

구성품 요구 성능 설정을 위한 정밀 유도무기의 비행 중 롤 영향성 연구

정동길[†] · 박진서 · 이종희 · 전두성 · 손성한

Study on Effects of Roll in Flight of a Precision Guided Missile for Subsystem Requirements Analysis

Dong-Gil Jeong[†] · Jin-Seo Park · Jong-Hee Lee · Doo-Sung Jun · Sung-Han Son

ABSTRACT

The operation of the precision-guided missiles with seekers is becoming more and more dominant since the modern wars became geographically localized like anti-terror campaigns and civil wars. Imaging seekers are relatively low-price and applicable to various operational conditions. The image tracker, however, requires highly advanced method for the target tracking under harsh missile flight condition. Missile roll can reduce the tracking performance since it introduces big differences in imagery. The missile roll is inevitable because of the disturbance and flight control error. Consequently, the errors of the subsystems should be under control for the stable performance of the tracker and the whole system. But the performance prediction by some simple metric is almost impossible since the target signature and the tracker are highly nonlinear. We established M&S tool for a precision-guided missile with imaging seeker and analyzed the roll effects to tracking and system performance. Furthermore, we defined the specification of missile subsystems through error analysis to guarantee system performance.

Key words : Precision Guided Missile Simulation, Image Tracking, Missile Roll

요약

현대전이 내전과 대테러전과 같은 국지전 양상으로 변화하면서, 탐색기를 포함한 정밀 유도무기의 운용 비중이 점점 증가하고 있다. 영상탐색기는 상대적으로 저가이며, 다양한 운용환경에 적용이 가능하다. 다만 유도무기에 적용되는 영상추적기술은 유도탄의 비행 환경 하에서 표적 추적을 수행해야하므로 상당히 고난이도의 기술이 요구된다. 그 중 유도탄의 롤은 다른 거동에 비해 탐색기 영상에 큰 변화를 주게 되어 영상 추적 성능을 크게 저하시킬 수 있다. 롤은 외란 및 비행 제어 오차로 항상 발생할 수밖에 없으나, 영상 추적 및 체계 성능에 영향을 주지 않는 수준을 판단하여 구성품의 오차 관리를 해야 한다. 하지만 표적의 영상 특성 및 영상 추적기의 높은 비선형성으로 단순한 기준으로 성능 예측을 한다는 것은 매우 어려운 일이다. 본 연구에서는 영상탐색기가 적용된 정밀유도무기의 M&S 환경을 구축하고, 유도탄의 롤 거동이 영상 추적 및 체계 성능에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 오차 분석을 통해 유도무기 성능보장을 위해 요구되는 구성품의 규격을 도출하였다.

주요어 : 정밀 유도무기 시뮬레이션, 영상 추적, 유도탄 롤

1. 서론

단발성 체계(one-shot system)인 유도무기 분야에서, M&S(Modelling & Simulation)는 개발의 시작과 끝이라

고 해도 과언이 아닐 만큼 그 비중이 매우 크다. 수 천만 원 내지 수 억 원에 달하는 유도무기에 대해 실사격 시험만으로 성능 확인을 수행할 경우 막대한 비용이 소모되기 때문이다(Lee 등, 2007). 따라서 다양한 운용 환경 조건 하에서의 유도탄성능 평가는 M&S를 통해 수행되며, 그 중 일부를 실시함을 통해 확인하게 된다(Cho 등, 2012; Jo 등, 2013). 또한 최근 들어 국방 분야에서도 비용대효과의 극대화를 위한 무기체계 저가화가 강조되면서, “최고” 성능의 무기체계가 아닌 운용 개념에 맞는 “최적”의

Received: 1 February 2019, Revised: 14 June 2019,
Accepted: 24 June 2019

[†] Corresponding Author: Dong Gil Jeong
E-mail: dgjeong@add.re.kr
Agency for Defense Development

성능을 확보하는 것이 더 중요해 졌다(Ryu 등, 2013; Mark 등, 2006). 그런데 구성품의 요구 성능이 체계 성능에 미치는 영향을 정량적으로 판단하는 것은 매우 어렵기 때문에, 구성품의 요구 성능은 여유(margin)있게 설정될 수밖에 없다. 따라서 구성품의 요구 성능을 최적화하기 위해서 M&S의 역할이 필수적이다. 문제는 얼마나 정확한, 즉 실제와 유사한 M&S를 수행하느냐이다. 현대전의 양상이 국지화되면서 민간에 대한 부수 피해를 최소화 위해 유도무기의 운용 비중은 점차 늘고 있는 추세이다(Richard, 1995). 유도무기 중에서도 관성항법이나 위성항법만으로 유도되는 무기체계보다는 탐색기가 적용된 정밀 타격유도무기의 개발, 운용 비중이 증가하는 추세이다. 정밀 타격유도무기는 탐색기의 성능이 체계 성능을 크게 좌우하는 만큼, 탐색기의 특성이 반영된 정교한 M&S의 수행이 요구된다.

