

국내 위성추락상황실 운영

조중현^{***}, 최영준^{***}, 임흥서^{*}, 최진^{**}, 손주영^{****}, 전현석^{***}, 배영호^{*},
문홍규^{*}, 김명진^{****}, 박장현^{*}, 임여명^{*****}, 김지혜^{*}, 현성경^{*}

Operation of Official Satellite Re-entry Monitoring Room in Korea

Jung Hyun Jo^{***}, Young-Jun Choi^{**}, Hong-Suh Yim^{*}, Jin Choi^{**}, Ju-young Son^{****},
Hyun-Seock Jeon^{***}, Young-Ho Bae^{*}, Hong-Kyu Moon^{*}, Myung-jin Kim^{****},
Jang-Hyun Park^{*}, Yeo-Myeong Lim^{*****}, Ji-hye Kim^{*}, Sung-Kyung Hyun^{*}

요 약

국내에서 위성이나 잔해물이 대기권으로 진입하는 상황을 공식적으로 감시한 것은 1983년 1월 23일에 본체가, 동년 2월 7일에 핵연료 코어가 추락한 구 소비에트 연방의 위성 코스모스 1402호의 상황주시를 위해 구)과학기술처가 구성한 추락상황대책반 운영이 최초이다. 이 후에 2001년 대기권에 재진입한 러시아 우주정거장 미르의 폐기대책반이 구)과학기술부 주관으로 한국천문연구원과 한국항공우주연구원 등 관련기관의 지원으로 운영되었고, 2011년 9월 24일에 있었던 미국의 고층대기상위성인 UARS (Upper Atmosphere Research Satellite)의 추락이 한국천문연구원에 의해서 분석되었다. 빈번해진 폐기위성 및 우주잔해물의 대기권 재진입 상황에 따라 2011년 10월 14일 구)교육과학기술부와 우주 관련 기관인 한국천문연구원과 한국항공연구원의 관련 전문가 그룹이 대책회의를 거쳐서 위성추락상황실을 한국천문연구원 내에 설치하고 한국천문연구원 주관으로 운영하기로 결정하였다. 그 결과 이 위성추락상황실은 2011년 10월에는 독일 린트겐 위성, 2012년 1월에는 러시아 화성 탐사선 포브스 그룬트, 2013년 1월에는 러시아 위성 코스모스 1484, 그리고 2013년 11월에는 유럽연합의 측지위성 고체 (GOCE)의 대기권 재진입을 감시, 자료 분석, 관련기관 보고, 언론 자료 배포 및 대국민 상황 전파를 실시하였다.

Key Words : satellite re-entry; space surveillance; orbit prediction; space debris; space situational awareness.

ABSTRACT

In Korea, the official monitoring of the atmospheric re-entry of satellites or space debris was initiated by the first operation of a re-entry situation analysis team for the 'Cosmos 1402' of the Soviet Union, which main body re-entered on January 23, 1983 and radio active core re-entered on February 7, 1983. After this incident, a task force team consisting Korea Astronomy and Space Science Institute (KASI), Korea Aerospace Research Institute (KARI) and other related institutes operated a situation monitoring group under the supervision of the Ministry of Science and technology (MOST) for the controlled re-entry of the Russian 'Mir' space station in 2001. The re-entry of the upper atmospheric weather satellite 'UARS' of United States had been monitored and analyzed by KASI on September 24, 2011. As the re-entry of the space object has been frequently occurred, the government officials and the experts from MEST (Ministry of Education, Science and Technology), KASI, KARI had an urgent official meeting to establish a satellite re-entry monitoring room in KASI and to give an operational authority to KASI in September 14, 2011. Under this decision, the satellite re-entry monitoring room in KASI has successfully executed the monitoring, data analyzing, official reporting, media contacting, and public announcing for the German satellite 'Roentgen' in October 2011, Russian space explorer 'Phobos-Grunt' in January 2012, Russian satellite 'Cosmos 1484' in January 2013, and European geodetic satellite 'GOCE' in November 2013 with the support from the Korean Air Force and KARI.

I. 서 론

인류 최초로 우주물체를 지구 외계에 발사한 이래로 단

순간도 지구 주변을 선회하는 인공 우주물체의 숫자가 줄어든 적이 없었다. 이미 1978년에 Kessler에 의해 예견되었듯이 지구 근 저궤도 환경은 위성 운용에 위협적일 수 있을

※ 이 연구는 한국기초기술연구회의 국가현안문제해결형 과제인 “우주물체 전자광학 감시체계 기술개발”의 지원으로 수행하였음.
*한국천문연구원 우주감시센터(jhjo39@kasi.re.kr), **과학기술연합대학원대학교, ***대한민국 공군, ****연세대학교 천문우주학과, *****KAIST
접수일자 : 2013년 11월 30일, 수정완료일자 : 2013년 12월 14일, 최종게재확정일자 : 2013년 12월 16일

정도로 폐기 위성, 우주잔해물, 그리고 운용 중인 위성들로 범비고 있다[1]. 1957년 스푸트닉 호 이래로 2013년 11월 현재 약 6,700개 이상의 인공우주물체(인공위성 또는 우주탐사선)가 우주로 발사되었으나, 현재 우주기술로 추적 가능한 인공우주물체의 숫자는 40,000 개에 육박하고 있다[2]. 이 중에서도 고도 500km 이하의 저궤도 위성은 수십 년 이내에 대기마찰을 비롯한 여러 섭동력에 의해서 대기권에 재진입을 한다. 태양활동이나 위성의 형상에 따라서 재진입에 필요한 시간은 다양하지만, 분명한 것은 위성이 연료를 사용한 궤도유지기동을 하지 않는 한 마지막에는 궤도이탈을 포함한 재진입 과정에 돌입하게 된다는 사실이다.

