



J. Korean Soc. Aeronaut. Space Sci. 48(4), 311-321(2020)

DOI:https://doi.org/10.5139/JKSAS.2020.48.4.311

ISSN 1225-1348(print), 2287-6871(online)

우주쓰레기 경감 가이드라인 동향 및 향후 전망

김해동¹

Recent Status and Future Prospect on Space Debris Mitigation Guideline

Hae-Dong Kim¹

Korea Aerospace Research Institute, University of Science & Technology

ABSTRACT

With the recent breakthrough in technology for micro-satellite, small satellite, and mega constellation missions, and the cost of accessing space from recycled space launch vehicles sharply lowered. Thus, space development is set to make a transition to a new space age that is different from before. Accordingly, the problem of worsening space environment conditions due to the increase in space debris, an inevitable adjunct to active space development, is also emerging as an international concern. In this paper, the contents and trends of international organizations for the protection of the space environment and space debris mitigation guidelines of each country were reviewed and forecast the future movement of the international community. In addition, it is suggested example of guidelines that fit the reality of Korea and how to apply them.

초 록

최근 초소형위성, 소형위성에 대한 혁신적인 기술 발전으로 인해 거대 군집임무(Mega Constellation)가 활발하게 이루어지고, 재활용 우주발사체로 인한 우주 접근 비용이 급격하게 낮아지면서, 우주 개발은 지금까지와는 다른 'New Space Age' 시대로의 전환을 앞두고 있다. 이에 따라, 활발한 우주 개발의 필연적인 부수물인 '우주쓰레기'들의 증가로 인한 우주환경 악화 문제 역시 국제적인 관심사로 떠오르고 있다. 본 논문에서는 국가 우주정책의 변화를 앞두고 우주환경 보호를 위한 국제기구들과 각 국가들의 '우주쓰레기 경감 가이드라인' 제정 내용과 동향들을 살펴 보고, 국제 사회의 향후 움직임에 대해 전망하였다. 또한, 우리나라의 현실에 맞는 가이드라인 예시 및 적용 방안에 대해서도 제안하였다.

Key Words : Space Debris(우주쓰레기), Guideline(가이드라인), Mitigation(경감), Space Policy(우주정책), Space Environment(우주환경)

I. 서 론

지난 1978년 미국 NASA 연구원이었던 케슬러(D. Kessler)가 인류의 우주개발이 지속되면서 멀지 않은

미래에 우주쓰레기로 인한 우주환경 악화 가능성을 경고한 이후, 지난 2007년 중국의 자국 위성 요격 시험[1]과 미국과 러시아의 사상 첫 위성 충돌 사건[2]은 케슬러의 미래 예측이 기우가 아님을 시사하게

† Received : February 18, 2020 Revised : March 11, 2020 Accepted : March 13, 2020

¹ Principal Researcher, Professor

¹ Corresponding author, E-mail : haedkim@kari.re.kr, ORCID 0000-0001-9772-0562

© 2020 The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences

되었다. 또한, 최근 스페이스 X사의 Starlink 프로젝트[3]와 원웹 프로젝트[4]가 하나 둘씩 실현되기 시작하면서, 국제 사회는 지금까지 경험하지 못한 거대 군집임무(Mega Constellation)들로 인해 우주환경의 악화를 우려하는 목소리가 커지고 있다[5].

사실 인류의 우주개발에 따른 피할 수 없는 우주환경 악화 문제에 대해서는 케슬러가 처음 주장한 이후 국제 사회에서 지속적으로 다루어져 왔다. 국제기구인 UN에서는 이미 1994년부터 우주쓰레기 이슈가 중요 의제로 다루어져 왔고, 그 이후 가이드라인이 제정되어 공포되었다. 또한, 국제우주쓰레기조정위원회(이하 IADC, Inter-Agency Space Debris Coordination Committee), ITU(International Telecommunication Union), ISO(International Organization for Standardization) 등뿐만 아니라 점차 많은 개별 국가들이 우주쓰레기 경감을 통해 우주환경 보호에 동참하는 추세로 발전하여 오고 있다.

특히 국제 사회에서 세계 정책을 주도하려는 미국은 우주환경 보호 개념을 넘어서 '우주교통관리(Space Traffic Management)'의 필요성까지 주장하며, 미국 우주정책에 반영하고 이를 국제 사회가 동참하도록 전파하기 시작하였다[6]. 또한, 미국 연방통신위원회 FCC(Federal Communication Commission)는 'New Space Age'를 맞이하여 우주쓰레기 경감을 위한 조항들을 징식 의무 규정으로 삽입하기 위한 제안 및 절차를 수행 중에 있다[7]. 이처럼 미국이 관련 규정을 점차 의무화되고, 민간 상업용 위성들의 발사 승인(Licensing) 절차에서 미국 정부의 우주쓰레기 가이드라인 준수 여부를 매우 중요하게 다루고 있는 상황은, 다른 우주개발 국가들에게도 적지 않은 영향을 미칠 수밖에 없을 것으로 전망된다.

우리나라도 지난 2018년 개정된 제 3차 우주개발 진흥 기본계획[8]에 따르면, 지금까지 개발한 위성과 우주발사체들 이외에, 우주탐사, 산업화, 위성활용 분야 전반에 걸쳐 다수의 우주개발 프로그램들이 포함되어 있다. 이 기본 계획에 따라 이미 정부는 처음으로 다수의 위성들을 발사하여 군집임무를 수행하는 프로젝트도 시작하였으며[9], 뉴 스페이스 시대의 화두 중의 하나인 '초소형위성'을 이용한 군집임무를 개발하려는 다수의 민간 및 군,정부 기관들의 움직임도 활발하기 시작하였다.

또한, 우리나라 최초의 독자 우주발사체가 2021년 시험 발사에 성공하면, 우리나라 민간에서의 우주개발 활동도 크게 증가할 것으로 예상된다. 따라서, 우리나라도 향후 활발한 우주개발에 따른 우주환경 변화에 일정 부분 역할을 할 수밖에 없을 것이다.

이에 우리나라에서도 국제 사회의 우주환경 보호 노력에 동참하기 위해 국가 우주정책에서 이를 반영하고자 하고 있으며, 그 결과에 따라 곧 '국가 우주쓰레기 가이드라인(안)'도 공포가 되어 이후 시작하

는 모든 우주개발 사업에 전반적인 영향을 줄 것으로 예상된다.

본 논문에서는 이러한 국가 우주정책 변화를 앞두고, 국제 사회의 우주환경 보호 노력에 따른 '우주쓰레기 경감 가이드라인'들의 내용과 각 국가들의 동향들에 살펴보았다. 또한, 이러한 가이드라인들의 향후 국제 규범화에 대한 전망, 산업체의 우주개발에 미치는 영향 등에 대해서도 알아보았다. 마지막으로, 지금까지 우리나라에서 진행되고 있는 우주환경 보호 관련 연구개발 내용들을 소개하고, 우리나라 현실에 맞는 '우주쓰레기 경감 가이드라인'을 하나의 예시로써 제안하였다. 제안된 가이드라인의 적용 방안에 대해서도 제시함으로써, 향후 우주개발 사업을 수행함에 있어 참고할 수 있도록 하였다.

II. 국제 가이드라인 동향

2.1 UN 가이드라인

UN은 과거 구소련과 미국과의 냉전 시대에서 촉발된 우주 경쟁을 완화하기 위해 미국, 구소련, 영국이 1967년 1월 첫 번째 국제우주조약에 서명함으로써 발효되었다. 현재까지 지구 외기 우주에 관한 국제우주조약이 5가지가 모두 냉전 시대에 만들어졌으나, 국제사회에서 지속적인 논의에도 불구하고 법적 구속력은 없는 상황이다. 우주쓰레기 문제도 결국 어느 한 국가만의 문제가 아닌, 모두가 활용할 수 있는 지구 주위 우주환경 보호라는 국제사회의 문제이다. 따라서, 국제 사회에서 공감대를 이루고 문제를 함께 해결해나가기 위한 가장 효과적인 방법은, 92개 국가들이 참여하고 있는 UN COPUOS와 같은 국제 위원회를 통해 관련 가이드라인을 제정하고 참여 국가들의 동참을 유도하는 것이다.

