

# 편류보정을 통한 무인항공기 영상품질 향상에 관한 연구

이말영\*†

\* 국방기술품질원

## A Study on the Improvement of the Image Quality for UAV Using Drift Compensation

Lee Mal-Young\*†

\* Defense Agency for Technology and Quality

### Abstract

**Purpose:** In this paper, the improvement of the image quality is investigated. The image quality is degraded by the drift phenomenon of EO/IR (Electro-Optical/Infrared) device on UAV. The drift phenomenon means that the image of EO/IR equipment on UAV(Unmanned Aerial Vehicle) moves to the unintended direction. This phenomenon should be improved for successful flight mission.

**Methods:** To improve the drift phenomenon, the drift compensation method, the combination algorithm of FMC(Forward Motion Compensation) and AMC(Angular Motion Compensation) method, are introduced to calculate pitch and azimuth angle. Result values of pitch and azimuth angle are used for the improvement of image quality in EO/IR control logic.

**Results:** The image quality is quantitatively improved more than 15 times through field test data of flight.

**Conclusion:** Using the drift compensation technique, the image quality for EO/IR equipment is improved over 15 times than existing methods. This means the user of UAV with EO/IR device can perform a successful mission by keeping the line of sight for the target accurately.

**Key Words:** Image Quality, Drift Compensation, UAV, EO/IR

• Received 26 July 2013, revised 23 August 2013, accepted 25 August 2013

† Corresponding Author(lmy1731@dtqa.re.kr)

© 2013, The Korean Society for Quality Management

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-Commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. 서론

EO/IR(Electro-optical/Infrared)영상감지장치는 무인항공기(UAV : Unmanned Aerial Vehicle)체계에서 가장 보편적인 임무장비로 영상정보 획득 및 감시정찰에 널리 활용되고 있다. EO/IR장치는 주야간 정찰 영상을 실시간으로 제공하고 표적위치지시 등 임무장비로서 다양한 기능을 제공한다. 특히, 40kg을 초과하는 <Figure 1>의 중대형 EO/IR 장치는 자체 내장된 GPS/INS(Global Positioning System/Inertial Navigation System)을 이용하여 Mosaic 기능을 통한 Geo- Location/Pointing 용도로 활용 가능하다(Jiaxiang et al. 2009). 한편, <Figure 2>와 같은 전술급 무인항공기에 적용되는 40Kg 이하급 EO/IR의 경우, 중량 및 공간의 제한으로 인해 자체적인 관성항법장치(INS) 및 위성항법장치(GPS)를 내장하지 않고 단순한 내장 광학 자이로(FOG : Fiber Optic Gyro)에 의한 가속도 계산으로 EO/IR의 운동방향 및 회전속도를 산출한다(Longstaff et al. 1997). 이로 인해 임무비행 중에는 항공기의 비행속도 및 공기역학적인 외란(비행체의 움직임)에 의해 EO/IR장치의 운동방향 및 회전속도의 광학 자이로 오차는 더욱 증폭되어 EO/IR장치의 편류현상(영상이 의도하지 않은 시선방향의 흐름)을 야기하여 표적위치 정확도 및 영상감지장치 조종성에 영향을 주게 된다(Roland 1996).

본 연구에서는 국내개발 군단 정찰용 무인항공기 영상감지기 성능개량사업의 개발시제품 품질보증활동 과정에서 발생된 편류현상(Drift)에 대한 문제점을 검토하고, 편류보정을 위한 연구를 수행하였다. 해외에서는 편류현상을 줄이기 위해 EO/IR장치에 GPS/INS와 같은 장치를 내장하는 방법을 설계에 적용하고 있으나, 이와 같은 방식을 적용할 경우 많은 설계비용과 비행체 중량 및 설치 공간부족 등의 문제점이 있어 적용에 많은 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 EO/IR장치에 GPS/INS와 같은 별도장치를 사용하지 않고 비행체에 탑재된 비행조종컴퓨터의 정보를 이용한 전방기동보상기법과 각 운동(회전)보상기법을 조합한 알고리즘을 이용하였다. 이러한 알고리즘을 이용하여 영상감지장치의 방위각과 고각의 보상명령을 산출하여 EO/IR 영상감지기의 시선제어 알고리즘에 반영하였으며 비행시험을 통해 편류량이 개선됨을 입증하였다.



