

非測量用 寫眞機에 依한 精密機械部品의 monitoring에 關한 研究

A Study on the Monitoring of the parts of Precision Machine using Non-Metric Camera

姜 準 默* 吳 元 鎮**

Kang Joon-Mook Oh Won-Jin

裴 淵 昙***

Bae Yeon-Soung

要 旨

형상이 복잡한 정밀기계 부품은 설계시의 선형과 제작후의 선형에 대한 검증이 필수적이므로 정밀계측에 의한 신뢰성 있는 monitoring은 중요한 의미를 지니고 있다.

본 연구에서는 plumb line method로 왜곡보정한 비측량용 사진기로 정밀기계 부품인 스크류우에 대해 초근접 사진 측량을 실시하여 tortion, offset, section, thickness 등의 3차원적 변화를 정밀 해석하였다. 연구결과 비측량용 사진기에 의한 정밀기계 부품의 monitoring을 효율적으로 실시할 수 있었으며, 이의 적용 가능성을 제시할 수 있었다.

ABSTRACT

Identifying linear form of the parts of precision machine, precise monitoring is indispensable. Therefore, in this study, close-range photogrammetry being tried to screw one of the parts of precision machine, using non-metric camera that is calibrated by plumb line method. Also, it is analyzed three dimensional values of tortion, offset, section and thickness.

From results of this study, monitoring of the parts of precision machine was conducted efficiently using non-metric camera and possibility of this application was proved.

1. 序 論

근접사진 측량은 정교한 소형 문화재와 정밀 기계 부품의 해석을 위해 한 효율적인 방법으로 기대된다.^{5),7),8)} 일반적으로 측량용 사진기는 초점 거리가 몇개로 고정되어 있고, 최소 활영 거리에 제약을 받게 되므로 초근접 사진측량에서는 다소 어려움이 있다.^{2),3),8)} 반면 비측량용 사진기는 취급 및 표정이 용이하고, 초점거리를 자유롭게 조정할 수 있으며, 정확한 calibration

data 획득이 가능하므로 이러한 단점을 보완할 수 있어 첨단 부품의 정밀 측정을 비롯한 여러 분야에서 널리 이용될 수 있다.^{3),5),11)}

본 연구는 비측량용 사진기를 plumb line method로 왜곡에 대한 보정을 시도하고 정밀기계 부품을 활용, 다양하게 strip을 형성, Bundle 조정기법으로 해석한 후 이에 따른 오차 특성을 분석함으로써 비측량용 사진기에 의한 정밀기계 부품의 monitoring 가능성을 제시하는데 목적이 있다.

2. 實 驗

초점거리 35 mm 렌즈로 plumb line 을 2 중 노

* 忠南大學校 工大 教授

** 忠清專門大學 專任講師

*** 忠南大學校 大學院 博士課程

Table 1. Lens distortion coefficient of Nikon 801 non-metric camera. ($\times 10^{-6}$)

Dist. (m)	radial distortion coeff.			tangential distortion coeff.		
	K ₁	K ₂	K ₃	P ₁	P ₂	P ₃
0.2	35.22528555	-0.00233213	-0.00002475	21.17353445	94.49342935	-3.02924261
0.5	43.82876730	-0.03626487	0.00000921	-30.87500896	17.43285964	-0.74695714
1.0	53.17592457	-0.07958205	0.00005170	-20.93058837	7.74351767	-0.01338893
1.8	42.51753570	-0.03721015	0.00001845	9.84737198	25.69442983	-0.28874270
2.5	45.25648734	-0.07288144	-0.00004434	-35.56501602	4.81412724	-0.02369363
3.6	51.67515277	-0.05679317	0.00000550	-23.92409999	19.75099364	-0.29206888

출함으로써 격자가 형성되도록 하였다. Plumb line 이 음화상에서 10 $\mu\text{m} \sim 20 \mu\text{m}$ 의 굵기로 촬영되도록 사진기의 화각(44°)과 촬영 거리를 고려하여 연직으로 설치하고, 연직선의 평균 갯수는 긴 변에 약 10개, 짧은 변에 약 7개가 촬영되도록 0.2 m, 0.5 m, 1.0 m, 1.8 m, 2.5 m, 3.6 m 거리별로 촬영하였다.

