



Manufacturing system research: Space Launch Vehicle (SLV)

202124308 안상현
[생산시스템 설계 및 실행] 중간고사 대체 리포트
산업공학과 M&S Lab



[Index]

1. Introduction: Launch Vehicle (LV)
 - 1.1. The Global space industry and A Launch Vehicle
 - 1.2. Launch Vehicles and history
 - 1.3. Manufacturer
2. Manufacturing system
 - 2.1. Ariane group in EADS astrium of Europe
 - 2.2. Energomash of Russia:
 - 2.3. SpaceX of the United States
 - 2.4. Mitsubishi heavy industry of Japan
 - 2.5. Hanwha aerospace in KAI of Korea
3. Conclusion
 - 3.1. Technologies
 - 3.2. Korea vs. the others
4. References

미국과 중국간 외교적인 문제로 인하여 우리나라의 우주발사체 개발이 보수적으로 이뤄졌다. 한-미 미사일 지침이 종료된 이유도 최근 중국이 달 뒷면 착륙(2019), 화성 도착(2021)의 성과를 이뤄낸 것에 대한 미국의 견제라는 의견이 많다. 이런 까닭으로 미국과 중국 간의 '우주전쟁'에 대한민국은 ICBM(Intercontinental ballistic missile, 대륙간탄도미사일) 개발의 오해를 지우고자 국방부예산(52 조 8401 억원, 2021)과 별도로 우주발사체 예산(1718 억원, 2021)을 우주산업에 책정했다[3]. 2022~2024 년 국방중기계획에서 1 기당 2400 억원의 군 정찰위성을 5 기를 도입[4]하는 것(1 조 2200 억원)과, 12 년 8 개월동안 총 1 조 9,572 억원 예산의 누리호 개발과 비교된다.

1.2. Launch Vehicles and history

우주발사체와 ICBM 은 목적에 따른 구분만 있고 형상에 대한 명확한 구분은 없다. 구분이 없는 배경에는 우리나라를 포함한 세계 항공우주 산업이 군사용 우주기술에서 상업용 우주기술로 확대되었고 그로인해 군사용 우주기술 안에 상업용 우주기술이 부분집합으로 존재하는 형태가 됐다. 그러므로 2021 년 기준 현역 발사체의 정보(발사횟수 기준 Top 15)는 아래 Table 1 과 같다.

Vehicle	Origin	Manufacturer	Series	Orbital launches
<u>Arianace</u> 5 ECA	Europe	EADS <u>Astrium</u>	Ariane	111
Proton-M / M+	Russia	<u>Khrunichev</u>	Proton	108
Falcon 9 Full Thrust	US	SpaceX	Falcon	106
Long March 3B/E	China	CALT	Long March	67
Long March 2C	China	CALT	Long March	64
Long March 2D	China	SAST	Long March	54
Pegasus	US	Northrop <u>Grunmman</u>		44
Long March 4B	China	SAST	Long March	43
Atlas V 401	US	ULA	Atlas V	38
Long March 4C	China	SAST	Long March	36
Soyuz-2.1a	Russia	<u>TsSKB</u> -Progress	Soyuz	33
Soyuz-2.1b	India	<u>TsSKB</u> -Progress	Soyuz	32
Long March 3A	US & New Zealand	CALT	Long March	27
H-IIA 202	Japan	Mitsubishi	H-IIA	26
PSLV-XL	India	ISRO	PSLV	21

Table 1. 2021 년 기준 궤도용 발사체 정보(발사 횟수 기준)

최근 미국에서 떠오르는 블루오리진(CEO: 제프 베조스)은 이름에 없으나, SpaceX(CEO: 일론 머스크)는 2016 년 Falcon 9 로켓 재수거를 성공으로 꾸준한 발사를 이뤄냈고 하나의 발사체로 누적 106 회라는 발사횟수를 기록했다. 본 리포트에서는 발사횟수와 나라를 기준으로 유럽의 EADS Astrium, 러시아의 Khrunichev, 미국의 Space X, 중국의 CALT, SAST, 일본의 Mitsubishi 그리고 한국의 KAI 의 발사체 제조 시스템에 대해 조사했다.