탐색기는 사용하는 신호의 특성에 따라 능동형(active), 반능동형(semi-active), 수동형(passive) 탐색기로 구분되는데, 능동형에는 초고주파(microwave)탐색기, 반능동형에는 반능동레이저(semi-active laser)탐색기, 수동형에는 영상탐색기가 대표적이다(Lee, 1991; Song, 1995). 초고주파 탐색기는 반사파 특성으로 공중 표적이나 대형 해상 표적에 제한되며, 반능동레이저 탐색기는 레이저 조사 거리에 비례하여 유도오차가 증가하는 단점이 있다. 영상탐색기는 상대적으로 저가이며, 다양한 운용환경에 적용이 가능한 장점이 있다. 하지만 탐색기의 소프트웨어(software)인 영상추적기는 일반적인 감시정찰체계에 적용되는 추적기에 비해 고난이도의 기술이 요구된다. 유도탄과 표적의 상대 위치가 급격히 변함에 따라, 점표적에서부터 표적 영상으로 포화되기 까지 변화함은 물론 유도탄의 거동에 따라 표적 영상의 특성이 변화하기 때문이다. 특히 유도탄의 롤(roll) 거동은 영상탐색기의 성능에 큰 영향을 미치는 요소인데, 통상 탐색기의 짐벌(gimbal)은 피치(pitch)와 요(yaw) 방향 거동은 안정화를 통해 보상되기 때문이다. 본 논문에서는 영상탐색기의 특성을 모의할 수 있는 M&S 기법을 적용하여 유도탄의 롤 거동이 체계 성능에 미치는 영향을 분석하는 한편, 롤을 유발하는 구성품의 관련 성능 규격을 제시하였다.

2. 영상탐색기 모의: 통합비행시뮬레이션

2.1 기존 유도탄 비행 시뮬레이션

Fig. 1은 유도탄의 비행 개념도를 나타낸 것으로 추진기관(propulsion)에 의해 추력(thrust)을 얻어 속력을 확

보하는 것으로 유도탄의 동작이 시작된다. 이후 탐색기가 제공하는 표적 정보에 따라 유도하기 위하여 구동기(actuator)를 작동시키고, 이에 의해 구동된 조종면(control surface)으로 공력(aerodynamics)을 얻게 된다. 유도탄의 비행 시뮬레이션은 이러한 일련의 과정을 모의하는 것으로, 각 힘에 의한 유도탄의 거동을 미분방정식으로 정의하고 이를 수치적분 하는 방식으로 수행된다.

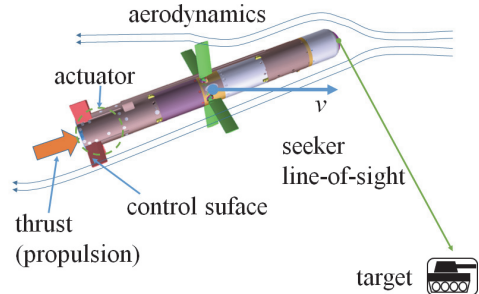


Fig. 1. Concept of missile flight

전통적인 유도탄 비행 시뮬레이션에서 탐색기 모델은 점표적을 대상으로 이상적인 추적을 수행한다고 가정한다(Hong 등, 1997; Moon 등, 2010; Oh, 2010). 특히 영상탐색기의 경우 탐색기 영상 모의가 필요했기 때문에 높은 그래픽 연산량을 요구했으며, 2000년대 초반까지만 해도 이를 반영한 시뮬레이션은 극히 제한적으로 수행되었다. 하지만 영상탐색기의 성능이 체계 성능에 미치는 영향이 지배적이기 때문에 이를 반영한 시뮬레이션 수행의 중요성이 인식되었다(Park, 2013).

