J. Space Technol. Appl. 1(1), 23-32 (2021)
https://doi.org/10.52912/jsta.2021.1.1.23

우주기술과 응용
Journal of Space Technology and Applications
ISSN 2765-7469

논문

우주상황인식을 위한 인공우주물체 추락 예측 소프트웨어 개발

최은정†

[1]한국천문연구원

Development of a Software for Re-Entry Prediction of Space Objects for Space Situational Awareness

Eun-Jung Choi†

[1]Korea Astronomy and Space Science Institute, Daejeon 34055, Korea

Received: May 6, 2021
Accepted: May 10, 2021

***Corresponding author :**
Eun-Jung Choi
Tel : +82-42-865-3275
E-mail : eunjung@kasi.re.kr

Copyright © 2021 The Korean Space Science Society. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ORCID
Eun-Jung Choi
https://orcid.org/0000-0003-3637-2028

요 약

1톤 이상의 인공우주물체 중 통제가 불가능한 인공우주물체의 추락은 지상에서의 인명 및 자산 피해가 발생할 가능성이 높기 때문에 국가적으로도 '인공우주물체 추락 · 충돌 대응 매뉴얼'에 따라 우주물체 추락 상황에 대한 위기를 관리한다. 따라서 인공우주물체 추락 상황 및 위험도를 판단하기 위한 신속하고 정확한 인공우주물체 추락 예측 정보를 제공하는 것이 매우 중요하다. 인공우주물체 추락 예측 방법은 국내외 여러 기관들에서 수행하고 있으나, 국가적으로 신뢰할 수 있는 국내 독자적인 툴의 확보는 국가 우주위험 재난 위기 상황에서 매우 필수적이다. 본 연구에서는 인공우주물체의 추락 상황에서 관측으로부터 생성된 우주물체의 접촉궤도요소 또는 해외에서 공개되는 평균궤도요소를 활용하여 인공우주물체의 추락 예상 시각 및 지점을 정밀하게 예측할 수 있는 소프트웨어를 개발하였다. 개발된 소프트웨어는 그레이스 1호(Grace-1) 위성과 그레이스 2호(Grace-2), 톈궁 1호(Tiangong 1) 위성과 창정 5B호 로켓 잔해(CZ-5B)와 같은 실제 통제 불가능한 인공우주물체의 추락 상황에서 독자적인 우주물체 추락 예측 정보를 제공하여 검증하였다.

Abstract

The high-level Space Situational Awareness (SSA) objective is to provide to the users dependable, accurate and timely information in order to support risk management on orbit and during re-entry and support safe and secure operation of space assets and related services. Therefore the risk assessment for the re-entry of space objects should be managed nationally. In this research, the Software for Re-Entry Prediction of space objects (SREP) was developed for national SSA system. In particular, the rate of change of the drag coefficient is estimated through a newly proposed Drag Scale Factor Estimation (DSFE), and is used for high-precision orbit propagator (HPOP) up to an altitude of 100 km to predict the re-entry time and position of the space object. The effectiveness of this re-entry prediction is shown through the re-entry time window and ground track of space objects falling in real events, Grace-1, Grace-2, Tiangong-1, and Chang Zheng-5B Rocket body. As a result, through analysis 12 hours before the final re-entry time, it is shown that the re-entry time window and crash time can be accurately predicted with an error of less than 20 minutes.

핵심어 : 우주상황인식, 우주물체 추락위험, 우주물체 추락 예측
Keywords : space situational awareness, re-entry prediction, uncontrolled space objects

1. 서론

인공우주물체는 현재 작동 중인 인공위성과 그 외 나머지인 우주잔해물, 즉, 우주쓰레기로 나눠진다. 현재 지구 궤도상의 10 cm 이상의 인공우주물체 중 약 2만 3천여 개가 추적이 되고 있다. 그리고 이 중, 18% 정도인 4,300여 개만이 운영 중인 인공위성이다[1]. 나머지는 임무가 종료되었거나, 로켓의 잔해, 폭발이나 충돌로 발생한 파편 등의 우주쓰레기들이다. 특히 최근 미 스페이스X사의 스타링크나 영국의 원웹과 같은 상업용 초대형군집위성(mega constellation)들이 발사되면서 지구 궤도상의 환경은 급격히 혼잡해지고 있는 상황이다.

