항공우주산업기술동향 15권 2호 (2017) pp. 31~40
산업·정책동향

http://library.kari.re.kr
에서 보실 수 있습니다.

러시아 로켓엔진산업 구조개편과 엔진개발 동향

김철웅*, 정은환**

Rocket Engine Industry Restructuring and Engine Development in Russia

Kim, Cheul-Woong*, Jeong, Eun-Hwan**

ABSTRACT

Russia's space technology has been rated at the highest level in the world, but in the 21st century the number of launch accident increased and international relationship became negative for the Russian space industry. As a result, the Russian government has carried out a large-scale restructuring to improve the competitiveness of the rocket industry. This paper investigates the restructuring results of the Russian rocket engine industry. Russian rocket engine manufacturers were integrated into the Energomash. It is attempting to remove the wasteful factors such as the overlapping development among the companies in the R&D of the Russian liquid rocket engine and to bring out cooperation between them.

초 록

러시아의 우주발사체 기술은 세계 최고수준으로 평가되고 있으나, 21세기에 들어와서 발사 사고가 증가하고, 국제정세도 러시아 우주산업에 부정적으로 진전되었다. 이에 따라 러시아정부는 로켓산업의 경쟁력을 제고하기 위하여 구조개편을 진행하였고 근래에 개편작업이 마무리 단계에 이르렀다. 본 논문은 러시아 로켓엔진 산업의 구조개편 결과와 로켓엔진관련 연구소들과 업체의 역할을 조사하였다. 독립적으로 운영되면서 서로 경쟁관계에 있었던 엔진 개발 및 제작관련 기관들이 현재 에네르고마쉬사로 통합되어서 22,300여명의 거대한 단일조직이 되었다. 러시아는 액체로켓엔진관련 기관들의 경영을 일원화하여 업체들간 중복 개발 등 낭비적 요소를 제거하고, 서로간의 협력을 이끌어내고자 시도하고 있다.

Key Words : Roscosmos(러시아우주청), URSC(통합로켓우주기업), Energomash(에네르고마쉬), KBKhA(카베하), KBKhM(이사예프 연구소), VMP(보로네쉬 기계공장)

* 김철웅, 한국항공우주연구원, 한국형발사체개발사업본부 발사체엔진팀
kimcw@kari.re.kr

** 정은환, 한국항공우주연구원, 한국형발사체개발사업본부 발사체엔진팀
jeh@kari.re.kr

1. 서 론

러시아의 우주기술은 소련의 붕괴 이후에도 세계 최고수준으로 평가되어 왔고, 우주발사체 시장에서는 상당한 영향력을 갖고 있다. 그런데 21세기에 들어와서 발사 사고가 증가하고 국제정세가 러시아 우주산업에 부정적으로 진전되었다. 이에 따라 러시아에서는 로켓산업의 경쟁력 제고와 경영효율 및 생산 신뢰도 향상을 위하여 로켓산업구조개편을 오랜기간 진행해왔으며, 근래에 이르러 개편작업이 최종단계에 이르렀다.

한국-러시아간 우주분야 국제협력 가능성이 존재하고, 러시아가 국제 우주발사체 산업에서 갖는 위상을 고려할 때 러시아의 산업구조개편은 한국의 우주개발 관계자에게도 관심을 끄는 내용이다. 본 논문은 마무리단계에 있는 러시아 로켓엔진 산업의 구조개편 현황과 로켓엔진 연구소와 기관들의 엔진 개발 동향을 소개하고자 한다.

2. 러시아 로켓엔진산업 구조개편

2.1 러시아 우주산업 개편의 원인

러시아의 우주산업은 소련이 붕괴되면서 1990년대에 큰 어려움을 겪었지만, 푸틴 정부 등장 이후에 정부의 지원 아래 예전과 같은 우주기술 맹주로서의 위치를 유지하고자 노력하였다.