2.2 통합비행 시뮬레이션

영상탐색기 중에서도 주야간 운용이 가능한 적외선 영상탐색기의 적용이 일반적이다. 단순(단소자; 레티클형) 적외선 탐색기의 경우 탐색기 성능이 어느 정도 예측 가능한 반면(Hong 등, 1997), 영상탐색기는 단순 모델을 통한 모의 및 성능 예측이 매우 어렵다. 이에 유도탄 비행 성능과 탐색기 추적 성능을 통합하여 모의하는 통합 비행 시뮬레이션(Integrated Flight Simulation)이 방산 선진국인 미국, 독일 등에서 시도되었다. 주로 표적과 배경의 온도에 따른 적외선 방출 물리 법칙을 적용한 합성 영상을 생성하여 영상 추적기의 입력으로 인가하였다(Catchart 등, 1991; Bates 등, 2001; Morin, 2001). 본 연구에서는 미국 Presagis사의 Vega Prime을 이용하여 적외선 영상탐색기의 영상을 모의하였다.

3. 유도탄 롤 거동 영향성

공력, 추력 및 다양한 구성품 오차들이 유도탄의 유도 오차에 영향을 미치나, 무유도 무기체계와 달리 유도 루프의 피드백으로 상당 부분의 오차는 보상된다(Andrade, 1986). 반면 탐색기의 영상 추적 오차는 보상이 되지 않기 때문에 통합비행시뮬레이션을 통해 영상 추적 오차에 의한 체계 성능의 민감도를 확인하도록 한다.

3.1 유도탄 롤 거동에 의한 영상 회전

유도탄의 롤 거동이 발생하게 되면 탐색기 영상 상의 피사체는 반대로 회전하게 된다(Fig. 2). 일반적으로 영상 안정화 및 영상 추적은 병진 운동(translation motion)에 대해 수행되므로, 이러한 영상 회전은 영상 추적 성능에 악영향을 미치게 된다.

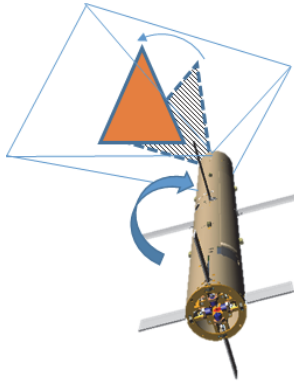


Fig. 2. Image rotation due to missile roll

변환 영상에 적용되는 회전 각도(s)는 유도탄의 동체 롤 각과는 상이한 값이며, 다음과 같이 산출 된다(Jeong 등, 2018).

$$\sigma_\phi = \tan^{-1}(A/B),$$

$$\text{where } A = \sin\lambda_\psi \cos\lambda_\theta \sin\theta + \cos\theta \cos\lambda_\psi \sin\phi$$

$$+ \cos\theta \sin\lambda_\psi \sin\lambda_\theta \cos\phi$$

$$B = -\sin\lambda_\theta \sin\theta + \cos\lambda_\theta \cos\phi \cos\theta.$$

l_q, l_y, f, q, y 는 각각 영상 좌표계에서의 피치, 요 각, 탐색기 짐벌(gimbal) 피치 각, 짐벌 요각, 유도탄의 롤, 피치, 요 각이다.

3.2 유도탄 롤 거동의 추적 성능 영향성

유도탄 롤 거동의 탐색기 추적 성능 영향성을 확인하

기 위하여 유도탄의 위치를 고정하고 롤 각속도만 증가하여 표적 추적을 유지 여부를 실험하였다. Fig. 3은 최초 표적을 포착(lock-on)하였을 때의 영상이며, Fig. 4, 5는 각각 표적 추적에 실패하기 직전과 실패 시의 영상이다. Fig. 4, 5의 좌상단 영상부터 우상, 좌하, 우하 순으로 200, 300, 400, 500 (deg/s)의 각속도를 증가한 경우이다.

