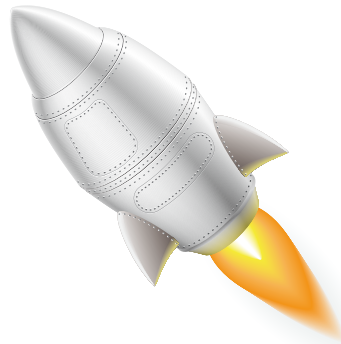


EXPERT KNOW- HOW

위성발사체 엡실론의 의미와 과제

+ 김희동 KT스카이라이프 대리



Satellite Rocket! Epsilon's Meaning and No Easy Task for Korea

지난 8월 27일 오후 1시 45분에 발사 예정이었던 엡실론(Epsilon)은 자체 이상감지장치에 오류가 발생하여 발사 19초전 모든 시스템이 자동 정지, 발사가 중단되었습니다. 하지만 엡실론이 시도한 여러 도전을 감안했을 때 국·내외 외신들은 실망보다 격려에 무게를 실었습니다. 발사 준비 과정에서 발생할 수 있는 문제점을 스스로 체크할 수 있는 인공지능 컴퓨터를 최초로 탑재하고 모든 전자기기들을 LAN과 같은 *Serial Bus(직렬통신)형태의 간소화된 연결로 기존 100여 명이 담당하던 관제 업무도 5명 이하로 줄였으며, 인터넷만 연결되어 있으면 간단한 노트북만으로 원격으로 제어가 가능한 *모바일 관제를 도입했기 때문입니다. 그 결과 이전의 고체연료 로켓인 M5(M-V 또는 Mu-5라 쓰며 일본에서는 뮤 파이버라 발음함)보다 발사비용을 1/2, 지상 발사 준비시간을 1/4로 줄여 앞으로 초소형 발사체가 나아가야 할 방향을 보여주었습니다. 비록 아베 내각의 헌법 개정공약 등 일본의 우경화 조짐과 맞물려 대륙간탄도미사일(ICBM, 보통 우주발사체에 위성을 탑재하면 로켓 탄두를 실으면 미사일이라고 함)과 같은 고체연료 로켓(액체연료와 더불어 발사체에 쓰임)이라는 점에서 우리나라와 같은 주변국의 우려도 있지만 오늘날의 기술력이 있기까지 일본의 우주에 대한 열망과 엡실론이 탄생하기까지의 산실인 로켓기술의 변천사를 살펴봄으로써 당초 2021년 소형 로켓 발사 계획에서 2년 앞당긴 우리나라가 직면한 과제에 대해 알아보겠습니다.



발사 준비를 마친 엡실론 초소형 로켓



우치노우라에서 쏘아 올릴 이미지 컷

※ Serial Bus : 전기 통신과 컴퓨터 과학 분야에서 직렬 통신은 연속적으로 통신 채널이나 컴퓨터 버스를 거쳐 한 번에 하나의 비트 단위로 데이터를 전송하는 과정을 말함. 이 용어는 여러 개의 병렬 채널을 갖춘 링크 위에서 동시에 여러 개의 비트를 보내는 병렬 통신과 대조됨. 엡실론 로켓에서는 국제 표준 버스인 Space Wire를 적용하여 호환성을 높이고 기체 구성의 변경과 부품의 고갈에 대한 대응을 용이하게 함.

※ 모바일 관제 : 발사체 내부에 스스로 에러를 감지할 수 있는 인공지능 컴퓨터와 제어가 용이한 Space Wire를 이용하여 모든 전자 기기들을 연결, 전 세계 어디에서든지 노트북과 인터넷으로 로켓을 관제할 수 있어 더 이상 로켓 발사장 근처의 대규모 발사 통제 시스템이 필수가 아니라는 것을 보여줌. 엡실론의 경우 발사체 근처 2km 떨어진 관제 센터에서 이루어졌으나 궁극적으로는 공간의 제약을 초월하여 노트북 한 대로 관제하는 것이 목표임.

