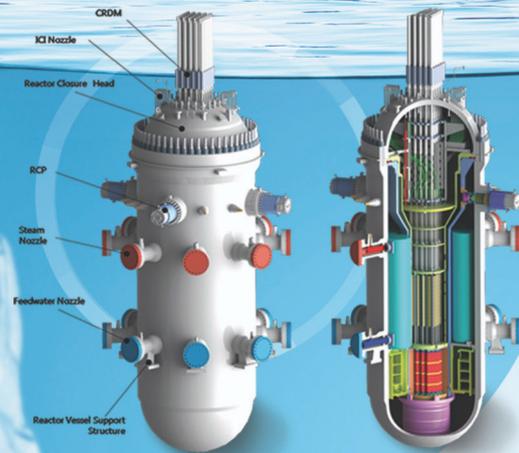
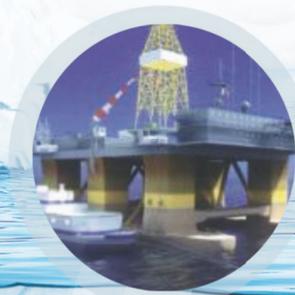


해양-원자력 공동위원회

해양원자력시스템 사업화 방안

● 비즈니스 모델을 중심으로

공동위원장 : 한순홍, 이광원



대한조선학회
www.snack.or.kr



한국원자력학회
www.nuclear.or.kr

해양-원자력 공동위원회를 마치며

한국은 원자력산업뿐만 아니라 조선해양산업 분야에서 명실 공히 세계 최고 수준을 자랑하지만, 이 두 산업의 융복합 산업이라 할 수 있고 새로운 시장을 개척할 수 있는 해양원자력시스템 개발 사업에는 큰 관심을 기울이지 않았다. 해양원자력시스템 개발 사업을 새로운 융복합 산업으로 발전시켜, 국가 신성장 동력으로 자리 매김할 수 있다고 생각하는, 두 분야의 산학연 전문가들이 2012년 5월에 “해양원전 특별위원회”를 원자력학회 산하에 설치하고, 한국형 해양원자력시스템의 개발 방향을 함께 고민하였다. 2013년 8월에는 1년간의 “해양원전 특별위원회” 활동 결과를 요약하여 정리한 “한국형 해양원자력시스템 개발방향 (Ocean Nuclear System Korean R&D Roadmap)”이라는 보고서를 발간하였다.

“해양원전 특별위원회” 활동을 마무리하면서 두 분야의 산학연 전문가들은 원자력산업계와 조선해양산업계 모두 시장추종자(Fast Follower)에서 시장선도자(First Mover)로 도약할 수 있는 과업으로, 한국형 해양원자력시스템의 개발이 필요하다는 공감대를 형성하고 단기 및 중장기 개발 방향을 제시하였다. 2013년 10월에는 한국형 해양원자력시스템 개발을 성공적으로 추진하기 위해, 원자력학회와 대한조선학회 산하에 각각의 특별위원회를 설치하여 이를 공동위원회 성격으로 운영하자는 운영위원들의 의견이 수렴되었다. 이를 토대로 2개월간의 준비 끝에 한국원자력학회와 대한조선학회 공동으로 운영하는 “해양-원자력 공동위원회”가 발족되어 2014년 1월부터 12월까지 1년간의 활동에 착수하였다.

“해양-원자력 공동위원회”는 2013년의 “해양원전 특별위원회” 활동을 계승하여, 2014년 한 해 동안 1) 해양원자력시스템에 적용할 소형모듈원자로(small modular reactor; SMR) 기반의 표준 원자로 개념을 도출하고, 2) 해양원자력시스템 시장(수요)조사 및 연계 핵심기술(부족 기술)을 도출하여, 3) 대형 융복합 국책과제로 공동 추진할 구체적인 비즈니스 모델(Business Model; BM)을 기획하기로 하였다. 이러한 활동 목표에 따라 2014년 5월에 한국해양과학기술협의회 (KAOSTS) 춘계공동학술대회 공동 워크숍으로 “원자력에너지의 해양 분야 활용방안”을 주최하였고, 6월부터 9월까지의 구체적인 해양원자력시스템 비즈니스모델을 도출하기

위하여 양대 학회의 산학연 전문가로 구성된 운영위원들을 착저식, 부유식, 동력선의 3개 분과로 나누어 분과별 기획활동을 전개하였다. 이러한 분과활동 결과를 2014년 10월에 개최된 한국원자력학회 추계학술대회 워크숍에서 “해양원자력 시스템의 비즈니스모델”이라는 제목으로 발표하고 참석자들로부터 폭넓은 의견을 수렴하였다. 이러한 활동 내역들을 모아서 “해양원자력시스템 사업화 방안- 비즈니스모델을 중심으로” 라는 제목의 보고서를 발간하고자 한다.

앞으로 2014년 한 해 동안 “해양-원자력 공동위원회” 활동을 통해 도출된 3가지 비즈니스모델을 심화 발전시키고, 운영위원들의 투표를 통해 선정된 “부유식 해양원자력시스템 비즈니스모델”을 융복합 국책과제로 추진할 실제적인 동력과 기반이 필요하다. 본 공동위원회의 활동 경험을 바탕으로, 양대 학회의 산학연 전문가들과 해양원자력시스템 산업을 새로운 융복합 산업으로 국가의 신성장 동력으로 추진하고자 하는 산업체들이 힘을 모아 구체적인 사업화 방안을 마련하고, 이를 대형 융복합 국책과제 또는 산업체 주도 시범과제로 추진하여, 향후 한국형 해양원자력시스템 개발의 시금석이 되길 희망하는 바이다.

2015. 02.

해양-원자력 공동위원회 일동

공동위원장 : 한순홍 (한국과학기술원)
이광원 (한국전력기술)

간 사 : 박성환 (한국기계연구원)
이필승 (한국과학기술원)
이정익 (한국과학기술원)

운 영 위 원 :

<조선해양>

최익홍 (현대중공업)
서용석 (삼성중공업)
최영복 (대우조선해양)
정태석 (STX중공업)
하태범 (한국선급)
홍사영 (한국해양과학기술원)
조대승 (부산대학교)
강사준 (한국조선해양플랜트협회)
송창용 (목포대학교)
이신형 (서울대학교)
노인식 (충남대학교)

<원자력>

노희천 (한국과학기술원)
최 순 (한국원자력연구원)
김지호 (한국원자력연구원)
염충섭 (고등기술원)
곽병엽 (한국전력기술)
이광호 (한국수력원자력)
김근태 (한국원자력안전기술원)
조창석 (한전원자력연료)
윤병조 (부산대학교)
조형규 (서울대학교)
허균영 (경희대학교)
노명섭 (한전국제원자력대학원대학교)

보고서 초록

본보고서는 해양-원자력 공동위원회가 2014년도에 활동한 내용을 요약한 보고서이다. 해양-원자력 공동위원회는 2012-2013년도에 한국원자력학회 산하에서 활동한 해양원전특별위원회의 활동 결과물을 활용하여, 세 가지 해양원자력시스템 유형인 착저식, 부유식, 그리고 동력선 해양원자력시스템의 비즈니스 모델을 각각 개발하였다. 세 가지 유형의 비즈니스 모델 개발을 통해서 해양원자력시스템의 미래시장에 대한 비전과 시장선도자(first mover)로 도약하기 위한 전략을 구체화하였다.

공동위원회에서는 최종적으로 시장이 빠르게 성장하고 있는 ‘부유식’ 해양원자력시스템을 우선적으로 사업화 할 것을 추천하였으며, 이 결정에 가장 큰 영향을 미친 요인으로 부유식 해양원자력시스템이 구매유도시장(market pull)으로 개발 가능성이 높기 때문이다. 이는 원자력산업계와 조선해양산업계 모두에게 긍정적인 변화를 줄 수 있는 win-win 비즈니스 모델로 평가된다.

해양원자력시스템의 성공적 개발을 위해서는 인허가 관점에서 선제적 대응이 필요하다. 또한 해양원자력시스템은 분명 매력적인 융복합 기술개발 및 신시장 개척 사업이지만, 소수의 산업체가 산업화를 위한 모든 위험(risk)을 감당하기 어렵다. 즉, 해양원자력시스템의 개발은 단순히 산·학·연 차원에서의 기술개발로 끝나는 것이 아니라, 산·학·연·관 모두가 각각의 역할을 적극적으로 그리고 장기적으로 수행해야만 국가의 신성장 동력으로서 해양원자력시스템이 자리매김할 수 있을 것이다. 본 공동위원회에서는 성공적인 해양원자력시스템의 개발을 위해서 사업추진 방식에 대해서도 고민을 하였으며, 더 나아가서 해양원자력시스템 기술개발 사업을 저개발국 원조 측면에서 활용하여 수행할 수 있는 비전도 제시하였다.

해양-원자력 공동위원회에서 발간한 보고서가 조선해양 및 에너지 시장에서 한국의 원자력산업계와 조선해양산업계가 시장선도자로 도약할 수 있는 초석이 되기를 기대한다.

목 차

1. 서론	1
1.1 해양원자력시스템의 비즈니스 모델	1
1.1.1 해양원자력시스템의 개요	1
1.1.2 해양원전 특별위원회 활동	5
1.1.3 해양원자력시스템 비즈니스 모델 개발의 필요성	7
1.2 해양-원자력 공동위원회	8
1.2.1 해양-원자력 공동위원회의 목적	8
1.2.2 해양-원자력 공동위원회의 주요 활동내용	8
1.2.3 해양-원자력 공동위원회 위원명단	9
2. 착저식 해양원자력시스템의 비즈니스 모델	10
2.1 개요	10
2.1.1 비즈니스모델 소개	10
2.1.2 기대효과	16
2.2 필요성 및 시급성	17
2.2.1 필요성	17
2.2.2 시급성	20
2.3 기술현황	24
2.3.1 Adriatic LNG terminal	24
2.3.2 국내 기술현황	26
2.4 기술개발 로드맵	29
2.4.1 조선해양 기술로드맵	29
2.4.2 원자력 기술 로드맵	30
2.5 추진체계 및 전략	34
2.5.1 추진 체계	34
2.5.2 사업추진 전략	35
2.5.3 사업추진 단계	36

2.6 추진예산 및 개발기간	38
2.6.1 연차별 연구내용	38
2.6.2 연차별 연구비	39
2.7 SWOT 분석	40
2.7.1 사업추진의 위험성	40
2.7.2 SWOT 분석결과	41
2.7.3 사업 추진 전략과의 연계	42
3. 부유식 해양원자력시스템의 비즈니스 모델	44
3.1 개요	44
3.2 필요성 및 시급성	47
3.2.1 도서 및 연안지역 전력공급용 부유식 화력발전소 시장동향	47
3.2.2 해양플랜트 동력원 대체 시장 전망	51
3.2.3 소형모듈원자로(SMR) 시장 동향	54
3.2.4 소형모듈원자로 경제성 분석	56
3.3 기술 현황	64
3.3.1 부유식 해양원전(FNPP) 개발 사례	64
3.3.2 부유식 화력발전소(FTPP)의 기술특성	67
3.3.3 부유식 해양원전(FNPP) 개발의 기술적 과제	68
3.3.4 부유식 해양플랜트 공급업체 현황	68
3.3.5 세계 최초의 부유식 해양원전 KLT-40S 기술 특성 및 현안	70
3.4 기술개발 로드맵	73
3.5 추진체계 및 전략	74
3.5.1 비즈니스 모델 도출	74
3.5.2 추진전략 체계	74
3.6 추진예산 및 개발기간	76
3.7 SWOT 분석	77
4. 동력선 해양원자력시스템의 비즈니스 모델	78
4.1 개요	78

4.2	필요성 및 시급성	82
4.2.1	컨테이너선의 대형화, 고속화로 인한 필요성	82
4.2.2	온실가스 규제 강화로 인한 필요성	83
4.2.3	경제적 관점에서의 필요성	86
4.2.4	원자력 추진선 개발의 시급성	95
4.3	기술현황	97
4.3.1	원자력 추진선 개발 현황	97
4.3.2	SMR 개발 현황	99
4.3.3	원자력 추진선 기술 현황에 대한 요약	102
4.4	기술개발 로드맵	103
4.4.1	조선해양 기술로드맵	103
4.4.2	원자력 기술로드맵	104
4.5	추진체계 및 전략	107
4.6	추진예산 및 개발기간	110
4.7	SWOT 분석	111
4.7.1	사업추진의 위험성	111
4.7.2	SWOT 분석결과	112
5.	해양원자력시스템의 사업화 방향에 대한 제언	114
5.1	유형별 비즈니스 모델 요약 및 사업화 우선순위	114
5.1.1	착저식 해양원자력시스템	114
5.1.2	부유식 해양원자력시스템	115
5.1.3	동력선 해양원자력시스템	116
5.1.4	사업화 우선순위	117
5.2	사업추진체계	118
5.3	인허가 필요사항	122
5.4	경제성 및 시장 분석	126
5.4.1	경제성 확보 전략	126
5.4.2	경제적 타당성 분석	128
5.4.3	시장성 분석	129

5.5 국고지원 필요성 및 방향	132
5.6 저개발국 지원을 통한 기술개발	134
5.6.1 소형모듈형원자로를 이용한 해양원자력플랜트의 장점	134
5.6.2 실증로 건설 비용의 문제	136
5.6.3 한국의 저개발국 지원 자금 현황	136
5.6.4 저개발국 지원 자금의 활용을 통한 실증로 건설 방안	139
6. 결론	141
7. 참고문헌	143
부록 (1)	145
부록 (2)	165
부록 (3)	169

표 목 차

표 2.2-1 세계 원자력발전소 현황(출처:IAEA PRIS, 2014년 5월 기준)	21
표 2.2-2 2013~2014년도 원전 주요 동향	22
표 2.2-3 원자로 생산 원천기술 현황(출처:KEPCO,2008)	23
표 2.3-1 UAE 원전 수출 사업에 대한 국내 기업 Value Chain 현황	26
표 2.5-1 세부 추진 기관별 역할	35
표 2.6-1 연차별 연구개발 목표 및 내용	38
표 2.6-2 연차별 연구비와 연구인력	39
표 4.1-1 단계별 개발내용 및 개발기간	80
표 4.2-1 경제성 평가 수행을 위한 두 가지 Case의 예시	87
표 4.2-2 Case 1, 2에 따른 Diesel ship 과 Nuclear ship 의 단가추정 결과 비교 ...	90
표 4.2-3 투자 대비 경제성 평가	94
표 4.3-1 세계 각국의 원자력선 현황	98
표 4.3-2 세계 각국의 SMR 개발 현황	100
표 4.6-1 추진 예산 및 개발 기간	110
표 5.6-1 한국의 2005년 ~ 2012년 사이의 연도별 ODA 규모와 지원 분야	137

그림 목 차

그림 1.1-1 해양원자력시스템의 다양한 개념들	2
그림 1.1-2 착저식 해양원자력시스템 개념	2
그림 1.1-3 착저식 원자력 발전소의 쓰나미에 대한 저항성	2
그림 1.1-4 해양자원 분포도	3
그림 1.1-5 부유식 생산저장하역설비(FPSO) 개념도	4
그림 1.1-6 북극항로	4
그림 1.1-7 한국형 해양원자력시스템 개발 장기 로드맵	6
그림 2.1-1 모듈화 개념도	11
그림 2.1-2 착저식 원자력 발전 시스템	11
그림 2.1-3 피동안전 시스템	12
그림 2.1-4 지진, 쓰나미에 대한 우수한 안전성능	13
그림 2.1-5 착저식 해양 원자력 시스템의 설치 과정	14
그림 2.1-6 착저식 해양 원자력 발전 잠재 수요 국가	15
그림 2.2-1 세계 원자력 발전소 현황	21
그림 2.3-1 (좌)건설거 건설, (우)중력식 구조물 콘크리트 타설과정	24
그림 2.3-2 LNG 탱크 설치 과정	25
그림 2.3-3 중력식 구조물에 LNG 관련 설비를 설치 과정	25
그림 2.3-4 (좌)예인 과정, (우)설치 완료	25
그림 2.3-5 국가별 원전 운영 역량 비교(자료 : 한국전력)	26
그림 2.3-6 육상 원전에 새로운 일반 배치도를 적용한 개념도	27
그림 2.3-7 모듈화된 해양 원자력 시스템 개념도	28
그림 2.4-1 조선·해양 기술 로드맵	32
그림 2.4-2 원자력 기술 로드맵	33
그림 2.5-1 정부주도 사업추진 체계	34
그림 2.5-2 비즈니스 사업 모델의 목표	36
그림 2.5-3 사업단계별 사업 추진 전략 및 세부 내용	37
그림 2.7-1 SWOT 분석 항목 파악	42
그림 2.7-2 SWOT 분석과 사업추진전략의 연계	43
그림 3.2-1 해외 Diesel Power Barge 운용 현황	48
그림 3.2-2 해외 Gas Turbine Power Barges 운용 현황	48

그림 3.2-3 대우조선해양(DSME)의 BMPP 개념도	49
그림 3.2-4 폴라리스 컨소시엄이 개발할 이동식 발전선 개념도	51
그림 3.2-5 해양플랜트 세계 시장 규모 전망	51
그림 3.2-6 해양 에너지공급 정거장 OPERA 개념도	53
그림 3.2-7 선박용 에너지공급 정거장 개념도	53
그림 3.2-8 미국 내 노후 화력발전소 분포도	54
그림 3.2-9 초소형 SMR 수요 후보 지역인 북미 극지 고립지역	55
그림 3.2-10 국제 청정에너지 수요 전망과 원자력에너지 기여 전망	55
그림 3.2-11 균등화 전기생산단가(LCOE) 산정방법	57
그림 3.2-12 SMR의 규모의 경제 불이익 만회 개념: 대량생산의 경제개념	57
그림 3.2-13 Top-down Scaling 방법에 의한 SMR LCOE 추정과정	58
그림 3.2-14 주요 SMR 개발현황과 출력 조합별 균등화 전기생산단가 비교	59
그림 3.2-15 타 전력원 대비 SMR 경제성 비교	60
그림 3.2-16 타 전력원 대비 다양한 SMR 모델들의 가격 경쟁력	61
그림 3.2-17 육상용 대비 부유식 SMR의 건설단가 경쟁력 비교	62
그림 3.2-18 복합 발전에 따른 SMR 가격 경쟁력 제고	63
그림 3.3-1 KLT-40s 개념도 및 건조 진행사항	64
그림 3.3-2 러시아 부유식 해양원전 시장 전망 WNN 기사	65
그림 3.3-3 FlexBlue 개념도 및 설계 사양	66
그림 3.3-4 KLT-40S 모델의 구획 배치 개념 (격벽 구조)	71
그림 3.3-5 KLT-40S 모델의 원자로 구성	71
그림 3.3-6 자기보호 및 자율운전 설계개념	72
그림 3.3-7 KLT-40S의 능동 및 피동 안전계통 혼용 설계 개념	72
그림 3.4-1 부유식 해양원전 핵심기술 분류	73
그림 3.5-1 FNPP 개발 비즈니스 모델	74
그림 3.5-2 FNPP 개발사업 추진전략	75
그림 3.5-3 FNPP 개발 사업추진체계	75
그림 3.6-1 단계별 사업 추진전략 및 소요기간	76
그림 3.7-1 FNPP 개발사업 SWOT 분석	77
그림 4.1-1 동력선 해양 원자력 시스템의 비즈니스 모델 개요	81
그림 4.2-1 컨테이너선의 대형화, 고속화에 따른 디젤 엔진의 한계	82
그림 4.2-2 선박의 대형화 추세	83
그림 4.2-3 선박 종류에 따른 CO2 배출량 비교	84

그림 4.2-4 SOx 배출 규제	85
그림 4.2-5 동력원별 Life-cycle 비용의 현재가 분석 [15]	86
그림 4.2-6 Container ship의 예상 운항 경로	87
그림 4.2-7 Case I의 경제성 평가 결과: 연료 가격에 따른 원자력 추진 선박의 경제성 민감도	91
그림 4.2-8 Case I의 경제성 평가 결과: 연료 가격에 따른 원자력 추진 선박의 경제성 민감도	91
그림 4.2-9 Case I의 경제성 평가 결과: 원자로 및 연료 가격에 따른 원자력 추진선의 경제성 민감도	92
그림 4.2-10 Case II의 경제성 평가 결과: 원자로 및 연료 가격에 따른 원자력 추진선의 경제성 민감도	93
그림 4.3-1 원자력 추진 상선인 미국의 Savannah호	97
그림 4.3-2 Westinghouse의 IRIS 개념도	100
그림 4.3-3 Bobcock & Wilcox의 mPower 개념도	101
그림 4.3-4 NuScale Power의 NuScale 개념도	101
그림 4.3-5 KAERI의 SMART 개념도	102
그림 4.4-1 조선해양 기술 로드맵	105
그림 4.4-2 원자력 기술 로드맵	106
그림 4.5-1 원자력 추진선 개발 사업을 위한 추진 체계(1/2)	107
그림 4.5-2 원자력 추진선 개발 사업을 위한 추진 체계(2/2)	108
그림 4.8-1 원자력 추진 선박 SWOT 분석	113
그림 5.1-1 착저식 해양원자력시스템의 비즈니스 모델 개요	114
그림 5.1-2 부유식 해양원자력시스템 개발사업 비즈니스 모델	115
그림 5.1-3 동력선 해양원자력시스템의 비즈니스 모델 개요	116
그림 5.2-1 부유식 해양원자력시스템 사업추진체계	120
그림 5.2-2 부유식 해양원자력시스템 기술별 업무분장	121
그림 5.6-1 대형 원전과 SMART의 비교	135
그림 5.6-2 한국 대형 중공업사의 해양플랜트 수주액과 영업이익 추세	135
그림 5.6-3 한국국제협력단(코이카·KOICA)의 홈페이지	138
그림 5.6-4 기획재정부의 대외경제협력기금 지역별, 분야별 재정 규모	139
그림 5.6-5 북한 원산 해역에 제안된 해양원자력플랜트의 일반배치	140

1. 서론

1.1 해양원자력시스템의 비즈니스 모델

1.1.1 해양원자력시스템의 개요

우리나라는 조선해양산업 부분에서는 명실 공히 세계 최고 수준을 자랑하는 강국이며 원자력 산업기술도 세계수준으로 올라섰다. 그러나 우리나라는 세계적으로 인정받는 원자력과 조선해양 기술 강국임에도 불구하고 역사적으로 해양환경에 적합한 원자력시스템 개발을 진지하게 시도한 적이 없었다.

실제로 원자력 공학은 해양이라는 극한환경에서 원자력 에너지를 활용하기 위해서 시작되었기 때문에 원자력 공학과 산업 자체가 해양과의 융합을 통해서 시작되었다고 해도 과언이 아니다. 그렇기 때문에 현존하는 대부분의 원자력 기술을 보유하고 있는 국가는 군사적으로나 또는 민간 목적으로 해양 환경에 적합한 원자력시스템을 설계 및 제작해 본 경험을 가지고 있다. 따라서 이제는 우리나라에서도 해양원자력시스템 기술개발에 대해서 관심을 가져서 기술을 축적하고 더 나아가서 우리나라 미래의 신성장 동력을 두 기술의 융합을 통해서 확보할 때이다.

해양에서 원자력 에너지를 활용하는 방법은 크게 세 가지 종류로 나누어 볼 수 있다.

- 원자력 에너지를 선박의 동력원으로 활용하는 방식
- 부유체(e.g. 바지선이나 대형해양플랜트) 위에 원자력시스템을 건설하여 근해나 원양에서 주변에 에너지를 공급하는 부유식 원자력 해양플랜트 방식
- 해양의 고정식 구조물을 이용한 착저식 해양플랜트 방식

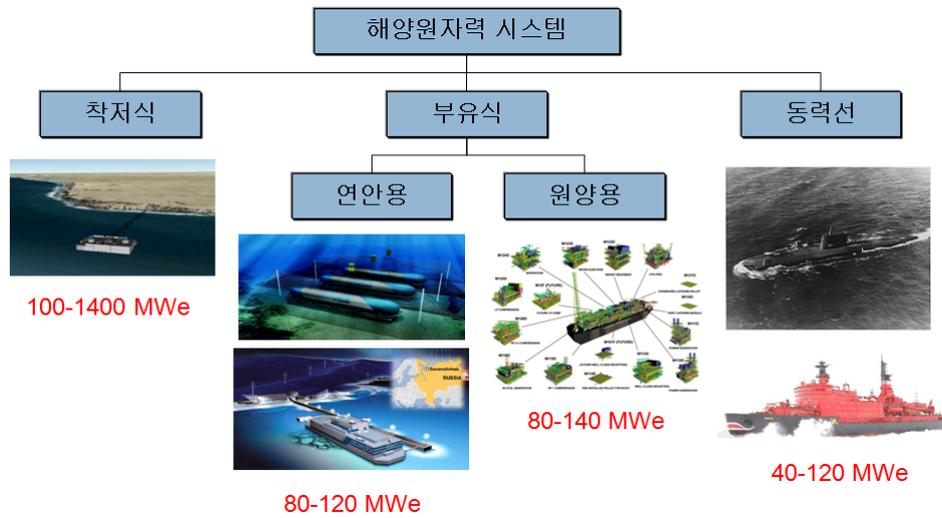


그림 1.1-1 해양원자력시스템의 다양한 개념들

착저식은 그림 1.1-2와 같이 대형원자력 발전소부터 중소형원자력 발전소까지 중력기반 거대 해양구조물 (Gravity-Based Structure; GBS) 건설 방법과 유사하게 대형 Dock에서 발전소 건설을 완료하고 연안까지 이동하는 형태로 국내에서 처음으로 제안한 해양원자력시스템이다. 특히 착저식 해양원자력시스템은 쓰나미와 같은 자연재해로부터 안전성을 확보할 수 있기 때문에 후쿠시마와 같은 사고의 재발을 방지할 수 있는 기술이기도 하다.

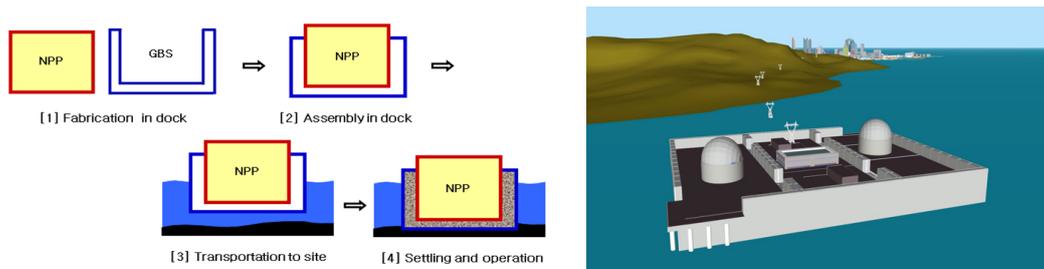


그림 1.1-2 착저식 해양원자력시스템 개념

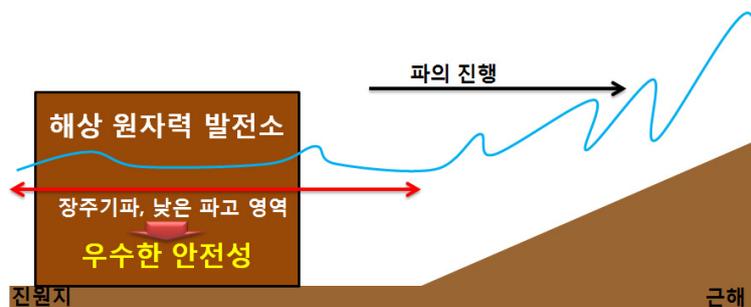


그림 1.1-3 착저식 원자력 발전소의 쓰나미에 대한 저항성

부유식 해양원자력시스템은 착저식과 달리 연안이나 원양에서 Barge나 선박에 원자력시스템을 탑재하고 주변 시설에 전력을 공급하는 형태이다. 특히 부존자원이 부족한 우리나라에서는 원양에 있는 자원개발이 중요해지며, 이런 원양에서 자원을 개발하기 위해서는 안정적인 에너지 공급이 중요하기 때문에, 원자력시스템과 같이 장시간 안정적으로 에너지를 공급할 수 있는 시스템이 좋은 대안이 될 수 있다.

