

## 고해상도 영상 획득을 위한 틸트 메커니즘 적용 기법

송 천 호\*

### Applying tilt mechanism for high-resolution image acquisition

Chun-Ho Song \*

#### 요 약

본 연구논문에서는 고해상도 적외선 센서장비에서 조립오차에 의해 저하된 성능을 보완하기 위해 적외선 센서장비의 구성품인 렌즈조립체, 축거울 및 검출기의 민감도 분석을 통해 성능에 미치는 영향성을 확인하였고, 이를 보정하기 위해 검출기의 틸트 메커니즘 적용 방안에 대한 연구를 하였다. 검출기 틸트 메커니즘에는 장착면에 shim을 적용하여 tilt하는 방식인 Shim plate 방식과 tilt screw를 조정하여 검출면의 tilt를 조정하는 Tilting 나사 방식, 마지막으로 마이크로미터를 장착하여 정량적인 데이터를 획득할 수 있는 마이크로미터 헤드 방식으로 3가지 방식이 검토 되었다. 검토 결과 사용자의 조절이 용이하고 부피가 크지 않으며 실시간으로 영상을 보면서 조절이 가능한 Tilting 나사 방식을 적용하였으며, 실험결과 고해상도 영상을 획득할 수 있었으며 고해상도 영상획득을 구현하기 위한 장비에 적용이 필요한 기술임을 확인하였다.

▶ Keywords : 열상장비, 틸트 메커니즘, 민감도 분석

#### Abstract

In this paper, to compensate the degraded performance in high-resolution infrared sensor due to assembling error, the influence of each component was evaluated through the sensitivity analysis of lens assembly, axis mirror, and detector and also suggested detector tilt mechanism for compensation. 3 detector tilt mechanisms were investigated. The first one is 'Shim plate' method which is applying shim on installing plane. The second one is 'Tilting screw' method that is using tilt screw for adjusting detection plane. The last one is 'Micrometer head' method that is installing micrometer on detection plane and acquiring quantitative data. Based on the investigation result, 'Tilting screw' method was applied due to ease of user control, small volume, and real-time controllability, thereby we could acquire high-resolution

•제1저자 : 송천호

•투고일 : 2014. 12. 1, 심사일 : 2014. 12. 15, 게재확정일 : 2014. 12. 25.

\* 삼성탈레스(Samsung Thales)

infrared images. The research result shows that the tilting mechanism is necessary technology for the implementation of high-resolution infrared imaging system.

▶ Keywords : Thermal Image system, Tilt mechanism, sensitivity analysis

## I. 서 론

본 적외선 센서장비는 원거리 탐색장비로서 회절한계의 광학성능 및 영상화면의 전 영역이 균일한 최적성능을 내는 장비이다. 본 논문에서는 렌즈 제작시 발생할 수 있는 공차분석과 이를 통해 정밀 제작되어진 렌즈를 기구부품과 조립할 경우 발생할 수 있는 Tilt 및 Decenter를 분석과 해석을 통해 광학적 최적성능을 발휘할 수 있도록 제시하였다. 렌즈의 Tilt 및 decenter는 입사하는 광량을 왜곡시켜서 전체적인 광학성능을 떨어뜨리는 주요원인이 되는데, 이러한 광학적 성능을 저하시키는 구성품의 민감도 분석을 통하여 각 구성품에 대한 영향성을 파악하고, 최적의 광학성능을 도달하기 위해 적외선 센서장비의 구성품 중 적외선 검출기를 조정자로 선정하였다. 선정된 검출기를 조정자로 적용하기 위해 tilt 메커니즘 방법에 대하여 분석하였다.

본 논문에 적용된 적외선 센서장비는 1024×1280 배열의 중적외선 대역(3.7 μm~4.8 μm) 검출기를 이용하여 소형·고성능의 적외선 센서장비를 설계/검토 하였다. 검토된 적외선 센서장비는 고속 주사장치를 활용하여 시계 사각이 없는 360° 전방위 파노라마 영상을 획득할 수 있는 장비이다. 채택된 고속 주사장치부는 최적 설계를 통해 소형/경량화를 달성하였고, 특히, 광학계의 간섭을 고려해 영상 불균일 보정을 위한 광경로를 확보하였다. 적외선 센서모듈은 3.7~4.8 μm 파장 대역의 수차를 포함한 광선의 수차를 보정하여 회절한계에 근접하는 1차 결상을 달성하는 M1 렌즈조립체와 1차 결상된 상을 적외선 센서에 전달하여 2차 결상시키는 릴레이 광학계로서 구성된다. 릴레이 광학계의 최종 렌즈와 상면 사이에는 화각을 제한하는 cold stop이 포함된다.

