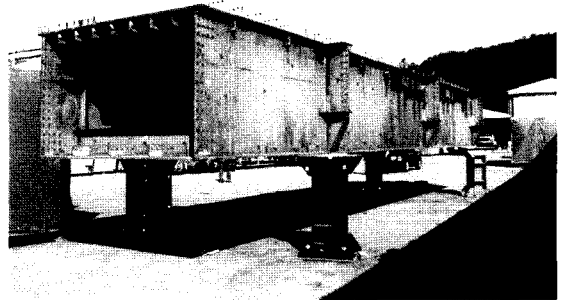


그림 2. 교량용 강 박스 거더

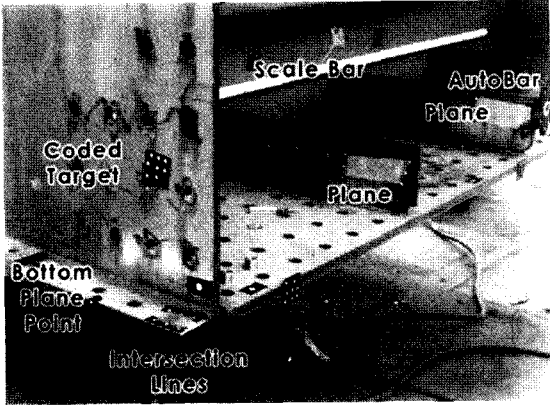


그림 3. 타겟 설치

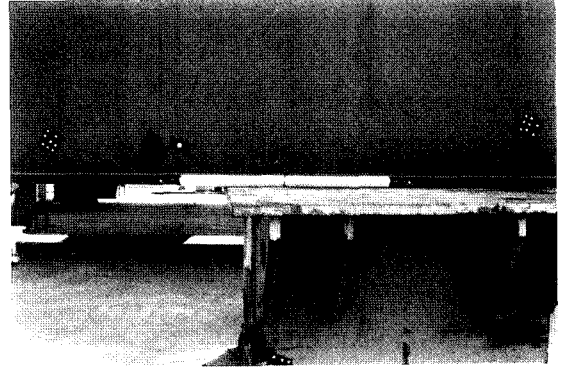


그림 6. 스케일 바 설치

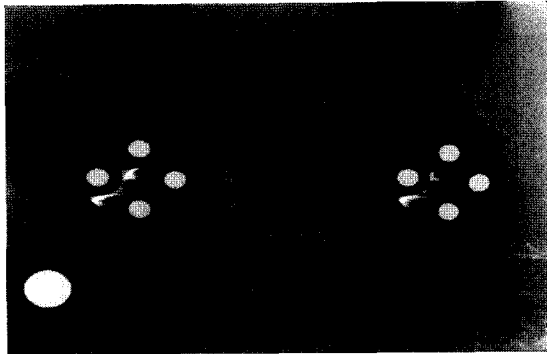


그림 4. 에지 타겟

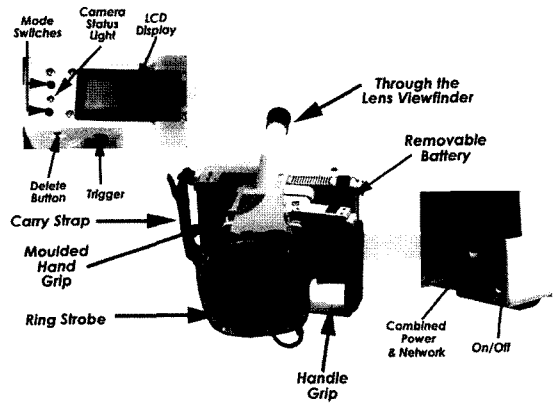


그림 7. INCA2 측량용 카메라

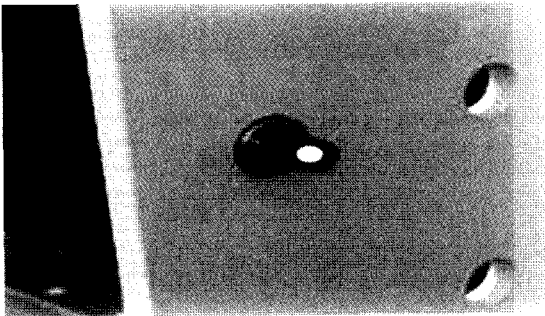


그림 5. 타겟 어댑터

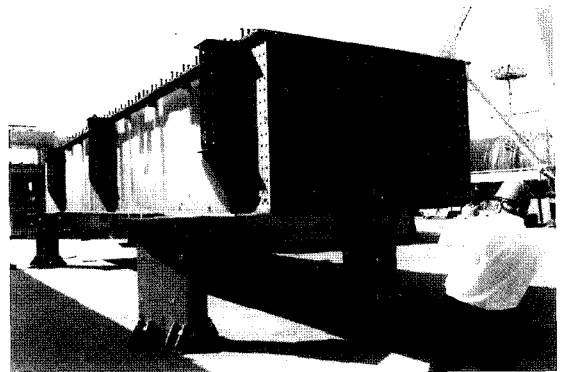


그림 8. 대상물 사진 촬영

물에 설치하였다. 이때 2개의 스케일 바중 1개의 길이 값은 시스템에 스케일 팩터로 입력하였으며, 나머지 1개의 스케일 바는 데이터 처리후 길이 측정 정확도를 분석하기 위하여 설치하였다.