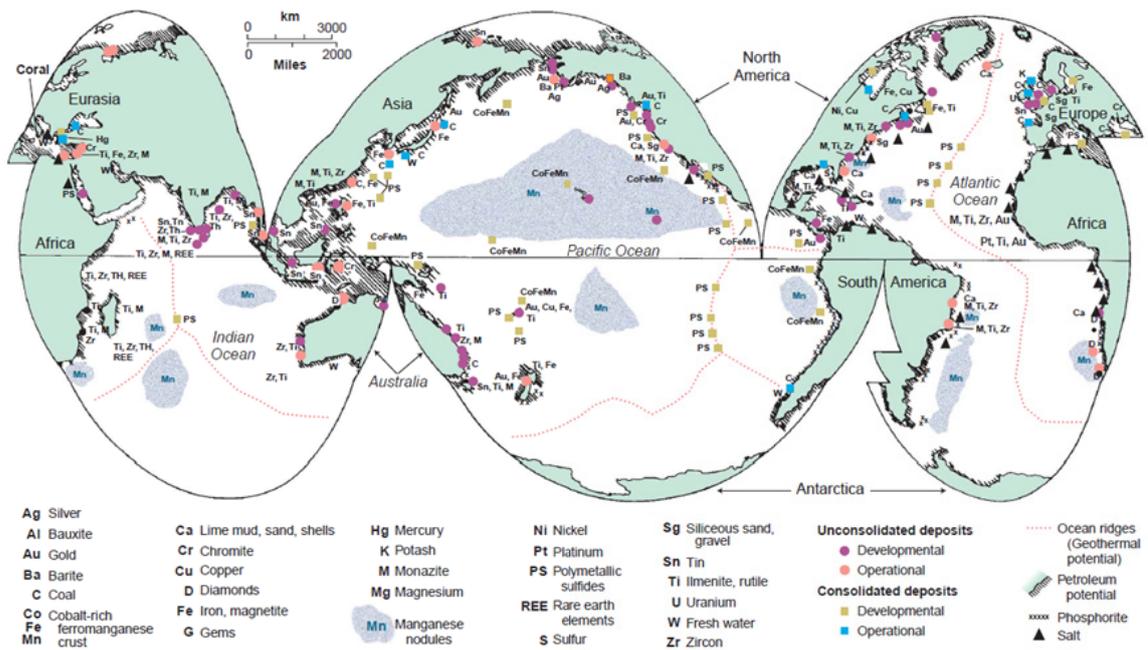


그림 1.1-4 해양자원 분포도

최근에 조선해양업계에서 주목하고 있는 자원개발 기지의 형태가 원유나 천연가스를 원양에서 채굴하여 정제하고 이를 저장하였다가 수송선으로 이송하는 기능을 담당하는 부유식 생산저장하역설비(Floating Production Storage and Offloading; FPSO)가 이런 소형 원자력시스템과 결합하였을 때 좋은 모델이 될 수 있어서, FPSO에 원자력시스템을 탑재하는 것에 대한 연구가 시작되었다. FPSO와 같이 석유나 천연가스를 원양에서 채굴하는 해양플랜트 경우에도 많은 전력 소모가 필요하게 되며, 이를 장기적으로 안정적인 연료공급이 가능한 원자력 에너지로 대체한다면 해양플랜트의 경제성도 향상시킬 수 있다.

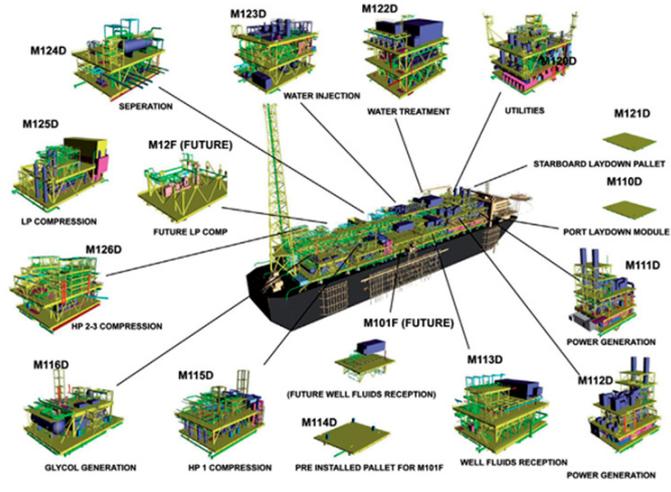


그림 1.1-5 부유식 생산저장하역설비(FPSO) 개념도

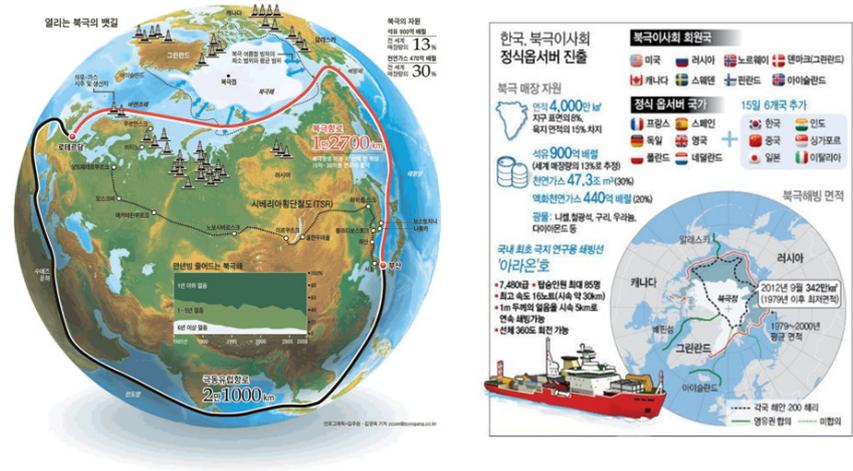


그림 1.1-6 북극항로

원자력 추진선의 경우 현재 상선이 다니고 있는 항로에 적용하기 보다는 앞으로 개발하게 될 신항로인 북극항로 적용성 측면에서 개발을 진행하여야 한다. 특히 북극항로는 기존의 아시아로부터 유럽까지의 항로를 1/3 이상 단축하는 항로이면서 동시에 러시아의 원자력 쇄빙선이 이미 항해를 하는 항로여서 원자력 추진선에 대한 주민수용성 문제는 거의 없을 것으로 예상된다. 원자력 상선이 경제성을 가지기 위해서는 이와 같은 항로에 대한 경제성을 고려하여 기술 개발을 해야 하며, 기존 연구결과에서 알 수 있듯이 원자력 추진선은 전체 다른 에너지원을 사용하는 선박에 비해서 수명기간동안의 비용 측면에서 경제적이며, 이산화탄소 배출이 없기 때문에 미래 선박의 대안이 될 수 있다.

1.1.2 해양원전 특별위원회 활동

한국형 해양원자력시스템의 성공적 개발을 위해서 원자력 및 조선해양 산학연 전문가들이 원자력학회 산하에 해양원전 특별위원회를 2012년 5월 22일에 설치하여 2013년 5월 31일까지 활동하였다. 해양원전 특별위원회의 주요 활동 결과물은 다음과 같다:

- 원자력산업과 해양산업의 융복합을 통해 신성장 동력 아이템 개발
- 원자력시스템의 해양응용방안에 대한 검토
- 해양원자력시스템 필수요건 도출
- 필수요건을 달성하기 위한 기술적 난관 및 해결방향 제시
- 해양원전 개발을 위한 마일스톤 및 로드맵 작성

해양원자력시스템 개발을 성공적으로 수행하는데 극복해야 할 장애 요인은 다음과 같은 것이 도출되었다.

- 조선해양산업에서 일반적인 제품개발 방식과 원자력산업에서 제품개발 방식이 현저하게 다르기 때문에 접근 방법과 현명한 커뮤니케이션을 통해서 문제해결 필요
- 조선해양산업에서의 인허가 절차도 설계요건과 마찬가지로 다르기 때문에 이러한 새로운 시스템에 대한 인허가에 대해서도 해양원자력시스템 개발을 추진하기 전에 검토 필요
- 사용후 핵연료 문제와 해양법과 관련한 국제법상의 한계도 성공적 개발의 장애 요인이므로 이를 극복하기 위한 노력 필요

해양원전 특별위원회에서는 위에서 언급한 사항을 고려하여 원자력산업과 조선해양산업의 전문가들이 모여서 기술적 도전, 산업적 가치, 경제성, 사회적 수용성 등 다양한 차원에서 논의를 하였다. 논의를 통해서 도출된 결론과 성공적인 한국형 해양원자력시스템 개발 로드맵은 다음과 같다.

해양원자력시스템의 활용 방식에 따른 필요 발전량과 원자로 유형을 검토하여

본 결과, 대부분 150MWe 이하의 소형원자로가 요구되며, 단기적으로 제3세대 (Gen.III) 경수로 기반 소형모듈원자로를 먼저 개발하여 해양시스템에 접목시키고, 중장기적으로는 제4세대(Gen.IV) 고온가스냉각로를 접목하는 것이 바람직하다는 결론을 얻었다.

기술적 불확실도와 경제성 및 사회적 수용성 등 다양한 문제를 검토한 결과, 이러한 현안을 비교적 쉽게 해결할 수 있는 착저식 또는 부유식 해양원전 개발사업을 우선적으로 실행하여 해양원자력시스템 개발 경험과 역량을 축적하는 것이 바람직하다고 생각하였다. 이는 비교적 개발이 용이한 해양원자력시스템부터 시작해서 기술적으로나 사회적 수용성 측면에서 개발이 어려운 것은 점진적으로 단계별로 추진하는 전략이다. 따라서 원양에서 사용되는 해양원자력시스템과 선박 추진용 원자력시스템에 대한 개발은 마지막 단계로 추진하는 것이 바람직하다. 해양원자력시스템 개발산업은 국가의 신성장 동력으로 새로운 시장을 개척하여 시장선도자 (first mover)로 도약하기 위한 도전적 시도이므로, 이러한 융복합산업이 성숙되기 전까지는 정부의 장기적이면서 적극적인 지원이 필요하다. 아래 그림에서 이러한 한국형 해양원자력시스템 개발 장기 로드맵을 도식화하고 있다.



그림 1.1-7 한국형 해양원자력시스템 개발 장기 로드맵

1.1.3 해양원자력시스템 비즈니스 모델 개발의 필요성

2012년에서 2013년까지 1년간의 해양원전특별위원회 활동을 통해서 한국형 해양원자력시스템 개발 방향에 대해 여러 방면에서 검토를 수행하였다. 하지만 해양원전특별위원회의 활동은 주로 원자력 기술의 조선해양산업과의 융합에 중점을 두었고, 실제로 수요가 창출될 수 있는 조선해양산업계의 충분한 의견이 반영되지 않은 한계점이 존재하였다. 따라서 해양원자력시스템이 향후 국가의 신성장동력으로 자리매김하기 위해서는 해양원자력시스템이 신시장을 창출할 수 있다는 시범적인 비즈니스 모델 개발이 필요하게 되었다. 따라서 해양원자력시스템의 시범적인 비즈니스 모델은 해양원전특별위원회에서 수행한 활동결과물을 참고하여 착저식, 부유식, 동력선 해양원자력시스템으로 나누어 개발하기로 하였다.

착저식, 부유식, 동력선에 적용되는 기술에는 공통기술과 차별화된 기술이 있으며, 각각의 개발된 비즈니스 모델에 따라서 기술 간의 연계성 및 시장 간의 연계성도 함께 검토하여야 한다. 즉, 심화된 해양원자력시스템 개발에 대한 비전과 계획을 수립하기 위해서는 우선적으로 각각의 비즈니스 모델에 대한 검토가 필요하다. 이를 위해서는 원자력 학회산하 특별위원회보다 조선해양산업과 연관된 학회와 원자력학회가 공동위원회를 설립하여 해양원자력시스템의 시범적 비즈니스 모델들을 3가지 적용분야별로 각각 도출하고 심화기획 과정을 거쳐 완성하기로 하였다.

이런 배경으로 2014년 1월 1일부터 12월 31일까지 한국원자력학회와 대한조선학회는 공동으로 해양-원자력 공동위원회를 설립하여 해양원자력시스템의 비즈니스 모델 개발 및 검토를 진행하였다.

1.2 해양-원자력 공동위원회

1.2.1 해양-원자력 공동위원회의 목적

- 해양원자력시스템의 비즈니스 모델 개발
- 해양원자력시스템 시장(수요)조사 및 조선해양분야 연계 핵심기술 도출
- 소형모듈형원자로(small modular reactor)에 기반을 둔 해양용 표준원자로 개념 도출

1.2.2 해양-원자력 공동위원회의 주요 활동내용

모임명	일시	장소	활동내용
-	14. 1. 1.	-	해양-원자력 공동위원회 원자력학회 및 대한조선학회 산하 공동 설치
1차 회의	14. 2. 5.	서울 대한조선학회	Very Large Floating Structure 및 Small Modular Reactor 기술검토
2차 회의	14. 4. 1.	대전 원자력학회	2013 해양원전특별위원회 활동 리뷰 및 분과구성안 도출
한국해양과학기술 협의회 추계 워크숍	14. 5. 23.	부산 BEXCO	원자력에너지의 해양분야 활용방안
3차 회의	14. 6. 3.	부산 한국선급	분과구성 확정 및 분과활동계획 도출
분과개별활동	14. 6. - 14. 8.	-	착저식, 부유식, 동력선 분과별 개별활동
4차 회의	14. 9. 16.	대전 원자력학회	분과별 비즈니스 모델 발표
한국원자력학회 추계 워크숍	14. 10. 29.	평창 휘닉스파크	분과별 개발된 비즈니스 모델 발표 및 학회의견수렴
현직 및 전임 회장단 회의	14. 11. 12	한국과학 기술원	해양-원자력 공동위원회 활동방향 및 공동위원회 이후의 활동방향 토의
5차 회의	14. 12. 11	대전 원자력학회	최종보고서 초안 검토 및 공동위원회 이후의 활동에 대한 운영위원 의견 수렴

1.2.3 해양-원자력 공동위원회 위원명단

<한국원자력학회>

성함	소속기관	공동위원회 참여유형	비즈니스 모델 개발참여
이광원	한국전력기술	위원장	부유식
이정익	한국과학기술원	간사	착저식
노희천	한국과학기술원	운영위원 12명	부유식
최 순	한국원자력연구원		동력선
김지호	한국원자력연구원		동력선
염충섭	고등기술원		동력선
곽병엽	한국전력기술		부유식
이광호	한국수력원자력		착저식
김근태	한국원자력안전기술원		부유식
조창석	한국전력원자력연료		부유식
윤병조	부산대학교		동력선
조형규	서울대학교		동력선
허균영	경희대학교		착저식
노명섭	한전국제원자력대학원대학교		동력선
엽학기	에너지기술평가원	옵저버	-
김진일	전략기획단	2명	-

<대한조선학회>

성함	소속기관	공동위원회 참여유형	비즈니스 모델 개발참여
한순홍	한국과학기술원	위원장	착저식
박성환	한국기계연구원	공동간사 2명	부유식
이필승	한국과학기술원		착저식
최익홍	현대중공업	운영위원 11명	착저식
서용석	삼성중공업		부유식
최영복	대우조선해양		동력선
정태석	STX 중공업		동력선
하대범	한국선급		부유식
홍사영	한국해양과학기술원		부유식
조대승	부산대학교		동력선
강사준	한국조선해양플랜트협회		동력선
송창용	목포대학교		동력선
이신형	서울대학교		동력선
노인식	충남대학교		부유식
이공훈	산업기술평가원	옵저버	-
정 호	한국과학기술원	2명	-

2. 착저식 해양원자력시스템의 비즈니스 모델

2.1 개요

2.1.1 비즈니스모델 소개

원자력 기술의 다양한 활용이 요구되고 있는 측면에서 보면 우리나라의 원자력 기술은 경험 및 기반 기술에서 아직 부족한 상태이다. 착저식 해양원자력 발전 시스템은 원자력 활용 및 다변화에 대한 제반 기술로써, 우리나라 원자력 수출의 활력이 될 수 있다.

가. 기본개념

착저식 해양 원자력 발전 시스템은 대형원자력 발전소부터 중소형원자력 발전소까지 중력기반 거대 해양 구조물(Gravity-Based Structure ; GBS) 건설 방법과 유사하게 대형 도크에서 발전소 건설을 완료하고 연안까지 이동하는 형태로 세계적으로 처음으로 제안된 해양원자력시스템이다.

상기 비즈니스 모델은 소형원자력 발전 시스템으로, IAEA 기준에 따르면 300MWe 이하의 전력을 생산하는 원자력 발전소를 의미한다. 대표적으로 한국원자력 연구원에서 독자 개발한 일체형 소형 원자로 SMART(System-integrated Modular Advanced ReaTor)가 고려된다.

그림 2.1-1은 모듈화된 착저식 원자력 발전 시스템의 개념도이다. 단일 모듈은 가로 330m, 세로 270m, 높이 53m의 규모를 갖는다. 왼쪽은 단일 GBS 모듈에 1기의 SMART가 탑재된 것이고, 가운데는 이중 GBS 모듈에 2개의 SMART가 탑재, 오른쪽은 삼중 GBS 모듈에 2개의 SMART가 탑재된 형태이다.

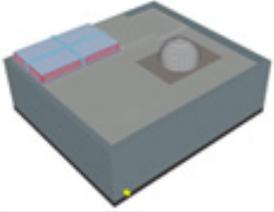
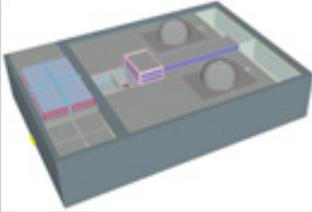
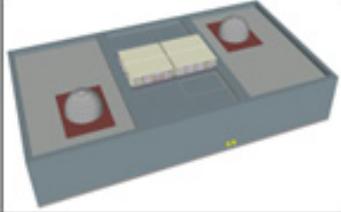
개념도			
모형 종류	Single GBS	Dual GBS	Threefold GBS
부지 면적	28,224m ²	46,440m ²	51,000m ²
발전 용량	100MWe	200MWe	200MWe

그림 2.1-1 모듈화 개념도

그림 2.1-2는 그림 2.1-1의 오른쪽 모듈, 즉 삼중 GBS 모듈에 2개의 SMART가 탑재된 원자력 발전 시스템의 가상 설치 모습이다. 전력 및 담수 수요지 주변의 바다, 수심 30~35m 부지에 설치된다. 전력 공급은 근거리의 경우 그림 2.1-2와 같이 송배전 시설을 이용하며, 원거리의 경우 해저케이블을 이용한다.

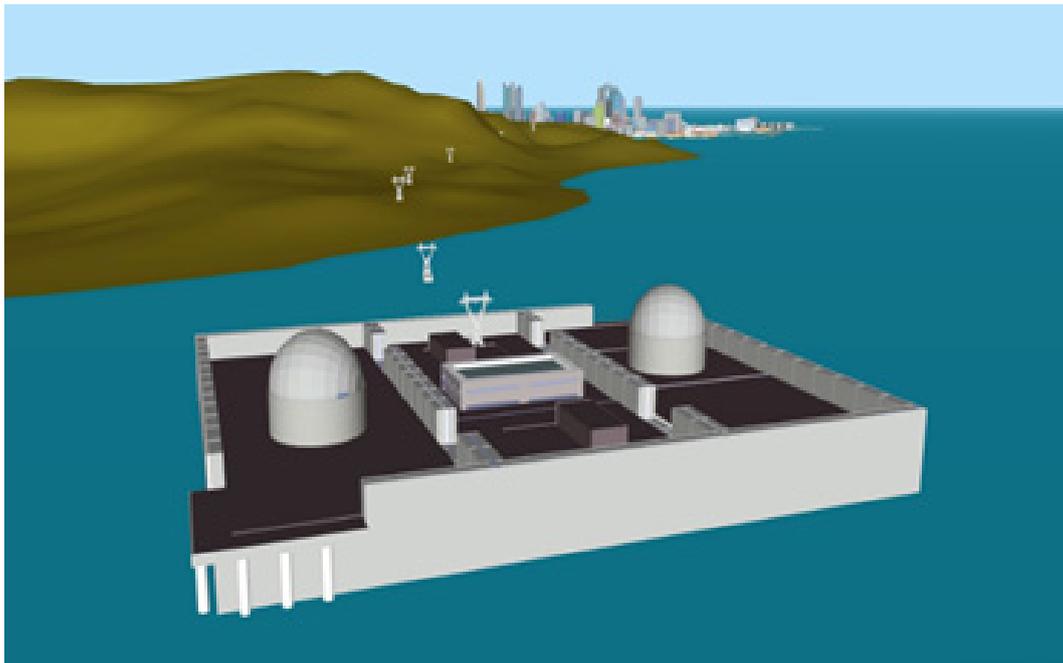


그림 2.1-2 착저식 원자력 발전 시스템

나. 기능

착저식 해양 원자력 발전 시스템은 기본적으로 SMART를 모듈화하여 탑재한다. 1기에서 3기까지, 전력 수요량에 대해 능동적으로 대처할 수 있다. 1기의 SMART

를 탑재한 경우 열출력 300MWt, 발전용량 100MWe, 담수생산량 4,000tons/day의 생산능력을 갖는다. 이는 인구 10만 명의 소도시가 자급자족할 수 있는 용량이다.

다. 우수한 안전성

후쿠시마 원전사태 이후 침체된 원전 산업을 주도하기 위해서는 안정성이 제고된 발전 시스템이 필수적일 것이다. 착저식 해양원자력 발전 시스템의 경우 풍부한 해수를 이용하여 비상피동냉각시스템(EPCS)을 구현할 수 있다. 극한의 상황에서도 원자력 발전 시스템의 안전을 담보한다면, 차세대 원자력 시장을 선점할 수 있을 것이다.

그림 2.1-3은 KAIST 해양시스템공학전공과 원자력 및 양자공학과에서 함께 개발한 피동안전시스템(ECCS)이다. 냉각재 상실사고(LOCA)가 발생할 경우, GBS모듈 내부 평형수와 외부 해수의 수두(Head)를 이용해 비상 전력 공급에 의존하지 않고, 격납용기 내부로 냉각재를 공급한다. 따라서 피동안전 시스템은 사고 이후에도 장기적인 노심 냉각의 수단을 제공하고 중대 사고로 발전하는 것을 방지한다.

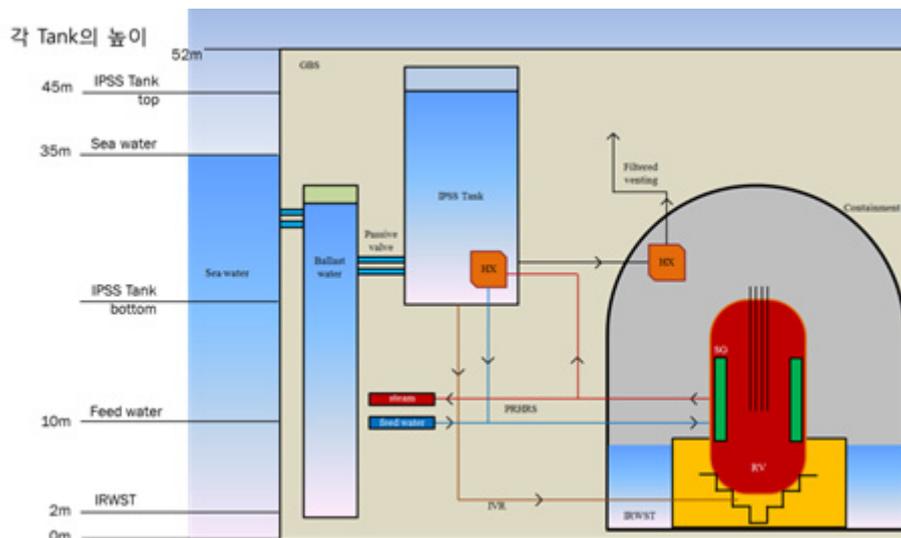


그림 2.1-3 피동안전 시스템

착저식 원자력 발전 시스템의 경우 해상의 암반(Rock) 위에 초대형 GBS를 시공

하게 된다. 이때 공통 기초를 사용하므로 횡방향 지진 및 종방향 지진에 대한 안전 성능이 향상되게 된다. 그림2.1-4는 지진 및 쓰나미에 대한, 육상 원전 대비 해양 원전의 우수한 안전성을 보여주는 개념도이다.

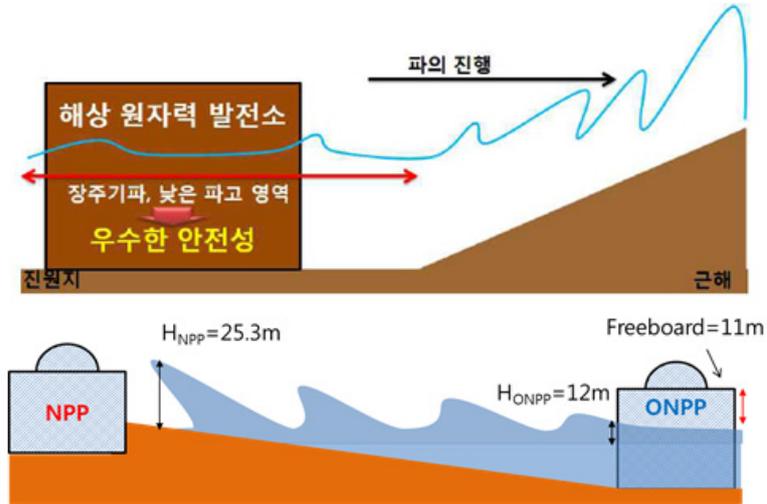


그림 2.1-4 지진, 쓰나미에 대한 우수한 안전성능

라. 우수한 경제성

착저식 해양 원자력 발전 시스템의 경우 육상 원전과는 달리 부지선정 절차가 단순하고, 부지 매입비용을 절감할 수 있다. 또한 모듈화를 통해 건설되므로 건설 비용 절감, 상품의 신뢰성 증대, 유지보수의 용이함, 공기단축 등의 효과가 있다. 더불어 발전용량을 수주국가의 요구에 맞춰 능동적으로 대처할 수 있다.

SMART의 발전단가는 10cent/kWh로써, 중소형 규모의 화력 발전소(LNG : 14cent/kWh, 중유 : 21cent/kWh)보다 저렴하여, 전 세계 발전소의 65% 이상을 차지하는 중소형 화력발전소를 대체할 수 있는 충분한 경제성을 갖추고 있다.

SMART 1기 건설비용은 7,000억원 선으로 예상되며, 모듈화를 통한 공기 단축이 가능하여 초기 대규모 투자에 따른 금융 리스크를 최소화할 수 있다. 또한 육상 원전과는 달리 송전망 구축 및 송배전 설비, 송배전 손실률을 획기적으로 절감할 수 있다.

마. 설치 과정

본 비즈니스 모델에서는 모듈화를 통해 건설, 유지보수, 수출 효율을 증대한다. 모듈화된 해상 착저식 원자력 시스템의 설치 과정은 다음과 같다

- i 원전(NPP)을 몇 개의 모듈로 나누어 제작
- ii 중력식 구조물에 원전 모듈을 탑재
- iii 중력식 구조물을 부유시킨 후 현지까지 이동
- iv 현지에서 구조물을 착저시키고 모듈 연결 후 운용

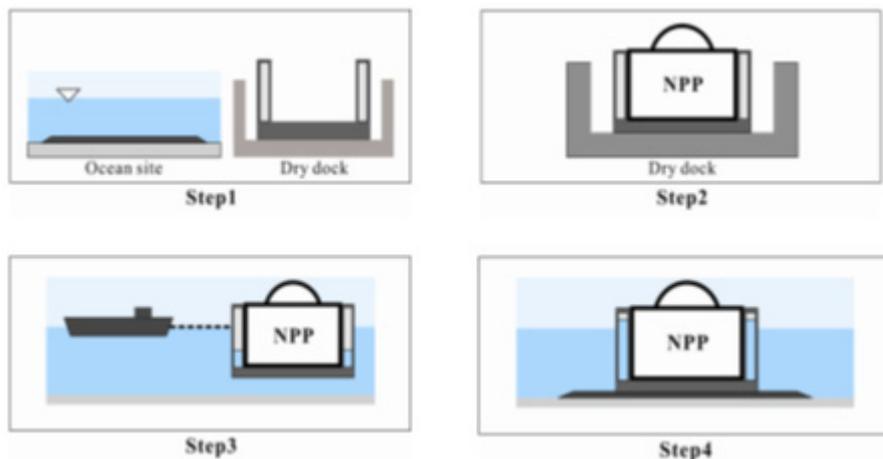


그림 2.1-5 착저식 해양 원자력 시스템의 설치 과정

바. 사업 대상

중력식 원자력 시스템의 가장 큰 장점은 수심 20~35m 정도의 해상 어디든 설치가 가능하다는 점과 열출력을 이용해 발전목적 이외에도 해수담수화 및 난방기능을 제공한다는 점이다. 따라서 다양한 형태의 에너지 수요에 대해 능동적으로 대처할 수 있다. 예컨대 지형 조건에 의해 인구가 여러 곳에 분산되어 거주할 경우 착저식 원자력 시스템은 막대한 송배전 시설과 그에 따른 전력 소모를 최소화할 수 있을 것이다.

다음과 같은 조건을 갖는 국가들이 사업 대상으로 평가된다.

- 전력 소비량이 적어 대형 원전을 건설하기 부적절한 소규모 전력망 국가
- 물과 에너지가 부족한 개발도상국가
- 극지방에 위치하여 난방 에너지 소모가 많은 국가
- 지형조건(도서지형, 고산 지형, 분쟁지역 등)때문에 송배전 인프라가 부족한 국가
- 국토가 넓고 인구밀도가 낮은 인구분산형 국가
- 사회 기반 시설이 부족하여 육상 원전 운영이 어려운 개발도상국가

구체적으로 대상 국가를 분류하면 다음과 같다.