각 거리별 방사 방향과 접선 방향에 대한 왜곡계수는 Table 1 과 같다.

각 거리별 왜곡계수를 구한 후 다음 다항식에 의하여 방사거리별 왜곡량을

$$\Delta r = k_1 r^3 + k_2 r^5 + k_3 r^7 \quad \dots\dots(1)$$

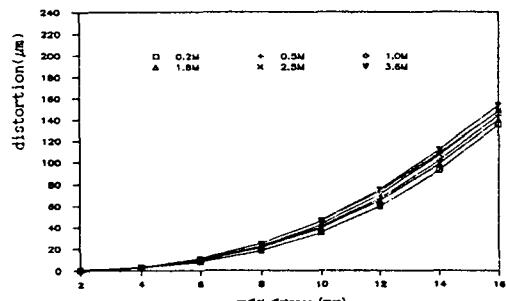


Fig. 1. Radial distortion versus radial distance.

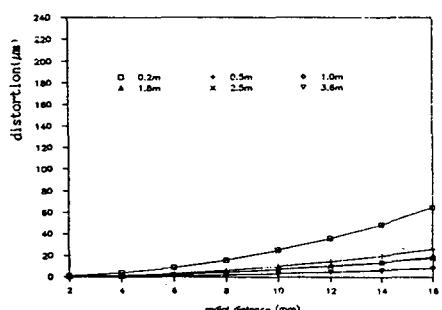


Fig. 2. Tangential distortion versus radial distance.

도시하였다.

대상물은 형상이 복잡하여 그 monitoring에 어려움을 겪고 있는 스크류우 모형을 선정하였으며, 스크류우의 두께 변화, 비선형 단면, 비틀림 등 3 차원적 변화를 효율적으로 해석할 수 있도록 4 변형망을 구성하였다. 촬영거리는 Nikon 801 비측량용 사진기의 최대 접근거리인 0.3 m에서 φ 를 $+140^\circ \sim -140^\circ$ 까지 10° 씩 변화시켜 9 점을 계획하였고, φ 와 ω 를 동시에 변화시켜 대상물의 중심을 향해 원추형으로 7 점을 배치하여 16 점의 노출점을 계획하였다. 또한 촬영거리 0.4 m에서도 원추형으로 7 점을 배치하여 스크류우의 앞면(side I)에서 23 점의 노출점을 선정하였다. 또한 스크류우의 뒷면(side II)에서도 앞면(side I)과 동일한 조건으로 23 점의 노출점을 선정하여 총 46 점의 촬영점을 Fig. 3 과 같이 계획하였다.