국제사회 문제를 대처하기 위한 UN의 해결 접근법은, 우선 '법적 구속력이 없는 수단(Non-legally binding instruments)'을 개발하여 이를 '권고(Recommendations)', '결정(Decisions)', '선언(Declarations)', 하는 순서를 밟아나가는 것이다. 이 과정 이후에 문제의 주제와 상황에 따라 최종적으로 '법적 구속력'을 부여하기 위한 국제법 형태로 발전시킨다.

UN의 가이드라인은 상기의 배경과 접근법에 따라 1994년 처음으로 우주쓰레기 이슈를 회의 주제로 반영하였다. 이후 우주쓰레기로 인한 우주환경 분석을 수행하기 시작하였으며, 그 결과 1999년 작성된 관련 기술 보고서를 바탕으로 우주쓰레기 경감 가이드라인을 구체화하기 시작하였다. 2003년에는 IADC의 가이드라인을 검토하였으며, IADC 회원들과의 교류를 통해 UN 가이드라인 작성과 IADC 가이드라인 보완에 상호 협력하기 시작하였다.

마침내 2007년 발표한 UN 가이드라인은 7개의 대

원칙을 제시하고 있으며, UN 회원국 및 국제기구들이 상황에 따라 적절하게 반영하여 자발적으로 실행하도록 권고하기 시작하였다(국제법상 법적 구속력이 없음을 명시)[10].

한편, UN 가이드라인은 IADC 가이드라인에 비해 기술적인 용어와 설명, 정의가 없는 경우가 많다. 이후 2010년부터 2018년까지 UN COPUOS에서는 외기 우주활동의 장기 지속가능성을 보장하기 위한 21개의 가이드라인을 별개로 제안하기도 하였다. UN 가이드라인의 주요 내용을 살펴보면 다음과 같다. 1. 정상 운용 중 우주쓰레기 배출 제한, 2. 운용 단계 중 파열 가능성 최소화, 3. 궤도에서의 충돌 확률 제한, 4. 고의적인 파괴 및 유해 활동 회피, 5. 임무 종료 후 잔존 에너지로 인한 파열 가능성 최소화, 6. 저궤도에서 임무 종료 후 위성 및 발사체의 장기간 체류 제한, 7. 정지궤도에서 임무 종료 후 위성 및 발사체 장기간 체류 제한으로 이루어져 있다.

UN 가이드라인에는 우주쓰레기, 저궤도, 정지궤도 등을 포함하여 용어들에 대한 정의가 없으며, 장기 체류기간이 몇 년을 의미하는지, 정지궤도 영역의 보호 방법이 무엇인지, 파열을 최소화하기 위한 방법들이 무엇인지에 대한 기술적인 설명이 없이 선언적으로만 되어 있다. 따라서, UN 가이드라인만으로는 구체적인 요구사항과 실행방법을 고려한 자체 가이드라인을 처음부터 구성하는 것은 용이하지 않을 수 있으므로, 다음에서 설명하는 IADC의 가이드라인을 병행하여 참고하는 것이 용이하다.

2.2 IADC 가이드라인

IADC는 1993년 미국, 유럽연합, 일본, 프랑스를 중심으로 창설되었다. IADC는 국제적인 정부 차원의 포럼의 성격을 가지며, 우주 공간에서의 우주쓰레기 이슈와 관련된 모든 우주활동들의 국제적인 조정, 참여 국가들 간의 협력과 관련 연구개발 내용 공유를 목적으로 한다. 따라서, 가입 자격은 우주시스템(인공 위성 및 우주발사체)을 개발, 발사 및 운용과 같은 우주활동을 하는 정부 기관 혹은 정부로부터 승인 받은 우주 기관으로 엄격하게 제한한다.

IADC는 각 국가 기관의 대표자들로 구성된 운영자 그룹(Steering Group)과 4개의 Working Group(관측, 환경 및 DB, 보호, 경감)으로 나누어 우주쓰레기 이슈에 관한 기술적인 논의 및 가이드라인을 지속적으로 수정, 보완하고 있다. 우리나라는 2014년부터 13번째 정식 회원 국가이며, 한국항공우주연구원(이하 항우(연))은 대표기관으로써 매년 정기총회 및 운영자그룹에 참여하고 있다. 주요 활동으로는 총회에서 국내의 우주활동 현황, 우주환경 보호를 위한 연구개발 현황, 운영 현황 등을 보고한다. 특히, 회원국들이 멤버십으로 일정 기간 동안 운영하는 관련 공식 홈페이지를, 항우(연)이 지난 2019년에 이어 받아

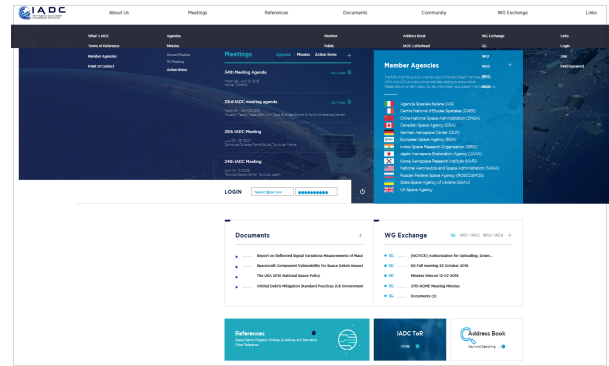


Fig. 1. Official IADC homepage (<https://www.iadc-home.org>)

최신 인터넷 환경에 적합한 신규 공식 IADC 홈페이지를 구축하여 운용 중에 있다(Fig. 1).

한편, 앞서 소개한 UN 가이드라인은 모든 참여 국가들의 협의에 의한 것인데 반해, IADC 가이드라인은 참여 국가 대표 우주기관들의 전문가들이 모여서 기술적인 분석과 토의를 배경으로 가이드라인을 제시하는 것이 가장 큰 차이이다. IADC 가이드라인 첫 공식 버전은 2002년에 발간되었으며[11], 2007년 일부 개정 이후 2019년 세 번째 공식 버전 발간을 앞두고 있다. IADC 가이드라인의 목적은 우주쓰레기 발생을 최소화하고 효과적으로 경감하기 위한 수단을 제시함으로써, 우주쓰레기 문제를 다루기 위한 노력을 진작시킬 수 있는 표준안 또는 핸드북으로 활용하도록 하는 것이다(이 역시 UN 가이드라인처럼 법적 구속력은 없다). 주요 내용을 살펴보면, 1. 정상 운용 중 우주쓰레기 배출 제한, 2. 궤도 상 파열 가능성 최소화, 3. 임무 종료 후 폐기, 4. 궤도 상 충돌 방지와 같이 4개의 큰 카테고리로 설명하고 있다. 이는 UN 가이드라인이 7가지 카테고리로 설명하는 것에 비해 간략화된 것으로 보여질 수 있으나, 사실은 하위 세션을 통해 보다 구체적이고 상세한 가이드라인을 제시하고 있다. 특히, UN 가이드라인에서는 선언적으로 제안한데 반해, 임무 종료 후 폐기율(90% 이상), 지구 재진입 시 인명 사상율(Human Casualty, 10^{-4} 이하), 파열 가능 확률에 대한 구체적인 수치(10^{-3} 이하)를 제시하고, 저궤도(임무 종료 후 잔존 궤도수명 25년 이하)와 정지궤도의 임무 종료 후 폐기(235km 이상 상승) 방법에 대해 구체적으로 기술하고 있어서 국가 또는 우주기관에서 자체 가이드라인을 제정하는데 실질적인 참고가 되도록 하였다. 또한, UN 가이드라인과 달리 기술적인 경감 방법뿐만 아니라, 경감 계획(Mitigation Plan) 수립의 중요성을 강조하고 있으며, 경감 계획에 포함되어야 할 항목들을 기술함으로써 실행 가능한 가이드라인 작성에 필요한 일반적 요구사항들을 제시하고 있다.