- 적도지방 : 호주, 알제리, 리비아, 이집트
- 극지방 : 아이슬란드, 노르웨이, 스웨덴
- 아프리카 : 케냐, 앙골라, 남아프리카 공화국
- 중남미 : 브라질, 아르헨티나
- 동남아시아(V.I.P.국가) : 베트남, 인도네시아, 필리핀

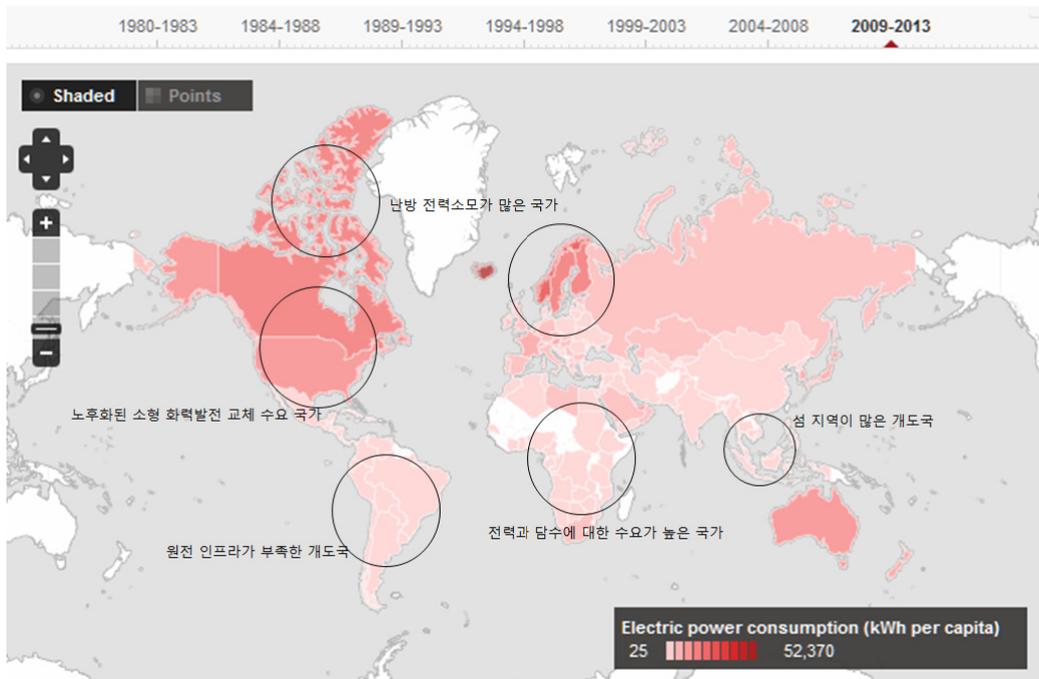


그림 2.1-6 착저식 해양 원자력 발전 잠재 수요 국가

2.1.2 기대효과

가. 기술적 측면

SMART를 활용한 착저식 원자력시스템 개발관련 기술을 확보하여 다양한 고부가가치 조선해양 및 원자력 신상품을 개발할 수 있다. 또한 지금까지 선진국이 주도하고 있는 원자력 기술을 우회하여 원자력, 해양플랜트, 건설기술의 융합을 통해 새로운 기술 진입장벽을 구축할 수 있다.

나. 경제적 측면

2030년까지 전 세계적으로 430기, 금액으로는 1조 달러(1200조원)에 달하는 원자력 건설 시장 개척에 유리한 고지를 확보할 수 있다. 특히 착저식 원전의 경우 국내에서 모듈화된 구조로 제작한 후 해상 운송하여 현지에 설치되므로, 해외건설 방식에 비해 국내 일자리가 창출되고 국내 중소기업과의 동반성장이 기대된다.

다. 사회적 측면

착저식 해양 원자력 시스템의 경우 원전 건설에 필요한 육상 부지를 확보할 필요가 없기 때문에 국내·외 님비(NIMBY)현상의 대안이 될 수 있다. 또한 육상 원전보다 지진 및 지진해일에 안전하므로, 후쿠시마 원전 사태이후 침체된 원전 시장의 활력이 될 수 있다.

2.2 필요성 및 시급성

2.2.1 필요성

가. 경제적 측면

- 신속성, 경제성이 높은 모듈화된 해상원전 시스템 개발로 세계 원전시장을 선점하고 국내 일자리 창출과 관련 부품 및 플랜트 산업 활성화 도모
 - 국내에서 제작 후 해상 운송하여 현지에 설치되므로, 해외건설 방식에 비해 일자리가 국내에서 창출되고 대부분의 재화가 국내에 귀속됨
 - 공사기간 단축, 안정적 자재 공급, 품질 및 안전성 향상, 대량생산이 가능
 - 설치 시 해저에 착저한 형태로서, 육상 조건과 상응하는 높은 안정성 확보
- * 세계적으로 전례가 없는 신개념 서비스 상품으로서 기술 선점 효과가 큼

- 모듈형 해상원전 개발에 기반이 되는 우리나라 조선해양 산업의 규모와 기술력은 세계1위이고 해양플랜트 기술도 매우 경쟁력 있음
 - 현재 FPSO (Floating Production, Storage, & Off loading), Drilling rig, Drill ship 등 거대하고 복잡한 해양플랜트에 대한 세계적인 경쟁력을 가지고 있으며, 세계 최고의 생산성을 가지고 있음
 - 우리나라 조선해양 산업도 중국의 추격을 따돌리기 위해 고부가가치의 신개념 조선해양 제품 개발에 진력하고 있으며, 다양한 형태의 해양플랜트를 미래의 대안으로 삼고 있음

나. 산업적 측면

우리나라 조선해양 산업은 세계적으로 그 기술력을 인정받고 있으며, 특히 해양플랜트를 제작부터 설치까지 할 수 있는 큰 도크를 가진 조선소는 전 세계에서 우리나라 기업인 현대, 삼성, 대우밖에 없다. 따라서 우리나라는 착저식 해양 원자력 시스템 시장을 선점할 수 있다는 강점이 있다.

- 세계적인 “원전 르네상스”를 맞아 국내의 양호한 기술여건 적극 활용
 - 원자력 발전은 타 발전형태에 비하여 우수한 경제성과 연료공급의 안정성을 가졌으며 적은 CO2를 배출하는 친환경적인 발전임
 - 2009년 UAE 원전 수주로 원자력 발전 사업은 우리나라의 수출 전략 사업으로 급부상하고 있음
 - 현재 국내기술로 육상 원자력 발전소의 설계/시공이 가능한 수준임

- 싱가포르, 중동, 동남아, 중국 등 인구밀집 해안 지역에 적합한 해상원전 필요
 - 현재 원전 도입을 검토 중인 싱가포르의 경우 비좁은 국토여건과 해양도시국가라는 특성상 해상원전 또는 지하원전 건설을 적극 검토 중임
 - UAE 외에도 향후 우리나라가 적극 진출할 중동지역도 사막지역의 특성상 해안가에 인구가 밀집되어 있어 해상원전이 보다 적합
 - 동남아시아의 경우 섬 지역이 많고 인구가 해변에 집중된 점에서 해상 원전이 이점을 가짐
 - 중국, 인도 등 급속한 산업화와 경제성장에 필요한 원전 수요가 큰 국가들도 무역과 생활이 편리한 해안가 중심으로 산업이 발달해 해상원전에 대한 잠재적 수요가 큼

- 개발도상국 등은 중소용량으로 신속하게 설치 가능한 원전을 필요로 함
 - 베트남, 인도네시아 등 동남아 국가, 아프리카, 남아메리카 등 개발도상국의 경우 산업단지나 섬 지역에 설치 가능한 700MWe 이하의 중소형 원전을 필요로 함
 - 국토는 넓지만 인구밀도가 낮은 국가들의 경우에 막대한 송배전 시설을 설치하기 보다는 인구가 밀집된 도시지역만 전기를 공급할 수 있는 중소형 원전을 선호
 - 호주, 미국, 북유럽 국가 등 일부 선진국도 중소형 원전에 대한 수요 보유
 - * 중소형 원전의 수요는 있으나 검증된 설계와 경제성, 안전성을 가진 원전은 없어 안전성과 경제성이 검증된 중소형 원전이 필요함

- 사업 위험도(risk)를 감소시킬 수 있는 원전상품 필요
 - 급변하는 국제정세 속에서 원전 해외수출 사업의 위험성 항시 상존
 - 계약된 해외 원전건설에 차질이 생겼을 경우, 기 제작된 원전설비의 재활용 필요 (제안하는 해상원전은 다른 나라로 재수출 가능)

* 중단된 대북 원전사업과 같이 위험도가 큰 사업은 제안된 해상원전 형태로 추진하는 것이 더 유리

o 원자력 발전에 수반되는 폐열을 이용하는 해수담수화 설비를 모듈방식으로 개발하여, 전력과 함께 식수도 부족한 국가들의 수요에 대비

- 중동 및 아프리카 국가들은 공통적으로 전력과 함께 담수 수요가 있음
- 이들 국가의 수요에 부합하게 이 지역에 설치되는 대부분의 발전소는 해수 담수화 설비를 장착하고 있음

* 본 기술개발에서도 해수 담수화 설비를 모듈 방식으로 개발하여, 담수 수요에 탄력적으로 대응할 필요가 있음

다. 정부지원 측면

o 원자력 발전 산업에 대한 정부의 중장기 정책과 부합

- 2010년 정부차원의 원전기술 국가 로드맵 ‘뉴(Nu) 테크 2030’ 전략 수립 계획
- 원전 경쟁력 확보를 위한 원전 신기술 개발에 대한 지원 확대 (2011년 원자력 R&D 예산 50% 이상 확대 확정, 연간 약 1000억원)
- UAE 원전인력 확충 및 추가 원전 수출에 대한 인력양성 정책 시행
- 정부의 녹색성장 에너지 정책에 따른 원전 산업 활성화 정책과 부합

o 막대한 연구개발 비용

- 원전 기술개발은 타 분야에 비하여 막대한 R&D 비용이 필요하며, 개발된 기술로 인한 국가적 수익도 매우 큰 사업임.
- 정부 차원의 지원하에 산/학/연/관 협조를 통한 연구 필요

o 지속가능한 연구개발의 필요성

- 2009년 UAE 원전 수주과정에서 정부의 역할을 보듯이 기술개발 단계에서 수출에 이르는 과정까지 일관된 정부 정책 및 지원이 필요
- 중장기적 원전 산업 육성 계획을 통한 지속가능한 연구개발 필요
- 세계적 원전산업 그룹화 및 대형화에 따른 국내기술의 경쟁력 확보를 위한 종합적 국가 지원 필요

2.2.2 시급성

가. 세계 원자력 시장 규모

수출입은행 보고서에 따르면 2030년까지 전 세계적으로 450기의 원전이 추가로 지어질 예정이며, 약 1200조 규모의 시장이 형성될 전망이다. 이는 연간 40~60조원 규모의 원전 건설시장이 형성되는 것을 의미한다. 2013년 우리나라 조선해양산업 총 수출금액이 66조원 규모였다는 것을 감안할 때, 이는 굉장히 큰 규모라고 볼 수 있다.

구체적으로 현재 150기 정도가 계획 중이며, 나머지 300기 정도가 건설 검토 중이다. 국가별로는 선진국은 81기, 개도국이 68기 건설 계획 중이며, 자세한 사항은 표 2.2-1에 제시되어 있다.

미국은 세계 최대의 원전국으로 현재 104기를 운영 중이며, 30기 이상의 신규 원전 건설을 준비 중이다. 1979년 TMI 사건 이후 신규 원전 건설이 전무한 상황이다. 미국 내 전력소비 증가에 따라 2020년까지 24GW 용량의 신규 발전소 건설이 필요하다는 입장이다. 본 비즈니스 모델은 미국 내 중소형 화력발전소 교체 수요에 효율적으로 대응할 수 있을 것으로 판단된다.

중국은 심각한 대기 오염 문제 해결, 전력 수요 충족 등을 위해 원자력 발전소의 지속적인 건설은 불가피하다는 입장이다. 2014년 12월 5일 중국 언론보도에 따르면 27기를 추가 건설하겠다고 발표했다. 향후 중국은 원전의 안정성 및 상업성이 검증되면 국가차원의 금융지원 등을 결합한 패키지형 지원 방식을 통해 원전 수출에 힘 쓸 것으로 보이며, 장기적으로 우리나라 경쟁자로 대두될 가능성이 높다. 따라서 해양원자력발전 시스템이라는 차별화된 전략으로 중국 원전 시장을 공략하는 것이 요구된다.

UAE 에너지부 Al Mazroui 장관은 자국의 석유자원 고갈에 따라 2020년까지 자국 전력소비의 25%를 원전으로 충당할 계획이라 밝혔다. 특히 중동국가들은 원전 관련 제반 기술 및 인프라가 부족하고 해수담수화 수요 또한 높은 만큼 착저식 해

양원자력 발전 비즈니스 모델이 경쟁력 있을 것으로 보인다.

그림 2.2-1은 세계 원자력 발전소 현황을 세계지도에 도식화한 것이다. 주목할 점은 남미, 중동, 동남아시아에서 원전수요가 발생하기 시작했다는 것이다. 이들 국가들은 원전 인프라가 부족하고, 중소형 원전, 담수수요가 높다는 특징을 갖는다. 따라서 본 비즈니스 모델이 수출 상품으로 실효성을 갖을 수 있다.

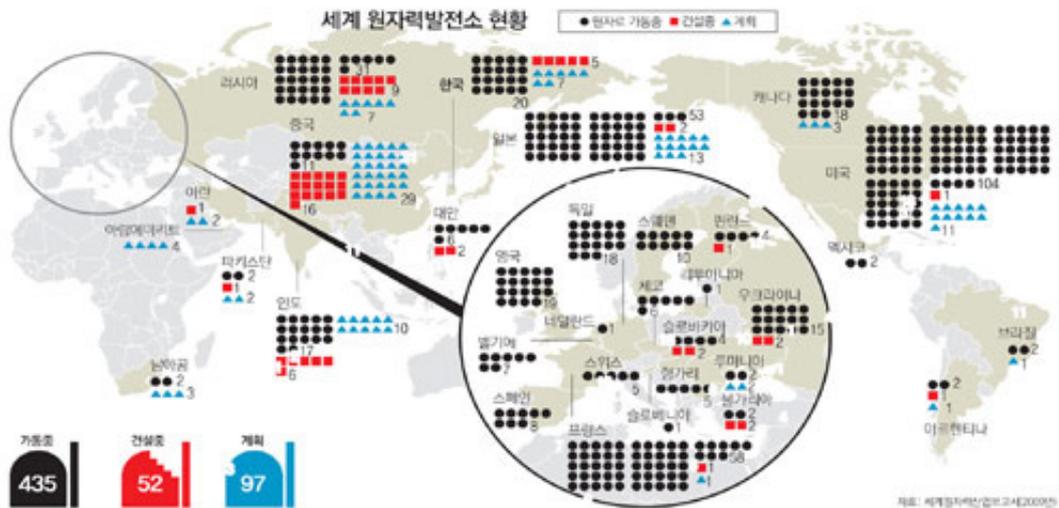


그림 2.2-1 세계 원자력 발전소 현황

표 2.2-1은 2014년 5월 기준 운전 중인 원전과 건설 중인 원전에 대한 자료이고, 표 2.2-2는 원전 건설과 관련된 최근 동향이다

운전 중 원자력발전소	총 435기, 30개국
설비용량	372,775GWe
주요국	미국(100기), 프랑스(58기), 일본(48기), 러시아(33기), 대한민국(23기), 인도(21기), 중국(21기), 캐나다(19기), 영국(16기), 우크라이나(15기), 스웨덴(10기)
건설 중 원자력발전소	72기, 15개국
설비용량	68,374MWe
주요국	중국(28), 러시아(10기), 인도(6기), 대한민국(5기), 미국(5기), 일본(2기), 파키스탄(2기), 슬로바키아(2기), 아르헨티나(2기), 우크라이나(2기), UAE(2기)

표 2.2-1 세계 원자력발전소 현황(출처:IAEA PRIS, 2014년 5월 기준)

송전을 시작한 원전
중국, HONGYANHE 1호기 (1000MWe, PWR) 2013. 2.18
중국, HONGYANHE 2호기 (1000MWe, PWR) 2013.11.23
인도, KUDANKULAM 1호기 (917MWe, PWR) 2013.10.22
중국, YANGJIANG 1호기 (1000MWe, PWR) 2013.12.31.
중국, NINGDE 2호기 (1018MWe, PWR) 2014. 1. 4
원전 운전 종료
미국, Crystal River 3호기 (860MWe, PWR) 2013. 2. 5
미국, KEWAUNEE (566MWe, PWR) 2013. 5. 7
미국, SAN ONOFRE 2호기 (1070MWe, PWR) 2013. 6. 7
미국, SAN ONOFRE 3호기 (1080MWe, PWR) 2013. 6. 7
일본, FUKUSHIMA DAIICHI 5호기 (760MWe, BWR) 2014. 1.31
일본, FUKUSHIMA DAIICHI 6호기 (1067MWe, BWR) 2014. 1.31
원전 건설 착수
미국, SUMMER 2호기 (1117MWe, PWR) 2013. 3. 9
미국, SUMMER 3호기 (1117MWe, PWR) 2013.11. 2
미국, VOGTLE 3호기 (1117MWe, PWR) 2013. 3.12
미국, VOGTLE 3호기 (1117MWe, PWR) 2013. 3.12
UAE, BARAKAH 2호기 (1345MWe, PWR) 2013. 5.28
대한민국, SHIN-HANUL 2호기 (1340MWe, PWR) 2013. 6.19
벨라루스, BELARUSIAN 1호기 (1109MWe, PWR) 2013.11. 6
중국, YANGJIANG 5호기 (1000MWe, PWR) 2013. 9.18
중국, YANGJIANG 6호기 (1000MWe, PWR) 2013.12.23
중국, TIANWAN 4호기 (1050MWe, PWR) 2013. 9.27
아르헨티나, CAREM25 (25MWe, PWR) 2014. 2. 8

표 2.2-2 2013-2014년도 원전 주요 동향

나. 경쟁현황

국가별로 세계 원전 시장은 미국, 프랑스 중심의 수주 경쟁체제에 일본, 러시아, 한국이 가세한 모양새이다. 전 세계 원전수출 가능국은 미국, 프랑스, 캐나다, 러시아, 일본, 한국으로 6개국이 가능한 상황이다. 우리나라를 제외한 5개국은 이미 다수의 원전 수출 경험이 있으며, 우리나라도 2009년 UAE 수출을 계기로 원전 수출국으로 도약하였다. 하지만 선진국이 선점하고 있는 육상 대형 원전 시장에서 경쟁력을 갖추기는 어렵다. 따라서 우리 기업들이 기존의 원전 산업 Value Chain을 무너뜨리고 새로운 Value Chain을 만들 수 있도록 새로운 형태의 착저식 해상 원자

력 발전 비즈니스 모델을 제시한다.

기업별로 세계 원전 시장은 도시바-WEC, 아레바-미쯔비시, GE-히다치, 러시아 ASE사로 크게 4개로 그룹화되어 있다. 특히 원전의 원천기술을 가지고 있는 회사는 WEC(미국), Areva(프랑스), GE(미국), ASE(러시아) 4개 회사이다. 우리나라가 글로벌 원전 시장에서 경쟁력을 갖추기 위해서는 하루 빨리 원자력연구원과 한국 수력원자력을 중심으로 민간 조선해양, 중공업, 건설사가 협업하여 신상품 개발에 나서야 한다.

주요 국가 원자로 생산업체 현황						
	국가	회사	원천 기술	원자로 타입	용량	비고
경수로	한국	한수원	X	APR1400 (3세대)	1.4GW	미국 GE기술기원, WEC, Areva로부터 기술도입
	프랑스	Areva	O	EPR1600 (3세대)	1.6GW	WEC로부터 기술사용권 구매
	일본	MHI	X	APWR+ (3세대)	1.7GW	WEC로부터 기술이전
	러시아	ASE	O	WER1000 (3세대)	1.0GW	독자개발
	미국	WEC	O	AP1000 (3세대)	1.0GW	독자개발
비등수로	일본	도시바	X	ABWR (2.5세대)	1.35GW	GE로부터 이전
	미국	GE	O	ESBWR (3세대)	1.6GW	독자개발

표 2.2-3 원자로 생산 원천기술 현황(출처:KEPCO,2008)

2.3 기술현황

2.3.1 Adriatic LNG terminal

가. 개요

Adriatic LNG terminal은 이탈리아 북동해에 위치하고 있으며 2008년에 완공되었다. 이탈리아 정부로부터 Qatar, ExxonMobil, Edison 3사가 컨소시엄을 통해 공동 수주했으며, 총 공사비는 1.4조원이다. 길이 180m, 폭 88m, 깊이 47m의 초대형 중력식(GBS) 구조물로써, 250,000m³ 용량의 2개의 LNG 탱크로 구성되어 있다.

이 프로젝트는 이탈리아 연안의 경우 육상 LNG 터미널을 설치하기에 부적합하고, 기상조건이 나빠 선박이 정박하기 어렵다는 점에 기인하고 있다. Adriatic LNG terminal은 액화된 가스를 공급받아 저장하고 그것을 다시 기화하여 국가 가스망에 전송하는 기능까지 갖추고 있다.

나. 건설과정

Adriatic LNG terminal 프로젝트의 경우 케이슨 타입 중력식 구조물에 기반하고 있다. 대형 콘크리트 구조물을 육상에서 타설하고, 상·하부에 설비를 설치한 다음, 설치 부지(Site)로 예인하여 착저시킨다

- i. 중력식 구조물을 설치할 장소 인근에 간이 건설펀(Dry Dock)을 설치하고 GBS 콘크리트 구조물을 건설한다.



그림 2.3-1 (좌)건설펀 건설, (우)중력식 구조물 콘크리트 타설과정

ii. 완공된 콘크리트 구조물 내부에 LNG 탱크를 설치한다

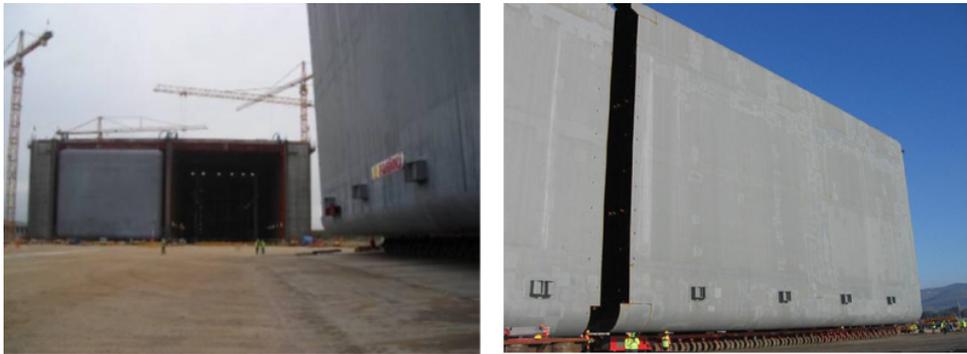


그림 2.3-2 LNG 탱크 설치 과정

iii. 주거 설비 및 LNG 관련 설비(Topside)를 설치한다



그림 2.3-3 중력식 구조물에 LNG 관련 설비를 설치 과정

iv. 설치 지역으로 예인하고 중력식 구조물을 착저시킨다.

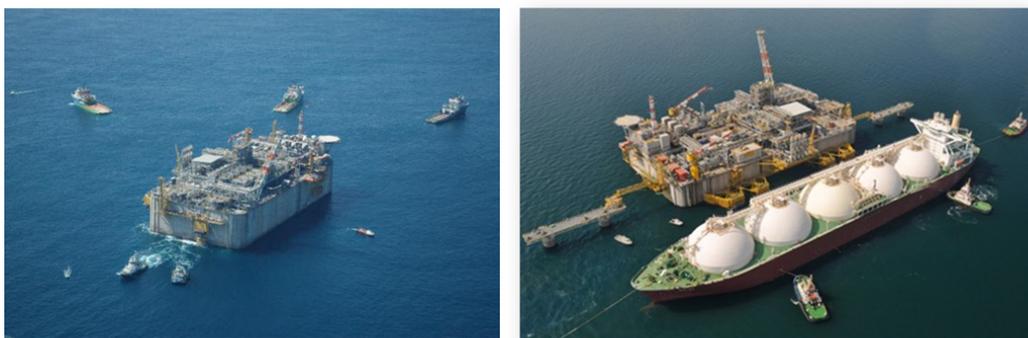


그림 2.3-4 (좌)예인 과정, (우)설치 완료

2.3.2 국내 기술현황

아직 우리나라 기업이 초대형 중력식 구조물을 설계·시공한 경험은 없다. 하지만 원전 설계에서부터 운영이 이르는 Value Chain 전반에 걸쳐 경쟁력을 확보하고 있는 것으로 판단된다.

	내용	업체	사업비 비중
Developer	전반적인 운영	한국전력공사	40%
핵연료	핵연료 종합설비 및 계통 설계	한국원자력 원료 한국전력기술	8%
주기기	원자로 설비	두산 중공업	25%
발전보조설비 (BOP)	열교환기, 복수기, 탈기	비에이치아이, 티에스애크, S&TC, 신태, 성진지오텍	5%
부품/소재	단조부품, 피팅, 각종 벨브류	태광, 성광밴드, 하이록코리아, 비엠티, 태웅, 마이스코, 엔에스브이, 조광II	2%
시공	발전소 건설	현대건설, 대림산업, GS건설, 대우건설, 삼성물산, 두산중공업	15%
정비	경상정비	한전 KPS, 일진에너지, 금화피에스시	5%

표 2.3-1 UAE 원전 수출 사업에 대한 국내 기업 Value Chain 현황

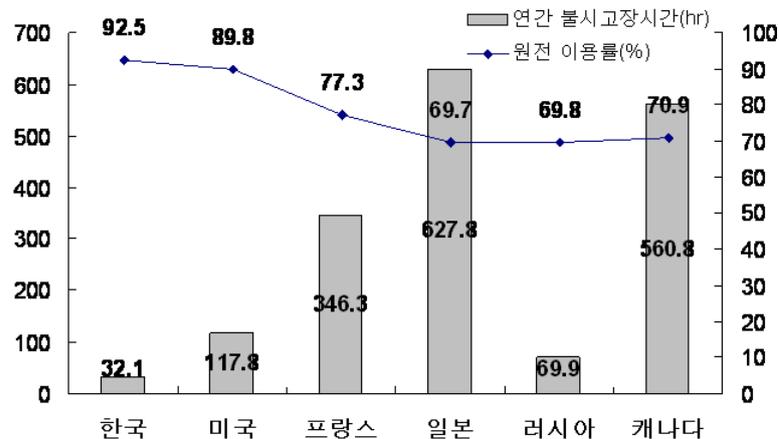


그림 2.3-5 국가별 원전 운영 역량 비교(자료 : 한국전력)

가. 일반 배치도 기술

본 비즈니스 모델에서는 해양 원자력 발전 시스템으로 적합한 국내 원전으로 SMART 원자로가 적합하다고 판단했다. 국내 육상 원전을 해양 원전으로 분해·재조립하는 과정에서 새로운 일반 배치도(GA, General Arrangement) 개념을 제시한다.

그림 2.3-6은 기존 육상원전(SMART)에 일반 배치도 기술을 적용한 개념도이다. 위 그림은 2개의 단위로 분리해 구성하였고, 아래 그림은 1개의 단위로 구성하였다.

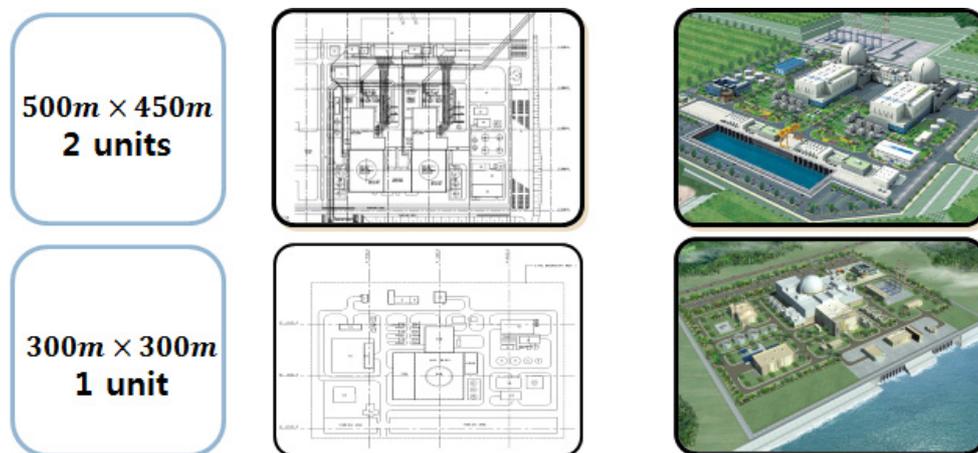
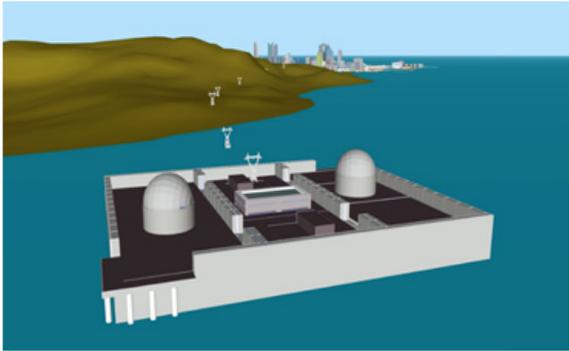


그림 2.3-6 육상 원전에 새로운 일반 배치도를 적용한 개념도

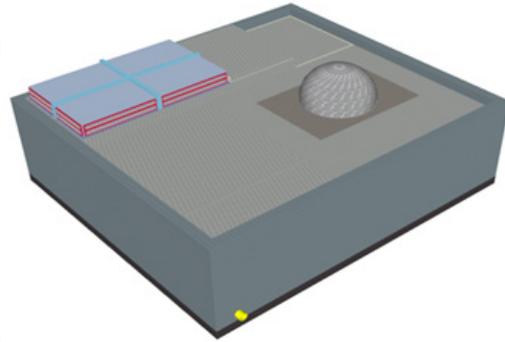
나. 모듈화 기술

국내의 경우 중력식 구조물을 시공·설계한 경험이 없다. 하지만 해양 원자력 발전 시스템의 경우, 육상 원전 시스템과 크게 다르지 않다. 또한 세계 최고 수준의 조선해양 기술력을 바탕으로 조선업계에서 널리 사용되는 모듈화 공법을 이용한다면 육상원전을 해양 원전에 알맞게 재조립할 수 있을 것으로 판단된다.