촬영은 노출 조건을 정확히 확인한 후 필름상에서 산란 반경의 지름이 약 20 μm 이내가 되도록 하였으며, 수렴각에 따라 미지점의 촬영거리

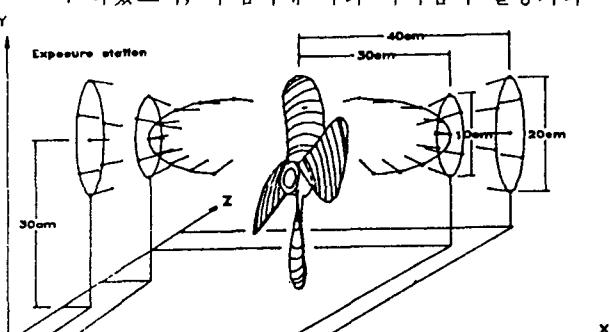


Fig. 3. The explanation of test field in the screw

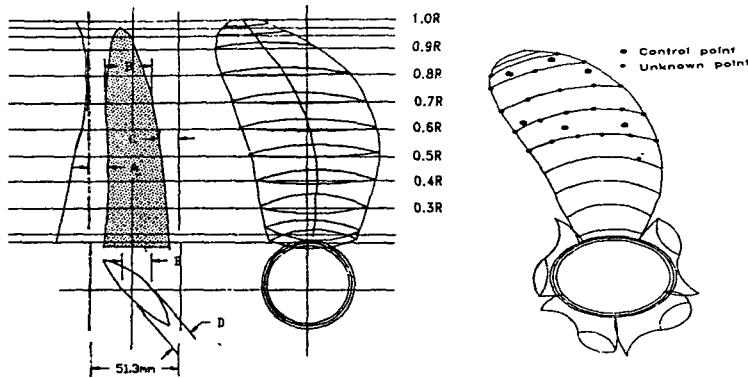


Fig 4. A design drawing for screw and the arrangement of control & unknow point

가 감소 또는 증가하게 되므로 이때 심도를 고려하여 허용 셔터속도의 범위 내에서 가능한 f-stop 을 22로 하였다. 또한 스트로보의 직사광선으로 인한 반사를 최소화하기 위하여 간접조명하에서 촬영하였다.

스크류우의 특성상 단면의 면적과 두께가 동시에 변화함은 물론 비틀림이 있으므로 이를 노출점의 배치에는 여러가지 어려움이 있다. 특히 스크류우의 monitoring에 가장 중요한 요소인 각 단면의 두께를 관측하기 위해서는 앞·뒤 단면의 동일한 위치에 미지점을 배치하여야만 한다. 또한 앞면과 뒷면을 하나의 종합 모형으로 해석하기 위하여 스크류우의 양 옆에 10점씩 20개의 연결점을 설치하였다. 해사연구소의 3차원 좌표 관측기로 대상물인 스크류우의 표면에 표시한 후 이 점들을 미지점으로 이용하였고, 기준점은 별도로 제작하여 앞면에 6점과 뒷면에 6점을 고르게 배치하였다.

앞면과 뒷면에 배치한 44점의 미지점과 12점의 기준점에 대한 각 측량은 Kern DKM2-A 1° 독 theodolite로 정밀하게 관측하였다. 3차원 해석은 bundle 조정법에 의하여 해석하였으며, 기준점의 표준오차는 $1 \mu\text{m}$, 사진의 2차원 좌표의 표준 오차는 $3 \mu\text{m}$ 로 해석하였다. 이러한 경중률로 해석한 결과 약 90% 이상의 신뢰성이 있는 결과를 얻을 수 있었다.

3. 結果 分析

스크류우 모형을 대상물로 선정하여, 두께의 변화, 비선형 단면, 비틀림 등 3차원적 변화를 효율적으로 해석할 수 있도록 4번형망을 구성하고, 근접하여 측정한 각각의 사진에 대한 종합 모형을 형성하여 광속조정 기법으로 해석하였다. 3차원 좌표 측정기로 스크류우상에 표시한 것을 미지점으로 이용하여 설계시 자료와 사진 측량으로 해석한 결과를 monitoring 할 수 있도록 하였다.

Fig. 5는 수렴각 φ 를 $+140^\circ$ 부터 -140° 까지 10° 씩 변화시켜 촬영한 9매 사진에서 렌즈 왜곡을 보정하지 않은 경우의 위치오차를 도시한 것이고, Fig. 6은 렌즈 왜곡을 보정한 경우의 위치오차를 등고선으로 도시한 것이다. 렌즈의 왜곡을 보정하지 않은 경우의 위치오차는 32

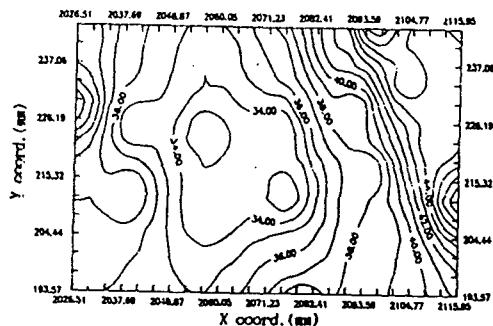


Fig 5. The positional errors of uncorrection case for lens distortion.