그럼에도 불구하고 우주산업에 종사했던 경험이 많은 연구원과 기술자들의 은퇴가 지속되고, 우주관련 기관들의 관료주의와 예산 확보 경쟁 및 부정부패 등으로 비효율적인 지출이 증가하였으며, 로켓 생산 현장에서의 문화가 점차 변질되었다. 이로써 그림 1과 같이 발사 사고 건수가 급격히 증가했다.

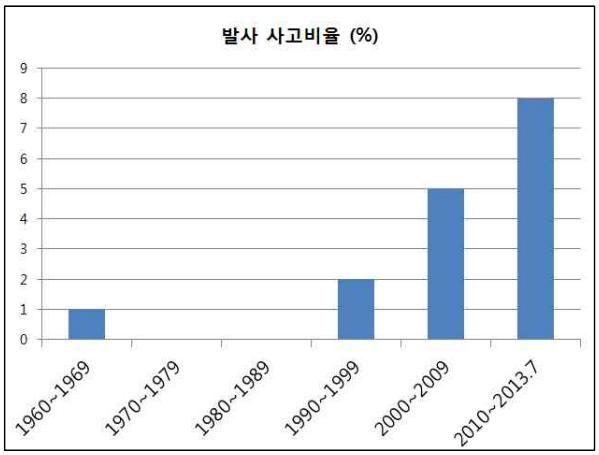


그림 1.1960년 이후 러시아의 발사 사고 비율 변화 추이 [1]

2010년에는 로켓과 가속블록 등에서 비정상 작동으로 9건의 사고가 발생했고, 2011년에는 발사 중 5건의 사고가 발생하여 화물수송선과 3개의 인공위성, 행성탐사선 Fobos-Grunt를 잃었다. 이후에도 발사체의 사고가 지속되었다. 이로써 Roscosmos는 각계로부터 비판에 직면하게 되었으며, 로켓산업의 조직개편에 대한 논의가 일어나기 시작했다.

표 3. 러시아 로켓엔진 사고사례 [2]

Rocket	Engine	No.	Causes
Zenit	RD-171	1	터빈후방에 유분 유입
		1	엔진구성품 제조 결함
		1	산화제펌프에 파티클 유입
	RD-120	2	산화제펌프에 부적절 재질 사용
Soyuz	RD-107 RD-108	1	솔레노이드 밸브 고장
		2	연소기 점화장치 고장
		1	산화제 펌프에 파티클 유입
		1	고주파 불안정
		1	과산화수소 펌프에 파티클 유입
Proton	RD-253 RD-275	1	연료라인에 마개 유입
		1	산화제펌프 조립 실수
		1	연료배관 플러그 연결조립 시 결함

2.2 국제환경 변화 및 영향

크림반도와 우크라이나의 동부지역에서 친러 분리독립 움직임과 내전발생으로 러시아와 우크라이나간의 관계는 냉각되었다. 구소련시절에 우주기술에 있어서 상호의존적이던 두 나라는 관계 단절과 함께 공동 운용 중이던 Zenit 로켓(러시아제 RD-171 엔진을 1단에 사용하는 우크라이나 Yuzhmash사에서 조립하는 발사체)의 생산도 중단하였고, 서로 수입해 오던 로켓 부품을 자국에서 생산해야 하는 상황에 놓였다.

우크라이나 사태는 러시아와 미국간의 외교적 문제로 발전하였고, 미국은 러시아에 대한 제재차원에서 자국 발사체 Atlas-5에서 사용해 오던 러시아제 RD-180엔진을 대체할 강력한 엔진을 개발하고 있다. 더불어 미국은 국제 우주정거장에 우주인을 보내기 위하여 러시아의 소유즈 로켓을 이용하였는데, 이 또한 미국 로켓으로 대체를 추진하고 있다. 더욱이 2016년에 처음으로 러시아의 발사 횟수는 중국과 미국에 추월당했다. 이러한 상황은 러시아 우주산업 관계자들에게 위기감을 주고 있었다.