미전략사령부에서 현재까지 추적했던 위성과 인공우주잔해물의 대기권 재진입은 20,000 여건이 넘고 있다[2]. 이러한 재진입 가운데 위성체의 재진입 건수는 약 3,000 건이며 그 중 지표면까지 잔해가 추락해 직접적 위협이 될 만한 경우도 상당수가 포함되어 있다. 다행히도 직접적인 충돌에 의한 피해는 현재까지 보고된 바가 없지만, 1978년 1월 24일에 대기권에 재진입한 구)소비에트 연방 정찰위성 ‘코스모스 954’의 경우는 탑재하고 있던 50 킬로그램의 핵전지용 우라늄 235가 재진입 시에 캐나다의 상당한 지역에 방사능 물질을 퍼트렸다. 이러한 방사능 물질을 회수하기 위해서 124,000 평방 킬로미터에 걸친 지역을 모두 수색하여 치사량에 가까운 방사능 물질을 회수하였다[3].

이제 재진입 빈도수는 지상 충돌을 그저 확률의 문제로 무시할 수 있는 수준을 넘어서고 있다. 재진입하는 우주물체의 형상이나 종류에 따라서 안전에 상당히 위협이 될 수도 있는 상황이다. 실제 국내 위성추락상황실 운영 시에도 추락 궤적과 민항기 항로가 겹쳐서 관련 항로의 비행이 1-2시간씩 지연된 사례도 발생하였다. 이러한 사실에 미루어 우주물체의 대기권 재진입은 더 이상 간과될 수 없는, 실제 인류의 생활에 크나큰 영향을 줄 수 있는 일부분이 되었다.

현재 미국, 러시아, 유럽, 일본, 이란 등 많은 나라에서 ‘우주감시’(Space Situational Awareness)와 관련하여 많은 노력을 기울이고 있다. 우주물체의 대기권 재진입 상황도 바로 이 우주감시의 범위에 속한다. 특히 동아시아에서 일본과 중국이 각각 우주감시와 관련하여 주도권 확보에 주력하고 있는 시점에서는 국내에서도 우주감시와 관련하여 상당한 자원의 투입이 절실하다[4].

1992년 우리별 1호 발사 이후에 우리나라도 우주개발의 대열에 합류하여 이제 달탐사 계획과 자체 발사체 개발을 목전에 두고 있다. 2013년 11월 27일 현재 12 기의 저궤도 위성이 이미 대한민국의 이름으로 우주공간에 발사되어 운용 중이거나 이미 폐기되었다. 국내에는 아직까지 지상기반 우주물체 관측 시스템이 전무하다. 따라서 외국기관의 궤도정보가 제공되지 않은 경우 송수신기 사용이 불가하거나 폐기된 국내위성은 그 궤도력 정보를 알 길이 없다. 미국 전략사령부의 공개된 궤도정보나 일부 비용지불 계약을 통한 제한적

레이더 추적에 의한 궤도 정보 산출물이 국내에서 획득할 수 있는 우주물체 궤도정보의 한계이다.

이렇게 궤도 상 위성을 포함한 우주물체의 궤도 정보를 자력으로 획득하는 것은 현재로서는 상당히 어려운 실정이다. 다만 현재 한국천문연구원에서 진행 중인 기초기술연구회 발주 사회문제 해결형 과제인 ‘전자광학 우주물체 감시체계 기술개발’이 성공적으로 완료된다면 국내에도 제한적이거나 독자적으로 우주물체의 궤도정보를 생산할 수 있게 된다. 그러나 대기권을 재진입하는 우주물체의 경우는 그 시간적 공간적 관측 제약으로 전지구적인 네트워크를 형성하고 있는 시스템 외에는 추락 일시 및 장소를 예측하는 것은 거의 불가능하다.

대형 우주물체의 대기권 재진입 빈도수가 높아져가고 있는 현실에서, 자력 궤도정보 생산력이 없어도 국외 전문기관에서 배포하는 공개된 우주정보를 바탕으로 국내에 수요기관, 방송매체, 그리고 대중에게 신속하게 우주물체의 대기권 재진입에 대한 자료 및 분석결과를 배포할 필요가 있다.

2011년 10월 14일 구)교육과학기술부와 우주 관련 기관인 한국천문연구원과 한국항공우주연구원의 관련 전문가 그룹이 대책회의를 거쳐서 국내 위성추락상황실을 한국천문연구원 내에 설치하고 한국천문연구원 주관으로 운영하기로 결정하였다. 그 결과 이 위성추락상황실은 2011년 10월에는 독일 쾰른 위성, 2012년 1월에는 러시아 화성 탐사선 포보스 그룬트, 2013년 1월에는 러시아 위성 코스모스 1484, 그리고 2013년 11월에는 유럽연합의 측지위성 고체 (GOCE)의 대기권 재진입을 감시, 자료 분석, 관련기관 보고, 언론 자료 배포 및 대국민 상황 전파를 실시하였다.

이 논문에서는 국내 위성추락상황실의 운영에 대하여 그 운영체계, 자료획득, 궤도 추적, 추락 예측, 미전략사령부의 예측결과 활용, 위성추락상황실의 자료 배포 자동화, 그리고 4번에 걸친 위성추락상황실 운영 결과에 대하여 기술하였다.

II. 위성추락상황실 운영 체계

국내 위성추락상황실의 설치에 미국 고층기상관측위성인 UARS의 대기권 재진입 때인 2011년까지 그 필요성이 크게 제기 되지 않았다. 그동안 추락 위성의 성격에 따라서 발생할 수 있는 상황의 중대성, 국민적 관심, 위해발생 가능성을 고려하여 임시로 대책반이 운영되었다. 1982년도 말에서 1983년도 초까지 구)소비에트연방의 ‘코스모스 1402’ 위성의 대기권 재진입 때 그리고 2001년 러시아의 우주정거장 ‘미르’의 제어 재진입 때, 두 번에 걸쳐 ‘위성추락대책반’의 이름으로 국민적, 국가적 관심사 해결 및 상황전파를 위한 위성추락상황실이 임시 가동되었다.

1. 운영체계 흐름

미국의 고층대기기상위성인 UARS의 대기권 재진입으로 촉발된 대중의 관심 및 정부의 대책마련에 따라서 2011년 10월 14일(구)교육과학기술부 담당부서장과 우주 관련 기관인 한국천문연구원과 한국항공우주연구원의 관련 전문가 및 책임자 간의 대책회의를 거쳐서 국내 위성추락상황실을 한국천문연구원 내에 설치하고 한국천문연구원 주관으로 운영하기로 결정하였다. 그림 1은 위성추락상황실의 운영에서 있어서 각 관계기관의 역할과 그 업무 흐름도를 보여준다.

