

근접사진측량에 의한 3차원 변형해석

3 Dimension Deformation Analysis by Close-Range Photogrammetry

배연성¹⁾ · 오원진²⁾ · 한승희³⁾

Bae, Yeon Soun · Oh, Won Jin · Han, Seung Hee

¹⁾ 충청대학 건설환경시스템과 교수(E-mail : baey@sok.ac.kr)

²⁾ 충청대학 지적지형정보시스템과 교수(E-mail : wjoh@sok.ac.kr)

³⁾ 천안공업대학 토목공학과 교수(E-mail : shehan@cntc.ac.kr)

Abstract

This study try to surface deformation analyzing and 3-D monitoring of hydro structure by close-range photogrammetry technique using 35mm metric camera. For this, the lens distortion parameters were acquired for 21mm super-wide-angle lens which is mounted in 35mm metric camera. After that, the system designed for absolute deformation analysis of object surface, and examined the application validity. Also, optimum photographing condition was derived by calculated the standard deviation of this system. This system can monitor periodically changing of surface area, volume and deformation precisely after placed plate underwater. Finally, this paper suggested efficiency of absolute deformation analysis by using small format camera.

1. 서론

35mm 카메라를 이용한 근접사진측량기법은 정밀측정을 요하는 다양한 분야에서 이용되어 왔으며, 특히 소형 구조물에 대한 정밀해석에 요구되는 렌즈의 검정방법과 정확도 향상을 위한 측정기법의 개발에 관한 연구도 꾸준히 진행되어 왔다. 또한 구조물의 절대변위 및 변형 측량분야에서도 소형 카메라를 이용한 사진측량기법의 적용에 다양한 연구가 진행되어 왔다. 이러한 연구에서 일정 기간의 주기로 절대변형측정을 위해서는 절대위치 확보 방법이 매우 중요하다.

일반적으로 수중에 존재하는 많은 구조물의 표면에는 다양한 미생물과 이끼종류가 그 표면에 서식하게 된다. 이러한 생물들로 인하여 수중구조물의 표면은 변화 또는 변형되어 구조물의 수명은 물론 물의 흐름을 방해하여 구조물의 내구성도 감소시킬 수 있으며, 물의 이용 측면에서도 문제가 발생할 수 있다. 특히 댐이나 저수지로부터 발전소로 연결하는 각종 수로나 상하수도관의 내부 표면에 서식하는 생물들은 여러 가지 측면에서 제거할 필요가 있다. 이를 위해 이들의 서식 및 성장특성을 연구하고, 나아가 각종 생물체들의 서식 및 성장을 억제할 수 있도록 구조물의 표면을 처리하는 것이 이상적일 것이다. 이러한 수중구조물의 최적 표면처리방법을 도출하기 위해 표면처리를 각각 다른 방법으로 화학 처리한 일정 크기의 8개 steel plate를 개수로의 수중에 설치하고 주기적으로 plate의 표면에 서식하는 생물들의 성장특성 및 표면의 변화특성 등을 사진측정기법을 이용하여 조사하고자 하였다. 이 연구를 수행함에 있어 plate 표면에 대한 3차원 해석은 절대적 변화량으로 정밀측정 하여야 함에 따라 소규모 영역에 대한 정밀 3차원 측정에 효율성이 입증된 35mm 소형카메라를 이용한 근접사진측량기법을 도입하였으며, 주기적 관측을 통해 절대 변화량을 도출하기 위한 시스템을 설계, 제작하여 적용하고자 하였다. 특히 소규모 영역에 대한 변위·변형 해석에 필요한 절대위치 확보방안을 측정시스템에 적용하여 안정적으로 절대변형량을 도출하고 이를 모니터링 하고자 한다.

2. 촬영시스템 설계

2.1 초광각 렌즈의 왜곡보정계수

렌즈를 통해 사진에 나타난 상과 대상물과의 투영관계로부터 대상물의 공간적 좌표를 결정하는 사진측정학에서는 렌즈왜곡이 상의 위치를 변화시키므로 이에 대한 보정은 사진측량의 정확도 향상에 매우 중요하다. 특히 왜곡이 큰 35mm 비측정용 렌즈의 경우 방사방향 및 접선방향의 렌즈왜곡 보정계수 도출은 근접사진측량을 이용한 정밀측정분야에서는 중요한 의미를 지닌다.