그림 2.3-4는 KAIST 원자력 및 양자공학과, 해양시스템공학전공에서 제시한 부유식 해양 원자력 시스템의 모듈화 개념도이다. 왼쪽은 삼중 모듈에 2개의 원자로를 탑재한 것이고, 오른쪽은 단일 모듈에 1개의 원자로를 탑재한 것이다.



- 착저식 해상원전, 2011~
270m(L) X 330m(W) X 53m(H)
- APR1400 (1400 MWe X 2ea)
- Research group : KAIST 원자력 및 양자공학과, 해양 시스템공학 전공, POSCO



- 착저식 해상원전, 2011~
168m(L) X 168m(W) X 53m(H)
- SMART (SMR) : 100 MWe
- Research group : KAIST 원자력 및 양자공학과, 해양시스템공학 전공, DSME

그림 2.3-7 모듈화된 해양 원자력 시스템 개념도

2.4 기술개발 로드맵

기존의 육상 원전기술을 바탕으로 해양에서 원자력 발전소를 운송, 설치, 운영, 유지보수하기 위해서는 조선해양 기술이 반드시 뒷받침되어야 한다. 착저식 해양 원자력 발전 시스템에서의 조선해양 기술은 크게 설치기술, 운송기술, 유지보수기술 세 가지로 요약된다.

2.4.1 조선해양 기술로드맵

가. 발전소 설치 기술

해상에 발전소를 안정적으로 운영하기 위해서는 우선 해양 환경이 구조물에 미치는 영향을 분석할 수 있어야 한다. 수치해석 기술을 바탕으로 파랑 하중, 지진 하중 등의 외력을 정량적으로 산정할 수 있어야 하며, 이는 향후 실증모델을 통해 좀 더 구체적으로 정립되어야 한다.

또한 설치 부지의 지반을 보강하는 기술이 필요하다. 본 비즈니스 모델의 모듈화된 구조물을 해저에 안착시키는데, 만약 구조물 간의 서로 다른 침하량이 발생한다면 모듈 연결부에 심각한 구조적 손상이 발생할 수 있기 때문이다. 이에 대한 기술적 대응으로는 해저 연약지반 개량 공법과 해저 기초 공법, 해저 지반 보강 공법 등이 있다.

나. 운송·접안 기술

착저식 해양 원자력 발전 시스템은 육상 내 건선거(Dry dock)에서 완공하여 설치 부지로 운송 후, 착저시킨다. 따라서 초대형 콘크리트 구조물을 전복시키지 않고 안정적으로 운송·착저시킬 수 있는 기술이 반드시 필요하다.

설치 완료 후에는 핵연료 물질을 해상에서 발전소로 투입하기 위한 접안 기술이 필요할 것이다. 해상의 경우 파도, 파랑에 의한 6자유도 운동 특성을 가지므로 이를 극복하여 핵연료를 원자로 내로 안전하게 주입·해체할 수 있는 기술이 요구된다.

다. 운영·유지보수 기술

방사능 유출을 최소화하기 위해서는 구조물의 안전성능에 대한 모니터링 기술이 요구된다. 유체 계통, 전자 계통, 주요 구조물의 강도 등을 실시간으로 파악할 수 있도록 한다. 또한 해상에서의 원전 운영은 처음이므로, 육상 원전 운영 관련 기술을 바탕으로 해상 원전 운영 관련 기술을 체계화한다.

2.4.2 원자력 기술 로드맵

우리나라는 세계 5위의 원자력 강국으로써, 수차례 육상원전을 건설·운영한 경험을 갖고 있다. 또한 최근에는 이러한 기술을 바탕으로 본격적으로 세계 원전 시장에 진출하여, UAE 원자력 발전소 186억 달러 수주에 성공했다. 이후 원자력 산업은 우리나라 수출 전략사업으로 급부상하였다. 한편, 착저식 해양 원자력 발전소는 우리나라 원자력 산업의 수출 다변화 전략의 일환으로 생각할 수 있다. 현재 주요 수출 대상국들이 개발도상국가이고, 대부분 연안에 위치한다는 점을 고려하면 매우 매력적인 상품이다.

본 비즈니스 모델은 기존에 다년간 건설되고 운영되어, 관련 자료 및 제반 기술이 축적되어 있는 육상원전을 기반으로 하고 있다. 또한 해상에 원전을 설치할 경우 안전성 관련 성능이 대폭 향상될 것으로 보인다. 하지만 해양에서 원전을 운영하는 것은 전 세계적으로 유례가 없으며, 관련 정보 및 자료가 부족한 상황이다. 따라서 해양 환경에서 원전을 안정적으로 운영하기 위한 기술이 실증·연구를 통해 연구·개발되어야 할 것이다.

우선 조선해양 기술을 바탕으로 하여 원자로 설계 시 요구되는 설계기준을 정립해야 한다. 조선·해양 분야와 원자력 분야의 전문가 간 학술회의, 세미나 등을 통해 핵심 설계 요소 및 설계 코드를 개발할 수 있을 것이다. 다음으로 정립된 설계요소를 평가할 수 있는 기술이 개발되어야 한다. 컴퓨터 모델링(CAD, CAM)을 통해 개략적인 해양 원전 모델링을 하고, 수치해석(FEM, FSI, CFD)을 통해 핵심 설계

요소를 평가할 수 있는 프로그램 개발이 필요하다. 동시에 연구용 원자로를 설계·운용해봄으로써 해석 프로그램의 정확도를 개선하고 해상 원전 운용 시 고려해야 할 제반 기술정보를 축적해야한다. 최종적으로는 원자로 시스템 및 계통 전반에 걸쳐 안전해석을 수행한다.

설계 코드가 개발되고 관련 평가 기술을 확보한 후에는 실증용 원자로를 설계하고, 운용하는 것이 필요하다. 실증용 원자로를 통해 안전성능을 검토 및 확인하고, 원전 관련 법규를 개정하고 해양원전 특별법을 제정할 수 있는 학술적·기술적 기반을 마련해야한다. 또한 해양원전 운용 시 발생할 수 있는 위협요소를 정립하고, 이에 적극 대처할 수 있는 정부 차원의 해양원전 안전운영 관리 기술을 개발한다.

프로젝트	1단계 : 시스템 개발 (6년)				2단계 : 시스템 운영(2년)	
해상원자력 발전소 설치	외력 평가 및 해석 기술(S) 해저 지반 평가 기술(S)	내진 성능 확보 기술	대형 케이슨 구조물 설계 및 시공 기술 작저 기술(S)	모듈 연결 기술(S)	모듈 연결 기술(P)	
		지반 보강 기술	모듈 연결 기술(S)			
해상원자력 발전소 운영 (접안 기술, 발전 기술)	접안 시스템 설계	접안시스템 제작(P)	접안 시스템 운영 기술(S) 해성 원전 운영 특별법 제정	안전 관리 기술(S)	원전 계통 및 구조물 모니터링 및 관리 기술(S),(P)	
			원전 계통 및 구조물 모니터링 및 관리 기술(S),(P)			

(S) : 시스템, (P) : 품목

정부주도 민간 주도 연구기관 주도

그림 2.4-1 조선해양 기술 로드맵

프로젝트	1단계 : 시스템 개발 (4년)	2단계 : 실증 기간(3년)
해상원자력 발전용 원자로 개발	설계 코드 개발(S) 수처해석 기술 개발(S) 연구용 원자로 제작 및 운영(P) 해상 원전 원자력 시스템 계통 설계(S) 해상 원전 관련 핵심기기 개발 및 검증(P)	실증용 원자로 제작 및 운영(P)
안전 기술 개발 및 법규 개정	해상 원전 국제법 검토 해상 원전 관련 국내법 개정 원자로 시스템 안전 성능 해석 기술 개발(S) 피동안전시스템(EPSS) 개발 및 검증 (S)(P) 해상 원전 안전 관련 핵심 기기 개발 및 검증(P)	해상 원전 관련 특별법 제정 정부주도 민간 주도 연구기관 주도

(S) : 시스템, (P) : 품목

그림 2.4-2 원자력 기술 로드맵

2.5 추진체계 및 전략

2.5.1 추진 체계

본 비즈니스 모델은 민간 기업이 다루기 어려운 원전 관련 산업인 만큼 주요 사업 추진 주체는 정부가 맡아야 한다. 전담 부서로는 미래창조과학부가 적합하다고 판단되며, 사업의 투명성과 신뢰성을 제고하기 위해 독립적인 심의위원회와 인허가 기관을 운영하는 것이 바람직할 것이다. 또한 원자력·조선해양·건설 분야의 융합 사업인 만큼 산업통상자원부의 적극적인 기획활동도 뒷받침되어야 할 것이다.

사업 초기 단계에는 원자력, 조선해양, 기계 등 관련 정부출연연구소 중심으로 사업을 추진하는 것이 바람직하다. 더불어 산학협력을 통해 전문 인력을 양성하고, 연구개발을 통한 기초 기술을 축적한다.

사업 진행 단계에는 특수목적법인(SPC)의 설립을 통해 사업 추진 주체를 일원화하는 것이 바람직할 것이다. 본 비즈니스 모델의 경우 사업이 실현된 전례가 없고 단일 기업이 추진하기에는 사업규모가 크다. 즉 기술적·재무적 리스크가 매우 높다. 특수목적법인 설립은 기업 간의 리스크 분담을 통해 개개 기업이 감당해야 할 리스크를 최소화할 수 있는 방안이다. 또한 원자력·조선해양·건설 분야의 기업들의 긴밀한 협조가 이루어져 사업의 조직력과 추진력이 증대될 것이다.

구체적인 사업 추진 체계는 그림 2.5-1과 같다.

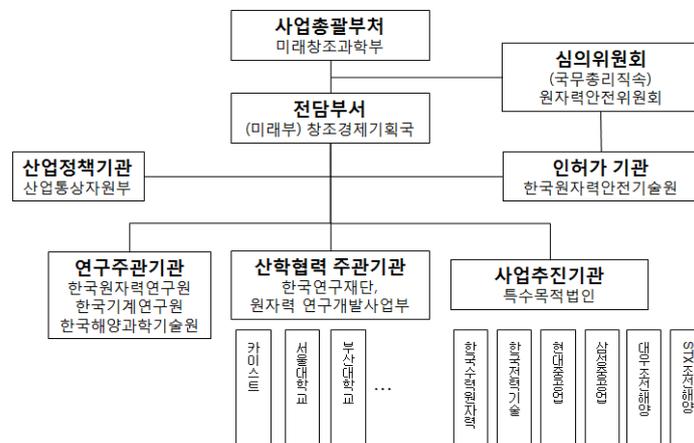


그림 2.5-1 정부주도 사업추진 체계

표2.5-1은 대학, 산업체, 연구소별 참여 기관을 세분화하고 기관별 역할을 정리한 것이다.

- 세부 추진체계
- 주관기관 : 정부 산업체 대학 연구소 제한없음
- 참여기관 : 공기업 산업체 대학 연구소 제한없음

대 학	KAIST 원자력 및 양자공학과	○ 원천기술/특허 확보 ○ 개념설계 ○ 연구주도, 총괄책임
	KAIST 해양시스템공학전공	
	KAIST 건설환경공학과	
산 업 체	한국수력원자력발전	○ 해외시장 개척
	한국전력기술	○ 원전플랜트 설계 기술
	한전 KPS	○ 유지보수 기술
	삼성중공업, 현대중공업, 대우조선해양	○ 해양플랜트 제작
	현대건설, 삼성물산	○ 중력식구조물 설계/시공기술
연 구 소	한국원자력연구원	○ 환경 안전성 연구
	한국원자력산업회의	○ 연구개발을 위한 산학연 업무지원
	한국원자력안전기술원	○ 관련법규 개정 및 지원
	한국수력원자력 플랜트건설기술연구소	○ 개념설계 및 시공기술개발
	한국해양연구원	○ 해양 환경영향 및 안정성 평가

표 2.5-1 세부 추진 기관별 역할

2.5.2 사업추진 전략

원전 선진국이 선점하고 있는 원전 시장에서 소형원전 시장이라는 차별화된 전략으로 틈새시장을 공략한다. 착저식 해상 원자력 발전 시스템 사업의 핵심성공역량은 세계 최고 수준의 조선해양산업과 원자력산업의 성공적인 융합에 있다. 따라서 각 사업단계별로 정부주도의 융합 포럼을 통해 기술적, 학술적, 인적 교류가 활발하게 이루어질 수 있도록 한다.

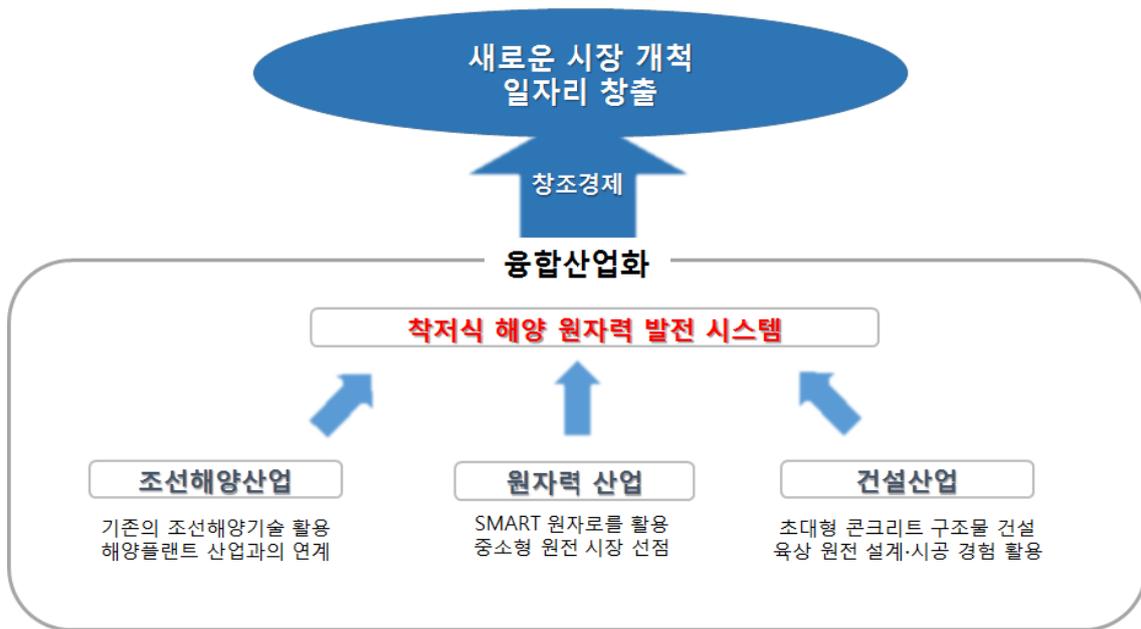


그림 2.5-2 비즈니스 사업 모델의 목표

2.5.3 사업추진 단계

가. 사업준비단계

세계 원전 시장의 Value Chain과 각 국가별 기업별 핵심역량을 분석하여 최적의 사업 수행방식을 도출한다. 선점하고 있는 원전 산업을 우회하여 우리나라 기업이 새로운 Value Chain을 만들고 시장진입장벽을 구축할 수 있는 방안을 모색한다.

착저식 해상 원자력 발전 시스템은 원자력산업과 조선해양산업, 건설산업의 융합 모델이므로 두 산업 간, 교육 및 연구 기관 간의 MOU 체결을 통해 전문인력양성에 투자한다. 그리고 지금까지 전 세계에 수출 유례가 없는 만큼 경제성 분석 및 사업 타당성 분석을 철저히 시행한다.

나. 시범사업단계

연구기관을 중심으로 소규모(10MWe)급 시범사업을 실시한다. 사업준비단계에서 사전 조사했던 분석내용을 시범사업단계와 비교·평가하여 비즈니스 모델의 사업

효과와 기술적·경제적 가치를 검증한다. 또한 향후 사업 추진 시 발생할 수 있는 리스크를 최소화하기 위해 필요한 관련 데이터를 축적한다. 이를 바탕으로 착저식 원자력 발전 시스템 사업 추진에 필요한 설계 기준, 안전관련 기준, 관련 법규 등을 제정한다.

다. 사업추진단계

착저식 해양 원자력 발전 시스템의 경우 사업 주체가 뚜렷하지 않은 융합 비즈니스 모델인 만큼 정부가 적극 지원하고 공기업이 주도하는 컨소시엄을 결성한다. 또한 추진 주체를 일원화하기 위해 특수목적법인(SPC)을 설립한다. 본 비즈니스 모델의 목적은 새로운 시장을 개척하고 일자리를 창출하는 창조경제에 있는 만큼 정부차원의 홍보와 함께 관련 기업의 적극적인 참여를 유도한다.

라. 사업완료단계

사업이 완료된 후에는 사업에 대한 사후평가를 실시한다. 제반 기술이 성숙단계에 이르면 기술이전을 통해 우리나라 기업이 장기적으로 착저식 원전 수출 강국이 될 수 있는 기반을 마련한다. 또한 유지·보수와 관련된 인력을 파견하여 관련 경험과 기술을 축적하고 차세대 착저식 해양 원자력 비즈니스 모델에 반영하도록 한다.

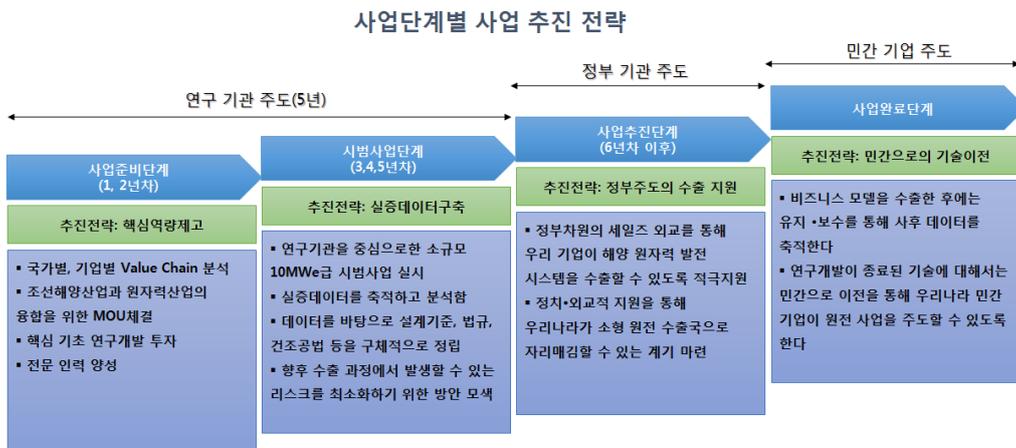


그림 2.5-3 사업단계별 사업 추진 전략 및 세부 내용

2.6 추진예산 및 개발기간

연구개발 기간은 총 5년이며, 연구개발 최종 목표는 표준설계인가(SDA)획득이다. 육상 SMART는 표준설계인가를 받았으므로 모듈화 및 재배치(GA)기술을 통한 해상 SMART의 표준설계인가는 좀 더 수월할 것으로 예측된다. 연구개발 핵심 전략은 실증모델 구축이다. 1~3년도의 기초 연구 실적을 바탕으로 4~5년도에는 실증모델을 구축하여 데이터를 축적·분석함으로써 표준설계인가 획득의 기반을 마련한다.

2.6.1 연차별 연구내용

구분	연구개발목표	연구개발내용	연구범위
1차년도	선행연구 및 수요 조사	<ul style="list-style-type: none"> ○ 선행기술 및 특허 조사 ○ 시장분석을 통한 수요 파악 ○ 수요 국가별 원전 및 해양 안전관련 법규 검토 ○ 기존 육상원전(SMART)의 안전, 계통, 배치 특성 조사 및 분석 	문헌조사 자료수집
2차년도	SMART 모듈화 및 착저식 해상 원전 개념설계/기술개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 해상원전 제작/진수/이동/운용/유지보수 과정의 핵심 개념 연구 ○ 해상원전 탑재를 위한 SMART의 모듈화/재배치(GA)기술 연구 	모델정립 개념연구 기술개발
3차년도	해상 원전 안전 기술 연구	<ul style="list-style-type: none"> ○ 해양환경을 활용하는 원자로 피동안전 계통 개념 개발 ○ 비상운전/중대사고/외부사건 안전성 평가 ○ 부유식 해상원전의 안전 시스템, 방호 설비 개념 연구 ○ 안전성 검증 및 평가 관련기술과 유지보수 및 운용 기술 연구 	개념연구 기술개발
4차년도	수치 해석 실시 (구조, 진동, 유체-구조 상호작용)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지진, 쓰나미, 선박충돌 등이 구조물에 미치는 영향에 대한 수치해석 실시 ○ 좌초, 전복, 파공 등 극한 상황에서의 안전성능에 대한 수치해석적 평가 ○ 수치해석적 결과를 바탕으로 실증모델 구축 시 필요한 설계기준 제시 ○ SMART를 탑재한 부유식 해상원전 실증모델 기본설계 	개념연구 기술개발 실증모델
5차년도	해양원전의 건조, 운반, 설치, 유지보수 기술 연구	<ul style="list-style-type: none"> ○ 모듈화 및 재배치(GA) 기술을 활용한 건설비용 절감, 공기단축 방안 제시 ○ 수요지(SITE)의 변화에 능동적으로 대처할 수 있는 설치 및 계류 기술 연구 ○ SMART를 탑재한 부유식 해상원전 실증모델 기본설계 	개념연구 실증모델

표 2.6-1 연차별 연구개발 목표 및 내용

2.6.2 연차별 연구비

100MWe SMART 기준으로 착저식 해양 원자력발전의 건설 기간은 총 52개월이고 건설비용은 9000억원으로 추정된다. 소요 연구개발비는 1기 건설비의 2.5~3%(250억원)으로 추정했다.

단위 : 백만원

구 분		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	합 계
연구비	정 부	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	20,000
	민 간	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	5,000
	상대국(국제공동)						
	합 계	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	25,000
연구인력		50(M/Y)	50(M/Y)	50(M/Y)	50(M/Y)	50(M/Y)	250(M/Y)

표 2.6-2 연차별 연구비와 연구인력

2.7 SWOT 분석

2.7.1 사업추진의 위험성

본 비즈니스 모델은 시행된 선례가 없고, 주로 개발도상국을 대상으로 하는 사업인 만큼 사업 추진 시 위험성이 클 것으로 예상된다. 사업 추진 시 발생할 수 있는 위험요소를 구체화하여 맞춤형 대응 전략이 필요할 것이다.

가. 내적 위험요소

내적 위험요소란 사업 추진 주체 내부에서 발생한 위험요소이다. 사업 추진 주체가 사전 조사를 통해 위험요소를 제거할 수 있으며, 위험요소 발생 시에는 그 피해를 최소화할 수도 있다.

(1) 건설 위험

초대형 중력식 구조물에 대한 설계 및 시공 경험이 없어, 사업 준비 단계에서 추정된 공사비와 공기를 벗어날 수 있다. 또한 설계 단계에서 예상하지 못했던 문제점이 시공단계에서 발견됨으로써, 설계 변경 등 추가 비용이 발생할 수도 있다.

(2) 인프라 위험

본 비즈니스 모델은 원전 인프라가 부족한 개도국에서 수요가 많을 것으로 예측된다. 중력식 구조물의 경우 설치 부지 근처의 육상 건설거에서 건설해야하는데, 그에 따라 건설에 필요한 인프라가 수반되어야한다. 만약 이러한 점을 간과하였을 경우, 건설 장비, 재료, 인력을 위한 제반 인프라를 추가로 건설해야할 수도 있다.

(3) 재무적 위험

재무 구조가 불안정하고, 신용등급 낮은 빈곤 국가의 원전을 수주할 경우 발생할 수 있다. 해당 국가의 정치적, 경제적 불안으로 인해 일시적으로 공사 대금에 대한 유동성 위기가 찾아올 경우, 사업을 추진하고 있는 우리 기업이 피해를 입을 수 있다. 또한 개도국들의 경우 국제 유가 및 환율 변동에 따른 인금 인상, 물가 상승, 건설재료 인상 등의 위험요인이 존재한다.

나. 외적 위험요소

외적 위험요소란 사업 추진 주체가 예상하지 못한 위험 요소를 말한다. 혹은 예상은 했더라도 위험요소를 극복·회피할 방안이 마땅치 않은 경우이다. 특히 외적 위험요소는 민간 기업이 감당하기 힘든 경우가 많아 정부차원의 지원이 필수적이다.

(1) 정치적 위험

중동 국가들의 경우, 전력 생산 및 해수 담수화의 복합 원자력 발전에 대한 많은 수요가 예측된다. 하지만 중동 국가들의 대내외적 정치가 불안정하다. 예컨대 내전이 발생하거나 이웃 국가 간의 분쟁이 심화되기도 한다. 이와 같은 정치적 위험은 공기 지연과 공사비 증가 등을 야기할 것이다.

(2) 불가항력

본 비즈니스 모델은 연안의 건선거(Dry Dock)에서 중력식 콘크리트 구조물을 건설하여 해양 부지에 설치한다. 만약 지진 혹은 쓰나미에 의해 건선거 내 건설 현장이 침수되거나, 유실된다면 프로젝트 전체가 실패로 돌아갈 수 있다.

2.7.2 SWOT 분석결과

본 비즈니스 사업의 강점 및 기회 요인은 기존의 육상 원전과는 보다 안정성이 획기적으로 개선되는 것, 국내 조선해양산업 인프라를 활용하므로 수출이 용이하다는 것, 글로벌 중소형 원전 시장을 차별화된 전략으로 선점할 수 있다는 점이다.

반면 약점과 위협 요인으로는 융합 산업화로 인해 사업주체가 불투명하다는 점, 전 세계적으로 원전 축소 요구가 확대되고 있다는 점, 관련 해양 및 원자력 국제법 개정이 어렵다는 점이 있다.

그림 2.7-1은 본 비즈니스 모델의 SWOT분석을 도식화한 것이고 그림 2.8-2는 이를 바탕으로 핵심 성공 요인을 도출한 것이다.

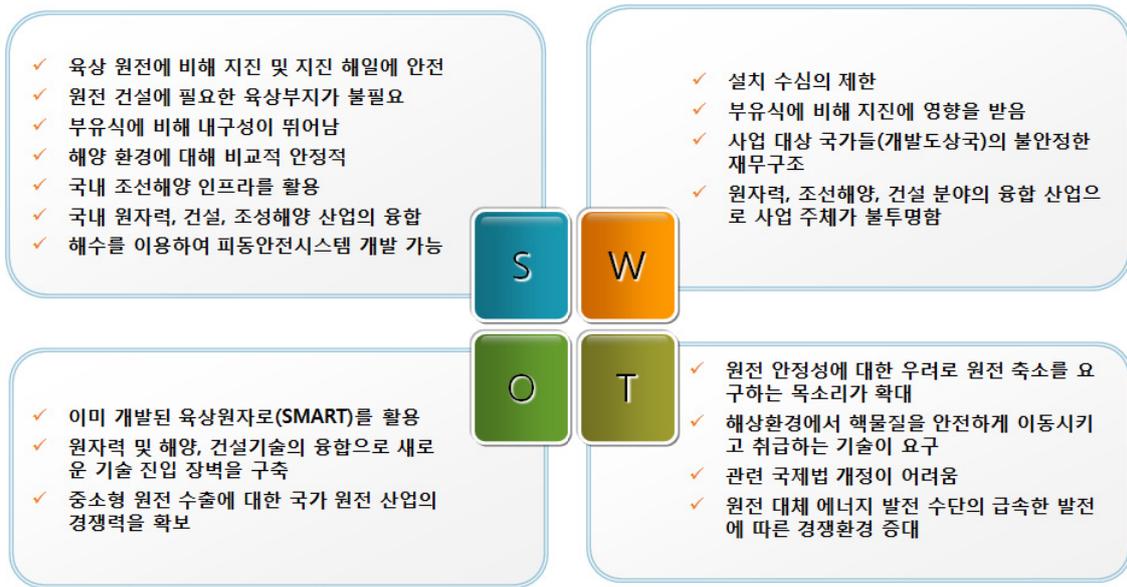


그림 2.7-1 SWOT 분석 항목 파악

2.7.3 사업 추진 전략과의 연계

가. 역량 집중-기회 확대

정부가 원자력·조선해양·건설 분야의 융합을 주도하여 SMART를 적극 활용하는 방향으로 중소형 원전시장을 선점한다. 이때 기존 육상원전과의 차별화를 위해 획기적으로 안전성능을 개선할 수 있는 방안을 모색한다.