본 논문은 고해상도 영상 획득을 위해 적외선 센서장비의 렌즈군의 민감도를 분석해서 조립오차를 최소화 하기 위해 검출기의 틸트 메커니즘 적용 방안에 대한 연구이다.

## II. 본 론

### 1. 적외선 센서장비의 광학계

설계된 적외선 센서장비의 광학계는 우수한 해상도, 콘트라스트, 왜곡 수치의 특성을 보유해야하는 특수성으로 인해 각 요소 광학계들은 독립적으로 수차가 양호하게 보정되어야 하기 때문에, 적절한 공차 분배가 이루어져야 한다. 특히, 초점심도가 다른 열상장비에 비해 좁기 때문에 두께 및 곡률 공차를 최소화 하였으며, 초점심도가 벗어나 defocus가 발생하는 부분에는 초점조절렌즈를 이용해 보상하는 등 회절한계에 근접하는 성능을 위해 설계와 제작에 각별한 주의가 요구된다. 아울러 축거울 및 렌즈의 형상 및 조립 오차에 따른 각종 화질 저하를 극복하기 위해서는 설계 시 광학 소재와 가공의 오차가 고려되었으며, 광학 공차를 완화하기 위한 많은 노력이 이루어졌다. 아래 그림1은 적외선 센서장치의 개략도를 보여준다. 구성품은 M1 렌즈조립체, M2 렌즈조립체, M3 렌즈조립체, FM1(축거울1), FM2(축거울2), 검출기로 구성되어 있다.

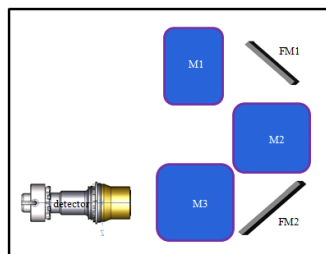


그림 1 적외선 센서장비 광계통도  
Fig. 1. Optical schematic of the IR sensors

### 2. Tilt/Decenter 의한 민감도 분석

적외선 센서장비의 구성품인 렌즈 조립체와 축거울의 민감

도 분석을 통하여 Tilt/Decenter의 영향성을 분석하였고, 상용품인 검출기는 제조사에서 제공하는 조립공차에 따른 얼마나 성능저하 되는지 분석하였다.

a) 렌즈 조립체에 의한 민감도 분석

렌즈 조립체는 3개의 군으로 구성되었으며, 그림 2는 3개의 군인 M1 렌즈 조립체, M2 렌즈 조립체, M3 렌즈 조립체의 민감도 분석시 tilt와 decenter의 방향을 나타내었다. 민감도 분석방법은 Y축은 고정인 상태에서 X축을 tilt와 decenter에 의한 변위량을 분석하였다.

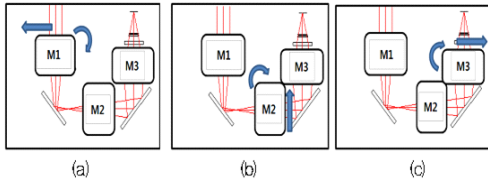


그림 2 민감도 비교 (a) M1 조정 (b) M2 조정 (c) M3 조정  
Fig. 2. The comparison of Sensitivity (a) Objective lens adjustment (b) Relay Lens adjustment (c) Focus Lens adjustment

각 렌즈 조립체의 tilt와 decenter에 의한 영향은 아래표와 같다.