1.3. Manufacturer

EADS astrium:

Airbus SE 혹은 에어버스 그룹에 속한 Airbus Defense & Spaces 이름의 방위산업체로, 에어버스 산하가 되기 전에는 록히드 마틴과 보잉을 견제하기 위해 European Aeronautic Defense and Space company(EADS)의 이름으로 유럽 전체의 항공우주방위사업을 맡고 있다. EADS astrium 은 항공우주사업만을 맡고 있으며 프랑스 Safran 그룹과 같이 Ariane group 이라는 이름으로 Ariane 시리즈의 발사체를 만들고 있다. Ariane group 이 홍보하는 Factory 4.0 은 전세계 factory 를 Connected factory 로 만들어 큰 부품들의 Lead time 을 맞춰 Launch site 의 조립 일정이 틀어지지 않도록 하는 것을 목표로 하고 있다[5].

Khrunichev:

세계 2차 대전에서 소련의 폭격기 생산을 위해 생겨난 회사로 1950 년까지 폭격기를 생성하며 우주발사체 기술을 축적했다. NPO Energomash 가 발사체 엔진만을 담당하고 그 외에 모든 발사체는 Khrunichev 가 담당하고 있다. Sego, Stilleto, UR-200, UR-500 순으로 ICBM 을 개발하다 UR-500 부터는 Proton series 로 이름을 바꿔 Launch Vehicle 로 개발 목적을 변경했다. Reusable rocket 기술은 없으나 Repair engine 기술이 세계적으로 우수하여 2001 년에 최초 발사한 Proton-M 로켓이 2018 년까지 102 회의 발사횟수를 가지고 있다[6]. 끝으로 2017 년 러시아 조직개편을 통해 항공우주사업관련 회사들이 NPO Energomash 로 일원화되었다.

SpaceX:

Space X 는 자체개발한 Merlin engine 으로 분리된 로켓들을 지구로 복귀 시키는 Reusable rocket 기술로 유명하다. 화성이주계획을 실현하기 위해 만들어진 항공우주사업체이며 미국 테슬라 CEO 인 일론머스크가 SpaceX 를 담당하고 있다. 테슬라 공정은 적절한 컨베이어와 AGV 를 이용하여 생산하는 Flowshop 인데 비하여 Space X Launch site 를 포함한 Jobshop 공정을 사용한다[7].

CALT & SAST:

China Academy of Launch Vehicle Technology 를 뜻하는 CALT 는 중국 발사체의 엔진 생산 및 개발을 담당하고 있다. Shanghai Academy of Spaceflight Technology 를 뜻하는 SAST 는 엔진을 포함한 여러 우주항공

전반적인 분야를 맡고 있으며 두 조직 모두 CASC(China Aerospace Science and Technology Corporation)의 자회사이다. SAST 와 CALT 를 CASC 에서 분사하여 다른 경쟁국가에 대응하는 당국의 발사체 생산기술 확보에 집중했고 CALT 와 SAST 는 2014 년 당시 발사체 성공률인 94.6%(누적 204 기의 발사체 중 193 기 성공)를 기록[8], 2018 년은 38 건 발사를 모두 성공하여 연간 세계 최다 발사 횟수와 최고 성공률을 기록했다[9].

Mitsubishi:

2007 년 일본항공우주연구개발기구(JAXA)가 Mitsubishi heavy industry 로 우주산업에 관한 기술이전을 진행한 뒤 H-II 시리즈의 로켓 개발을 담당하고 있다. 한국과학기술정보연구원에 따르면 2021 년까지 일본의 H-IIA, 입실론, SS-520 의 현역 로켓 발사 성공률은 96%로 세계에서 제일 높다.