IADC 가이드라인은 매년 상반기 정기 총회 및 하반기 대표자 회의를 통해 지속적으로 수정, 보완되어

지고 있는데, 2019년 하반기에 제 2차 정식 버전이 공개될 예정으로 있다. 2019년 버전 개정의 주요 내용은, 임무 종료 후 폐기물을 위성체와 발사체 상단 모두 90% 이상으로 통일한 것과 5.3.2절에서 저궤도 영역의 우주물체 통과와 잔존 기간에 대한 일부 문구 표현의 수정이다.

이와 별개로, IADC에서는 최근 급속한 성장을 하고 있는 다량의 (초)소형 위성들로 이루어진 스페이스 X사 및 원웹의 대량 군집임무(Mega Constellation)와 같은 사례, 우주물체(우주쓰레기) 포획 및 제거, 위성 수리 및 재공유 서비스 임무와 같은 궤도상 서비스(On-Orbit Servicing, OOS) 등 새로운 우주기술들로 인한 우주환경 영향에 대해 기술적인 논의를 시작하였다. 수백, 수천 기의 위성 발사 및 전개와 위성 수명 연장 기술의 발전 등이 지구 주위 우주개발 지속가능성에 어떠한 영향을 미칠 지에 대한 실무그룹 분석을 통해 기술 보고서가 완료되면, 이를 반영하여 조만간 새로운 가이드라인에 적용할 것으로 전망된다.

2.3 ISO 가이드라인

국제표준화기구(ISO)는 2011년 우주시스템 분야에

서 우주쓰레기 경감 요구조건을 추가하여 ISO 표준 24113을 발간하였다[12]. 요구조건의 주요 내용은, 위성체 발사체 상단의 설계, 운영 및 폐기 과정에서 우주쓰레기 배출을 최소화 하는 것이다. 기술적인 요구사항으로 1. 정지궤도와 저궤도 보호영역에서 25년 이상 머물지 않으면서 정상운용 중 우주쓰레기 배출 방지, 2. 발사 및 파리로 점화 과정에서 1mm 이상 우주쓰레기 발생 방지, 3. 고의적인 파괴 금지 및 우발적인 파열 확률 10^{-3} 이하, 4. 폐기 성공률 최소 0.9 이상, 5. 지구정지궤도 보호영역 이외로 폐기, 6. 저궤도 보호영역 내에서 임무 종료 후 25년 이내 잔존 금지, 7. 지구 재진입 시 사상율은 각 기관의 정해진 기준 준수 할 것으로 이루어져 있다. ISO의 역할이 각종 분야의 제품/서비스의 국제 교류를 원활하게하기 위한 표준화를 도모하는 기구로서, 우주시스템 관련 산업체에서도 이미 관련 표준 규격을 도입하여 적용하고 있다. 이에, 우주환경 보호를 위해 우주쓰레기 배출을 제한하고 경감하고자 하는 요구사항까지 Airbus D. S.와 같은 대형 항공우주업체도 도입을 준비하고, 일부 가이드라인을 이미 적용하기 시작하였다(3.8절 참고).

Table 1. Comparison of International Guidelines

Measures		ISO Standards	UN Guidelines	IADC Guidelines	
Limiting debris generation	Released Objects	General measures for avoiding the released of objects	ISO 24113, 6.1.1	Recommendation 1	IADC 5.1
		Slag from solid motors	ISO 24113, 6.1.2.2, 6.1.2.3	-	-
		Combustion products from pyrotechnics	ISO 24113, 6.1.2.1 (<1 mm)	-	-
	On-Orbit Break-ups	Intentional destruction	ISO 24113, 6.2.1	Recommendation 4	IADC 5.2.3
		Accidental break-ups during operation	ISO 24113, 6.2.2 (Probability < 10^{-3})	Recommendation 2	IADC 5.2.2
		Post-mission break-up	ISO 24113, 6.2.2.3	Recommendation 5	IADC 5.2.1
Disposal at end-of-operations	GEO	ISO 24113, 6.3.2 (GEO 235km + 1000xCrxA/m), e<0.003) (Success probability >0.9)	Recommendation 7 (No quantitative requirements)	IADC 5.3.1 (GEO 235km + 1000xCrxA/m), e<0.003) (Success probability >85% for spacecraft, >90% for orbital stages)*	
	LEO	Reduction of orbital lifetime	ISO 24113, 6.3.3 (LEO < 25 years) (Success Probability >0.9)	Recommendation 6 (No quantitative requirements)	IADC 5.3.2 (LEO < 25 years) (Success Probability >0.9)
		Options for removal from the protected region	ISO 24113, 6.3.3.2	Mentioned in Recommendation 6	IADC 5.3.2
Re-entry		Avoidance of ground casualties	ISO 24113, 6.3.4	Mentioned in Recommendation 6	IADC 5.3.2
Collision avoidance for large debris		ISO/TR-16158 (for assessment only)	Recommendation 3	IADC 5.4	
Protection from the impact of micro-debris		ISO 16126 (for assessment only)	-	IADC 5.4	

2.4 ITU 가이드라인

국제전기통신연합(ITU)은 별도의 우주쓰레기 가이드라인은 없으나, 2010년 ITU-R S.1003.2를 통해 정지궤도 영역 우주환경 보호를 위한 4개의 권고 규정을 마련하였다[13]. 해당 규정들의 주요 내용은 지구 정지궤도 위성의 임무 종료 후에는 정지궤도를 벗어나도록 1. 최소 200km 이상 고도 상승을 통한 폐기기동 수행, 2. 우주쓰레기 배출 최소화, 3. 천이궤도 원지점 고도 감소를 통한 잔존 궤도수명 최소화, 4. 주파수 간섭 방지를 위한 우주무덤(Graveyard orbit)으로의 이동을 권고하고 있다. ITU 규정은 회원 국가들에게 준수할 것을 권고하고 있으나 역시 강제 의무 규정은 아니다.

지금까지 살펴본 국제기구들의 가이드라인들을 정리한 표는 Table 1과 같다. 표에서와 같이, UN 가이드라인은 구체적이지 않고 선언적인데 반해, IADC와 ISO는 구체적인 수치와 가이드를 제안하고 있다. 따라서, 국내에서 자체적인 가이드라인을 제안하고자 한다면, IADC와 ISO를 참고하는 것이 바람직하다.

III. 해외 국가 별 가이드라인 동향

3.1 미국(NASA)

미국은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 1988년 레이건 정부와 1989년 부시 정부에서 이미 국가우주정책을 표방할 때 우주환경 보호와 우주쓰레기 문제에 대해 언급한 이후 지속적인 발전을 추구해왔다[14]. 1988년 최초 국가우주정책에서 선언한 내용의 일부를 살펴보면, '모든 우주개발 영역에서 우주쓰레기의 생성(Creation of space debris)을 최소화하는 방법을 찾아야 한다. 우주 시험, 실험, 그리고 시스템의 설계 및 운영은 임무 요구사항과 비용 효율성을 고려하여 우주쓰레기의 축적을 줄이거나 최소화하도록 노력해야(strive to minimize or reduce) 한다'라고 하였다.

