J. Space Technol. Appl. 1(2), 256-267 (2021)
https://doi.org/10.52912/jsta.2021.1.2.256

우주기술과 응용
Journal of Space Technology and Applications
pISSN 2765-7469 eISSN 2799-3213

논문

(초)소형위성의 New Space 대응 및 산업화 전략

서인호†, 정현재

국방과학연구소

New Space Response and Industrialization Strategy for Micro & Small Satellites

Inho Seo†, Hyun-Jae Jeong

Agency for Defense Development, Daejeon 34186, Korea

Received: July 20, 2021
Revised: August 4, 2021
Accepted: August 4, 2021

†**Corresponding author :**
Inho Seo
Tel : +82-42-821-2086
E-mail : inho@add.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
Inho Seo
https://orcid.org/0000-0003-3623-5138
Hyun-Jae Jeong
https://orcid.org/0000-0002-5726-1602

요 약

본 논문에서는 (초)소형위성의 뉴스페이스 특징 및 대응방안을 소개하고, 국내기술을 활용한 우리나라의 우주산업화 전략을 제시한다. 최근 스타링크를 포함하여 전세계적으로 개발되는 (초)소형위성들은 저비용 및 경량의 군집위성 특징을 가지고 있으므로, COTS(Commercial Off-The-Shelf) 부품 사용 및 위성 중량, 형상, 대량생산 등을 고려하고 군집운용을 준비해야 한다. 특히 다중위성 운용시 주파수 간섭을 고려하여 MIMO(Multi Input Multi Output) 기술 개발 및 정부 차원의 주파수 확보를 위한 준비와 노력이 필요하다. 삼성전자와 SK하이닉스의 상용급 메모리 중에서 내방사선성이 좋은 메모리와 중소기업의 고신뢰성 패키징 및 우주환경시험 기술을 이용하는 우주급 메모리 분야는 우주산업화 전략으로 가능성이 있다.

Abstract

In this paper, the New Space characteristics and response of micro & small satellite, and space industrialization strategy using domestic technologies are described. Recently, micro & small satellites are developed worldwide, including Starlink, having the characteristics of low-cost, light-weight and satellite constellation. Therefore, it is necessary to prepare for the constellation operation by considering the use of Commercial Off-The-Shelf (COTS) parts, satellite weight, shape and mass production. In particular, it is necessary to develop Multi Input Multi Output (MIMO) technology in consideration of the frequency interference during constellation operation, and to prepare and make efforts to secure frequencies in the government. Among the commercial-grade memories of Samsung Electronics and SK Hynix, the space-grade memory field using radiation tolerant memory and the high reliable packaging and space environment test technology has potential as a space industrialization strategy.

핵심어 : (초)소형위성, 뉴스페이스, 메모리
Keywords : micro & small satellites, new space, memory

1. 서론

'21년 5월 4일 기준 미국 스페이스X의 스타링크 위성은 대략 1,500기가 발사되었으며, 27년까지 총 42,000기를 이용해서 전세계에 인터넷 서비스를 제공할 계획이다[1]. 영국의 원웹

위성도 '21년 7월 1일 기준 254기가 발사되었으며, '22년까지 총 648기를 이용하여 영국에 인터넷 서비스를 제공할 예정이다[2]. 미국의 아마존도 Kuiper 프로젝트를 통해서 3,236기의 위성을 이용한 인터넷 서비스를 계획하고 있으며, 캐나다의 Telesat도 298기의 위성을 이용해서 위에서 언급한 위성들과 동일한 인터넷 서비스를 계획하고 있다[3-4]. 미국의 플랫닛랩은 200여기의 지국관측용 큐브위성을 운용하고 있다[5]. 이처럼 최근에 전세계적으로 개발되는 지구 저궤도 위성들 중에서 (초)소형위성들은 개발기간 및 위성수명이 짧고, 저비용, 다중위성발사, 대량의 군집위성 특징을 가지고 있다. 따라서, COTS(Commercial Off-The-Shelf) 부품 사용, 위성의 중량 및 형상, 대량생산 등을 고려하고, 군집운용을 준비해야 한다. 특히 다중위성 운용시 주파수 간섭을 고려하여 MIMO(Multi Input Multi Output) 기술 개발이 필요하며, 정부 차원의 주파수 확보를 위한 준비와 노력이 필요하다.

미국의 스페이스X는 재사용 발사체, 엄청난 숫자의 스타링크 군집위성, 전세계 인터넷 서비스를 통해서 비즈니스 모델을 확보하였다. 인공위성의 특성상 수명이 다한 위성들을 대신해서 신규 위성들을 발사해야 하는데, 기존에는 고가의 위성 1기를 개발하고 발사하였다면, 뉴스페이스 시대의 우주에 대한 새로운 비즈니스 모델은 자동차 양산과 비슷한 개념으로 위성을 계속 제작하고 발사하게 된다. 하지만, 우리나라의 우주분야 기술수준을 고려하면, 단기간에 미국과 유사한 우주산업화 전략을 수립할 수 없으므로 가격 및 성능에서 글로벌 경쟁력 있는 구성품 또는 부품 확보 전략이 필요하다. 특히, 우리나라가 세계시장 점유율 1위에 있는 메모리 분야는 그 중 하나가 될 수 있다. 기존 삼성전자와 SK하이닉스의 상용급 메모리 중에서 내방사선성이 좋은 메모리와 고신뢰성 패키징 기술을 이용하면 되므로, 전세계 모든 위성에 탑재되는 우주급 메모리 분야는 우리나라의 우주산업화 전략 중 하나로 가능성이 있다.

