

구조물 monitoring을 위한 지상사진측량기법의 개발

Development of Terrestrial Photogrammetric Technique
for Structure Monitoring

韓承熙* · 姜準默**

Han, Seung Hee · Kang, Joon Mook

Abstract

Recently, terrestrial photogrammetry has been applied effectively to data acquisition in GIS and to monitoring precise machinery for simulation test. Because 3-D coordinates of many object points can be quickly measured with constant accuracy and easy modeling by this method. In this study, the composition concerned with multi-camera system which simultaneously analyzes structure from multi-station using various cameras was developed. The errors of results were analyzed to investigate the accuracy of the system, error of unknown points and control points, convergent and strip adjustment for optimal network design also. As results of this study, the efficiency of multi-camera system developed here was proved through application to monitoring the entire area of the precise model ship. We could also acquire 3-dimensional coordinates with good accuracy by arranging pass points. Therefore, possibility of measurement of instantaneous deformation as well as precision analysis of structures can be suggested.

要 旨

지상사진측량은 최근 GIS구축을 위한 자료의 수집으로부터 각종 첨단산업분야에 그 응용이 증대되고 있다. 특히 정밀기계부품 또는 모의실험을 위한 모형제작시, 사진측량기법을 이용하여 다량의 3차원 수치 데이터를 균일한 정확도로 신속, 정확하게 획득할 수 있고 또한 이를 모델링에 이용할 수 있기 때문이다. 본 연구에서는 모의실험을 위한 선박모형을 monitoring하기 위해 신속하게 촬영할 수 있는 다중사진기 시스템을 구성하고 정확도 해석은 물론 network 형성을 위해 촬영기법, 기준점 수 및 배치, 미지점, 수렴촬영, 스트립 조합에 대한 오차를 분석, 이를 적용 선박모형에 대한 각 단면형상과 3차원 monitoring을 실시하였다. 연구결과, 정밀모형선박의 全面에 대한 모니터링을 통하여 개발한 다중사진기시스템의 효용성을 입증할 수 있었으며 pass point를 배치하여 3차원 데이터를 기대정확도로 얻을 수 있었으므로 구조물의 정밀해석은 물론 순간변형측정의 가능성을 제시할 수 있었다.

* 전안공업전문대학 토목과 전임강사

** 정희원 · 충남대학교 토목공학과 교수

1. 서 론

정밀기계부품 제작에 있어 제작과정 중이나 제작 후의 monitoring시에 3차원 측정기, dial gage 등이 사용되고 있으나 대형의 구조물, 형상이 복잡한 부품의 측정에 대해서는 많은 어려움을 겪고 있다. 이에 초점거리에 제약을 받지 않는 semi-metric 사진기와 비측정용 사진기를 측정용 사진기와 동시에 이용할 수 있는 다중사진기 시스템을 구성하여 해석하면 단시간 내에 효율적으로 기대성적을 얻을 수 있다. 또한 구조물의 全面을 해석하기 위해서는 동일좌표계를 기본으로한 기준점이 全面에 배치되어 있어야 하므로 보다 신속하고 정확한 기준점 측량 방법이 모색되어야 한다. 촬영계획에서는 monitoring시 필요한 정확도를 얻기 위해 촬영계획을 수립하여야 하며 이를 위해서는 다양한 오차분석이 선행되어야 한다.

본 연구에서는 구조물 정밀 monitoring을 위한 사진측량기법을 개발하기 위해 다중사진기 시스템을 구축하고 기존 알고리즘을 이의 해석에 알맞게 수정하였으며 수렴촬영과 스트립조합 해석에 대한 다양한 오차분석과 정오차 보정을 통하여 정확도를 향상시키는 물론 pass point를 이용하여 보다 신속하고 효율적인 기준점측량 방법을 고안하였다. 연구성과를 토대로 실제 모형 선박구조물에 적용함으로써 각종 정밀구조물의 monitoring에 응용할 수 있는 사진측정 기법을 제시하고자 한다.

2. 다중사진기 시스템 구성

다중사진기 시스템은 지상측정용 사진기 P31과

semi-metric 사진기인 Rolleiflex 6006 그리고 흔히 구할 수 있는 비측정용사진기로서 Nikon F-801을 선택하여 구성하였으며 Nikon 사진기는 렌즈검정에 의해 내부표정요소를 결정하였다.⁽¹⁾ 다중사진기 시스템의 정오차 보정요소는 Table 1과 같다. 각각의 사진기에 의해 얻어진 사진좌표를 검정데이터를 이용하여 정오차 보정을 실시한 후 최종적인 사진좌표를 얻었으며 다중사진기 시스템에 의해 얻어진 사진의 해석에 적합하도록 수정 개발한 번들조정기법으로 다중사진을 해석하였다.

2.1 다중사진기시스템의 정확도 분석

2.1.1 다중 수렴촬영

개발한 다중사진기 시스템의 응용가능성을 제시하기 위하여 모형 피사체에 수렴촬영으로 각 사진기별 2매씩 피사체가 완전 피복되도록 6매를 촬영하였고 조합해석의 효율성을 보기 위해 촬영거리 1.8 m에서 P31, Rollei, Nikon, P31(동일사진기) 4대의 사진기로 촬영하였다. 해석시 반복계산 횟수는 모든 경우 5회였고 단위경중률 표준오차(S.E.U.W)도 약 1.2~1.4로 유사하게 수렴하였다.