대상물 촬영은 그림 7의 측량용 카메라인 INCA2 카메라를 이용하여 총 175매를 자유 수평 촬영하였다.

자료처리는 GSI사의 V-STAR 시스템에서 수행하였으며, 주요 처리과정은 그림 9와 같다.

촬영된 영상은 시스템으로 불러들여 그림 10과 같이 디스플레이 되며, 자동 프로세싱 명령을 통해 각각의 영상에

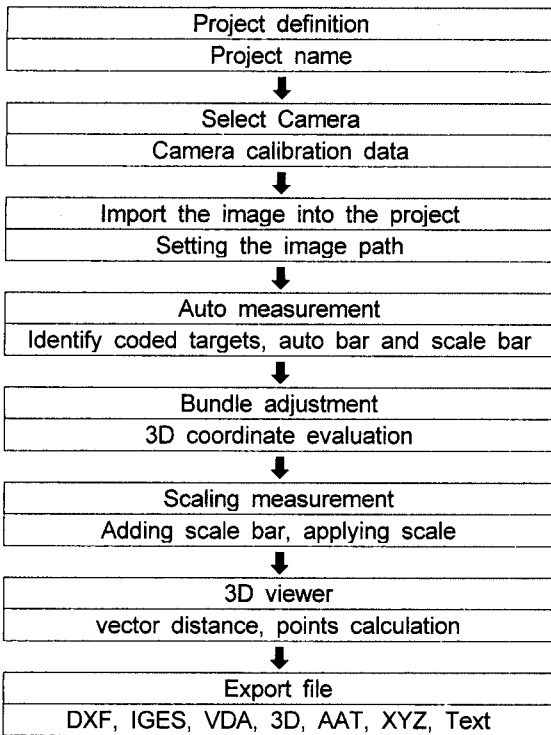


그림 9. 자료 처리과정

서 촬영된 측점 데이터를 빠른 속도로 자동 인식한다. 모든 영상에서 타겟이 자동 인식되면 표정, 다중영상접합, 광속 조정 과정을 거쳐 3차원 측점데이터를 디스플레이 한다.

측점 데이터는 각각의 고유 ID와 X, Y, Z 좌표로 구성되어 있으며, 실험에서는 1,546점의 좌표를 취득하였다. 데이터 프로세싱 결과 카메라의 위치와 측점의 위치는 그림 11과 같다.