2.3 러시아 우주산업 구조개편 진행

러시아우주국(Russian Space Agency)은 1992년에 소련의 일반기계산업부로부터 연구-생산 기반을 이전받으며 설립되었고, 2004년 우주청(Roscosmos)으로 개편되었으나 실질적인 변화는 미비했다. 그러나 계속적인 발사 실패와 국제환경 변화 및 우주산업의 부정부패는 로켓산업 구조개편의 필요성을 부각시켰다. 2014년에는 Rscosmos로부터 URSC(United Rocket and Space Corporation, 40여개의 연구/생산/운용관련 기관 구성됨)이 분리되는 급진적인 개혁이 이루어졌다.

Roscosmos와 URSC의 기능과 과제는 완전히

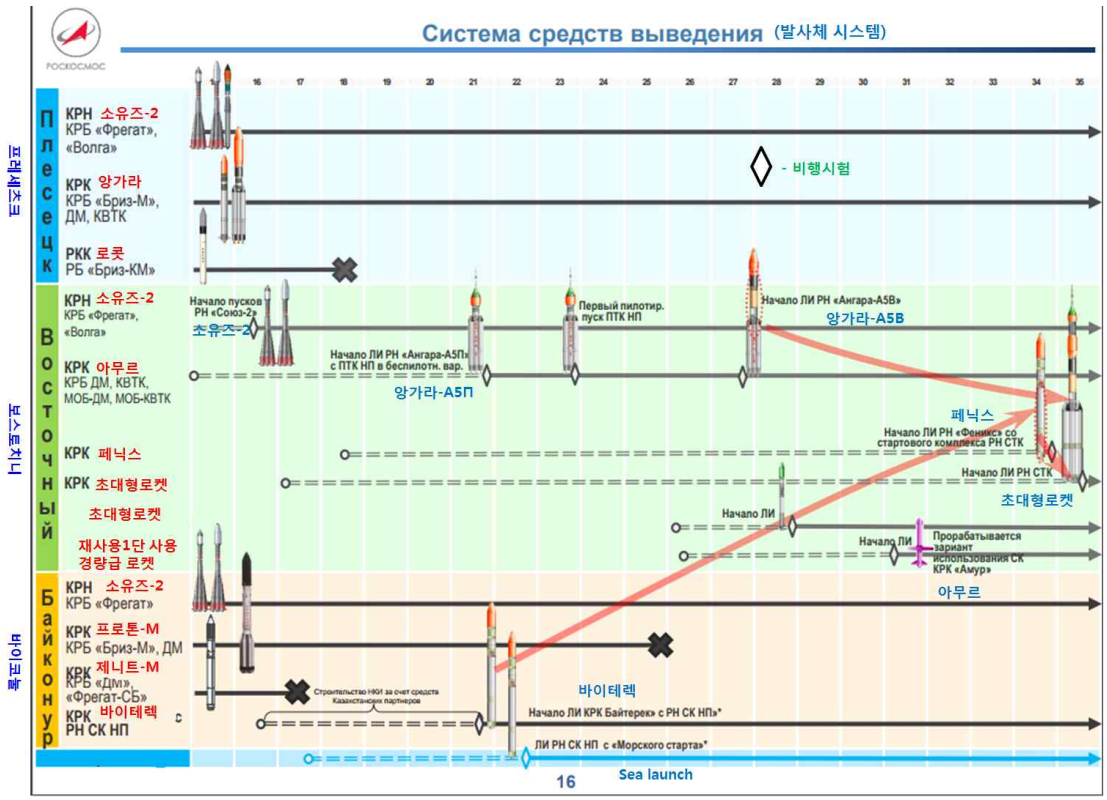


그림 2. 러시아의 우주발사체시스템 개발 및 운영 개획 [1]

차별화되었는데, Roscosmos는 우주분야 국가 프로그램의 실현을 위한 국가의 관심 기술에 대한 발주처로서, 연례 및 장기 우주프로그램의 수립과 우주분야 발전 개념 개발업무가 주어졌고 URSC는 로켓-우주기술관련 개발, 생산, 시험, 운용과 정비 업무가 맡겨졌다.