나. 역량 활용-위협 제거

해양에 원전을 설치하는 것은 안전성능이 저하되는 것이 아니라 획기적으로 개선됨을 국내외적으로 홍보한다. 전력생산뿐만 아니라 담수생산, 지역난방, 산업증기 공급 등 활용성이 다양하다는 점을 강조하여, 가스 화력발전, 신재생에너지 등의 사업과의 경쟁에서 우위를 확보한다.

다. 약점 극복-기회 활용

사업추진 주체를 일원화하기 위해 특수목적법인을 설립한다. 특수목적법인은 기술적인 융합을 통해 사업 추진력 및 신뢰성을 증대할 수 있다. 또한 원전 수출에 대한 재무적 리스크가 클 경우, 특수목적법인은 이에 대한 리스크 분산 기능을 하므로 국내 기업의 투자 및 참여가 증진된다.

라. 약점 활용-위협 대응

빈민국가 또는 재해로 피해를 입은 국가에 중 소형 해양 원자력 발전소를 지원하는 사업을 국제 구호 사업의 일환으로 추진한다. 이를 활용해 전 세계적으로부터 우리나라의 원자력·조선해양·건설 기술을 인정받고 본 비즈니스 모델을 홍보한다. 또한 원자력의 평화적 이용이라는 인식을 대중에게 홍보함으로써 국내외 원전관련 법률 개정을 용이하게 만든다.

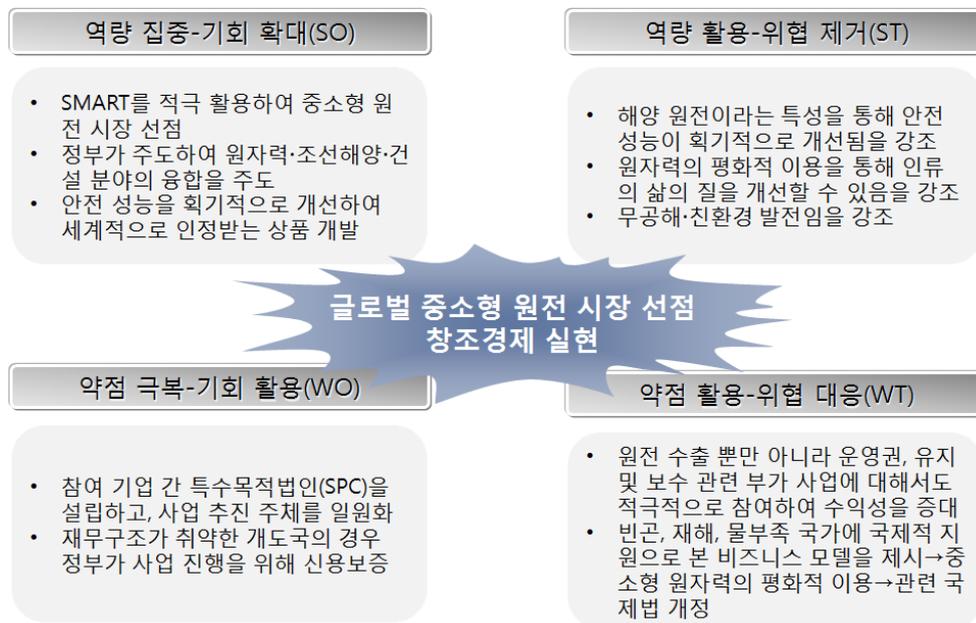


그림 2.7-2 SWOT 분석과 사업추진전략의 연계

3. 부유식 해양원자력시스템의 비즈니스 모델

3.1 개요

부유식 해양원자력시스템(Floating Marine Nuclear System)은 원자력 적용 형태에 따라 크게 두 가지 범주로 나누어 접근할 수 있다. 즉, 부유식 해양원전(Floating Nuclear Power Plant, FNPP)과 부유식 해양원자력정거장(Floating Nuclear Energy Station, FNES)으로 나눌 수 있다. 이에 대한 비즈니스 모델을 해양-원자력 공동위원회의 원자력 및 조선해양 분야 전문위원 각 5명 씩, 전체 10명의 전문위원으로 구성된 부유식 분과에서 도출하기로 하였다.

연구 및 사업개발(R&BD) 분야에서의 비즈니스 모델 도출이라 함은 기술적 독창성에 기반하여 예상제품의 시장성과 경제성을 분석하고, 시장 진입을 위한 전략과 함께 핵심기술 개발전략, Risk 회피 전략 등을 도출하는 과정이라 할 수 있다. 실제 부유식 해양원자력시스템의 비즈니스 모델 도출에 앞서 2차례의 부유식 분과회의를 통해 이에 대한 전략적 접근방안을 논의하였고 여기서 논의된 내용을 요약하면 다음과 같다.

○ 기술개발 동향 조사 주안점

- 조선해양산업계에서 이미 사업화한 화석연료 기반의 부유식 화력발전소(Floating Thermal Power Plant, FTTP) 또는 바지선 발전소(Barge Mounted Power Plant, BMPP) 그리고 이동식 발전선(Mobile Power Ship) 사업에 시장동향 조사 필요.
- 기존의 부유식 화력발전소나 이동식 발전선 시장동향 및 전망을 기준으로 하되 원자력의 장점을 접목하여 이를 뛰어 넘는 융복합산업 모델 제시 가능성 검토 : 화석연료 고갈과 온실가스 문제를 해결하기 위한 탄소세 부과시의 사업 환경을 고려한 비즈니스 모델 제안 필요성
- 러시아와 캐나다의 극지나 도서지역 또는 오지와 같은 고립지역(remote area)에서의 에너지 공급 필요성과 소규모 분산 전력망에 적합한 청정

에너지원에 대한 수요 대응 필요: 러시아 캄차카 반도나 시베리아 자원 개발, 캐나다 극지 에너지공급 사업, 아프리카나 폴리네시아 군도와 같은 오지나 도서 지역 에너지 공급 사업 시장조사 필요

- 기존의 부유식 화력발전소에서의 전력공급시스템 특성 조사 필요.

○ 부유식 해양원자력시스템의 용도 및 시장성 관점

- 해양자원 채굴설비 동력원, 극지와 도서 지역 에너지공급, 대규모 부유식구조물(Very Large Floating Structure, VLFS) 기반 에너지공급 정거장(VLFS Energy Station)의 동력원, 부유식 생산/저장/하역설비(Floating Production Storage and Offloading, FPSO)와 같은 해양플랜트의 동력원 등을 적용분야 및 주요 시장으로 고려 할 수 있음
- 부유식 해양원자력시스템의 극지 적용은 접근성 및 수요 관점에서 매우 제한적일 것으로 예상됨
- 부유식 해양원자력시스템의 도서지역이나 전력 인프라가 빈약한 오지 적용은 동남아 시장이나 아프리카나 중미 시장을 고려할 때 시장성이 크다고 추정됨
- 부유식 해양원자력시스템을 석유나 가스 채굴용인 FPSO 설비의 동력원으로 적용하는 것은 현재 생산 에너지의 자체 소모 필요성 때문에 시장성이 없어 보이고, 대신에 노후화된 부유식 화력발전소를 부유식 해양원전으로 대체하는 것을 고려할 수 있음

○ 부유식 해양원자력시스템의 장단점

- 쓰나미나 지진 대응설계에 유리하고, 부지시설 확보가 용이하고, 모듈식 공장 제작이 가능하여 전체 시공일정을 대폭 단축시킬 수 있는 장점이 있음
- 적용지점(현지)의 산업 인프라와 무관하게 공급 가능성 (완성된 시스템을 현지로 이송하여 운용하는 개념)
- 연근해에서 전력을 공급하는 개념이라면 착저식 해양원전시스템이 유리할 수 있으므로 부유식의 장점을 살리는 비즈니스 모델 도출 필요. 예로 원양에서의 해양에너지정거장(marine energy station)이나 시스템의 이

동성(mobility)이 필요한 경우 등.

- 부유식 해양원자력시스템 부지에서의 어업 조업권, 국제 해양법상 규제 요건, 항로 간섭문제 및 관광산업 등 해양 환경문제 해결이 필요하고, 원자력시스템의 안전성 확보와 사고 대응책 마련 등 사회적 수용성 문제 해결이 필요함.
- 해양원자력시스템의 핵심적 장점은 온실가스 무 배출 에너지원이며 별도의 연료저장 공간이 필요 없다는 것임.

상기한 협의 결과에 따라 우선적으로 부유식 해양원자력시스템의 시장성을 조사한 결과, 도서 및 연안지역 대상의 소규모 분산 전력망에 적용할 소형 부유식 해양원전(FNPP)이 가장 시장성이 큰 것으로 나타났다. 아울러 소형 부유식 해양원전의 동력원으로 탑재될 참조 원자로(reactor)는 출력규모, 적용성, 기술 완성도, 인허가성, 그리고 경제성 및 안전성 측면에서 최근 세계원전시장에서 새롭게 주목받고 있는 소형모듈원자로(Small Modular Reactor, SMR)가 가장 적합한 것으로 판단하였다. 따라서 SMR을 탑재한 소형 부유식 해양원전을 조선해양 및 원자력산업계의 융복합 R&BD 사업으로 개발하여 목표시장(target market)에 진출하는 비즈니스 모델을 도출하기로 하였다.

SMR을 탑재한 소형 부유식 해양원전의 비즈니스 모델 도출은 시장성 분석, 경제성 분석, 그리고 기술성 분석과 기술개발 로드맵 제시로 구체화될 것이다. 아울러 이를 추진할 추진체계 및 전략, 사업 추진기간 및 예산, 사업 리스크 회피전략, 그리고 SWOT 분석결과를 순차적으로 제시할 것이다.

3.2 필요성 및 시급성

부유식 해양원자력시스템 개발의 필요성과 시급성은 이미 형성된 목표시장이나 기술 경쟁국 또는 경쟁사를 대상으로 하는 경쟁시장(red ocean)에 후발자(fast follower)로 진입하는 전략이 아니라 새로운 시장(blue ocean)을 개척하여 시장선도자(first mover)로 도약하는 전략을 전제로 이를 검토하고자 한다. 따라서 사업화 방안을 모색하는 부유식 해양원자력시스템의 시장성과 경제성을 검토함으로써 이러한 시스템의 개발 필요성과 시급성을 간접적으로 입증하고자 한다.

먼저 도서 및 연안지역 전력공급용으로 운용되고 있는 다양한 종류의 부유식 화력발전소의 시장동향을 살펴보고, 이를 토대로 이미 형성된 화석연료 기반 해양플랜트 시장을 부유식 해양원전(FNPP) 시장으로 대체-확장할 경우, 예상되는 시장규모를 전망할 것이다. 아울러 최근 새로운 원전시장으로 각광받고 있는 소형모듈원자로(SMR)의 시장성 및 경제성 분석결과를 통해 이를 장착한 부유식 해양원전의 시장성과 경제성을 간접적으로 검증할 것이다.

3.2.1 도서 및 연안지역 전력공급용 부유식 화력발전소 시장동향

가. 해외 부유식 화력발전소 운용 현황 [4],[5]

현재 운용중인 부유식 화력발전소 (FTPP)는 바지선에 장착된 화력발전소 (BMPP)에 해당하는 Power Barges와 이동식 발전선(Mobile Power Ship) 또는 FPSO의 동력원으로 나눌 수 있다. 먼저 해외에서 가장 많이 보급되고 있는 Power Barges의 경우, “Power Barges Worldwide” 자료에 따르면 2010년 1월 기준으로 Diesel 발전이 22기, Gas Turbine 발전이 31기, 기타 발전이 5기로 총 58기가 운용되고 있음을 아래 표로 확인할 수 있다[4],[5].

Diesel Power Barges:

MAN B&W Power Barges (6 power barges):

124 MW MAN B&W medium speed diesels
70 MW MAN B&W medium speed diesels
60 MW MAN B&W medium speed diesels
40 MW MAN B&W medium speed diesels
100 MW B&W slow speed diesels
100 MW B&W slow speed diesels

Wartsila Power Barges (16 power barges):

149 MW Wartsila medium speed diesels
120 MW Wartsila medium speed diesels
72 MW Wartsila medium speed diesels
72 MW Wartsila medium speed diesels
66 MW Wartsila medium speed diesels
57 MW Wartsila medium speed diesels
55 MW Wartsila medium speed diesels
52 MW Wartsila medium speed diesels
40 MW Wartsila medium speed diesels
36 MW Wartsila medium speed diesels
36 MW Wartsila medium speed diesels
30 MW Wartsila medium speed diesels
9 MW Wartsila medium speed diesels

그림 3.2-1 해외 Diesel Power Barge 운용 현황

Gas Turbine Power Barges:

General Electric Power Barges (25 power barges):

800 MW 32X8 General Electric Frame 5 simple cycle gas turbines
290 MW 9X9 General Electric Frame 6B simple cycle gas turbines
220 MW 4X1 General Electric LM6000 combined cycle gas turbines
185 MW 1X2 General Electric Frame 7 combined cycle gas turbines
70 MW 2X2 General Electric Frame 6 simple cycle gas turbines
56 MW 2X1 General Electric LM5000 simple cycle gas turbines
56 MW 2X1 General Electric LM5000 simple cycle gas turbines
40 MW 2X1 General Electric LM2500 simple cycle gas turbines

Siemens Westinghouse Power Barges (6 power barges):

123 MW 2X1 Siemens Westinghouse V64A simple cycle gas turbines
115 MW 1X1 Westinghouse 501D5A simple cycle gas turbine
105 MW 1X1 Westinghouse 501D5 simple cycle gas turbine
98 MW 2X1 Westinghouse 251 simple cycle gas turbines
98 MW 2X1 Westinghouse 251B12 simple cycle gas turbines
48 MW 1X1 Westinghouse 251 simple cycle gas turbine

Miscellaneous Power Barges:

52 MW Caterpillar high speed diesel engines
52 MW Caterpillar high speed diesel engines
88 MW 4X1 Pratt Whitney FT 4 simple cycle gas turbines
150 MW 2X2 thermal power
20 MW nuclear power barge

그림 3.2-2 해외 Gas Turbine Power Barges 운용 현황

나. 국내 부유식 화력발전소 개발동향 [6]

한국남부발전, 대우조선해양은 2013년 5월에 바지선 발전소(BMPP) 구축 사업을 위한 공동협력 양해각서를 체결하였다. 이는 미얀마, 앙골라 등 동남아 도서지역을 대상으로 하여 약 200MW급 설비용량을 지원하는 사업으로, 육상용 복합 화력발전소 건설기간이 평균 4년 이상임에 비해 바지선 발전소 제작기간은 1년 3개월 정도(구매, 설계, 운송기간 제외)로 단축되어 시장경쟁력이 있는 것으로 예상하고 있다 [6].



Coal-Fired BMPP: DSME Conceptual Design



그림 3.2-3 대우조선해양(DSME)의 BMPP 개념도

다. 이동식 발전선(Mobile Power Ship) 운용 현황

◆ 해외 운용 현황 (Karadeniz Energy Group 자료[7] 기준)

중동, 아프리카, 아시아 지역 등 비상전력요구에 대응하기 위해 현재 750MW급을 건조하고 있으며 향후 2000MW급도 추가 건조할 예정이다. 현재 운용 중인 발전선의 용량 범위는 45MW에서 500MW에 이른다. 주로 사용되는 연료는 액체 연료(HFO/RFO)와 천연가스이다. KEG사가 보유한 발전선은 모두 7척으로 다음과 같다.

- Karadeniz Powership Kaya Bey(216.4 MW): 터키에서 건조, 2011년부터 전기 공급 중임
- Karadeniz Powership Fatmagül Sultan-Lebanon(203.1 MW): 터키에서 건조, 2013년부터 전기 공급중임
- Karadeniz Powership Rauf Bey(179.1 MW): 터키에서 건조, 2010년부터 전기 공급 중임
- Karadeniz Powership Orhan Bey(134.6 MW): 터키에서 건조, 2013년부터 전기 공급 중임
- Karadeniz Powership Doğn Bey(126.4 MW): 터키에서 건조, 2010년부터 전기 공급 중임
- Karadeniz Powership Irem Sultan(108.6 MW): 터키에서 건조, 2012년부터 전기 공급 중임
- Karadeniz Powership Ali Can Bey(104.3 MW): 싱가포르에서 건조, 2011년부터 전기 공급 중임

◆ 국내 발전선 개발 동향[8]

Polaris 선박회사, 중부발전, 현대중공업, 그리고 Siemens Energy Solutions사가 공동으로 이동식 발전선(MOBILE POWERSHIP)을 개발하기 위해 2013년 12월 10일에 컨소시엄 양해각서(MOU)를 체결하였다. 개발될 발전선은 880 MW급으로, 미화 9억 4천만 달러를 투자하여 2017년 12월에 상업 운전하는 것으로 기획되었다.



그림 3.2-4 폴라리스 컨소시엄이 개발할 이동식 발전선 개념도

3.2.2 해양플랜트 동력원 대체 시장 전망

가. 해양플랜트 시장전망

아래 그림에 나타난 2012년도 기획재정부 자료에 따르면 에너지 수요 증가 등으로 해양플랜트 시장은 연평균 약 6.4% 성장할 것으로 전망되며, 이는 2020년 3,275억 달러, 2030년에 5,039억 달러의 세계 시장이 형성될 것으로 전망하고 있다. 현재 부유식 해양플랜트 시장의 전기용량은 대부분 40 MWe에서 200MWe 범위 내에 있으며 주로 소규모 분산 전기공급체계(small distributed grid)에 의존하는 도서지역이나 극지, 개도국 대상으로 시장이 형성되어 있다. 향후 기존 시장의 노후화 플랜트 교체와 극지 및 낙후된 도서지역 개발, 인프라가 취약한 개도국의 산업화, 분산 전기공급망 활성화 등으로 수요증가가 예상되고 있다.

▶ 해양플랜트 세계 시장 규모 전망

(단위: 억 달러)

항목 \ 년도	2010	2015	2020	2030	CAGR
해양플랜트	1,452	2,303	3,275	5,039	6.4
해상플랫폼	372	547	749	1,056	5.4
Subsea	450	793	1,165	1,898	7.5
기타(URL ² 등)	630	963	1,361	2,085	6.2

자료: 기획재정부, 2012, Douglas Westwood, 2012, KISTI 제작성.

그림 3.2-5 해양플랜트 세계 시장 규모 전망

나. 해양 부유식 구조물 시장현황

■ 시추설비(Drillship, Semi-rig, Jack-up 등)

- Deepwater Floater Rig : 투기 발주로 인해 단기적인 침체가 예상되지
만 향후 지속적인 신조 발주 전망
- Midwater Floater Rig : 기존 노후화된 선단의 교체수요 발생 전망
(Rig의 39%는 Midwater 용임)
- Jack-up Rig: 고사양 Jack-up rig 에 대한 수요와 노후화 장비 교체 수
요 지속 전망

■ 생산설비(FPSO, Fixed Platform, FLNG 등)

- 2006년부터 시작된 시추설비 수요가 고정식생산설비 (Floating
Production Unit(FPU)/Fixed Platform) 수요로 전환되고 있음
- FPU/Fixed Platform의 신조 발주는 지속 증가 : 중층/천층 해양유전개
발용으로 발주 지속 전망
- 내륙 LNG 공장(Onshore LNG Plant)의 대체수단으로 해양 부유식 LNG
공장인 LNG-FPSO(FLNG)에 대한 시장 기대감 상승

■ 부유식 저장 및 재가스화 설비(Floating Storage and Regasification Unit, FSRU)

- 14척 운영으로 검증 완료
- 2015년까지 칠레, 아르헨티나, 인도네시아, 인도, 중국 등에서 10개의 추
가적인 FSRU 프로젝트가 추진 예정

■ LNG-FPSO(FLNG) 설비

- 첫 FLNG 사업은 호주 Prelude 프로젝트임(2016년, 선주-Shell, 건조-
삼성중공업)
- 현재브라질 북미, 동남아, 호주 등에서 10여척의 FLNG 프로젝트가 선행
설계(Front End Engineering & Design, FEED) 또는 Pre-FEED 단계임

다. 신개념 해양 구조물 개발 현황

■ 해상공간 활용을 위한 초대형 부유식 해양 구조물 (VLFS: Very Large Floating Structure)

- 국내에서 개념 설계 단계에 있는 VLFS 활용 분야(시장) :

- 부유식 해상 공항, 부유식 항만 물류기지 등으로 활용
- 원자력/해상 풍력 발전소, 원유, 천연가스 저장 시설 등 에너지 기반시설로 활용
- 인공섬, 복합레저 휴양 시설(해상 리조트) 등 해상 레저시설로 활용

■ 해양플랜트 에너지공급 정거장(Energy Station for Offshore Plant)

- OPERA(Offshore Power system for the new ERA) 개념: 다국적기업인 DNV사가 2012년에 제안한 것으로 원양에 부유식 발전소를 두고 주변의 다양한 해양 설비에 전력을 공급하기 위한 전력망 설비를 구비한 에너지공급 정거장 개념임

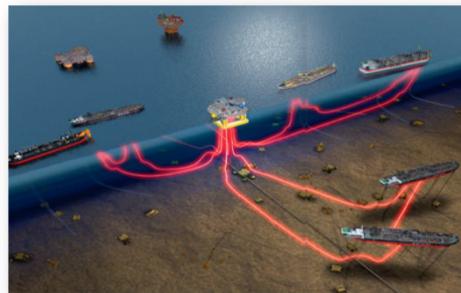


그림 3.2-6 해양 에너지공급 정거장 OPERA 개념도

■ 선박용 에너지공급 정거장(Energy Station for Ships) 개념

- LNG 병커링 터미널 (Floating offshore LNG Bunkering Terminal, FLBT) : LNG연료를 Loading/Unloading이 가능한 부유식 해상 구조물



그림 3.2-7 선박용 에너지공급 정거장 개념도

3.2.3 소형모듈원자로(SMR) 시장 동향

가. SMR 주요 시장 전망

현재 세계 원자력산업 선진국 즉 상용 원자로 공급국들은 기후 협약에 따른 온실가스 감축 계획 일환으로 노후화된 석탄 화력발전소를 중소형 원자로로 대체하는 시장과 원자로를 처음 도입하려는 개발도상국(개도국)이나 도서지역이나 극지와 같은 고립지역의 소규모 분산 전력망에 적합한 소형 원자로 시장을 목표로 한 소형모듈원자로(SMR) 잠재시장을 겨냥하여 다양한 SMR 모델을 전략적으로 개발하고 있다. 새롭게 부각된 SMR 시장은 원자로 출력이 300MWe 이하로 소형(Small)이고, 도입국의 산업 인프라가 갖추어지지 않아도 공급국 공장에서 모듈(module)로 제작이 가능하여 단시간 내에 수요에 따라 복수호기(multiple units)로 출력증대 가능성이 뛰어난 모듈형(Modular) 원자로(Reactor)를 공급하는 시장으로 차별화되고 있다. 아울러 SMR 시장은 소형(Small) 원자로이므로 단순한(Simple) 설계로 각종 고유 안전성(inherent safety)과 피동 안전성(passive safety)을 극대화하여, 획기적으로 안전한(Safe) 원자로 공급이 가능하도록 하는 3 S 전략으로, 도입국의 국민 수용성을 크게 향상시킬 수 있는 장점을 가지고 있어 수요가 급증할 것으로 예상되고 있다. 최근에 주목받고 있는 대표적인 SMR 시장을 나열하면 다음과 같다:

- 미국 내 노후 석탄 화력발전소 대체 수요는 353개, 약 59GW에 해당
- 극지 및 고립지역 초소형 SMR 수요 (전기+난방) 증대 예상
- 개도국 도서지역 소규모 전기 공급망 (전기+담수화) 증대 예상
- 기타 쇄빙선과 같은 해양원전 수요 증대 예상

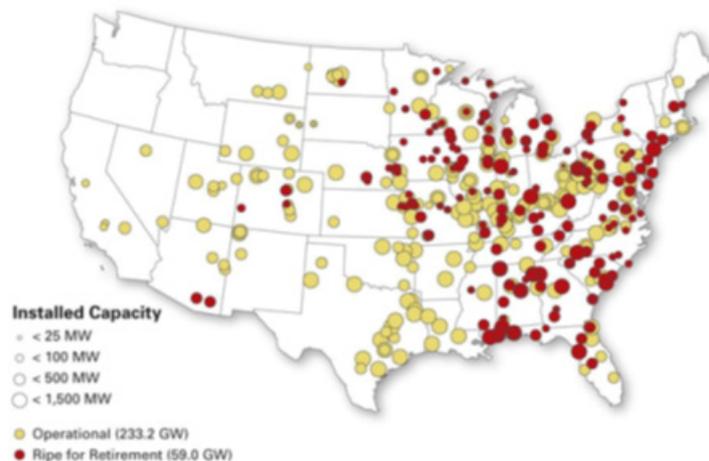


그림 3.2-8 미국 내 노후 화력발전소 분포도



그림 3.2-9 초소형 SMR 수요 후보 지역인 북미 극지 고립지역

나. 청정에너지 수요 시장 전망 [12-13]

국제기구의 온실가스(CO₂ 등) 배출억제강화에 따른 청정에너지(clean energy) 수요 시장 전망을 세계원자력협약체(WNA)의 Nuclear Century Outlook에서는 아래 그림과 같이 약 5배 증가할 것으로 내다보았고 또한 청정에너지 중에서 원자력이 차지하는 비중이 점차 확대될 것으로 전망하며 최대 기여도와 최소 기여도간의 차이를 약 8,000 GW 정도로 예상하였다. 이는 원자력 비중이 사회적 경제적 요소에 따라 크게 변할 수 있지만 미래 청정에너지의 주축이 될 것으로 전망함을 알 수 있다.

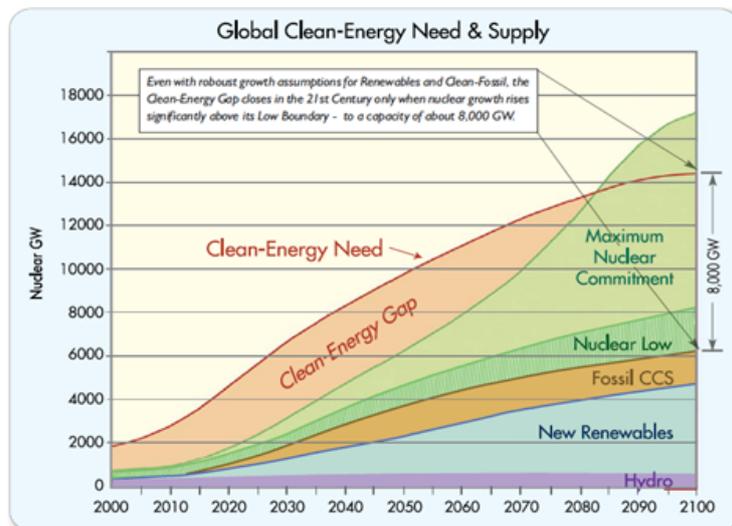


그림 3.2-10 국제 청정에너지 수요 전망과 원자력에너지 기여 전망

3.2.4 소형모듈원자로 경제성 분석

부유식 해양원전(FNPP)에 탑재될 원자로는 최근 활발히 개발되고 있는 SMR이 기술적으로나 경제적으로 최적이며, 무엇보다도 국민 수용성 측면에서 안전성이 획기적으로 개선되었기 때문에 이를 통한 부유식 해양원전 비즈니스 모델을 도출하고자 한다. 아직까지 부유식 해양원전 시장이 확실히 형성되지 않았고, 구체적인 상품이 개발되지 않았기 때문에, 부유식 해양원전에 장착할 SMR을 대상으로 미래 잠재 시장을 겨냥한 경제성 분석을 시도하고자 한다. 이러한 간접적인 경제성 분석을 통해 부유식 해양원전의 시장성과 경제성을 고찰하고자 한다.