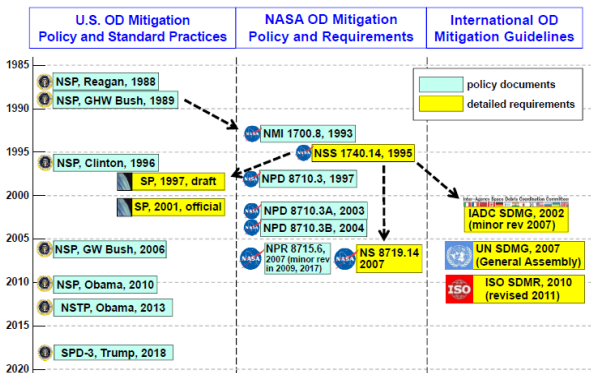


Fig. 2. History of Guidelines and Space Policies in U.S. [14]

미국 정부의 우주정책에 따라 NASA는 지구 저궤도 임무들에 대한 구체적인 우주쓰레기 경감 요구사항들을 담은 정책을 1993년 세계 최초로 수립하게 되며, 이를 바탕으로 세부 실행을 위한 가이드라인 성격의 'NASA Safety Standard(NSS)'를 1995년 제정하였다. 이 가이드라인의 중요 내용은 지구 저궤도 영역의 위성과 상단로켓의 잔여 궤도수명이 25년을 넘지 말아야 하며, 무작위 지구재진입 이벤트에 대해 지상 사상물에 대한 제한을 제시하였다. 미국 NASA의 세계 최초 가이드라인은 IADC의 국제 가이드라인(2002년) 제정으로 이어졌으며, 이는 다시 UN 가이드라인(2007년) 및 ISO 가이드라인(2010년) 제정에 영향을 주었다.

한편, NASA는 미 국방성(DoD)과 함께 1997년부터 미국 정부의 우주쓰레기 경감 표준 실행체계 초안을 작성하여 2001년 공식 문서(U.S. Government (USG) Orbital Debris Mitigation Standard Practices, SP)로 공표하게 된다. 이후 2006년과 2010년 발표된 미국 국가 우주정책에서 미국 내 모든 우주기관과 정부부처는 이 문서를 따르도록 지시하게 된다. 이후 발전하여 2007년 정책 문서인 NPR8715.6, 실행 가이드라인 NS8719.14를 발행하였다[15].

Figure 3을 보면 현재 미국의 우주정책에 따른 정부 우주쓰레기 경감 표준 실행체계 하에서 영향을 받는 기관들과 관련 규정 문서들을 알 수 있다. 그림에서 보는 바와 같이 미 국방성과 NASA뿐만 아니라 FCC, FAA 그리고 NOAA도 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

이는 2006년 국가 우주정책에서 FCC 의장과 연계하여 상무교통부 장관은 우주개발과 관련된 '면허 절차(Licensing procedures)'에서 우주쓰레기 이슈를 지속적으로 언급하도록 하였으며, 이후 FCC, FAA, 상무부 및 NOAA에서는 각각 통신 위성, 발사 서비스 및 지구관측 위성에 대한 허가증 발급 시 미 정부의 우주쓰레기 경감 표준 실행체계를 따르도록 되어 있다. 즉, 미국은 이미 자국 내 정부 관련 우주 임무뿐만 아니라 민간 분야 및 상업 우주개발 분야에서도 우주쓰레기 경감을 위한 가이드라인 및 실행 체계의 영향을 받고 있다는 것을 알 수 있다.

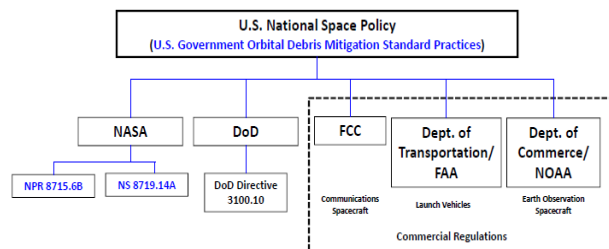


Fig. 3. Standard Practice Architecture for Orbital Debris Mitigation [14]

마지막으로, 최근 미국은 2018년 6월 국가우주위원회가 제안한 우주정책지침-3(Space Policy Directive-3)을 대통령이 승인함으로써 세계에서 처음으로 국가차원에서 ‘우주교통관리(Space Traffic Management, STM)’ 개념을 정책화하였다.

미국 NASA의 우주쓰레기 경감을 위한 표준가이드라인(NASA-STD-8719.14A, 2011)의 주요 특징은 다음과 같다. 총 4절로 이루어져 있으며, 우주쓰레기 경감을 위한 기술적인 요구사항은 제 4절에서 총 8개의 세부 항목으로 기술되어져 있다. 요구사항으로는 고의적 파괴 금지, 10cm 이상 및 대형 물체 충돌 위험 분석, 소형 물체 충돌위험 분석, 임무 종료 후 폐기, 재진입 사상을 제한, 그리고 테더(Tether) 시스템의 충돌 제한이다. 또한, 임무 종료 후 성공률(Post Mission Disposal, PMD)을 0.9 이하 및 재진입 시 지상 낙하물에 의한 사상을 0.0001을 초과하지 말 것을 구체적인 숫자로써 주문하고 있다. 특히 재진입 시 제어 가능한 경우와 제어 불가능한 경우로 나누어 요구사항을 기술하였다.

이러한 분석 및 결과들은 NASA 존슨우주센터(JSC)의 DAS(Debris Assessment SW), ORSAT(Object Reentry Survival Analysis Tool)와 같은 전문적이고 신뢰성 높은 도구를 이용하도록 되어 있다. 그 결과들은 모두 ODAR(Orbital Debris Assessment Reports)이라는 문서에 포함되어져야 하며, 초기 사업 준비 단계부터 예비설계, 상세설계 과정 동안 구체적으로 분석하여, 비행준비 검토회의에서 최종 승인 여부를 판단 후 발사 승인 30일 전 제출하여야 한다. 임무 종료 후 폐기 단계에서도 EOMP(End of Mission Plans)

문서를 작성하여 제출하여야 한다. 가이드라인의 부록에는 ODAR과 EOMP에 대한 구체적인 작성 항목들이 기술되어 있다. 미국 NASA의 가이드라인은 매우 구체적이고 엄격하여서 자체 임무 적용 시 100% 부합되지 못하는 경우도 발생하나, 상대적으로 범위가 넓은 UN, IADC 등과 같은 국제 가이드라인 요구사항 관점에서는 100% 부합하고 있다.

3.2 유럽우주청(ESA)

ESA는 현재 우주쓰레기 연구개발이 가장 활발한 기구 중의 하나로써 2011년부터 현재까지 매년 약 150억원 규모의 예산으로 ‘Clean Space Initiative’ 프로젝트를 수행해오고 있다[16]. 한편 가이드라인과 관련해서는 2004년 ‘European Code of Conduct for Space Debris Mitigation’을 제정하였다[17]. 이 규정에는 1. 궤도상 파열과 위성 충돌 방지, 2. 유용한 궤도에서 위성과 발사체 상단을 임무 종료 후 제거, 3. 위성 정상 운용 중 우주쓰레기 배출 제한으로 크게 나누어져 있다. 또한, 1. 우주쓰레기 경감과 안전을 위해서 관리 조치, 2. 임무 종료 후 폐기 포함 위성 시스템 설계 조치, 3. 운영 대책, 4. 지구 재진입 보호 대책, 5. 충돌 보호 대책이 기술되어 있다.