표 1. 렌즈 조립체 별 Tilt/Decenter에 의한 변위량  
Table 1. Displacement by Tilt and Decenter of the Lens

분류		변위량	X	Y
M1	Tilt(Deg)	0.01	0.00148	0
		0.02	0.00295	0
		0.03	0.00443	0
		0.04	0.00590	0
		0.05	0.00738	0
	Decenter(mm)	0.01	-0.00530	0
		0.02	-0.01060	0
		0.03	-0.01591	0
		0.04	-0.02121	0
M2	Tilt(Deg)	0.01	-0.00045	0
		0.02	-0.00091	0
		0.03	-0.00136	0
		0.04	-0.00181	0
		0.05	-0.00227	0
	Decenter(mm)	0.01	0.00084	0
		0.02	0.00168	0
		0.03	0.00251	0
		0.04	0.00335	0
M3	Tilt(Deg)	0.01	-0.00269	0
		0.02	-0.00537	0

Decenter(mm)	0.03	-0.00806	0
	0.04	-0.01075	0
	0.05	-0.01343	0
	0.01	0.01446	0
	0.02	0.02893	0
	0.03	0.04339	0
	0.04	0.05786	0
	0.05	0.07232	0

위 표1와 같이 각 렌즈 조립체의 Tilt 및 Decenter에 의한 민감도는 M3 조립체가 가장 민감하며, M1 렌즈조립체, M2 렌즈조립체 순으로 민감함을 확인하였다.

b) 축거울에 의한 민감도 분석

축거울은 FM1과 FM2로 구성되어 있다. 그림 3은 축거울의 구성을 보여주는 광계통이며, 본 민감도는 각 축거울에 일정한 양의 tilt를 주어 축거울의 수평 tilt(X축)와 수직 tilt(Y축)의 민감도를 분석하였다.

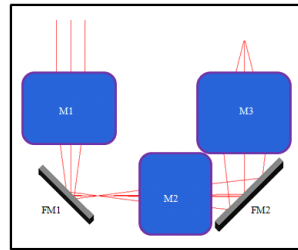


그림 3 축거울 민감도  
Fig. 3. The comparison of Sensitivity of the mirror

(1) FM1의 민감도 분석

본 장비에 FM1에 0.01° 단위로 수평방향과 수직방향으로 적용 할 경우 검출면에서의 영상의 이동량을 분석하였다. 아래 표2를 보면 수평방향으로 0.01°당 0.004mm 이동하고, 수직방향으로 0.002mm 이동한 것으로 분석되었다.

표 2 FM1 Tilt/Decenter에 의한 변위량  
Table 2. Displacement by Tilt and Decenter of the Mirror1

Classification		Displacement (°)	X (mm)	Y (mm)
FM1	Azimuth	0.1	0.04	0
		0.05	0.02	0
		0.04	0.016	0
		0.03	0.012	0
		0.02	0.008	0
		0.01	0.004	0
		0	0	0

		-0.01	-0.004	0
		-0.02	-0.008	0
		-0.03	-0.012	0
		-0.04	-0.016	0
		-0.05	-0.020	0
	Elevation	-0.1	0	-0.04
		0.1	0	0.02
		0.05	0	0.012
		0.04	0	0.009
		0.03	0	0.007
		0.02	0	0.004
		0.01	0	0.002
		0	0	0
		-0.01	0	-0.002
		-0.02	0	-0.004
		-0.03	0	-0.007
		-0.04	0	-0.009
		-0.05	0	-0.012
		-0.1	0	-0.02

	-0.02	0	-0.017
	-0.03	0	-0.025
	-0.04	0	-0.034
	-0.05	0	-0.042
	-0.1	0	-0.084

측거울 민감도 분석결과 측거울2가 측거울1에 비해 약3배 가량 민감한 것으로 분석됐다.

c) 검출기에 의한 성능 분석

(1) 검출기의 민감도 분석

본 장비에 적용된 검출기 형상은 아래 그림과 같다. 검출기는 검출기와 냉각기가 분리형으로 transfer line으로 연결되어있다.

(2) FM2의 민감도 분석

FM2의 민감도분석은 위 FM1과 같은 방법으로 0.01° 단위로 수평방향과 수직방향으로 적용시 검출면에서의 영상의 이동량을 분석하였다. 아래 표3을 보면 수평방향으로 0.01° 당 0.013mm 이동하고, 수직방향으로 0.008mm 이동한 것으로 분석되었다.