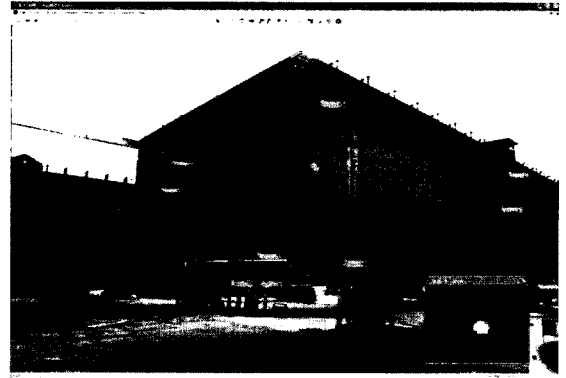


그림 10. 대상물 사진 촬영

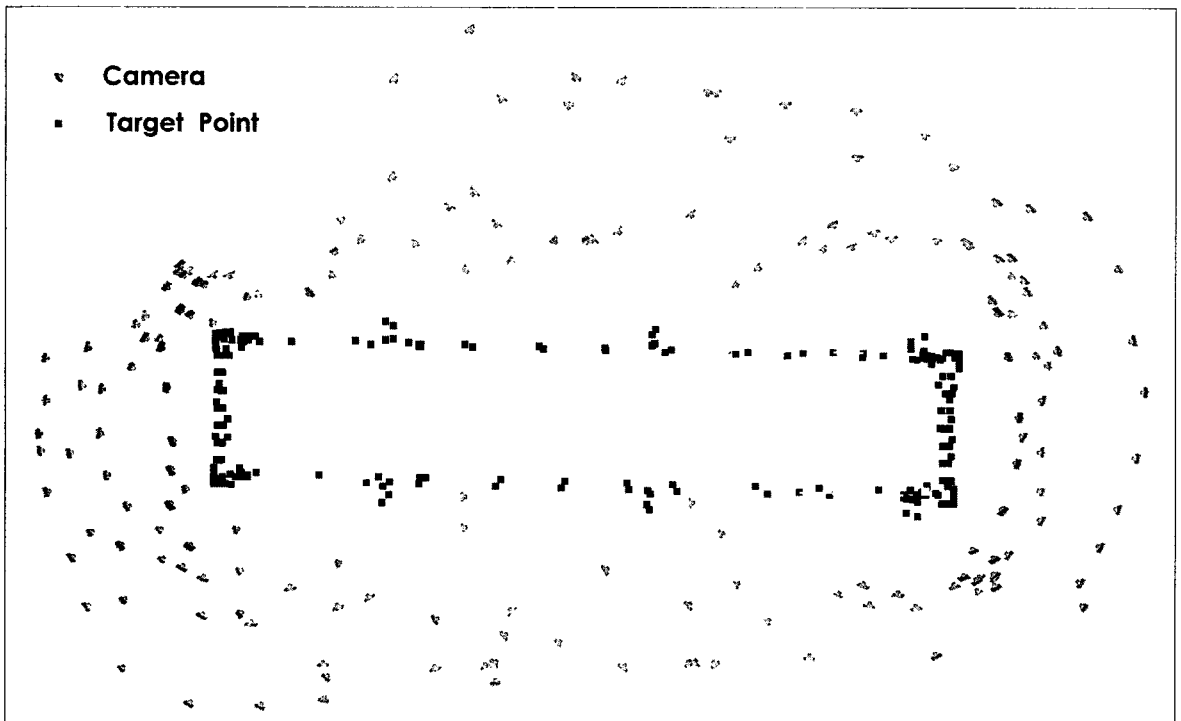


그림 11. 카메라와 측점의 위치

3. 결과 분석

사진촬영 및 데이터 처리가 완료된 뒤 길이 측정의 정확도를 확인하기 위하여 2개의 스케일 바중 1개의 스케일 바의 길이를 스케일 요소로 시스템에 입력하여 데이터를 처리하고 나머지 1개의 길이를 시스템에서 계산된 값과 비교한 결과 그 편차는 0.07mm로 나타났다.

측정된 데이터로부터 주요 부재의 치수를 측정할 수 있었으며, 그림 12와 같이 박스 거더의 각 코너간 거리는 표 3과 같다. 설계 도면의 치수와 비교한 결과 최대 2.70mm, 최소 0.25mm의 차이가 있음을 알 수 있다.

또한, 교량용 강 박스 거더의 조립시 가장 중요한 항목은

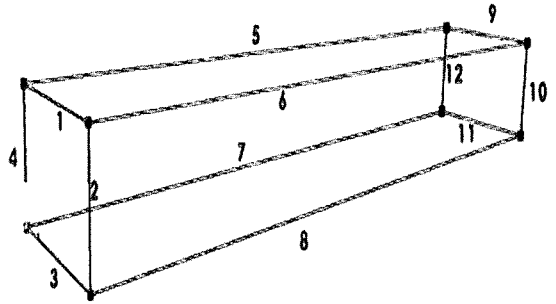


그림 12. 주요 부재의 치수

표 2. 측정좌표 데이터 (unit : mm)