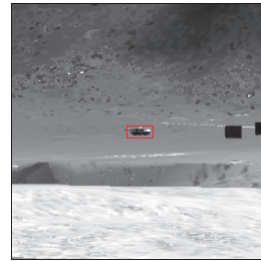


Fig. 3. Initial target lock-on image

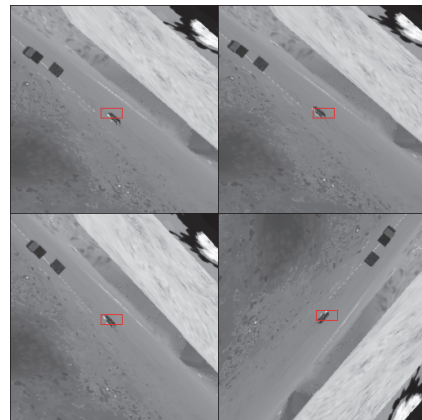


Fig. 4. Tracking image just before target loss

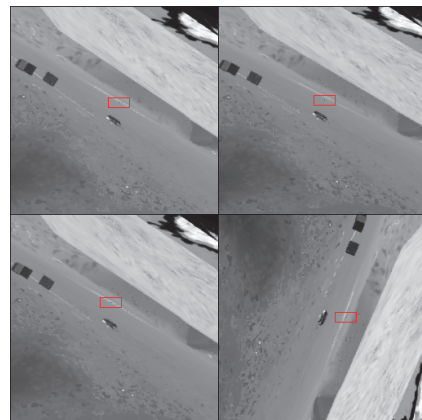


Fig. 5. Tracking image at target loss

200 deg/s 이하의 각속도를 인가하였을 경우에는 360 도 회전을 할 경우에도 표적 추적은 유지되었다. 각속도에 따른 표적 실패 시의 각도는 Table 1과 같다. 200~400 deg/s의 각속도 조건에서는 약 150 도 수준의 롤 각에서 표적 추적에 실패했고, 500 deg/s의 각속도에서는 그보다 작은 67 도에서 추적에 실패했다.

Table 1. Target loss angle [rate: deg/s, anlg: deg]

roll rate	200	300	400	500
roll angle	147	150	147	67

하지만 이는 유도탄이 고정되어 표적의 크기는 변하지 않는 조건이므로 비행 간의 성능 확인이 필요하다. 하지만 롤 거동 발생 시점 및 빠르기(각속도), 크기(각도) 등 다양한 조건이 영향을 미치기 때문에 롤 외란 요소를 오차로 인가하고 500 회의 몬테카를로(Monte-Carlo) 시뮬레이션을 수행하였다.

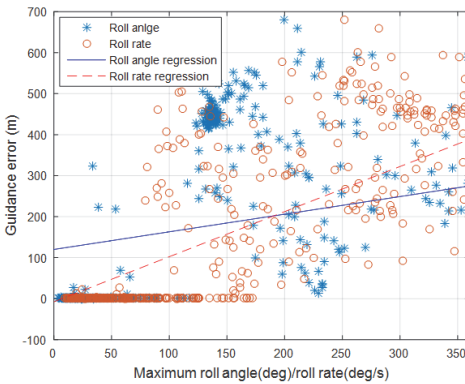


Fig. 6. Guidance error due to roll

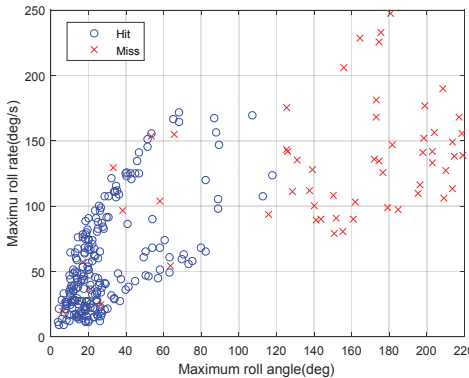


Fig. 7. Hit & miss condition

Fig. 6은 각 비행 시 최대로 발생한 롤 각도와 롤 각속도에 따른 유도오차(guidance error)를 도시한 것으로 롤 거동에 의해 유도오차가 크게 증가하는 것을 확인할 수 있다. 그림의 실선과 파선은 각각 롤 각도와 롤 각속도에 따른 유도오차를 선형 회귀 분석 결과로 롤 각속도와 유도오차의 상관관계에서 원점 주변을 지나는 것으로 보아 롤 각속도가 유도오차에 미치는 영향이 더 타당한 것으로 판단된다. Fig. 7은 롤 각도/각속도 조건 하에서 명중 여부를 나타낸 것으로 롤 각속도 171 deg/s와 롤 각도 118 도 이상의 조건에서는 모든 경우 불명중한 것을 확인하였다.

4. 구성품 요구 성능 검토

유도탄 롤 거동에 의한 영상 회전이 추적 성능 및 체제 성능에 영향을 미치는 것을 확인했으나, 추적 성능을 확보하기 위한 구성품 요구 성능 설정을 위해 구성품의 오차 요인을 식별하고 이에 기반한 시뮬레이션을 수행해야 한다.

