

항공관제용 감시자료처리시스템 항적 추적 성능 검증

은연주*, 전대근**, 엄찬홍***

Target Tracking Performance Verification of Surveillance Data Processing System for Air Traffic Control

Yeonju Eun*, Dae-Keun Jeon**, Chan-Hong Yeom***

Abstract

As a sub-system of an air traffic control system, SDP(Surveillance Data Processor) provides with the system tracks of aircraft using the surveillance sensor data from various air traffic surveillance sensors, such as radars. Therefore, the high accuracy of tracking results is a crucial requirement for safe flights, and verification of the required system performance of SDP is an essential step in development. Moreover, the quantitative evaluation of target tracking accuracy is important for newly developed SDP, since there are several tracking methods for Multi-Sensor Multi-Target Tracking, such as MRT(Multi Radar Tracking), inevitably required as the main function of SDP. In this study, definition of required system performances, establishment of test environment, and test results for MRT performance evaluation of SDP, which is being developed in KARI(Korea Aerospace Research Institute) are presented.

초 록

항공관제시스템을 구성하는 하부 시스템중 하나인 감시자료처리시스템(SDP, Surveillance Data Processor)은 항공 감시 레이더 등 다양한 감시 센서로부터 감시자료를 전달 받아 항공기의 항적을 추적하는 시스템으로서, SDP의 항적 추적 성능은 항공기의 안전 운항에 직접적인 영향을 미친다. 따라서 개발과정에서 SDP의 요구 성능에 대한 검증은 필수적이며, 특히 대표적인 다중 센서 다중 타겟 추적(Multi-Sensor Multi-Target Tracking)시스템으로서 다양한 타겟 추적 방법이 존재함에 따라 정량적인 추적 정확도 성능 평가가 중요하게 여겨지고 있다. 본 연구에서는 현재 한국항공우주연구원에서 개발 중인 SDP의 항적 추적 성능 검증을 위한 요구 성능 정의, 테스트 환경 구축, 테스트 결과에 대해 정리하였다.

키워드 : 감시자료처리시스템(SDP), 다중 레이더 추적(MRT), 타겟 추적 정확도(target tracking accuracy)

접수일(2012년 9월 7일), 수정일(1차 : 2012년 10월 17일, 게재 확정일 : 2012년 11월 1일)

* 차세대항행팀/yjeun@kari.re.kr **차세대항행팀/bigroot@kari.re.kr ***교통항법기술연구센터/yeom@kari.re.kr

1. 서 론

항공관제시스템은 항공기 운항지역에서 항공기 간의 충돌과 항공기와 장애물 간의 충돌을 사전에 방지함과 동시에 항공기들의 운항 효율을 촉진시키고, 항공 교통의 질서를 유지하기 위한 시스템으로서, 국내에는 항로관제소인 항공교통센터 및 10개 접근관제소에서 각각 운용중이다[1].

현재 한국항공우주연구원에서 개발중인 항공관제용 감시자료처리시스템 (Surveillance Data Processor, 이하 SDP)는 항공관제시스템을 구성하는 하부 시스템 중 하나로서, 레이더와 같은 감시센서로부터 자료를 입력 받아 관제에 필요한 항공기 궤적 정보인 시스템 항적을 계산하여 관제사 현시기 등에 제공한다[2].

SDP의 항적 탐지 및 추적 정확도 등의 성능은 항공기 안전 운항에 직접적인 영향을 주는 것으로서, SDP 개발 과정에서 요구 성능에 대한 엄밀한 검증은 필수적이라 할 수 있다. 그러나, 현재 해외에서 도입되어 국내 운용 중인 SDP는 국제 표준을 바탕으로 국내 특수 상황을 고려하여 면밀하게 성능 요구도를 정의하여 이를 검증하였다기 보다는, 기존 국내에 도입되어 운용 중인 시스템 제작사의 규격서, 시험절차서에 의거하여 다수 정성적인 수준에서 성능 검증을 해온 것이 사실이다.

SDP의 요구 성능 중 항적 추적의 정확도에 있어서, SDP의 주요 기능인 항적 추적 기능은 다중센서 다중타겟 추적(Multi-Sensor Multi-Target Tracking)의 대표적인 Application 중 하나로서, 다양한 타겟 추적 방법이 존재함에 따라, 기존의 시스템과의 성능 비교를 위해 추적 정확도의 정량적인 성능 평가가 중요하다. 특히 한국항공우주연구원에서 현재 개발중인 SDP는 기존에 국내에 도입되어 사용되고 있는 SDP들과는 다르게, 항공관제시스템에 쓰이는 다중센서 추적 방법 중 가장 발전된 형태로 알려진 Multiple Plots Variable Update[6] 방법을 칼만 필터 기반의 IMM(Interactive Multiple Model)에 적용하여 항

적 추적을 수행하고 있어, 항적 추적 정확도에 대한 정량적 성능 평가 및 검증이 필수적이다.