Bundle조정결과 Rollei 6006 semi-metric 사진기는 P31 측정용 사진기에 비해 실험적 오차에서 X, Y, Z에 대해 각각 80%, 68%, 67%로 증가하였고 Nikon F801은 X, Y, Z에 대해 각각 138%, 121%, 139%로 증가하여 나타났다. 이는 측정용사진기의 경우 왜곡이 거의 없는 렌즈로 특수제작하여 방사방향과 접선방향왜곡을 모두 보정하나 semi-metric 사진기의 경우 필름의 크기에서 오는 좌표측정오차와 접선방향왜곡 보정을 하지 않았기 때문으로 생각된다.

Table 1. The Calibration Data of Each Cameras for Multi-camera System

WILD P31 (Lens No. 57305)	Rolleiflex 6006 (Lens No. 7126297)	Nikon F-801 (Lens No. 541830)
PPA: X = +2 μm Y = -2 μm	PPA: X = +8 μm	PPA: X + 103 μm Y = +30 μm
PPS: X = +8 μm Y = 0 μm	Y = -7 μm	K ¹ : 42.51753570E - 6
K ₁ : 40.22551E - 6	K ₁ : 35.64E - 6	K ₂ : -0.03721015E - 6
K ₂ : 0.0419655E - 6	K ₂ : -0.02331E - 6	K ₃ : 0.00001845E - 6
K ₃ : -0.6769695E - 10		P ₁ : 9.84737198E - 6
K ₄ : 0.1596120E - 13		P ₂ : 25.69442983E - 6
		P ₃ : -0.28874270E - 6

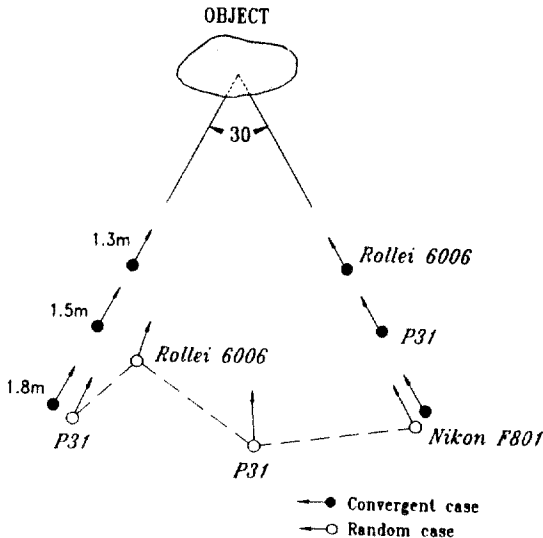


Fig. 1. Schematic diagram of application test.

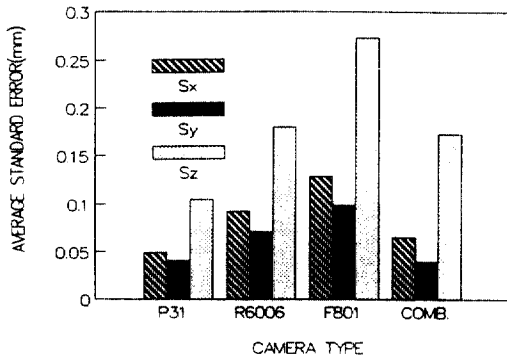


Fig. 2. Comparison of average standard errors for each camera system in convergence case.

조합해석의 경우 다중사진기 시스템이 측정용 사진기에는 미치지 못하나 평균표준오차가 X, Y, Z좌표에서 각각 89 μm , 54 μm , 235 μm 로 semi-metric 사진기보다 양호하므로 다중사진기 시스템으로 實構造物에 대해 수렴촬영한다면 효용성이 있을 것으로 판단된다.

2.1.2 스트립 조합해석

개발한 다중사진기 시스템의 strip 해석 정확도를 분석하기 위해 수리실험수조의 유리 평면에 28개의 미지점과 12개의 기준점을 등분포로 설치하고 조합해석을 위해 Rollei flex semi-metric 사진기는 1.54 m, WILD P31 측정용 사진기는 1.8 m, Nikon F-801 비측정용 사진기는 2.1 m에서 중복도 75%로 각각

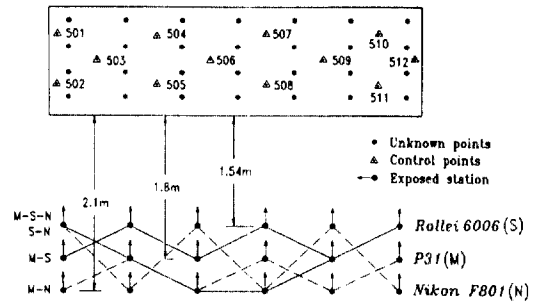


Fig. 3. Schematic diagram of test field and shape of each case combined camera for multi-camera system.

