

우주-해양 분야의 원자력 신산업 전망과 개발전략



황일순
울산과학기술원 석좌교수

- 서울대학교 원자핵공학 학사
- 한국과학기술원 기계공학 석사
- MIT 핵재료공학 박사

- 한국원자력연구원 연구원
- MIT Research Scientist 및 부교수(초빙)
- 세계원전수명관리학회 회장
- 서울대학교 원자핵공학과 명예교수
- '과학의 전당' 설립추진위원
- 한국공학한림원 원로회원

우주-해양 원자력을 지금 시작해야 하나?

원자력은 주변 환경에 영향을 받지 않는 안정적인 에너지원이면서, 에너지 밀도가 높아 막대한 동력으로 독립적으로 가동되어야 할 우주-항공 및 조선-해양산업에 적합한 에너지원이다. 그래서 현재 육상의 원자력 기술들이 애초 60여 년 전 이 두 가지 용도를 위해 개발되었다는 사실은 조금도 이상하지 않다. 최근 들어 이 분야에서 원자력 기술을 한층 더 고도화해야 할 필요성이 대두하고 있다. 바로 탄소중립과 심우주 탐사 때문이다.

현재 항공과 조선-해양산업이 각각 약 3%의 온실가스를 방출하고 있으나 육상의 탄소중립 노력이 결실을 거두게 되면 2050년에는 항공과 해양산업 분야에서 배출하는 CO₂가 전체의 절반에 달할 것이라는 전망도 나오고 있다. 지난 4월의 세계기후정상회의를 전후로, UN산하의 국제민간항공기구(ICAO)와 국제해사기구(IMO)

에 압박이 가해지기 시작하였다. 그간 항공 산업과 조선-해양 산업은 국제운송의 특성 때문에 육상운송과 달리 방출된 온실가스의 국적을 가리기가 쉽지 않아, 2050년까지 50% 감축이라는 다소 느슨한 목표에 머물고 있었기 때문이다.

드디어 세계 굴지의 항공사들과 해운사들이 발 벗고 나서서 2050 탄소중립 달성 계획을 발표하고 있다. ICAO도 신기술, 효율 개선 그리고 수소와 같이 지속가능한 항공연료를 결합하여 목표를 달성할 수 있다고 전망하고 있다. 그러나 안전이 생명인 항공 산업에 기술혁신이 얼마나 빨리 이루어질지 우려하는 시각이 만만치 않다.

머스크, 베이조스 등 기술혁신으로 일어난 재력가들이 우주개발산업과 우주여행산업에 뛰어들어 민간 주도로 달과 화성 탐사의 붐을 일으키고 있다. 자전주기와 공전주기가 같아서 한 달 중 열흘이나 햇빛을 보지 못하는 달이나 썩어 영하 140도까지 내려가고 태양광이 지구보다

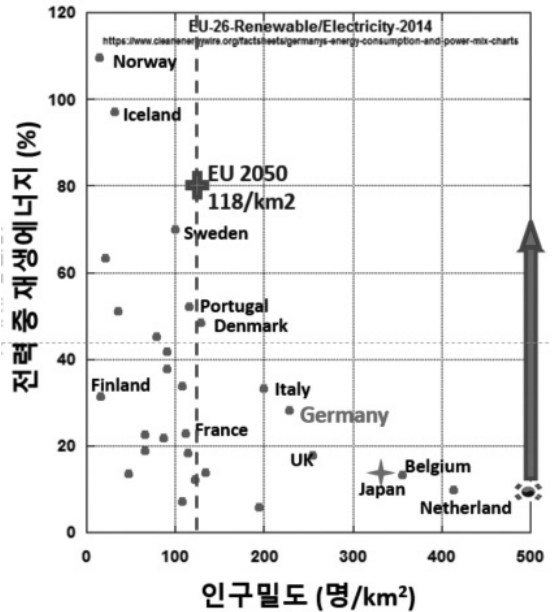
25배나 약한 화성과 같이 극한 환경의 우주개발에는 원자력이 필수적인 에너지원이 될 것이라는 데는 이론의 여지가 없다.