**Figure 1.** EO/IR System over 40kg Payload.  
(MTS B for the Predator UAV)



**Figure 2.** EO/IR System under 40kg Payload.  
(MOSP 3000 for the Searcher UAV)

## 2. 본 론

### 2.1 EO/IR장치의 시선 안정화 구동 원리

군단 정찰용 무인항공기 영상감지기 성능개량사업에 적용된 EO/IR장치는 이스라엘 IAI사의 MOSP 3000급으로 <Figure 3>과 같은 장치들로 구성된다. EO/IR장치의 시선 안정화 구동 원리는 자체 내장된 영상분석을 통해 자동추적 기능을 활용하여 지속적으로 고정 및 이동표적에 대한 시선을 유지할 수는 있으나, 일상적인 정찰임무 중 지속적인 자동추적 기능의 활용은 제한된다. 따라서 EO/IR장치는 센서의 시선이 표적을 지속적으로 집중할 수 있도록 고정밀의 시선 안정화가 필요하며 MOSP 3000 EO/IR장치의 안정화 플랫폼 조립 체는 <Figure 4>와 같이 4개의 짐벌로 구성된 가시선(LOS) 안정화를 제공한다. 영상감지기장치의 Yoke 및 Shell에 고정된 외측 짐벌은 큰 범위의 감지기 시선(고각:  $\pm 10^\circ \sim -100^\circ$ , 방위각:  $\pm 360^\circ$ )을 제어하며 2개의 센서 및 구동부가 장착된 내측 짐벌은 정밀한 안정화의 높은 각도(고각:  $\pm 2^\circ$ , 방위각 :  $\pm 4^\circ$ )를 제어하여 시선안정화를 유지한다.

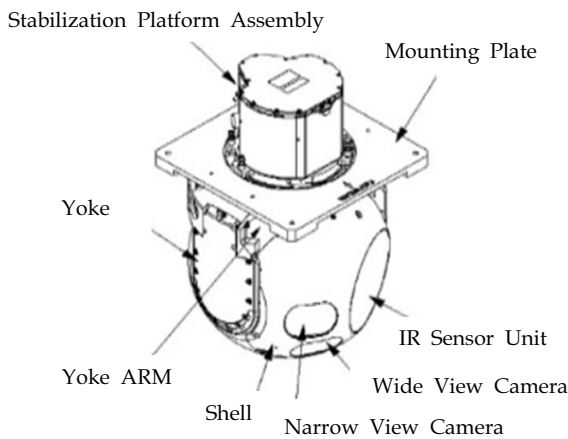


Figure 3. MOSP 3000 EO/IR

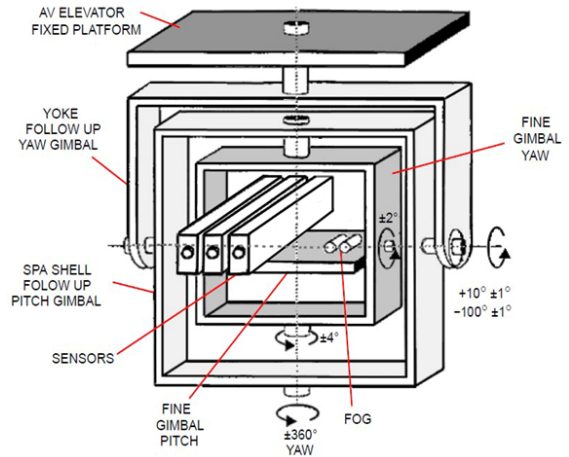


Figure 4. Structure of the Line of Sight Stabilization

시선안정화 구동을 위한 안정화 플랫폼 조립 체의 제어로직은 <Figure 5>와 같이 방위각(고각)의 명령과 FOG(Fiber Optic Gyro) 측정값을 비교하여 내, 외측 짐벌의 정밀 방위각(고각)을 보상하고 보상 명령의 인가 및 내측 짐벌의 모터를 구동하게 된다.