본 연구에서는 측정용 카메라로서 Leica R5 Elcovision을 사용하였다. 렌즈는 초점거리 21mm의 LEITZ WETZLAR Super Angulon-R 4/21을 사용하였다. 사용한 렌즈의 왜곡보정계수 도출을 위해 1"(2.54cm) 간격의 정교한 선을 필름면에 새겨 총 100점의 교차점을 갖는 격자판을 제작하였다. 이 격자판의 교차점 좌표는 해석도화기를 이용하여 좌표를 취득하였으며 2회 관측한 결과 x, y좌표의 평균 표준편차가 각각 $4\mu\text{m}$, $6\mu\text{m}$ 이었다. 이 격자판에 대한 촬영거리는 220mm로 격자판 위의 네 모서리와 중앙부 및 상·하·좌·우등 총 9군데에서 수렴촬영 하였다. 촬영 시 f-stop은 22, 셔터속도는 1/4~1/8 sec 그리고 필름은 Kodak Elite Chrome ASA 200을 사용하였다.

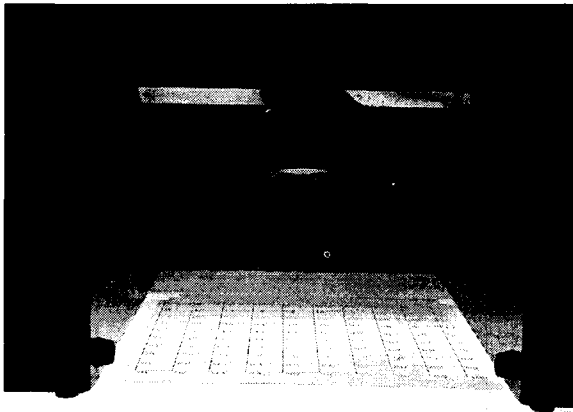


그림 1 사진 촬영

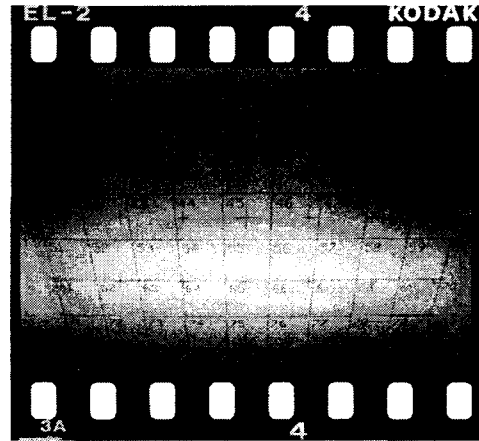


그림 2 촬영 결과

렌즈왜곡보정계수 도출을 위해 해석 모델을 Matlab[®]을 이용하여 프로그램화 하였으며, 서로 다른 위치에서 촬영한 6장 이내의 필름에 촬영된 교차점들의 상 좌표와 해석도화기로 얻은 교차점 좌표를 이용하여 해석 할 수 있도록 하였다. 본 연구에서 촬영한 필름은 총 9장으로 그 중 5~6매 로 해석한 결과가 표 1과 같다.

표 1 렌즈왜곡계수 산출 결과

focal length (mm)	K_1	K_2	P_1	P_2
23.3535	-1.612973e-004	1.593499e-007	-7.547898e-006	-4.174331e-005
23.2876	-1.619733e-004	1.643198e-007	-1.028288e-005	-4.237755e-005
23.3673	-1.656559e-004	1.732559e-007	-4.588328e-006	-4.650937e-005
23.2570	-1.667819e-004	1.848960e-007	-1.090974e-005	-4.352960e-005

2.2 절대위치 측정시스템

각 steel plate의 표면에 대한 주기적인 절대변형량을 측정하기 위해 그림 3과 같이 정삼각형의 위치로 세 개의 일자형 볼트를 plate에 완전히 고정하였으며, 각 볼트의 일자 홈 방향은 삼각형의 중심을 향하도록 하였다. 또한 삼각형의 중심에는 지름 약 2mm, 높이 약 5mm 크기의 원통형 볼트를 고정하여 절대변화량 관측의 신뢰성을 점검할 수 있도록 하였다.

각 steel plate의 세 개의 볼트머리에 고정적으로 한 위치로 만 장착하기 위해서 카메라 고정장치의 바닥에는 볼트머리의 홈에 적당하도록 세 개의 발을 장착하였다. 지름은 약 3mm, 길이는 3~5mm 크기의 원뿔 형태로 제작하였고, 카메라 틀의 바닥에 완전히 고정하였다. 좌·우 사진의 중복도는 자유롭게 조절이 가능하도록 설계하였으며, 촬영거리는 약 200mm 전·후에서는 자유롭게 조절이 가능하도록 하였다. 촬영 틀의 입체촬영 영역 가장자리에는 동일평면상에 8점의 기준점을 설치하였다. 이 촬영시스템의 초기값 산출과 아울러 측정값의 타당성을 검토하기 위해 두께 10mm의 평면유리 위에 격자판을 붙여 입체 촬영한 후 해석도화기를 이용하여 초기 평면성을 검토하였다.