IMO도 지난 6월에 2050년까지 감축 목표를 50%에서 70%로 높였다. 이제, 디젤 선박의 퇴출이 가속되고, LNG 추진선들도 2030년부터 속도를 줄여서 연료 소모를 대폭 줄여야 한다. 드디어 세계 해운 업계와 규제를 맡은 선급(Registrar)들이 수소, 암모니아와 함께 원자력 추진 선박의 필요성을 들고나와서, 해상 CO₂ 방출이 유난히 많은 우리나라를 긴장시키고 있다.

이러한 배경에서 지난 한해 동안 한국원자력산업협회의 후원으로 우주-해양 분야의 원자력 신산업에 대한 미래전망과 개발전략이 도출되었다. 우주, 항공, 조선, 해양 및 원자력 분야를 선도하여 온 산학연 전문가들이 의견을 모으고, 필자가 이를 총괄하였다. 그 결과로써 지난 4월에 '원전정책 미래포럼' 보고서가 발간되었으나, 이후 몇 개월간 꼬리를 물고 나타난 우리 사회의 이슈와 이벤트들은 본고를 통해 우주-해양분야의 원자력산업 개발을 재촉하는 메시지를 새삼 전달해야 하는 이유를 제공하였다.

우주-해양 원자력 산업개발 전망

8월 초에 정부의 2050 탄소중립 전략이 그 윤곽을 드러내었다. 재생에너지로써 일차에너지의 약 50%와 전력의 약 70%를 감당할 수 있다고 했다. 급속한 전환 속에서 인구밀도가 높고



[그림 1] 전력 중 재생에너지 비율과 인구밀도

전력망이 고립된 우리나라는 재생에너지를 확대할 경우, 에너지 비용이 급증하고 환경파괴는 극심해질 것이 불 보듯 하다. [그림 1]에 전력에서 재생에너지가 차지하는 비율을 인구밀도의 함수로 보였다. 유럽연합의 경우, 2050년에 재생에너지를 지금보다 약 15%를 확대하는 계획이지만, 우리는 10배 이상 올리겠다는 것이니 이해하기 어렵다. 나아가 그린 수소의 사용을 일차에너지의 약 1/3까지 올리겠다고 했다.

수소는 해상풍력의 전기로써 바닷물을 전기분해하여 만들고, 부족분은 호주에서 그린 암모니아를 수입하여 수소로 분해하여 사용하겠다는 계획이다. 조만간 호주산 그린 암모니아 가격이 천정부지로 솟아오르게 되었다. 해상풍력의 한계가 곧 드러날 것이기 때문이다. 과거에도 그랬

듯이 환경단체들의 예상이 빗나갈 때 대비하여, 원자력이 준비되어야 한다.

미국은 2024년까지 유인 달 착륙과 2028년까지 달에서의 지속가능한 생존 가능성의 실현을, 그리고 2035년에는 최초의 유인 화성 착륙을 목표로 하는 '아르테미스 프로젝트'에 국제 협력을 확대하고 있다. 미국은 우주 원자력 기술개발을 위한 우주정책훈령-6 및 후속 조치를 공표하여 우주탐사를 위한 원자력 개발에 국제 협력을 허용하는 정책적 기반을 다지고 있으며, 한국도 참여하고 있는 국제우주탐사조정그룹(ISECG)은 우주탐사를 위한 원자력기술개발 로드맵 작성을 수행하고 있다. 지난 5월 말, 한미 양국 정부 간에 미국이 주도하는 아르테미스 협정에 서명하였고 우주공동개발합의가 이루어졌다. 우주 분야에서는 후발주자인 우리도 원자력을 지렛대로 하여 달탐사를 포함한 심우주탐사 시대진입을 위한 교두보로 삼아야 한다.

이러한 전망 속에, 세계 최고의 원자력산업을 가진 우리나라에 우주-해양 원자력 산업은 블루오션이 될 수 있다고 판단된다. 국토가 협소하고 자원이 빈약한 한국에 무한한 미래 가능성을 약속하는 우주, 항공, 조선, 해양 부문에서 2030년까지 최고 성능의 원자력 기술을 접목하여 국제 공동연구의 5대 핵심 국가에 진입하고, 2050까지 우주, 항공, 조선, 해양 부문에서 최고의 산업경쟁력을 확보할 수 있도록, 거대 융복합 기술 기반, 안전 규제 체제, 실증 인프라, 미래혁신 선도인력개발 및 지식 산업 생태계를 구축하는 데

서둘러야 할 것이다.