기존의 전대근 등[2]의 연구에서는 유럽항행안전기구(EUROCONTROL) 표준 문서[3]의 성능 요구 사항에 따른 SDP 성능 검증을 위해 EUROCONTROL의 공인 틀인 SASS-C를 사용한 SDP 성능 평가 환경을 구축하였다. 그러나 기존의 EUROCONTROL 표준 문서가 업데이트 되고 있는 시기임에 따라 기존의 연구 결과를 보완해야 할 필요가 제기되었고, 평가 환경 중에서 센서 시뮬레이션 틀인 SMART(Simulator for Multi-radar Analysis for Realistic Traffic)와 SASS-C의 인터페이스에 결함이 발견되었으나, 틀을 개발한 EUROCONTROL측의 유지보수를 기대할 수 없는 상황이기 때문에 새로운 평가 환경을 독자적으로 구축해야 할 필요가 발생하였다.

따라서 본 연구에서는 기존의 전대근 등[2]의 연구 결과에 대한 보완으로써, SDP의 요구 성능 중 특히 중요한 타겟 추적 정확도 성능 검증을 위해 기존의 표준 문서[3]에 기술된 성능 요구사항 중 필수적인 요구 성능을 추출하고, 추출한 요구성능 검증을 위해 새로이 독자적으로 시험 환경을 구축하여 테스트한 결과에 대해 정리하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 항공관제시스템의 감시자료처리 성능과 관련된 EUROCONTROL의 표준문서를 분석한 결과를 토대로 성능 평가 기준을 정리하였고, 3장에서는 구축한 테스트 환경에 대해 기술하였으며, 4장에서는 시험 및 평가 절차를, 5장에서는 시험 결과 및 결론에 대해 기술하였다.

2. 성능 평가 기준

본 SDP의 항적 추적 성능 평가는 1997년 EUROCONTROL에서 발간한 SUR.ET1.S T01.1000-STD-01-01, "EUROCONTROL Standard Document for Radar Surveillance in En-Route Airspace and Major Terminal Areas"[3]을 기준으로 하고 있다. [3]의 표준은 SDP 뿐만 아니라 감시센서를 포함한 레이더 감시시스템 전체의 성

능 기준으로써, ‘운용상 요구사항’, ‘개별 레이더 센서의 성능 요구사항’, ‘레이더 데이터 처리 요구사항’을 모두 포함하고 있으며, 이 중 SDP의 성능 기준은 ‘레이더 데이터 처리 요구사항’에 해당한다. 레이더 데이터 처리 요구사항은 크게 추적 성능 요구사항과 가용성 요구사항으로 구성되며, 추적 성능 요구사항은 다시 3가지 성능 기준인 항적 초기화(Track Initiation), 항적 유지(Track Continuity), 정확도(Accuracy)로 나뉘어 있다. 항적 초기화는 다중 타겟 추적 환경에서 새로운 타겟이 감지되었을 때 이에 대한 자료를 처리하여 해당 타겟의 항적을 생성하기까지 걸리는 시간이 충분히 짧아야 하는 것에 대한 성능기준이고, 항적 유지는 역시 다중 타겟 추적 환경에서 센서의 불완전성으로 인해 실제 존재하는 타겟에 대한 감지가 적절히 이루어지지 않아 잠시 동안 소실되었을 때에도 해당 타겟의 항적을 유지시킬 수 있어야 함에 따른 성능 기준이다. 정확도는 항적추적 정확도에 대한 성능 기준으로서, 특히 다중 센서를 이용한 환경에서 트래킹을 통해 각 센서의 측정 에러를 효과적으로 보정하여야 만족할 수 있는 성능 기준이다.

이와 같이 1997년에 발행된 성능 기준인 [3]의 문서는 기준이 감시시스템을 구성하는 각 요소별로 나누어져 기준이 자세히 정해져 있으나, 실질적인 측정 방법에 대한 고려가 부족하고, 성능 측정을 위한 시험 환경이 너무 엄격하게 특정 되어 있으며, 기존 PSR(Primary Surveillance Radar), SSR(Secondary Surveillance Radar)등의 항공감시 레이더와는 특성이 다른 Mode-S, ADS-B(Automatic Dependent Surveillance-Broadcasting), WAM(Wide Area Multilateration) 등의 감시센서를 이용하였을 때 만족해야하는 성능기준이 명시되어 있지 않은 문제가 있다.

이러한 문제점들을 보완하기 위해 EUROCONTROL에서는 2012년 3월 [4],[5]와 같은 새로운 성능 기준을 마련하였다. 새로운 성능 기준은, 레이더 등의 감시센서와 감시센서 자료를 측정치로 하여 항적 추적을 수행하는 SDP로 구분한 각각의 컴포넌트에 대한 성능 기준보다, 항공감시시스템 전체(감시센서와 SDP 통합)에