따라서 정찰용 무인항공기의 특징은 실제 조종사가 비행체에 탑승하지 않고 지상통제장비에서 영상을 조종하게 되므로 표적물을 신속하게 탐지하고 시선을 안정화하기 위해서는 영상의 정밀한 시선제어가 요구된다. 기존 무인항공기에 사용되어왔던 구형영상감지기장치(DLTV/FLIR: Daylight Television/Forward Looking Infra-rad)는 4축의 짐벌에 의한 구동방식으로 원리는 유사하나 비행체 장착구조물에 완충장치를 직접 설치하는 방법이므로 비행체의 진동 또는 외란에 의해 영상의 흔들림이 발생될 수 있는 단점이 있어 품질기준을  $50\mu\text{rad}$  이하의 시선안정화로 규정하고 있다. 그러나 국내개발 정찰용 무인항공기 영상감지기 성능개량에 적용된 신형(MOSP 3000) EO/IR장치는 안정화 플랫폼 조립체가 적용되어  $20\mu\text{rad}$  이하의 정밀한 시선안정화가 유지되도록 보상하는 기능을 가지고 있다 (Korea Aerospace Industry 2011).

또한, 기존 구형 영상감지기장치는 5km이하의 단거리에 만 사용되는 장비로 협시계 화각(FOV: Field of View)이

2.2° 정도로 비행 중에 조종사가 영상화면의 흐름인 편류현상을 느끼지 못한다. 그러나 10km이상거리와 협시계 화각 1.0° 이하의 영상감지기장치는 협시계 화각이 적어 영상화면이 빠르게 흐르기 때문에 편류현상이 발생된다. 그래서 해외에서는 영상감지기를 개발할 때 관성모드(Inertia Mode)센스를 자체 내장하여 카메라 시선이 표적에 지속적으로 집중할 수 있도록 고정밀 시선안정화 플랫폼을 적용하고 있다(Jiaxiang et al. 2009).

