

원거리 측정정확도 향상을 위한 Zoom Lens의 활용성 제고

The Consideration of Zoom Lens's Application for the Enhancement of Measurement Accuracy in Long Distance

강 준 목* · 엄 대 용** · 박 준 규***

Kang, Joon Mook · Um, Dae Yong · Park, Joon Kyu

1. 서 론

사진측량에 있어 양질의 영상획득은 최종적인 측정정확도에 지대한 영향을 미치게 되므로 사진측정 학자들은 고해상도의 영상과 기하학적 안정성을 확보한 영상획득에 많은 관심을 가지고 있다. 최근 들어 높은 해상도와 안정성을 겸비한 측정용 카메라가 다양하게 개발되어 활용되고 있고 이들로부터 획득한 영상을 이용하여 높은 측정정확도의 확보가 가능하게 되었다. 그러나 측정하고자 하는 대상물에 접근이 곤란하여 원거리 측정이 불가피한 경우 이들 영상획득 매체를 대다수가 제한된 해상도와 초점거리를 이용하고 있으므로 해상도의 저하와 이로 인한 측정정확도의 저하를 감수할 수밖에 없는 실정이다.

줌렌즈는 카메라의 제한된 해상도를 극복할 수 있을 뿐 아니라 대상물에의 접근이 곤란하여 원거리 측정이 불가피할 경우 대상물의 영상획득 및 측정을 가능케 할 수 있다는 장점을 지니고 있어 사진측량 분야에서의 많은 활용 잠재력을 지니고 있다. 그러나 이러한 줌렌즈는 연속적으로 변화하는 렌즈세팅에 따른 기하학적 불안정으로 인한 정확도의 저하와 영상왜곡 보정을 위한 검정의 어려움으로 인하여 그 적용이 어려운 실정이다. 만약 줌의 범위 전체에 걸쳐 기하학적 안정성이 확보될 수 있다면 대축척의 영상의 획득이 가능하여 질 것이며 결과적으로 높은 측정 정확도의 유지가 가능하여 다양한 분야에서의 적용성을 향상시킬 수 있을 것이다. 이에 본 연구에서는 연속적으로 변화하는 줌렌즈의 세팅에 따라 렌즈

보정을 수행하여 왜곡계수 및 왜곡특성을 도출하고 이를 통한 줌렌즈의 기하학적 안정성을 향상시키고자 하였으며 줌렌즈 세팅에 따른 보정영상을 이용한 3차원 측정정확도 분석을 통해 줌렌즈의 활용가능성을 제시하고자 하였다.

2. 검정판 제작 및 검정실험 설정

줌렌즈는 초점거리가 연속적으로 변화하고 이에 따라 왜곡량과 특성 역시 상이하므로 이들에 대한 검정을 위해서는 초점거리범위 및 단계별 렌즈세팅 범위의 결정이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 초점거리 범위가 28-300mm인 줌렌즈를 사용하였으며 각각 28, 35, 50, 70, 100, 200, 300mm로 설정하여 초점거리에 따라 독립적으로 실험적 방법인 연직선(plumb line) 검정방법을 이용하여 검정이 이루어질 수 있도록 계획하였다. 이를 위해 3×4.5m 크기의 강재를 이용하여 검정판(calibration plate)(그림 1)을 제작하고 와이어를 이용하여 촬영방향에 직각이 되도록 조정하여 고정하였으며 검정판 표면에 2cm크기의 정방형 격자를 형성하여 연직선으로 이용하였다.



그림 1 calibration plate

* 정회원 · 충남대학교 토목공학과 교 수
** 정회원 · 충남대학교 대학원 토목공학과 박사과정
*** 정회원 · 충남대학교 대학원 토목공학과 석사과정

검정을 위한 영상의 획득에 있어 각 초점별 화각의 결정을 위해 LM guide를 사용하였으며 검정판과 LM guide가 연직수평의 상태가 되도록 조정하기 위해 각도 조절기와 선형이동장치를 장착하였다. 영상은 5.0m의 촬영거리에 고정하여 초점범위 전체에 걸쳐 7매의 영상을 획득하였으며 반복관측을 통한 기하학적 안정성의 검토를 위하여 전체 초점거리별 경우에 대하여 2회의 반복촬영을 실시하였다. 그리고 촬영시 카메라에 물리적 힘이 가해짐으로 발생할 수 있는 흔들림을 방지하기 위해 카메라와 컴퓨터를 USB Cable을 통하여 인터페이스(그림 2)하고 컴퓨터 상에서 카메라를 제어하였다. 촬영된 영상은 실시간 디스플레이를 통해 영상의 상태를 확인하고 저장할 수 있도록 하였다. 영상획득을 위해 사용한 매체로는 Fuji S1Pro Digital Camera를 이용하였으며 카메라와 줌렌즈에 대한 재원은 표 1에 제시하였다.