6매씩 18매를 촬영하였다. 측정점의 배치와 실험모형도는 Fig. 3과 같다. 조합에 대한 정확도를 알아보기 위해 Rollei 6006으로 촬영한 6매의 사진, Nikon F801 6매, P31 6매와 이들을 다양하게 조합하여 Fig. 3과 같이 MS, MN, SN으로 해석하였으며 아울러 전체의 조합(MSN) 18매도 해석하였다. Table 2는 다중사진기 시스템으로 촬영한 6매의 동일 사진매수로 해석한 결과를 單사진기 시스템결과와 비교한 것이다. 기하학적 위치오차의 경우 다중사진기 시스템으로 해석한 결과는 표준오차가 약 790 μm 로 이는 semi-metric과 비측정용 사진기만으로 각각 해석한 경우에 비해 정확도가 약 24%, 44%로 향상된 것이므로 다중사진기 시스템의 가능성과 효용성을 엿볼 수 있었다.

3. 선박의 Monitoring

대상물로 선정한 선박(360 ton급 시험조사선)은 해사기술연구소가 제작한 실제선박의 1 : 10 축척의 길이 약 5.0 m, 폭 약 0.9 m, 높이 약 0.6 m의 모형으로써 선두부와 선미부가 상당한 굴곡이 있는 복잡한 형상을 하고 있다. 선박 제작후 설계치수와의 검정은 대단히 중요한 의미를 지니고 있는데 既存에는 임의의 축을 설정하여 dial gage로 측정하는 등 정확도 면에서는 물론 시간적으로 어려움을 겪고 있다. 그러므로 지상사진측량 기법을 개발하여 응용한다면 정확하게 검정을 할 수 있을 것이다. 그러나 측정용 단일 사진기만으로 일시에 해석하기에는 시간적 손실 뿐만 아니라 여러가지 어려움이 뒤따른다. 따라서 본 연구에서는 다중사진기 시스

Table 2. The Average Standard Error for Each Case of Combined Camera

(μm)

System	Single camera system			Multi-camera system			
	M*	S	N	MS	MN	SN	MSN
standard error							
S_x	128.2	317.8	350.4	196.2	222.5	330.7	220.0
S_y	115.5	255.8	339.0	160.6	195.2	304.8	183.2
S_z	370.5	961.6	1342.5	605.6	818.8	1075.9	741.6
P_5	408.7	1044.6	1428.3	656.5	870.7	1166.1	794.9
A_x	136.6	428.1	435.2	246.0	269.0	429.2	268.4
A_y	123.1	344.6	421.0	201.4	236.0	395.6	223.5
A_z	395.0	1295.3	1667.4	759.4	989.9	1396.5	904.8
P_A	435.7	1407.3	1773.9	823.3	1052.6	1513.6	969.9

* M: Metric camera.

S: Semi-metric camera.

N: Non-metric camera.

Table 3. Exposed Plan of Ship by Multi-camera System

Camera	Exposed Dist (m)	The # of Exposed Photos
Metric (P-31)	1.4~1.8	32
Semi-metric (Rollei 6006)	1.4~1.6	24
Non-metric (Nikon F-801)	0.5~1.0	31

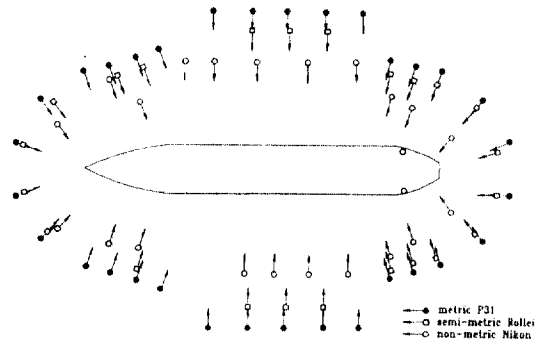


Fig. 4. Exposure plan of ship monitoring by multi-camera system.

(a) front (b) rear

탐을 선박의 monitoring에 적용해 보았다. 비측정용 사진기는 주로 촬영이 어려운 부분의 보조촬영에 이용하도록 계획하였다. 또한 network의 기준점 측량에 따른 難題를 해결하기 위해 球形 기준점과 투과성 기준점을 고안하여 一面의 기준점으로 全面 해석을 실시, 결과를 도출하였다.

3.1 Network Design

선박의 全面에 측정용 사진기 32점, semi-metric 사진기 24점, 비측정용 사진기 31점의 노출점을 배치하여 촬영하였으며, 가능한한 全面에 배치한 274점의 미지점 모두에 대한 해석이 가능하도록 하였다. 모형선박의 경우 monitoring을 위한 요구정확도는

약 $100 \mu\text{m}$ 이므로 촬영거리 $0.5 \text{ m} \sim 1.8 \text{ m}$ 에서 직각 수평촬영, 수렴촬영을 조합하여 全面 스트리프를 형성하므로써 요구정확도를 만족할 수 있도록 계획하였다.^(2,3) 다중사진기 시스템의 촬영계획은 Table 3과 Fig. 4에 나타냈다.

정밀 구조물의 monitoring시 중요한 사항은 설계치와 제작 후의 측정치의 일치여부이다. 본 연구에서는 각 단면, 水位, 부분 별로 미지점을 배치하였으며 3차원 모형화를 위하여 斷面의 굴곡에 따라 밀도를 다르게 배치하였다. 또한 동일좌표계 내에서 선박의 全面이 해석되어야 하므로 기준점을 一面에

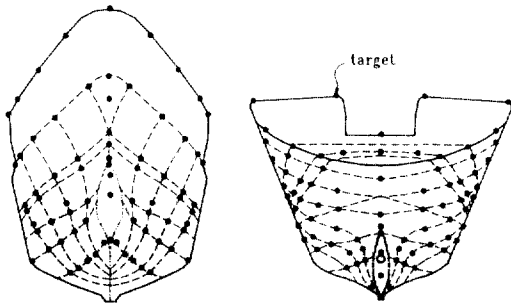


Fig. 5. The target array of front and rear of ship.