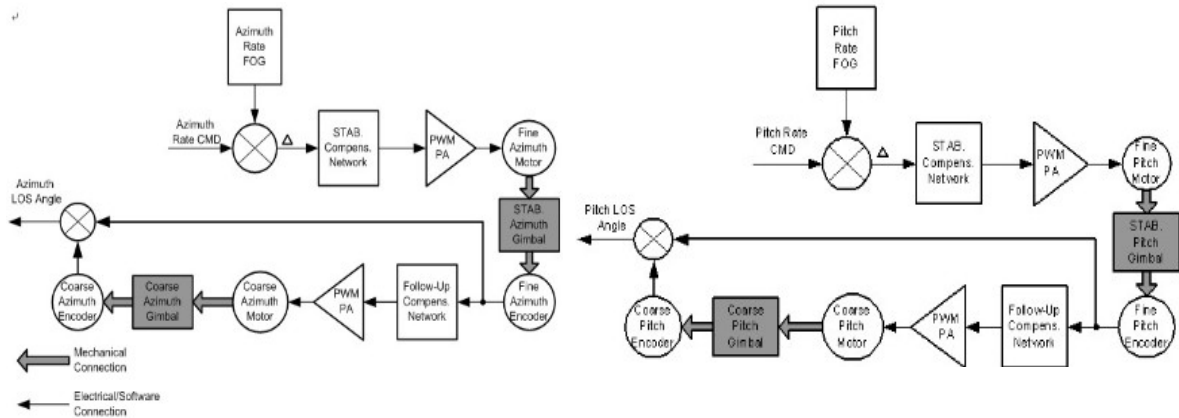


Figure 5. Control Logic of the Line of Sight Stabilization

## 2.2 EO/IR장치의 편류발생 원인 및 보정 방안

항공기에 탑재된 EO/IR장치는 고속으로 기동하는 항공기의 속도 및 거동정보를 확보하거나 자체 내장된 INS/GPS를 통해 항공기의 속도 및 거동을 계측하여 이에 대한 보상명령을 영상감지기장치 시선안정화 명령에 반영하지 않는다면 항공기의 속도 및 거동의 변화에 따라 영상감지기장치 시선안정화의 편류가 발생한다. 만약 항공기의 속도 및 거동정보를 확보할 수 있다면 자체적인 GPS/INS를 내장하지 않는 40kg이하급 전술용 EO/IR장치도 편류를 보정하여 EO/IR장치의 조종성을 향상할 수 있다. 이 방식은 FMC(Forward Motion Compensation)으로 알려져 있으며 공학적인 수식은 아래와 같다(Roland 1996).

$$df(x) = (v_x/h) * c * t * 10^3 \tag{1}$$

$$df(y) = (v_y/h) * c * t * 10^3 \tag{2}$$

여기서

- $df(s)$  : FMC를 통한 보상명령 (microns)
- $v( )$  : 각 축의 비행체의 속도 (m/s)
- $h$  : 비행체 - 표적간 고도차 (m)
- $c$  : 카메라의 초점 거리 (mm)
- $t$  : 카메라의 노출 시간 (s)

위 수식에서 카메라의 초점거리 및 노출시간은 EO/IR장치 자체적으로 알 수 있는 값이므로 비행체 연동에서는 생각할 수 있으며, 비행체로부터 확보가 필요한 정보는  $x, y, z$  각 축에 대한 비행체의 속도와 비행체와 표적 간의 고도차임을 알 수 있다. 실제 군단 무인항공기 영상감지기 성능개발사업의 시제개발품 품질시험평가에서 비행 중 EO/IR장비의 편류량은 비행체의 속도에 비례하여 증가하고 비행체의 고도가 높을수록 그 양이 감소되는 현상을 보

였다.

또한, 저고도에서는 기체의 외란(진동, 난기류)을 발생시키는 EO/IR장치의 흔들림에 의한 획득영상의 열화가 발생하였고, 이에 대한 보상기법으로는 아래와 같은 AMC(Angular Motion Compensation) 기법을 활용하여 보상이 가능하다. 이 기법은 카메라의 초점거리, 노출시간, 기체기동의 각 성분을 사용하여 보상하는 기법이며 수학적 모델링은 다음과 같다.

$$da(x) = t^* \left\{ -W_p^* c(1 + x^2/c^2) + W_r^* xy/c + y^* W_d \right\} \quad (3)$$

$$da(y) = t^* \left\{ -W_p^* xy/c + W_r^* c(1 + y^2/c^2) - x^* W_d \right\} \quad (4)$$

여기서

$da(s)$  : AMC를 통한 각축 보상 명령 (*microns*)

$c$  : 카메라의 초점 거리 (*mm*)

$t$  : 카메라의 노출 시간 (*s*)

$x, y$  : 검출기 (*CCD, FLIR Detector*)의 중앙 - 끝 길이 (*mm*)

$W_p$  : 비행체 *Pitch* 방향 각속도 ( $\mu rad/s$ )

$W_r$  : 비행체 *Roll* 방향 각속도 ( $\mu rad/s$ )

$W_d$  : 비행체 *Yaw* 방향 각속도 ( $\mu rad/s$ )

위 수식에서 카메라의 초점거리 및 노출시간, 검출기의 크기는 EO/IR장치 자체적으로 알 수 있는 값이므로 비행체 연동에서는 생략할 수 있으며, 비행체로부터 확보가 필요한 정보는 각 방향에 대한 Heading, Pitch, Roll 방향(혹은 각속도)임을 알 수 있다.