KAI:

전투기 및 무장 헬기 그리고 로켓을 개발하는 한국항공우주산업(KAI)는 한국항공우주연구원(KARI)과 같이 우주산업 전반적인 분야를 담당하고 있다. 초기 모델 설계는 KARI 와 함께 진행하고 본격적인 차세대 모델 개발과 양산 사업을 진행하며 대표적으로 차세대 중형위성 및 누리호 (KSLV-II) 사업을 맡고 있다. 누리호의 경우 KARI 가 주관연구기관이나 KAI 가 총 조립을 담당했다.

2. Manufacturing system

2.1. Ariane group in EADS astrium of Europe

Ariane group 의 현 제조시스템의 수준을 표현하는 단어는 Digitalization, Augmented reality, Cobots and Additive layer manufacturing 으로 총 4 개이다.

Digitalization:



Figure 2. Digitalization 설명하는 대시보드 source: Ariane group

Data Transformation 을 통해 생산과정을 데이터로 관리하며 MES 시스템의 데이터와 센서데이터를 가공하여 현장 내 모니터링 시스템을 구축했다. 이를 통하여 유럽 전역에 존재하는 사이트에 대해 SCM, 전사적 품질관리를 실시하여 부품 수급, 리드타임 관리, 불량품 개선등을 이뤄냈다.



Figure 3. AGV 를 이용한 물류 이동중 점검 source: Ariane groups

Heavy industry 인 우주산업 특성상 작은 부품들부터 큰 부품 그리고 적합한 Tool 을 특정 간격으로 점검하는 시스템이 있으며 또한 유연한 관리를 위해 Data Transformation, 전산상으로 관리할 수 있다.

Augmented Reality:

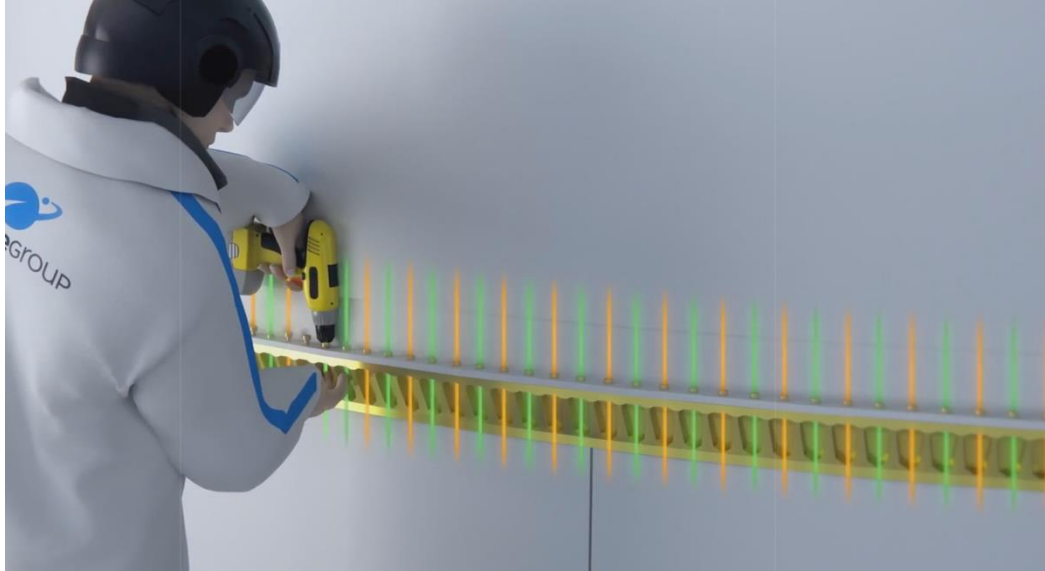


Figure 4. AR 을 이용한 조립 예 source: Ariane group

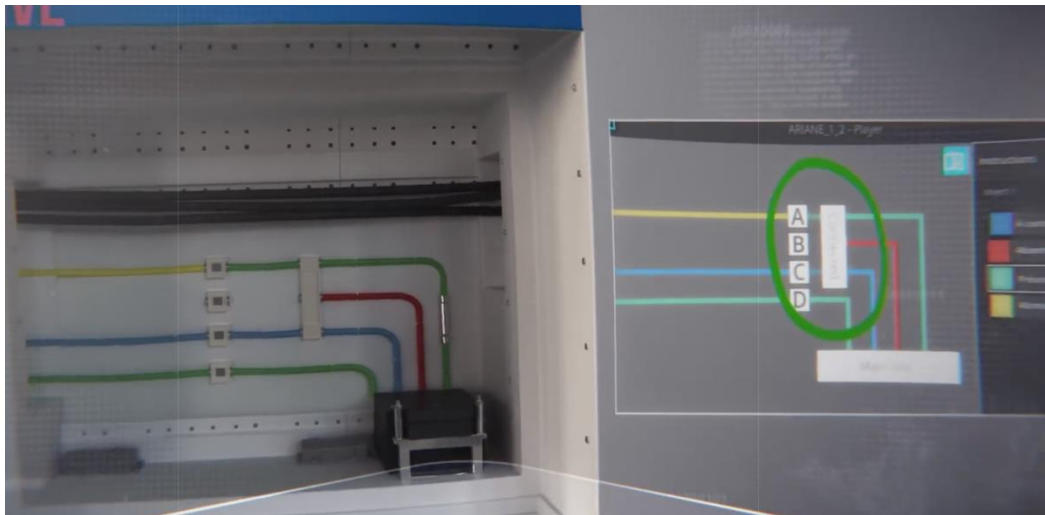


Figure 5. AR 을 이용한 배선 점검 예 source: Ariane group

조립 및 검사 공정에 증강현실을 적용하여 작은 실수로 발생하는 큰 손실을 방지할 수 있다. 휴먼에러를 줄임으로서 현장 전문가의 판단과 ICT 기술을 적절히 혼합하여 제품 완성도를 높인다.

Cobots:



Figure 6. Cobots 을 통한 연료분사기 조립 과정 source: Ariane group

다축로봇은 기본적으로 공정 설비보다 공정 재배치가 쉽고 다양한 기능을 제공한다. 협업로봇은 다축로봇의 장점을 살리고 기존 작업자도 협업로봇을 사용할 수 있도록 사용이 간단하다. 이러한 장점을 살려 Ariane group 에서의 Cobots 은 조립, 운반, 검사 공정에 사용되고 있다.

Additive layer manufacturing:



Figure 7. 3D print 를 이용한 브라켓 생성과정 source: Ariane group



Figure 8. 3D print 를 이용한 연소기 브라켓 생성과정 source: Ariane group

금속 3D 프린터를 이용한 기술은 기존대비 제작비용을 감소시키는 효과를 가지고 있다. Ariane gorup 의 경우 연소기를 1 개로 통합한 인젝터 헤드를 3D 프린팅 기술로 제작하여 기존 248 개의 부품으로 구성된 인젝터 헤드의 비용보다 50% 감축할 수 있었으며 제작시간 또한 감소됐다[10].

2.2. Energomash of Russia:

2017 년 러시아는 본격적인 우주산업 개편안의 목적을 세 가지로 설정했다. 첫 번째로는 선진 생산설비 구축과 전자제품 도입, 두 번째로는 품질 기반 검사 기술 및 모니터링, 마지막으로 품질관리 개선이다[11]. 2015 년부터 보수적인 기술공개로서 공개되진 않았으나, 2020 년 미-러 협약 우주산업 교류에 전반적인 내용중에 미국이 신규 발사체 개발을 통해 여러 고도화 과정을 거치는 동안 교류를 단절했던 러시아의 신규 개발에 대한 우려의 내용이 있다[12].

Russia has many problems developing new spacecraft and launch vehicles to replace the old-fashioned Soyuz. Moreover, during these years, Russia's space industry did not establish any new ties with American companies.