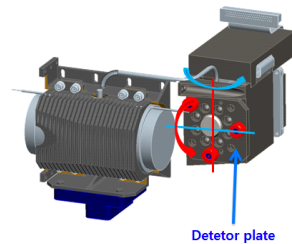


그림 4 검출기 형상  
Fig. 4. The configure of detector

표 3 FM2 Tilt/Decenter에 의한 변위량  
Table 3. Displacement by Tilt and Decenter of the Mirror2

Classification	Displacement (°)	X (mm)	Y (mm)	
FM2	Azimuth	0.1	0.136	0
		0.05	0.068	0
		0.04	0.054	0
		0.03	0.041	0
		0.02	0.027	0
		0.01	0.013	0
		0	0	0
		-0.01	-0.013	0
		-0.02	-0.027	0
		-0.03	-0.041	0
	-0.04	-0.054	0	
	-0.05	-0.068	0	
	-0.1	-0.136	0	
	Elevation	0.1	0	0.084
		0.05	0	0.042
0.04		0	0.034	
0.03		0	0.025	
0.02		0	0.017	
0.01	0	0.008		
0	0	0		
-0.01	0	-0.008		

검출기가 냉각기와 일체형으로 조정하기에 상당히 어려운 구조이나, 검출기 도면 검토 결과 검출면의 제작 공차가 0.23°로 상당히 큰 제작공차를 아래 그림 5와 같이 나타나있다.

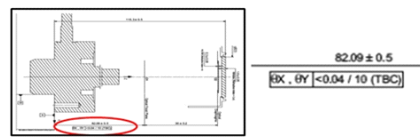


그림 5 검출기 제작도면상 제작공차  
Fig. 5. Manufacture tolerance of detector on schematic

광학설계프로그램을 이용하여 검출면을 0.23° tilt시 검출면 X축, Y축 0.33mm(0.387° 시계차)의 decenter가 발생되며, 검출면 이동으로 설계상 시계 이외의 영역을 범으로 광학 MTF(modulation transfer function, 공간분해능)가 4.5% 저하되는 것을 분석하였다. 그림 6은 검출기 제작공차에 의해 적외선 센서장비가 쓰는 FPA 면의 위치가 바뀌는 것을 보여주며, 그림 7은 설계치의 광학적 성능 값, 그림 8은

제작공차 적용 후 광학적 성능 값을 나타내었다.

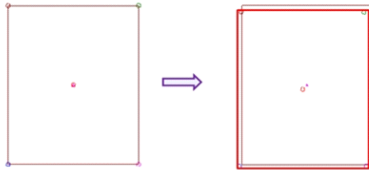


그림 6 Tilt에 의한 검출면 이동형상  
Fig. 6. Moving feature of FPA by tilt

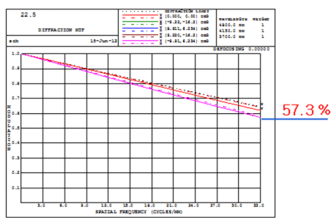


그림 7 Decenter 이전의 MTF 값  
Fig. 7. MTF value before decenter

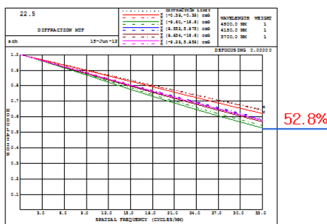


그림 8 Decenter 이후의 MTF 값  
Fig. 8. MTF value after decenter

위 분석결과 적외선 센서장비 구성품 중 렌즈 조립체와 측거울에 의한 민감도 분석을 통해 FM2가 가장 민감함을 확인하였고, FM1과 FM2에 위치편을 적용하여 조립오차를 최소화하였다. 상용품인 검출기는 제조사에서 제공하는 공차를 적용하여 광학적으로 감쇄되는 양을 분석하였다.

### 3. 검출기 조정 방안

현재 제작되어진 적외선장비에 조립오차에 의해 저하된 성능을 고해상도 영상획득을 위해 검출기 틸트 메커니즘 방법으로 아래와 같이 3가지 tilt 메커니즘 방법을 분석하였다.

첫째, Shim plate 방식은 검출기 장착면 기준, 장착면에 shim을 적용하여 tilt하는 방식으로 그림 9의 조정 shim 두께조정을 통해 정렬하는 방식으로 보정량을 수치화 할 수 있

고 공간사용이 가장 작은 장점에 비해, shim 수정시 검출기 전체를 장탈착을 요구되며, 정밀한 각도를 보정하는데 한계가 있다. 검출기 transfer line에 소량의 tension이 증가되나 실시간 영상을 확인할 수 없어 사용이 제한적이다.