우주상황인식(space situational awareness, SSA)은 우주환경, 특히 우주공간의 우주물체에 대한 상황을 파악하고, 지상 및 우주에 설치된 센서들을 이용하여 정보를 획득하며, 우주물체의 지구 추락 또는 우주물체의 궤도상 충돌 위험 등 우주공간에서의 잠재적 위험 발생에 대처할 수 있는 개념이라고 할 수 있다[2]. 즉, 지구 궤도상의 인공위성 및 우주쓰레기의 탐지, 궤도 결정과 추적, 식별 및 이를 목록화하는 일련의 활동을 포함한다. 그리고 지구 주변의 우주환경과 우주사고로 인해 인간과 우주활동에 피해를 줄 수 있는 위험인 '우주위험'에 대비하기 위한 개념을 포함한다. 우리나라는 우주위험으로부터 국민의 안전과 우주자산 보호를 위해 2014년 5월에 '제1차 우주위험대비 기본계획('14~'23)'을 수립하였다. 우주물체의 추락이나 충돌 위험 발생이 예측되거나 발생하는 경우 국가적인 범부처 대응을 위한 '우주위험대책본부' 운영 등이 포함되어 있다. 또한 매년 우주위험대비 시행계획을 통해 우주위험 감시·대응 기술 확보를 위한 노력을 해나가고 있다. 우주위험 감시·대응 기술은 광학과 레이다 등 우주감시 센서의 개발과 함께 우주와 지상 인프라에서 관측되는 정보들을 통해 인공우주물체의 궤도를 분석하고 우주위험을 식별하여 분석할 수 있는 핵심 기술 개발이 포함되어 있다.

한국천문연구원은 우주위험대비기본계획과 우주위험대비시행계획에 따라 정확한 우주위험도 평가 수행을 위한 우주물체관측 인프라 개발과 우주위험 대응을 위한 통합분석시스템 개발을 수행하고 있다. 우주위험에 대한 통합분석을 위해서는 국내 감시자산의 관측 정보뿐만 아니라, 해외의 우주감시 정보들을 통합·수집하여 우주물체의 궤도를 분석하여, 최종 단계에서는 우주물체의 지상 추락 예측, 운용 중인 인공위성과의 충돌 예측, 우주물체로 인한 위험을 최소화할 수 있는 판단의 기초 자료를 제공해야 한다.

우주물체에 대한 감시 및 이를 통해 획득한 우주물체에 대한 정보는 국가 안보상 중요한 정보를 포함하고 있기 때문에 국가 간 공유나 일반인에 대한 공개가 제한되기도 한다. 일부 정보의 경우 국가별로 개별적인 협약을 통해 공유하고 있지만, 상대국의 자료 생산 능력에 따라 공유되는 정보의 수준도 달라지기 때문에 국제 협력으로 확보할 수 있는 정보도 제한적일 수 밖에 없다. 특히 일반인에에게 공개되는 우주물체 궤도 정보에는 군사 및 정찰 위성들에 대한 궤도 정보가 포함되지 않는 경우도 있고, 상대적으로 낮은 정밀도의 정보를 제공하고 있기 때문에, 자료의 정밀도가 떨어지는 경우는 우주위험도에 대한 정확한 분석과 평가가 어려운 것이 현실이다.

하지만 국가적으로 이러한 한계를 인식하고, 우주위험에 대한 정확한 분석을 위한 핵심 알고리즘을 준비하는 것이 반드시 필요하다. 그래야만 자체적인 우주물체 관측 정보 생성 능력이 확보되었을 때 보다 정확한 분석 결과를 산출할 수 있기 때문이다.

특히 광학이나 레이다 시스템을 통해 관측된 정보로 우주물체의 궤도를 결정하고, 적시에

정확하게 분석하여 예측하는 궤도 분석 기술은 우주위험으로부터 국민의 안전과 우주자산을 보호하기 위한 우주상황인식의 핵심 기술로 해외에서 공개하지 않는 독자 개발이 필요한 영역이다[3].

인공우주물체는 지구 궤도 환경에 의해 지속적으로 궤도가 변경됨에 따라 지구로 추락해 지상에 피해를 줄 가능성이 있다. 특히 원자력을 동력으로 하거나 방사선 물질을 탑재하고 있는 대형인공우주물체는 지구 재진입 과정에서 완전히 연소되지 않고, 지상에 추락하게 될 경우, 인류에 직접적인 피해를 줄 수 있어 감시해야 할 대상이 된다. 또한 고도 250 km 이내에 도달하는 1톤 이상의 통제가 불가능한 인공우주물체의 추락은 지상의 인명과 재산에 피해를 줄 가능성이 높기 때문에 신속하고 정확하게 추락 상황 및 위험도를 예측하여 우주위험 정보를 제공하는 것이 매우 중요하다. 보통 고도 250 km 이내에 이르면 한 달 이내에 대기권 재진입 과정을 시작하고, 1톤 이상의 무게를 갖는 인공우주물체는 추락 시 약 10% – 40%의 파편들이 지표면에 도달하게 된다. 현재도 매일 인공우주물체의 추락이 진행되고 있고, 매년 수백 개의 인공우주물체가 지구 대기권으로 떨어지고 있다.

가장 큰 규모의 인공우주물체 추락은 2001년에 추락한 미르 우주정거장으로 무게가 120톤에 달했으며, 그 다음이 미국의 스카이랩 우주정거장으로 무게가 거의 70톤에 달한다. 이들 초대형 인공우주물체는 다행히 제어상태에서 대기권 재진입이 이루어졌지만, 일반적인 경우는 대부분 제어되지 않은 상태에서 지구 대기권으로 추락한다. 따라서 인공우주물체의 추락 시점과 위치는 우주를 감시하는 우주상황인식 활동이 이루어져야 예측이 가능해진다. 지구 표면의 상당 부분이 바다로 이루어져 있고, 인구 밀집지역의 넓이가 상대적으로 작기 때문에 추락하는 인공우주물체에 의해 직접적인 피해가 일어날 수 있는 확률은 낮다고 하더라도 우주물체의 추락 위험을 무시할 수는 없다.