러시아는 소련 붕괴에 따라 카자흐스탄의 독립으로 인한 바이코누르 우주기지 사용권 문제와 더불어 우크라이나 우주 부품 의존 문제, 인재 노출 등으로 우주강국에서 밀려났고 러시아의 우주 개발 예산은 과거의 5 분의 1 정도로 줄었다. 러시아 자체 개발 로켓인 앙가라는 2023 년으로 예정됐고 과거의 우주력을 복구하는데 집중하나, 여전히 타국과의 기술 교류를 제한된 상태로 하고있다[13].

2.3. SpaceX of the United States

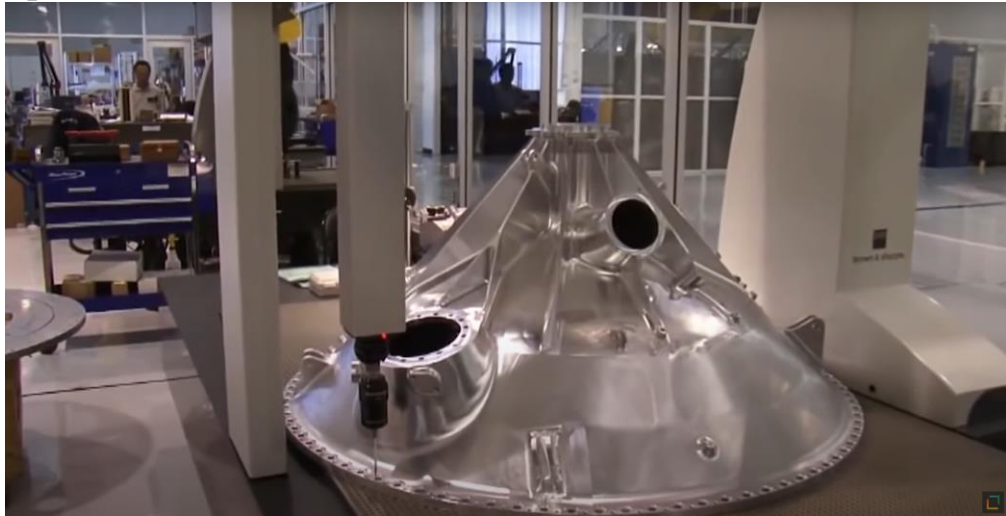


Figure 9. SpaceX의 로봇제어 수준 source: SpaceX

Space X는 25.4 μ m(1/1000 inch) 수준으로 로봇이 제어 가능하다. 일반적인 산업에 사용되는 로봇의 정밀도는 무게에 따라 0.1 μ m ~ 1mm 수준이 보편적이다.



Figure 10. SpaceX의 3D 프린팅 source: SpaceX



Figure 11. SpaceX의 Engine 3D 프린팅 결과 source: SpaceX

SpaceX는 2017년부터 3D 프린팅으로 제작된 엔진으로 발사에 성공했으며 2014년부터 꾸준히 3D 프린팅을 사용했다. SpaceX는 3D 프린팅의 빠른

제작 시간을 활용하여 대부분의 공정에 3D 프린팅 기술을 적용했고 몇 달이 걸리는 부품 가공시간과 조립시간을 줄여 2021 년 현재 SpaceX 발사체의 리드타임은 72 시간이다.

2.4. Mitsubishi heavy industry of Japan



Figure 12. Mitsubishi 의 3D Printing 을 이용한 터보펌프 부품 source: Nikkei
2022 년에 발사될 예정인 H-III 발사체에는 기존 H2A 발사체보다 적은 부품과 간단한 구조를 사용함에도 강력한 성능을 내는 것이 목표이다. 민간 상용 부품 및 기존 발사체 부품 재활용하는 것이 특징이나 더 큰 특징은 3D 프린팅 공정을 최대한 사용하는 것으로 JAXA 는 발표했다. H-III 발사체에는 분사기 배관, 밸브 케이스, 연소기, 텀보 펌프, 분사기를 3D 프린팅 공정으로 제작했으며 2022 년에 발사 결과에 따라 확대 적용할 계획이다[14].