4.1 유도탄 롤 거동을 유발하는 구성품 오차

다양한 요인에 의해 유도탄의 롤 거동이 발생하게 되나 대표적인 요인으로 추력 정렬 오차와 공력 형상의 비대칭성이 있다. 추력 정렬 오차는 추진기관 노즐에 의해 형성되는 추력 벡터의 방향 오차에 기인한 것이다. 본 연구에서 검토한 유도탄의 경우 측방 추력 방식으로 좌, 우 노즐의 비대칭성으로 인해 후방 추력에 비해 비정렬성이 클 수밖에 없다.

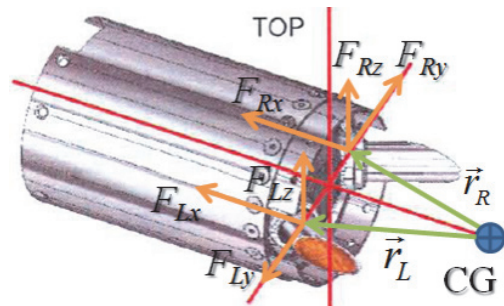


Fig. 7. Side thrust alignment concept

Fig. 7은 좌, 우 노즐에 의한 측방 추력 정렬 개념도로 정렬 오차가 없는 경우 $F_{Ry}=F_{Ly}$, $F_{Rz}=F_{Lz}=0$ 으로 상쇄되고 유도탄 측방향(x) 성분만 존재하게 된다. 하지만 $F_{Rz} \neq 0$,

$F_{Lz} \neq 0$ 일 경우 다음과 같이 주어지는 롤 모멘트(M_x)가 발생하게 된다.

$$M_x = r_R \times F_{Rz} + r_L \times F_{Lz}$$

한편 공력형상의 비대칭성은 유도탄의 날개의 비정렬성에 의해 발생한다. 전방날개 또는 주익과 조종면에 해당하는 미익의 정렬 오차를 모의하기 위해 롤 구동각 바이어스를 인가하게 된다. 4개의 조종면의 정렬 오차각(흔지축 기준 틀어짐 각도)을 각각 $d_{\beta 1} \sim d_{\beta 4}$ 이라 하고, 4개의 주익 정렬오차를 각각 $d_{w1} \sim d_{w4}$ 이라 할 때 롤 구동각 바이어스는 다음과 같이 정의된다.

$$\Delta\delta_r = -\frac{\delta_{f1} + \delta_{f2} + \delta_{f3} + \delta_{f4}}{4} - \frac{\delta_{w1} + \delta_{w2} + \delta_{w3} + \delta_{w4}}{4} \frac{S_w}{S_f}$$

S_w , S_f 는 각각 주익과 미익의 면적으로 미익 기준으로 시뮬레이션에 적용하기 위해 면적비를 반영한 것이다.

4.2 구성품 오차 영향성

추력과 날개의 비정렬성에 의한 체계 성능 영향을 판단하기 위하여 조건 별로 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하고, 명중률을 산출하였다. 유도탄의 비행 동역학에만 기반한 시뮬레이션 및 통합비행시뮬레이션을 동일 조건에서 수행하여 그 결과를 비교하였다. Fig. 8, 9는 각각 추력과 날개 비정렬성에 따른 명중률 변화를 나타낸 것이다. 두 경우 모두 동역학 기반 시뮬레이션 결과 대비 통합비행 시뮬레이션 결과의 명중률이 낮게 산출된 것을 확인할 수 있다. 즉, 롤에 의한 추적 성능 저하가 반영된 경우 체계 성능의 추가적인 저하가 발생하는 것이다.

예를 들어 90 % 이상의 명중률 확보를 목표로 할 경우, 동역학 기반 시뮬레이션의 경우 추력 비정렬도를 0.6 Nm 이하로 관리하면 성능 확보가 가능하나 체계통합 시뮬레이션 결과, 0.3 Nm 수준의 관리가 필요한 것을 알 수 있다. 날개 정렬도 수준도 마찬가지로 요구되는 오차 수준이 2 도와 0.5 도와 큰 차이를 보였다.