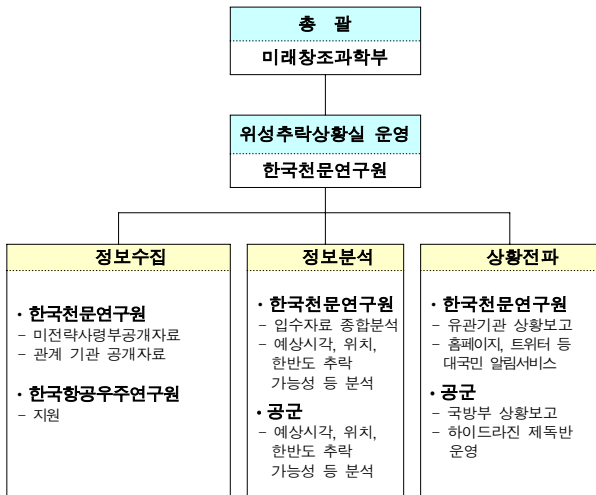


그림 1. 국내 위성추락상황실의 업무 상 운영체계와 각 관계기관 역할 분담[5]

2. 우주정보 획득

국내 위성추락상황실에서 사용하는 우주정보는 주로 미 전략사령부 산하 합동우주운영센터 (Joint Space Operation Center; JSpOC)에서 공개하는 TLE (Two-line element set; 위성 궤도력)와 TIP (Trajectory Impact Prediction; 궤적 추락 예측) 메시지와 각 관계기관에서 공개 발표하는 기타 대기권 재진입 예측 자료이다.

표 1. NOAA-14 위성의 TLE 예시[6]

```
NOAA 14
1 23455U 94089A 97320.90946019 .00000140 00000-0 10191-3 0 2621
2 23455 99.0090 272.6745 0008546 223.1686 136.8816 14.11711747148495
```

표 1에서 보는 바와 같은 TLE는 우주물체의 궤도력을 케플러의 궤도요소를 사용하여 표현한 것으로 기본적으로 2체 문제의 해를 바탕으로 만든 것이다. 다양한 섭동력을 이 궤도요소로 정확하게 표현하기는 어려우나 일반섭동론적인 관점에서 10일정도의 궤도 전파에 있어서는 광학 또는 전파에 의한 연속관측에 지장을 줄 정도는 아니다. 또한 간단한 일반섭동론적인 궤도전파기의 사용에 따라 상대적으로 간편한 우주정보로서의 가치가 높다. 표 2는 이 TLE의 각 요소에 대한 자세한 설명이다.

표 2. TLE의 각 요소 상세 설명[6] 첫째 줄

Field	Columns	Content
1	01 - 01	Line number
2	03 - 07	Satellite number
3	08 - 08	Classification (U=Unclassified)
4	10 - 11	International Designator (Last two digits of launch year)
5	12 - 14	International Designator (Launch number of the year)
6	15 - 17	International Designator (Piece of the launch)
7	19 - 20	Epoch Year (Last two digits of year)
8	21 - 32	Epoch (Day of the year and fractional portion of the day)
9	34 - 43	First Time Derivative of the Mean Motion divided by two [2]
10	45 - 52	Second Time Derivative of Mean Motion divided by six (decimal point assumed)
11	54 - 61	BSTAR drag term (decimal point assumed) [2]
12	63 - 63	The number 0 (Originally this should have been "Ephemeris type")
13	65 - 68	Element set number, incremented when a new TLE is generated for this object.
14	69 - 69	Checksum (Modulo 10)

둘째 줄

Field	Columns	Content
1	01 - 01	Line number
2	03 - 07	Satellite number
3	09 - 16	Inclination [Degrees]
4	18 - 25	Right Ascension of the Ascending Node [Degrees]
5	27 - 33	Eccentricity (decimal point assumed)
6	35 - 42	Argument of Perigee [Degrees]
7	44 - 51	Mean Anomaly [Degrees]
8	53 - 63	Mean Motion [Revs per day]
9	64 - 68	Revolution number at epoch [Revs]
10	69 - 69	Checksum (Modulo 10)

미국 합동우주운영센터에서 대기권에 재진입하는 우주물체에 대한 TIP 메시지의 예는 표 3과 같다. 표 3에서 보는 바와 같이 추락 일시와 추락 지점은 예측 시기에 따라서 전혀 달라진다. 이는 그 만큼 추락예측 모델의 정밀도가 입력되는 관측 자료의 시점과 질에 따라서 매우 달라짐을 알 수 있다.

표 3. JSpOC TIP 메시지 예[7]

앞부분							
NORAD_CAT_ID	MSG_EPOCH	INSERT_EPOCH	DECAY_EPOCH	WINDOW	REV		
34602	2013-11-11 08:44:00	2013-11-11 08:46:11	2013-11-11 00:16:00	1	27297		
34602	2013-11-10 21:40:00	2013-11-10 21:43:02	2013-11-10 23:58:00	120	27298		
34602	2013-11-10 17:38:00	2013-11-10 18:15:04	2013-11-11 00:03:00	300	27297		
34602	2013-11-10 11:05:00	2013-11-10 11:08:24	2013-11-10 22:51:00	480	27296		
34602	2013-11-09 22:34:00	2013-11-09 22:38:15	2013-11-10 23:02:00	960	27296		
34602	2013-11-09 04:29:00	2013-11-09 04:32:49	2013-11-11 04:55:00	1440	27301		
34602	2013-11-08 04:14:00	2013-11-08 04:18:26	2013-11-11 02:58:00	2880	27299		
34602	2013-11-07 13:24:00	2013-11-07 13:29:33	2013-11-11 13:01:00	2880	27308		
뒷부분							
DIRECTION	LAT	Lon	INCL	NEXT_REPORT	ID	HIGH_INTEREST	OBJECT_NUMBER
ascending	-56	300	96.5	0	3631	N	34602
descending	-40	109.9	96.5	0	3630	Y	34602
descending	-59.4	108.1	96.5	2	3629	Y	34602
ascending	-55.5	321.6	96.5	6	3628	Y	34602
ascending	-11.8	310.8	96.5	12	3626	N	34602
ascending	3.6	220.5	96.5	24	3624	Y	34602
descending	-59.5	59.3	96.6	48	3817	Y	34602
descending	-14.4	277.9	96.5	72	3813	Y	34602

표 3의 앞부분 4번째 열과 뒷부분 2번째, 3번째 열은 각각 추락 일시와 추락지역 위도와 경도를 나타낸다. 이러한 TIP 메시지는 추락 4일 전부터 생성되며 추락 전 24시간 내에는 여러 번 생성될 수도 있다.