본 연구에서는 FMC(Forward Motion Compensation)과 AMC(Angular Motion Compensation)기법을 조합한 알고리즘을 적용하여 EO/IR 영상감지장치의 편류를 보정하고자 한다.

위 수식 (1)~(4)의 결과를 조합하면 식 (5), (6)과 같이 정리할 수 있으며, 이를 통해 Pitch 및 Azimuth축에 대한 편류 보정에 필요한 명령 값을 도출할 수 있다.

$$dT(x) = \left\{ (df(x))^2 + (da(x))^2 \right\}^{1/2} \quad (5)$$

$$dT(y) = \left\{ (df(y))^2 + (da(y))^2 \right\}^{1/2} \quad (6)$$

## 2.3 편류보정 방안 구현

편류 보정방안의 구현은 비행체의 자세, 속도, 표적고도 정보와 EO/IR장치의 초점거리, 노출시간 등의 정보를 EO/IR장치 혹은 비행체와 교환하여 구현하였다. 군단 정찰용 무인항공기 영상감지기장치 성능개량에 적용된 EO/IR장치의 Processor 및 Memory는 충분한 용량을 가지고 있어 비행체로부터 정보를 제공받아 편류보정 명령 값을 생성하도록 구현할 수 있었다.

편류보정의 구현을 위해서는 비행체의 비행조종컴퓨터와 EO/IR장치 간 통신 프로토콜의 수정이 필요하며, 부족한 프로토콜의 예비 공간을 고려하여 상관관계를 활용, 초당 2회 이상의 비행체 정보가 EO/IR장치로 전달되도록 비행조종컴퓨터의 소프트웨어를 변경하였다.

<Figure 6>은 상관관계를 적용한 편류보정 관련 비행조종컴퓨터와 EO/IR장치 간의 통신 프로토콜을 구상한 내용이다. 발사/지상통제장비에서는 표적고도정보를 비행체의 비행조종컴퓨터로 보내고 비행조종컴퓨터에서는 EO/IR장치에 표적고도정보와 비행체 속도/각운동 각속도를 보내 EO/IR장치의 시선 안정화가 되도록 설계를 보완하였다.

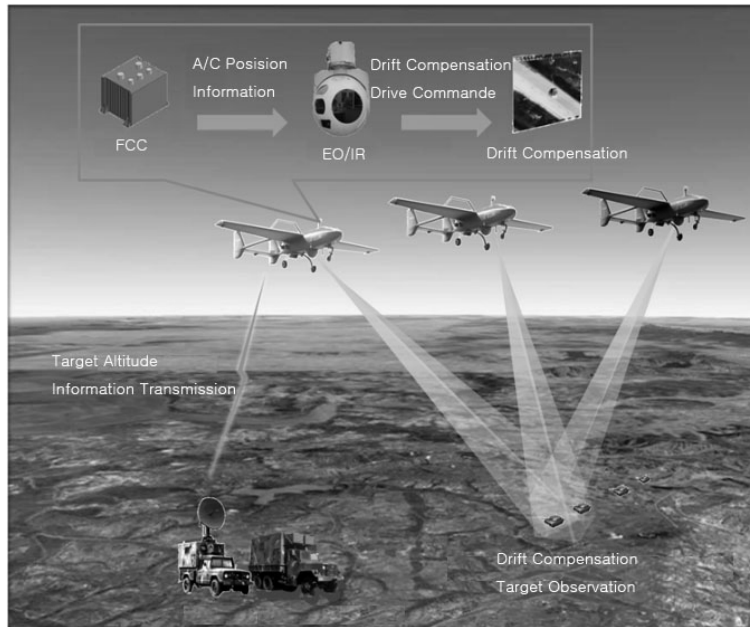


Figure 6. UAV Drift Compensation Method

## 2.4 편류보정 결과 시험 검증

국내개발 군단 UAV 영상감지기 성능개량사업의 개발시제품에서 발생된 편류현상의 개선효과를 확인하기 위해 비행시험을 실시하였다. 시험은 개선 전, 후의 편류량을 측정하기 위한 것으로 비행 조건 및 방법은 아래와 같다.