그러나 이러한 명확한 업무 구분에도 불구하고 군출신인 Roscomos의 사장과 민간기업 출신인 URSC 사장은 예산권 등에서 충돌을 일으켰고, 결국 URSC사장의 승리로 끝났다. Roscosmos 사장은 퇴임하고, URSC 사장이 Roscosmos 사장이 되어서 도리어 2017년 3월에 URSC 조직을 와해시키고 Roscosmos에 합병시켰다. 결국 2014년에 시작된 구조조정은 원점으로 다시 회귀하여 Roscosmos는 러연방 우주분야의 프로그램 개발과 우주관련 과학기술기관 및 생산업체를 관리하게 되었다.

결국, 최종적인 구조개편 전후의 차이는 Roscosmos의 하부기관 관리수준이 더욱 강화되고, 재정독립도가 향상되는 수준이었다. [3] 현재 Roscosmos는 국영기업이며, 우주분야에서 국가 정책의 구현과 우주 기술 대상(발사체, 위성, 발사시설 등)에 대한 개발, 생산 및 납품의 발주처이다. Roscosmos는 우주분야의 국제협력과 우주기술을 활용하여 국가 경제 및 사회에 기여하는 것을 목표로 하고 있다. [4]

2.4 경쟁력 제고 및 우주개발 계획

러시아 우주분야의 생산성은 미국에 대비하여 매우 낮은 수준으로 평가되고 있다. 따라서 Roscosmos에서는 러시아 우주산업의 비효율적인 환경과 품질관리를 개선하여 발사 성공률을 높이려하고 있다.

Roscosmos는 2016년에 93.0%에 머물고 있는 평균발사성공률은 2020년까지 96%로, 2025년에는 99%까지 향상시키는 것을 목표로 하고 있으며, 국제 우주시장에서 4.8%를 차지하고 있는 러시아의 몫을 2020년에는 5.5%, 2025년 8.3%, 2030년에는 9.5%까지 향상시키고자 노력하고 있다. [1]

2017년에 발표한 Roscosmos의 우주발사체시스템 개발 및 운영 계획에 따르면, 2018~2025년 동안 중간급 차세대 발사체 소유즈-5를 개발하는 것으로 되어 있다. 소유즈-5의 시스템설계는 2017년 10월 끝나는데, 총 개발비로 약 300억 루블(약6천억원)이 투입될 예정이다. 소유즈-5의 개발은 '페닉스' 개발계획으로도 불리우는데, '페닉스' 개발계획은 Zenit로켓을 근간으로 한다.

소유즈-5는 바이코눌 발사장에서의 발사프로젝트 '바이테렉' 에서도 사용된다. 특히 '바이테렉' 프로

표 3. 로켓의 품질과 신뢰성 향상 방안 [1]

항목	내용
로켓의 생산 및 운용에 부여된 요구조건 완수	1. 검사시스템 최신화와 효율지수에 대한 개인 책임 강화
	2. 슈퍼컴퓨터기술 기반 시험설비 발전
	3. 로켓 품질에 영향을 주는 선진 생산설비 구축
	4. 정부 관할부처와 함께 수입 대체를 고려한 적절 품질의 전자제품 공급 보장
	5. 로켓의 품질과 신뢰도를 보장하는 수준의 작업자 동기 부여
로켓의 제작과 운용을 위한 신뢰 기반 기술 도입	1. 컴퓨터이용 로켓의 설계 및 시험 기술
	2. 무결함 생산기술과 품질 검사기술
	3. 운용 시 로켓의 상태검사기술
	4. 조직 경영 효율/효과 및 제품 품질 모니터링을 위한 정보 기술
현재 품질관리시스템 개선	1. 품질 민 신뢰성 관리에 대한 기존 요구조건 및 기술문건의 최신화
	2. 로켓의 상태와 신뢰성에 대한 정보 시스템 발전 및 전자정보&프로그램 은행 구축
	3. 공급업체 표준요구사항과 관리시스템 개발 및 업체 제품의 품질관리
	4. 과학기술연구소의 과학기술지원 개선. 프로젝트 관리기법 구현

젝트에서는 소유즈-5 대신에 ‘순카르(Cynkar)’로 불릴 예정이다.