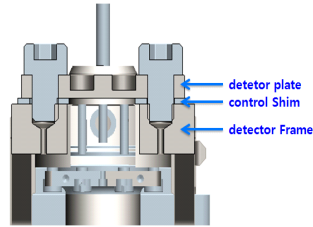


그림 9 Shim plate 이용방식  
Fig. 9. Shim plate using method

두번째 방식으로, Tilting 나사를 이용한 방식으로, 그림 10을 보면 tilt screw를 조정하여 검출면의 tilt를 조정후 tilt 고정 나사 검출기 조립시 초기위치를 찾기 어려우나 본 방법의 최대 장점은 실시간으로 영상을 보면서 조정이 용이한 장점이 있다. 조정후 보정량을 알수 없고 최종 체결시 tilt 나사의 유격이 커서 고정시키기 어려운 단점을 가지고 있다.

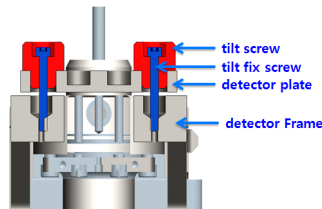


그림 10 Tilting 나사방식  
Fig. 10. Tilting screw method

마지막으로 마이크로미터 헤드 방식은 초점면을 기준으로 조정이 가능하여 광학적으로 성능이 좋아지지만 그림 11과 같이 기구물의 부피가 커서 사용자 접근이 어렵고 조정 전의 위치를 알 수 없다. 따라서 앞에서 언급한 다른 방법에 비해 검출기 transfer line에 tension 증가량이 커서 사용이 어렵다.

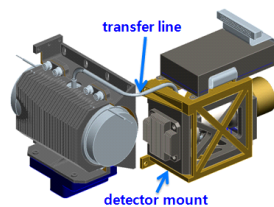


그림 11 마이크로미터 헤드 방식  
Fig. 11. Micrometer head method

위 분석결과 첫 번째 방식인 shim plate 방식은 보상자 조정시 검출기를 분해 조립해야 하며, 실시간 영상 확인이 어려운 단점으로 적용이 어렵고, 세 번째 방식인 마이크로미터 헤드방식은 최적화된 공간안에 기구물이 커 조정시 접근성이 어렵고, 검출기 transfer line에 tension 양이 증가하여 적용이 어렵다고 판단되었다. 본 적외선 센서장비에 정량적인 광학적 보정량을 알 수 없는 단점이 있지만, 조정이 용이하고 실시간 영상 확인이 가능해서 고해상도 영상 획득이 가능하리라 판단되어 두 번째 방식인 tilting 나사를 적용한 방식을 사용하기로 결정하였다.

4. 실험결과

본 논문은 고해상도 영상 획득을 위해 적외선 센서장비의 민감도를 분석해서 조립오차를 보정하기 위해 검출기의 틸트 메커니즘 적용 방안에 대한 연구를 하였다. 적외선 센서장비의 광학 구성품인 렌즈 조립체와 축거울 및 검출기의 조립오차에 의한 영향성을 구성품별 민감도 분석을 통하여 확인하였고, 조립오차를 최소화하기 위해 각 구성품에 위치핀을 두어 tilt와 decenter를 관리하였다. 광학적 분석을 토대로 기구물이 제작/관리 되어도, 고해상도의 균일한 영상을 얻기 위해서는 광학적 보상자가 필요하다. 본 논문에서 제시한 적외선 센서장비에서는 검출기를 보상자로 선정하였고, 이를 조절할 수 있는 tilt 메커니즘 방법에 대하여 검토를 완료하였다. 검토 결과 검출기 조절시 작업에 용이하고 부피가 크지 않아, 실시간으로 조절하면서 영상 확인이 가능한 tilting 나사 방식을 적용하였다.