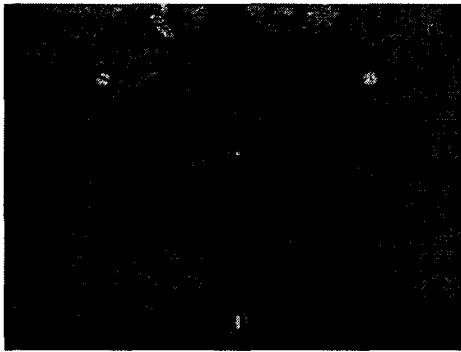


그림 3 Steel Plate

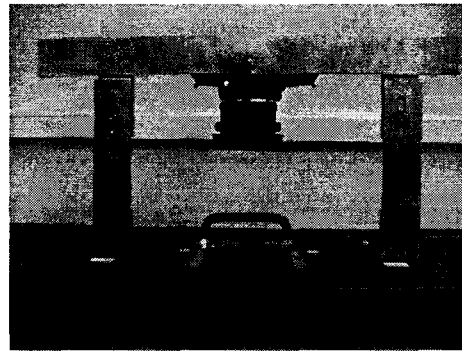


그림 4 측정 시스템

3. Steel plate 촬영 및 수치자료 획득

정밀 사진측정을 위해서는 우선 요구되는 정확도에 따라 촬영계획이 수립되어야 한다. 촬영계획시에는 정확도와 매우 밀접한 관계가 있는 사진축척과 중복도, 수렴각, 상 좌표에서 얻을 수 있는 추정 표준편차 등을 정하여 표준오차를 산출하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 한 쌍의 입체사진으로 3차원 좌표를 산출할 때 기대할 수 있는 표준오차를 다음 식에 의해 산출 하였다.

$$m_x = \frac{D}{C} \frac{(1 + \tan\alpha \tan\phi)}{(1 - \tan(\alpha - \phi) \tan\phi)} m$$

$$m_y = \frac{D}{C} \frac{\sec\phi}{(1 - \tan(\alpha - \phi) \tan\phi)} m$$

$$m_z = \frac{D/C}{B/D} \sqrt{2} \frac{(1 + \tan\alpha \tan\phi)}{(1 - \tan(\alpha - \phi) \tan\phi)} m = \frac{\sqrt{2}}{B} D \cdot m_x$$

35mm 카메라에서 초점거리 21mm의 초광각 렌즈를 이용하여 직각수평촬영으로 3차원 해석을 한다고 가정 할 때 이상의 정확도 예측모델로 3차원 좌표에 대한 표준오차를 산출한 결과 Z축 좌표에 대한 평균 표준오차를 100 μ m 정도로 얻기 위해서는 상 좌표에서 얻을 수 있는 추정 표준편차를 10 μ m라 가정할 때 중복도는 50%, 이 때의 기선길이는 110mm, 사진축척을 1:6으로 직각수평 촬영한다면 가능할 수 있다. 이 때 상 좌표에서 얻을 수 있는 추정 표준편차를 20 μ m로 한다면 X, Y, Z 좌표에 대한 표준오차는 모두 2배 큰 값으로 얻을 수 있게 된다. 또한 중복도의 변화에 대한 표준오차의 변화는 60%를 기준으로 50%, 40%로 10%씩 줄여갈 때 Z좌표에 대한 표준오차는 각각 약 20%, 17%씩 감소한다. 촬영에 사용한 필름은 Kodak Elite Chrome ASA 400 슬라이드 필름이다. 제작한

steel plate는 댐과 발전소를 연결하는 개수로 측면에 장착시킨 후 약 2개월의 주기로 꺼내어 촬영하였다. 제작한 steel plate는 총 8개 종류로 수로의 상류지역과 하류지역에 시기를 조금씩 달리하여 설치, 관측하였다. 촬영한 필름은 MPS-2 해석도화기를 이용하여 3차원 해석을 하였다. 사진 좌·우의 내부표정에 대한 표준편차는 각각 $10\mu\text{m}$ 이내였으며, steel plate의 표면에 대한 3차원 해석을 위해 약 $130\times 100\text{mm}$ 영역에 대해 각 plate 약 1500~2000점에 대한 좌표를 취득하였다. MPS-2에서는 수동으로 측정점들의 위치를 정하였으며, 경사변환점들을 제외하고 가능한 한 등 간격으로 배치하고자 하였다. 모델 영역에 대한 상호표정 및 절대표정 결과도 매우 양호하여 전체 영역에서 매우 안정된 좌표측정이 가능하였다.