- 비행고도 : 지표고도 약 300m
- 비행속도 : 120km/h
- EO/IR 운용모드 : Rate mode/시선이동 명령(조이스틱) 비인가 상태 이상적인 경우 EO/IR 장치는 표적을 향해 시선방향을 유지하고 줌(초점거리), 노출시간은 고정
- 시험방법
  - 비행고도 및 속도를 유지하면서 편류보정 인가 전후 3초 동안의 편류량을 측정/비교
  - 저고도(300m)에서 운용자가 조이스틱을 사용, EO/IR 시선방향을 유지 가능 여부 판단

비행시험은 지표고도 322m~2050m까지 편류량이 많이 발생하는 저고도에서 주로 비행시험을 수행했고 이를 통해 확보된 데이터를 분석한 결과 편류보정 기능을 인가하였을 때와 편류보정을 하지 않았을 경우를 비교해보면 <Table 1>과 같이 15배 이상의 편류량이 감소(편류보정 전 :229m, 편류보정 후 :15m)되는 품질효과를 얻을 수 있었다. 또한 1,000m 이하 저고도 상황에서 편류보정을 실행하지 않으면 조종기 구동에 의한 시선고정이 어려웠으나, 편류보정 기능을 인가하였을 경우는 조종사가 원하는 방향으로 EO/IR장치의 시선을 제어할 수 있음을 확인할 수 있었고 편류현상에 대한 개선, 전후 비교시험 결과 <Figure 7>과 같이 영상품질이 개선되었다.

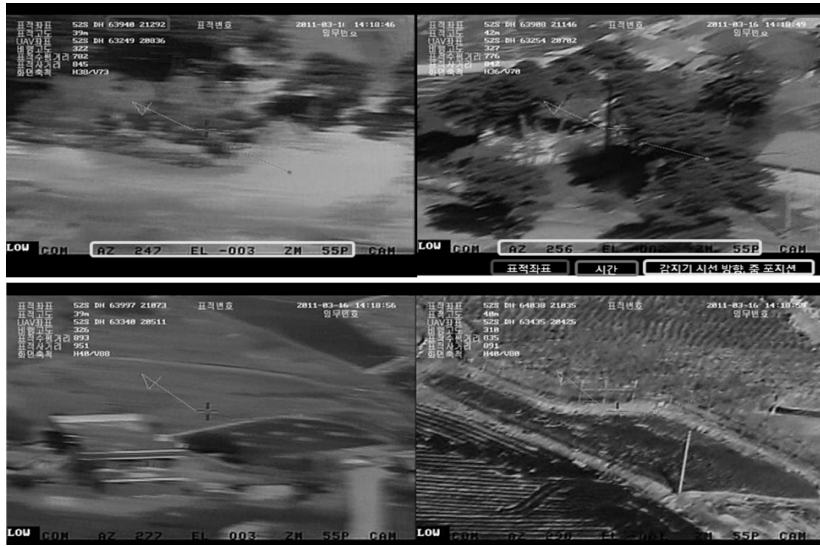


Figure 7. Drift Compensation Result from Flight Test (Left : Function OFF, Right : Function ON)