Japan's Desire toward Space! Beyond the Treaty of San Francisco

1945년 제2차 세계대전 패전 이후 일본은 1951년 샌프란시스코 강화조약(일본과 연합국사이의 평화조약으로 평화, 영토 등 총 7개의 조항으로 이루어짐)을 맺을 때까지 항공기술에 대한 모든 종류의 연구와 개발은 물론 교육 자체도 엄격히 금지했습니다. 이에 따라 항공기술자들은 뿔뿔이 흩어져 각자의 생계를 이어갈 수밖에 없었으며, 당시 도쿄대학교의 항공우주학 교수였던 이토카와 히데오 박사(소행성 이름으로도 쓰이며, 일본에서는 탄생 100주년을 기념하며 로켓의 아버지라 불림) 역시 첼로와 바이올린 연주에 시간을 보냈습니다. 1952년 발효된 조약에 따라 일본은 1954년부터 본격적인 우주개발에 착수, 1955년 이토카와의 최초 고체연료 로켓인 펜슬(Pencil Rocket) 개발 성공은 Baby, Kappa, Lambda, Mu 시리즈로 이어져 60년대에 들어서는 더욱더 발전하였으며 1969년 10월에는 우리나라 나로 우주센터 보다 40년 빨리 다네가시마 우주센터를 건립하였습니다. 도쿄대학의 Pencil Rocket으로부터 시작된 고체연료 로켓의 기술은 1970년에 람다 4S에서 처음으로 인공위성을 쏘아 올려 *ISAS가 이어받았고, 지금은 여러 단계와 통합하여 JAXA를 설립, 세계최대의 고체 로켓인 M-V 로켓과 초소형 로켓인 엡실론에 이르기까지 진화가 계속되고 있습니다.

시리즈	로켓	길이 m	직경 m	무게 t	LEO kg	연료	성공	운용기간
Lambda	L-4S	16.5	0.735	9.4	26	고체연료	1/5	1966-1970
Mu	M-4S	23.6	1.41	43.6	180	고체연료	3/4	1970-1972
Mu	M-3C	20.2	1.41	41.6	195	고체연료	3/4	1974-1979
Mu	M-3H	23.8	1.41	48.7	300	고체연료	3/3	1977-1978
Mu	M-3S	23.8	1.41	48.7	300	고체연료	4/4	1980-1984
Mu	M-3S2	27.8	1.41	61	770	고체연료	7/8	1985-1995
J-I	J-I	33.1	1.8	88.5	870	고체연료	1/1	1996
Mu	M-V	30.7	2.5	139	1800	고체연료	6/7	1997-2006
Epsilon	Epsilon	24.4	2.5	90.8	1200	고체연료	1/2	2013~

일본의 고체연료 우주발사체

일본의 고체연료 로켓기술이 눈부신 발전을 거듭하자 대륙간 탄도미사일(ICBM)과 같은 군사적 이용이 언제든 가능해졌습니다. 특히 소련과 냉전시대에 돌입한 미국으로서는 공산권에 기술이전을 우려하여 핵심 기술은 비밀로 유지하는 블랙박스의 조건으로 액체연료를 사용하는 델타로켓을 제공하여 일본의 라이선스 생산을 허용하게 되었습니다. 비교적 가벼운 저궤도(LEO, 수백~수천km) 위성(아리랑)을 탑재할 수 있는 고체로켓과 달리 중량이 무거운 정지궤도(GEO, 35800km) 위성(스카이라이프의 올레1호)을 실을 수 있는 액체로켓은 1975년 N-1을 시작으로 아리랑3호를 실은 H-2A, H-2B까지 개발을 멈추지 않고 있습니다.

시리즈	로켓	길이 m	직경 m	무게 t	LEO kg	연료	성공	운용기간
N	N-1	32.6	2.44	90.4	1200	액체연료	6/7	1975-1982
N	N-2	35.4	2.44	135.2	2000	액체연료	8/8	1981-1987
H-I	H-1	40.3	2.44	139.9	2200	액체연료	9/9	1986-1992
H-II	H-2	49.9	4.00	264.0	10000	액체연료	5/7	1994-1999
H-II	H-2A	53.0	4.00	445.0	15000	액체연료	21/22	2001-현역
H-II	H-2B	56.6	5.20	531.0	19000	액체연료	4/4	2009-현역

일본의 액체연료 우주발사체

※ 우주과학연구소(Institute of Space and Aeronautical Science) : 로켓과 인공위성 그리고 행성 탐사선 등에 이용되는 천체물리학을 연구하는 일본의 국립연구소로 2003년 항공우주기술연구소, 우주개발사업단 등과 통합되어 일본 우주항공연구개발기구(JAXA)를 설립함.