2.5. Hanwha aerospace in KAI of Korea



Figure 13. Hanwha aerospace 의 Digital Twin 과 AGV source: Hanwha aerospace
한화에어로스페이스의 스마트팩토리 구축 세 가지 키워드는 초연결, 실시간, 시각화이다. 초연결은 설비 및 제품에 센서를 부착하고 ERP, MES, SCM 의 데이터와 연동을 통해 모든 대상을 하나로 연결한다. 더 나아가 수집된 데이터의 시간 단위는 실시간이며 대시보드를 통해 현재 상황을 시각화 한다. 2019 년엔 창원에서 시작된 스마트 팩토리를 국내 및 해외

공장으로 확대적용했고 2021 년, 전 세계의 한화에어로스페이스 공장이 데이터로 단일화됐으며, 모든 사이트와 공정이 통합된 스마트 팩토리가 구축되어 있다[15].

무인 자동화 공정으로 구성된 한화에어로스페이스의 스마트팩토리는 유럽, 미국, 일본과는 다르게 엔진제작에 금속 3D 프린팅 기술을 적용하지 않았다. 다만, 무인화 공정에 있는 용접, 가공 다축 로봇들이 설계도에 맞춰 0.01um 의 오차범위로 가공하여 3D 프린팅으로 만든 저비용 엔진 부품과 경쟁이 가능하다[16].

3. Conclusion

3.1. Technologies

조사 결과, Ariane group, SpaceX, Hanwha aerospace 는 Data transformation 을 통한 여러 공정들의 데이터를 통합하여 전사적 운영, 품질관리를 진행했다. 과거에는 데이터가 사이트마다, 공정마다, 심한 경우는 설비마다 존재하여 서로 공유하지 못한다거나 혹은 데이터를 저장하지 않는 수준으로 생산에 대한 문제 발생시 원인을 찾거나 혹은 객관적인 근거를 찾기가 힘들었다. 현재는 통합된 실시간 데이터 관리를 통해 정제된 데이터로 고장을 예지하거나 빠른 원인 분석을 가능케하여 생산성, 품질 모두 개선할 수 있었다.

Mitsubishi, Ariane group, SpaceX 의 사례를 통해 알 수 있는 다른 기술로는 Additive layer manufacturing 이 있다. 높은 정밀도와 복잡한 구조를 요구하는 부품에 대해 비용을 절약했다. 금속 3D printing 기술을 이용하여 제품 모델링 검증을 위한 프로토타입 설계뿐만 아니라 실제 발사체 엔진 및 다른 부품에 적용하여 비용을 절약하고 생산 속도도 향상됐다. 현재 3D printing 기술의 수준은 낮은 추력의 엔진에만 적용할 정도로 큰 부피를 가지는 부품에는 한계가 있다. 다만, 비용이 저렴하고 제작 시간이 짧으며 설계 유연성이 높아 Space X 와 Ariane group 에서는 적극적으로 사용하고 있다.