대한 포괄적인 성능 기준을 정하는 방향으로 수정되었다. 이와 같은 변화는, 안전한 항행서비스를 제공하기위해 확보해야하는 최소한의 감시 성능 기준으로서의 본래의 목적에 충실하기 위함이며, 개별 시스템의 개발자들 보다는 항공관제시스템의 사용자에게 해당하는 ANSP(Air Navigation Service Provider)들로 하여금 시험 및 측정을 손쉽게 할 수 있도록 하여 성능 기준으로서의 보편성을 확보하기 위해서인 것으로 생각된다. 그러나 보통 감시센서와 SDP의 개발은 별개로 이루어지므로, 개발단계에서 보면 SDP만의 성능 기준을 따로 추출해내기 어려운 문제가 있고, 감시센서들의 성능을 보장할 수 없기 때문에 이와 같은 표준을 그대로 적용하는 것은 적절치 않다고 판단된다. 또한, 새로운 성능 기준 문서에서도 개별적인 성능 기준 그 자체는 앞서 발간된 [3]의 기준을 토대로 하고 있음을 밝히고 있기 때문에 [4], 현재 개발 중인 SDP는 참고문헌[3]에서 항적 추적 정확도 측정에 필수적인 부분을 따로 구분해 내어 SDP의 항적추적 성능 기준으로 삼도록 하였으며, 이 장에서는 이러한 내용을 따로 정리하였다.

2.1 전제사항

감시센서처리시스템의 항적 추적 정확도는 다음과 같은 항목에 대해 측정한다.

- Position
- Ground Speed
- Course
- Vertical Speed

위의 항목에 대한 추적 정확성을 측정하기 위해 다음과 같은 감시 환경을 전제하도록 하고 있다[3].

2.1.1 감시센서 성능 특성

<SSR 센서>

- Target Detection Probability > 97%
- False Target Report Probability < 0.1%
- Slant Range Bias < 100m
- Azimuth Bias < 0.1°

- Slant Range Gain Error < 1m/NM
- Time Stamp Error < 100ms
- Slant Range Random Error(Standard Deviation) < 70m
- Azimuth Random Error(Standard Deviation) < 0.08°
- Overall False Codes Ratio < 0.2%
- Validated False Mode A Code < 0.1%
- Validated False Mode C Code < 0.1%
<PSR 센서>
- Target Detection Probability > 90%
- False Target Report < 20 per antenna scan
- Slant Range Bias < 100m
- Azimuth Bias < 0.1°
- Slant Range Gain Error < 1m/NM
- Time Stamp Error < 100ms
- Slant Range Random Error(Standard Deviation) < 120m
- Azimuth Random Error (Standard Deviation) < 0.15°

2.1.2 항공기 기동 특성

다음과 같은 항공기 기동 각각의 경우에 대해 항적 추적 정확도 성능을 측정한다.[3]

- Uniform Motion(등속 수평 직선 비행)
- Standard Turn(수평 균형 선회)
- Uniform Speed Change(등가속 수평 직선 비행)

각각의 기동 특성은 다음조건을 만족하여야 한다.

- Aircraft Ground Speed:
 - PSR: 40~800kt
 - SSR: 0~1500kt
- Transversal Acceleration:
 - 2.5~6m/s² (Average value: 4m/s²)
- Longitudinal Acceleration:
 - 0.3~1.2m/s² (Average value: 1m/s²)
- Rate of Climb/Descent: 1.5~40m/s²
- Direction: $|V_t| \approx |V_r|$

이외에 공역(En-Route/TMA)과 센서 종류(PSR/SSR/CMB)가 달라지는 테스트 케이스 별로 항공기 기동 특성이 달라지거나 조건이 추가될 수 있으며, 이러한 조건은 '2.2 테스트 케이스'에서와 같이 [3]에서 각각의 테스트 케이스에 대한 시나리오의 내용을 참고로 한다.

2.1.3 레이더 싸이트 특성

감시센서 추적 정확도를 측정하는 공역은 En-Route와 TMA(Terminal Maneuvering Area or Major Terminal Area)의 경우로 나뉘어 있으며, 각각 다음과 같은 특성을 갖고 있는 것으로 전제한다.[3]

<Major Terminal Area>

- PSR only
 - Antenna Revolution Time: 4sec
- One SSR
 - Antenna Revolution Time: 4sec
- Two SSR's
 - one combined PSR/SSR station with positional data derived from the SSR for combined target reports
 - one SSR only station
 - both stations are separated from each other by 30NM
 - Antenna Revolution Time: 4sec for both

<En-Route>

- One SSR
 - Antenna Revolution Time: 12sec
- Two SSR's
 - two independent SSR only stations separated from each other by 50NM
 - Antenna Revolution Time: 12sec for both

2.2 테스트 케이스

SDP의 항적 추적 정확도 성능 요구도를 검증하기 위한 각각의 테스트 케이스들은 아래의 표 1과 같으며, 각각의 테스트 케이스들에 대한 자세한 테스트 시나리오와 항적 추적 정확도 성능

요구도는 아래의 테스트 케이스들을 바탕으로 [3]을 참고로 한다. 표 1의 테스트 케이스는 TMA, En-Route의 공역 조건 각각에 대해 레이더 운용환경이 3가지, 2가지 조건으로 총 5가지 감시환경 조건이 주어져 있으며, 각각의 감시환경 조건에 대해 Uniform Motion(등속 수평 직선 비행), Standard Turn(수평 균형 선회), Uniform Speed Change(등가속도 수평 직선 비행)의 3가지 비행모드(Mode of Flight)에 대한 테스트를 하여야 하므로 총 15가지 테스트 케이스가 구성된다.