이 코드는 자발적인 실행을 권고하고 있으며, 이탈리아, 영국, 프랑스, 독일에서 준용하여 각 국가 별로 가이드라인 생성에 참고하고 있다. 특히 IADC 가이드라인과 거의 유사하나, 기술적인 내용면에서는 더 상세하게 설명되어 있다. 이 규정들은 2008년부터 모든 ESA 프로젝트에 적용되기 시작하였으며, 부합 여부를 검토하여 별도의 안전사무국(Independent

Table 2. Comparison of Major Space Agencies's Guidelines

Measures		ESA Guideline	NASA Guidelines	JAXA Guidelines	
Post Mission Disposal	GEO	Reorbit at EOL	235km +(1,000*Cr*A/M) e < 0.005	235km +(1,000*Cr*A/M) e < 0.003 Success Probability > 0.9 100 year's guarantee	235km +(1,000*Cr*A/M) Success Probability > 0.9< -500km (within 25 years)
		GEO Lower Limit	-	GEO - 500km	
		Protected Inclination	-15 deg. < Inclination < 15 deg.	-15 deg. < Inclination < 15 deg.	-15 deg. < Inclination < 15 deg.
	LEO (MEO)	Reduction of Orbital Lifetime	EOL Lifetime < 25 years	Total Period < 30 years EOL Lifetime < 25 years Success Probability > 0.9	EOL Lifetime < 25 years Success Probability > 0.9
		Transfer to Graveyard	Required (Excluding Galileo Orbit)	2,000km ~ (GEO - 500km) (exclude 19,100~20,200km)	Required
		On-orbital Retrieval	-	Retrieve within 10 years	Required
		Ground Casualty	Ec < 10 ⁻⁴	Ec < 10 ⁻⁴ (Count impact energy > 15 J)	Ec < 10 ⁻⁴
Others	Tether	-	Required	Required	

Safety Office)을 통해 승인받도록 하였다[18]. 이후 2014년에는 ISO 가이드라인도 참조하여 수정하였는데, 특히 ESA에서 무인 화물선인 ATV를 운영하기 때문에 지구 재진입에 대한 별도의 상세한 ESA 표준을 만들었다.('ESA re-entry safety standard') ESA는 모든 프로젝트에 'space debris mitigation plan'과 'space debris mitigation report' 두 가지 문서를 생성하여 관리하고 있으며, 부적합 항목이 발생하면 'Waiver' 과정을 거쳐 수정하여 승인 받도록 하고 있다.

3.3 일본(JAXA)

일본은 1993년 IADC 창립멤버로 참여할 정도로 이미 오래 전부터 우주환경 보호에 관심을 두고 있다. 관련한 JAXA 내의 개별적인 활동들을 2006년 공식적인 우주쓰레기 조정위원회(JAXA Space Debris Coordination Committee)로 발전하였다. 이 위원회에서는 일본 국내외의 우주쓰레기 이슈와 관련된 활동 및 IADC, ISO, UN 등과의 협력도 관장한다. 특히 관련 연구개발 예산 할당 및 계획과 조정도 수행한다[19].

가이드라인(JAXA-JMR-003A, 2003)의 전신은 JAXA 창립 전 1996년 NASDA 시절 작성한 '우주쓰레기 경감 표준(NASDA-STD-18)으로써, 1995년 미국 NASA와 함께 당시 세계적으로 드물게 가이드라인 역할의 지침을 만들었다. 이러한 오랜 시간을 통해 수정, 보완된 일본 가이드라인(현재 JAXA-JMR-003B, 2011)은 ITU-RS.1003, UN COPUOS 및 ISO의 가이드라인과 상통하는데 주안점을 두었다[20]. 또한, 충돌 보호 설계 매뉴얼, 충돌 위험 분석 도구, 지구 재진입 생존성 도구 등 6가지의 보조 문서 및 전문 분석 도구들과 연계하여 가이드라인을 실행하도록 하고 있다.

가이드라인은 총 5절로 이루어져 있고, 4절에서는 관리 체계, 개발 단계 별 절차들을 다룬 일반적인 요구사항을, 5절에서는 기술적인 경감 요구사항을 기술하였다. 5절에서는 하위 총 5장으로 이루어져 있으며, 1. 운용 중 우주쓰레기 생성 최소화, 2. 궤도상 파열 방지, 3. 임무 종료 후 폐기, 4. 지구 재진입 또는 자연적인 폐기 옵션, 5. 궤도상 충돌 피해 최소화로 이루어져 있다.

JAXA 가이드라인은 모든 우주시스템 개발에 적용되며, JAXA 내의 '안전 및 임무 보증부서(Safety & Mission Assurance Dept.)'에 경감 계획을 제출, 승인 받아야 한다. 이는 위성이나 발사체 개발에 참여하는 하위 계약자들에게도 적용하도록 하고 있다.

3.4 프랑스(CNES)

프랑스는 핀란드와 함께 우주환경 및 우주쓰레기 관련 국내법을 제정하여 의무규정으로 적용하는 몇 안 되는 국가 중의 하나이다. 1999년에 이미 자체 가

이드라인을 제정한 바 있으며, 2000년부터 우주운용과 관련된 자국민의 안전, 자산 보호, 공공복지 및 환경을 보호하기 위하여 정부와 CNES가 논의한 후 2008년 정부는 우주운영 법률(Space Operations Act, FSOA)을 제정하였다[21]. 이와 병행하여, 2004년에는 이탈리아 ASI, 영국 BNSC, 프랑스 CNES, 독일 DLR, 유럽우주청(ESA)과 함께 우주쓰레기 관련 행위에 관한 유럽 규정(European code of conduct on space debris)에 협약하였다.

FSOA에는 운영안전관리 시스템, 우주환경 및 우주쓰레기와 관련된 이슈들을 포함하고 있으며, 이 법률에 근거하여 CNES는 자체 우주쓰레기 경감 가이드라인(CODE of conduct for space debris mitigation)을 제정하여 준수하고 있다(CNES 내에서만 3개의 우주법 규정 관련 Safety office가 존재). 프랑스는 2010년 공포된 FSOA 법률에 의해 2021년 1월 1일 이후부터 모든 우주 발사에 가이드라인을 모두 충족하도록 정하였다. 그 이전까지는 상황에 따라 최선을 다해 가이드라인을 충족하도록(Best effort approach) 권고하고 있다.

이러한 규정들에 의해 프랑스 모든 우주시스템 및 발사는 100% 적합성 확인 후 승인 받아 실행되고 있다. 그럼에도 불구하고 발사 후 운용 중 부적합 사항이 발생하면, 웨이버 절차 및 향후 동일 시스템 개발에 일정 기간 참여 제한과 같은 페널티를 부여하는 등 비교적 강력한 제재를 시행하고 있다.

3.5 독일(DLR)

독일은 유럽연합 우주 표준(European Cooperation for Space Standardization), IADC 및 UN COPUOS 가이드라인을 참고하여 자체 가이드라인(DLR-RF-PS-001)을 2009년 생성하였고 2012년에는 독일항공우주청(DLR)의 모든 우주 프로그램에 'Product Assurance and Safety Requirement for DLR'을 선포하여 의무적으로 적용하고 있다(최근 2018년 갱신)[22].

독일 가이드라인에서도 우주시스템 개발 시 경감 분석 보고서(Space Debris Mitigation Assessment Reports, SDMARs)를 작성하도록 하고 있으며, 가이드라인 5.3.4.6절에서 보고서에 포함되어야 할 분석 항목들을 세부적으로 기술하였다. 해당 요구사항들은 1. 정상 운용 중 배출 제한 분석, 2. 고의적 파열 및 폭발 가능성 분석, 3. 궤도상 충돌 가능성 분석, 4. 임무 종료 후 폐기 계획 및 절차 분석, 5. 지구 재진입 위험 분석으로 이루어져 있다. 지구 재진입 위험 분석의 경우 미국 NASA의 DAS, ORSAT 등과 같은 외국 전문 S/W와 이와 유사한 성능의 도구들을 활용할 것을 제안하고 있다.