5. 결론

본 논문을 통해 유도탄의 롤 거동이 영상 추적 성능에 영향을 크게 미칠 수 있음을 확인하는 한편, 동역학 기반 M&S만으로 확인할 수 없는 롤 영향성을 통합비행시뮬레이션 기법을 통해 확인하였다. 감시정찰 체계와 같이

정지 플랫폼에서의 영상 회전은, 추적기 특성에 따라 상이할 것이나, 큰 성능 저하를 야기하지 않았다. 다만 비행간의 영상 추적에서는 롤에 의한 영상 회전이 체계 성능 저하를 야기하므로, 관련 구성품의 규격 관리가 필요한 것을 확인하였다. 영상탐색기 적용 정밀유도무기는 최근 활발히 개발되고 있어, 본 연구 결과는 다양한 유도무기 체계 개발에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

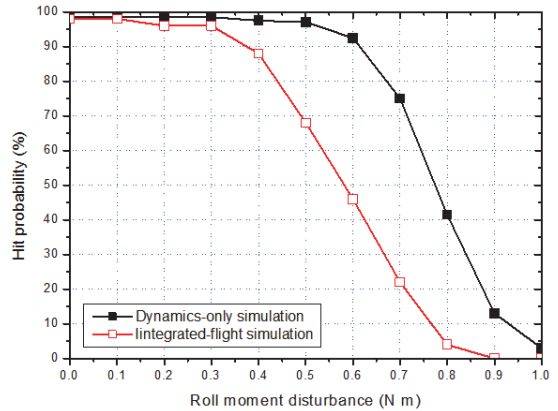


Fig. 8. Thrust misalignment - hit probability

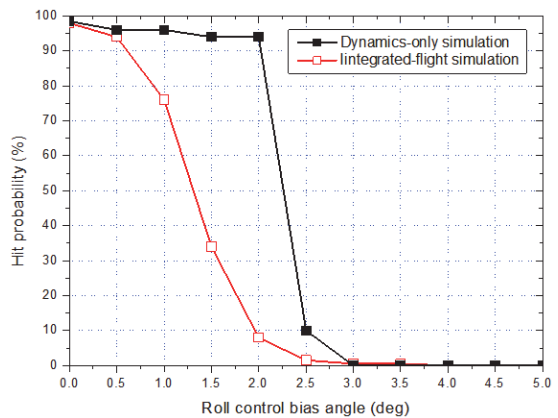


Fig. 9. Wing/fin misalignment - hit probability

References

Lee, J.H., Lee, S.J. and Hong, J.Y., “Test and evaluation trend and cost for the development of aircraft and guided missile(3)”, Defense & Technology, Vol. 341, 34-49.
 (이중희, 이상직, 홍재영(2007), “항공기 및 유도무기 개발에서의 시험평가 경향과 비용 (3)-미국의 사례를