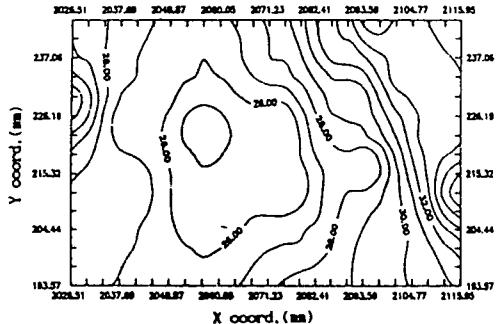


Fig. 6. The positional error of correction case for lens distortion.

$\mu\text{m} \sim 50 \mu\text{m}$ 로 평균 약 $38 \mu\text{m}$ 의 분포를 보이고 있으며, 렌즈의 왜곡을 보정한 경우 $24 \mu\text{m} \sim 40 \mu\text{m}$ 로 평균 약 $29 \mu\text{m}$ 의 분포를 나타내고 있어 렌즈의 왜곡을 보정할 경우 약 24% 정도 오차가 감소됨을 알 수 있다.

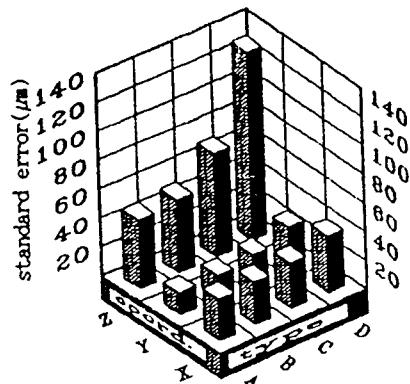


Fig. 7. The standard errors of X, Y, Z in according to area surrounded by control points.

Fig. 7은 3개의 기준점을 사용할 경우 기준점들이 이루는 면적의 크기에 따른 X, Y, Z 표준 오차를 도시한 것이다. A형태는 면적이 약 748 mm^2 일 경우이며, 형태 B, C, D는 type A 면적의 약 70%, 40%, 10%가 되도록 기준점을 배치하였을 경우로 형태 A에 비해 형태 B, C, D의 표준 오차는 각각 5%, 28%, 94%의 증가를 보여, 기준점이 이루는 면적이 클수록 오차는 작게 나타나 정확도에 미치는 영향이 큼을 알 수 있다.

Fig. 8은 각 종합 모형을 조합하여 해석한 경우 X, Y, Z의 표준 오차를 도시한 것이다. 형태 D는 측면 I의 활영거리 0.3 m에서 수렴각 φ 를 10° 씩 변화시켜 수렴활영한 9매의 사진을 해석한 경우로서 스크류우의 측면 I과 측면 II쪽을 하나의 종합 모형으로 형성하기 위하여 부착한 연결점을 미지점에 포함시켜 해석한 것이고, C형태는 측면 II의 활영거리 0.3 m에서 수렴각 φ 를 10° 씩 변화시켜 수렴 활영한 9매의 사진을 해석한 경우로서 연결점을 미지점에 포함시켜 해석한 것이다. B형태는 C형태와 D형태를 하나의 종합 모형으로 해석한 경우이며, A형태는 B형태에서 연결점을 삭제하고 해석한 것이다.