3. 궤도 추정

우주물체의 대기권 재진입을 예측하는 것은 매우 어려운 일이다. 고도 300 km 이상의 대기 마찰에 의한 섭동이 미미한 영역에서는 대체적으로 케플러 궤도 운동을 유지하지만 고도 300km 영역에서 대기 마찰이 커지면서 궤도이탈이 시작되고, 200km영역에서는 돌이킬 수 없는 추락 단계에 접어들며, 120km 이하 최종 단계에서는 탄도 비행을 하면서 수 시간 내에 지상에 추락하게 된다.

따라서 고도 120km 영역까지는 상당한 오차를 수반할 수 있지만 케플러 궤도 운동으로 우주물체의 운동을 기술할 수 있으나, 그 이하 고도에서는 케플러 궤도 운동방정식으로 그 위치를 추정할 수 없다.

한국천문연구원 위성추락상황실은 그 궤도 추정에는 현재 케플러 궤도요소를 사용한 궤도 전파방법 중에서 일반섭동론을 응용한 SGP4 (Simplified General Perturbation) 방법을 사용하여 지난 4번의 위성추락상황에서 미국 합동우주 운영센터의 예측결과와도 비견할 수 있는 결과를 생성하였다[5].

4. 추락 예측 및 분석

우주물체 추락 예측을 위해 미전략사령부에서 발표한 우주물체 별 TLE 자료를 통해 근지점과 원지점을 계산하여 실제 추락고도를 모사했고, 대기 모델별 추락 예측고도 및 추락시기를 분석하였다. 인공위성 추락고도 변화 및 추락시기 예측 시 대기모델 활용에 따른 정확도 분석을 위해 각 위성별 가장 낮은 높이에서 발표된 TLE 자료를 기준으로 40km 씩 추가하여 고도별 TLE 자료에 따른 대기모델의 정확성 확인 및 예측 자료로 활용하였다[8].

5. 상황전파

위성추락상황실의 운영 최종생성물은 추락상황 보고서와 대중 매체용 웹페이지이며, 이의 생성은 자동화하여 그림 2와 같이 구성되어 있다. 관계기관 배포용 보고서는 위성의 추락상황과 예측 추락 일시 등이 간략하게 기술되어 있고 대중 배포용 웹페이지 내용은 그림과 자세한 한반도 통과 궤적 등이 보고된다.

이 배포용 웹페이지 생성 기능에 의해서 우주감시 사업 소개, 위성추락상황실 운영 내용, 참고 자료, 언론 기사, FAQ (Frequently Asked Question), 위성 추락 상황 트위터, 상황 보고 등이 관리자 및 대중에게 전달된다.

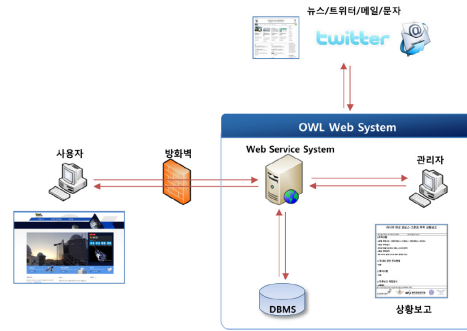


그림 2. 국내 위성추락상황실의 보고서 생성 시스템[9]

Ⅲ. 위성추락상황실 운영 결과

2011년 국내 위성추락상황실의 한국천문연구원 내 설치 및 운영이 결정된 이후로 4번의 주요 위성추락 상황이 발생하여 대한민국 공군 및 관계기관의 지원 하에 성공적으로 운영되었다. 이는 각각 독일 린트겐 천문 X선 관측 위성, 러시아 포보스-그룬트 화성 탐사선, 러시아 코스모스 1484 위성, 유럽우주청 고체 (GOCE) 우주측지 위성이다. 물론 이보다 훨씬 많은 수의 위성이 대기권에 재진입 했으나, 대중의 관심이나 추락 시 위험도 등이 고려되어 위에서 언급한 4기의 우주물체의 대기권 재진입시 위성추락상황실이 운영되었다.

1. 독일 린트겐 위성 대기권 재진입

2011년 9월 말부터 독일연방우주청(DLR)의 린트겐위성 (ROSAT, X-선 천문위성)의 임박한 대기권 재진입이 예상됐다. 이 위성은 미국의 고층관측 위성인 UARS보다는 소형 위성이나 X-선 관측을 위한 구조물이 대기권의 마찰열에도 소실되지 않고 지면에 충돌할 가능성이 매우 높아 피해 위험이 상대적으로 큰 것으로 예상되었다. 이 위성의 자세한 내용은 표 4와 같다.

표 4. 독일 린트겐 위성의 개요

항목	내용
운영	German Aerospace Center
임무형태	우주 관측
발사일자	1990년 6월 1일
발사로켓	Delta II
발사장소	Cape Canaveral
식별번호	1990-049A, 20638
임무수행기간	8년 9개월
대기권 재진입 일자	2011년 10월 23일
질량	2400 kg

이 위성의 대기권 재진입 상황은 그림 3과 같다. 그림 3은 이 위성의 근지점 고도가 2011년 9월 20일부터 추락 때까지 미국 전략사령부의 공개위성 궤도력으로 추산되어져 나타나 있다.