- 중심으로”, 국방과 기술, 341권, 34-49).
- Cho, K.C.(2012), “Enhancing the Efficiency and Reliability for M&S based Test and Evaluation System Development”, *Journal of the Korea Society for Simulation*, Vol. 21, no. 3, 89-96.
- (조규태 외 4명(2012), “M&S 기반 시험평가 장비 개발의 효율성 및 신뢰성 강화 방안”, 한국시물레이션학회논문지, 21권, 1호, 89-96).
- Jo, K.H. et al.(2013), “Development of Test Scenario based on M&S for System Integration of Guided Missile”, *ICS 2013 Proceeding*, 167-168.
- (조경환 외 3명(2013), “유도무기 체계통합시험을 위한 M&S 시험 시나리오 개발”, 2013 정보 및 제어 심포지엄, 167-168).
- Ryu, S.M., Lee, S.Y. and Baek, C.H.(2013), “Guided Weapon Development Status and Road Map-Focused on Airborne Warfare”, *The Journal of Aerospace Industry*, Vol. 77, 66-91.
- (류선미, 이승유, 백철훈(2013), “유도무기 개발 현황 및 발전 방향-공중전 중심으로”, 항공산업연구, 77권, 66-91).
- Mark V. A. et al. (2006), “Historical Cost Growth of Completed Weapon System Programs”, RAND co. technical report.
- Richard P. H. (1995), “Precision Guided Munitions and the New Era of Warfare”, Air Power Studies Centre, RAAF Fairbairn Australia.
- Lee, W.S.(1991), “Seeker Technology Status”, *Defense & Technology*, Vol. 152, 76-81.
- (이원상 (1991), “탐색기 기술 현황”, 국방과 기술, 152권, 76-81).
- Song, T.R.(1995), “Homing Guidance Technology”, *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol. 23, no. 6, 178-182.
- (송택렬 (1995), “호밍유도 기술”, 한국항공우주학회지, 23권, 6호, 178-182).
- Hong, T.G. et al.(1997), “A Study on Development of IR Missile Simulation Tool” *Proceeding of 1997 IEEK Conference*, Vol. 10, no. 1, 889-892.
- (홍태기 외 4명 (1997), “적외선 유도탄의 추적 시물레이션 툴 개발에 관한 연구”, 대한전자공학회 학술대회 논문집, 10권, 1호, 889-892).
- Moon, K.Y., Jeon, B.E. and Lee, J.W.(2010), “Homing Filter Signal and Covariance Managing Technique for RF Seeker”, *Proceeding of 2010 The Korean Society For Aeronautical And Space Sciences Conference*, no. 1, 623-626.
- (문관영, 전병을, 이재웅 (2010), “RF 탐색기 호밍필터 공분산 및 신호 관리기법”, 한국항공우주학회 2010년도 추계학술발표회 논문집, 1호, 623-626).
- Oh, S.M.(2010), “Terminal Homing Guidance of Tactical Missiles with Strapdown Seekers Based on an Unscented Kalman Filter”, *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol. 38, no. 3, 221-227.
- (오승민 (2010), “스트랩다운 탐색기를 장착한 전술 유도탄의 UKF 기반 종말호밍 유도”, 한국항공우주학회지, 38권, 3호, 221-227).
- Park, S.S. et al.(2013), “Development of Engagement Simulation Program between Anti-ship Missile with IIR Seeker and Ship Defense System”, *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol. 41, no. 5, 373-382.
- (박상섭 외 4명 (2013), “적외선 영상탐색기를 탑재한 대함유도탄-함정방어체계 교전모의 프로그램 개발”, 한국항공우주학회지, 41권, 5호, 373-382).
- J. M. Catchart, A. D. Sheffer, Jr.(1991), “Generation and application of high-resolution infrared computer imagery”, *Opt. Eng.* Vol. 30, No. 11, 1745-1755.
- C. Bates, J. Lucas, J. Robinson(2001), “The Javelin Integrated Flight Simulation”, *Int. Conference on Computational Science*, 507-514.
- A. Morin(2001), “Simulation of infrared imaging seeking missiles”, in *Proc. of SPIE* Vol. 4365, 46-57.
- O.A. Andrade(1986), “Sensitivity and Robustness Analysis for Sea-Skimming Missile”, Master's thesis of Naval Postgraduate School.
- Jeong, D.G., Yun, H.S. and Park, J.H.(2018), “Study on Integrated-Flight Simulation Method Using CFT Imagery”, *Journal of the Korea Society for Simulation*, Vol. 27, No. 1, 111-117.
- (정동길, 윤효석, 박진현(2018), “탐재비행시험 영상을 적용한 통합비행 시물레이션 기법 연구”, 한국시물레이션학회 논문지, 27권, 1호, 111-117).



정 동 길 (dgjeong@add.re.kr)

2003 부산대학교 전자전기통신공학 학사
2005 한국과학기술원 석사
2005~ 현재 국방과학연구소 재직 중

관심분야 : 컴퓨터시뮬레이션, 컴퓨터비전



박 진 서 (jinseo@add.re.kr)

2009 인하대학교 항공우주공학 학사
2011 인하대학교 항공우주공학 석사
2011~ 현재 국방과학연구소 재직 중

관심분야 : 컴퓨터시뮬레이션, 항공제어, M&S



이 중 희 (jonghee.lee@add.re.kr)

1995 서강대학교 물리학 학사
2005 (미)메릴랜드대 물리학 석사
2007 (미)메릴랜드대 물리학 박사
2011~ 현재 국방과학연구소 재직 중

관심분야 : 컴퓨터 시뮬레이션, 영상탐색기 탑재 비행시험,



전 두 성 (dsjun@add.re.kr)

2010 한국항공대학교 항공우주공학 학사
2012 한국항공대학교 항공우주공학 석사
2012~ 현재 국방과학연구소 재직 중

관심분야 : 컴퓨터 시뮬레이션, 유체공학



손 성 한 (shson@add.re.kr)

1990 경북대학교 전자공학 석사
2005 고려대학교 메카트로닉스 박사
1990~ 현재 국방과학연구소 재직 중

관심분야 : 비선형 유도제어, 영상 추적알고리즘