3.2. Korea vs. the others

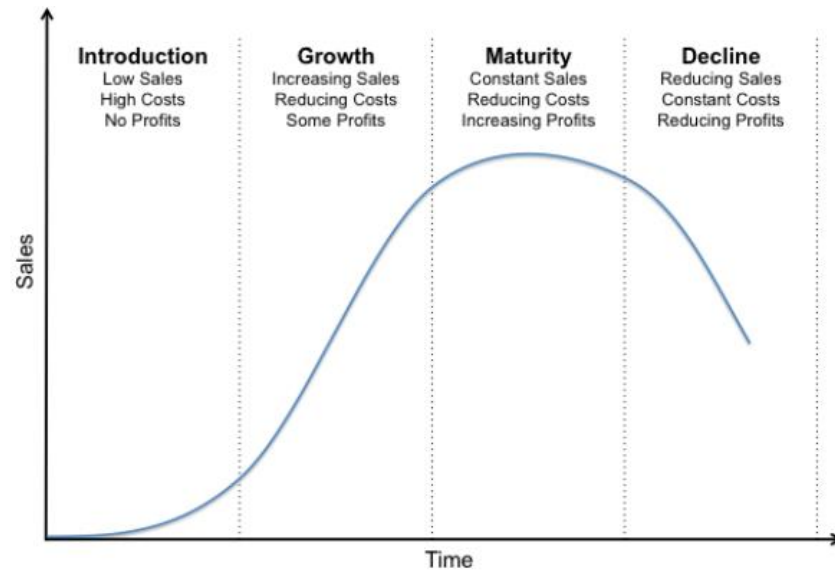


Figure x. 산업의 생명주기

산업의 생명주기를 기준으로 봤을때, 전세계의 우주 발사체 산업은 현재 성장단계라고 볼 수 있다. 세계적으로 연간 발사수는 늘어나고 있으며 대표적으로 2020 년 위성발사 수(1230 회)는 2019 년 위성발사 수(467 회)에 184% 증가했다. 또한 발사체의 3D printing 기술이나 로봇을 이용한 비용절감을 시도하고 있다. 그리고 생산성과 발사성공률이 높아지면서 기업들이 가지는 이익이 늘어나고 이로 인하여 수준 높은 민간 우주업체의 수가 세계적으로 증가하였다. 한 예로 NASA 는 2021 년 현재 크루 드래건 社의 민간 우주선을 사용하고 있으며, 2022 년에는 ISS 로 보낼 위성 또한 위탁으로 전환할 계획이다.

실시간 모니터링 시스템과 Digital Twin 을 전공정에 도입하여 데이터 기반 제조시스템 운영은 한국의 한화에어로스페이스가 본 보고서에서 조사한 세계 우주항공 선도기업들과 경쟁력이 있으나, 성장단계에 맞춰 이익과 수요를 올리기 위해서는 보다 더 높은 비용대비 생산력을 갖출 필요가 있다.

또한 KARI 에서는 대한민국 기술명장이 자동공정없이 수작업으로 조립했다는 홍보[17]에 대해서 제조 산업에 대한 인식의 전환이 필요하다. 현대 제조 산업에서 인간보다 기계가 더 정밀하고 빠르다. 기계가 판단이 빠른 사례로는 1997 년 Deep Blue(IBM)가 체스 세계챔피언을 이겼다[18]. 추론이 더 정확한 사례로는 2011 년 Watson(IBM)이 퀴즈쇼에서 우승했고[19], 2015 년 ILSVRC(ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge)에서 ResNet(MS)이라는 딥러닝 신경망이 사람의 인식률인 94.90%를 약 1.5%를 추월한 96.43%의 인식률로 우승을 했다[20]. 더 나아가

2016 년엔 바둑의 AlphaGo(DeepMind)가 있었고[21] 2020 년엔 이미지 인식률 98.7%를 달성했다[22]. 또한 Space X 는 25um 수준의 로봇 제어를 홍보로 내세웠으나 KARI 에서 홍보하는 기술명장의 검사, 정렬 수준은 어떤 수치적인 실적을 알 수가 없고 이어서 반복 수준도 알 수 없다. 이는 곧 발사체 자체의 신뢰성과 직결된다. 그러므로 한국자체 기술의 발사체를 홍보함에 있어서는 엔지니어의 능력보다 한국 제조 능력을 수치적으로 보여주어 고객이 발사체에 대한 신뢰를 객관적으로 판단할 수 있도록 해야한다.