순카르 로켓의 1단에는 RD-171MV, 2단에는 우크라이나에서 제작하는 RD-120대신 소유즈-2.1B의 3단에 이용되는 RD-0124M 엔진이 장착될 예정이다. [5].\ 소유즈-5는 저궤도에 17톤의 하중을 올릴 수 있는 중간급 로켓인데, 앙가라로켓이 문제가 생겼을 때 대안으로 이용되고, 초대형로켓의 기본모듈로도 사용될 예정이다.

3. 러시아 로켓엔진업체 개발동향

3.1 러시아 로켓엔진업체 현황

러시아의 로켓엔진 개발 및 생산업체는 주요 전문분야를 갖고 있다. 로켓엔진업체에 있어서 Energomash와 Proton-PM은 1단용 대형엔진, KBKhA와 Voronezh Mechanical Plant는 2단용 엔진, 그리고 Isayev Chemical Engineering Design Bureau (KBKhM)는 우주선에 사용되는 소형 엔진, EDB Fakel은 우주선용 차세대 엔진을 개발해왔다. 그런데 21세기에 들어오면서 신형엔진 개발에 입찰 방식이 도입되면서 개발업체들간에 경쟁이 심화되었다.

더불어 국제협력에 있어서도 적신호가 켜진 상태이다. Energomash의 경우 1996년 Altas 로켓을 위한 엔진 제작업체로 선정되면서 2017년 10월 18에 100번째 납품용 RD-180 엔진에 대한 지상시험을 성공적으로 수행하였다. 그리고 10월 15일에는 RD-180엔진을 장착한 Atlas 로켓의 80회 연속 무사고 발사가 있었다. 그러나 우크라이나 사태와 관련하여 미국은 러시아산 엔진에 대한 수입금지를 추진하고 있고, 계약상에 2018년까지 RD-180엔진을 납품하기로 되어 있다. 이와 관련하여 Aerojet Rocketdyne사는 2019년까지 러시아산 엔진을 대체할 AR1의 양산이 가능한 것으로 평가하고 있다. [6] 이러한 여건은 러시아 우주개발계획 책임자에게 엔진업체간의 중복기능을 없애고, 업체간 협력관계를 증진하며, 작업효율을 높일 방안을 강구하게 하였다. 이러한 이유로 로켓엔진통합업체가 탄생하게 되었다.



그림 3.러시아 로켓엔진업체의 통합

3.2 로켓엔진업체 조직개편

러시아의 로켓엔진통합업체는 모스크바 근교 Khimky에 위치한 Energomash를 지배회사(managing company)로 하고, 자회사로는 Voronezh에 위치한 JSC “Khimautomatika Design Bureau(KBKhA)”와 Voronezh Mechanical Plant, Kaliningrad에 위치한 FSUE Experimental DB “Fakel”, Nizhnaya Salda에 위치한 FSUE “R&D Institute of Mechanical Engineering(Niimash), 모스크바 근교 Korolyov시에 위치한 A.M Isayev Chemical Engineering Design Bureau(KBKhM) 그리고 Perm시에 위치한 PJSC “Proton-Perm Motors”(Proton PM)등을 자회사로 한다.



그림 4.러시아 로켓엔진통합업체의 위치

로켓엔진 통합구조(Companies of Integrated Structure)에는 러시아의 우주발사체와 우주선에 사용되는 로켓엔진의 91%를 담당하고 있으며, 전체 인원이 22,300명에 이른다.