4. 결과분석

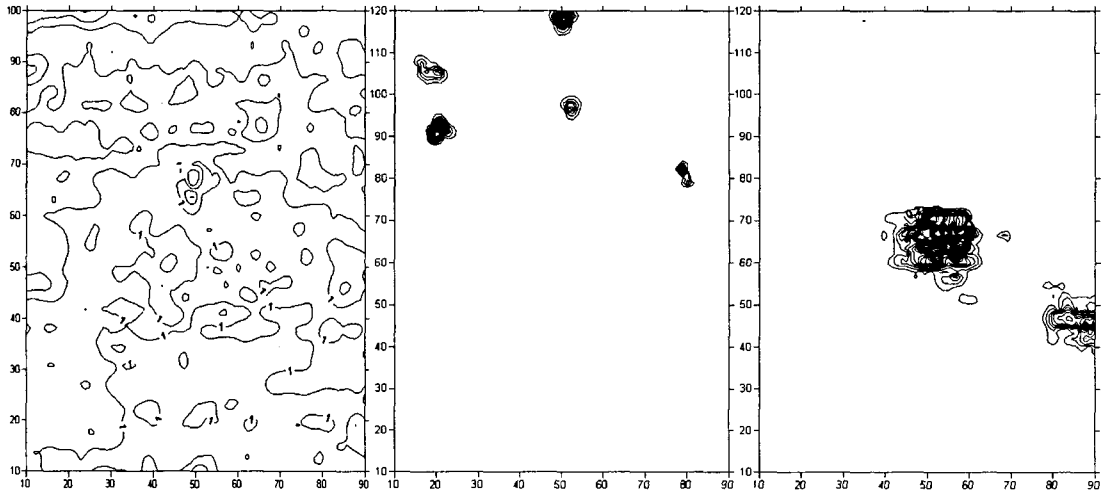


그림 5 a2-a1

그림 6 b4-b1

그림 7 c4-c1

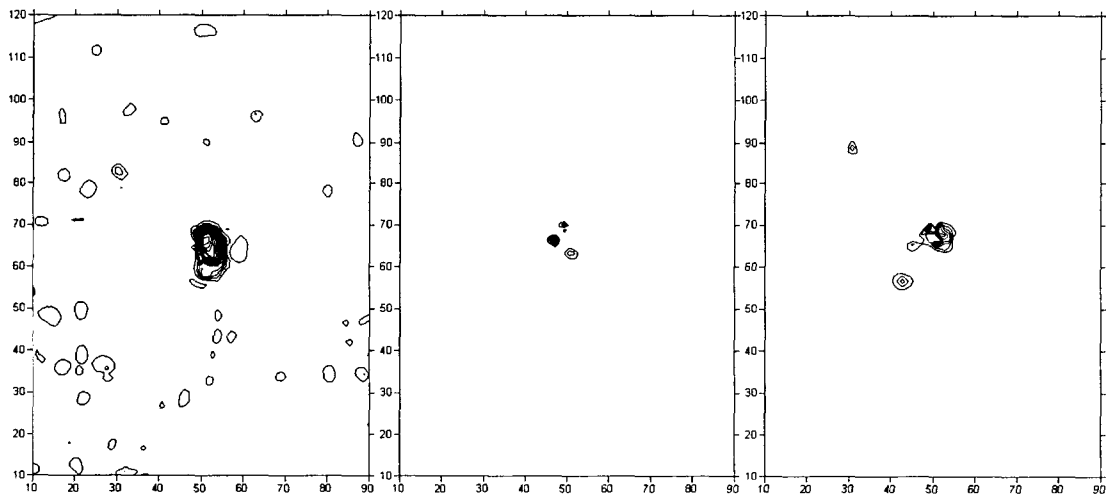


그림 8 d3-d1

그림 9 e5-e1

그림 10 f4-f1

촬영한 입체사진으로부터 steel plate표면의 입체촬영 영역에 대한 3차원 측정에는 해석도화기인 MPS-2를 이용하였다. 해석영역의 크기는 steel plate 중심부에서 약 $80\times 110\text{mm}$ 이었으며, 평균 2000점의 3차원 좌표를 측정하였다. 그림 5부터 그림 10은 각 plate의 표면 변화량을 $100\mu\text{m}\sim 200\mu\text{m}$ 등고선으로 표현한 결과이다.