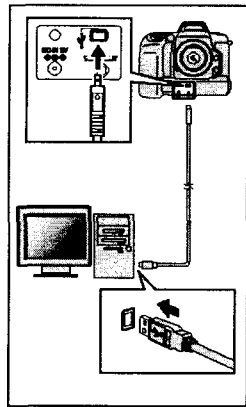


그림 2 Camera Control

3. 줌렌즈검정 및 왜곡특성분석

획득된 영상들에 대하여 영상좌표의 측정을 위해 부화소 위치측정기법을 적용하여 각각의 영상좌표를 획득하였다. 영상좌표의 획득에 있어 검정의 객관성을 높이기 위해 각 초점거리별로 획득된 영상에서

동일간격의 포인트를 선정하였으며 영상좌표와 초기 설정한 초점거리를 이용하여 각 plumb line에 대한 θ 와 ρ 를 관측방정식으로부터 구하여 각 세팅별 방사방향과 접선방향에 대한 왜곡계수를 산출하였다. 표 2는 렌즈 왜곡계수를 각 초점거리별 렌즈세팅에 따라 산출한 결과로서, 이들 계수는 렌즈의 정오차를 보정하여 기하학적 충실도가 보다 높은 시스템을 기반으로 한 영상분석을 가능하게 한다.

검정결과, 각 렌즈세팅에 따라 각 계수들의 값이 크게 달라짐을 확인할 수 있었으며 왜곡량에 가장 큰 영향을 미치는 K_1 의 경우 초점거리가 증가함에 따라 왜곡량도 큰 범위로 증가함을 볼 수 있으나 최대의 초점거리로 렌즈가 세팅되었을 경우에는 왜곡량이 감소하는 경향을 보이고 있다. K_2, K_3 의 경우 서로 각각 $1.5579 \times 10^{-6} \sim -0.099 \times 10^{-6}$ 과 $-0.00146 \times 10^{-6} \sim -0.000266 \times 10^{-6}$ 의 비교적 큰 편차를 보이고 있었다. 그러나 접선왜곡계수의 경우 일관된 경향을 보이지 않으며 매우 불규칙한 형태를 나타내고 있음을 알 수 있었다. 이와 같은 결과로부터 줌렌즈의 왜곡은 매우 크고 불규칙한 양상을 보이고 있음을 확인할 수 있었으며 측정분야에의 적용을 위해서는 보다 정밀한 검정을 통한 영상보정이 필수적으로 요구됨을 알 수 있었다.

줌의 작동에 따른 안정성을 검토하고 검정방법의 정확성을 규명하기 위해 동일한 조건과 렌즈세팅에 의해 2회 반복촬영을 실시하였다. 그리고 이들의 처리결과는 초기실험세팅 결과와 비교하여 그 편차를 구하였다. 표 3은 2회의 반복실험결과를 평균편차를 구하여 나타낸 것으로서 초기실험결과와 매우 근소한 차이를 보이고 있음을 알 수 있으며 이로부터

표 1. System Specification

Body	Camera	Fuji FinePix S1 Pro Interchangeable-lens SLR-type digital camera with Nikon F mount
	CCD sensor	23.3×15.6mm Super CCD
	Image File Size	3,040×2,016pixels/2,304×1,536pixels/1,440×960pixels TIFF-RGB, TIFF-YC, JPEG
	Storage Media	Slot No.1: SmartMedia Card(3.3V, 2MB to 64MB) Slot No.2: CompactFlash Card type II.
	Interface	USB, Video Out
Zoom Lens	Model	AF 28-300MM, 185D
	Lens Construction	15-14(includes 3Hybrid Aspheric lens elements & 2 Low Dispersion glass elements)
	Angle of View	75° - 8°
	Type of Zooming	Internal Focusing
	Minimum Focus	49.6in.(1.26m)/35mm, 23.6in.(0.6m)/200mm, 32.3" (0.82m)/300mm
	Macro Mag. Ratio	1:3.7

줌렌즈가 줌의 작동으로 인한 렌즈의 매개변수에 큰 변화가 없음을 보이는 것으로 동일한 초점의 렌즈세팅에서는 비교적 안정성을 유지하고 있음을 알 수 있었다.