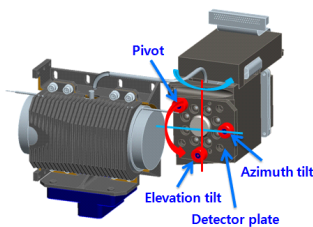


그림 12 검출기 조정자 적용형상  
Fig. 12. Apply feature of detector coordinator

최종 적용하고자 하는 검출기 Tilt 방식은 그림 12와 같이 3점 지지 tilt 메커니즘으로 pivot점을 기준으로 수평방향과 수직방향의 tilt screw 나사를 이용하여 미세 조정하는 방법이다. 적외선 센서장비에 적용하여 검출기를 조정된 결과 조절나사의 정량적인 데이터를 획득하기는 어렵지만, 실시간 영상을 볼 수 있어 tilt되어 있는 방향성을 파악하기 좋았고, 그

림 13, 그림 14와 같이 최상의 영상을 얻을 수 있다.

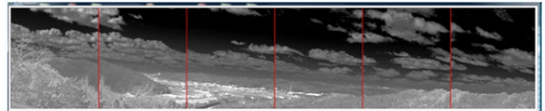


그림 13 6회 주사영상  
Fig. 13. scan image of 6 times

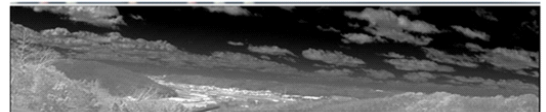


그림 14 파노라마 영상  
Fig. 14. panorama image

III. 결 론

본 연구논문을 통해 얻은 결론은 고해상도 적외선 센서장비는 검출기 틸트 메커니즘을 적용하여 조립오차에 의해 저하되는 불균일한 영상을 틸트 메커니즘 조절을 통해 최적의 균일한 영상을 낼 수 있다는 것을 확인하였다. 이 메커니즘은 단순한 구조로 소형장비에 적합하며 고해상도 영상획득을 목적으로 하는 장비에는 꼭 필요한 조절 메커니즘이라 생각된다. 이 검출기 틸트 메커니즘은 기구물이 작고 조절이 용이하며, 조절시 실시간 영상확인 가능한 장점이 있다. 그러나, 이 틸트 메커니즘은 정량적인 조절량을 알 수 없고 조절 후 초기위치가 어디인지 알 수 없는 단점이 있어 양산성이 떨어진 다. 향후 고해상도 적외선 장비에 검출기 틸트 메커니즘을 활용하기 위해서는 앞에서 단점으로 도출된 부분을 보완 설계하여 정량적인 데이터를 얻을 수 있도록 연구를 해야겠다.

참고문헌

- [1] J.M. Lloyd, "Thermal Imaging Systems", PLENUM, pp. 212-324, 1982
- [2] Max J.Riedl, "Optical Design Fundamentals for Infrared Systems" SPIE, pp. 19-35, 1995
- [3] Robert E. Fischer, Biljana Tadic-Galeb, "OPTICAL SYSTEM DESIGN", McGraw-Hill, pp. 129-155, 2008
- [4] Robert E. Fischer, Biljana Tadic-Galeb

- ,"OPTICAL SYSTEM DESIGN", McGraw-Hill, pp. 347-476, 2008
- [5] C. J. Alicandro, R. W. DeMarco, "1024 x 768 XGA uncooled camera core achieves new levels of performance in a small package", Proc. SPIE. Infrared Technology and Applications XXXVII, Vol. 8012, May 20, 2011
- [6] H. S. Kim, C.W. Kim, H. K. Kim, "Sensitivity Analysis and its Applications for Thermal Imaging Camera with Dual Magnification", OSK, pp. 104-105, Feb, 2003
- [7] Max J.Riedl, "Optical Design Fundamentals for Infrared Systems", SPIE, pp. 37-82, 1995
- [8] Warren J. Smith, "Modern Optical Engineering", Mc Graw Hill, pp. 21-89, 2000
- [9] Warren J. Smith, "Modern Optical Engineering", Mc Graw Hill, pp. 11-122, 2000
- [10] Katie Schwertz, James H. Burge, "Field Guide to Optomechanical Design and Analysis", SPIE, pp. 32-50, 2012

## 저 자 소개



송 천 호

2007: 청주대학교

레이저광정보공학 석사.

현 재: 삼성탈레스

선임연구원

관심분야: 열상시스템, 전자광학,

감시추적

Email: chunho.song@samsung.com