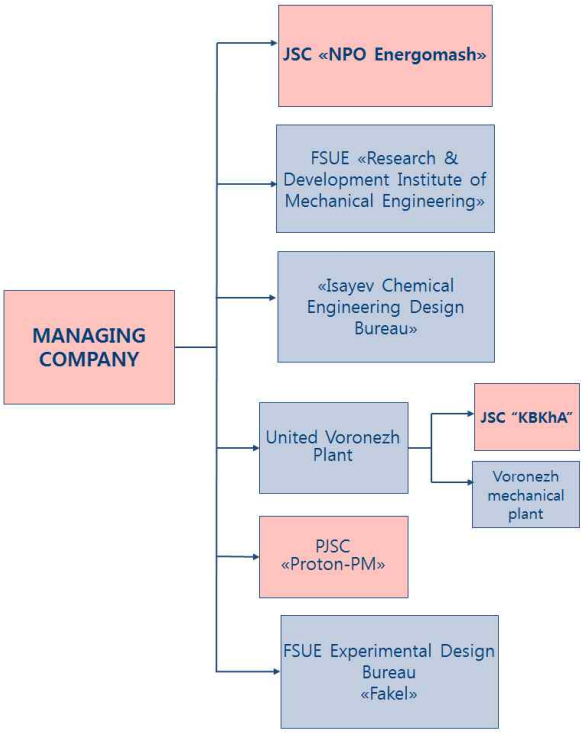


그림 5.러시아 로켓엔진 통합업체의 구성

3.3 로켓엔진업체의 개발 동향

3.3.1 Energomash

Energomash사는1929년 설립 이래 60종 이넘는 엔진을 개발하여 12,000기 이상의 엔진을 생산했다. Energomash사가 생산한 엔진으로 2,400회가 넘는 로켓이 성공적으로 발사되었고, 지금도 Soyuz, Proton, Angara 로켓은 물론 미국의 Atlas V와 Antares 로켓에 엔진을 공급하고 있다.



그림 6.Energomash사의 주요 엔진

Energomash사에서 개발/제작한 액체로켓엔진은 추력 제어가 가능하여, 현재 아래와 같이 대략 70톤부터 800톤까지 추력 운용 밴드를 가진다 (1000톤급 RD175는 개발 중임). 이러한 엔진의 운용특성은 다양한 유효하중에 대응하는 발사체의 추력 요구조건을 충족시킬 수 있다.

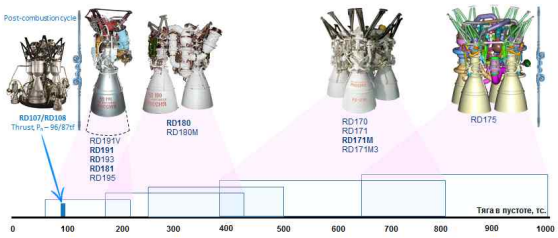


그림 7.러시아 Energomash사 로켓엔진의 추력(tonf) 범위

Energomash사는 근래에는 폭굉연소(detonation combustion)현상을 이용한 신개념 엔진 개발을 진행 중에 있는데, 이 원리를 이용한 케로신 엔진은 수소엔진과 유사한 비추력을 낼 수 있을 것으로 기대하고 있다.



그림 8.데토네이션 엔진 [7]

Energomash사는 연소기의 안정적인 재시동을 위한 레이저 점화장치를 개발하였다. 레이저 점화장치는 크기가 작고 가벼우며, 신뢰적이고, 재시동이 가능하며 작동을 위한 추가의 장치가 요구되지 않는다. 레이저점화장치는 RD-107/108엔진의 연소시험에 사용되었고, RD-191의 시험에서 적정성이 입증되면 모든 엔진들에 적용할 계획이다. [5]

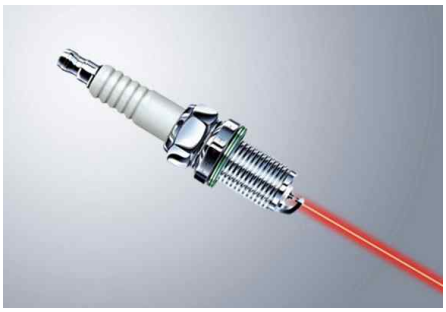


그림 9.레이저 점화기 [7]

3.3.2 KBKhA

KBKhA는 우주발사체의 주로 상단용 액체로켓엔진을 설계, 제작, 시험하는 업체로서 Proton로켓, Soyuz로켓 및 Angara로켓의 상단을 개발하였다.