배치하여 全面 해석을 하였다. 아울러 全방향에서 기준점측량 및 촬영이 가능한 球形 측정점과 투과성 기준점을 고안하여 배치하고 각 기준점 별 해석에 따른 오차분석을 실시하였다. 一面에 배치한 기준점의 수는 14점이며 pass point로 투과성 기준점과 球形 측정점을 각각 14점, 21점 배치하였다. 특히, 형상이 복잡한 선미부와 선두부에는 형상을 최대한 자세히 파악할 수 있도록 주의하여 측정점을 배치하였으며 스트립간의 접합을 위하여 경계부분에 측정점을 배치하였다. 형상이 복잡한 선미와 선두부의 측정점배치는 Fig. 5와 같다.

3.2 오차 및 정확도 분석

3.2.1 미지점의 오차분석

선형이 불규칙적인 선박의 monitoring을 하기 위해서는 대상물 전체를 동일 좌표계내에서 해석하여야 한다. 이를 위해서 전체 대상물을 하나의 strip으로 피복하였으며 前, 後 스트립에서 공통으로 사용할 수 있고 기준점측량은 물론 사진상에도 피복될 수 있는 기준점을 설치하였다. 前面의 기준점으로 後面의 미지점까지 해석할때 pass point는 배치에 제약을 받기 때문에 각각의 미지점에 대한 오차는 기준점으로부터의 거리에 영향을 많이 받게 된다. 따라서 全面 해석시에 전체 미지점에 대한 오차전파를 분석하는 것은 의미가 있다. 본 연구에서는 측정용사진기로 촬영한 32매의 사진과 semi-metric 24매, 비측정용 31매의 사진을 각 오차분석의 특성에 따라 선별하여 해석하였으며, 그 결과로부터 얻은 미지점의 3차원 좌표에 대한 표준오차를 분석하였다.

Fig.6은 측정용 사진기 32매의 사진으로 선박

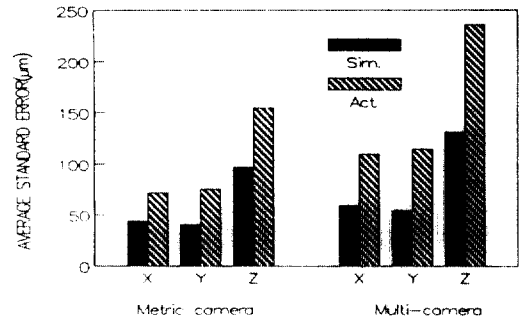


Fig. 6. Comparison of average standard error between metric camera and multi-camera system.

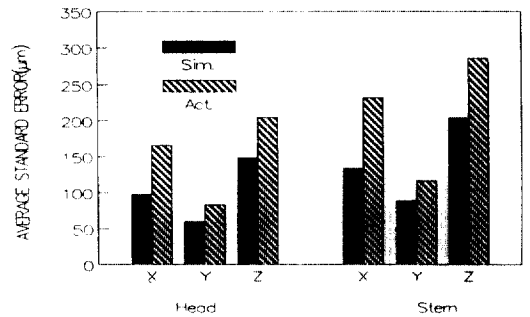


Fig. 7. The average standard error of head and stern of ship.

面을 해석한 경우와 다중사진기시스템 36매의 사진으로 全面을 해석한 경우의 미지점에 대한 3차원 좌표의 위치오차를 비교 도시한 것으로 측정용 사진기에 비하여 다중사진기가 약 64%의 오차 증가를 보이나 측정용 사진기로 해석한 경우는 全面의 모든 미지점에 대한 해석을 할 수 없었다. 또한 모든 미지점 해석이 가능했던 다중사진기 시스템의 경우는 전체적인 표준오차가 X, Y좌표에서는 약 70~110 μm, Z좌표는 약 150~230 μm로 얻어져 선박의 monitoring이 가능할 것으로 판단된다. 특히 monitoring 방향인 Z좌표오차가 크게 나타나는 것은 기준점의 배치가 Z방향에 대해 범위가 좁기 때문으로 pass points를 Z축에 대해 다양하게 배치하여 해석한다면 양호한 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

Fig. 7은 선두부와 선미부를 측정용사진기로 각각 해석한 결과이다. 선두부는 측정용 12매, semi-metric 8매, 비측정용 10매, 총 30매로 74점의 미지점을

Table 4. The Average Standard Error Distribution of One-side Control Points and Full-Side Control Points

Control point	Simulated error			Actual error		
	S _X	S _Y	S _Z	A _X	A _Y	A _Z
Paper (5)	201.3	218.2	338.7	295.9	320.8	497.9
Full	71.8	75.3	154.8	109.4	114.7	235.7

피복하고 있으며, 선미부는 각각 10매, 12매, 10매, 총 32매로 85점의 미지점을 피복하고 있다. 선미부가 선두부에 비해 오차가 약 49% 크게 나타나는데 선미부가 형상이 복잡하며 선두부는 선미부에 비하여 폭이 좁아 균일한 촬영거리로 촬영이 가능하였고 pass point에 의한 스트립의 접합이 양호하였기 때문으로 판단된다.