3.6 러시아(ROSCOSMOS)

러시아는 2007년 연방 기술 규제 및 측량국에서

근지구 우주쓰레기 경감을 위한 우주시스템 일반 요구사항들을 기술한 'National Standard of the Russian Federation: Space Technology Items, GOST R)을 발간하였다[23]. 참고문헌은 UN COPUOS, IADC이며, 6장으로 이루어진 총 12쪽의 짧은 문서이나 6장에서 기술된 우주쓰레기 경감을 위한 4가지 요구사항들은 간략하면서도 세부적인 항목들로 이루어져 있다(1. 정상 운용 중 우주쓰레기 배출 경감, 2. 우주시스템의 파괴 방지, 3. 충돌 방지, 4. 운용 중 파열 및 궤도 수명 제한).

예를 들어, 1. 우주쓰레기 배출 경감 요구사항에서는 노즐 플러그 및 커버 조각, 그리고 추진시스템의 부품 조각들이 배출되지 않도록 제한하며, 2번 요구사항에서는 총 3개의 세부 하위 요구사항을 두어 임무 종료 후 우주시스템의 고장 및 폭발을 방지하기 위해, 배터리 방전, 고압력 탱크 잔여 가스 배출, 열 제어 시스템 파이프 압력 배출, 모멘텀 휠과 자이로와 같은 각종 제어 장치들의 회전을 종료시키도록 요구하고 있다.

3.7 그 외 국가

현재 총 25개국에서 자체 우주쓰레기 경감 가이드라인을 제정하였거나(미국 등 10개국), 국제 가이드라인을 준용, 또는 명시적으로 선언하여 우주쓰레기 경감을 위한 활동에 참여 중이다[24].

호주는 2013년 '위성 활용 정책(Satellite Utilization Policy)'를 제정하여, 정부가 UN의 가이드라인을 지지하고 준수하기로 선언하였다. 호주는 특히 자국 위성의 해외 발사 승인 과정에서 호주 국가 규정에 의해 UN 가이드라인의 준수 여부를 살펴보도록 하였다.

오스트리아는 2011년 'Outer Space Act of 2011'을 제정하였으며, 자국의 우주활동의 법적 근거를 마련하였다. 이 법 규정은 국내법으로써 의무사항이다. 이 규정의 조항 5의 제목은 '우주쓰레기 경감(Mitigation of Space Debris)'이며, 위성 운용자는 국제적으로 통용되는 가이드라인을 준용하여 우주쓰레기 경감을 위한 대책을 마련하도록 하고 있다.

벨기에는 2005년 우주물체의 발사, 비행운용 또는 유도 활동에 관한 국내법을 제정하였다. 이 법에 의하면, 해당 장관이 관련법에 부합하도록 우주 운영자에게 강제할 수 있도록 하였으며, 벨기에 영토 안에서 활동하는 자국민뿐만 아니라 외국 국적 운영자도 준수하도록 하고 있다.

캐나다는 2007년 'Canadian Remote Sensing Space System Regulations'을 제정하여, 국내법으로써 캐나다 영토 내에서는 의무 준수하도록 하고, 해외 협력 사업 등에도 적용 가능하도록 하였다. 이 법 규정의 주요 내용은, 위성 폐기, 지구 재진입 시 피해 가능성 그리고 운용 중 우주쓰레기 배출 가능성 분석에

중점을 두고 있다.

아프리카 국가 중의 하나인 나이지리아에서도 2010년 '국가 우주연구개발 기구 규정'을 제정하였다. 이 규정에 따르면 나이지리아에서의 시민 혹은 시민이 아닌 경우에도 모든 우주활동을 승인함에 있어서 우주쓰레기 경감 문제에 대해 강조하고 있다.

우크라이나는 2006년 자국의 산업 표준 URKT-11.03에서 우주 기술 부품을 운영함에 있어서 지구 근처 우주쓰레기 배출을 제한하도록 하고 있다. 이 표준 규정에는 운영 기간 중 우주쓰레기 생성 최소화, 궤도상 파열 최소화, 임무 종료 후 위성파 발사체의 궤도상 제거, 그리고 우주 충돌 방지가 포함되어 있다. 이 규정들은 우크라이나 모든 우주활동 참여자들에게 의무적으로 적용된다.

영국은 우주환경 보호를 위해 위성파 발사체의 우주발사 승인 절차를 강화하고 있다. 영국은 이미 1986년 'Outer Space Act(OSA)를 제정하여 우주개발에 따른 환경 영향 평가, 공중보건 및 안전을 고려하도록 하였다. 이후 IADC 및 UN 가이드라인을 준용하여 우주쓰레기 경감을 위한 노력에 동참하였다.

그밖에도 아르헨티나, 체코, 덴마크, 핀란드, 인도네시아, 이탈리아, 멕시코, 네덜란드 등 많은 UN 회원국들이 UN 또는 IADC 가이드라인을 지지하고, 준용하기 위해 점차 규정을 제정하거나 준비 중에 있다. 아직까지는 우주쓰레기 경감 가이드라인을 국내법으로 규정하는 추세는 매우 느리기는 하나, 앞서 살펴본 바와 같이 프랑스, 핀란드, 벨기에, 영국, 오스트리아, 캐나다, 호주 등에서는 국내법으로써 의무 준수를 요구하고 있다.

3.8 기타 민간 사례

가이드라인은 이미 민간 분야의 우주개발과 우주 활동에도 큰 영향을 미치고 있다. 양대 우주산업체인 Airbus D.S.(이하 Airbus사)에서는 가이드라인에 대한 검토를 2013년부터 시작하였으며, 프랑스 CNES, 유럽우주청 ESA와 함께 2014년부터 본격 논의하기 시작하였다[25]. 이 시기는 ESA가 장기적으로 우주쓰레기 기술 개발을 하기 위해 'Clean Space Initiative' 프로그램을 시작한 때이며, Airbus사 입장에서는 다수의 프로젝트를 ESA, CNES와 하기 때문에 해당 기관의 우주쓰레기 가이드라인 준수에 따를 수밖에 없었다.

결과적으로, 2015년부터는 산하 그룹에서 가이드라인을 반영하기 시작하였으며, 지구저궤도 위성, 지구정지궤도 위성 개발 시 적용하고 있다.

한편, Airbus사가 가이드라인을 준수에 따른 영향을 분석한 결과, 우주시스템 설계에 영향을 가장 크게 미치는 것은 저궤도 위성의 대기권 재진입 규정이었는데, 제어 가능 재진입(Controlled Re-entry, 재진입 시 우주쓰레기 낙하물에 의한 사상을 10^4 이하

만족 규정) 만족하기 위해서는 약 8~10% 중량(추력기 및 연료 등) 추가가 일반적으로 필요하다는 연구 결과를 보여주었다. 또한, 저궤도 잔여 궤도수명 25년 이하 규정도 중량 추가가 필요하며, 현재 시스템 개발 결과만으로도 임무 종료 후 수동적인 궤도 폐기 성공률 80~85%는 현재 상황에서도 만족하고 있다.

한편, Airbus사처럼 민간업체가 자체 가이드라인을 제정하는 경우는 아직 드물지만, 정부의 가이드라인을 준수하기 위한 민간업체의 준수 노력은 커지고 있다. 단적인 예로써, 스페이스 X사는 2020년대 중반까지 약 12,000개의 소형위성을 발사할 계획을 가지고 있다. 미국 가이드라인을 준수하기 위한 노력으로 (발사 허가 라이선스를 받기 위한 필요조건) 소형위성에 효과적인 홀 추력기를 장착하고, 최종 지구 재

진입 시 위성체의 95% 이상 신속하게 소각될 수 있는 재질을 선택하였다. 또한, 궤도상에서 위성 자체적으로 우주쓰레기를 추적하여 자동으로 충돌 회피하는 기술을 채택하였다[26].