2. 초소형위성의 New Space 특징 및 대응

서론에서 언급한 바와 같이 최근에 전세계적으로 개발되는 지구 저궤도 위성들 중에서 뉴스페이스 개념의 (초)소형위성들은 다음과 같은 특징들을 가지고 있다. '21년 1월 24일에 발사된 Falcon-9 발사체에는 Fig. 1에서[1-2,6-8] 보는 바와 같이 무려 143기의 위성들이 탑재되어 있었다[6]. 이 위성들 중에서 스타링크 위성의 목표 고도는 550 km였으나, 고도 350 km에서 발사체와 분리되었다[8]. '21년 5월 4일 기준 스타링크 위성이 약 1,500기가 발사되었는데, 매달 발사되었거나, 한달에 두 번 발사된 경우도 있으므로, 인공위성 양산을 고려해야 한다[1]. Fig. 1에서 보는 바와 같이 다중위성 발사 고려시 위성의 형상을 고려해야 하며[6], 군집위성의 특성상 인공위성을 독특한 형상으로 개발하면 탑재 공간의 부족으로 발사 횟수가 증가하여 발사 비용이 증가한다는 것을 의미한다. 이러한 (초)소형위성의 특징들을 자세히 살펴보면 다음과 같다.

일반적으로 발사체는 위성과 목표 궤도에서 분리되기 때문에, 저궤도위성에서의 추력 능력은 상대적으로 중요도가 낮으며, 저비용의 초소형위성 및 큐브위성은 추력 능력이 없는 경우도 있다. 그러나 Fig. 1의 경우, 위성을 143기나 탑재한 발사체의 중량 제한조건으로 인하여, 스타링크 위성은 350 km에서 분리되어 550 km까지 궤도 기동을 하였으며[8], 다른 위성들도 필요시 목표 궤도까지 기동을 해야 한다.

스타링크 위성들이 한 번에 60기씩 발사되고, 한 달에 두 번씩 발사된 경우까지 고려한다면,

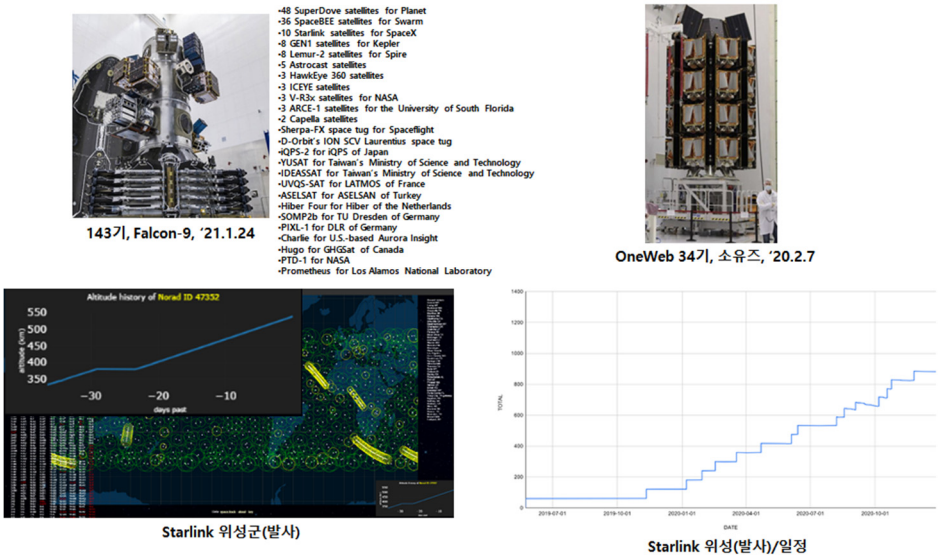


Fig. 1. Characteristics of new space micro & small satellites.

한 달에 120기의 위성을 준비해야 한다[1]. 따라서 위성 1기씩 제작하고 환경시험하는 개념으로는 일정을 만족할 수 없으므로, 탑재 형상을 고려하여 여러 기의 위성들을 한번에 환경시험하고 자동화된 기능시험 환경을 구축했을 가능성이 높다.

Fig. 2에서[9-12] 스타링크 위성 60기가 줄지어 날아가는 영상을 보면[9], 주파수 간섭의 영향으로 지상국에서 위성 1기씩 명령을 주고 받으면서 궤도 기동을 하기보다는 기 프로그밍된 절차에 따라서 스스로 목표 궤도로 기동하고 있을 가능성이 높다.

'21년 1월 1일 기준으로 6,542기의(3,372기 정상동작, 3,170기 동작불능)[14] 인공위성이 저궤도에 있으며, 지금까지 언급한 스타링크, 원웹, Telesat, Kuiper, 플래닛랩 위성들이 모두 저궤도에서 운용된다면, 엄청난 숫자의 위성으로 인하여 위성충돌에 대비해야 하므로 회피기동을 위한 추력기능은 저궤도위성의 필수기능이다.