3.2.2 기준점 형태별 오차분석

Table 4는 일부분에 배치한 기준점을 사용하여 全面해석의 가능성과 오차를 분석하기 위해 측정용 사진기로 촬영한 총 32매의 사진에서 일반 기준점을 일부분에 5점 배치하여 해석한 경우(one-side)와 pass point 전체와 일반기준점을 모두 사용하여 해석한 경우(full-side)의 표준오차를 나타낸 것이다. 일부분에 배치한 경우는 전체 기준점을 이용한 경우보다 다소 크게 나타나 표준오차가 약 200~300 μm였으며 이 결과는 monitoring에는 미흡하다. 그러므로 monitoring을 위한 全面해석 시에는 pass point를 사용하여야 하며 본 실험에서는 70~150 μm로 해석할 수 있음으로써 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 기준점 및 pass point의 적용에 대한 다양한 오차분석을 위해 一面에 배치된 21점의 일반 기준점을 이용하는 경우와 pass point로서의 트레이싱 타겟 14점과 球形타겟 21점을 일반 타겟과 각각 조합할 경우의 오차분포를 Fig. 8에 나타냈다.

일반 기준점만으로 해석한 경우 3차원 위치오차는 288.9 μm로 나타났으며 여기에 투과성 측정점을 조합하여 해석한 경우에는 214.8 μm로써 일반 기준점보다 양호하였다. 또한 일반 기준점과 pass point로서 球形타겟을 조합하여 이용한 경우에는 200.5 μm로 tracing 측정점보다 다소 양호하게 나타났기 때문에 구조물의 全面해석시에는 一面에 배치된 일반

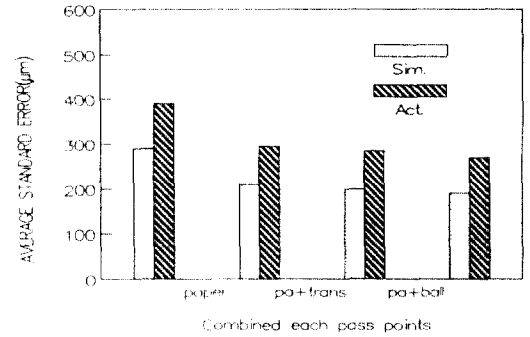


Fig. 8. The average positional standard error of each type of pass points.

Table 5. The Average Standard Error for Each Case of Control Points System (μm)

Average standard error	Type of control point			
	I	II	III	IV
S _X	63.5	57.0	54.1	43.8
S _Y	70.9	65.8	800.8	40.2
S _Z	143.4	128.4	1068.9	97.1
P _S	172.1	144.3	1336.7	113.9
A _X	76.0	70.6	65.5	59.1
A _Y	84.9	81.5	969.0	54.3
A _Z	171.6	159.0	1293.4	131.1
P _A	191.5	178.7	1616.1	153.7

기준점과 pass point로써 해석함이 양호함을 알 수 있었다. 이들 세가지 형태의 기준점을 모두 이용하여 해석한 경우의 위치오차는 187.3 μm로써 기준점 수의 증가로 인하여 다소의 오차감소를 가져왔다.

Table 5는 선박의 全面에 배치된 274개의 미지점을 측정용 사진기로 32매를 촬영하고 一面에 배치된 기준점을 확장하여 全面을 해석한 경우(I)와 선박의 전·후 및 밑부분에 배치한 pass point중 球形기준점을 이용(II)하거나 양면에서 촬영이 가능한 투과성 기준점을 이용하여 해석한 경우(III)에 대한 오차분포로서 고안된 pass point의 실용 가능성을 입증할 수 있었다. (IV)는 기준점 세 type을 모두 조합하여 해석한 경우이다. 이의 결과로부터

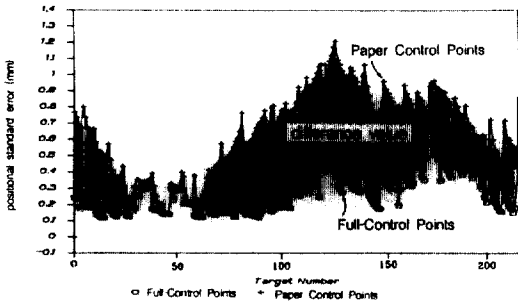


Fig. 9. The average positional standard error of each unknown points on the ship.

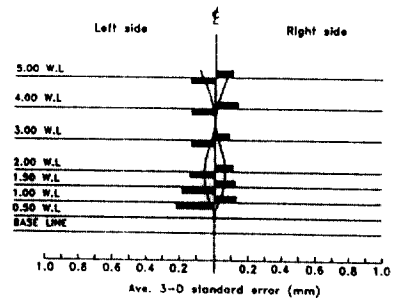
背面에 배치된 미지점들에 대한 3차원 오차전과 특성을 규명하므로써 기준점측량의 難題를 해결할 수 있었다.