본 연구에서는 우주상황인식을 위한 핵심 알고리즘인 인공우주물체의 지구 대기권 재진입, 즉 통제되지 않는 인공우주물체의 추락 예측을 위한 소프트웨어를 개발하였다. 특히 새롭게 고안된 대기 보정 비율 추정 방법(drag scale factor estimation)을 통해 대기 저항 계수의 변화율을 추정하고, 이를 고도 100 km까지 고정밀 궤도 예측에 사용하여 인공우주물체 재진입 시각 및 위치를 예측한다. 초기 궤도 요소 및 대기 저항의 영향을 통합적으로 반영할 수 있는 대기 보정 비율 추정 방법과 수치적분을 이용한 특수 섭동론 방법인 코웰 방법의 고정밀 궤도 예측 알고리즘을 적용하여, 인공우주물체의 궤도 예측의 정밀도를 향상시켰다.

개발된 인공우주물체 추락 예측 소프트웨어는 잠재적으로 위험한 인공우주물체 추락 실제 상황에서 활용되었다. 특히, 통제 불능 상태로 지구로 재진입한 중국 최초의 우주정거장 톈궁 1호의 실제 추락 상황에서, 과학기술정보통신부의 인공우주물체 추락·충돌 대응 매뉴얼에 따라 우주위험 경계 경보 결정 단계에 본 연구의 인공우주물체 추락 예측 소프트에어가 활용되었다. 톈궁 1호 외에 2020년 5월 중국의 창정 5B 로켓의 잔해(Chang Zheng 5B R/B) 추락과 2020년 미우주군 주관의 글로벌 센티널 훈련 중 러시아 소유즈 로켓 잔해(SL-4 R/B)의 추락예측에는 공개된 궤도 정보를 활용하여 인공우주물체 추락 예측의 정밀도를 검증하였다.

2. 인공우주물체 추락 예측 소프트웨어

인공우주물체 추락 예측 소프트웨어(Software for Re-Entry Prediction of space objects,

SREP)는 국가 우주상황인식을 위한 우주감시통합시스템 중 통제되지 않는 인공우주물체의 대기권 재진입 예측 분석을 위해 개발되었다. 광학이나 레이다 등 우주물체감시 관측 인프라로부터 획득된 관측 자료를 바탕으로 궤도를 결정하고, 이를 통해 지구 대기권 재진입 시점과 위치, 지표면의 충돌 예상 시점과 위치를 예측한다. 고도 250 km 이하의 인공우주물체 추락 상황에서 관측으로부터 생성된 인공우주물체의 접촉궤도요소 또는 평균궤도요소 데이터를 바탕으로, 본 연구를 통해 제안된 대기 보정 비율 추정 방법 및 고정밀 궤도 예측 프로그램을 수행한다. 무엇보다 인공우주물체에 미치는 섭동력을 수치적분을 통해 예측하는 특수 섭동론 방법을 사용하여 고정밀 궤도 예측을 수행하기 때문에 인공우주물체의 지구 대기권 재진입 시점을 보다 정밀하게 예측할 수 있다.

인공우주물체 추락 예측 소프트웨어는 크게 4단계로 구분할 수 있다. 1단계는 관측된 우주물체의 궤도 결정 정보를 입력하는 단계(Fig. 1), 2단계는 관측된 정보를 바탕으로 대기 보정 비율을 추정하는 단계(Fig. 2), 3단계는 추정된 대기 보정 비율을 반영한 정밀 궤도 예측 단계(Fig. 3), 4단계는 예측된 결과를 표출하는 단계(Fig. 4)이다. 다양한 궤도 정보들을 입력하고, 추락 예측 궤도의 추이를 분석하기 위한 GUI를 구성함으로써 인공우주물체 추락 대응을 위한 우주위험 비상 상황에서 적시에 정확한 데이터를 판별하여 결정할 수 있도록 기능을 구성

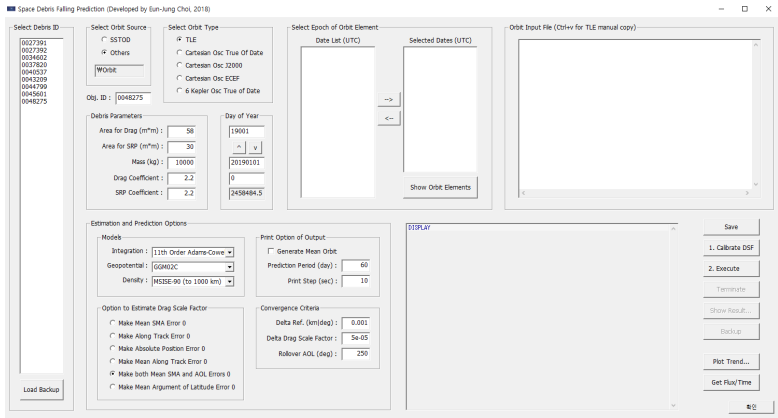

Fig. 1. SREP STEP 1. Select epoch of orbit element. SREP, Software for Re-Entry Prediction of space objects.