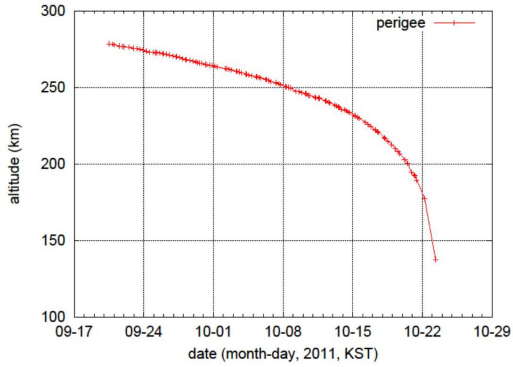


그림 3. 독일 린트겐 천문 X선 관측 위성 대기권 재진입 시 근지점 고도 변화

이 위성의 대기권 재진입에 따른 위성추락상황실의 운영 내용과 결과는 표 5와 같다.

표 5. 독일 린트겐 위성의 위성추락상황실 운영내용 및 결과

항목	내용
상황실 위치	한국천문연구원 본원 GDC
운영 기간	2011.10.17. 13:00 ~ 2011.10.23. 18:00
구성	관련 전문가 5명 및 계약직 4명
궤도 계산	-궤도 전문가 1명과 계약직 2명 전담 -미전략사령부 발표 초기 궤도자료 활용
상황전파	-유관기관 비상연락망 구축 -이메일 및 문자메시지 보고 -추락상황 전용 홈페이지 및 트위터 공개
유관기관 보고	일일보고 12건, 수시보고 6건
일반 공지	홈페이지 7건, 트위터 36건, 보도자료 3건, 보도건수 113건

2. 러시아 포보스 그룬트 화성 탐사선 대기권 재진입

2011년 11월 8일 카자흐스탄의 바이코누르 발사장에서 제 닛트 발사체에 의해 발사된 러시아 화성탐사선(포보스-그룬트)이 정상궤도 진입에 실패 후 궤도이탈이 시작되었다. 맹독성 연료(하이드라진) 7.5톤을 포함한 총 13.2톤의 위성이 대기권에 재진입할 경우, 위성파편에 의한 피해와 2차적인 화학물질에 의한 피해가 예상됨에 따라, 비상사태 발생에 대비한 위성추락상황실 운영이 필요하다고 구) 교육과학기술부에서 판단하여 위성추락상황실이 재개소 되었다.

이 화성 탐사선의 자세한 개요는 표 6과 같다. 이 탐사선에는 중국의 화성 탐사선도 피기백 형태로 탑재되어 있었으나 자세한 제원은 알려져 있지 않다.

표 6. 러시아 화성 탐사선 포보스-그룬트의 개요

항목	내용
운영	러시아 연방 우주청
임무형태	궤도선,착륙선,시료채취 및 귀환
발사일자	2011년 11월 8일
발사로켓	제니트-2SB
발사장소	카자흐스탄 바이코누르 우주기지
식별번호	1990-049A, 37872
임무수행기간	궤도 진입 실패
대기권 재진입 일자	2012년 1월 16일
질량	13,200 kg

포보스-그룬트의 궤도는 화성까지의 천이궤도로 진입하는 과정에서의 실패로 인해 이심률이 상당히 크게 되었다. 따라서 근지점 고도가 200km 영역에 도달했음에도 원지점은 훨씬 높은 영역에 있어서 그림 4에서 보는 바와 같이 일반적인 원궤도인 경우보다 상당히 오랜 기간 근지점 고도가 200km 영역에 있게 된다.

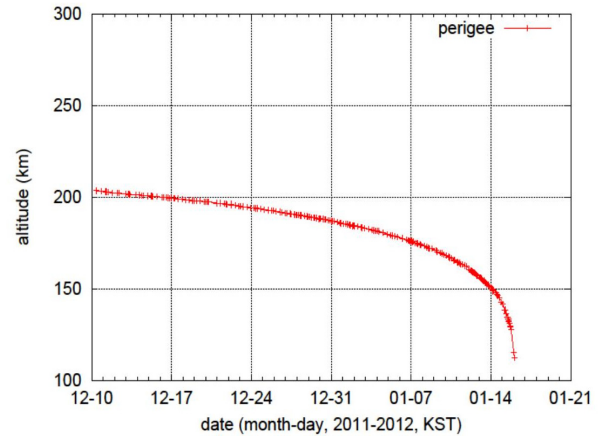


그림 4. 러시아 화성탐사선 포보스-그룬트의 대기권 재진입 근지점 고도 변화

이 위성의 대기권 재진입에 따른 위성추락상황실의 운영 내용과 결과는 표 7과 같다.

표 7. 러시아 화성 탐사선 포보스-그룬트의 위성추락상황실 운영내용 및 결과

항목	내용
상황실 위치	한국천문연구원 세종홀 1층 회의실
운영 기간	2012.01.09. 09:00 ~ 2012.01.16. 04:00
구성	3개 기관 22명 참가
궤도 계산	-궤도 전문가 1명과 계약직 2명 전담 -미전략사령부 발표 초기 궤도자료 활용
상황전파	-유관기관 비상연락망 구축 -이메일 및 문자메시지 보고 -추락상황 전용 홈페이지 및 트위터 공개
유관기관 보고	정기보고 12건, 수시보고 6건 문자메시지 3건
일반 공지	홈페이지 11건, 트위터 22건, 보도자료 3건, 보도건수 128건

일반적인 임무 종료위성과는 다르게 화성을 탐사하기 위해서 발사된 포보스-그룬트호는 궤도 천이 중에 임무실패를 하여서 이심률이 큰 최종 궤도를 갖게 되었다. 따라서 상대적으로 낮은 저궤도임에도 원지점과 근지점이 100 km 이상 차이가 나는 타원궤도로서, 추락예측이 한층 더 어려운 경우가 된다. 이심률이 큰 타원궤도가 공기저항에 의해서 궤도이탈을 할 때 상대적으로 원지점 고도 변화율이 근지점 고도 변화율보다 2~3배 이상 크며, 근지점 고도가 사실상 대기권 진입의 시작으로 보는 180km 고도를 통과해도 원지점이 180km 이하로 내려올 때까지 안정한 궤도를 유지한다. 그림 5는 미전략사령부에서 발표한 포보스-그룬트호의 평균궤

도요소를 바탕으로 계산한 근지점과 원지점을 실시간 한국 표준시에 대응하여 작성된 것으로 이번 추락 시각 예측에 사용하였다[10].