4. References

- [1] Carissa Christensen, "Space Economy and Investment Trends", *Bryce tech*, 2021.
- [2] "[2021 예산안] 우주 분야, R&D 예산서 유일하게 삭감 칼날." *동아사이언스*, 2020 년 9 월 1 일 수정, 2021 년 11 월 1 일 접속, <https://www.dongascience.com/news.php?idx=39420>.
- [3] 국방부(2020), "2021 년 국방부예산확정", 국방부 보도자료(12 월 2 일자).
- [4] 국방부(2021), "2022~2026 국방중기계획", 국방부 보도자료(9 월 2 일자).
- [5] P. SIMONTACCHI *et al.*, "Prometheus: Precursor of new low-cost rocket engine family," *Proceedings of the 8th European Conference for Aeronautics and Space Sciences. Madrid, Spain, 1-4 July 2019*, Sep. 20AD.
- [6] Alina Shymanska. "Russia's Space Strategy: The Main Tasks of the Space Programme and the Stance on the International Space Agenda" *Korean Journal of International Relations* 59, 4 (2019) : 83-131.
- [7] Papaioannou, Georgios, and Markus Fransson. "A discrete event simulation framework for flexible job-shops with re-entrant flows", *MS thesis*, 2018.
- [8] Im, Jongbin, et al. "Status of Government Space Expenditure in 2014", *Current Industrial and Technological Trends in Aerospace*, 13, 2 (2015) : 3-28.
- [9] "중국, 지난해 가장 많은 발사체 발사." *The Science Times*. 2020 년 1 월 15 일 수정, 2021 년 11 월 1 일 접속, <https://www.sciencetimes.co.kr/news/중국-지난해-가장-많은-발사체-발사/>.
- [10] Keum-Oh Lee, et al. "Technology Trends in Additively Manufactured Small Rocket Engines for Launcher Applications", *Journal of the Korean Society of Propulsion Engineers*, 24, 2 (2020) : 73-82.
- [11] federalspace.ru (2030 년까지 Roscosmos 의 우주사업에 대한 전략적 발전 계획), 2017.
- [12] A. Kassianova *et al.*, "U.S.-Russian Relations." ETH Zurich, 2020.
- [13] O. Drobkova, "Application of ERP-systems for increase of efficiency organization of high-tech production," *MATEC Web of Conferences*, vol. 311. EDP Sciences, p. 02019, 2020.
- [14] "H3 로켓의 제조비용 절감, 핵심은 3D 프린터", *Nikkei*, 2020 년 10 월 19 일 수정, 2021 년 11 월 4 일 접속, <https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/00138/101600651/>.
- [15] "[CASE STUDY] 한화에어로스페이스, 공장 자동화에 ICT 기술 접목...자동화를 넘어 지능화 구현", *Hello T*, 2020 년 2 월 25 일 수정, 2021 년 11 월 4 일 접속, <https://www.hellot.net/news/article.html?no=50621>.
- [16] "[AI 가 미래다]한화그룹, 스마트팩토리로 선제적 대응..."*새로운 10 년 준비*", *Newsis*, 2020 년 1 월 20 일 수정, 2021 년 11 월 4 일 접속, https://mobile.newsis.com/view.html?ar_id=NISX20200116_0000891229.
- [17] "누리호 설계만 12 차례 변경...쉽 없이 달려온 12 년", *SBS*, 2021 년 10 월 21 일 수정, 2021 년 11 월 2 일 접속, https://news.sbs.co.kr/news/endPage.do?news_id=N1006506334.
- [18] Q. Xie, M.-T. Luong, E. Hovy, and Q. V. Le, "Self-Training With Noisy Student Improves ImageNet Classification," *2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. IEEE, Jun-2020.
- [19] Feng-Hsiung Hsu, "IBM's Deep Blue Chess grandmaster chips," *IEEE Micro*, vol. 19, no. 2. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), pp. 70-81, 1999.
- [20] K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun, "Deep Residual Learning for Image Recognition," *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. IEEE, Jun-2016.
- [21] D. Ferrucci *et al.*, "Building Watson: An Overview of the DeepQA Project," *AI Magazine*, vol. 31, no. 3. Association for the Advancement of Artificial Intelligence (AAAI), p. 59, 28-Jul-2010.
- [22] D. Silver *et al.*, "Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search," *Nature*, vol. 529, no. 7587. Springer Science and Business Media LLC, pp. 484-489, 27-Jan-2016.