지금까지 설명한 (초)소형위성의 특징 및 대응을 Fig. 3에 요약 및 정리하였다[1-14]. (초)소형위성들은 개발기간 및 위성수명이 짧고 저비용, 다중위성발사, 대량의 군집위성 특징을 가지고 있다. 따라서, COTS 부품 사용[13], 위성의 중량 및 형상, 대량생산을 고려하고 군집운용을 준비해야 한다. 또한 궤도조정, 충돌회피를 위한 추력기능과 군집운용이 필수이며, 지금까지 언급한 기능들이 대량의 군집위성에서 능동적으로 수행하기 위해서는 지상국의 명령에 따라서 수동적으로 동작하기보다는 위성들이 능동적으로 동작하고 대처해야 한다.

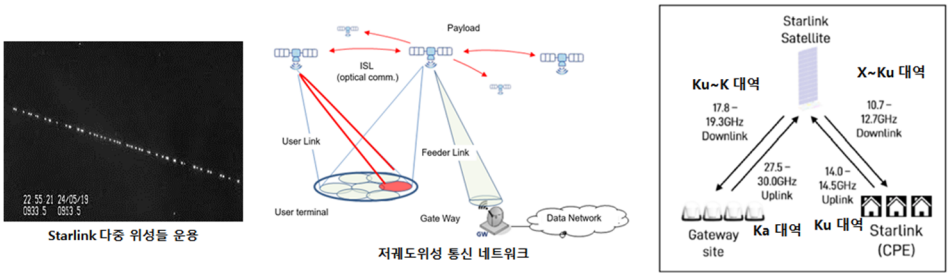


Fig. 2. Low earth orbit satellite communication structure (example).

Fig. 3. Characteristics & response of new space micro & small satellites.

군집운용에 대해서 자세히 살펴보면, 기존 위성 시스템은 위성의 숫자가 많아지면, 주파수 간섭에 의한 위성운용 문제를 해소하기 위해서 다수의 안테나를 설치한다. 하지만, 스타링크처럼 위성의 숫자가 너무 많은 메가위성군은 다수의 안테나 설치로 위성운용 문제를 해결할 수 없으며, 할당된 주파수를 공유하는 지상국-위성 간 MIMO 기술을 도입하여 주파수 간섭 문제를 해소한다. 스마트폰의 CDMA(코드분할다중접속) 기술과 비슷한 개념으로써, 정부에서 '31년까지 초소형위성 100기 개발을 발표하였으므로[15] 우리나라도 지금부터 준비할 필요가 있다. 또한 위성주파수로 활용되는 S대역과 X대역은 이미 포화상태이므로, 정부차원에서 Ku, K, Ka 대역의 주파수 확보를 위한 준비와 노력이 필요하다.

서론에서 언급한 바와 같이 미국의 스페이스X는 재사용 발사체, 엄청난 숫자의 스타링크 메가위성군, 전세계 인터넷 서비스라는 비즈니스 모델을 확보하였다. Fig. 4와[16-22] 같이 뉴스페이스 시대의 우주에 대한 새로운 순환형 비즈니스 모델은 자동차 양산과 비슷한 개념으로 위성을 계속 제작하고 발사하므로, 진정한 의미의 위성 산업화이다.

하지만 우리나라의 우주분야 기술수준을 고려하면 미국과 유사한 우주산업화 전략은 기술이 뒷받침되어야 하므로, Table 1과 같이 가격 및 성능에서 글로벌 경쟁력 있는 구성품 또는 부품 산업화 전략을 제안한다. 우리나라가 전세계에서 경쟁력 있는 정보통신과 반도체 기술을 뉴스페이스 위성분야에 투자함으로써 스마트폰 집적화 기술, Ethernet 등 네트워크 통신 기술, EO/IR센서, 배터리/태양전지, 메모리 분야는 우리나라 우주 산업화 전략 중의 하나로 성공 가능성이 있다. 특히, 우리나라가 세계시장 점유율 1위에 있는 메모리 분야는 삼성전자와 SK하이닉스의 상용급 메모리 중에서 내방사선성이 좋은 메모리와 고신뢰성 패키징 기술을 이용한다면, 전세계 모든 위성에 탑재되는 우주급 메모리 분야에서 우리나라의 우주산업화 전략으로 제안할 수 있을 것으로 판단된다.

우주 환경에서 반도체 소자들이 받는 영향을 Fig. 5에 표시하였으며[23-24], 특히 메모리의 영향은 다음과 같다. 지구 주변의 밴앨런벨트와 태양 및 심우주에서 오는 양성자, 중성자, 중이온 및 알파 입자와 같은 우주방사선은 메모리의 민감한 영역에 고장 또는 단일 이상현상