그림 10.KBKhA사의 주요 엔진

KBKhA사는 2002부터 이탈리아의 Avio사와 협력하여 Vega 로켓 상단에 사용할 10톤급 메탄 엔진 LM-10MIRA(RD-0146M)을 개발하였다.

LM-10MIRA는 팽창식 사이클(Expander cycle)을 갖는 수소엔진 RD-0146을 기반으로 하여, AVIO사가 개발한 인젝터 헤드와 연료펌프를 적용하였고, 첫 연소시험은 KBKhA 시험장에서 2008년 수행되었다.

표 3. LM-10 MIRA 엔진의 성능

LM-10MIRA (RD-0146M)	
Thrust, tf	10
Isp, sec	340 ~ 360
Cycle	Expander cycle
Chamber , EA	1
Op. time, sec	600
Dry mass, kg	235



그림 11. LM-10 MIRA (좌)와 원형엔진 RD-0146 (우)

KbKhA는 2016년 11월 Roscosmos로부터 차세대 재사용 로켓을 위한 메탄엔진 개발 계약을 체결했다. 계약에 따르면 2016년~2018년까지 85톤급 엔진 시제를 제작하고, 40톤급 시험용 엔진과 7.5톤의 데모 엔진(demonstration engine)의 시험을 수행하여야 한다. 이 계약은 러시아 로켓엔진 통합조직 구성 이후 KBKhA사의 첫 계약이다. [8]

이와 더불어 KBKhA는 Angara-A5B의 수송능력 증대를 위한 수소엔진 RD-0150의 개발과 Zenit로켓을 대체할 순카르 로켓의 2단 엔진 개발을 시작했다. 이 엔진은 케로신 엔진 중에서 비추력이 가장 높은 14D23엔진을 이용해서 개발하고 있는데, 신형 엔진은 구조가 더욱 간

단하고 제작비용이 낮아서 시장경쟁력을 가질 것으로 기대하고 있다. [9, 10]

3.3.3 Proton-Perm Motors

우랄산맥 근처에 위치한 Perm 시에 액체로켓엔진 생산을 위해 1958년에 설립된 Proton-PM는 Proton로켓의 1단 엔진인 RD-253 계열의 엔진(Proton-P로켓의 경우 RD-275)을 생산하고 있으며, RD-191엔진의 주요부품도 제작하고 있다. 현재는 RD-191엔진의 조립을 준비 중에 있다.



그림 12.Proton-PM사의 생산 엔진

Proton-Perm는 14개 공장에 4천3백여명의 직원이 일을 하고 있다.



그림 13. RD-275 제작 공장

3.3.4 Voronezh Mechanical Plant

1928년 설립된 Voronezh Mechanical Plant(약어로 VMP)는 1957년부터 액체로켓엔진의 대량생산을 시작했다. 1961년 유리 가가린의 첫 우주비행을 성사시킨 Vostok로켓의 3단 엔진 RD-109의 생산에 참여하였다. 전성기였던 1990년대에는 VMP에서 2만3천명이 매년 250여기의 엔진을 생산했었다. [11]

현재에는 5천여명이 RD-0110, RD-0210, RD-0211, RD-0212, 11D58M 엔진들을 생산하고 있고, 수소엔진인 RD-0146D의 주요 구성품 생산을 위한 작업에 착수했다. VMP는 액체로켓엔진의 생산설비와 함께 시험설비 및 과학연구를 위한 연구실들을 갖고 있다. [12]



그림 14. VMP의 대량생산 엔진

3.3.5 Isayev Chemical Engineering 설계국

Isayev Chemical Engineering Design Bureau (KBKhM)는 1959년 액체로켓엔진을 연구하고 시작했고, 세계 최초로 다단연소엔진을 개발한 곳으로도 유명하다. 현재에는 로켓과 우주선에 장착되는 다양한 상온 및 극저온 추진제를 사용하는 0.5kgf~50tonf급 액체로켓엔진을 설계, 시험, 생산하고 있다.