Table 1. Drift Compensation Flight Test Result Data

Start Target Location		Measured Target Location		Altitude	Drift Value per 3 Second		
Easting	Northing	Easting	Northing		Easting	Northing	Drift
63940	21929	63908	21146	322	32	783	784
63997	21073	64038	21198	328	41	125	132
63948	21925	64108	21146	521	160	779	795
64161	21089	64206	21235	524	45	146	153
63985	21089	64113	21135	1024	128	46	136
64161	22053	64089	21932	1055	72	121	141
63964	22678	63930	21601	1534	34	77	84
64161	22077	64080	21108	1530	81	31	87
64001	22123	64082	22109	2017	81	14	82
64231	22200	64248	22134	2034	17	66	68
Before Improving Image Quality					69.1	218.8	229
63936	21107	63935	21085	326	1	22	22
64083	21035	64093	21058	343	10	23	25
64108	21146	64130	21153	521	22	7	23
64222	21235	211235	21243	524	11	8	14
64113	21135	21135	21130	1055	15	5	16
64089	21932	21932	21901	1034	1	31	31
63930	22601	22601	22608	1530	11	7	13
64080	22108	22108	22109	1534	0	1	1
64082	22109	22109	22113	2034	3	4	5
64248	22134	64246	22136	2036	2	2	3
After Improving Image Quality					7.6	11	15

### 3. 결 론

본 논문에서는 국내개발 군단 정찰용 무인항공기 영상감지기 성능개량사업에서 비행시험 평가과정에 영상편류현상이 발생하는 문제점을 개선하기 위해 편류보정기법을 적용한 내용을 기술하였다. 이러한 편류현상은 표적위치 정확도를 저하시키고, 영상감지장치의 조종을 정상적으로 수행할 수 없는 상황을 초래하게 되어 개선을 필요로 하였다. 해외에서는 이와 같은 문제점들을 해결하기 위해 EO/IR장치 자체에 INS/GPS와 같은 항법장치를 내장하고 있다. 본 사업에서는 설계개발단계에서 예상하지 못했던 편류현상이 식별되었고, 이를 해결하기 위한 추가 설계보완을 적용할 경우 장비설치와 항공기 중량 등에 영향을 주는 문제점이 있었다. 따라서 장비설치 등 하드웨어 변경 없이 편류현상 문제점 해결을 위해 보상기법(FMC, AMC)과 관련된 이론식을 근거로 하여 보상명령을 산출하고 시선제어 알고리즘에 반영, 편류량을 감소하는 개선방안을 적용하였다.

이러한 개선결과에 대한 타당성 입증 여부를 확인하기 위하여 비행고도별 편류량 비행시험을 수행한 결과 15배 이상의 편류량을 감소시키는 품질효과를 확인할 수 있었고 이에 따라 비행시험평가를 재 수행한 결과 영상감지기장치 성능요구조건을 충족할 수 있었다. 본 연구를 통해 입증한 편류보정기법은 전술급 이하 무인항공기 EO/IR장치에 적용되어 양산품질 확보에 기여할 것이며 향후 타 사업으로의 파급효과가 기대된다.

## REFERENCES

- Korea Aerospace Industry. 2011. "Development of Domestic UAV EO/IR System Performance Improvement." System Development Technical Report.
- Longstaff, Ian, and Brown, Alison. 1997. "Precision Attitude Determination Using a Low Grade GPS-Aided Inertial Measurement Unit." *Proceedings of the 10th International Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GPS 1997)*:323-328.
- Monda, Mark, and Woolsey, Craig. 2007. "Ground Target Localization and Tracking in a Riverine Environment from a UAV With a Gimbaled Camera." *AIAA Guidance, Navigation and Control Conference and Exhibit*. AIAA 2007-6747.
- Roland, Schlienger. 1996. "Increased Image Quality Resulting from New Technologies in Aerial Camera." *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* 31:176-181.
- Yu, Jiaxiang, Xiao, Deyun, Jiang, Ludong, and Guo, Rui. 2009. "New Geo-location Approach Based on Camera Coordinates and Common Points on Multiple Images." *Defense Science Journal* 59(1):43-48.