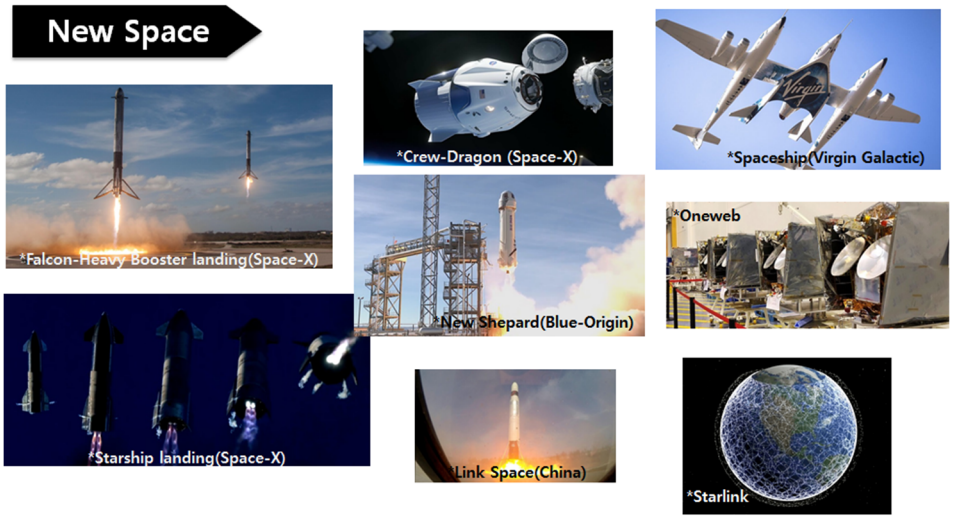
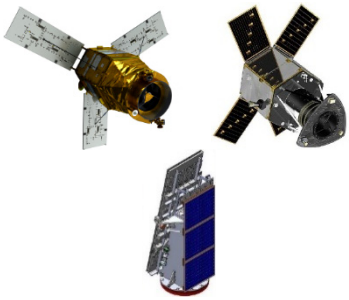


Fig. 4. New space business model and strategy.

Table 1. Heritage acquisition strategy

구분	헤리티지 비교 단위	
	인공위성/탑재체	구성품/부품
10년간 우주에서 헤리티지 예측	· 2-3회: 개발기간 3-5년 고려 · (초소형)군집위성 양산시 헤리티지 횟수 증가 · 수출(판매) 기회/실적 경쟁 높음 · 신규 개발 필요 : 요구사항 변경시 양산 불가 	· 2-3회: 위성 프로그램 3-5년 고려 · 구성품/부품 중복 사용시 헤리티지 횟수 증가 · 수출(판매)시 헤리티지 회수 대폭 증가 · 수출(판매) 경쟁력 있는 구성품/부품 확보 필요 · 부품 단종 고려

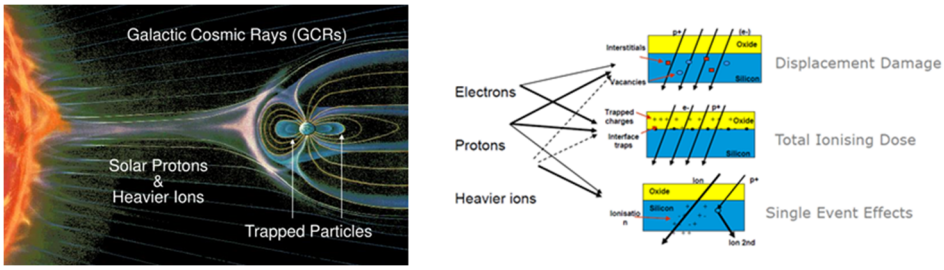


Fig. 5. Memory effects in space radiation environment.

(Single Event Effect, SEE)을 유발하여 시스템 오동작 등의 영향이 있다. 그 이상현상은 크게 세 가지로 분류할 수 있으며, SEU(Single Event Upset)는 메모리 에러를 유발하고, SEL(Single Event Latch-up)은 고전류가 흘러서 고장이 발생하므로 전원을 차단하는 보호회로 구성이 필요하며, TID(Total Ionizing Dose)는 메모리 내부에 이온화를 유발하여 성능 저하 또는 고장이 발생한다.

국산 메모리가 인공위성에 적용된 사례를 Fig. 6에 나타내었다[25-32]. 우리별3호와 과학위성1호에는 삼성전자의 SRAM, Flash 메모리, SDRAM이 적용되었으며, 차세대소형위성1호에는 SK하이닉스의 DDR SDRAM이 적용되었다. 우리별3호와 과학위성1호의 경우, 요구사항과 인터페이스에 맞도록 삼성전자에서 메모리 모듈을 제작하고 시험까지 수행하여 무상으로 제공하였으며, 차세대소형위성1호는 Fig. 7[33]의 3D-PLUS사와 유사한 형태로 메모리를 적층하여 위성용 대용량 메모리를 국산화 하였다[30-32]. Fig. 6의 세 가지 사례 모두 상용메모리