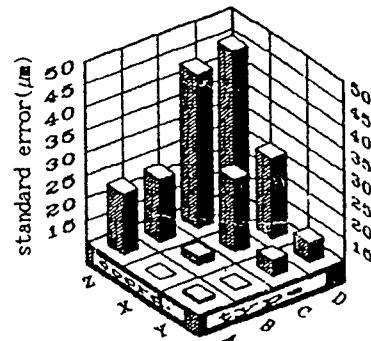


Fig. 8. The standard errors of each strip type(SIDE I, SIDE II)

D형태와 C형태는 거의 동일한 양상으로 오차가 나타나고 있으며, D형태의 경우 X, Y, Z의 표준 오차는 $28.1 \mu\text{m}$, $14.5 \mu\text{m}$, $46.1 \mu\text{m}$ 로 오차가 가장 크게 나타나고 있는 것은 측면 I과 측면 II를 하나의 종합 모형으로 형성하기 위하여 연결점을 부착함으로써 대상을 중심에 위치한 다른 미지점에 비해 투영중심으로부터 거리가 멀리 떨어져 있을 뿐만 아니라, 근접 활영으로 인한 심도의 영향으로 사료된다. B형태는 D형태에 비하여 오차가 약 45% 정도 급격히 감소함으로써 잉여 관측수의 증가는 오차 감소에 커다란 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. B형태에서 연결점을 삭제하고 해석한 A형태의 경우 오차가 약 5% 정도 감소 되었으므로 형상

이 복잡한 대상물의 측정시 연결점의 제작 및 설치에 주의가 요망된다. 또한 전반적으로 Z의 표준 오차가 크게 나타나고 있는데 이는 대상물인 스크류의 형태로 인하여 X, Y축 방향에 비해 Z축 방향의 기준점 배치가 열악하였으며, 사진기 심도 때문에 원추형 촬영시 회전각 ω 를 충분히 고려할 수 없었기 때문으로 사료된다.

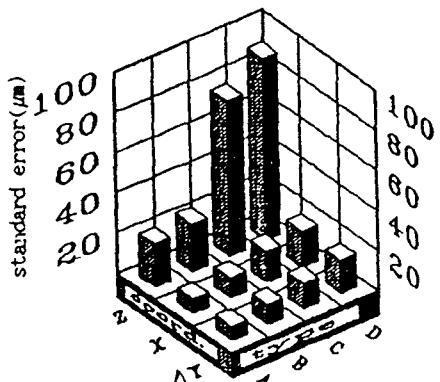


Fig. 9. The standard error of each strip type(SIDE II)

Fig. 9는 측면 II에 대한 종합 모형에서 형태별 표준 오차를 도시한 것으로서 형태 A는 형태 B, C, D를 하나의 종합 모형으로 형성하여 총 23매의 사진을 해석한 경우이고, 형태 B는 φ 를 10° 씩 변화시켜 촬영거리 0.3m에서 수렴 촬영한 9매의 사진을 해석한 경우이며, 형태 C는 촬영거리 0.3m에서 원추형으로 촬

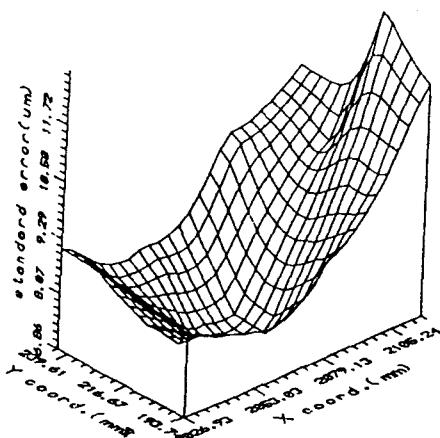


Fig 10. The standard errors of X vs. monitored results

영한 7매의 사진을 해석한 경우이고, 형태 D는 촬영거리 0.4m에서 원추형으로 촬영한 7매의 사진을 해석한 경우이다. 이 때 형태 A의 경우 X, Y, Z의 표준오차가 $7.1 \mu\text{m}$, $6.9 \mu\text{m}$, $21.4 \mu\text{m}$ 로서, 이때 위치 오차가 약 $23.6 \mu\text{m}$ 까지 접근되는 양호한 결과를 얻을 수 있었으므로 비측량용 사진기에 의한 침단기계 부품의 monitoring 가능성을 염불 수 있었다.

Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12는 측면 I, 측면 II의 촬영거리 0.3m와 0.4m에서 원추형으로 각각 7매씩 촬영한 14매의 사진과 φ 를 10° 씩 변화시켜 각각 9매씩 수렴 촬영한 18매의 사

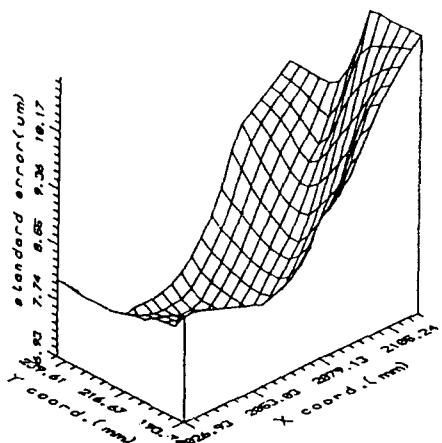


Fig 11. The standard errors of Y vs. monitored results

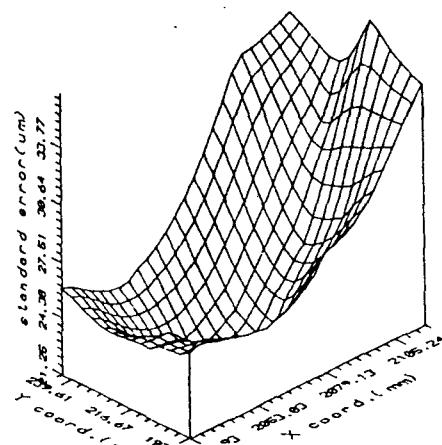


Fig 12. The standard errors of Z vs. monitored results

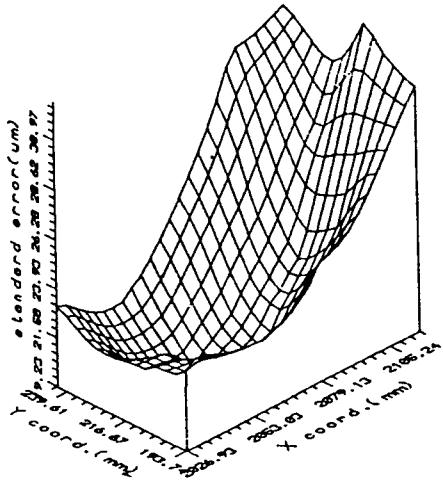


Fig. 13. The positional errors of monitored results

진을 조합하여 총 32 매의 사진을 해석한 경우 X, Y, Z의 표준 오차를 3차원 그래프로 도시한 것이다. X의 표준 오차는 $7.0 \mu\text{m} \sim 13.0 \mu\text{m}$

로 평균 약 $8.2 \mu\text{m}$, Y의 표준 오차는 $7.0 \mu\text{m} \sim 11.0 \mu\text{m}$ 로 평균 약 $7.7 \mu\text{m}$, Z의 표준 오차는 $19.0 \mu\text{m} \sim 33.0 \mu\text{m}$ 로 평균 약 $22.7 \mu\text{m}$ 의 분포로 나타나고 있다. Fig. 13은 Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12를 위치 오차로 도시한 것이다. 이때 위치 오차는 $21.0 \mu\text{m} \sim 37.0 \mu\text{m}$ 로 평균 약 $27 \mu\text{m}$ 의 분포를 보이고 있어 매우 양호한 결과를 얻을 수 있었으므로 기준점의 배치, 미지점의 분포, 사진기의 심도, 연결점의 설치 등은 monitoring에 중요한 요소임을 알 수 있다.