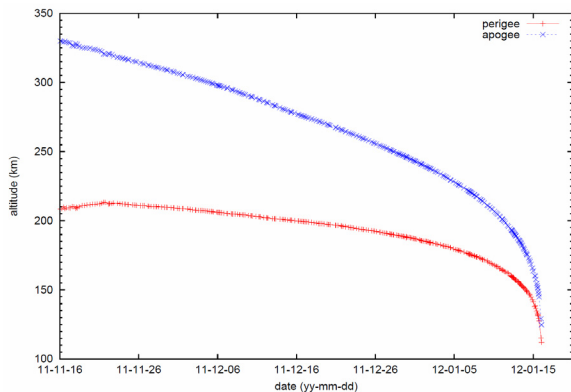


그림 6. 러시아 화성탐사선 포보스-그룬트의 대기권 재진입 원지점-근지점 고도 변화

3. 러시아 코스모스 1484 위성 대기권 재진입

1983년 7월 24일 카자흐스탄의 바이코누르 발사장에서 보스톡(셀우드) 발사체에 의해 발사된 러시아 자원탐사 위성(코스모스 1484호)이 운영이 종료된 후 대기마찰에 의해 최초 궤도 평균고도 640km에서 지난 30년간 점진적으로 강하하여 2013년 1월 9일 현재 지상 추락이 예상되었다. 총무게가 2.5톤의 중형위성이나 대기권에 재진입할 경우, 위성파편에 의한 피해가 예상됨에 따라, 비상사태 발생에 대비한 위성추락상황실 운영필요성이 제기되어 위성추락상황실이 재개소되었다.

이 러시아 위성의 자세한 개요는 표 8과 같다. 그러나 1980년대 초에 구 소련 연방에서 발사된 위성으로서 자세한 제원이 공개되어 있진 않다.

표 8. 러시아 위성 코스모스 1484의 개요

항목	내용
운영	러시아 연방 우주청
임무형태	지구 자원 탐사
발사일자	1983년 7월 24일
발사로켓	개량형 SS-6(보스토크) 및 1세대 셀우드 2단 로켓
발사장소	카자흐스탄 바이코누르 우주기지
식별번호	1983-075A, 14207
대기권 재진입 일자	2013년 1월 28일
질량	2,500 kg

코스모스1484 위성은 발사 당시의 궤도 정보가 근지점 595.0km, 원지점 673km와 궤도 경사각 98.0도로써 전형적인 원궤도 위성 특징을 지니고 있다. 특히나 코스모스1484는 위성의 고도가 낮아짐에 따라 한반도 인근에 대하여 태양동주기궤도의 특성을 지니게 되어 광학 망원경을 이용한 관측이 불가능한 것으로 조사되기도 하였다[11].

그림 7은 전형적인 작은 이심률을 갖는 우주물체의 추락 궤적을 보여 주고 있다.

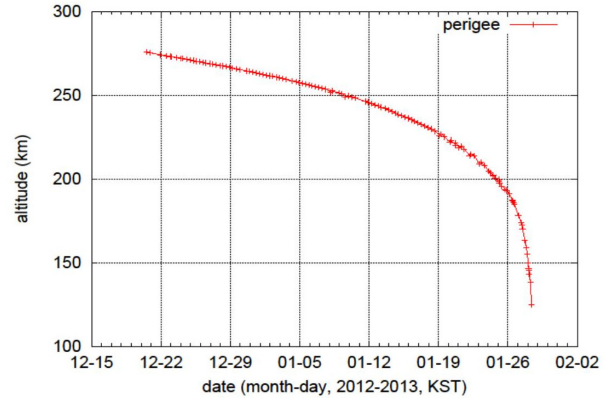


그림 7. 러시아 위성 코스모스 1484의 대기권 재진입 근지점 고도 변화

이 위성의 대기권 재진입에 따른 위성추락상황실의 운영 내용과 결과는 표 9와 같다.

표 9. 러시아 위성 코스모스 1484의 위성추락상황실 운영내용 및 결과

항목	내용
상황실 위치	한국천문연구원 세종홀 3층 우주물체 감시실
운영 기간	2013.01.21. 09:00 ~ 2013.01.28. 15:00
구성	3개 기관 27명 참가
궤도 계산	-궤도 전문가 1명과 계약직 2명 전담 -미전략사령부 발표 초기 궤도자료 활용
상황전파	-유관기관 비상연락망 구축 -이메일 및 문자메시지 보고 -추락상황 전용 홈페이지 및 트위터 공개
유관기관 보고	정기보고 13건, 수시보고 3건 문자메시지 1건
일반 공지	홈페이지 17건, 트위터 14건, 보도자료 1건, 보도건수 76건

4. 유럽연방 고체(GOCE) 위성 대기권 재진입

2009년 3월 17일 발사된 유럽우주청 우주측지위성 고체(GOCE)가 2013년 10월 21일 추진체 연료가 소모되면서 임무수명을 다하여 지구 대기권 진입이 예상되었다. 위성파편이 지구표면에 추락할 가능성이 예측되지만, 비상사태 발생에 대비하여 대응체계 구축 필요성이 제기되어 한국천문연구원에 위성추락상황실이 재개소되었다. 표 10은 위성 고체의 자세한 제원 및 현황을 표시했다.

표 10. 유럽우주청 우주측지위성 고체(GOCE)의 개요

항목	내용
운영	유럽우주청 (ESA)
임무형태	지구중력장 및 해양순환 탐사선
발사일자	2009년 3월 17일
발사로켓	로켓(사) 브리즈(Breeze-KM)발사체
발사장소	플레체스크 우주 발사장
식별번호	2009-013A, 34602
임무수행기간	55개월 (계획상 20개월)
대기권 재진입 일자	2013년 11월 11일
질량	1,077 kg

이 위성은 설계 운용 고도가 260 km로 상당히 특이한 궤도유지를 임무수행기간동안 유지했다. 이 위성은 낮은 고도에서 운용함으로써 정밀한 중력장 측정이 목적이었기에 그 운용고도가 필수적이었다. 그러나 이 고도는 대기마찰이 심하여 수개월 이내에 대기권 재진입이 필수적이다. 따라서 이 위성은 대기마찰과 반대 방향으로 플라즈마 이온 추력기를 탑재하여 그 섭동력을 상쇄하여 정밀한 중력 측정이 가능하였던 것이고 그 플라즈마 이온추력기의 연료인 제논 가스가 소진되어서 결국 대기권에 재진입하였다[12].