표 1. Test Cases

Air-space	Radar	Mode of Flight
TMA	PSR only	Single Flight Modes Cases (Uniform Motion, Standard Turn, Uniform Speed Change)
	one SSR	
	Two SSR's	
En-Route	one SSR	
	Two SSR's	

3. 시험 환경

앞의 2장에서 다룬바와 같이 EUROCONTROL 기준의 SDP의 다중 레이더 추적 정확도 성능 요구도는 감시센서의 성능 특성과 항공기 기동 특성, 레이더 사이트 특성뿐만 아니라 각각의 테스트 케이스별로 시험 시나리오가 상세하게 정의되어 있기 때문에 이러한 조건을 모두 만족하는 환경 하에 실제 비행시험을 통해 성능 평가를 수행하는 것은 불가능하다. 또한 위치 및 속도 등 항적 추적의 정확도를 평가하기 위해서는 참값으로 여길 수 있는 매우 정확도가 높은 기준 궤적(Reference Trajectory)가 필요한데, 이는 감시센서의 에러 특성을 모의하는 센서 데이터 시뮬레이터를 사용하면 쉽게 얻을 수 있다. 따라서 항적 추적 정확도 평가는 시뮬레이션 데이터를 이용하여 수행하도록 하였으며, 본 장에서는 이러한 시뮬레이션에 기반한 시험 환경을 설명한다.

시험 환경은 다음과 같이 4가지 구성요소로 이루어져 있으며, 구성도는 그림 1과 같다.

- 센서데이터 시뮬레이터(Sensor Data Simulator)
- 감시자료처리시스템(SDP)
- 다중 레이더 현시기(Multi Radar Display)
- 정확도 평가 툴(Accuracy Evaluation Tool)

센서데이터 시뮬레이터는 테스트 케이스 별로 적절한 항공기 기동을 모의하여 항적의 위치와 속도, 방향각 등을 기준궤적으로 생성한다. 또한 이를 기반으로 센서 특성과 레이더 사이트 특성 등을 반영하여 감시센서 자료를 모의 하고, 이는 ASTERIX CAT. 034, 048 형태로, 기존의 실제 감시센서 자료와 같은 포맷을 이용하여 SDP로 전달된다. 센서데이터 시뮬레이터는 또한 기준궤적을 ASTERIX CAT. 062 형태로 변환하여 다중 레이더 현시기 라는 자료 현시 및 저장 툴로 전달한다. SDP는 센서데이터 시뮬레이터로부터 전달된 감시센서 자료를 이용하여 항적 추적을 수행한 후 이를 역시 다중 레이더 현시기로 전달한다. 다중 레이더 현시기는 센서데이터 시뮬레이터로부터 전달 받은 기준궤적과 SDP에서 전달 받는 시스템 항적을 동시에 저장하고, 시뮬레이션 종료 후 정확도 평가 툴을 사용하여 다중 레이더 현시기에 저장된 자료를 이용하여 기준 궤적과 비교하여 시스템 항적의 정확도를 평가하게 된다. 정확도 평가 툴은 본 테스트 목적으로 MATLAB을 사용하여 별도로 제작되었다.

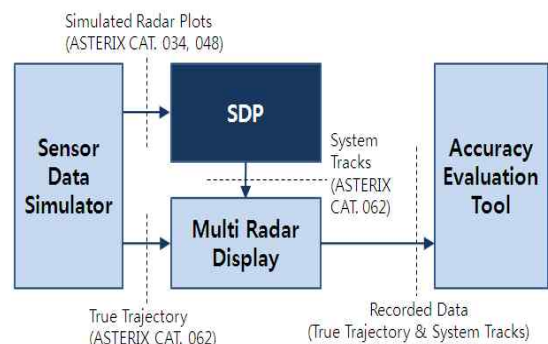


그림 1. 시험 환경 구성

4. 시험 및 평가 절차

센서데이터 시뮬레이터를 사용하여 각각의 테스트케이스 별로 센서 특성과 항공기 기동 특성을 반영하여 센서 자료를 생성하고, SDP에서 항적 추적을 수행하도록 한다. 다중 레이더 현시기로 전달된 기준궤적(센서데이터 시뮬레이터로부터 전달된 True Trajectory) 와 시스템 항적(SDP로부터 전달된 감시자료 처리 결과)은 다음 그림 2와 같이 한 화면에 현시하여 실시간으로 정성적 비교가 가능하며, 별도의 파일에 저장하여 시뮬레이션 종료 후 정확도 평가 툴로 전달하여 정량적인 정확도를 계산하도록 한다.