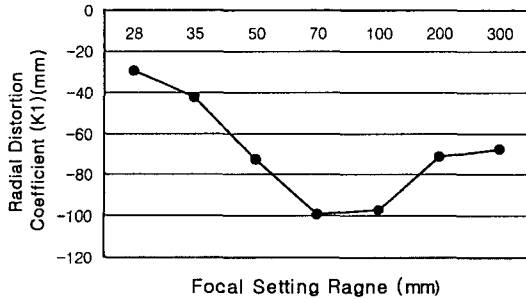


그림 3 Radial Distortion Coefficient (K1)

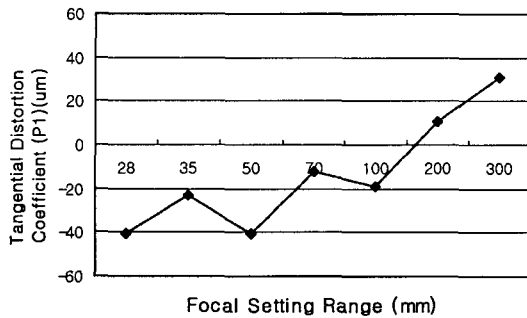


그림 4 Tangential Distortion Coefficient (P1)

4. 3차원 측정정확도 검증

줌렌즈의 검정결과를 이용하여 공간상에 배치한 타겟에 대하여 렌즈세팅별로 입체영상을 획득하여 3차원 위치오차를 분석하므로써 줌렌즈의 사용에 따른 측정정확도의 향상정도를 파악하였다. 타겟은 촬영거리 5m에서 촬영이 이루어졌을 경우 영상에 9pixel의 크기로 형상화 될 수 있도록 각 세팅별로 24mm, 20mm, 14mm, 10mm, 7mm, 4mm, 3mm의 원형(retro reflex sheet)으로 제작하여 이용하였으며 20개씩 총 140개의 타겟을 분석하였다.



그림 5 Test Plate

렌즈 세팅별 영상은 검정과정에서 설정한 촬영조건과 동일한 상태가 되도록 촬영거리 5m에서 고정하고 각각 세팅별로 수렴촬영에 의해 입체 영상을 획득하였다. 그리고 배치된 타겟들에 대해서는 정밀삼각측

표 2 렌즈왜곡계수

(단위 : $\times 10^{-6}$ mm)

	Focal Length Setting						
	300mm	200mm	100mm	70mm	50mm	35mm	28mm
k1	-67.45608791	-71.33794425	-97.32913101	-98.81422647	-72.51276666	-42.69713580	-29.8113375
k2	0.16656763	0.11994109	0.11944934	0.25117813	0.35691010	1.55795924	0.09872789
k3	-0.00057673	-0.00048788	-0.00039149	-0.00125353	-0.00146235	-0.00614019	-0.00026575
p1	30.92505707	10.46174799	-19.01475803	-12.33964679	-40.36877622	-22.84831042	-40.58044468
p2	-44.65792165	-81.96913401	-87.22144618	-94.54164132	-35.42153951	-19.2598024	-42.99151517
p3	0.11996092	0.7753387	0.93468260	0.52863585	2.51485073	-3.85546942	0.01336345

표 3 반복측정결과 (Residual of Calibration Coefficients)

(단위 : $\times 10^{-6}$ mm)

	Focal Length Setting							Average Residual
	300mm	200mm	100mm	70mm	50mm	35mm	28mm	
K1	-3.2191301	-4.31261803	-8.0706745	-11.57853124	2.719795988	-4.46558012	3.4141485	-3.644655643
K2	0.02400208	0.01728561	0.01922476	0.03762571	-0.0273441	0.26142466	-1.01689662	-0.097811129
K3	-0.00012448	-0.00003543	-0.00002233	-0.00011121	0.00016008	-0.00158447	0.000070525	-0.000235331
P1	-2.52757875	-4.770407422	-2.75929053	-1.2162099	5.88481248	-2.72275242	4.65611032	-0.493616603
P2	-5.23792165	-3.61453401	-2.98576618	-2.31808332	4.83399849	-3.0043164	4.23436483	-1.156036891
P3	0.01997537	0.0201007	0.0224296	0.17164885	-0.41061227	-0.39918062	-0.00318112	-0.082688499

k1,k2,k3 : coefficients of radial lens distortion
p1,p2,p3 : coefficient of tangential lens distortion

량을 실시하였으며 이때 테스트플레이트와 평행한 방향으로 두 점의 기선점을 선정하여 기선방향을 X축으로 설정하고 연직방향을 Z축, 이에 직각방향을 Y축으로 한 공간상의 3차원 직각좌표체계를 구축하였다. 이와 같은 실험을 통해 테스트 플레이트에 부착한 타겟을 영상분할방법과 위치측정방법을 이용하여 해석하고 렌즈왜곡 보정 전, 후에 대해 비교·분석을 수행하였으며 그 결과는 기준점측량에 의해 획득한 성과를 이용하여 세팅에 따라 X,Y,Z 표준오차의 형태로 표 4에 제시하였으며 그림 6은 이를 도시한 것이다.