Point ID	X	Y	Z
CODE101	-94.837	-218.894	258.583
CODE102	-529.054	-149.825	343.483
CODE103	-258.501	-836.860	576.989
CODE104	-820.606	-311.981	521.201
CODE105	-417.126	-537.614	543.538
⋮	⋮	⋮	⋮
TARGET1	-220.600	-219.162	254.623
TARGET2	-620.054	-259.825	343.483
TARGET3	-520.501	-336.860	576.989
TARGET4	-520.606	-611.981	521.201
TARGET5	-217.126	-737.614	243.538
⋮	⋮	⋮	⋮

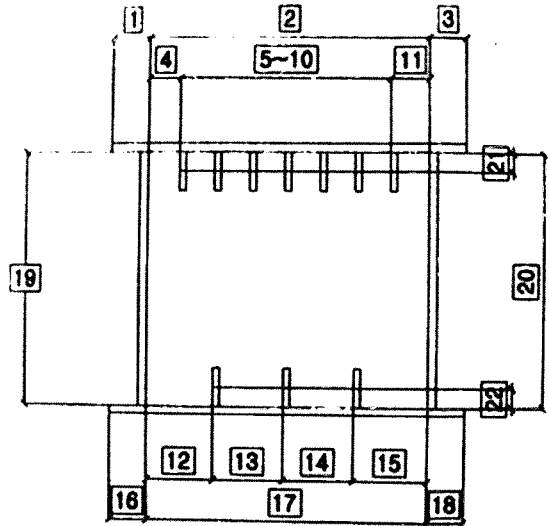


표 3. 주요 부재 치수 측정 데이터 (unit : mm)

ID	Dist.	Design	Residual
1	2799.11	2800.00	-0.89
2	1600.54	1600.00	0.54
3	2800.68	2800.00	0.68
4	1599.75	1600.00	-0.25
5	13750.73	13750.00	0.73
6	13751.84	13750.00	1.84
7	13752.28	13750.00	2.28
8	13751.08	13750.00	1.08
9	2800.67	2800.00	0.67
10	1601.57	1600.00	1.57
11	2798.80	2800.00	-1.20
12	1602.70	1600.00	2.70

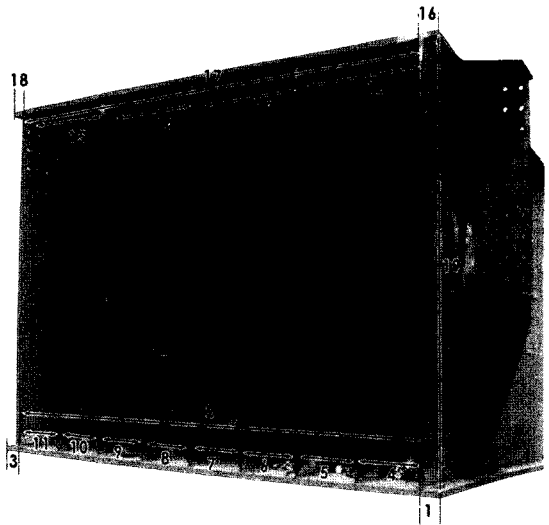


그림 13. 거더 집합부 측정

표 4. 거더 접합부 측정 데이터

ID	Dist. (mm)	ID	Dist. (mm)
1	101.49	11	316.12
2	2598.45	12	655.75
3	99.20	13	651.15
4	330.88	14	648.06
5	324.59	15	644.22
6	325.21	16	100.25
7	325.96	17	2599.16
8	323.97	18	100.16
9	324.65	19	1599.75
10	327.07	20	1600.84