Fig. 9는 선박의 全面해석시 일부분에 배치된 5개의 일반기준점을 이용한 경우와 5개의 일반기준점과 함께 pass point로서 구형타겟 및 투과성타겟을 모두 이용한 한 경우에 대한 미지점 각각의 오차분포를 나타낸 것이다. 일부분 기준점의 경우에는 표준오차가 5개의 기준점을 배치한 측정번호 50번 부근에서 최소였고 선박의 後面으로 스트림이 조합되어 거리가 증가할수록 오차가 누적되며 전과됨을 알 수 있었다. 증가된 오차분포는 다시 선두부의 기준점이 배치된 부분에 가까울수록 점차 감소하고 있음을 알 수 있다. 이에 비해 5개의 일반 기준점과 함께 pass point를 동시에 사용하여 해석한 경우에는 全面에 걸쳐 고르고 낮은 오차분포를 보임으로써 monitoring시 pass point의 효용성을 입증할 수 있었다. 두 해석에서 표준오차의 차도 역시 거리가 증가할수록 점차 증가하다가 감소하는 추세를 볼 수 있다.

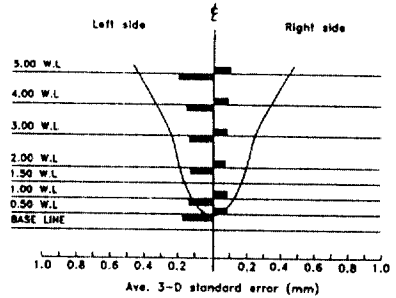
3.3 Monitoring

3.3.1 단면별 오차분석

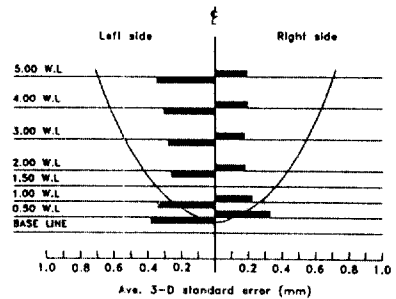
각 단면에 배치된 미지점에 대한 오차를 분석하기 위해 다중사진기 시스템으로 선박의 각 부분 별로 해석한 결과를 형상이 복잡한 선두부의 단면 FP, 9, 8과 선미부의 단면 1에 대해 오차를 도시하였다. 여기서 우측면은 기준점이 前面에 배치된 면이고 좌측면은 기준점 없이 해석된 면이다. Fig. 10의 단면 FP에서 우측단면의 오차분포는 약 80 μm ~120 μm 였고 좌측단면은 약 120~210 μm 로 1.5배 정도 크게 나타났으며, 특히 1.0 WL에서는 220 μm 로써 최대로



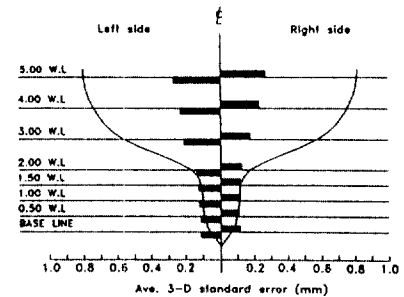
a) section FP.



b) section No. 9



c) section No. 8



d) section No. 1

Fig. 10. The positional standard error of unknown points.

- (a) Water level 5.25 m
- (b) Water level 4.0 m

나타나고 있다. 단면 9에서도 역시 유사한 현상으로 나타났으며 기준점이 배치된 우측단면은 고른 오차의 분포를 보이나 좌측면은 촬영거리가 정확한 2.00 WL(water level)에서 최소로 나타나고 있다. 단면 8은 우측이 약 $200\ \mu\text{m}\sim 320\ \mu\text{m}$, 좌측이 $260\ \mu\text{m}\sim 380\ \mu\text{m}$ 로 단면 FP와 단면 9에 비해 다소 크게 나타나고 있어 단면의 폭이 넓어짐에 따라 촬영각도가 경사지게 되고 심도가 동일하지 않음으로 인한 영향이라 판단되며 이 경우 비측정용 사진기와 semi-metric camera로 보조 촬영하여 정확도를 향상시킬 수 있을 것이다. 역시 WL2.00을 기준으로 상하로 증가 양상을 보이고 있다. 선미부의 오차양상은 선두부에 비해 형상이 복잡하고 폭이 증가하기 때문에 촬영거리의 차가 상단과 하단에서 크게 나타나 심도의 영향 및 경사촬영, 미지점의 좌표측정시의 오차로 생각되며 전반적인 오차의 양상은 선두부의 양상과 유사하다. 단면 1에서도 유사한 양상을 보이나 전체적으로 $100\ \mu\text{m}\sim 280\ \mu\text{m}$ 의 분포로 작게 나타나고 있어 다중사진기를 이용, 一面기준점으로 全面 해석하여 monitoring할 수 있는 가능성을 엿볼 수 있다. 단면에 대한 오차분석을 실시한 결과 전체 선박에 있어 단면의 오차를 $80\ \mu\text{m}\sim 300\ \mu\text{m}$ 로 全面을 해석할 수 있음으로써 선박 및 정밀부품의 monitoring이 가능하였다.