따라서 그림 8에서 초기에 근지점 고도가 220km에서 평탄하게 유지된 것은 이온추력기의 정상적인 작동을 나타낸다.

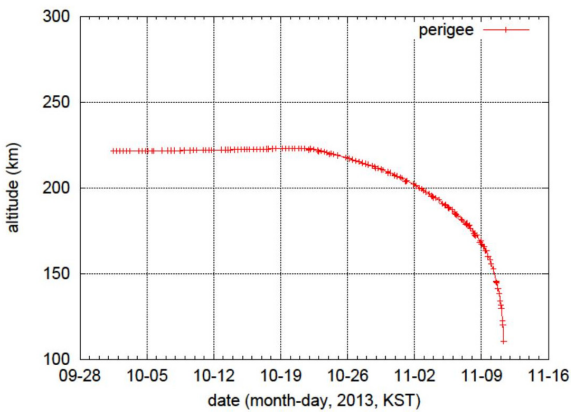


그림 8. 유럽우주청 우주측지 위성 고체(GOCE)의 대기권 재진입 근지점 고도 변화

이 위성의 대기권 재진입에 따른 위성추락상황실의 운영 내용과 결과는 표 11과 같다.

표 11. 유럽우주청 우주측지위성 고체(GOCE)의 위성추락상황실 운영내용 및 결과

항목	내용
상황실 위치	한국천문연구원 세종홀 3층 우주물체 감시실
운영 기간	2013.11.05. 09:00 ~ 2013.11.11. 11:20
구성	2개 기관 18명 참가
궤도 계산	-궤도 전문가 1명과 UST학생 2명 전담 -미천력사령부 발표 초기 궤도자료 활용
상황전파	-유관기관 비상연락망 구축 -이메일 및 문자메시지 보고 -추락상황 전용 홈페이지 및 트위터 공개
유관기관 보고	정기보고 12건, 수시보고 2건 문자메시지 2건
일반 공지	홈페이지 14건, 트위터 20건, 보도자료 2건, 보도건수 176건

IV. 우주위험 대응

인공위성의 대기권 재진입 등 우주물체추락은 이제 인류의 생활에 점점 큰 위협이 되고 있다. 이러한 위협으로부터 인류의 생명과 재산을 보호하기 위해서는 국가적 차원에서의

우주위험대응을 위한 준비가 시작되어야 한다. 우리 정부에서도 이를 위해 우주물체추락과 관련한 위기관리 표준매뉴얼을 작성하고 있는 것으로 알고 있다. 우리는 위기대응매뉴얼에는 다음과 같은 내용들이 포함되어야 한다고 생각한다.

먼저 관련된 법에 근거한 정부의 위기관리 목표와 방향이 제시되어야 한다. 위기 발생의 원인과 그 피해에 대한 정의가 먼저 기술되어야 하며, 이를 바탕으로 위기대응매뉴얼이 작성되는 목표와 범위를 결정해야한다.

둘째는 위기의 시작으로부터 소멸까지 일련의 과정에서 발생하게 되는 의사결정을 신속, 정확하게 수행하기 위한 의사결정체계가 필요하다. 위기발생의 시작과 소멸을 판단할 수 있는 근거와 함께 누가 어떤 절차를 거쳐 이를 결정할 것인지를 매뉴얼에 포함되어야한다. 필요하다면, 위기상황도 피해 유무 및 경중에 따라 등급을 나누고 각 등급의 변화 시에 의사결정 주체도 변경할 수 있어야 한다.

셋째는 위기상황을 전파하기 위한 위기정보체계의 구축이 필요하다. 위 의사결정체계에 의해 결정되는 상황을 신속하게 관련된 정부부처 및 기관 그리고 국민들에게 전달해야 하는 상황전파 체계가 그것이다.

마지막으로는 위기대응에 대한 각 정부부처의 책임과 역할을 기술되어야 한다. 상황전파의 주체와 객체가 되는 각각의 정부부처와 기관은 어떤 책임과 역할을 수행해야하는지가 포함되어야 한다. 이를 위해 해당 정부부처와 기관은 책임과 역할에 따른 세부적인 활동 근거를 마련해야 한다. 특히 대기권 재진입이 된 우주물체는 제작, 발사, 소유, 운영 주체가 있다는 점에서 피해를 입은 국가와 자칫 외교적 분쟁으로 발전할 수 있기 때문에 자연재해와는 다른 면도 함께 고려되어야 한다.

V. 결론

국내 위성추락상황실의 한국천문연구원 내 설치 및 운영이 결정된 이후로 4번의 주요 위성추락 상황이 발생하여 대한민국 공군 및 관계기관의 지원 하에 성공적으로 운영되었다. 이 위성추락상황실이 실시간 운영되는 동안 설계된 운영 체계에 의해서 차질 없이 업무가 수행되었고, 위성추락 관련 분석 자료는 관련 기관, 언론, 일반 대중에게 실시간으로 신속하게 전달되어 수요처의 요구에 부응하였다. 증가일로에 있는 우주물체의 수에 비례하여 주요 위성추락 상황이 빈번해 질 것이 자명하여 이제 위성추락상황실의 확대 구축, 상시 운영, 인력 충원 및 법제화가 필요한 시점으로 판단된다.

사 사

이 연구는 한국기초기술연구회의 국가 현안문제 해결형 과제인 “우주물체 전자광학 감시체계 기술개발”과 대응제원인 한국천문연구원 기관고유과제의 부분적 지원을 받아 수

행되었습니다. 저자들은 한국천문연구원 동료 구성원들의 많은 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] Donald J. Kessler and Burton G. Cour-Palais, "Collision frequency of artificial satellites: The Creation of a debris belt," *Journal of Geophysical Research*, vol. 83, no. A6, pp.2637-2646, 1978.