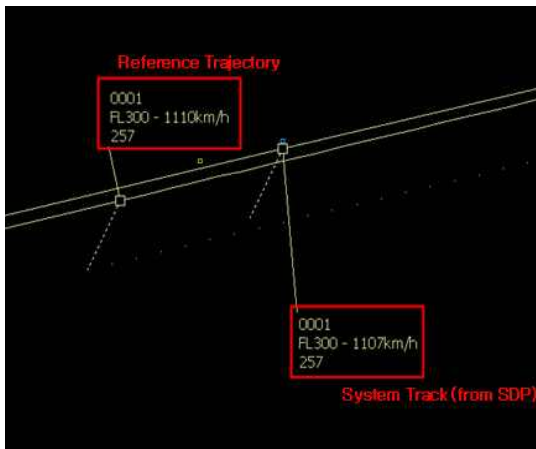


그림 2. Reference Trajectory 와 System Track 현시화면

센서데이터 시뮬레이터는 해당 항적의 기준궤적을 0.5초 마다 생성하여 다중 레이더 현시기로 전달하지만 시스템 항적은 그렇지 않으므로, 시스템 항적과 비교하기 위해서는 시스템 항적의 Time Stamp를 기준으로 동일한 시각에 기준궤적은 어떤 값을 갖는지 역추정 해야 할 필요가 있다. 이때는 0.5초 마다 전달된 기준궤적 자료에 선형 보간법(Bilinear Interpolation)을 적용하여 시스템 항적의 Time Stamp에 해당되는 기준 궤적을 추정하였다.

항적 추적 정확도 시험을 위한 테스트 조건은

로는 앞의 2장에서 소개한 바와 같이 [3]의 내용을 참고하여, '2.1.1. 감시센서 성능 특성'과 '2.1.3. 레이더 사이트 특성'에 기술한 조건을 그대로 적용하였으며, 다음의 그림 3은 센서데이터 시뮬레이터에서 이와 같은 조건들을 설정하는 부분을 보여주고 있다.

테스트케이스는 2.2장에 주어진 케이스들을 적용하였다. 표1에서 'Airspace'와 'Radar'에 따른 테스트 조건은 2.1.1장과 2.1.3장에 주어진 조건과 일치하며, 비행모드는 2.1.2장에 주어진 항공기 기동 특성과 [3]에서 주어진 항공기 기동 조건을 만족하는 시뮬레이션 시나리오를 구성하여 센서 데이터 시뮬레이터를 통해 모의하였다.

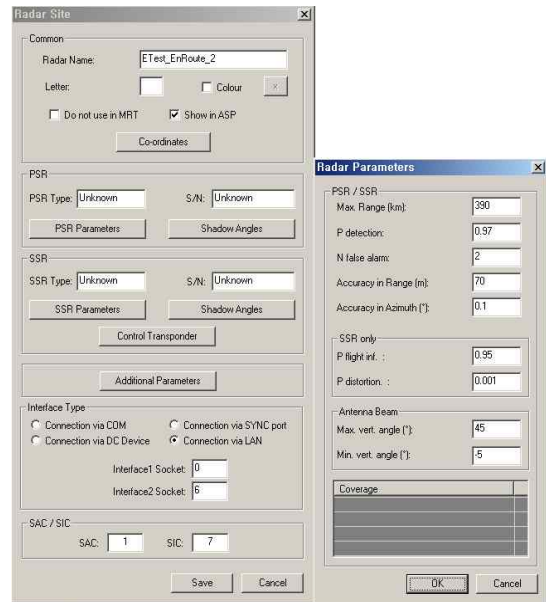


그림 3. 감시센서 성능 특성 설정

아래는 [3]에 주어진 항공기 기동 조건 중 'TMA' & 'One SSR' 의 조건에 해당하는 테스트 케이스에 대한 기동 조건을 나타내며, 그림 4는 이에 대해 센서데이터 시뮬레이터에서 항공기 기동을 모의하기 위한 시나리오 스크립트 파일 형식으로 구성한 예시로서, 'Standard Turn' 비행모드의 시나리오를 보여주고 있다. 그림 4의 시나리오에서 아래의 'Flight Condition'을 만족시

키기 위해 항공기의 비행 시작 위치와 비행속도, 회전률 등이 정의되어 있는 것을 볼 수 있다.

<Flight Condition> [3]

Average values for:

- range: 150km
- direction: $|V_t| \approx |V_r|$
- ground speed: 555km/h (300kt)
- transversal acceleration: 4m/s^2
- longitudinal acceleration: 1m/s^2

```
<?xml version="1.0" ?>
- <Trajectories>
- <Trajectory>
- <Leg>
  <TimePeriod>3600</TimePeriod>
  <Time0>0</Time0>
  <Coord>N55172000 E000305400E 0.0</Coord>
  <Course>225</Course>
  <SCI>2</SCI>
  <H>200FL</H>
  <MK>1</MK>
  <!-- ModeAFlag 0x01 - not exists, 0x02 - n
  <ModeAFlag>0</ModeAFlag>
  <ModeA>0001</ModeA>
  <!-- ModeCFlag 0x01 - not exists, 0x02 - n
  <ModeCFlag>0</ModeCFlag>
  <Velocity>300kt</Velocity>
  <TurnRate>1.5</TurnRate>
</Leg>
</Trajectory>
</Trajectories>
```

그림 4. 항공기 기동 모의를 위한 시나리오 스크립트

5. 시험 결과 및 결론

시험 결과는 표 2에 정리하였으며, 대표적인 몇 가지 테스트 케이스에 대한 결과 분석 그래프를 그림 5~9로 첨부하였다.