가. SMR 경제성 분석지표

일반적으로 SMR을 포함한 상용 원자로(civil nuclear reactor)에 대한 경제성을 비교 평가하는 주요 지표 및 개념은 다음과 같다[9~11,14]:

- 건설단가(construction cost) USD/kWe : 주로 투자비용(investment cost) 또는 이자 할인율을 고려하지 않은 초기자본비용(overnight capital cost, OCC)으로 나타냄
- 균등화 전기생산단가 (levelized cost of electricity, LCOE) USC/kWh (USD/MWh): 대출담보 및 조정단가로 규제되는 전기공급시장 (OECD 국가, 산업화된 국가)에서의 경제성 비교지표로 사용됨 (그림3.2-11 참조)
- 규모의 경제(economy of scale) 개념: 원전의 규모가 클수록 경제성이 향상된다는 개념으로, 중대형 원전의 경제성 우위를 대변하는 개념임
- 대량생산의 경제(economy of serial production) 개념: 규모의 경제 개념의 대척점에 있는 개념으로, 소형 원자로의 경제성을 이를 표준화하여 공장에서 단기간 내에 대량생산하면 규모의 경제로 인한 불이익(penalty)을 만회할 수 있다는 개념임 (그림 3.2-12 참조)

$$LUEC = \frac{\sum_t \frac{(\text{Investment}_t + \text{O\&M}_t + \text{Fuel}_t + \text{Carbon}_t + \text{Decommissioning}_t)}{(1+r)^t}}{\sum_t \left(\frac{\text{Electricity}_t}{(1+r)^t} \right)}$$

where:

Electricity _t :	The amount of electricity produced in year "t";
r:	Annual discount rate;
Investment _t :	Investment cost in year "t";
O&M _t :	Operations and maintenance cost in year "t";
Fuel _t :	Fuel cost in year "t";
Carbon _t :	Carbon cost in year "t";
Decommissioning _t :	Decommissioning cost in year "t".

그림 3.2-11 균등화 전기생산단가(LCOE) 산정방법

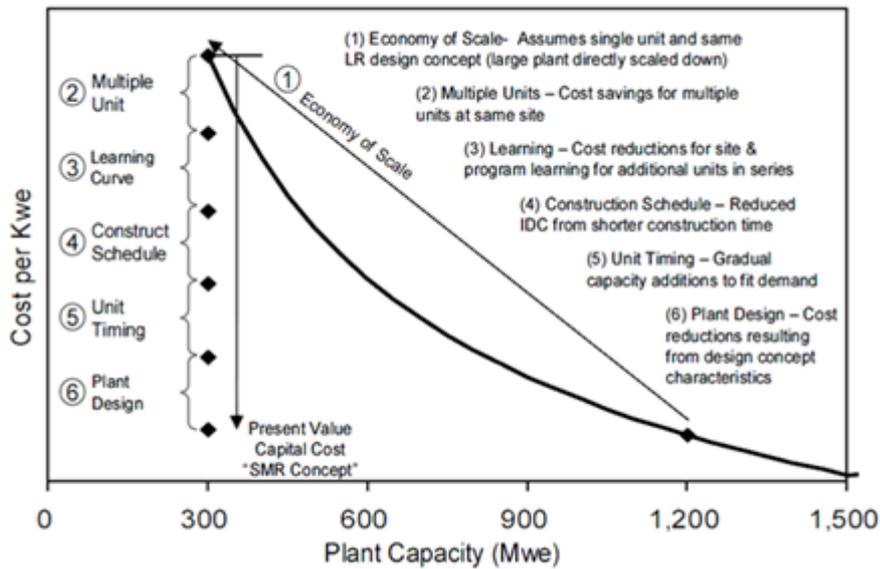


그림 3.2-12 SMR의 규모의 경제 불이익 만회 개념: 대량생산의 경제개념

SMR의 경제성은 규모의 경제 개념에 따라 건설단가가 그림3.2-12에서 보는 바와 같이 몇 배나 상승하지만 표준화로 공장에서 대량생산하고, 반복건설에 의한 학습효과(learning curve), 공장제작 및 모듈공법에 의한 건설공기 단축, 순차적 건설(unit timing)에 의한 초기투자부담 감소, 단순 설계 등으로 규모의 경제 불이익을 만회할 수 있어야 경쟁력을 확보할 수 있다.

나. Top-down Scaling 방법론에 입각한 SMR 경제성 평가

가압경수로(pressurized water reactor, PWR) 기반의 SMR에 대한 경제성 평가는 OECD/NEA 원자력개발국(Nuclear Development Division)에서 제안한 방법에 따르는 것이 가장 합리적이라 판단한다[9-11]. 이에 따르면 아직 SMR에 대한 건설시장이 형성되지 않았기 때문에, 현재 건설 운영 중인 상용 가압경수로의 건설단가 및 운영/유지비용 등을 토대로, top-down scaling 방법을 통해 균등화 전기 생산단가(LCOE 또는 LUEC)를 산출하여 타 에너지원과 비교 평가하는 것이다. 이러한 top-down scaling 방법론에 의거한 SMR 경제성 평가는 아래 그림과 같이 수행되며, 이때 SMR의 경쟁력에 고려되는 핵심 인자는 다음과 같다:

- n : scaling parameter (상용 PWR 대비 SMR의 규모의 경제 축소비)
- 설계 단순화 인자
- 공기 단축 인자
- 최초유형(First Of A Kind, FOAK) 및 복수호기 순차건설 인자
- 공장제작 및 대량생산(학습효과) 인자

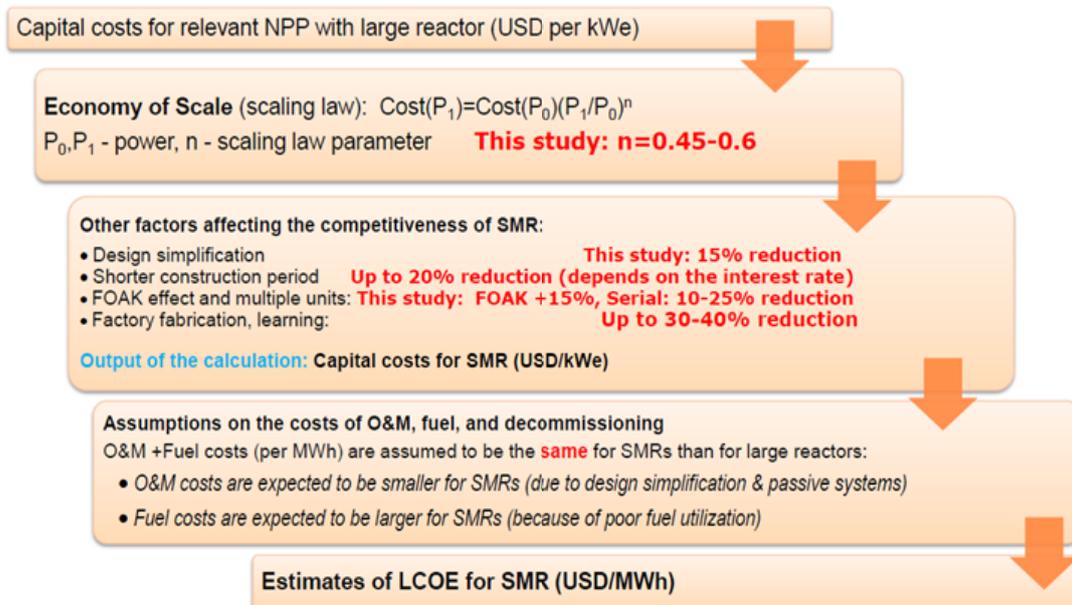


그림 3.2-13 Top-down Scaling 방법에 의한 SMR LCOE 추정과정

OECD/NEA의 SMR 경제성 평가보고서[9-11]에서 평가 대상으로 삼은 주요 가압경수로 기반 SMR들의 전기출력, 발전소 유형, 인허가 현황과 현재 개발 중인 SMR들을 다양한 출력 조합(단일호기, 복수호기)별로 제안된 발전소 설계수명과 초기투자자본 즉 건설단가에 따라 상기한 Top-down Scaling 방법으로 균등화 전기생산단가(Levelized Unit Electricity Cost, LUEC)를 산출한 결과가 아래의 그림에 나타나있다. 여기에는 균등화 전기생산단가 중에 초기 투자비용과 유지보수 및 연료비용이 차지하는 비율도 제시되고 있다. 그림3.2-14로부터 알 수 있는 사실은 균등화 전기생산단가는 발전소 설계수명과 가동률(availability)이 클수록 또한 복수호기로 출력 조합이 클수록 비록 초기투자비용이 크더라도 상쇄되어 그 단가가 줄어든다는 것이다. 이는 앞서 언급한 규모의 경제로 인한 불이익을 대량생산의 경제 개념으로 부분적으로 만회할 수 있음을 잘 보여주고 있다.

SMR	Technology	Electric output, MW	Plant configuration	Licensing status
KLT-40S Russia	PWR	2x 35	Twin unit barge-mounted	Licensed Under construction, expected in 2016
SMART Republic of Korea	PWR	90	Single module	Licensed
mPower, USA	PWR	Nx 125	Multi-module	Licensing pre-application First winner of the US DOE 452 M\$ grant
Westinghouse SMR, USA	PWR	225		Application for design certification to NRC by the end of 2013
NuScale USA	PWR	Nx 45	Multi-module	Licensing pre-application
Holtec HI-SMUR, SMR-160 USA	PWR	140		Application for design certification to NRC

Plant configuration	Total electric output of the plant (net) MWe	Plant lifetime Years/ Availability	Investment cost *	Investment component of LUEC**	O&M + fuel component of LUEC**	LUEC**
PWR-8 twin-unit barge-mounted 	15.8	50/80%	21 800-23 300	161-172	31.1	192-203
PWR-35 twin-unit barge-mounted 	70	40/85%	10 500-11 200	78-83	31.1	109-114
PWR-90(1) single module plant 	90	60/90%	5 490	35	16.9	52
PWR-90(2) single module plant 	90	60/90%	5 600	36	18.3	54
PWR-125 five module plant 	625	60/90%	7 350-8 046	47-51	22.2	69-73
PWR-302 twin-unit barge-mounted 	604	60/92%	3 650-3 900	23-24	31.1	54-55
PWR-302 twin-unit land-based 	604	60/92%	4 250-4 720	26-29	20.7	47-50
PWR-335 two twin-units 	1 340	60/96%	5 086-5 651	30-34	22.2	53-56

* for 5 % discount rate, USD per kWe.

** at 5% discount rate, USD per MWh.

그림 3.2-14 주요 SMR 개발현황과 출력 조합별 균등화 전기생산단가 비교

다. 타 전력원 대비 SMR의 경제성 비교

다양한 전력원간의 경제성 지표로 사용되는 균등화 전력생산단가(LCOE)는 지역 간 국가간의 전력단가 운영제도에 따라 상대적으로 다르게 평가될 수 있으므로 권역별로 전력원별로 비교 평가하는 것이 필요하다. OECD/NEA SMR 경제성 평가 보고서[9-11]에서는 아래 그림과 같이 아시아-태평양, 유럽, 북 아메리카 3개의 권역별로 풍력, 가스, 석탄, SMR, 대형 상용원전별로 LCOE 가격경쟁력을 제시하고 있다. SMR의 가격 경쟁력은 대형 상용원전 대비 비교 우위에 있다고 장담할 수 없지만 다른 전력원 대비 충분한 경쟁력을 가지며, 유럽과 북미 지역에서는 일정 조건하에서는 대형 상용원전에 대해서도 경쟁력을 가지고 있음을 알 수 있다. 따라서 지역별 차등 LCOE 단가에 따른 틈새시장 창출이 가능한 것으로 판단된다.

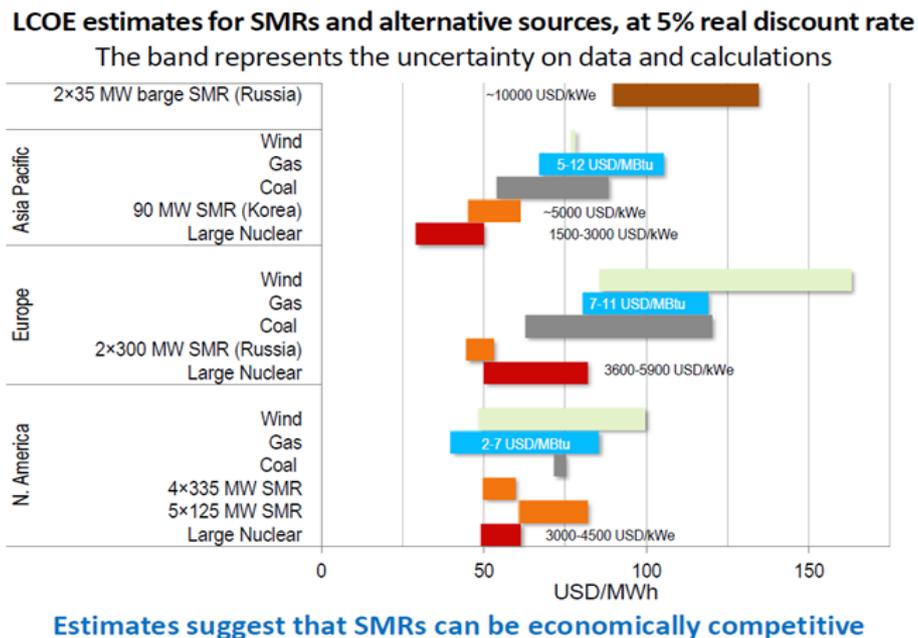


그림 3.2-15 타 전력원 대비 SMR 경제성 비교

그림 3.2-16에서는 권역별로 타 전력원, 즉 풍력, 천연가스, 석탄, 대형 상용원전과 국가별 대표적인 SMR 모델들을 2호기 이상 복수호기로 모듈로 공급할 경우의 LUEC 가격 경쟁력을 보여주고 있다. 러시아의 소형 부유식 해양원전 이외의 모든 SMR 모델들이 풍력이나 천연가스, 석탄보다 훨씬 경쟁력이 있고, 아시아 지역을 제외하고는 대형 상용원전과도 대등한 가격 경쟁력을 보여주고 있다.

Regional ranges for LUEC and estimated values of the SMR LUEC (at a 5% discount rate)

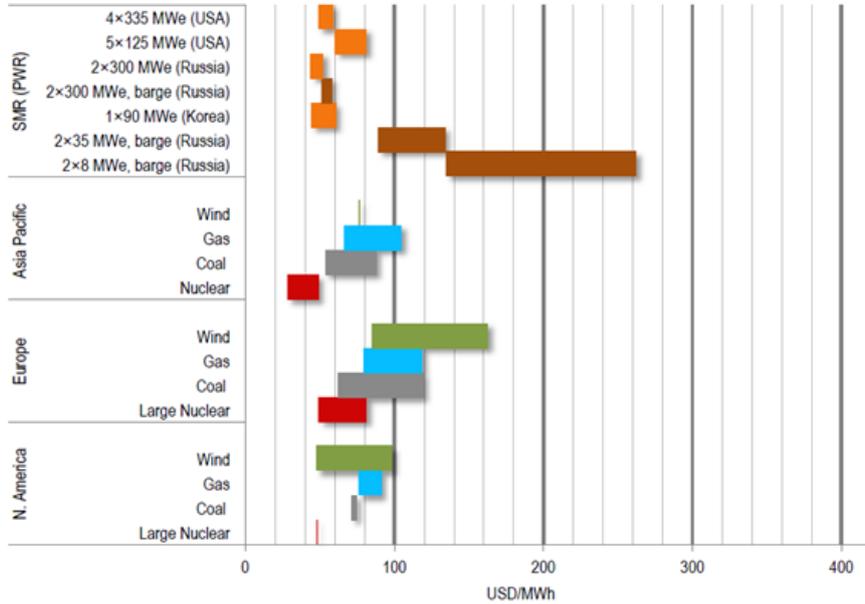


그림 3.2-16 타 전력원 대비 다양한 SMR 모델들의 가격 경쟁력

라. 육상용 대비 부유식 SMR의 출력별 건설단가 비교

OECD/NEA SMR 경제성 평가 보고서에 따르면 육상용 대비 부유식 SMR은 모든 설비의 공장제작 등으로 건설단가(OCC)가 20% 정도 절감되지만, 반면에 높은 유지보수비용으로 균등화 전기생산단가(LCOE)는 약 6% 정도로 절감될 것으로 추정된다. 아래 그림은 육상용 대비 부유식 SMR의 건설단가 비교를 최초호기건설(FOAK)과 Nth호기건설(NOAK) 간의 학습효과에 의한 단가 절감과 규모의 경제효과에 의한 출력 증가에 따른 단가 절감을 종합적으로 보여주고 있다. 공장제작에 의한 건설단가 절감효과와 대량생산에 의한 건설단가 절감효과는 출력이 50MWe에서 100MWe 사이에서 상대적으로 크게 나타나고 있다. 이는 소형일수록 공장에서 모듈 제작이 용이하고 대량생산에 의한 가격 경쟁력도 향상됨을 알 수 있다. 따라서 50MWe급의 소형 SMR로 공장제작이 가능하고, 표준화로 대량생산이 가능하며, 모듈형으로 복수호기로 출력증대가 탄력적으로 가능한, 부유식 해양원전(FNPP)은 육상용 SMR보다 훨씬 가격 경쟁력을 제고할 수 있음을 시사한다.

Specific (per kWe) overnight capital costs for land-based and barge-mounted NPPs of different power, including first-of-a-kind (FOAK) and nth-of-a-kind (NOAK) plants

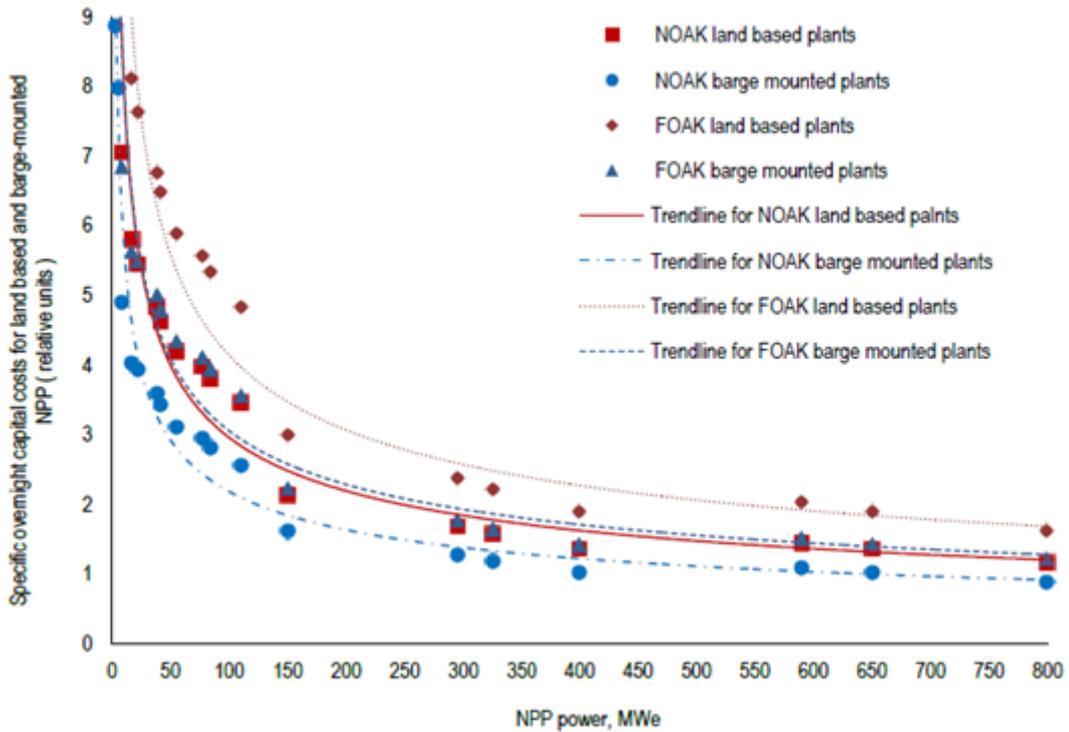
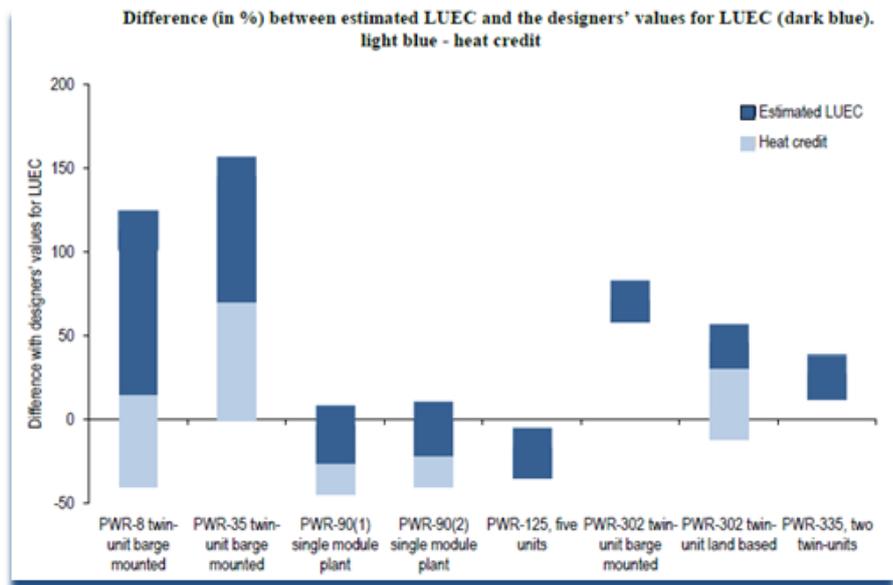


그림 3.2-17 육상용 대비 부유식 SMR의 건설단가 경쟁력 비교

마. 부유식 SMR의 추가 경제성 제고 방안

부유식 SMR의 경제성 제고 방안으로는 담수화 및 지역난방과 같은 비 전기 생산 용도로 복합발전을 할 경우, 균등화 전기생산단가의 20~30% 정도 경제성 제고 효과를 거둘 수 있을 것으로 기대된다. SMR은 담수화 및 지역난방 수요를 감당 하기에 가장 적합한 규모이며 입지 조건에도 적합한 노형이다. 아래 그림은 개발 중인 SMR 모델에 대한 설계자 제안 전력생산단가 대비 Top-down Scaling 방법에 의한 전력생산단가 추정치간의 차이를 담수화 및 지역난방과 같은 비전력 생산 단가로 보전할 경우 상당 부분을 차감할 수 있음을 보여 주고 있다. 다음으로는 3 가지 SMR (KLT-40S, VBER-300, SMART)에 비전력생산 및 전기생산을 복합 발전할 경우 비전력생산으로 인한 열 공제액(heat credit) 비율을 나타내고 있다.



LUEC evaluation for advanced SMRs taking into account heat credit (in 2009 USD)

SMR	Energy products	Non-electrical product cost	LUEC, USD per MWh	Heat credit: Cost of heat/ Cost of electricity
KLT-40S (barge-mounted)	35 MWe plus 25 Gcal/h of low-grade heat output [8.13]	21-23 USD/GCal	49-53	28.3-33.5%
VBER-300 (barge-mounted or land-based)	302 MWe plus 150 GCal/h of heat for district heating	18 USD/GCal	33-35	25-27%
SMART	90 MWe plus 1 667 m ³ /h of desalinated water	70 USD cent/m ³ of desalinated water	60	21.6%

그림 3.2-18 복합 발전에 따른 SMR 가격 경쟁력 제고

3.3 기술 현황

3.3.1 부유식 해양원전(FNPP) 개발 사례

가. 러시아 부유식 해양원전 Akademik Lomonosov

러시아에서는 ROSATOM 산하 OKBM사 주도로 부유식 해양원전 건조를 2016년 완공을 목표로 하여 진행하고 있다. 쇄빙선에 사용된 KLT-40 타입 원자로 2기를 발전용 KLT-40S로 변형하여 부유식 발전소로 활용할 계획이다. 두 원자로의 가장 큰 차이는 연료의 농축율로서 쇄빙선에 사용된 연료는 고농축 우라늄인 반면에 발전용 원자로는 저농축 우라늄이다. 러시아 오지에 위치한 항구는 대부분 겨울철이 되면 에너지 공급에 난항을 겪기 때문에 이와 같은 지리적 여건을 가지고 있는 곳에서 전력으로 사용할 수 있게끔 건조하고 있다.

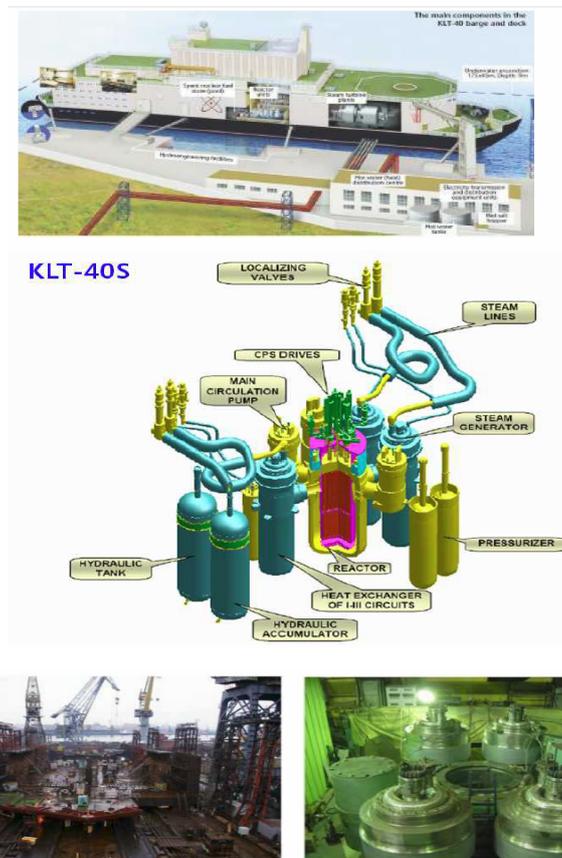


그림 3.3-1 KLT-40s 개념도 및 건조 진행사항

원자로 한 기당 열출력은 300MWt이며 70MWe의 전기를 생산할 수 있기 때문에 하나의 발전소에서 대략 140MWe 발전하여 20만 명의 도시에 전기를 공급할 수 있게 하고 있다. 총 배수량은 21,500톤, 길이 144.4m, 폭 30m, 높이 10m, 흘수 5.6m 이다 [1]. 중국도 관심을 현재 보이고 있으며 러시아에서 구매 또는 공동 개발할 계획도 가지고 있다. 러시아의 부유식 해양원전 설치 잠재 지역으로는 다음지역들이 거론되고 있으며 향후 러시아 부유식 해양원전 시장 전망을 세계원자력뉴스(WNN)는 그림 3.3-2와 같이 전하고 있다.

- Severodvinsk and Onega(Arkhangelsk Oblast)
- Vilyuchinsk(Kamchatka Oblast)
- Pevek(Chukotka Autonomous Okrug)
- Sovetskaya Gavan, Nikolayevsk-na-Amure(Khabarovsk Kray)
- Nakhodka, Olga, Rudnaya Pristan(Primorskiy Kray)
- Dudinka(Taymyr Autonomous Okrug)
- Trukhanskaya hydro-electric plant (Evenkiyskiy Autonomous Okrug)



그림 3.3-2 러시아 부유식 해양원전 시장 전망 WNN 기사

또한 러시아 부유식 해양원전 구매의사를 보인 국가로는 Argentina, China, Indonesia, Chile 등이 있다[2]. 또한 참고문헌[3]에 의하면 ROSATOM사는 인도네시아 그론탈로에 부유식 해양원전 건설을 검토한 것으로 알려져 있다.

나. 프랑스 잠수형 해양원전 FlexBlue

프랑스 DCNS사는 프랑스 원자력 추진 잠수함 관련 기술을 보유한 방위업체로, 프랑스 AREVA와 합작하여 근해 잠수형 해양원전 FlexBlue를 개발 중이다. 즉 공장에서 모듈을 완성하여 선박으로 설치 위치까지 이동시킨 후 전원이 필요한 도시 해저에 안착을 시켜서 전기를 공급하는 방식이다. 설치수심은 대략 60m에서 100m 정도이며 총 톤수는 12,000톤 정도이고, 직경은 12~15m 정도가 될 것이며 50~250MWe의 전기 출력 범위를 가질 것이다[1].



Flexblue system
The Sub Sea Module is the heart of the Flexblue Solution

- Power : 160 MW Electric
- Length ≈ 146 meters
- Hull Ø ≈ 14 meters
- Displacement ≈ 20 000 tons
- Moored up to a 100 meters depth
- Unmanned Operation, permanent accessibility

Flexblue Innovative Concept
A competitive source of electricity

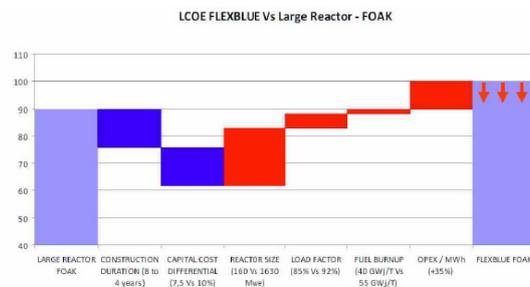


그림 3.3-3 FlexBlue 개념도 및 설계 사양

3.3.2 부유식 화력발전소(FTPP)의 기술특성

육상용 화력발전소 대비 부유식 화력발전소(FTPP)의 기술적 장점은 다음과 같이 정리할 수 있다:

- 조선소 야드에서 일괄 건조가 가능하므로 제품의 고품질이 보장됨
- 부지 조성과 독립적으로 건조가 가능하여 건조 공기 단축 가능함
- 임의 발전 설비 기술의 적용이 가능함
- 수송기술/능력을 활용하여 수요처 공급이 자유로움
- 해상 연료수송이 용이함
- 개발도상국 설치와 관련하여 안정적 재원 확보가 용이함
- NIMBY(Not In My Back Yard) 및 육상부지 문제 해결에 용이함

가. 건조성(Constructability)

- 조선소 건조에 따른 품질 확보
- 건설공기 대폭 감소
- 모듈화 생산/건조 가능
- 20 % 정도의 건설비 절감
- 1/3~1/4 공기 단축

나. 설치성과 재활용성 (Quick Installation & Easy to Relocate)

- 운송기술 고도화에 따른 수요-공급 독립성 확보
- 수요처(site) 변화에 능동대처
- 반영구적 재료공급의 안정성

다. 안전성과 설계 (Safety/Design)

- 부유구조물의 운동/진동/계류 조건에 안전 확보
- Compact /Optimal 배치설계 필요
- 설치 지역, 환경, 계류를 고려한 설계 필요
- 운송 기술 고려 필요

3.3.3 부유식 해양원전(FNPP) 개발의 기술적 과제

부유식 해양원전은 SMR을 탑재한 해양플랜트이므로 3.3.2절에서 기술한 부유식 화력발전소의 장점과 SMR의 고유 장점을 접목하여 개발하는 것이므로 아래와 같은 기술적 과제를 도출할 수 있고 부유식 해양원전의 기술 경쟁력을 제고하기 위해서는 반드시 이를 해결할 필요가 있다.