Table 2는 축척 1 : 30의 스크류우 KP 192의 설계 자료를 나타낸 것이다. 각각의 반지름(R)에 대한 앞면으로부터의 거리, 방사방향 두께, 뒷면으로부터의 거리, 각 단면의 최소 두께를 나타낸 것으로 이중 가장 중요한 방사방향 두께에 대하여 monitoring을 실시하였다.

Table 3은 스크류우의 설계요소 중 가장 중요한 방사방향 두께에 대한 monitoring 결과를

Table. 2. The design value of screw(KP192)

(mm)

R	29°	28.5°	27°	25°	20°	10°	0°	10°	19°	20°
0.6				5.49	9.09	16.33	23.41	30.69		38.18
				0.75	2.64	4.98	5.87	5.39		3.51
				45.06	39.57	29.99	22.02	15.22		9.61
				0.59	2.08	4.18	5.12	4.87		3.33
0.7				3.86	9.15	16.53	23.82	31.2	38.09	
				0.52	2.51	4.04	4.32	3.41	0.8	
				46.92	39.64	30.73	23.16	16.69	12.41	
				0.43	2.13	3.58	3.93	3.20	0.84	
0.8				2.92	9.51	16.85	24.12	31.4		
				0.48	2.20	3.01	2.70	0.88		
				47.90	39.59	31.44	24.48	19.02		
				0.42	1.97	2.77	2.54	0.88		
0.9				3.20	10.1	17.23				
				0.51	1.68	1.79				
				47.59	39.52	32.28				
				0.46	1.56	1.70				
0.95					10.42	17.26				
					1.31	0.94				
					39.57	33.1				
					1.24	0.91				

Table. 3. Compare the design value with measurement value of Screw

(mm)

R		29°	28.5°	27°	25°	20°	10°	0°	10°	19°	20°
0.6	D				0.75	2.64	4.98	5.87	5.39		3.51
	P				0.588	2.537	4.848	5.735	5.301		3.409
0.7	D			0.52		2.51	4.04	4.32	3.41	0.80	
	P			0.486		2.348	3.851	4.257	3.313	0.792	
0.8	D		0.48			2.20	3.01	2.70	0.88		
	P		0.518			2.081	2.887	2.565	0.812		
0.9	D	0.51				1.68	1.79				
	P	0.66				1.712	1.779				
0.95	D					1.31	0.94				
	P					1.203	0.795				

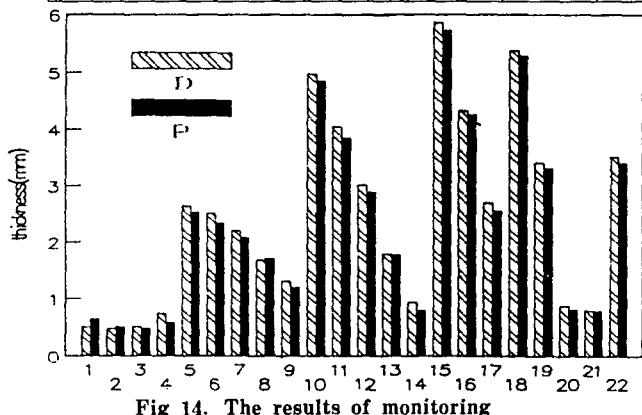


Fig. 14. The results of monitoring

나타낸 것이다. D는 thickness에 대한 설계값이고, P는 이에 대한 사진 측량에 의한 평균값으로 이를 도시하면 Fig. 14와 같다.

설계값과 사진 측정에 의한 값이 일관적으로 유사한 양상을 보이고 있으며, 각각의 미지점에서 0.011 mm~0.189 mm의 차이를 보여 평균 약 0.093 mm의 편차를 나타내고 있다. 이는 3차원 좌표 측정기에 의해 표시한 점과 미지점의 설치시 표시한 점이 일치하지 않으므로서 발생된 오차로 사료된다.