시험 결과, 표 1에 정리한 테스트 케이스 모두에 대해서 모든 요소에 대해 항적 추적 정확도 성능 요구 사항을 만족한 것을 알 수 있다.

이로써 본 연구를 통해 한국항공우주연구원에서 개발 중인 SDP의 항적 추적 정확도는 국제 표준에 충분히 만족할 만한 수준임을 알 수 있으며, 기존의 다른 SDP와의 성능 비교를 위한 정량적 시험 결과를 확보할 수 있었다. 그러나 현

재 개발 중인 SDP의 항적 추적 성능의 포괄적 검증을 위해서는, 안정적인 성능이 보장되어야 하는 항공관제시스템의 특성상 본 연구결과와 같은 현재의 국제 표준에 해당하는 [3]에 의한 테스트 이외에도 녹화된 실자료와 SASS-C를 이용한 성능 테스트[2] 등을 포함하여 좀 더 장기적인 시험 운용을 통해 다양한 성능 테스트 결과가 이루어져 그 결과가 축적되어야 할 것으로 판단된다.

기존의 SDP 성능평가 환경 구축에 관한 연구 [2]에서는 EUROCONTROL에서 제공하는 레이더 및 감시자료처리 성능 평가 프로그램인 SASS-C와 SMART를 이용한 시험 평가 환경을 구축하였는데 반해 본 연구에서는 직접 개발한 센서데이터 시뮬레이터와 정확도 평가 툴을 이용하였으며, 이는 추후 EUROCONTROL 기준 뿐만이 아닌 사용자의 요구에 따라 다양한 테스트케이스와 성능 항목에 대해 평가할 수 있는 환경을 제공할 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 국토해양부 항공선진화사업의 연구비 지원 (과제번호 07항공-항행-03)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 한국항공진흥협회, "항공현황", 2012.
2. 전대근, 김현경, 고현, 염찬홍, "SASS-C를 이용한 항공관제용 감시자료처리시스템 성능 검증 환경 구축", 한국항공우주학회 추계 학술 발표회 논문집, 2009.11.
3. European Organization for The Safety of Air Navigation, SUR.ET1.ST01.1000-STD- 01-01, "EUROCONTROL Standard Document for Radar Surveillance in En-Route Airspace and Major Terminal Areas", Released Issue Edition 1.0, March 1997.
4. EUROCONTROL-SPEC-0147, "EUROCONT

- ROL Specification for Surveillance System Performance", Vol. I, 2012.
5. EUROCONTROL-SPEC-0147, "EUROCONT-ROL Specification for Surveillance System Performance", Vol. II, 2012.
 6. Baud Olivier, Gomord Pierre, Honore Nivolas, Ostorero Loic, Taupin Olivier and Tubery Phillippe, 2009, "Multi Sensor Data Fusion Architecture for Air Traffic Control Applications" in Sensor and Data Fusion, Intech, Croatia, pp. 103~122.

표 2. 항적 추적 정확도 테스트 결과

Elements			Position				Ground Speed		Course	
Parameters			Along Trajectory Position RMS Error		Across Trajectory Position RMS Error		Ground Speed RMS Error		Course RMS Error	
			Test Result	Requirement[3]	Test Result	Requirement[3]	Test Result	Requirement[3]	Test Result	Requirement[3]
TMA	PSR Only	Uniform Motion	35.24m	85m	55.84m	85m	0.27m/s	1.25m/s	0.3°	0.8°
		Uniform Speed Change	104.56m	250m	96.30m	100m	6.72m/s	20m/s	0.99°	2°
		Standard Turn	142.15m	150m	137.47m	150m	2.76m/s	5m/s	3.41°	6°
	One SSR	Uniform Motion	32.95m	60m	37.79m	60m	0.58m/s	0.6m/s	0.12°	0.7°
		Uniform Speed Change	60.97m	180m	57.34m	60m	3.67m/s	17m/s	0.98°	1.5°
		Standard Turn	66.32m	100m	82.21m	100m	0.93m/s	4m/s	2.71°	6°
	Two SSR's	Uniform Motion	33.47m	50m	8.25m	50m	0.46m/s	0.6m/s	0.11°	0.5°
		Uniform Speed Change	76.50m	125m	38.65m	50m	4.04m/s	13m/s	0.37°	1°
		Standard Turn	37.08m	70m	46.35m	70m	0.66m/s	3m/s	1.67°	4.5°
En-route	One SSR	Uniform Motion	107.17m	170m	123.58m	170m	0.58m/s	2m/s	0.23°	0.7°
		Uniform Speed Change	99.73m	400m	115.37m	200m	6.54m/s	27m/s	0.92°	1.5°
		Standard Turn	185.14m	250m	75.07m	150m	4.24m/s	7m/s	2.35°	4°
	Two SSR's	Uniform Motion	20.19m	120m	43.43m	120m	0.70m/s	1.5m/s	0.26°	0.5°
		Uniform Speed Change	201m	285m	85.82m	145m	5.42m/s	20m/s	0.87°	1.1°
		Standard Turn	93.67m	180m	116.12m	180m	4.06m/s	5m/s	1.97°	3°