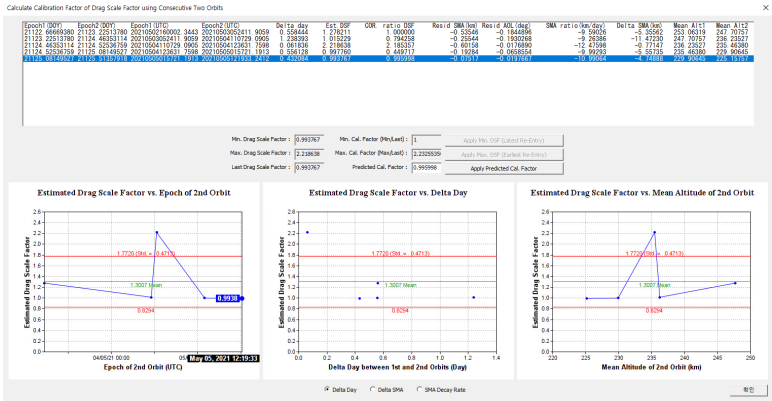

Fig. 2. SREP STEP 2. Estimate drag scale factor.

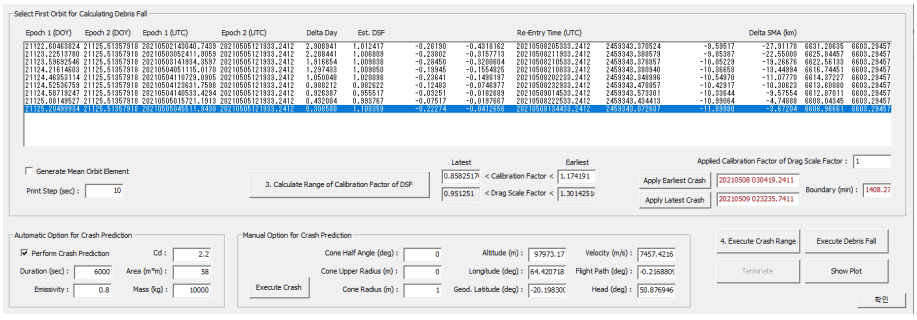

Fig. 3. SREP STEP 3. Calculate re-entry and crash prediction.

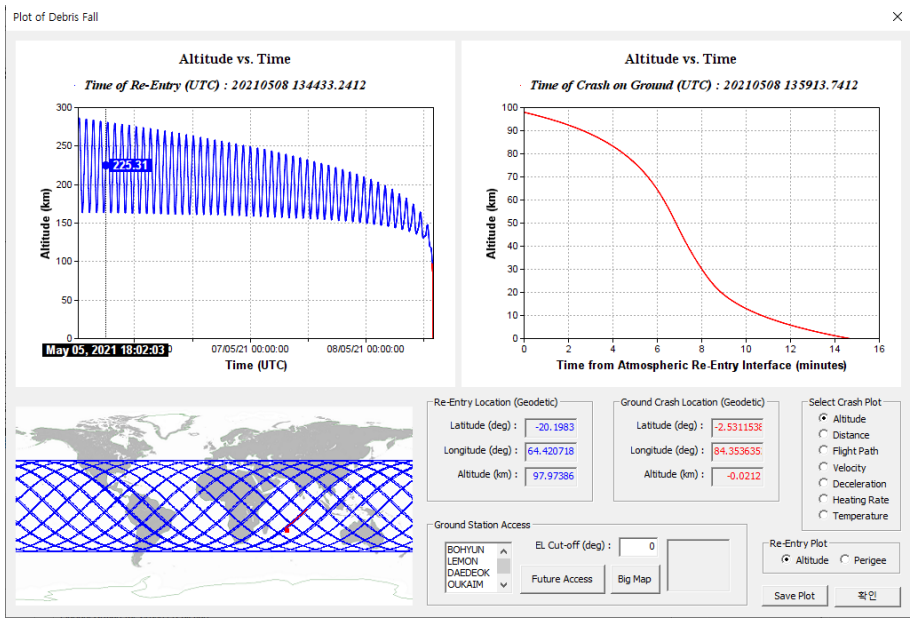

Fig. 4. SREP STEP 4. Display the result.

하였다.