Solid-fuel Epsilon! More Efficient Way of Putting Satellite into Space

일본의 고체연료 로켓인 'M5'는 비용과 안정성 등 세계 최고 성능이라는 극찬을 받아왔으나 특성상 수명이 5~7년인 가벼운(보통 수백kg) 저궤도위성을 실어 수명이 10~15년인 무거운(보통 수천kg) 정지궤도위성을 나르는 액체연료 로켓에 비해 상대적으로 많은 발사가 불가피했습니다. 이론적으로 3개의 정지궤도위성으로 지구전역을 커버할 수 있지만 저궤도위성의 경우는 수십 개(모토로라의 글로벌 네트워크 이리돔의 경우 66개)가 필요하며 지구의 자전주기속도와 같은 정지궤도위성보다 빠르게 지구의 돌래를 14바퀴를 돌아야 하는 저궤도위성의 짧은 수명이 이를 뒷받침합니다. 또한 고체연료의 *비추력(Specific Impulse)은 액체연료보다 작고 비싼 편이지만 로켓의 연소실에 고정 되어있어 짧은 시간 안에 언제든지 발사할 수 있는 장점이 있습니다. 그에 반해 액체연료의 경우 발사장 주변에 별도의 저장탱크가 있어야 하

며, 주입 시 별도의 터보펌프와 밸브장치는 물론 비행 중 움직이는 액체연료를 제어할 수 있는 장치가 필요해 운영과 제작에 많은 비용과 시간이 소요됩니다. 이는 액체로켓보다 더욱더 발사비용과 시간을 줄여주는 초소형 고체로켓 엽실론의 탄생 배경이 되어 'M5' 로켓은 첫 발사 9년 만에 사업을 중단(1997~2006)하게 되었습니다. 실제로 일본의 우주항공연구개발기구(JAXA)의 1년 예산이 200억엔(약 2,200억원)인데 반해 이전 고체연료 로켓 'M5'의 발사 비용 75억엔(약 820억원)은 상당한 부담이었습니다.



엽실론 로켓의 모바일 관제 이미지 컷

	엽실론 로켓	M5 로켓
제조기간	1년 이내	3년
발사장 작업일수	6일	47일
위성도착 후 작업일수	3일	11일
타임 스케줄	3시간	15시간

엽실론 로켓과 M5 로켓과의 비교

위의 모바일 관제 이미지와 비교표에서 보듯이 엽실론은 제조기간과 발사준비기간을 줄이기 위해 소형화와 고체연료 그리고 로켓 탑재계의 점검을 자동화하여 지상계의 운영시스템 및 인력을 줄이는 데 초점을 맞춰 제조기간 1/3, 발사장 작업일수는 약 1/8, 위성 도착 후 작업일수는 1/4, 타임 스케줄은 1/5로 각각 줄이는 성과를 가져왔습니다. 총 발사비용도 38억엔(약 417억원)으로 이전 고체연료 로켓 'M5'의 약 1/2, 액체연료 로켓 'H-2A,2B'에 비해 1/3로 줄어들었고 비록 1차 발사는 시스템 오류로 실패하였지만 9월 14일 2차 발사에 성공하였으며 2017년에는 더욱더 향상되고 안정화된 엽실론2호를 계획하고 있습니다.

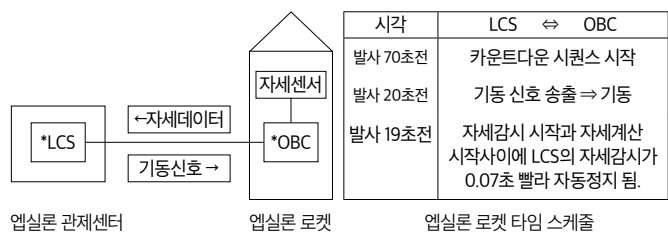
※ 비추력 : 1kg의 추진제를 1초 동안 연소시켰을 때 발생하는 추력(Thrust, 발사체를 우주로 밀어내는 힘)을 뜻하며 단위는 초로 나타냄. 인공위성의 경우 해당 궤도에 적합한 비추력이 우수한 효율적인 액체연료를, 대륙간탄도미사일의 경우는 효율성보다는 신속하며 추력이 우수한 고체연료가 선호됨. 북한의 은하3호는 ICBM 전용이 가능한 고체연료(3단)를 사용함.