그림 15. KBKhM의 제작 엔진

3.3.6 R&D institute of Mechanical Engineering (Niimash)

Niimash(기계제작 과학연구소)는 우주선의 비행제어용으로 사용되는 저추력 마이크로 로켓엔진을 생산하는 업체이다. 1958년 설립되었으며, 우랄 산맥 중부의 예카테린부르크에서 북쪽으로 약 120km에 위치해있는 Nizhnyaya Salda시에 위치해 있다. Niimash의 주요 생산품은 아래 표와 같다. [13]

표 3. Niimash의 주요 생산품

우주선용 엔진	마이크로엔진	추진제 및 공압 탱크	솔레노이드 밸브	시험용 엔진
				

3.3.7 Experimental Design Bureau Fakel

Experimental Design Dureau(EDB) Fakel은 1955년 설립되었으며, 우주용 플라즈마 추진로켓엔진(stationary plasma thruster)과 열촉매엔진(thermocatalytic engine)에 특화되어 있다. 플라즈마 엔진의 경우 80년대 초에 헤라클레스 프로그램으로 25kW급 플라즈마 엔진을 개발하여, SPT-50, SPT-60, SPT-70의 대량생산에 들어갔고, 현재에는 15kW급 SPT-230을 개발 중에 있다. 열촉매 엔진의 경우 K-10을 1982년부터 운용하였으며, 현재 K50-10.1, R50-10.5, TK500M과 K50-10.6을 양산 중이다. [14]

표 3. EDB Fakel의 주요 생산품

양산품	플라즈마 엔진	열촉매 엔진
model	СПД-140Д	TK500M
		
Power (W)	4500	
thrust	290 mN	1-7 N
Isp (s)	1770	214~220 (연속) > 170 (임펄스)
durability	4500 h	4~5만회 (반복점화) & 10년
mass (kg)	8.5	0.44
size (mm)	305x249x109	110x129x67
기타	효율 : 55%	추진제 : 하이드로진

4.맺음말

러시아는 우주산업에서 품질저하와 비효율을 제거하고 국제 경쟁력을 확보하고자 조직개편을 단행하였고, 이로써 로켓엔진개발 및 제작 분야에서 Energomash, Proton-PM, KBKhA, Voronezh Mechanical Plant, KBKhM, Niimash 및 EDB Fakel을 아우르는 22,300명의 직원을 갖는 거대

한 통합조직이 탄생하였다. 로켓엔진의 통합조직은 Energomash사의 지휘아래 엔진업체간의 중복기능을 배제함과 동시에 협력관계를 증진하여 러시아의 액체로켓엔진에 대한 개발 및 생산 효율을 높일 것으로 기대하고 있다.

참고문헌

[1] federalspace.ru (2030년까지 Roscosmos의 우주사업에 대한 전략적 발전 계획), 2017.
[2] Solntsev V.L., Radugin I.S., Zadeba V.A., Basic requirements for main engines of advanced liquid-propelled super-heavy launch vehicles, 2015
[3] msk.kprf.ru/2017/03/09/24519
[4] https://www.roscosmos.ru
[5] http://tass.ru/kosmos/4488992
[6] https://lenta.ru/2017/06/25/rd180
[7] http://engine.space
[8] http://tass.ru/kosmos/3749822
[9] http://tass.ru/kosmos/4323053
[10] 3dnews.ru/950554
[11] http://vestivrn.ru/programmy/vesti-intervyu/byivshiy-direktor-voronezhskogo-mehanicheskogo-zavodabudut-esch-avarii-budut-k-sozhaleniyu_2017-1-31_19-30
[12] http://vmzvrn.ru
[14] http://www.fakel-russia.com
[13] http://www.niimashspace.ru