입력되는 초기 궤도 정보는 관측을 통해 생성된 접촉궤도요소 또는 공개되는 평균궤도요소를 선택할 수 있다. 통제되지 않는 인공우주물체인 우주쓰레기의 경우 초기 인공우주물체에 대한 상태 정보인 질량(mass), 단면적(cross-sectional area), 대기항력 계수(drag coefficient) , 태양방사압력계수(solar radiation pressure coefficient) 등은 모두 추정이 필요하다. 본 연구를 통해 개발된 대기 보정 비율 추정 방법은 초기 궤도의 변화를 탐지하여 이를 통해 인공우주물체의 상태 정보를 추정한다. 수치 적분을 통한 고정밀 궤도 예측에서는 지구 중력장에 의한 섭동, 지구 대기항력에 의한 섭동, 태양 복사압에 의한 섭동, 태양과 달에 의한 섭동을 모두 고려하였으며, 대기 항력 계수를 동시에 추정함으로써 예측의 정밀도를 향상시켰다. 고도 100 km까지는 수치적분을 통해 고정밀 궤도 예측을 수행하고, 고도 100 km 이하 대기권 재진입 후 궤적은 잔해가 남는 것으로 가정하여 지상 충돌 지점과 시간을 예측하였다. 계산 결과가 우주물체 추락 위험도 분석에 바로 활용될 수 있도록 인공우주물체의 추락 예측 시간까지의 지상 궤적과 고도 변화를 그래픽으로 표시하였다. 또한 초기 궤도 정보에 따라 추락 예측 시간과 추락 예측 지점의 변화가 어떻게 변화하는지 확인할 수 있다.

3. 인공우주물체 추락 예측 결과

3.1 그레이스 1호(GRACE-1)와 그레이스 2호(GRACE -2) 위성 추락 예측

그레이스(GRACE) 위성은 무게 487 kg의 두 개의 쌍둥이 지구 관측 위성으로 GRACE-1과 GRACE-2가 서로 220 km의 거리를 유지하며, 지구의 지열, 해류, 자기장 등을 측정하는 임무를 수행한 인공위성이다[4]. 2002년 3월 17일에 동시에 발사되었으며, 궤도 경사각 89도의 원궤도로, 고도 500 km 궤도에서 임무를 수행하였다. 2017년 9월 GRACE-2에서 배터리 문제가 발생하면서, 같은 해 10월에 임무를 마치고 퇴역시키기로 결정했다. 이후 GRACE-2는 고장난 상태로 지구궤도를 돌다가 통제되지 않은 상태로 지구로 추락했다. 2017년 10월 퇴역을 결정한 이후 지구 대기권 재진입 예측을 수행하였으며, 개발된 인공우주물체 추락 예측 소프트웨어를 통해 GRACE-2의 최종 추락 예측 시각 12시간 전에 약 20분 오차 범위 내로 추락 시각과 궤도를 예측할 수 있었다. GRACE-1의 경우는 임무를 마치고 통제가 가능한 상태로 지구 대기권 재진입을 시도했으며, 추락 예측 시간 8시간 전에 20분의 오차 범위 내로 추락 시각과 궤도를 예측하였다. 최종 추락 예측 시각과 지점은 미국 연합우주작전본부(CspOC)가 운영하는 space-track 사이트의 TIP(tracking and impact prediction) 메시지를 통해 비교하였다. Fig. 5와 Fig. 6은 최종 분석 시점에서의 추락 예측 시각(UTC)과 지점에 대한 분석 결과를 보여준다. 각 그림의 추락 예측 시각은 모두 UTC로 표시되어 있다. 지도의 붉은 점은 재진입 시작 위치를 표시하였으며, 붉은 색의 선은 대기권 이내의 궤적을 표시하고 있어 끝이 낙하 예측 지점을 나타낸다.

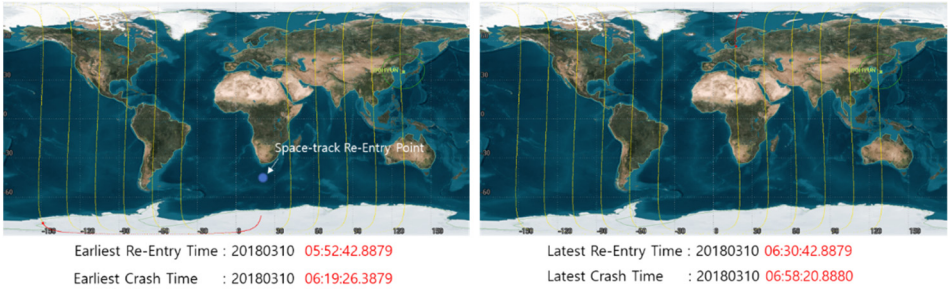

Fig. 5. Ground track of GRACE-1 for its re-entry prediction phase on March 09, 2018 21:59;42 UTC (about 8 hours before re-entry).

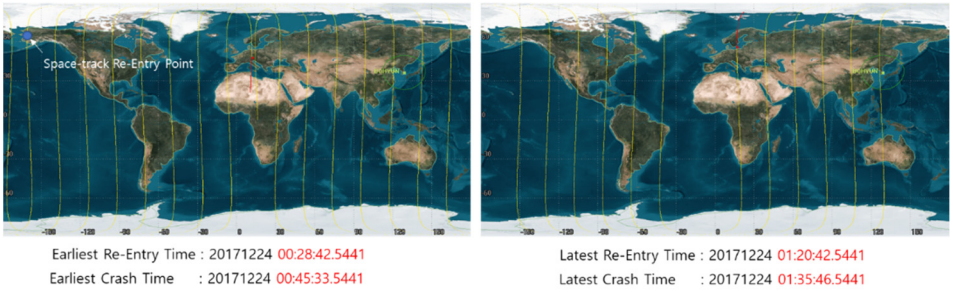

Fig. 6. Ground track of GRACE-2 for its re-entry prediction phase on December 23, 2017 12:16;42 UTC (about 12 hours before re-entry).