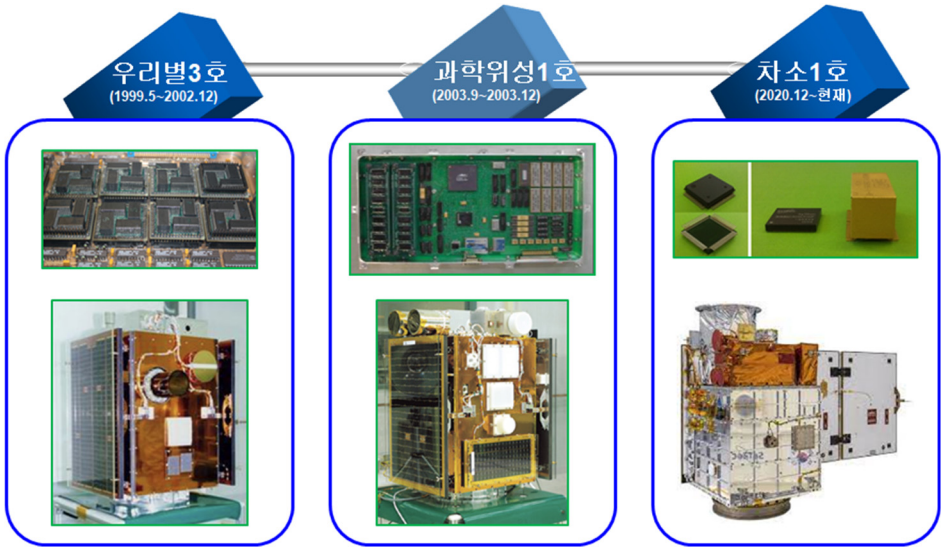


Fig. 6. SAMSUNG and SK Hynix memory heritage in space.

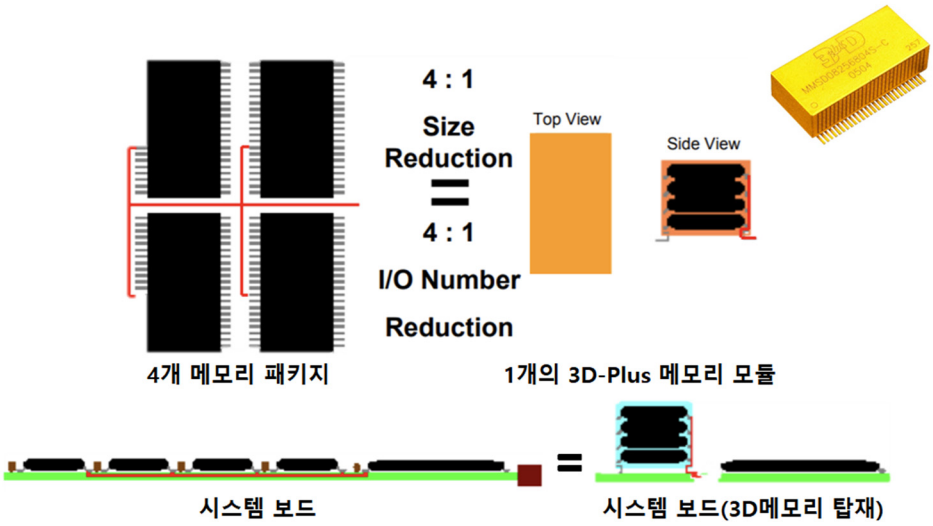


Fig. 7. 3D-PLUS memory packaging.

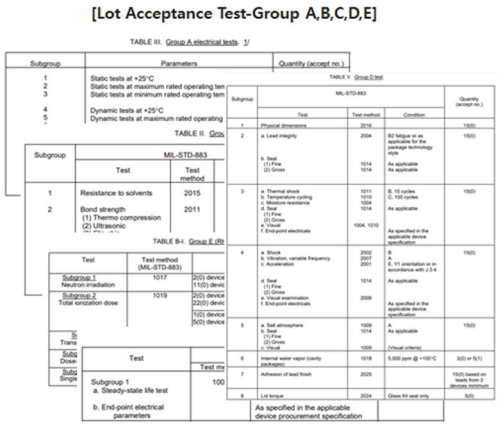
를 적용하였지만 우주에서의 정상동작을 확인하였으며, 이상현상에 대비하여 EDAC(Error Detection And Correction) 코드를 적용하여 에러를 복구할 수 있도록 하였다[27].

'19년과 '20년 기준 상용 메모리와 우주급 메모리의 매출 규모를 살펴보면, Table 2에서 [34-47] 보는 바와 같이 상용 메모리는 삼성전자와 SK하이닉스가 전세계 매출의 80% 정도를 차지하지만, 우주급 메모리 분야는 국내 매출이 없다. Fig. 7에서 보는 바와 같이 3D-PLUS사는 내방사선성이 좋은 삼성전자를 포함한 상용메모리를 적층하여 패킹징한 후에 Fig. 8[48-49]의 규격 조건에 맞도록 각종 환경시험을 수행하는 형태로 우주급 메모리를 제작한다.

국내의 경우, 삼성전자에서 우리별3호와 과학위성1호에 메모리를 제공해준 사례와[27-29] 차세대소형위성1호에서 3D-PLUS사와 유사한 형태로 메모리를 적층하여 위성용 대용량메모리를 국산화하여[30-32] 우주에서 검증한 경험이 있다. 따라서, 삼성전자와 SK하이닉스의 상용급 메모리 중에서 내방사선성이 좋은 메모리를 대기업에서 중소기업에 제공하고, 기 확보된 고신뢰성 패키징 기술을 이용한다면, 우주급 메모리 분야는 우주산업화 전략으로 성공 가능성이 있다고 판단된다.