유망 개발 영역 및 개발 로드맵

소형-초소형 원전 기술의 개발로 우주-해양 분야에 절실한 초장수명 동력을 제공하고, 원자력과 우주-해양 산업간 융복합 체제로 첨단 국가 주력산업을 육성할 수 있다. 이 분야의 산학연 전문가들의 의견 수렴으로 미래 원자력산업으로서 유망하고 우리나라가 경쟁력을 가질 수 있는 기술영역과 이를 토대로 한 기술 및 산업개발 로드맵이 아래와 같이 우주-항공 영역과 조선-해양 영역에 대해 각각 심도있게 도출되었다.

(1) 우주-항공 영역

- (가) 방사성동위원소 발전시스템(RTG)
- (나) kW 및 MW 규모의 전수명식 Heat-pipe 핵분열 발전시스템
- (다) 심우주 개발용 원자력 열추진 기술
- (라) 우주 운항용 전기추진 기술
- (마) 원자력 수소 및 e-Fuel 추진기반의 드론, 개인용 항공기(PAV) 및 대형 민항기
- (바) 우주용 원자력 수소기술

(2) 조선-해양 영역

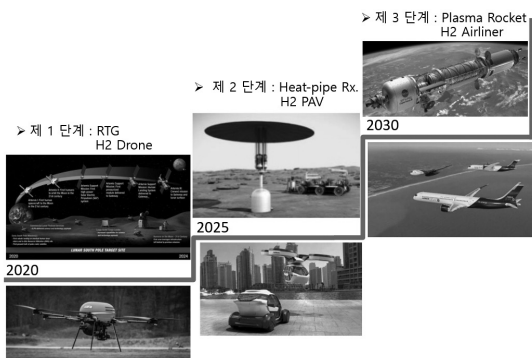
- (가) 파워 Barge선
- (나) 해상 풍력단지과 연계한 수소생산용 원자력 Barge선
- (다) 해양자원 생산용 FPSO 및 OPERA 등 거대 해양개발 원자력산업
- (라) 원자력 추진 해운산업

(마) 원자력 쇄빙선 및 관련 북극항로 산업
(바) 원자력 추진 LNG 수송 잠수선

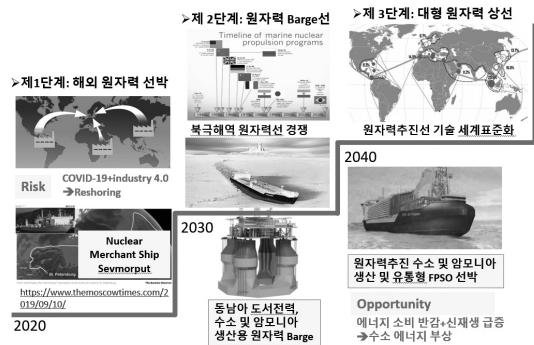
[그림 2]에 보인 로드맵과 같이, 달과 화성에 유인체제를 목표로 한 아르테미스 프로젝트에 한국의 참여기회가 보장되어 있으므로 RTG와 Heat-pipe Reactor 등 초소형 원전의 공동 개발을 통해 원자력 에너지원을 달탐사선이나 달 기지에 공급하는 것을 골자로 하는 구체적인 아르테미스 참여전략이 필요하다.

장기간이 소요되는 플라즈마-전자기 추력기 개발도 산학연 협력으로 본격화할 때다. 한 번의 핵 연료로써 수십 년간 사용이 가능한 초소형 원전은 저농축우라늄 등 핵 비확산 물질로 개발하게 되어 우리나라의 개발과 산업화의 길이 활짝 열렸다.

[그림 3]에 보인 바와 같이, 이미 러시아와 중국이 조선-해양 원자력 기술개발과 이의 산업화에 성공하고 있다. 삼면이 바다면서 북극항로에 가까운 우리나라가 조선강국의 명맥을 유지하려면 시급히 따라잡아야 할 영역이다. COVID-19



[그림 2] 우주-항공 원자력의 단계적 개발을 위한 로드맵



[그림 3] 조선-해양 원자력의 단계적 개발을 위한 로드맵

의 여파로 조선 기자재 공급망이 작동하지 않자, 북유럽의 전통적 해양 선도국들이 자국에 조선-해양산업을 재건(Reshoring)하면서, 이 지역의 원자력 해군기술과 결합하여 원자력 파워 Barge가 미래 산업으로 개발되고 있다.