3.2 톈궁 1호(Tiangong-1) 위성 추락 예측

중국의 우주정거장인 톈궁 1호는 2011년에 발사된 중국 최초의 우주정거장이다. 우주인 체류와 화물선 도킹 등 임무에 활용되다 2016년 통제 불능 상태가 되면서 각국은 톈궁 1호의 지구 대기권 재진입에 관심을 갖게 되었다[5]. 톈궁 1호는 8.5톤 무게의 스쿨버스 정도의 크기에다 독성 연료인 하이드라진을 탑재하고 있어서 지구 대기권에서 연소되지 않고 지상으로 파편이 떨어질 경우, 인명과 재산에 피해를 입힐 가능성이 높았기 때문이다. 톈궁 1호의 경우는 궤도가 고도 250 km 이내로 떨어진 2018년 3월 5일부터 최종 추락 예측일까지 우주물체 추락 예측 프로그램을 통해 추락 예측일에 대한 정밀 분석을 진행하였고, 더불어 유관기관과 추락 예측 결과를 공유해 나갔다. 고도 250 km부터 고도 150 km까지의 평균궤도 정보를 바탕으로 추락시각과 궤적을 예측하였고, 이를 미국 CspOC의 TIP 메시지와 비교하여 결과를 분석하였다. 결과적으로 톈궁 1호의 최종 추락 예측 정밀도는 실제 추락일 대비 3주 전에는 오차 범위 3일 이내, 1주일 전에는 1일 이내, 1일 전에는 50분 이내, 12시간 전에는 30분 이내의 오차 범위를 갖는 추락 예측 정밀도를 얻었다. 톈궁 1호의 경우는 세계적으로도 재진입 캠페인 등을 통해 우주관련 기관들이 최종 추락 예측일을 공개하고 있었기 때문에, 각 기관과의 최신 추락 예측 현황을 비교할 수 있었다. Fig. 7에서 보는 것처럼 국제우주파편조정위원회(Inter-Agency Space Debris Coordination Committee, IADC)가 톈궁 1호 재진입 캠페인을 통해 공개한 최종 2주간의 추락 예측 오차를 비교한 결과, 본 연구를 통해 개발된 인공우주물체 추락 예측 정밀도를 검증할 수 있었다. Fig. 8에서와 같이 실제 추락 8시간 전 예측 결과값으로 30분 이내의 오차 범위에서 최종 추락 궤적이 예측되었음을 알 수 있다.

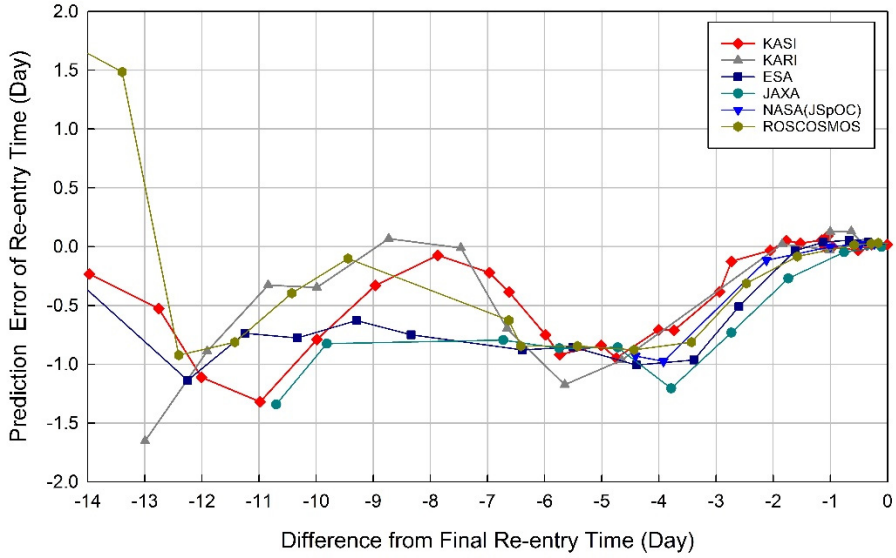

Fig. 7. TIANGONG-1 re-entry prediction error in the last 2 weeks during the IADC re-entry campaign (0.5 days = 12 hours).