4. 結論

정오차를 보정한 비측량용 사진기에 의하여

정밀기계 부품을 monitoring 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Analytical plumb line 방법에 의하여 활영 거리에 따른 렌즈의 방사방향과 접선방향에 대한 왜곡계수를 구하고 이를 보정한 결과 X, Y, Z의 위치오차가 약 20%~30% 감소되었으므로 비측량용 사진기에 의한 정밀측량시 정오차의 보정은 중요한 의미를 지닌다.
2. 스크류우의 측량시 날개의 비틀림, 두께의 변화, 비선형 단면, 날개의 겹침 등에 대한 난제를 해결하기 위해서는 monitoring point의 정확한 marking과 사진기의 심도, tie point의 설치, 기준점의 배치 등에 대한 주의가 요망된다.
3. 비측량용 사진기로 초근접하여 정밀기계 부품을 해석한 결과 X, Y, Z의 표준 오차가 $7.1 \mu\text{m}$, $6.9 \mu\text{m}$, $21.4 \mu\text{m}$ 까지 접근되는 양호한 결과를 얻었으므로 비측량용 사진기에 의해서도 정밀기계 부품의 monitoring이 가능함을 알 수 있었다.

〈감사의 글〉

본 연구는 한국과학 재단의 1990년도 목적 기초 연구지원에 의하여 수행된 것으로 본 연구를

수행 할 수 있도록 지원해 준 한국 과학재단에
깊은 감사를 드립니다.

参考文献

1. Arthur Roberts and Lori Griswold, "Practical Photogrammetry from 35-mm Aerial Photography", PE & RS, Vol. 52, No. 4. pp. 501—508, 1986.
2. Brian Huberty, "Coal Pile Inventory Using 35-mm Oblique Terrestrial Photogrammetry", PE & RS, Vol. 56, No. 8, pp. 1169—1171, 1990.
3. C.S. Fraser, "On the Use of Non metric Cameras in Analytical Close-Range Photogrammetry", The Canadian Surveyor, Vol. 36, No. 3, pp. 259—279, 1982.
4. C.S. Fraser, "Multiple Exposures in Non-Metric Camera Application", Photogrammetria, PE & RS, Vol. 42, pp. 62—72, 1987.
5. 강준목, 오원진, "비측정용 사진기에 의한 초근접 사진해석", 한국측지학회지, 제 8 권, 2 호, pp. 23 —29, 1990.
6. Joon-Mook Kang, Raymond J. Hintz, & Christos Karakadas "Analysis of Pavement Cracking and Rutting Using Close-Range Photography", PE&RS, Vol. 55, No. 2, pp. 217—221, 1989.
7. John G. Fryer, "Non-Metric Photogrammetry and Surveyors", The Australian Surveyor, Vol. 32, No. 5, pp. 330—341, 1985.
8. L.P. Adams, "The Use of Non-Metric Cameras in Short-Range Photogrammetry", Photogrammetria, Vol. 36, pp. 51—60, 1981.
9. Madani, Mostafa Seyed, "Accuracy Potential of Non-Metric Cameras in Close-Range Photogrammetry", The Ohio State University Ph. D. Paper, 1987.
10. Sandro Fioretti, Alfredo Germani & Tommaso Leo, "Stereometry in Very Close-Range Stereophotogrammetry with Non-Metric Cameras for Human Movement Analysis", Journal of Biomechanics, Vol. 18, No. 11, pp. 831—842, 1985.
11. UZI Ethrog, "Non-Metric Camera Calibration and Photo Orientation Using Parallel and Perpendicular Lines of the Photographed Object", Photogrammetria Vol. 39, pp. 13—22, 1984.
12. Yoshitaka Ukon, Tatsuro Kudo, and Yuzo Kurobe, "Measurement of Cavity Thickness Distribution on the Blade of Propeller Models by Laser-CCD Method", Cavitation '91, FED-Vol. 116, pp. 99—104, ASME 1991.