이처럼 앞서 IADC에서 최근 이슈로 논의되고 있는 (초)소형위성을 이용한 대량 군집임무, 우주쓰레기 제거 서비스, 우주 재공급 및 위성 수리를 위한 궤도상 서비스(On-Orbit Servicing), 재활용 발사체 개발 등은 우주환경을 급격하게 변화시키고 있다. 이에 따라 민간업체들도 이러한 새로운 우주 산업에 진출하기 위해서는 각 국가 정부로부터 발사 및 사업 라이선스를 받아야 하는데, 앞서 언급한 많은 국가들로부터 우주쓰레기 가이드라인 준수를 위한 사전 조치는 이미 필수 요구사항이 되고 있는 추세이다.

Table 3. Nations to apply for Guidelines

Category	Nation (Agency)	Total
UN	Algeria, Argentina, Australia, Belgium, Canada, Chile, Czech Republic, Finland, France, Germany, Indonesia, Italia, Japan, Mexico, Netherlands, Nigeria, Poland, Slovak Republic, Spain, Switzerland, Spain, Thailand, UK, USA, ESA	25
IADC	Argentina, Austria, Canada, Belgium, Chile, Czech Republic, Finland, France, Germany, Indonesia, Italia, Japan, Nigeria, Poland, Slovak Republic, Spain, Switzerland, Thailand, Ukraine, UK, USA, India, Russia, China, ESA	25
ITU	Argentina, Austria, Canada, Belgium, Chile, Czech Republic, Denmark, Germany, Indonesia, Italia, Japan, Mexico, Netherlands, Poland, Slovak Republic, Spain, Switzerland, UK	18
ISO	Canada, Belgium, Chile, Czech Republic, Denmark, Finland, France, Germany, Italia, Japan, Mexico, Netherlands, Poland, Slovak Republic, Spain, Switzerland, UK, ESA	18
ECCSDM*	Denmark, Finland, France, Germany, Italia, Mexico, Netherlands, Poland, Slovak Republic, Spain, Switzerland, ESA	12
National Policy (Act, Law, Standard, Requirement)	Australia(1998, 2013), Austria*(2011,2015), Belgium*(2005, 2008), Canada*(2005, 2007, 2014), Denmark*(2016), Finland*(2018), France(2008, 2011), Germany(1998, 2004, 2012), Japan(1996, 2003), Netherlands*(2007), Nigeria*(2010), Ukraine*(1996, 2006), UK*(1986), USA*(1984, 2007, 2010), ESA*(2008, 2014)	15

IV. 국내 현황 및 향후 전망

4.1 국내 현황

국가우주개발전문기관인 항우(연)은 지난 2007년 중국의 자국 위성 요격사건(FengYun-1C) 발생 직후 당시 운용 중이었던 아리랑위성 1호 및 2호와의 충돌위험 분석을 수행하기 시작하였다[27]. 이후 지속적으로 발사되는 국가 주요 위성들의 안전을 위해 2010년부터 본격적으로 우리 위성들과 우주쓰레기 충돌위험 분석 소프트웨어를 개발하기 시작하였고, 2014년에는 카리스마(KARI Space Debris Collision Risk Management, KARISMA)를 개발하여 본격 운용하기 시작하였다[28].

한편, 국가 차원의 우주쓰레기 대처 정책이나 자체 가이드라인이 없는 상황이었으나, 2007년 중국 요격 사건과 2009년 사상 첫 미국-러시아 위성 충돌로 인해 국내에서도 국제 가이드라인에 대한 이해와 적용 필요성에 대해 우주운용 기관 자체적으로 논의하기 시작하였다. 2008년부터 시작된 아리랑위성 3호 개발부터 임무궤도의 우주환경 분석 및 충돌 가능성을 분석하기 시작하였으며, 이후 지속적으로 일부 국제 가이드라인 요구사항에 대해 논의하고 있다. 또한, 2014년 IADC의 13번째 정식 회원국이 되면서 항우(연)은 우리나라 대표기관으로써 자체 가이드라인 제정을 위한 논의가 시작되었으며, 한국형발사체 개발에 따른 국제 가이드라인 적용 가능 범위에 대해 내부적으로 논의를 수행하기도 하였다.

2018년 제 3차 국가우주개발중장기개발계획의 확정과 함께 정부에서도 우주환경 보호 정책 개발을 시작하였다. 이러한 배경에 발맞추기 위해 항우(연)은 국내에서 최초로 2019년 6월 '항우(연) 우주쓰레기 경감 가이드라인' 초안을 내부적으로 작성하여 내부 논의를 마쳤으며, 향후 정부 정책 추진 일정에 따라 본격 적용을 준비하고 있는 상황이다.

4.2 가이드라인 예시

항우(연) 자체 가이드라인(안)은 아래 Table 4에서 보는 바와 같이 국제 가이드라인 및 주요국가 가이드라인에서 요구되는 6가지 기술항목들을 모두 반영하였다. 기술적으로 정밀한 분석이 필요하거나 당분간 적용 가능한 임무가 없는 지구 재진입 임무나 테더(Tether) 임무와 연관된 항목들은 제외하였다. 국제 가이드라인은 주요 경감 요구조건들을 선언하는 반면, 정부 혹은 우주기관의 가이드라인들은 기술적인 요구사항들을 세부적으로 다루고 있다.

가이드라인의 적용 범위, 절차와 승인 절차에 대해서도 기술하여야 하는데, 아래 Fig. 4에서 보는 바와 같이 가이드라인은 우주시스템의 사전기획 단계부터 설계, 개발, 발사 그리고 운영과 폐기에 이르기까지 전 개발주기에 걸쳐 적용되어야 한다. 이 과정에서 중요한 것은, 가이드라인 만족 가능 분석이며, 최종적으로는 상세설계검토회의(CDR) 단계에서는 가이드라인 적합성(Compliance)에 대해 최종 확인이 되어야 한다는 것이다.

이러한 분석 결과의 타당성과 가이드라인 적합성 판단은 기관 내의 전담 평가팀에서 수행하여야 한다. 또한, 우주시스템의 우주 발사 또는 운용, 폐기 단계 전반에 걸쳐 준수 여부를 지속적으로 모니터링하고,

만일 준수가 어려운 경우 이에 대한 후속 조치 또는 준수 예외 사유에 대해 기록하고, 차후 유사 우주시스템 개발 시 반영할 수 있도록 그 절차를 갖추는 것이 중요하다. 그리고 주관기관이 가이드라인을 시행하게 되면 해당 주관기관의 우주 사업에 참여하는 모든 계약자들도 가이드라인 준수에 동참하여야 하며, 참여 계약자들의 생산 활동의 결과들도 가이드라인 준수에 적합한지를 판단하여야 한다.

4.3 향후 전망

지금까지 국외 가이드라인 동향을 분석한 결과, Table 3에서 보는 바와 같이 UN, IADC, ISO 등 국제기구는 물론 약 30개국에 가까운 국가들이 국제 가이드라인을 국내법으로 준용하거나, 자체 가이드라인을 제정하여 우주환경 보호에 동참하려는 추세가 뚜렷하다는 것을 확인하였다. UN은 매년 정기총회에서 주요 이슈로 다루고 있으며, IADC는 초소형위성 대량 군집임무, 재활용발사체로 인한 우주환경 악화에 대비한 추가적인 가이드라인 제정 노력을 진행하고 있다. 이러한 국제사회의 추세에 발맞추어 국내 정부도 우주환경 보호 정책에 적극 참여할 것을 조만간 선언할 것으로 기대되고 있다.