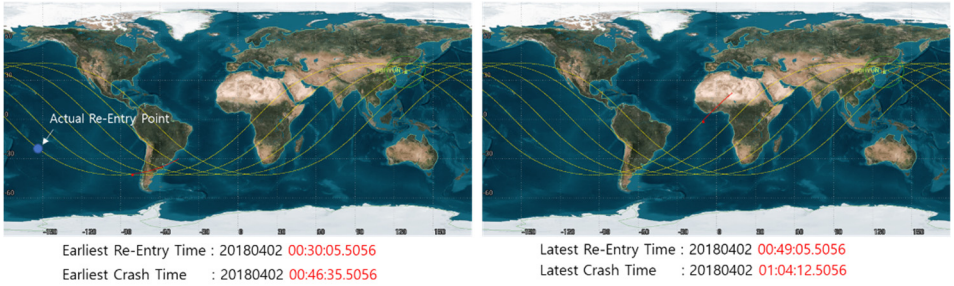

Fig. 8. Ground track of TIANGONG-1 for its re-entry prediction phase on April 01, 2018 16:07:05 UTC (about 8 hours before re-entry).

3.3 Chang-Zheng 5B 로켓 잔해 추락 예측

중국은 독자적인 우주정거장 건설을 위해 우주정거장 핵심 모듈을 운반할 대형 우주발사체인 창정 5B(Chang-Zheng 5B)는 길이 53.7 m, 지름 5 m에 최대 중량 849톤으로 22톤의 화물을 지구 저궤도에 보낼 수 있는 최대의 우주발사체이다[6]. 우리나라 시간으로 2020년 5월 5일 오후 7시에 발사된 창정 5B의 발사는 성공적이었으나, 발사 후 20톤이 넘는 로켓의 잔해가 통제되지 않은 채 지상에 추락할 가능성이 예측되었다. Fig. 9와 같이 최종 추락 시각인 2020년 5월 11일 15시 33분(UTC)의 12시간 전에 인공우주물체 추락 예측 20분 이내의 오차 범위 안에서 분석이 되었음을 알 수 있다. 창정 5B 로켓 잔해는 대기권에서 연소되지 않은 파편의 일부가 서아프리카 코트디부아르(Cote d'Ivoire)의 마호누(Mahounou) 마을에서 발견되기도 했다. 다행히 인명피해는 없었으나, 12 m 길이의 금속 파이프가 큰 굉음과 함께 바닥에 꽂히듯 떨어졌다고 한다[7].

4. 결론

통제가 불가능한 인공우주물체의 추락은 지상에서의 인명 및 자산 피해로 이어질 수 있어, 이를 최소화하는 방향으로 우주위험에 대응하기 위해서는 인공우주물체의 추락 예측 기술이 반드시 필요하다. 본 연구를 통해 인공우주물체의 추락 상황에서 관측으로부터 생성된 우주물체의 궤도 요소를 활용하여 예상 추락 시각 및 궤도를 정밀하게 예측할 수 있는 인공우주물체 추락 예측 소프트웨어가 국내 독자적인 기술로 개발이 되었다. 인공우주물체의 고도가

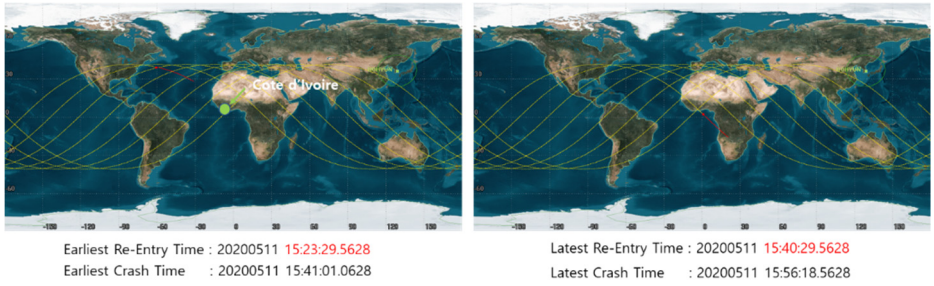

Fig. 9. Ground track of Chang Zheng 5B rocket body for its re-entry prediction phase on May 11, 2020 03:58:29 UTC (about 12 hours before re-entry).

점점 떨어지면서 겪는 지구 대기 밀도 및 대기에 저항하는 우주물체 단면적을 정확하게 예측하기는 어렵다. 따라서 고도 변화에 따른 대기 보정 비율 추정 방법으로 대기 저항 계수의 변화율을 추정하는 대기 보정 비율 추정 방법을 개발하였고, 이를 통해 고도 100 km까지 수치적분을 통한 고정밀 궤도 예측을 수행하였다.

Fig. 10은 실제 인공우주물체 추락 상황에서 인공우주물체 추락 예측 정밀도의 결과를 보여준다. 즉, 최종 추락 시간 12시간 전 분석을 통해서 인공우주물체의 지구 대기권 재진입 시각과 지상 충돌 시각을 20분 이내의 오차로 정밀하게 예측할 수 있음을 나타낸다. 추락 예측 정밀도에 영향을 미치는 주요 요인 중, 대기모델 추정 오차와 궤도 전파 오차에 대해서는 본 개발을 통해 대기 보정 비율 추정 방법과 고정밀 궤도 예측 전파기가 개발되었다. 본 연구의 인공우주물체 추락 예측 소프트웨어는 인공우주물체의 자세한 사양을 알지 못하는 경우에도 대기 보정 비율 추정 방법을 통해 대기 저항 계수의 변화율을 추정하여 인공우주물체의 고정밀 궤도 예측 알고리즘을 통해 정밀한 추락 시각과 궤도 예측이 가능하다. 즉, 인공우주물체 추락 예측을 위한 핵심 알고리즘들이 확보가 되었다.