Table 2. Global commercial and space grade memory sales comparison

제조사	우주급 메모리					상용 메모리		
	3D-PLUS (France)	Cobham-CAES (US)	Honeywell-Aerospace (US)	DDC (US)	Cypress (US)	삼성전자 (국내)	SK 하이닉스 (국내)	Micron (US)
다이 공급	상용다이	자체제조	자체제조	상용다이 자체제조	자체제조	자체제조	자체제조	자체제조
SDRAM	O	O		O				
DDR	O			O		O	O	O
MRAM	O	O	O		O	O		
SRAM	O	O	O	O	O			
PROM	O	O		O				
Flash NAND	O	O		O		O	O	O
Flash NOR	O	O		O	O			O
매출	€55M @'20	$662M @'19 (비메모리 포함)	$11.5B @'20 (비메모리 포함)	$125M @'20 (비메모리 포함)	$2.2B @'19 (비메모리 포함)	$56B @'20	$25B @'20	$22B @'20



[Screening Test]

Test no	Inspection and screening test	Specification and test method	Sample size	ETC
Final production step except encapsulation				
1	Thermographic		1 sample	Required
2	Non-destructive bond pull	MIL-STD-883 Method 2023	100%	
3	Pre-seal burn-in		100%	
4	Electrical test	In conformance with manufacturing spec.	100%	
5	Photograph of circuit		1 sample	
6	Pre-cap visual inspection	MIL-STD-883 Method 2017 Class K	100%	
Encapsulation				
7	Stabilization bake	MIL-STD-883 Method 1008	100%	
8	Thermal cycling	MIL-STD-883 Method 1010	100%	Required
9	Mechanical shock or constant acceleration	MIL-STD-883 Method 2002 or 2001	100%	Required
10	Particle impact noise detection	MIL-STD-883 Method 2020	100%	Required
11	Fine leak	MIL-STD-883 Method 1014	100%	
12	Gross leak	MIL-STD-883 Method 1014	100%	
13	Physical dimensions	MIL-STD-883 Method 2016	3 samples	Required
Marking and serialization				
14	Pre-burn-in electrical measurements	Ambient temperature	100%	Required
15	Burn-in	240h	100%	Required
16	Parameter drift calculation		100%	Required
17	Electrical measurements	Ambient temperature	100%	Required
18	Electrical measurements		100%	Required
19	Radiographic inspection	MIL-STD-883 Method 2012	100%	Required
20	Fine Leak	MIL-STD-883 Method 1014	100%	Required
21	Gross leak	MIL-STD-883 Method 1014	100%	Required
22	External visual inspection	MIL-STD-883 Method 2009.8	100%	Required

Fig. 8. Space grade memory verification specification (MIL-PRF-38535, ECSS 9000).

3. 결론

(초)소형위성의 New Space 특징 및 대응방안을 요약하면 개발기간 및 위성수명이 짧고 저비용, 다중위성발사, 대량의 군집위성 특징을 가지고 있다. 따라서, COTS 부품 사용, 위성의 중량 및 형상, 대량생산을 고려하고, 군집운용을 준비해야 한다. 또한 궤도조정, 충돌회피를 위한 추력기능과 군집운용이 필수이며, 지금까지 언급한 기능들이 대량의 군집위성에서 능동적으로 수행하기 위해서는 지상국의 명령에 따라서 수동적으로 동작하기보다는, 위성들이 능동적으로 동작하고 대처해야 한다.

우주산업화 전략에 대해서 글로벌 가격 및 성능에서 경쟁력 있는 구성품 또는 부품 확보 전략이 필요하며, 우리나라가 세계시장 점유율 1위에 있는 메모리 분야는 그중 하나가 될 수 있다. 국산 메모리가 우리별3호, 과학위성1호, 차세대소형위성1호에 적용된 경험을 바탕으로, 대기업에서 중소기업에 메모리를 제공하고, 기 확보된 고신뢰성 패키징 기술과 환경시험 기술을 이용한다면, 우주급 메모리 분야는 우주산업화 전략으로 성공 가능성이 있다고 판단된다.

감사의 글

본 논문을 검토해주신 심사위원님들과 편집에 도움을 주신 거목문화사에 감사드립니다.

References

1. Wikipedia, Starlink (2009) [Internet], viewed 2021 Feb 20, available from: https://en.wikipedia.org/wiki/Starlink
2. Smart Maritime Network, OneWeb confirms plans for first launch of 34 satellites (2020) [Internet], viewed 2020 Feb 7, available from: https://smartmaritimenetwork.com/2020/01/31/oneweb-confirms-plans-for-first-launch-of-34-satellites/