- 대량 공장생산이 가능한 표준 소형모듈원자로 개발
- 표준 원자로는 소형이면서 단순하고 조밀한 배치가 가능해야 함
- 표준 원자로는 고유/피동 안전성 강화로 운전원 개입을 최소화한 자율운전 (autonomous operation) 필요
- 표준 원자로는 모듈식 제작과 건설로 대량생산 인프라 구축 필요
- 표준 원자로는 방사선 피폭 최소화 및 이를 위한 차폐 수단 제공 필요
- 표준 원자로는 해양 환경에 적합하게 설계하고 적절한 사고대책 수립필요
- 표준 원자로는 원자로시설 관련 규정과 해양법 관련 규정 동시 준수 필요
- 표준 소형모듈원자로 설계목표 및 설계기준 정립
- 표준 원자로의 설계목표는 개발 중인 경수형 SMR 설계목표를 준용하되 육상용 고유목표(부지환경, 내진설계 등)로만 사용되는 것을 제외
- 해양 환경을 고려한 설계기준과 해양 적용에 대한 국민수용성(Public Acceptance) 확보
- IMO의 Nuclear Ship Code(1981)와 SOLAS Att. III (1974) 설계기준 준수

3.3.4 부유식 해양플랜트 공급업체 현황

가. Waller Marine Inc. (1980년 후반부터 공급 시작)

- 해양플랜트 EPC 기업으로 50 Hz 및 60 Hz 가스터빈 부유식 해양플랜트를 공급함
- 단순 사이클 출력은 5 MW에서 250 MW까지, 복합 사이클 출력으로는 500 MW까지 공급함

- 주요 실적
 - 171 MW 가스터빈 단순 사이클 발전기(2기): Venezuela 설치
 - 115 MW 단순 사이클 부유식 해양플랜트(power barge): Ecuador 설치
 - 30 MW 디젤 부유식 해양플랜트 (3기): Philippines 설치
 - 35 MW 단순 사이클 부유식 해양플랜트 (2기): Nigeria 설치

나. Polar Energy (1990년 초반)

- 부유식 해양플랜트 설계, 건설, 운영 회사
- 공급 대상국가 : Columbia, Ecuador, Philippines, Caribbean, Nigeria.

다. Power Barge Corporation

- 부유식 해양플랜트 EPC 기업
- 주요 공급 실적
 - 72 MW 60 Hz Wartsila 18V38 medium speed engine power barge
 - 6 MW gas turbine power barge (2 x W251B11)
 - 105 MW gas turbine power barge (1 x W501D5)
 - 115 MW gas turbine power barge (1 x W501D5A)
 - 44 MW MAN medium speed engine power barge
 - 40 MW Wartsila medium speed engine power barge

라. Mardin Energy & Marine Inc.

- 부유식 해양플랜트 설계, 건설, 운영 EPC 기업
- 주요 공급 실적
 - Inspection and evaluation of 200 MW power plant at Saudi Arabia
 - Inspection and evaluation of 4 x Power Barges in Manila Phillipines
 - Project Management of 110 MW Flaoting Power Barge at Singapore
 - Project Management of 120 MW Flaoting Power Ship in Turkey
 - Project Management of 160 MW Flaoting Power Ship in Turkey
 - Project Management of 200 MW Flaoting Power Ship in Turkey

마. 기타

- Wartsila, MAN Diesel & Turbo, DSME, HHI, SHI, SHI

3.3.5 세계 최초의 부유식 해양원전 KLT-40S 기술 특성 및 현안

러시아에서 세계 최초로 선보인 부유식 해양원전 KLT-40S는 원자력기술과 조선해양기술의 집합체인 해양원자로기술에 기반하여 러시아 원자력 규제요건 및 러시아 선급(Russian Marine Register) 요건을 모두 충족한 설계다. 원자로는 모듈식 설계로 조밀한 배치가 가능하게 설계하였고, 방사성물질로부터 차폐와 누설방지 설계가 심층 방어적으로 설계되었다. 예로 원자로 격납건물(containment)뿐만 아니라 방호 울타리(protective enclosure)로 방수(waterproof) 및 방기(gas proof) 기능을 담당하게 하고 있다. 또한 침수 및 전복대비 설계로 9개의 방수 격벽(waterproof bulkheads)을 배치하고 있다.

KLT-40S는 또한 안전성을 강화하기 위해 고유(inherent) 및 피동(passive) 안전성 설계 개념을 도입하여 원자로설비의 자체 방호(self-protection) 및 자율운전(autonomous operation) 개념을 구현하였다. 이러한 설계 개념은 IAEA 5단계 심층방어 설계개념을 완전히 충족하는 것이다.

- 1단계 : 비정상운전/고장 방지(고유안전성)
- 2단계 : 비정상운전 제어 및 고장 탐지(능동계통)
- 3단계 : 설계기준 내 사고 제어(고유/피동안전성)
- 4단계 : 중대사고 전개 방지 및 완화(고유/피동)
- 5단계 : 심각한 방사성물질 방출 완화 (행정조치)

KLT-40S는 이러한 설계특성으로 인해 육상용 동급 원자로 대비 약 2배정도 (10,000 USD/kWe)의 건설비가 소요될 것으로 예상된다. 따라서 KLT-40S는 과다한 건설단가와 낮은 출력으로 인해 아주 높은 전력생산단가가 예상되어 전력단가를 차등적으로 적용하는 지역이 아니면 시장성이 없을 것이다. 사실 러시아나 캐나다와 같이 지역별로 차등 전력단가를 시행하는 나라에서는 오지나 극지와 같은 고

립지역은 대도시 또는 인구밀집지역 대비 2배에서 3배까지 비싼 전기요금을 책정하고 있다. 이런 지역에서는 비록 전력생산단가가 타 전력원 대비 높아도 다른 전력원을 사용하는데 한계가 있기 때문에 이를 선택할 수밖에 없어 틈새시장으로 성장 가능하다. 그러나 이러한 가격 경쟁력으로는 시장을 확대하는데 한계가 있기 때문에 좀더 건설단가를 줄이고 운영비를 절감할 혁신적인 설계개념이 필요하다. 다시 말해 좀더 단순하고, 안전한 설계로 경제성과 안전성을 획기적으로 개선하지 못하면 부유식 해양원전의 폭넓은 시장성을 확보하기 어렵다.

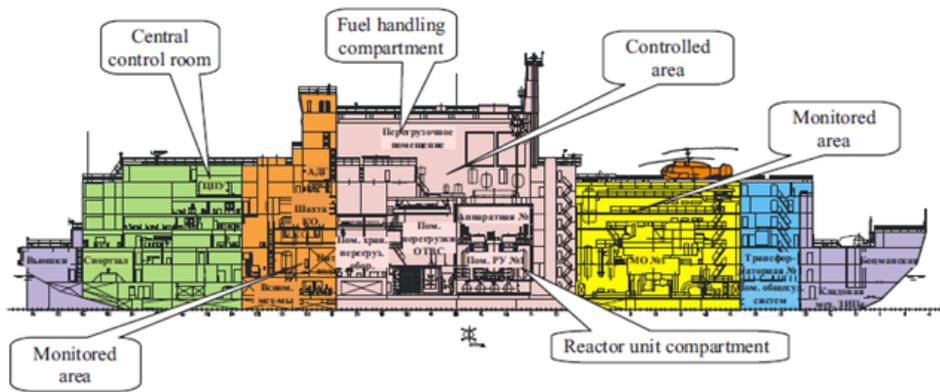


그림 3.3-4 KLT-40S 모델의 구획 배치 개념 (격벽 구조)

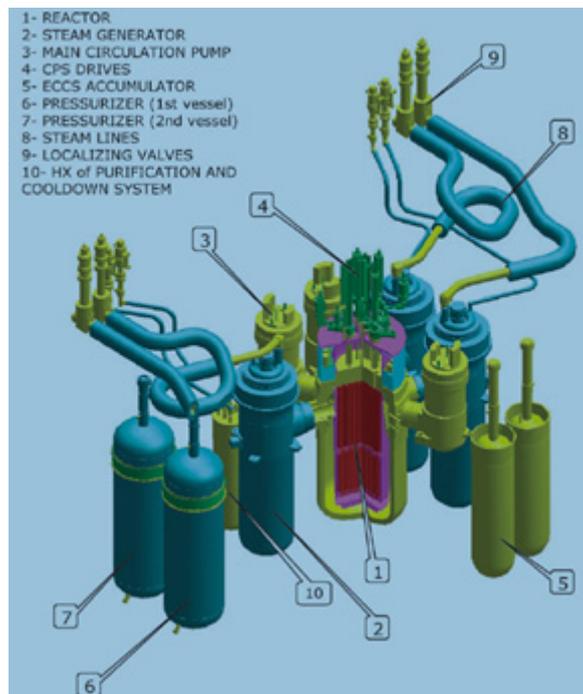


그림 3.3-5 KLT-40S 모델의 원자로 구성



그림 3.3-6 자기보호 및 자율운전 설계개념

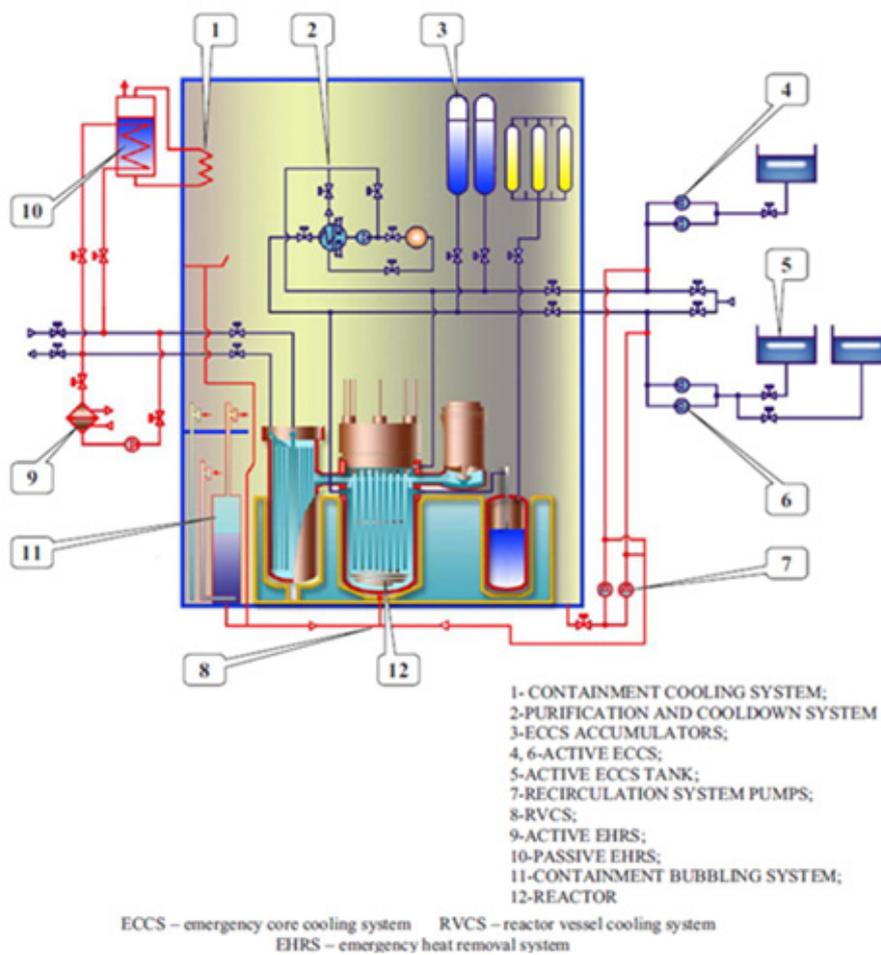


그림 3.3-7 KLT-40S의 능동 및 피동 안전계통 혼용 설계 개념

3.5 추진체계 및 전략

3.5.1 비즈니스 모델 도출

앞서 기술한 바와 같이 부유식 해양원전(FNPP)의 시장동향 및 전망, 경제성 분석과 기술동향 분석을 통해 FNPP 비즈니스 모델을 아래 그림과 같이 도출하였다. 부유식 해양원전 시장 진입은 경쟁시장(red ocean)이 아닌 신흥시장(blue ocean)을 지향하기 때문에, 시장 추종자(Fast Follower)가 아니라 시장 선도자(First Mover) 전략으로, 우리나라의 발전된 조선해양 산업과 원자력 산업의 경쟁력을 바탕으로 FNPP 시장의 글로벌 리더를 지향한다. 이러한 융복합산업의 주역으로 전문화된 엔지니어링 회사가 도서 및 연안지역을 대상으로 한 소규모 분산전력망용 100MWe 급 FNPP 개발 사업을 국가 대형 융복합 사업으로 추진하는 것을 목표로 한다.

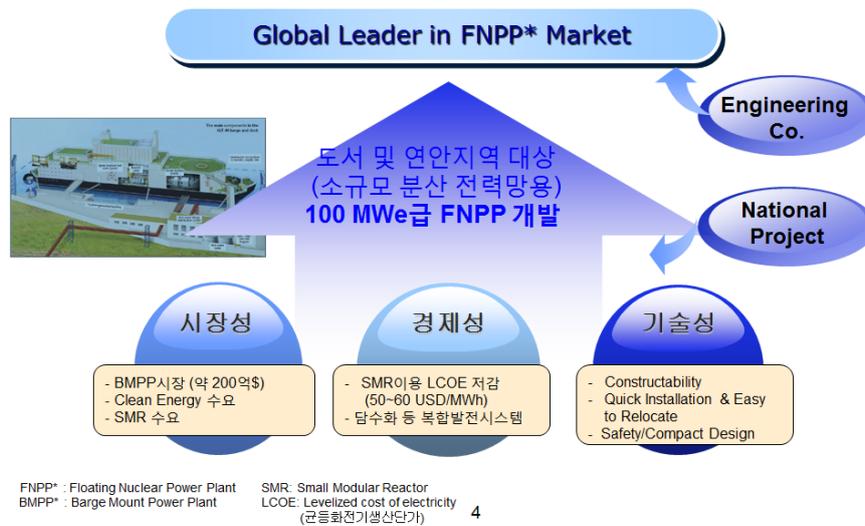


그림 3.5-1 FNPP 개발 비즈니스 모델

3.5.2 추진전략 체계

앞서 도출된 FNPP 개발 비즈니스 모델을 성공적으로 추진하기 위해 먼저 사업성 확보전략을 통해 사업단 구성 및 재원을 확보하고, 기술개발전략을 통해 핵심기술을 확보한 후, 실증모델 개발전략을 통해 사업성을 실증하고 시장을 개척하는 추진전략 체계를 구축하였다.

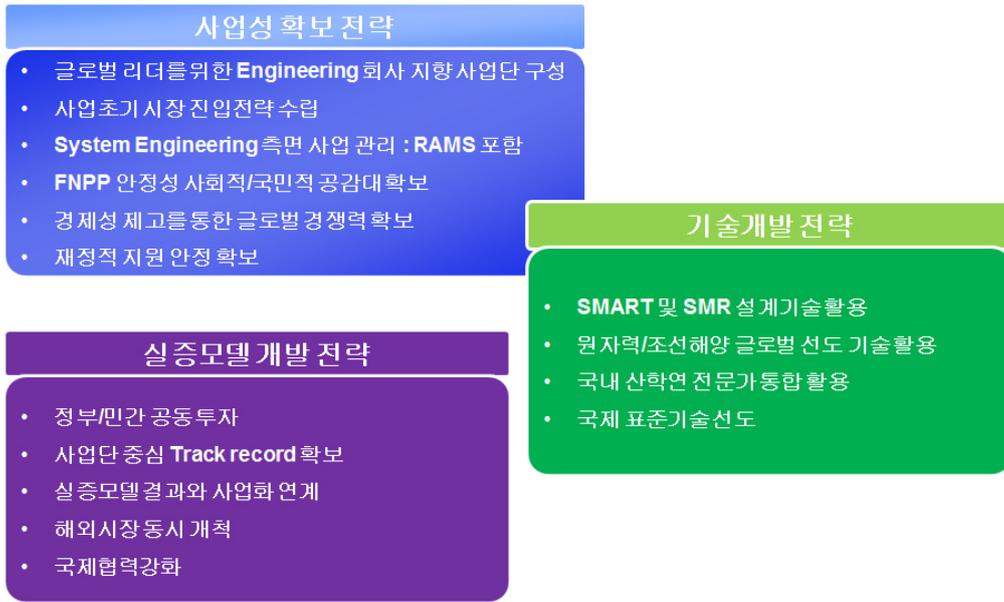


그림 3.5-2 FNPP 개발사업 추진전략

또한 FNPP 개발을 위한 사업추진체계로 아래 그림과 같이 FNPP 개발사업단을 중심으로 한 원자력 및 조선해양기술 개발 주체와 사업운영 주체를 도식화하였다.

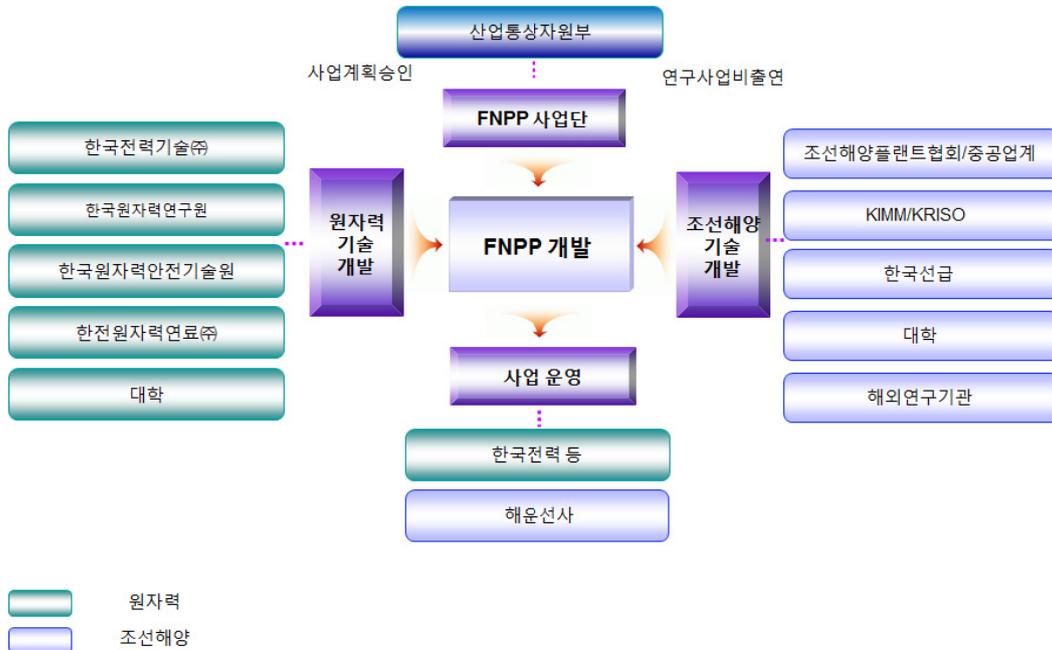


그림 3.5-3 FNPP 개발 사업추진체계

3.6 추진예산 및 개발기간

국내 최초의 소형 일체형 원자로인 SMART 개발 경험과 차세대 소형모듈원자로 (SMR) 개발 기획 경험을 토대로 기 축적된 기술과 인프라를 최대한 활용한다는 전제하에서 100 MWe급 FNPP 실증모델 개발에 소요되는 추정예산은 FNPP용 SMR 개발에 5,000억 원, FNPP 용 Platform Structure 시스템에 2,000억 원이 소요되어, 시험운영비를 제외하고 총 7,000 억원이 소요될 것으로 추정된다. 사업 개발 기간은 사업성 확보연구에 2년, 핵심기술개발에 5년, 실증모델시험에 3년이 소요될 것으로 추정되며 각 단계별 중첩기간을 제외하면 전체 개발 기간은 총 7 년이 소요될 것으로 추정된다.

한편 아래의 그림은 사업성확보연구, 핵심기술개발, 실증모델 시험개발 단계별로 사업의 핵심내용과 기간을 도식화한 것이다.

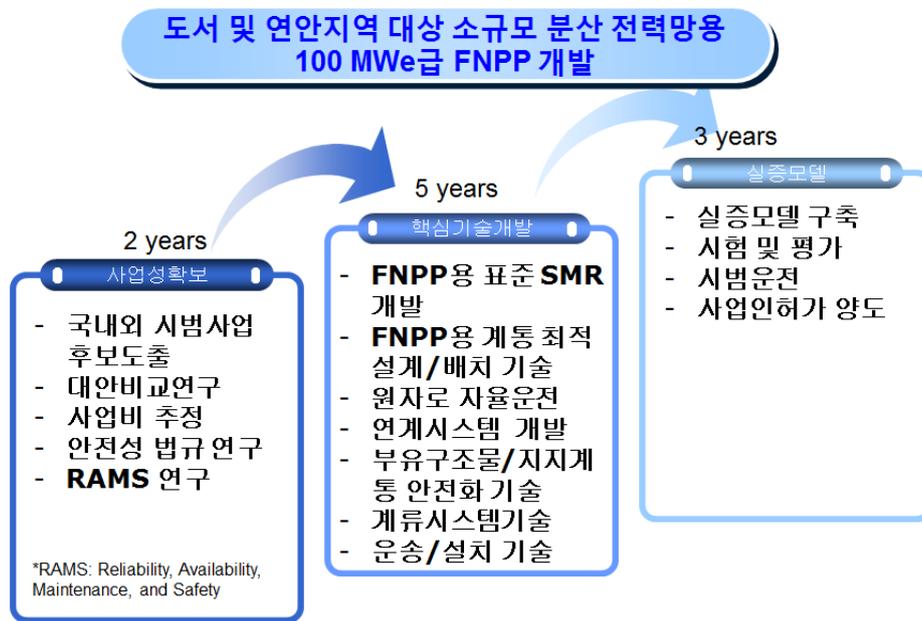


그림 3.6-1 단계별 사업 추진전략 및 소요기간

3.7 SWOT 분석

부유식 해양원전(FNPP)의 시장성, 경제성, 기술성 분석결과에 따라 도출된 비즈니스 모델에 관한 강점(strength), 약점(weakness), 기회(opportunity), 위협(threat) 요소들을 앞서 기술한 시장 동향 분석과 전망, 가격 경쟁력과 시장성, 그리고 기술 동향과 현안들을 근거로 일목요연하게 정리한 SWOT 분석 결과는 아래 그림과 같다.

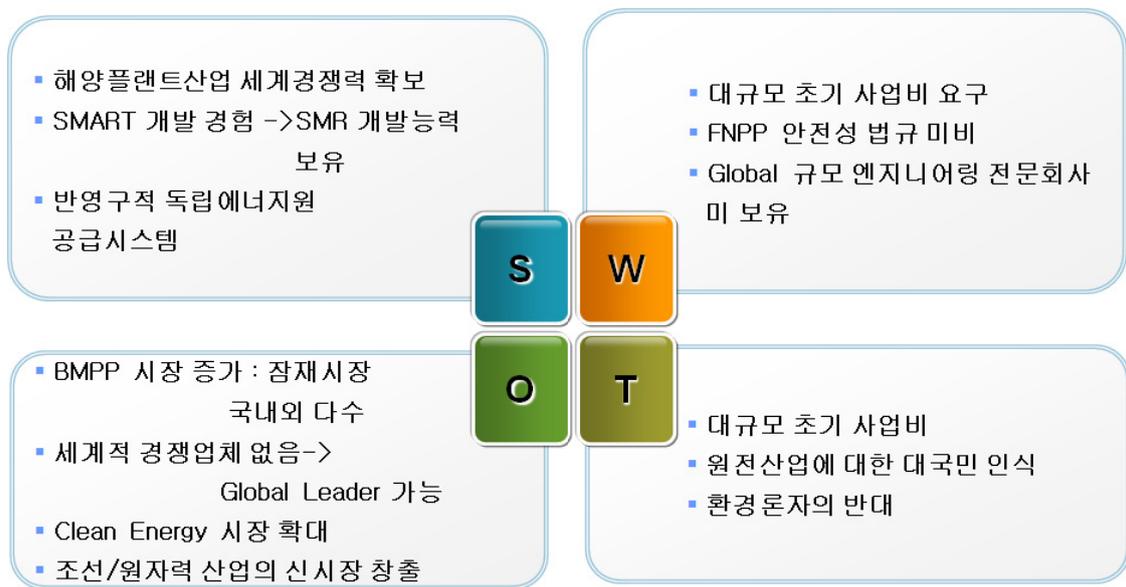


그림 3.7-1 FNPP 개발사업 SWOT 분석

4. 동력선 해양원자력시스템의 비즈니스 모델

4.1 개요

화석 연료의 고갈 문제가 심각해지고, 온실 가스 배출에 대한 규제가 강화되면서 새로운 동력원의 필요가 증가하였다. 최근 각광받고 있는 신재생 에너지와 연료전지는 화석연료를 대체하는 수단으로는 부족한 실정이다. 즉 풍력, 조력, 조류력 등 신재생 에너지는 발전 단가가 높으며 안정적인 발전이 힘들고, 연료전지는 현재까지 대용량 발전에는 한계가 있기 때문이다. 이에 따라 안정적으로 대용량 발전이 가능한 원자력의 중요성이 대두되었으며, 이러한 경향은 조선업에도 두드러진다. 즉 화석 연료를 대체할 친환경 대용량 선박의 동력원에 대한 수요가 증가하고, 다음과 같이 IMO의 온실가스에 대한 규제가 강화됨에 따라 원자력 추진 선박의 필요성이 대두되었다.

전 세계적으로 기후 변화와 지구 온난화에 대한 정치, 사회 및 경제적 관심이 증가하고 있는 가운데, IMO(International Maritime Organization, 국제해사기구)도 선박에 의한 대기오염의 감소를 위해 1997년에 채택된 “국제해양오염방지협약(MARPOL)”의 “대기오염방지에 관한 부속서 VI”에 대한 엄격한 이행을 유도하고 있으며, 이러한 추세는 향후 지속적으로 강화될 것으로 예측되고 있다. IMO MEPC(Marine Environmental Protection Committee, 해양환경보호위원회)에서는 온실가스 저감을 위한 기본적인 틀을 마련하고 있으며, 단기 방안으로 선박 연료소모량의 개선, 선속의 감소 등을 고려하고 있다. 또한 장기 방안으로는 선박 설계에 있어 기술적인 부분, 즉 최적화된 선형, 프로펠러 및 엔진의 성능 개선 등을 제시하고 있으며, 대체 연료의 사용, 신규 선박에 대한 강제적인 CO₂ 설계지수, 배출가스 거래제 등을 검토하고 있다.

이와 같이 선박으로부터 배출되는 온실가스 저감을 위한 전 세계적인 노력의 일환으로 다음과 같이 원자력 추진 선박에 대한 관심이 고조 되고 있다. 이미 전 세계적으로 다양한 군용 선박 및 잠수함 운용 경험과 60-70년대에 개발되어 성공적

으로 운용되었던 원자력 추진 선박에 관한 실적을 보유하고 있다. 또한 유가 상승 및 탄소 저배출 고급유(Marine Diesel Oil) 사용에 대한 요구, 그리고 탄소세를 도입하려는 움직임 등으로 인해 비교적 안정된 가격의 우라늄을 활용한 원자력의 장점이 재조명되고 있다. 해운산업에서 요구하는 고속화, 대용량화에 대응하기 위해서는 막대한 온실가스 배출을 수반하는 디젤 추진 시스템의 대체 에너지원에 대한 요구가 시급한 실정이다. 이외에도 해상으로 접근 가능한 도서 지역에 소규모 전력과 담수를 공급하기 위한 수단으로서 부유식 해양 원자력 시스템이 개발 중이며, 최근에는 안전성을 향상시킨 다양한 신형 원자로가 활발하게 개발되고 있어 기술적인 측면에서도 이러한 경향이 가속화 하고 있다.