3.3.2 水位 별 오차분석

선박의 全面에 대해 수위별로 해석오차를 비교하여 Fig. 11에 나타냈다. 측정용 사진기, semi-metric 사진기, 비측정용 사진기로 촬영한 총 36매로 조합 해석한 결과로서 WL5.25에서 一面에 고르게 배치된 기준점을 이용하여 해석한 경우 前面에서는 중앙에서 좌우로 거리가 증가할수록 $208\ \mu\text{m}\sim 736\ \mu\text{m}$ 로 오차의 증가양상을 보이고 있으나 pass point와 조합하여 기준점을 사용하였을 경우에는 $130\ \mu\text{m}\sim 236\ \mu\text{m}$ 로 고르게 나타나고 있고, 後面에서도 전체적으로 一面기준점을 사용함에 따른 오차분포가 크게 나타내고 있는 것과는 달리 pass point와 조합한 경우가 약 1/2로 감소된 오차분포를 보임으로써 다중 사진기 시스템으로 一面의 기준점과 pass point를 조합하여 이용함으로써 양호한 결과로 全面을 해석할 수 있었다. WL4.0에서도 역시 유사한 양상을 보임으로써 monitoring의 가능성을 뒷받침 해주고

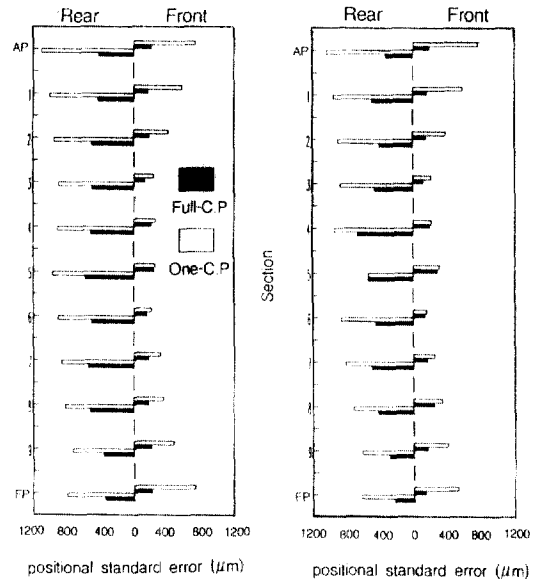


Fig. 11. The position standard error of water level.

있다. 前面부분은 기준점 및 pass point가 배치된 면이고 後面은 기준점이 배치되지 않은 면으로 WL5.25와 WL4.0공히 前面에서 pass point를 사용하지 않고 해석한 경우에 비해 pass point를 사용한 경우가 현저한 오차의 감소를 보이고 있다. 또한 기준점이 배치되지 않은 後面은 기준점이 배치된 front에 비해 비교적 큰 오차분포를 보이나 역시 pass point를 사용함으로써 현저한 오차감소를 보이고 있다.

Table 6은 다중사진기 시스템으로 얻은 총 36매 (metric 12매, semi-metric 10매, non-metric 14매)를 수위별로 다중사진기 시스템 프로그램에 의하여 동시에 해석하여 얻은 결과와 선박의 제작 설계값을 비교한 것으로 $0.1\ \text{mm}\sim 4.6\ \text{mm}$ 의 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 이는 선박제작시의 오차로 사료된다. 또한 본 해석의 결과로부터 수위별로 각 단면에 대한 monitoring을 할 수 있었다. 또한 선형이 단순한 WL에서 보다 선형이 복잡한 WL에서 오차가 크게 나타나며 동일 WL에서도 선두부와 선미부에서 크게 나타나고 있어 복잡한 부분의 제작시 오차발생의 가능성이 커짐을 알 수 있다.

Fig. 12는 다중사진기 시스템에 의해 해석한 각 단면의 결과를 plotting한 것이다.

Table 6. Comparison Measured Values by M.C.S with Design Values for Ship. (mm)

Section	A.P	1	2	3	4	5	6	7	8	9	F.P	
5.25 WL	m.c.s	420.1	442.3	449.0	449.7	449.1	449.3	449.5	446.9	391.7	259.5	34.0
	d.v	432.8	444.5	451.9	451.9	451.9	451.9	451.9	446.1	392.0	259.9	33.8
	δ	-3.7	-2.2	-2.9	-2.2	-2.8	-2.6	-2.4	0.8	-0.3	-0.4	0.2
4.00 WL	m.c.s	349.7	406.5	439.6	450.4	448.7	449.7	450.3	428.0	341.9	181.9	5.9
	d.v	354.3	411.0	443.5	451.9	451.9	451.9	451.9	430.0	345.4	186.0	5.8
	δ	-4.6	-4.5	-4.1	-1.5	-3.2	-2.2	-1.6	-2.0	-3.5	-4.1	0.1
2.00 WL	m.c.s	-	90.1	322.5	403.1	438.3	444.1	418.8	354.1	232.3	107.3	52.9
	d.v	-	94.2	327.0	407.7	440.0	446.9	422.6	358.2	236.0	108.2	51.0
	δ	-	-4.1	-4.5	-4.6	-1.2	-2.8	-3.8	-4.1	-3.7	-0.9	1.9

* m.c.s: Multi-camera system, d.v: Design value, δ : Difference.