3. GeekWire, Amazon to offer broadband access from orbit with 3,236-satellite 'Project Kuiper' constellation (2019) [Internet], viewed 2019 Apr 4, available from: https://www.geekwire.com/2019/amazon-project-kuiper-broadband-satellite/
4. Reuters, Canada's Telesat takes on Musk and Bezos in space race to provide fast broadband (2021) [Internet], viewed 2021 Apr 11, available from: https://www.reuters.com/technology/canadas-telesat-takes-musk-bezos-space-race-provide-fast-broadband-2021-04-11/
5. Planet, Planet to become publicly traded company through merger with DMY IV (2021) [Internet], viewed 2021 Jul 7, available from: https://www.planet.com/pulse/planet-to-become-publicly-traded-company-through-merger-with-dmy-iv/
6. Spaceflight Now, SpaceX smashes record with launch of 143 small satellites (2021) [Internet], 2021 Jan 24, available from: https://spaceflightnow.com/2021/01/24/spacex-launches-record-setting-rideshare-mission-with-143-small-satellites/
7. Starlink, Satellite group (launch) 1 (2021) [Internet], viewed 2021 Feb 20, available from: https://satellitemap.space/
8. Spaceflight Now, SpaceX launches 60 more Starlink spacecraft; FCC clears SpaceX to fly satellites at lower altitudes (2021) [Internet], viewed 2021 Feb 20, available from: https://spaceflightnow.com/2021/04/29/spacex-launches-60-more-starlink-spacecraft-fcc-clears-spacex-to-fly-satellites-at-lower-altitudes/
9. Starlink Multi-satellite operation (2019) [Internet], viewed 2019 May 31, available from: https://phys.org/news/2019-05-spacex-starlink-satellites-harder.html
10. Kodheli O, Lagunas E, Maturo N, Sharma SK, Shankar B, et al., Satellite communications in the new space era: a survey and future challenges, IEEE commun. surv. tutor. 23, 70-109 (2021). https://doi.org/10.1109/COMST.2020.3028247
11. Kim PS, Ryu JG, Byun WJ, Research trends in global wireless communication technology based on the LEO satellite communication network, Electron. Telecommun. Trend. 35, 83-91 (2020). https://doi.org/10.22648/ETRI.2020.J.350507
12. Starlink Services, Petition of Starlink Services, LLC for designation as an eligible telecommunications carrier (2021) [Internet], viewed 2021 Jul 10, available from: https://ecfsapi.fcc.gov/file/1020316268311/Starlink%20Services%20LLC%20Application%20for%20ETC%20Designation.pdf
13. SK Jeong, CS Lee, JU Seo, YS Kim, SW Lee, et al., Study for guidelines of usage of COTS EEE parts for small satellites. Proceeding of the KSAS 2020 Fall Conference, Jeju, 18-20 Nov 2020, 423-424. ksas.or.kr/Publications/sub_05_11.asp
14. Geospatialworld, Starlink launched satellites (2021) [Internet], viewed 2021 Feb 20, available from https://www.geospatialworld.net/blogs/how-many-satellites-are-orbiting-the-earth-in-2021/
15. Ministry of Science and ICT, Development of 100 ultra-small satellites by industry led by 2031 (2021) [Internet], viewed 2021 Jun 18, available from: https://www.korea.kr/news/policyNewsView.do?newsId=148888960

16. TESLARAT, SpaceX celebrates historic rocket landings with new 4K footage (2020) [Internet] viewed 2020 Apr 13, available from: https://www.teslarati.com/spacex-falcon-heavy-booster-landing-4k-video/
17. Tech Recipe, Crew Dragon, SpaceX Crew Dragon successfully docked at the International Space Station (2020) [Internet], viewed 2020 Jun 2, available from: https://en.techrecipe.co.kr/posts/9888
18. THE SUN, Blue origin new shepard vs virgin galactic: How do the two spaceships compare (2021) [Internet], viewed 2021 Jul 20, available from: https://www.the-sun.com/tech/3255585/virgin-galactic-vs-blue-origin/
19. Teslarati, SpaceX Starship nails 'flip' maneuver in explosive landing video (2020) [Internet], viewed 2020 Dec 9, available from: https://www.teslarati.com/spacex-starship-nearly-sticks-landing-high-altitude-debut/
20. The Dallas Morning News, Tune in Wednesday when Jeff Bezos' blue origin sends a rocket skyward in prelude to human flight (2021) [Internet], viewed 2021 Apr 13, available from: https://www.dallasnews.com/business/technology/2021/04/13/tune-in-wednesday-when-jeff-bezos-blue-origin-sends-a-rocket-skyward-in-prelude-to-human-flight/
21. Airbus, OneWeb Satellites has shipped first satellites for the OneWeb constellation to launch site (2019) [Internet], viewed 2019 Jan 22, available from: https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2019/01/oneweb-satellites-has-shipped-first-satellites-for-the-oneweb-constellation-to-launch-site.html
22. CGTN, Chinese space startup successfully launches a reusable rocket to a new height (2019) [Internet], viewed 2019 Aug 10, available from: https://news.cgtn.com/news/2019-08-10/Chinese-startup-successfully-launches-a-reusable-rocket-to-new-height-J2FWXoChxe/index.html?from=timeline&isappinstalled=0
23. Endo K, The radiation environment (n.d.) [Internet], available from: https://radhome.gsfc.nasa.gov/radhome/papers/apl_922.pdf
24. TRAD, Memory effects in space (2021) [Internet], viewed 2021 Feb 20, available from: https://www.trad.fr/
25. STRC, Science and technology satellite, next-generation small satellite (2021) [Internet], viewed 2021 Feb 20, available from: http://satrec.kaist.ac.kr/
26. Ministry of Science and ICT, After the initial operation of the next-generation small satellite No. 1, the full-scale mission was performed (2019) [Internet], viewed 2019 Apr 17, available from: https://m.blog.naver.com/htiger31/221515999525
27. IH Seo, JJ Lee, HY Park, DS Oh, MJ Choi, et al., Proto flight model design and implementation of mass memory unit for STSAT-2, J Korean Soc. Aeron. Space, 36, 195-201 (2008) http://ksas.or.kr/Publications/sub_05_11.asp
28. Maeil Business Newspaper, Development of semiconductor memory device for satellite…Samsung Electronics (1997) [Internet], viewed 2021 Jul 11, available from: https://www.mk.co.kr/news/home/view/1997/08/47939/