표 4 Zoom Setting별 3차원 위치측정오차

setting		표준오차(mm)			※ 3차원 위치오차(mm)
		Sx	Sy	Sz	
28mm	Before	0.2295	0.2663	1.1569	1.2091
	After	0.2025	0.2416	1.0032	1.0516
35mm	Before	0.2022	0.2405	1.1832	1.2242
	After	0.1832	0.2272	0.9982	1.0400
50mm	Before	0.2105	0.2714	1.2512	1.2975
	After	0.1922	0.2536	0.9987	1.0482
70mm	Before	0.2488	0.2989	1.1143	1.1802
	After	0.2315	0.2448	0.8885	0.9502
100mm	Before	0.2213	0.2417	1.1203	1.1672
	After	0.2073	0.2249	0.9778	1.0245
200mm	Before	0.2525	0.2875	1.2716	1.3280
	After	0.2356	0.2618	1.1054	1.1602
300mm	Before	0.2188	0.2311	0.9874	1.0374
	After	0.1917	0.214	0.839	0.8868

$$\text{※ 3차원 위치오차} = \sqrt{S_x^2 + S_y^2 + S_z^2}$$

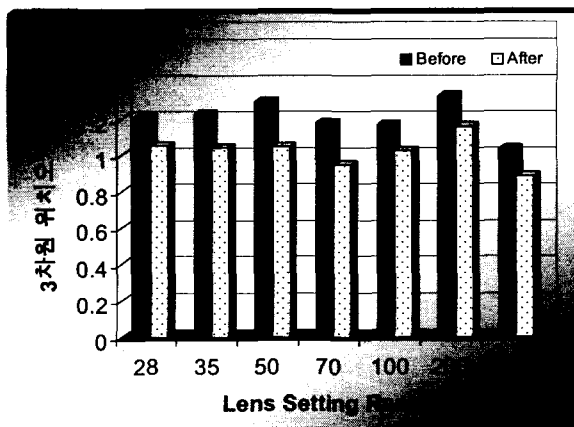


그림 6 렌즈세팅별 3차원 위치오차

줌렌즈를 이용한 3차원 측정의 가능성을 제시하기 위해 제작한 타겟 플레이트에 대한 렌즈검정 전·후의 정확도를 분석한 결과 각 렌즈세팅에 따라 다소의 차이를 보이고 있으나 전반적으로 보정후의 결과

값에서 약 12~20%의 향상된 측정 정확도를 획득할 수 있었다.

5. 결 론

본 연구는 줌렌즈의 검정을 수행하여 줌렌즈의 왜곡특성을 파악하는 한편 기하학적 안정성을 검토하고 3차원측정정확도에 대한 분석을 통해 정밀측정을 위한 줌렌즈의 활용가능성을 제시하고자 한 것으로 연속된 줌렌즈의 범위 중 7단계의 초점거리별 렌즈세팅에 대해 독립적으로 렌즈 검정을 수행한 결과 방사방향과 집선방향에서 매우 큰 왜곡량을 검출할 수 있었으며 각 렌즈세팅별 검정 결과를 이용한 3차원 위치측정 정확도를 분석한 결과 전반적으로 향상된 측정정확도를 획득 할 수 있었으므로 원거리측정 및 근접된 대상체의 정밀측정에 있어 줌렌즈의 활용가능성을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Fryer, J.G. (1996), Distortion in Zoom Lenses, Australian Journal of Geodesy, Photogrammetry, and Surveying, 44:49-59.
2. Anthony G. Willey & Kam W. Wong (1995) Geometric Calibration of Zoom Lenses for Computer Vision Metrology, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 61, No. 1, January, pp.69-74.
3. DongBin Chen & YiDong Huang (2000), Automated Calibration of a Zoom Lens CCD Image System for Videogrammetry, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XX XIII, Part B4, Amsterdam, pp. 180-185.
4. R.G. Willson (1994), Modeling and Calibration of Automated Zoom Lenses, PhD thesis, Carnegie Mellon University, January.
5. Wong, K.W., Y.Ke, M.Lew, and M.T.Obaidat (1991). Three-Dimensional Gaging with Stereo Computer Vision, SPIE Proceedings, 1526:17-26.
6. Burner, A.W., W.L.Snow, M.R.Shortis, and W.K.Goad (1990), Laboratory Calibration and Characterization of Video Camera, Proceedigs of ISPRS Symposium on CRP Meets Machine Vision, Zurich, 3-7 September, SPIE Proceedings, 1395:664-671.