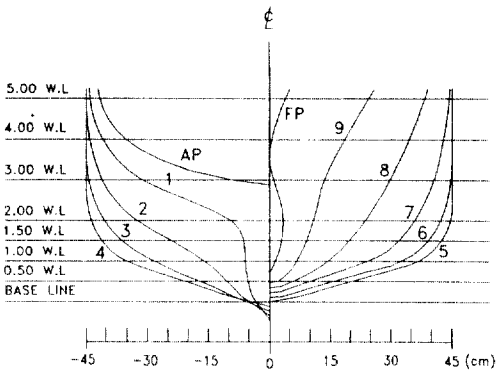


Fig. 12. Monitoring of each sections for ship.

선박의 monitoring에서 최종적으로 얻어진 274점의 미지점에 대한 3차원 좌표를 이용, AutoCAD R12로 모델링하였다. 미지점의 수가 부족하여 만족할 만한 성과는 얻지 못하였으나 자동좌표측정기를 이용한다면 단 시간에 많은 점의 측정이 가능하므로 보다 양호한 모델링이 가능할 것이다.

4. 결 론

구조물의 monitoring을 보다 효율적으로 하기 위해 다중사진기시스템을 구축하고 simulation 및 실험적 고찰을 행함으로써 다음의 결론을 얻었다.

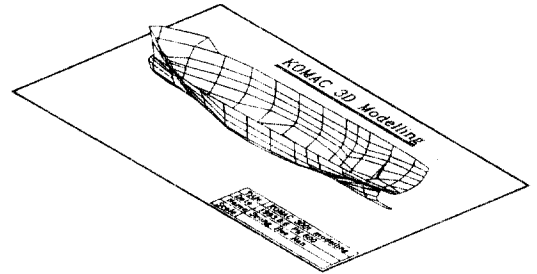


Fig. 13. 3 Dimensional modeling of tested object.

1) Pass point를 一面에 배치, 하나의 基線으로부터 기준점측량하여 구조물의 全面을 해석함으로써 기준점의 좌표변환으로부터 발생하는 오차를 줄일 수 있었으며 pass point로서는 球形측정점이 적합함을 알 수 있었다.

2) 다중사진기 시스템으로 수렴촬영한 경우 semi-metric 사진기보다 X, Y, Z좌표에서 모두 양호하고 스트리프해석에 있어서도 위치기준오차를 약 790 μm 로 얻을 수 있었으므로 다중사진기 시스템의 가능성과 효용성을 엿볼 수 있었다.

3) 복잡한 형상의 선두부와 선미부는 중앙부분에 비해 다소 심도의 영향으로 오차의 증가추세를 보였으나 비측정용 사진기로 접근, 추가 촬영하여 정확도를 약 20% 정도 높일 수 있었다.

4) 선박모형을 다중사진기시스템을 이용하여 총

36매의 사진으로 monitoring한 결과 표준오차가 X, Y좌표에서는 약 70~110 μm , Z좌표는 약 150~230 μm 로 얻어져 복잡한 구조물 全面的 3차원 모델링을 위한 정밀해석은 물론 monitoring 및 순간변형 해석의 가능성을 제시할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초(90-08-00-05) 연구비 보조로 수행된 것으로 한국과학재단에 감사드립니다.

참고문헌

1. Kang, J.M. Oh, W.-J., and Han, S.-H., "A Study on the Accuracy Improvement of Very Close-Range Photogrammetry", *ISPRS XVII Congress Commission V*, Vol. XXVX, pp. 203-208, 1992.
2. 강준묵, 이진덕, "Collinearity condition에 의한 C. R.P convergent case의 정확도 해석에 관한 연구", **한국측지학회지**, 제 6권, 제 2호, 1985, pp. 56-72.
3. 강준묵, 한승희, "Multiple method에 의한 원형스트립 조합의 특성", **대한토목학회 논문집**, 제 9권, 제 2호, 1989, pp. 89-95.
4. Clive, S.F., "Dimensional Characterization of a Large Aircraft Structures by Photogrammetry", *PE & RS*, Vol. 58, No. 5, May, 1992, pp. 539-543.
5. Jeyapalan, K. and Walton, M.M., "The Feasibility of using Terrestrial Photogrammetry in the Long term Structural Movements of a Bridge", *ASPRS-ACSM Annual Convention Vol. 7, Non-Topographic Photogrammetry*, pp. 46-80, 1987.
6. Alf Pettersen, Tech. Mgr., Metronor AS, "Metrology Norway System-An On-Line Industrial Photogrammetry System", *ISPRS XVIIIth Congress, Commission V*, 1992, pp. 43-49.
7. Haim, B.P., "Deformation Analysis by Close-Range Photogrammetry", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 51, No. 10, pp. 1561-1567, 1989.
8. Kim, B.-G., "Development of a Photogrammetric System For Monitoring Structural Deformation of the STURGEON BAY Bridge", University of Wisconsin Madison, Ph.D. 1989.
9. Hintz, R.J., Karakadas, C. and Kang, J.-M., "Analysis of Pavement Cracking and Rutting Using Close-Range Photography", *PE & RS*, Vol. 55, No. 2, 1989, pp. 217-221.
10. Koo, T.K. and Aw, Y.B., "A Three-Dimensional Visualization Approach to Traffic Accident Mapping", *PE & RS*, Vol. 57, No. 7, 1991, pp. 921-925.

(接受 : 1993. 8. 28)