[2] "SATCAT Boxscore", www.celestrak.com/satcat/boxscore.asp

[3] Reynolds, Glenn H.; Merges, Robert P., *Outer Space: Problems of Law and Policy*, Westview Press, 1998, pp.179 - 189.

[4] 조중현, 2013, 2013 International symposium on sustainable space development and utilization for humankind 한국천문연구원 출장 보고서.

[5] 한국천문연구원, 2013. 11, 유럽우주국 위성 고체(GOCE) 위성 추락상황실 운영 최종보고서.

[6] "NORAD Two-Line Element Set Format", <http://celestrak.com/NORAD/documentation/tle-fmt.asp>

[7] "Space Track", <https://www.space-track.org>

[8] 손주영, 최진, 최영준, 배영호, 박장현, 문홍규, 임홍서, 김명진, 임여명, 현성경, 김지혜, 조중현, "국내 위성추락 예측 연구", *통신위성우주산업학회논문지*, 제 8권 4호, 2013, 심사중

[9] 한국천문연구원, 2013, 우주물체 전자광학 감시체계 운용 및 제어 시스템 개발: NWEB 설계서

[10] 한국천문연구원, 2012. 1, 러시아 화성 탐사선 포보스-그룬트 위성추락상황실 운영 최종보고서.

[11] 한국천문연구원, 2013. 1, 러시아 위성 코스모스 1484 위성추락상황실 운영 최종보고서.

[12] "GOCE", http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/GOCE/

저자

조 중 현(Jung Hyun Jo)



- 1986년 2월 : 연세대학교 천문기상학과 (학사)
- 1988년 2월 : 연세대학교 천문기상학과 (석사)
- 2002년 8월 : Auburn University 항공우주공학과(박사)

• 2005년 11월~현재 : 한국천문연구원
 • 2006년 3월~현재 : 과학기술연합대학원대학교 부교수
 <관심분야> : 궤도공학, GNSS, 시스템 이론, 우주감시

정희원

최 영 준(Young-Jun Choi)



- 1995년 2월 : 경북대학교 천문대기과학(학사)
- 1997년 8월 : 경북대학교 천문대기과학(석사)
- 2005년 8월 : Tel-Aviv University 행성과학 및 지구물리학과(박사)

• 2005년 1월~2007년 11월 : NASA PostDoc. Fellow, 제트추진연구소

• 2007년 12월~현재 : 한국천문연구원
 <관심분야> : 행성과학, 소행성, 혜성, 우주감시

임 흥 서(Hong-Suh Yim)



- 1991년 2월 : 연세대학교 천문기상학과 (학사)
- 1993년 8월 : 연세대학교 천문대기과학(석사)
- 2000년 8월 : 연세대학교 천문대기과학(박사)

• 2000년 9월~2001년 9월 : 연세대학교 CSA 박사후연구원

• 2001년 10월~현재 : 한국천문연구원
 <관심분야> : 광학천문학, 태양계, 우주감시

최 진(Jin Choi)



- 2007년 2월 : 경북대학교 천문대기과학(학사)
- 2009년 2월 : 경북대학교 천문대기과학(석사)
- 2008년 1월~현재 : 한국천문연구원
- 2012년 9월 : 과학기술연합대학원대학교 천문우주과학 박사과정

<관심분야> : 궤도공학, 위성 관측, 우주감시

손 주 영(Ju-Young Son)



- 2004년 2월 : 한국항공대학교 항공교통학과 학사졸업
- 2013년 8월~현재 : 과학기술연합대학원대학교 천문우주과학 석사과정

<관심분야> : 궤도역학, 우주감시

전 현 석(Hyun-Seock Jeon)



- 1993년 2월 : 공군사관학교 졸업
- 2006년 2월 : 연세대학교 천문우주학과 석사졸업
- 2011년 2월 : 과학기술연합대학원대학교 천문우주과학 박사졸업

<관심분야> : 우주감시

임 여 명(Yeo-Myeong Lim)



- 2004년 2월 : 아주대학교 물리학과 학사졸업
- 2006년 8월 : 한국과학기술원 물리학과 석사졸업
- 2009년 9월~현재 : 한국과학기술원 물리학과 박사과정

<관심분야> : 위성탐체제, 태양계 소천체

배 영 호(Young-Ho Bae)



- 1998년 2월 : 인제대학교 물리학과 학사졸업
- 2002년 8월 : 부산대학교 지구과학과 석사졸업
- 2011년 10월~현재 : 한국천문연구원

<관심분야> : 태양계 소천체

김 지 혜(Ji-Hye Kim)



- 2008년 2월 : 충남대학교 천문우주학과 학사졸업
- 2008년 8월~2009년 12월 : 2009 세계 천문의 해 조직위원회 간사
- 2013년 3월~현재 : 한국천문연구원

문 흥 규(Hong-Kyu Moon)



- 2007년 8월 : 연세대학교 천문우주학과 박사졸업
- 1994년~현재 : 한국천문연구원
- 2001년~2004년 : 한국과학기술평가원 OECD 과학기술전문가 협의회
- 2007년~2009년 : 2009 세계 천문의 해 한국조직위원회 사무국장

· 2005년~현재 : UN COPUOS AT14 on Near Earth Object
<관심분야> : 태양계 소천체

현 성 경(Sung-Kyung Hyun)



- 2004년 2월 : 충남대학교 산업미술학과 학사졸업
- 2007년 3월~2009년 12월 : 한국천문연구원디자이너 및 세계천문의 해 조직위원회 디자이너
- 2012년 10월~현재 : 한국천문연구원

김 명 진(Myung-Jin Kim)



- 2004년 2월 : 인하대학교 항공우주공학과 학사졸업
- 2004년 3월~현재 : 연세대학교 천문우주학과 석박사 통합과정

<관심분야> : 태양계 소천체

박 장 현(Jang-Hyun Park)



- 1993년 : 연세대학교 천문우주학과 박사 졸업
- 1992년~현재 : 한국천문연구원
- 1998년~1999년 : 존스홉킨스대학교 박사후 연구원