지난 9월 14일 2차 발사에 성공한 엽실론1호

Three-stage Epsilon's Lift-off Called off 19 Seconds to Blast-off

엽실론 로켓 발사 중단 경위와 원인에 대해 우주항공연구개발기구(JAXA) 엽실론 로켓 프로젝트팀 매니저인 모리타 야스히로 박사는 8월 30일 기자회견을 실시했습니다.



앞의 엡실론 로켓 발사를 위한 타임 스케줄을 보면 13시 45분 00초 발사 시각의 70초 전에 자동 카운트다운 시퀀스를 시작하였습니다. 그 후 발사 20초 전에 지상 장치인 LCS(지상 관제시스템)의 신호등에서 로켓 탑재 컴퓨터(OBC)를 기동, 1초 후에 OBC가 로켓의 자세 계산을 시작하여 LCS에서는 발사 19초 전부터 자세 데이터의 감시를 시작했지만, 롤 자세 이상을 감지해 자동 정지하였습니다. 이는 LCS에 의해 감시가 OBC의 자세 계산 시작보다 약 0.07초 빨랐기 때문에 LCS가 자세 이상이라고 판정하고 자동 정지했던 것으로 이상(Abnormal) 데이터가 나타나는 경우에 즉각 자동 정지가 될 수 있게 감시 시간을 엄격하게 설정한 것과 더불어 LCS와 OBC사이의 시간차를 고려하지 못한 것으로 결론지었습니다.



엡실론 모바일 관제 이전의 모습



엡실론 모바일 관제의 Prototype 모습

※ LCS(Local Control System) : 엡실론 로켓의 점검·발사를 원격으로 조작하기 위한(모바일 관제) 지상관제 시스템으로 약 2km 떨어진 미야 지구국의 엡실론 관제 센터 내에 위치함.

※ OBC(On-Board Computer) : 모바일 관제를 위한 지상제어국의 LCS와 연결되어 자동으로 로켓의 상태를 인공지능적으로 점검함. 내진동, 내충격성, 내열성 등 높은 성능이 요구됨.

Korea Space Launch Vehicle- II ! Neither Optimistic nor Pessimistic

엡실론 발사 5일 전인 8월 22일 오후 11시 39분 러시아 야스니 발사장에서 우리의 다목적실용위성 5호인(KOMPSAT-V) 아리랑5호가 발사되었습니다. 아리랑 1, 2호와는 달리 *합성 개구레이더(SAR)가 장착되어 날씨에 상관없이 지구관측이 가능한 위성이었으나 아쉽게도 발사업체 사정으로 개발(2011년 4월)된지 2년이 지나서야 궤도에 올라섰습니다. 이유는 바로 오랜 숙원이기도한 자국 발사체가 없어 러시아의 드네프르 로켓을 이용했기 때문입니다. 우리나라의 우주기술은 과거에 비해 상당한 발전을 이뤘으나 아직 가야할 길이 멀다는 것이(핵심인 엔진기술의 경우 선진국의 60%정도에 그침) 전문가들의 공통된 견해입니다. 아사히 신문과 우주항공개발기구(JAXA) 위성 전문가는 이례적으로 한국의 로켓 기술은 일본의 1960년대 기술인데 반해 위성 조립, 시험, 운영을 포함한 위성시스템 기술 전반에서 자국기술로(SAR만 이탈리아의 도움을 받음) 이루어졌다며 높이 평가하였습니다.

다시 말해 우수한 콘텐츠를 보유하여 국민 모두에게 보여주고 싶지만 전송할 플랫폼이 없어 해외기술에 의존하고 있는 것입니다. 이에 정부는 당초 계획인 2021년 나로호(KSLV - I)에 이은 두 번째 우주발사체 KSLV - II 발사를 2년 앞당겨 하루빨리 우주 강국이 되는 청사진을 발표하였습니다. 2010년부터 2021년까지 총 1조 5449억을 들여 1.5t급 실용위성을 저궤도에 올리는 국책사업으로 현재까지 1952억만 투입되어 아직 87%가 더 필요하며 2년 기간을 앞당긴 만큼 예산이 증가할 것으로 예상됩니다. 하지만 이 또한 기재부의 예산타당성조사를 거쳐야 해 녹록하지 않은 상황입니다. 일례로 2011년 기준으로 예산규모면에서 한국은 미국의 200분의 1, 일본의 17분의 1 수준으로 턱없이 부족하며 우주항공분야를 전담하고 있는 한국항공우주연구원(KARI)의 인력현황 역시 700여명에 불과해 미국 NASA(1만 8800명), 일본 JAXA(1700명), 러시아 Roscosmos(3만 5000명), 프랑스 CNSE(2400명)와 비교해보면 예산과 인력충원이 급선무라 생각됩니다.