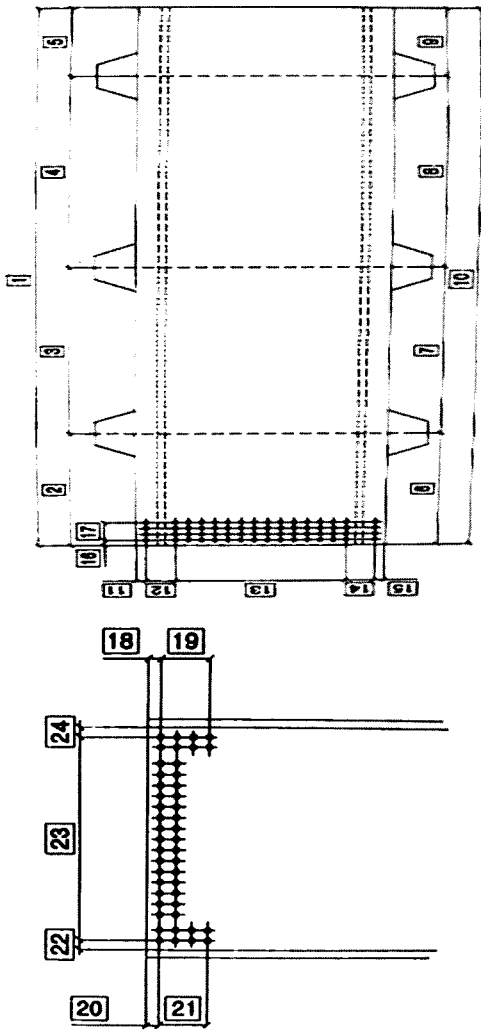


그림 14. 볼트 구멍간격 측정

표 5. 볼트 구멍간격 측정 데이터

ID	Dist. (mm)	ID	Dist. (mm)
1	13750.71	10	13752.00
2	3121.93	18	49.62
3	5001.73	19	254.85
4	5000.14	20	49.71
5	632.62	21	255.19
6	3119.19	22	85.54
7	5000.71	23	429.76
8	5001.56	24	85.19

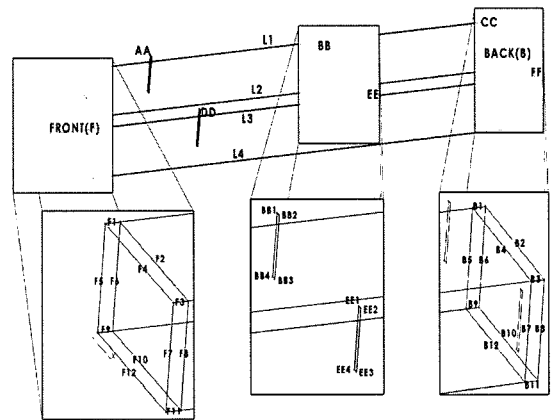


그림 15. 볼트 구멍간 부재 길이측정

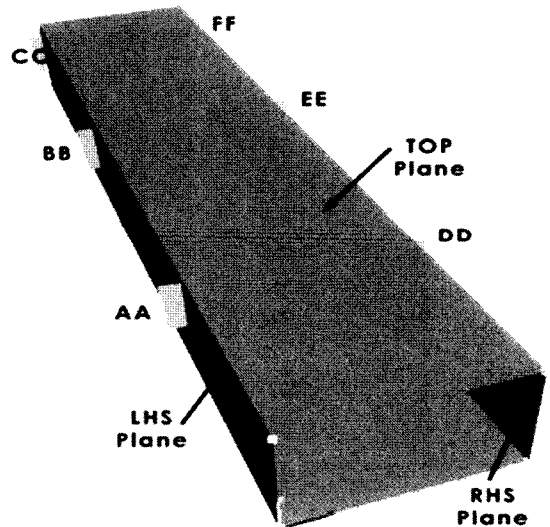


그림 16. 부재 교차각 측정

표 6. 부재길이 측정 데이터

ID	Dist. (mm)	ID	Dist. (mm)
F1	254.67	B1	256.38
F2	2631.99	B2	2631.53
F3	254.85	B3	255.59
F4	2632.00	B4	2631.55
F5	1430.07	B5	1432.10
F6	1430.29	B6	1428.85
F7	1429.76	B7	1428.92
F8	1429.49	B8	1429.28
F9	254.84	B9	256.15
F10	2629.72	B10	2629.27
F11	255.12	B11	254.64
F12	2629.73	B12	2629.28

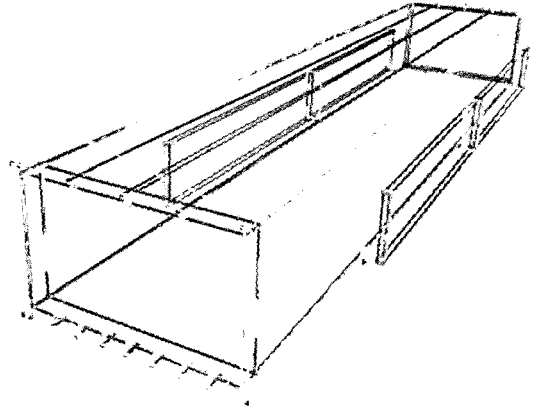


그림 17. 3차원 모델링

표 7. 부재 교차각 측정 데이터

Plane	Angle (°)	
	LHS Plane	RHS Plane
AA	89.9581	-
BB	89.9155	-
CC	89.5662	-
DD	-	89.5510
EE	-	89.8615
FF	-	89.8325
Top Plane	89.9541	89.9791

표 8. 측정 및 분석 소요시간

주요 처리 절차	소요시간(분)
초기 계획	10
타겟 설치	30
사진 촬영	20
프로세싱	15
편집 분석	15
총 소요시간	90

접합부분의 주부재와 리브간격 및 볼트 체결을 위한 구멍으로서 측정 데이터는 표 4, 표 5와 같다.