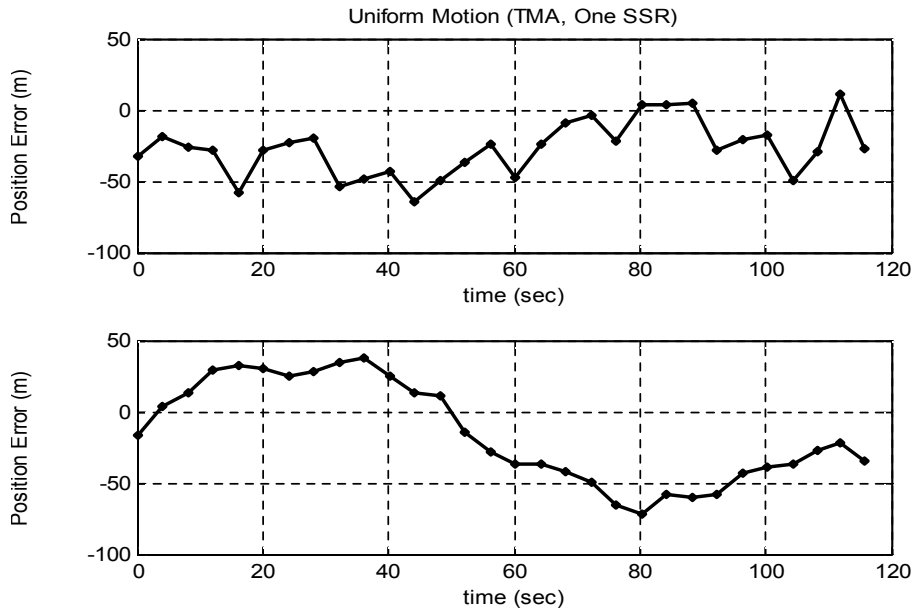


그림 5. 위치 오차 (Uniform Motion, TMA, One SSR)

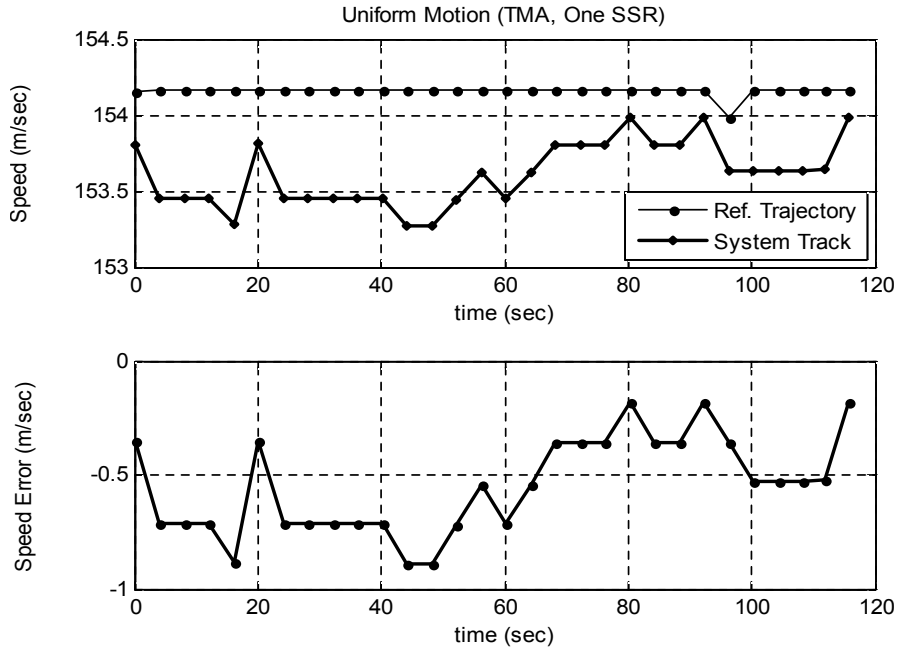


그림 6. Ground Speed 오차 (Uniform Motion, TMA, One SSR)