UN, IADC 등의 국제 가이드라인은 여전히 법적 구속력이 없는 ‘Soft Law(연성법)’에 머물고 있지만, 미국의 FCC 등과 같은 발사 승인 기관에서 조만간 우주쓰레기 경감 조항을 필수 의무 조항으로 준비하는 등 우주강대국들을 중심으로 점차 법적 구속력을 가지는 Hard Law 로 강화하는 방향으로 움직이고 있다. 따라서, 국내 우주개발 기관들과 운영기관들도 최근 우주개발 환경 변화에 따른 추세를 이해하고, 반영할 수 있는 준비가 필요할 것이다. 우주개발에 참여하고 있는 민간 산업체도 역시 가이드라인을 이해하고 우주시스템과 관련 제품 생산에 적용을 준비하는 것이 필요하다. 왜냐하면, 가이드라인의 내용은 단지 우주환경 보호를 위한 정책적인 요구사항에 그치지 않고, 그것을 준수하기 위해서는 신뢰성과 안전성 있는 시스템 개발을 요구하는 것이기 때문이다.

Table 4. KARI Guideline Practice and Ohters

No	Item	International Guideline			US	ESA	JAXA	KARI
		UN	IADC	ISO				
1	Limit Debris Released during Normal Operations	0	0	0	0	0	0	0
2	Minimize the Potential for On-Orbit Break-ups	0	0	0	0	0	0	0
3	Post Mission Disposal (GEO)	0	0	0	0	0	0	0
4	Post Mission Disposal (LEO)	0	0	0	0	0	0	0
5	Post Mission Disposal (Other)	0	0	N/A	0	0	0	0
6	Post Mission Disposal Reliability	0	0	0	0	0	0	0
7	Re-entry Casualty	0	0	0	0	0	0	N/A
8	Prevention of On-Orbit Collisions	0	0	N/A	0	0	0	0
9	Tether Mission	N/A	N/A	N/A	0	0	0	N/A

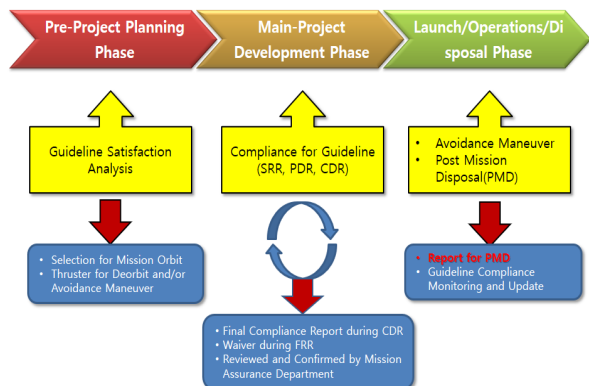


Fig. 4. Application of Guideline for Space Project

V. 정 리

본 논문에서는 최근 국제 사회의 이슈가 되고 있는 우주환경 보호를 위한 국제기구 및 각 국가들의 우주정책 및 우주쓰레기 경감을 위한 가이드라인 발전 동향과 향후 전망에 대해 기술하였다. 1990년대 중반부터 시작된 본격적인 우주환경 보호 노력과 가이드라인의 제정 및 자발적인 준수 노력에도 불구하고, 여러 가지 복잡한 제약들로 인해 여전히 국제법으로써 의무 규정화 되지는 않고 있는 실정이다. 하지만, 앞서 살펴본 바와 같이 점차 많은 국가들이 자

국의 우주정책에 우주환경 보호를 선언하고 가이드라인 준수 노력을 하고 있으므로, 이러한 추세는 향후 국제사회로 하여금 보다 많은 국가들의 적극적인 참여를 유도하게 될 것이다. 특히, 미국과 유럽을 중심으로 새로운 우주산업의 도래와 함께 해당 국가에서의 우주발사, 관련 우주사업 수행을 위해서는 자국의 가이드라인 적용 여부를 요구하고 있으므로 우리나라 우주개발 주체들도 적극 대응할 필요가 있다. 본 논문은 조만간 정부의 '우주환경 보호' 정책 선언과 '우주쓰레기 경감 가이드라인' 권고안이 공포될 경우, 국내 우주개발자들이 유용하게 참고할 수 있으리라 기대한다.

후 기

본 논문은 한국항공우주연구원의 'AI 기반 랑데부/도킹 기술검증용 위성 개발' 사업 연구 성과의 일부이며, 지원에 감사드린다.

Reference

- 1) Kelso, T., "Analysis of the 2007 Chinese ASAT Test and the Impact of its Debris on the Space Environment," *Proceedings of 2007 AMOS*, 2007, pp. 321~330.
- 2) Nicholas, J., "The Collision of Iridium 33 and Cosmos 2251: *The Shape of Things to Come*," *Proceedings of 60th IAC*, Daejeon, Korea, 2009.
- 3) <https://www.starlink.com/>
- 4) <https://www.oneweb.world/>
- 5) <https://spacenews.com/will-megaconstellations-cause-a-dangerous-spike-in-orbital-debris/>
- 6) <https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/space-policy-directive-3-national-space-traffic-management-policy/>
- 7) <https://www.federalregister.gov/documents/2019/02/19/2019-02230/mitigation-of-orbital-debris-in-the-new-space-age>
- 8) 3rd *Space Development Promotion Basic Plan ('18~'22)*, Ministry of Science & ICT, 2018.
- 9) http://news.khan.co.kr/kh_news/khan_art_view.html?artid=202002111736001&code=610101
- 10) *Space Debris Mitigation Guidelines of the Committee on the Peaceful Uses of Outer Space*, UN COPUOS, 2007.
- 11) <https://www.iadc-home.org/>
- 12) <https://www.iso.org/standard/57239.html>
- 13) <https://www.unoosa.org/documents/pdf/spacelaw/sd/ITU-recommendation.pdf>
- 14) Liou, J., "Orbital Debris Mitigation and U.S. Space Policy Directive-3," *IADC Steering Group Meeting*, Germany, 2018.
- 15) <https://www.orbitaldebris.jsc.nasa.gov/library/>
- 16) Innocenti, L., and Summerer, L., "Clean Space," *Scientific and Technical Subcommittee*: Vienna, Austria, 2013.
- 17) <https://www.unoosa.org/documents/pdf/spacelaw/sd/2004-B5-10.pdf>
- 18) *ESA Space Debris Mitigation Compliance Verification Guidelines*, ESA, Feb., 2015.
- 19) Ito, Y., "Overview of JAXA's Space Debris related Activities," *Proceedings of 5th Space Debris Workshop*, Japan, 2014.
- 20) *Space Debris Mitigation Standard*, JAXA-JMR-003A, JAXA, 2004.
- 21) Lazare, B., "The French Space Operations Act: Technical Regulations," *Acta Astronautica*, Vol. 92, 2013, pp. 29~212.
- 22) *Space Debris Mitigation Requirements (Extract of DLR-RF-PS-001)*, DLR, March, 2009.
- 23) *General Requirements on Space Systems for the Mitigation of Human-Produced near-Earth Space Pollution*, National Standard of The Russian Federation, 2007.
- 24) *COMPENDIUM, Space debris mitigation standards*, UNOOSA, 5., September 2018.
- 25) Briot, D., "Impacts of The Space Debris Mitigation Rules On the Spacecraft Design in Airbus Defence and Space," *Proceedings of 7th European Conference on Space Debris*, Darmstadt, Germany, April 2017.
- 26) <https://hub.packtpub.com/space-shares-new-information-on-starlink-after-the-successful-launch-of-60-satellites/>
- 27) Kim, H. D., Jung, O. C., Kim, E. K., and Bang, H. C., "A Conjunction Analysis between KOMPSAT spacecraft and LEO Debris," *Proceeding of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences Fall Conference*, November 2007, pp. 609~612.
- 28) Kim, H. D., Lee, S. C., Cho, D. H., and Seong, J. D., "Development of the KARI Space Debris Collision Risk Management System (KARISMA)," *International Journal of Aeronautical and Space Sciences*, No. 19, No. 2, 2018, pp. 478~495.