I. Introduction

최근 기계적 짐벌 메커니즘 없이 미사일 몸체에 직접 장착된 이미지 적외선(IIR) 광학 센서를 갖춘 스트랩다운 시커의 개발은 짐벌 시커를 대체하기 위해 연구되고 있습니다. 그러나 스트랩다운 시커의 경우, 비례 항법(PN) 유형의 안내 법칙을 구현하기 위해 LOS(Line of Sight) 비율을 계산하거나 추정해야 하기 때문에 스트랩다운 시커를 사용하기 위해 해결해야 할 기술적 문제가 있습니다. 그러나 정확한 LOS 비율과 비교하여 계산된 LOS 비율은 정확한 LOS 비율 항과 측정의 불일치로 인한 추가 피드백 항(즉, 기생 루프)의 조합으로 해석할 수 있습니다. 이러한 추가 피드백 루프는 결국 안내 시스템을 불안정하게 만들고, 이러한 현상을 스트랩다운 시커의 기생 효과라고 합니다.

지금까지, 스트랩다운 탐색기에서 이전의 기술적 문제를 다루는 매우 적은 연구가 그 중요성과 시급성에도 불구하고 공공 영역에서 보고되었습니다. 스트랩다운 탐색기에 대한 초기 연구는 두 가지 방향으로 분류할 수 있습니다. 첫째, 일부 연구자들은 단말 유도 루프 [1–4]에 대한 스케일 팩터 오류의 영향을 조사하기 위해 노력해 왔습니다. 이 접근 방식을 사용하여, 스트랩다운 탐색기를 포함하는 기생충 루프의 안정성 영역을 여러 연구에서 분석했습니다 [5–8]. 두 번째 연구 방향으로, 새로운 유도 법칙, 해당 단말 유도 루프 [9–11] 및 스트랩다운 탐색기를 위한 유도 필터를 고안하기 위한 일부 노력도 이루어졌습니다.

보다시피, 안정성 분석에 대한 기존 연구들은 주로 스케일 팩터 오차에 의한 기생충 효과에 초점을 맞추었습니다. IIR 타입의 스트랩다운 탐색기의 경우, 영상 평면에서 타겟을 구별하고 추적하기 위한 IR 영상 처리로 인한 시간 지연은 고유한 특성입니다. 또한, 룩 앵글 레이트를 생성하기 위한 미분기(즉, 필터)는 추가적인 시간 지연을 도입할 수 있습니다. 이러한 시간 지연이 관련되면 스케일 팩터 오차의 안정성 기준을 충족하더라도 스트랩다운 탐색기와의 호밍 루프가 불안정해집니다. 따라서, IR 영상 처리 및 필터링으로 인한 시간 지연으로 인한 기생충 효과에 대한 고려는 스트랩다운 탐색기의 호밍 루프를 설계하는 데에도 중요합니다. 그러나, 이전 연구에서는 이러한 문제가 중요함에도 불구하고 잘 해결되지 않았습니다.

또한, 유도 법칙 및 상응하는 호밍 루프 설계에 대한 이전의 연구는 척도 요인 오류 및 시간 지연 모두 기생충 효과에 대한 직접적인 해결책을 제공하지 못했는데, 즉 시야 효과(FOV) 효과만 고려하거나 [10] 추적형 유도법 설계 [9]. 비록 이 유도법의 시행이 기생충 효과로부터 자유로울 수 있지만, 이 접근법에서 지불해야 할 대가가 있습니다. 추적형 유도법은 추적 유도 특성: 목표물 가로채기 시 예측 가능성이 낮기 때문에 유도 성능 측면에서 일반적으로 PN형 유도법보다 효과가 낮다는 것은 잘 알려져 있습니다 [15]. 따라서 추적형 유도법을 사용하는 대신 PN형 유도법에 기반하고 (유도 성능을 보장하기 위해) 주로 시간 지연으로 인한 기생충 효과를 완화할 수 있는 호밍 루프를 설계할 수 있다면, 스트랩다운 탐색자의 적용에 유익할 것입니다.

이러한 맥락에서 본 논문은 IR 영상 처리와 필터링의 시간 지연으로 인한 기생 효과를 조사하여 이해의 폭을 넓히고자 합니다. 이러한 분석을 바탕으로 비례-적분-유도-항법(PIDN) 유도 법칙인 수정된 PN형 유도 알고리듬과 함께 모델 매칭 방법을 사용하여 시간 지연에 의해 유발된 기생 효과를 보상하는 새로운 호밍 루프를 제안합니다. 이를 위해 본 논문에서는 먼저 룩 앵글 레이트, 신체 자세 각도 및 신체 자세 각도 레이트의 방정식에 의해 주어지는 LOS 레이트에 대한 전체 비선형 방정식을 도출합니다. 미사일이 롤 채널에서 잘 안정화되어 있다는 가정 하에서 작동하면 각 채널의 룩 앵글 레이트와 신체 자세 각도 레이트의 합으로 피치 및 요 채널의 LOS 레이트를 분리 및 단순화할 수 있습니다. 따라서 단순화된 LOS 레이트의 방정식을 바탕으로 3축 레이트 자이로와 스트랩다운 탐색기를 갖는 미사일의 터미널 호밍 루프에 대한 설계 접근 방식을 제안합니다. 제안된 접근 방식에서는 모델 매칭 기법의 개념을 바탕으로 체각 레이트의 피드백 신호 루프에 탐색기 시간 지연 모델과 룩 앵글 레이트를 얻기 위한 필터를 의도적으로 배치하여 기생충 효과를 완화합니다. 또한 터미널 호밍 루프는 (PID 제어 개념에 의해 동기 부여됨) PIDN 법칙을 도입하여 모델 매칭 기법을 수행한 후 시간 지연 오류가 발생하더라도 안정성 마진을 확보할 수 있습니다. 제안된 접근 방식에서는 직접적인 방법으로 호밍 루프의 안정성과 동적 특성을 분석할 수 있습니다. 예시적인 예로 정지하거나 느리게 움직이는 목표물에 대한 설계 프로세스를 도입하고 제안된 호밍 루프의 성능을 비선형 6도 자유도(6-DOF) 시뮬레이션을 통해 검증합니다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있습니다. II절에서는 신체 자세 각도와 룩 앵글 레이트의 결합 관점에서 LOS 레이트의 이론적 분석을 제시합니다. III절에서는 시간 지연으로 인한 기생 효과를 조사하고 시간 지연으로 인한 기생 효과의 결과로 인한 불안정성을 극복하기 위해 모델 매칭 및 PIDN 유도 법칙을 포함한 새로운 호밍 루프 구성을 제안합니다. IV절에서는 단거리 전술 미사일의 설계 예에 대해 설명합니다. 또한 제안된 호밍 루프의 안정성을 분석하고 논의합니다. 또한 다양한 목표 범위 및 시간 지연에 따라 몬테카를로 분석을 포함한 전체 비선형 6-DOF 시뮬레이션을 통해 제안된 접근법의 성능을 검증합니다. 결론은 V절에서 확인됩니다