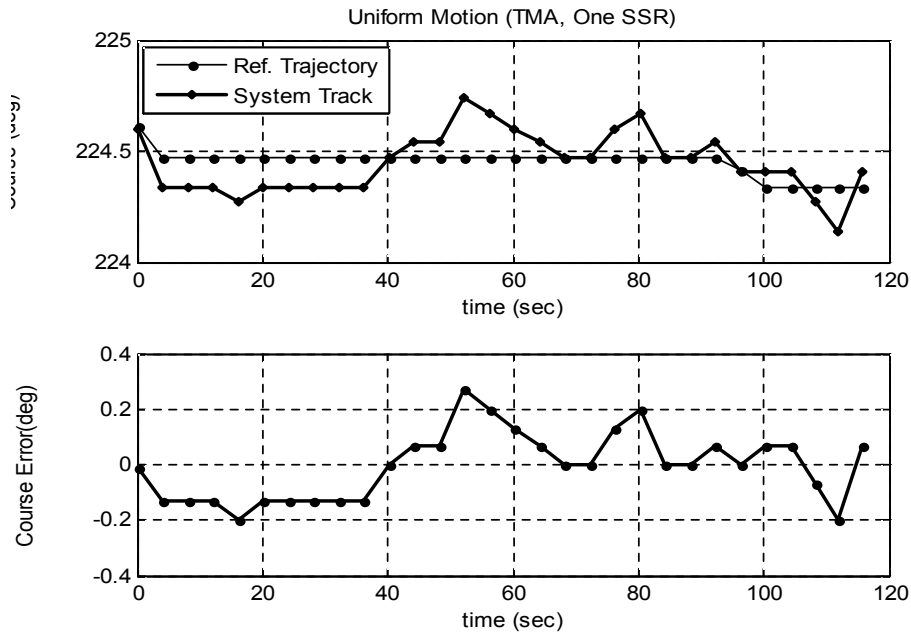


그림 7. Course 오차 (Uniform Motion, TMA, One SSR)

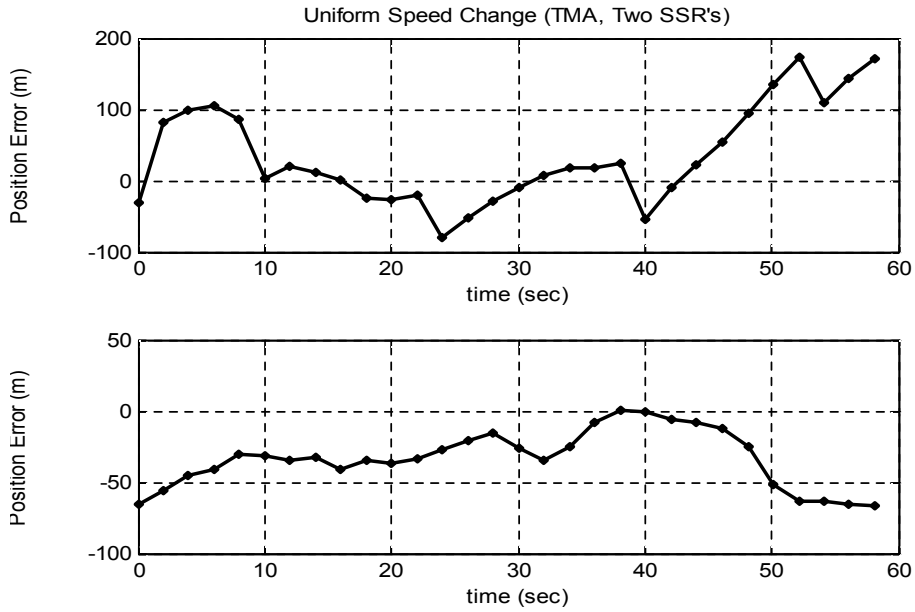


그림 8. 위치 오차 (Uniform Speed Change, TMA, Two SSR's)

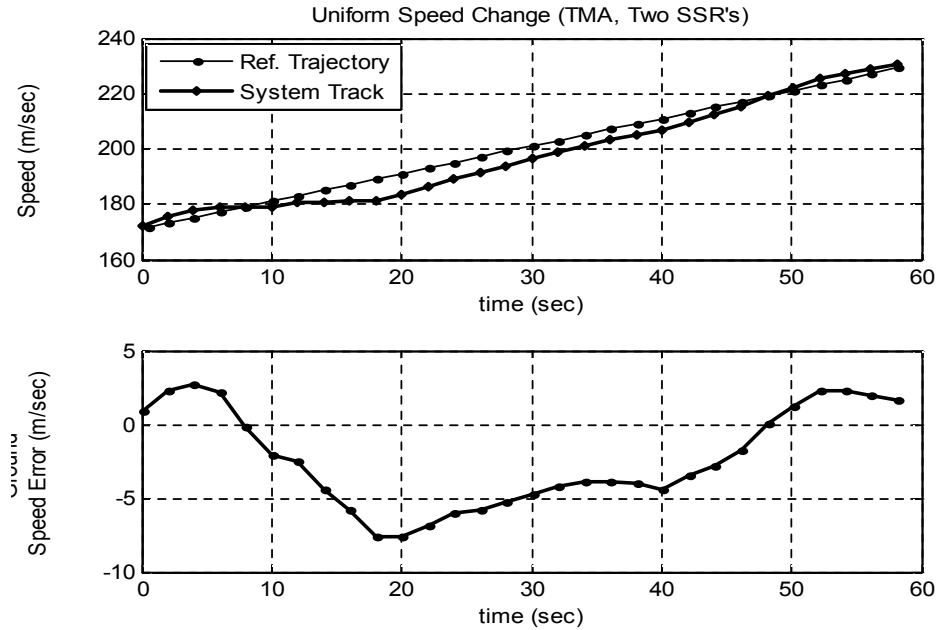


그림 9. Ground Speed 오차 (Uniform Speed Change, TMA, Two SSR's)