우리나라는 탄소중립의 위기를 타개하기 위하여 소형/초소형 원자력시스템 개발로 2030년대에 무탄소 부유식 원전과 2040년대에 원자력 추진 선박을 개발하는 것이 필요하다. 이를 활용하여 부유식 해상풍력과 연동하여 저비용 청정 수소를 생산하고 임해산업, 해운, 항공 및 우주 분야의 비전력 에너지 분야에 공급하여야 할 것이다. 나아가 동남아, 남미 등 해양 및 도서국가에 대한 수출산업으로도 매우 유망하다.

우주-해양 원자력 개발전략

1970년대에 성장을 시작한 우리나라의 원자력 산업은 지금까지 급속한 경제성장 속에서 대형원전의 건설, 국산화 및 수출을 중심으로 연구

개발이 이루어져 왔기에 미국, 러시아, 중국 등의 우주-해양-원자력산업 개발을 멀리서 보기만 하여 왔다. 그러나 세계 10대 경제 대국으로 올라서서 탄소중립을 이끌고 나가야 할 지금은 우리의 산업경쟁력 유지하기 위하여 10년 후에 다가올 우주-해양 원자력 시장을 준비하여야 한다.

우리나라는 세계적으로 우수한 원자력과 조선-해양 산업 및 기술이 있고, 우주-항공 산업에도 두각을 드러내고 있다. 이때 육상의 원전산업에만 안주하면 미래 첨단 원자력산업의 기회를 잃어버리게 될 것이다. 정부의 육성 및 규제 부처에서부터 출연연과 산업체에 이르기까지 우주-해양과 원자력 분야 간 융합체계는 인적, 정책/재정적, 국제협력기반 등의 전반에 걸쳐 혁신을 거듭하는 방향으로 재건되어야 한다.

우주 분야 원자력 기술개발의 장기적인 추진을 위해 방사성동위원소 발전 시스템, 핵분열 발전 시스템, 플라스마-전기추진 분야별로 세부 기획이 시급하다. 체계적인 정책 수립을 위한 우주-원자력 전문가 협의체를 설립하여 기술개발 로드맵을 수립하고 국제협력 창구 역할을 맡기고 국제 우주탐사 프로그램에 실질적 참여에 집중하도록 육성하여야 할 것이다.

조선-해양 분야에서 2030년경부터 시장 형성이 예상되는 원자력 파워 Barge 산업과 관련 기술개발에 집중적인 지원이 필요하다. 국내에서 원자력 파워 Barge를 이용한 원자력 수소 및 암모니아의 저비용 생산이 가능하므로 이는 탄소중립을 위한 핵심전략 기술에 포함되어야 할 것

이다. 이를 기반으로 방대한 원자력 조선-해양 산업을 창출하고 국내의 인허가 체계와 개발 기술의 세계 표준화를 꾀하여야 할 것이다.

맺는말

우주-해양-원자력 융복합 기술개발 전략이 준비중인 원자력진흥종합계획의 일부로 수립되어야 한다. 우주-해양-원자력산업 간의 기술 및 인프라 유사성을 토대로 강점 기술영역을 선별하고 이를 집중적으로 개발 및 상용화하기 위한 공통 핵심 요소를 확보할 필요가 절실하다.

최상위의 공통 핵심 요소로 1) 농축도 20% 까지 허용하는 선진 핵연료, 2) 핵연료 주기 기술, 3) AI, 3D Printing, 자율운전, 등 IT, 4) Cyber 핵안보-비확산, 5) 인허가체제 구축, 6) 거대 융복합 실증 시험 단지가 필요하다. 이를 위하여 기술, 정책 및 제도 기획이 원자력진흥종합계획에 반영되어야 한다. 거대 융복합기술이 다학제적 산학연 협력으로 개발되어야 지식 산업 생태계를 구축될 수 있다.

이를 통하여 2030년대부터 원자력산업에 블루오션을 창출하고, 나아가 개발된 혁신 기술이 다시 육상 원자력산업에 접목되어 혁신의 선순환 구조를 만들어 냄으로써, 탄소중립과 심우주 탐사에 성공하고, 이로써 무한한 미래를 펼칠 수 있는 우주-해양-원자력 산업 개발에 우리나라가 하루빨리 나서기를 기대해 본다. **KMIF**