그림 15와 같이 볼트 구멍의 중심위치를 이용하여 부재의 길이를 측정할 수 있으며, 그 결과 표 6과 같다.

그림 16과 같이 주부재와 주부재 및 리브가 이루는 교차각도를 측정한 결과는 표 7과 같다.

취득된 측정 데이터를 기초로 3차원 모델링한 결과를 그

림 17과 같이 DXF 포맷으로 export 할 수 있으며, 교량 가조립 시뮬레이션 프로그램에 기초 데이터로 제공할 수 있다.

이상과 같이 산업 사진측량기법을 이용하여 박스 거더를 측정하기 위하여 초기계획 10분, 타겟설치 30분, 사진촬영 20분, 데이터 프로세싱 15분 및 분석 15분이 소요되어 총 소요시간은 90분이 소요되었다.

4. 결 론

본 연구는 산업 사진측량 기법을 이용하여 교량용 강 박스 거더의 외형을 측정하고 분석한 것으로 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 본 연구에서 제시한 산업 사진측량기법의 정확도를 검증한 결과 $\sigma_x=0.04mm$, $\sigma_y=0.03mm$, $\sigma_z=0.05mm$ 이었다.

2. 실험결과 1,546점의 측정 데이터를 취득하였으며, 이를 기초로 각종 부재의 치수와 볼트 구멍의 정확한 위치 및 부재간 교차각도 등 다양한 분석을 할 수 있었다.

3. 총 소요시간은 90분이 소요되었으나, 작업에 따른 규정을 확립하고, 동일한 대상을 반복 측정한다면, 60분 이내로 모든 작업을 마칠 수 있을 것으로 사료된다.

이상과 같이 본 연구에서 제시한 산업사진측량 기법을 이용하여 교량용 강 박스 거더의 정확한 형상을 측정함으로써 교량 가조립 시뮬레이션을 위한 기초자료로 제공할 수 있으며, 교량 무가조립을 위한 초기 데이터를 제공할 수 있었다. 또한, 본 연구에서 제시한 기법을 이용하여 실

제 제품을 설계 데이터와 비교하거나, 열 변형 실험 전후 또는 로드 테스트(load test)전후의 상태를 비교하는 등 각종 변형량 측정에 활용될 수 있을 것으로 사료되며, 각종 중공업분야, 조선소 대형 선박블록 조립 및 각종 토목 구조물의 조립 분야에 활용될 수 있다.

참고문헌

정성혁, 이재기 (2001), 수치사진측량기법을 이용한 펜더의 3차원 모델링, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제19권, 제2호, pp. 147-154.
정성혁, 박경식, 이계동, 이재기 (2003), 상용 디지털카메라에 의한 3차원 측정의 정확도 분석, 추계학술발표회 논문집, 한국측

량학회, pp. 153-156.
정성혁, 이재기 (2004), 산업사진측량을 이용한 터널의 천단 및 내공변위 계측, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제22권, 제3호, pp. 209-215.
Karara, H. M. (1989), *Non-Topographic Photogrammetry*, 2nd ed., ASPRS, pp. 349-355.
Kraus, K. (1987), *Photogrammetry*, 4th ed, Ferd. Dummlers Verlag, Germany.
Mikhail, E. M. Bethel, J. S. McGlone, J. C. (2001), *Introduction to Modern Photogrammetry*, John Wiley & Sons Inc., pp. 247-275.
Moffitt, F.H. and Mikhail, E.M. (1980), *Photogrammetry*, Harper & Row, Inc, pp. 150-170.
Wolf, P.R. (2000), *Elements of Photogrammetry*, 3rd ed, MCGRAW HILL Inc, pp. 384-390, 551-556.

(접수일 2005. 3. 8, 심사일 2005. 3. 16, 심사완료일 2005. 3. 26)