그러나, 가장 중요한 초기 궤도 오차에 대해서는 여전히 한계를 가지고 있다. 현재는 실제 추락 상황에서는 초기 궤도 정보를 공개된 평균궤도정보인 TLE(two line element)에 의존할 수 밖에 없기 때문이다. 인공우주물체의 관측 정보 획득의 어려움과 해외 공개되는 우주물체 궤도력에 대한 정밀도의 한계는 결국 최종 인공우주물체 추락 예측 정밀도에 가장 큰 영향을 미치게 된다.

하지만 제한된 정보이지만 독자 개발된 인공우주물체 추락 예측 소프트웨어를 통해서 인공우주물체의 실제 추락 상황에 적용하여 국가적 우주위험 대응 상황에 적시에 정밀한 추락 예측 정보를 제공함으로써 독자적인 우주위험 대응 체계 구축에도 기여할 수 있었다.

따라서 앞으로 수백 m급 이내의 독자적인 정밀 관측 정보의 확보가 가능하다면, 이를 통한 인공우주물체의 추락 시간과 위치의 예측 정밀도는 더욱 향상될 수 있다. 또한 인공우주물체 추락 예측 분석 능력 확보를 통해 국제 우주감시 네트워크와의 협력이 가능해지므로, 우주상황인식 능력의 확대에도 기여할 수 있을 것이다.

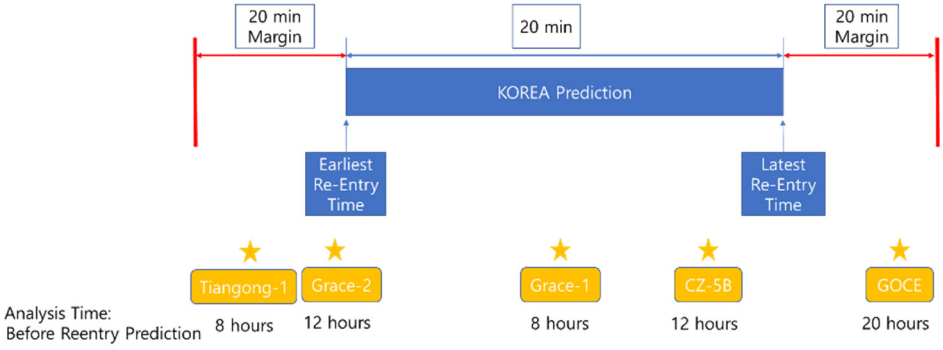

Fig. 10. Reentry prediction performance analysis using SREP.

References

1. Space-Track, Boxscore (n.d.) [Internet], viewed 2021 Apr 20, available from: http://www.space-track.org/#boxscore/
2. Bobrinsky N, Del Monte L, The space situational awareness program of the European Space Agency, Cosm. Res. 48, 392-398 (2010). https://doi.org/10.1134/S0010952510050035
3. Choi EJ, Cho S, Lee DJ, Kim S, Jo JH, A study on re-entry predictions of uncontrolled space objects for space situational awareness, J. Astron. Space Sci. 34, 289-302 (2017). https://doi.org/10.5140/JASS.2017.34.4.289
4. ESA [European Space Agency], GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) (n.d.) [Internet], viewed 2021 Apr 20, available from: https://earth.esa.int/web/eoportal/satellite-missions/g/grace
5. United Nations, Note verbale dated 4 May 2017 from the Permanent Mission of China to the United Nations (Vienna) addressed to the Secretary-General (2017) [Internet], viewed 2021 Feb 20, available from: https://www.unoosa.org/res/oosadoc/data/documents/2017/aac_105/aac_1051150_0_html/AC105_1150E.pdf
6. Wikipedia, Long March 5 (2021) [Internet], viewed 2021 Apr 20, available from: https://en.wikipedia.org/wiki/Long_March_5
7. Inverse, Uncontrolled reentry: why China "just not caring" is a huge problem for space (2021) [Internet], viewed 2021 Apr 20, https://www.inverse.com/science/long-march-5b-uncontrolled-reentry

Author Information

최 은 정 eunjung@kasi.re.kr

연세대학교 천문대기과학과를 졸업하고, 동대학원 천문우주학과에서 인공위성의 궤도결정에 대한 연구로 박사학위를 받았다. 한국항공우주산업㈜과 쎄트렉아이(주)에서 아리랑위성과 두바이 위성 등 인공위성 탑재소프트웨어 개발을 하였다. 현재 한국천문연구원 우주위험감시센터 우주위험연구실에서 우주위험 통합분석시스템 개발 등 인공위성의 추락 충돌 위험에 대한 예측과 분석 연구를 하고 있다. UN 우주의 평화적 이용을 위한 위원회에 한국대표로 참여하며, 지속가능한 평화적 우주이용을 위한 국제적인 노력에 동참하고 있다.