표 2 Steel Plate 표면의 체적 변화량

Difference		a2-a1	b4-b1	c4-c1	d3-d1	e5-e1	f4-f1
Volume (mm ³)	Positive	6031	27	252	267	6	20
	Negative	0	0	0	1840	0	0
	Net	6031	27	252	-1573	6	20

표 2는 각 steel plate 표면의 초기 측정값과 일정 기간 후에 측정한 표면과의 차이를 체적으로 계산한 결과이다. 각 plate중 'D' plate가 표면의 침식이 두드러지게 나타난 반면 다른 plate는 침식은 발생하지 않고 부분적으로 이끼류가 서식하는 것으로 나타났다. Steel plate A의 경우 수중에서 2개월이 경과한 후 관측한 a2는 표면침식과 기타 서식물이 발견되지 않았으나 steel plate와 표면처리부분이 벌어져 대단히 큰 체적의 변화가 나타난 것처럼 결과가 나타났다. 또한 다시 2개월 후에는 완전히 표면처리부분이 박피되어 더 이상의 관측이 곤란하였다. Steel plate B의 경우 수중에서 4개월이 경과될 때까지 아무런 변화가 없었으나 6개월이 경과한 후 약간의 이끼류가 관측되었다. Steel plate C의 경우도 B plate와 비슷한 경우로 6개월이 경과한 후에 다소 많은 이끼류가 부분적으로 서식한 것으로 나타났다. Steel plate E 및 F도 비슷한 경우이나 plate D의 경우는 2개월 및 4개월이 경과됨에 따라 상당히 많은 표면의 변화가 있었다. Plate D의 경우는 초기에는 다량의 이끼류가 서식했으며 시간이 경과함에 따라 빠르게 표면이 침식되는 양상을 보였다.

5. 결론

소규모 영역에 대한 정밀 3차원 측정에 초점거리 21mm의 초광각 렌즈를 장착한 측정용 카메라인 Leica R5 Elcovision에 부착하여 렌즈의 정오차 보정계수를 도출하고, 절대변형측정이 요구되는 8개의 steel plate의 표면에 대해 촬영거리 약 220mm의 근접사진측정에 적용한 결과 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

1. 본 연구에서 설계한 촬영시스템은 요구정확도에 따라 편리하게 조정이 가능하며, 주기적 관측으로부터 절대변위량 측정이 요구되는 분야에서 효율적으로 활용이 가능할 것으로 사료된다.
2. 상대적으로 왜곡량이 큰 초광각 렌즈라도 정확한 왜곡계수를 도출한다면 3차원 정밀측정을 요하는 대상에 이용하여 정밀측정이 가능함을 알 수 있다.

감사의 글

본 논문은 한국과학재단의 해외 Post-doc. 연수지원비에 의하여 연구되었으며 연수과정에서 많은 도움을 주신 University of Tasmania의 Jon Osborn 교수께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Abdel-Aziz YI, Expected Accuracy of Convergent Photos, Photogrammetric Engineering, pp. 1341-1346, 1974
- (2) Brett, T. M., Head-Loss Measurements on Hydroelectric Conduits, Proceedings of American Society of Civil Engineers, Journal of Hydraulics Division, Vol. 106, No. HY1, January, pp.173-190, 1980

- (3) Brown, D. C., Close-Range Camera Calibration, *Photogrammetric Engineering*, 37(8) pp.855- 866 , 1971
- (4) C. S. Fraser, Multiple Exposures in Non-Metric Cameras Application, *PE & RS Vol.42*, pp.62 -72, 1987
- (5) G.E. Karras, G. Mountrakis, P. Patias, E. Petsa, Modeling Distortion of Super-Wide-Angle Lenses for Architectural and Archaeological Application, *International Archives of Photo- grammetry and Remote Sensing*, 32(5), pp.570-573, 1998
- (6) J. Heikkila, Silven O., Accurate 3-D measurement using a single video camera, *Int. Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence.*, Vol.10, No.2, 1996
- (7) Roger Y. Tsai, A Versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-Shelf TV Camera and Lenses., *IEEE Journal of Robotics and Automation*, Vol. RA-3, No.4, August, pp.323-343, 1987
- (8) Osborn JE, Design and Calibration of Close-Range Stereo Photogrammetric Systems in Biology and Biomedicine, *Univ. of Tasmania*, PhD thesis, pp.107-112, 1995