나로호(KSLV-I)에 이은 최초의 한국형발사체인 KSLV-II의 상상도

※ 합성개구레이더(Synthetic Aperture RaDAR, SAR) : SAR은 지상과 해상으로 레이더를 쏘아 레이더파가 굴곡 면에 반사되어 돌아오는 미세한 시간차를 차례로 합성해 지상지형도를 만들어내는 레이더 시스템을 말함. 아리랑 5호의 경우 1m 물체까지 식별이 가능.

예산과 인력이 총원되더라도 발사체와 발사시스템을 순수 국내 기술로 개발하는 것이 그리 쉬운 일은 아닙니다. 로켓 = 엔진일 정도로 엔진 개발이 가장 중요한데 우주선진국들은 로켓기술이 바로 대륙간탄도미사일과 동일하기 때문에 특별한 경우를 제외하고는 우주기술을 전수하려하지 않아 정부는 엔진연소실험 시설을 건설, 산학연관 협업의 인프라구축에 힘쓰고 있습니다. 다행히 우리나라는 정밀기계, 철강, 석유화학 등 소재 관련 기술이 이미 세계 최고수준이며 여기에 최고 강점인 정보기술(IT)과 나노기술(NT)이 더해진다면 과거 해외에서 엔진과 부품을 들여와 자동차를 조립, 생산하여 지금은 세계 5대 자동차 강국이 되었던 것처럼 Fast Follower가 될 수 있습니다.

미국과 러시아의 이어 뒤늦게 우주산업에 뛰어든 일본의 경우에도 1955년 자체 펜슬로켓 이후 미국 보잉사의 델타로켓기술을 들여와 본격적인 연구, 개발 끝에 1994년 순수 자국기술로 로켓을 개발하여 지금의 엽실론 로켓까지 세계 우주강국과 어깨를 나란히 하고 있습니다. 과거 미국과 러시아의 압도적인 발사체 점유율이 점점 유럽, 중국, 일본 등의 신흥강국으로 옮겨가고 있다는 사실이 이를 증명합니다. 일본의 경우 고체연료 로켓과 액체연료 로켓으로 양분되어 우주과학연구소, 항공우주기술연구소, 우주개발사업단 등 우주개발을 담당하는 기관이 난립, 경쟁력약화를 불러와 고전을 면치 못하다 2003년 지금의 우주항공연구개발기구(JAXA)로 일원화되어 국책사업을 원활히 수행하고 있습니다.

우리나라 한국항공우주연구원 역시 1999년 인공위성연구센터와 통합하였고 한국형발사체 개발 사업의 효율성 확보와 역량 결집을 위해 개방형 조직으로 출범한 한국형발사체사업단이 독립 2년 만에 지난 9월 2일 통합되어 인공위성과 로켓을 한곳에서 집중적으로 육성한다는 계획 아래 2014년에서



출처 : 한국항공우주연구원

2025년 까지 총 12기의 차세대 중형위성을 개발할 예정이며 이 중 일부는 한국형발사체인 KSLV-II에 실려 우주로 향하게 됩니다.

미국 컨설팅회사인 '푸트론'에 따르면 세계 발사체 시장은 2006년 3조 원이 었지만 매년 15% 성장해 2012년 기준 시장 규모는 7조 7600억 원으로 추정 했고, 유로컨설팅 2012년도 보고서는 연평균 80여 기의 위성이 우주로 향 하고 있으며 향후 10년간(2012~2021년) 발사 예정인 위성은 1073기로 예측 하였습니다.

이렇듯 우주산업은 점점 더 고비용, 저효율화 되어 가는 한국경제에 있어 고 부가가치를 창출할 수 있는 미래 먹거리인 만큼 국가경쟁력 강화를 위해 그 어느 때보다 정부의 강력한 우주산업 육성 로드맵이 필요한 시기입니다.