29. Maeil Business Newspaper, Samsung electronics donates memory modules to science satellite (2001) [Internet], viewed 2021 Jul 11, available from: https://www.mk.co.kr/news/home/view/2001/04/76999/
30. Lim JS, Kim JH, Kim HJ, Jung KW, Lee H, et al., 3D SDRAM package technology for a satellite, J. Microelectron. Packag. Soc. 19, 25-32 (2012). http://dx.doi.org/10.6117/kmeps.2012.19.1.025
31. Park MY, Chae JS, Lee C, Gu BJ, Lee JS, et al., Development of 3-dimensional stacked mass memory module for space applications, Proceeding of the KSAS 2016 Fall Conference, Jeju, 16-18 Nov 2016, 1120-1121.
32. Park MY, Chae JS, Cho HG, Ryu KS, Conceptual design of space qualified high density SDRAM module, Proceeding of the KSAS 2010 Fall Conference, Pyeongchang, 15-16 Apr 2010, 529-534.
33. 3D-PLUS, 3D PLUS Memory Products Overview (2004) [Internet], viewed 2021 Feb 20, available from: https://escies.org/download/webDocumentFile?id=1887
34. 3D-PLUS, Space Memory (2021) [Internet], viewed 2021 Feb 20, available from: https://www.3d-plus.com/
35. Cobham, Radiation hardened solutions and high reliability components (2021) [Internet], viewed 2021 Feb 20, available from: https://caes.com/products/radiation-hardened-solutions-high-reliability-components
36. Honeywell-Aerospace, Microelectronics (2021) [Internet], viewed 2021 Feb 20, available from: https://aerospace.honeywell.com/us/en/learn/products/microelectronics
37. DDC, Simplify 1553 Design with the fastest SPI controller! (2021) [Internet], viewed 2021 Feb 20, available from: https://www.ddc-web.com/en
38. Cypress, Radiation hardened & high reliability memories (n.d.) [Internet], viewed 2021 Feb 20, available from: https://www.cypress.com/products/radiation-hardened-memory
39. Samsung Electronics, Product portfolio (2021) [Internet], viewed 2021 Feb 20, available from: https://www.samsung.com/semiconductor/
40. SK Hynix, Product portfolio (2020) [Internet], viewed 2021 Feb 20, available from: https://product.skhynix.com/home.go
41. Micron, Unleash the full potential of 5G and artificial intelligence (2021) [Internet], viewed 2021 Feb 20, available from: https://www.micron.com/
42. Compass, 3D-PLUS (2020) [Internet], viewed 2021 Feb 20, available from: https://kr.kompass.com/c/3d-plus/fr0084865/
43. Craft, CAES (2019) [Internet], viewed 2021 Feb 20, available from: https://craft.co/cobham-advanced-electronic-solutions
44. Statista, Honeywell's net sales from FY 2018 to FY 2020, by segment (in million U.S. dollars) (2021) [Internet], viewed 2021 Feb 20, available from: https://www.statista.com/statistics/593428/net-sales-of-honeywell-by-segment/
45. Dun & Bradstreet, Data device corporation (2021) [Internet], viewed 2021 Feb 20, available

from: https://www.dnb.com/business-directory/company-profiles.data_device_corporation. e6931bd5dece450c4f1110f88307fd2b.html

46. Statista, Cypress revenue of cypress semiconductor corporation worldwide from 2015 to 2019 (in million U.S. dollars) (2020) [Internet], viewed 2021 Feb 20, available from: https://www.statista.com/statistics/1103507/cypress-semiconductor-corporation-worldwide-revenue/
47. TechWorld, Samsung Electronics ③ memory semiconductor looking back in graph (2020) [Internet], viewed 2021 Feb 20, available from: http://www.epnc.co.kr/news/articleView.html?idxno=110960
48. Defense Supply Center Columbus, Performance specification: integrated circuits (microcircuits) manufacturing, general specification for (2002) [Internet], viewed 2021 Feb 20, available from: https://nepp.nasa.gov/DocUploads/591D8C5B-C750-4462-B37E007D578B121D/MIL-PRF-38535.pdf
49. ESCC, ESCC Generic Specification No. 9000 (2021) [Internet], viewed 2021 Feb 20, available from: http://escies.org/escc-specs/published/9000.pdf

Author Information

서 인 호 inho@add.re.kr

한국과학기술원 항공우주공학과에서 2008년에 박사학위를 받았다. 한국과학기술원 인공위성연구소에서 과학기술위성1호부터 3호까지 개발에 참여하였으며, 삼성전자 생산기술연구소에서 반도체 메모리 검사장비를 개발하였다. 현재는 국방과학연구소 국방위성체계단에서 체계종합 업무를 수행하고 있다.

정 현 재 nowholic@add.re.kr

전북대학교 기계공학과에서 2019년에 석사학위를 취득한 후, 2019년부터 지금까지 국방과학연구소 국방위성체계단에서 위성 체계종합 업무를 수행하고 있다.