이러한 사회적, 기술적 필요성을 근거로 하여 원자력 추진 선박에 대한 비즈니스 모델을 수립하고자 한다. 대상 선박으로는 대형화, 고속화 추세로 인해 원자력 추진의 도입이 가장 절실한 대형 고속 컨테이너선을 선정하였다. 이와 같이 선정한 원자력 추진 대형 고속 컨테이너선의 비즈니스 모델의 범위는 다음과 같다.

- 원자력 추진선 신조 및 개조(retrofit)
- 선박용 원자로 공급
- 차폐체와 BOP(Balance of Plant, 보조기기)의 설계, 시험 및 제작 서비스
- 원자력 추진선의 핵심 설계
- 안전 기술 및 인허가 등
- 원자로 및 연료봉 교체 등 유지·보수 서비스
- 특수항만설비 서비스
- 폐기물 처리 서비스
- 원자로 해체(decommissioning) 서비스

필요성 분석의 한 단계로서 14,000TEU 급 컨테이너선에 대해 원자력 추진을 사용하는 경우와 디젤엔진을 사용하는 경우에 대해 여러 가지 경우에 대한 경제성 분석을 수행하였으며 원자력 추진 컨테이너선이 초기 투자비용이 많이 소요되지만 연료비가 적어 경제성이 있는 것으로 분석되었다.

조선해양 기술 및 원자력 기술 로드맵 분석을 통해 원자력 추진 컨테이션의 개발은 법 및 규제기준 개발, 그리고 원자력추진시스템 개발 및 실증의 두 트랙으로 추진되는 것이 바람직하며, 전체를 기술개발 및 원자로실증의 두 단계로 나누어 실증완료까지 10년의 기간이 소요되고 총 개발비용은 9,700억원이 소요되는 것으로 추정되었다. 단계별 개발 내용과 예산을 정리하면 표 4.1-1과 같다.

단계	개발 내용	예산 (억원)
1단계 (4년)	법 및 인허가 기준개발	100
	선박추진용 원자로 개발	1,000
	원자력 추진 선박 시스템 설계	300
	소계	1,400
2단계 (6년)	선박용원자로실증 및 인허가	8,000
	원자력 추진 선박 상세설계	300
	소계	8,300
합 계		9,700

표 4.1-1 단계별 개발내용 및 개발기간

우리나라는 세계 최고의 조선해양기술 및 원자력기술을 보유하고 있으며 2012년에는 SMART 원자로가 SMR 계열의 원자로로는 세계 최초로 인허가 기관으로부터 표준설계인가를 받아 우리나라가 소형원자로 설계기술을 선도하고 있다고 할 수 있다. 따라서 우리나라는 원자력 추진 선박의 개발을 위한 충분한 기술을 확보하고 있으며 원자력 추진 선박이 약 10년 후에 상용화 될 것으로 예측되고 있는 바, 표4.1-1에 보는 바와 같이 선박용 원자로 실증까지 10년이 소요되므로 세계 시장선점을 위해서는 지금부터 준비해야 한다.

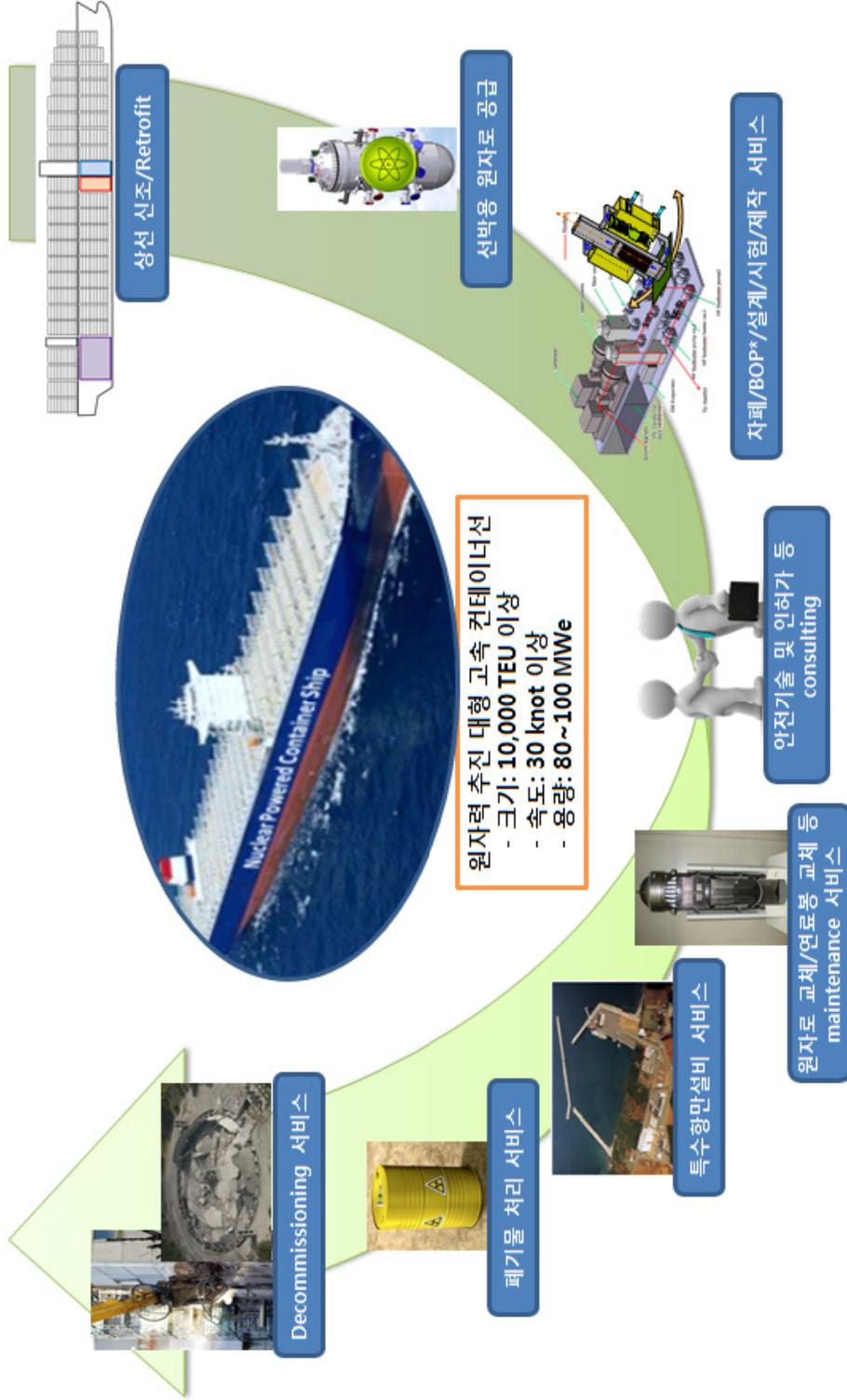


그림 4.1-1 동력선 해양 원자력 시스템의 비즈니스 모델 개요

4.2 필요성 및 시급성

4.2.1 컨테이너선의 대형화, 고속화로 인한 필요성

컨테이너선의 대형화, 고속화에 따른 디젤 엔진의 한계는 원자력 추진선의 필요성을 부각시키는 주요 요인 중 하나이다. 물동량 증가에 따라 대형화가 가속되어 최근에는 18,000 TEU(Twenty-foot Equivalent Units, 20ft의 컨테이너 박스 1개를 나타내는 단위로서 컨테이너선의 적재용량을 나타냄)의 컨테이너선이 건조되고, 20,000 TEU의 컨테이너선까지 설계되고 있는 실정이다. 이와 같은 대형화 경향에 따라 TEU 당 수송원가 및 건조단가가 인하되고, 연료 소비량 및 선원수 절감 등 규모의 경제가 실현되고 있다.

고속화의 경우, 허브 포트(Hub Port) 해운 시스템이 보편화 되어 해상 물류가 더욱 고속화 되고 있으며, 이에 따른 연료 소모량 증가로 인해 연료비 절감에 대한 필요성이 절실했다. 따라서 원자력 추진으로 인한 고유가 연료비에 대한 절감 효과가 더욱 설득력을 발휘하게 되었다.

이와 같이 타 운송 시스템과의 경쟁력 유지를 위해 컨테이너선의 고속화 및 대형화가 대세로 자리잡게 되었고, 대형 고속 컨테이너선의 경우 고속 운송 등 차별화된 서비스를 필요로 하는 VIP 수요를 예상하고 있다.

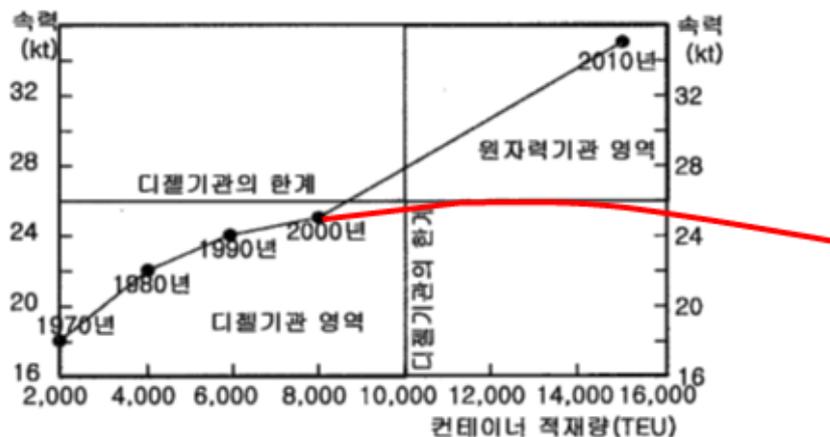


그림 4.2-1 컨테이너선의 대형화, 고속화에 따른 디젤 엔진의 한계



그림 4.2-2 선박의 대형화 추세

4.2.2 온실가스 규제 강화로 인한 필요성

최근 고유가와 해양환경규제의 강화로 인해 선박의 청정 에너지원에 대한 요구가 증가하고 있다. 국제 해사 기구(IMO)는 국제적으로 황산화물(SOx) 배출 규제 지역(ECA)을 지정하고 있으며, SECA(Sulfur Emission Control Area, 또는 ECA라고도 함)와 Global limit로 나누어 황산화물 배출 규제를 시행하고 있다. 현재 SECA는 North sea와 Baltic sea 에 국한되어 있지만 점차 지중해 전역, 호주 연안, 북미 연안(200 NM까지), 전세계 주요 항구 연안으로 점진적으로 확대될 계획이다. IMO 규제와 별도로 이미 EU국가들의 항구 및 북미 연안(24 NM까지)은 별도의 규제를 하고 있다. 각 규제 지역에서의 황산화물 규제량은 다음 그림과 같다. 황산화물의 배출량은 연료의 황(Sulfur) 함유량에 달려있다. 현재 선박에서 주로 사용하고 있는 HFO(Heavy Fuel Oil)은 황 함유량이 1.5~5.0%이며, MGO/MDO 같은 고가의 정제유 경우 0.1~1.5% 이다. 따라서 향후 황산화물 규제 강화에 대응하기 위해서는 고가의 유류를 연료로 사용해야 한다.

또한 에너지효율 운전지표(EEOI)와 에너지 효율 설계 지수(EEDI)를 차례로 제안하였으며(IMO, 2011) EEDI를 만족시키지 못하는 선박은 운항 또는 인도가 제한되

는 등의 규제를 받기 때문에 에너지 효율을 높이고 온실가스 배출량을 줄이는 문제는 선박 및 해운 업계의 중요한 당면과제가 되었다. 이에 따라 선박의 연료로 다양한 신재생 에너지원에 대한 적용 가능성의 연구가 시도되었지만, 현실적으로 태양광, 풍력 등의 에너지원은 선박의 추진에 적용하기에는 경제성이 부족한 것으로 판단되고 있다.

현재 연료유를 대체할 가장 현실적인 대안으로 LNG가 대두되고 있다. 이미 2000년대 초반부터 북유럽을 중심으로 소형 선박에 LNG 추진 방식이 적용되었고, 이제 대형 상선으로 확대되고 있는 추세이다. 그러나 LNG 역시 화석 연료 중 하나이므로 zero emission에 대한 문제에서 완전히 벗어날 수 없고 LNG bunkering 인프라 문제, 현재 연료유 가격과 연동되어 책정되는 LNG 가격 문제가 여전히 숙제로 남아있다.

반면 원자력 에너지는 육상 발전 분야에서 화석 연료를 대체하여 성공한 유일한 에너지원이며, TOE(Tonne of Oil Equivalent) 대비 에너지량이 월등하여 연료비가 획기적으로 절감되고 장기간 연료보급이 필요 없으며, 배출가스가 거의 없는 등의 장점이 있다. 이와 같은 근거로 러시아에서는 원자력 추진 쇄빙선 및 FNPP(Floating Nuclear Power Plant)를 건조 중이며, 프랑스의 DCNS 社에서는 Flex Blue와 같은 잠수식 원자력 발전소를 개념설계 하였다. 따라서 선진국 대비 기술력 확보가 미비한 국내에서 소형 동력로 및 원자력 추진선의 기술 개발이 시급한 실정이다.

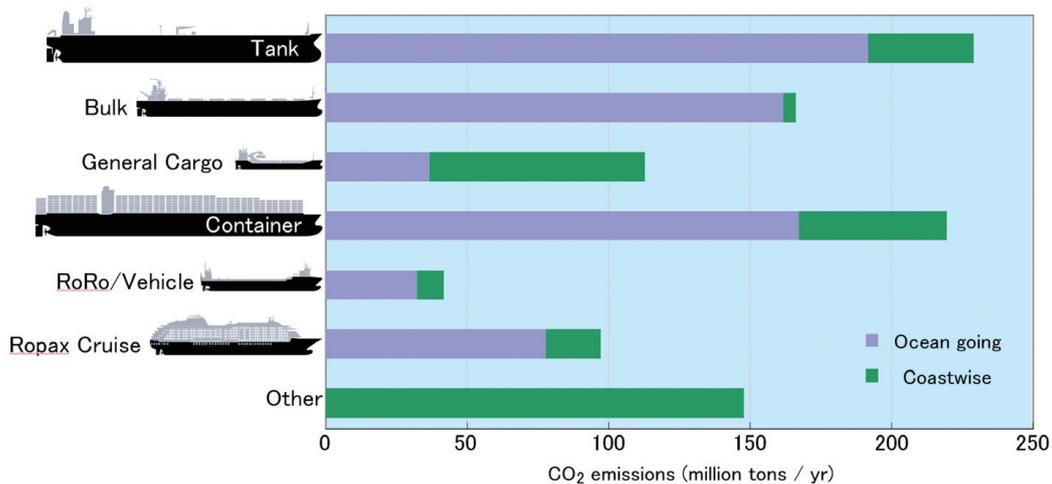


그림 4.2-3 선박 종류에 따른 CO₂ 배출량 비교

Regulation or Area	Sulfur Content			
	2010	2012	2015	2020
Global Limit	4.5%	3.5%		0.5%
ECA	1.5%	1.0% (after 2010.07)	0.1%	
EU Port	0.1%			
US / Canadian Coast (within 24NM)	0.5%	0.1%		

Residual Fuel (IFO380 or LS380) : ■
Distillate Fuel (MDO or MGO) : ■

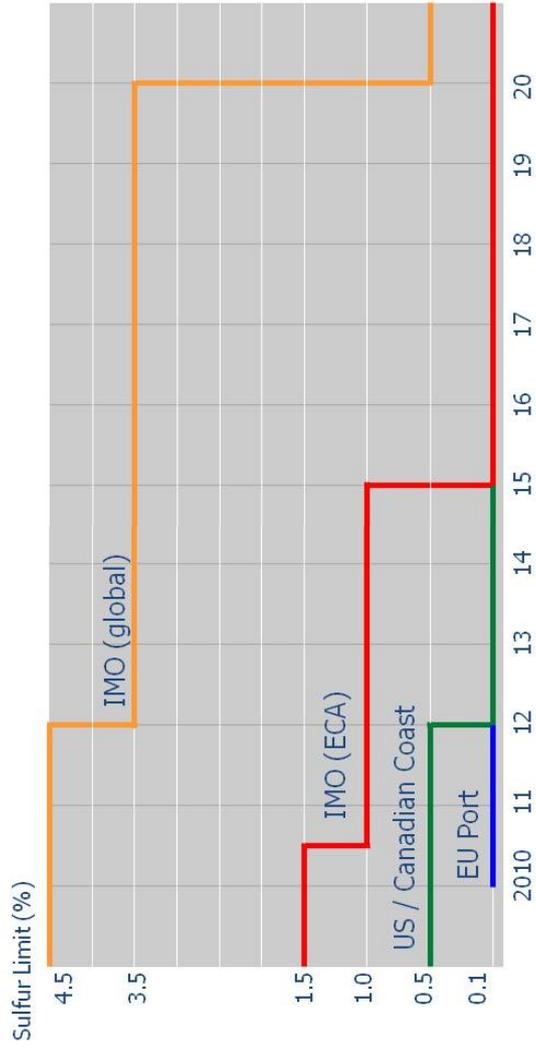


그림 4.2-4 SOx 배출 규제

4.2.3 경제적 관점에서의 필요성

한국원자력연구원은 DNV 선급과 더불어 원자력 상선에 대한 Feasibility Study를 진행한 바 있으며, 공동 워크숍을 통해 기술 및 경제적 측면과 사회 수용성에 대한 전반적인 문제점을 검토하였다. 해당 연구 내용과 결과는 2010년 DNV 연구 보고서로 발간된 바 있다 [15]. 이후 대우조선해양은 2013년부터 2014년까지 한국원자력연구원과 원자력 상선에 대한 Feasibility Study를 지속적으로 수행해 왔으며, 그 중에는 경제성 평가에 대한 내용도 포함하고 있다.

또한 STX 조선에서도 원자력 추진선에 대한 경제성 평가를 수행하여 2013년 한국원자력학회에 발표한 바 있다 [16]. 이상의 여러 기관에서의 경제성 분석을 통해 다음과 같은 공통된 결과를 얻을 수 있었다. 즉, 원자력선은 기존의 상용 연료를 사용한 선박에 비해 초기 투자비용이 크지만, 연료 비용이 매우 적어 운행할수록 경제성을 확보할 수 있다.

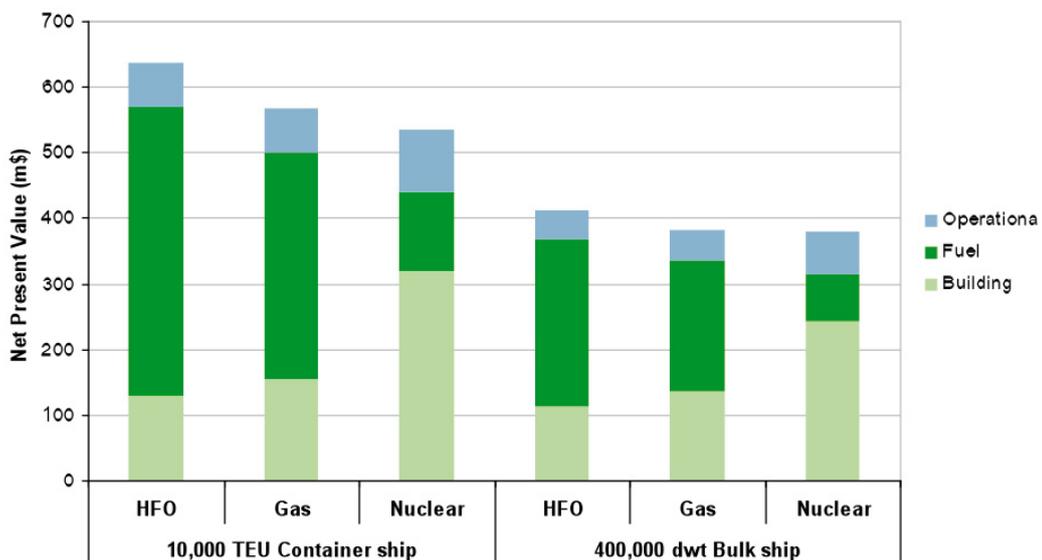


그림 4.2-5 동력원별 Life-cycle 비용의 현재가 분석 [15]

본 연구에서 비즈니스 모델을 수립할 대상 선박으로 선정한 대형 고속 컨테이너선에 대해 경제성 평가를 수행한 결과를 서술하여 이해를 돕고자 한다. 경제성 평

가를 수행할 선박은 14,000 TEU의 컨테이너선으로 표 1과 같이 Main Engine의 사이즈 및 속도에 따라 두 가지로 나누어 경제성 평가를 수행하였다.

	Case I	Case II	비고
속도	23 knots	30 knots	
Main Engine Size	약 70 MW	약 140 MW	- Case II의 경우 Twin Hull 적용(70 MW*2)
Payback Period	약 11년	약 6년	- 연료비, 핵연료 교체, 승무원 보험 및 원자로 유지보수 비용 포함 - 원자로 단가:3,000 \$/kW

표 4.2-1 경제성 평가 수행을 위한 두 가지 Case의 예시

Case I을 예로 들면, Main engine의 MCR(Max Continuous Rating: 연속 최대 출력)이 약 70 MW 이고, NCR(Normal Continuous Rating: 연속 상용 출력)이 약 65 MW 인 Container ship 이다. 이때 다음 그림과 같은 항로에 따라 25,000 해리를 최대 24.1 knot 로 56 일간 운항할 때의 연료 소모량을 계산하였다. 이에 따른 연료 소모량은 앞에서 언급한 바와 같이 SECA 지역 경유에 따라 연료 사용 방식을 선정하였는데, 즉 2015년 이후 발효될 예정인 배기가스 배출기준에 따라 HFO와 MDO를 같이 사용하는 것으로 한다.

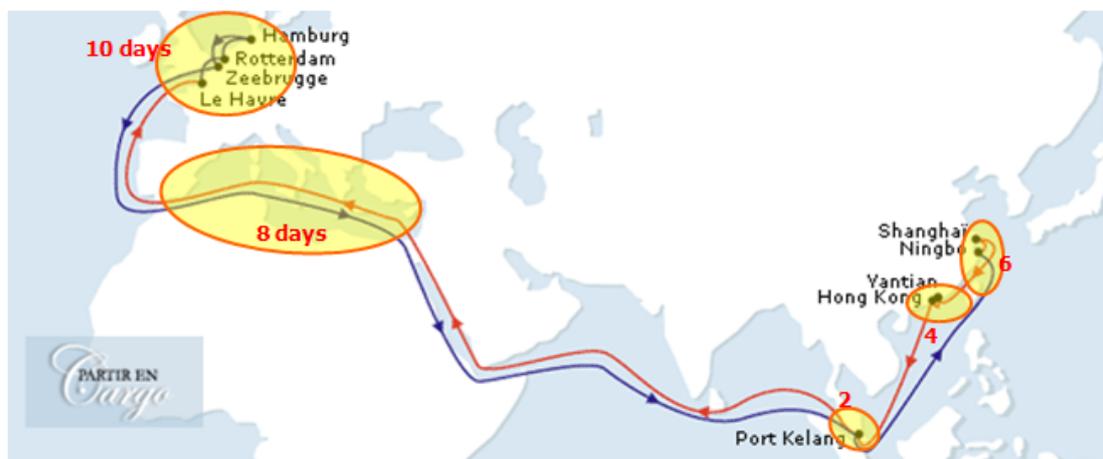


그림 4.2-6 Container ship의 예상 운항 경로

원자력 추진 선박과 디젤 엔진을 추진으로 하는 선박과의 비교를 통해 원자력 추진 선박의 경제성 평가를 수행하였다. 이때 각각의 선박의 경제적 가치를 평가하기 위한 방법으로 DCF(Discounted Cash Flow: 현금 할인법)을 사용하였다. 이는 화폐의 시간 가치를 고려하고 있는 방법으로 다시 NPV method (Net Present Value: 순현재가치법)와 IRR method(Internal Rate of Return: 내부수익율법)로 나뉜다. NPV는 모든 예상되는 현금 유입에서 모든 현금 유출을 빼주는 것으로, 단 아래 식과 같이 모두 현재 가치로 바꾸어서 계산하게 된다.

$$NPV(\text{현재 가치}) = \sum_{n=0}^N \frac{\text{미래의 가치}}{(1+R)^n}$$

여기에서 R은 할인율, N은 생애주기

이때 판단 기준은 NPV가 0보다 크면 투자 대비 이익이 크므로 투자안을 채택할 가치가 있고, NPV가 0보다 작으면 투자 대비 이익이 작으므로 투자안을 기각할 만하다. 여기에서 할인율인 R은 주어진 값인데, 이 할인율을 구해서 그 판단 기준으로 삼는다. 이 할인율 R이 바로 뒤에 언급될 IRR과 연관되어 있다.

IRR method는 어떤 투자안의 NPV가 0이 되게 하는 할인율(=IRR)을 구해서 시장에서 평가된 자본비용보다 크면 투자안을 채택하고, 그렇지 않으면 기각한다는 것이다. 추가적인 가치평가 방법론으로 PP(Payback Period: 자본 회수 기간법)이 있는데, 이는 투자한 금액을 회수할 수 있는 기간을 말한다.

기존의 디젤 선박 대비 원자력 추진 선박의 CAPEX(Capital Expenditure: 자본 지출) 증가분을 초기 투자비로, OPEX(Operation Expenditure: 운영 비용) 감소분을 매년 수익으로 가정하여 상대적인 경제성을 판단하였다. 여기에 생애 주기 동안의 DCF 기법을 활용하여 경제성 및 투자 가치성을 판단하였는데, 이때 discount rate 을 8% 로, inflation을 2%로 가정하였으며 결과는 표 4.2-2와 같다. 여기에서 Difference 열은 원자력 추진 선박과 디젤선의 각 항목별 cost의 차이를 보여준다. 예상할 수 있는 바와 같이 원자력 추진 선박의 CAPEX가 디젤선의 CAPEX를 상회하고, OPEX의 경우 디젤선이 원자력 추진 선박을 상회한다.

Case I의 경우, 선박 운용 후 11년이 지나서야 초기 투자 비용을 회수할 수 있고, 선박의 생애 주기인 20년이 지난 시점에서 NPV 는 124 백만 달러, 이때의 IRR은 13% 로 계산되었다. Case II의 경우, 선박 운용 후 6년이 지나서야 초기 투자 비용을 회수할 수 있고, 20년이 지난 시점에서 NPV는 549 백만 달러, 이때의 IRR 은 21%로 계산되어 Case I의 경우보다 경제성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다. 이 결과는 그래프에 표기된 line 중 가장 아래 위치한 line에서 볼 수 있으며, 나머지 line들은 다음에 소개될 경제성 민감도 평가의 계산 결과임을 미리 밝혀둔다.

	Diesel ship	Nuclear ship	Difference	Reference
CAPEX (\$M)	Main Engine	423.8	380.1	<ul style="list-style-type: none"> • Diesel engine: 250 \$/kW (Case 1, 2) • Nuclear reactor: 3,000 \$/kW
	Contingency	42.0	42.0	<ul style="list-style-type: none"> • 10% of Engine cost
	Increased CAPEX		422.1	
OPEX (\$M/year)	Fuel Cost	135.9 (Case 1) 161.9 (Case 2)	135.9 (Case 1) 161.9 (Case 2)	<ul style="list-style-type: none"> • HFO: 631 \$/ton • MDO: 934 \$/ton
	Fuel Cycle Cost		46.2	
	Fuel Exchange Cost		0.2	
	Wast Disposal Cost		0.9	<ul style="list-style-type: none"> • Referred from MRX [17]
	Crew Expenses	1.0	1.3	0.3
	Insurance		1.0	1.0
	Saved OPEX			87.3 (Case 1) 113.4 (Case 2)

표 4.2-2 Case 1, 2에 따른 Diesel ship 과 Nuclear ship 의 단가추정 결과 비교 (대상 선종: Container ship)

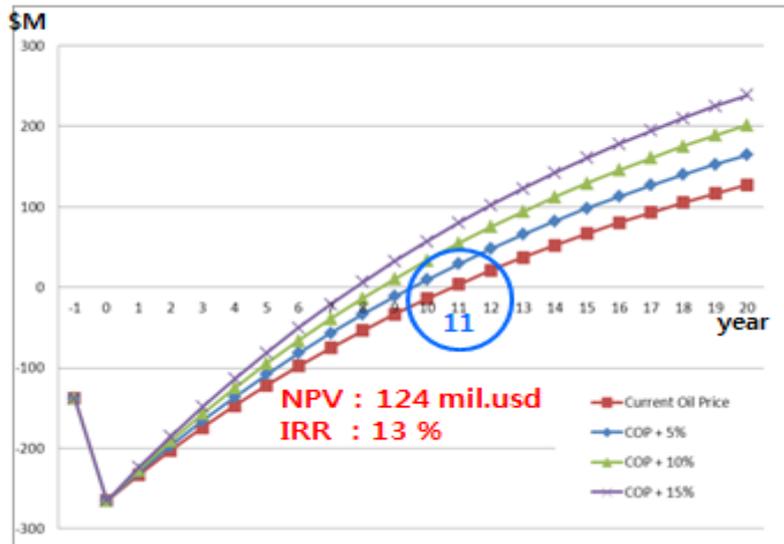


그림 4.2-7 Case I의 경제성 평가 결과: 연료 가격에 따른 원자력 추진 선박의 경제성 민감도

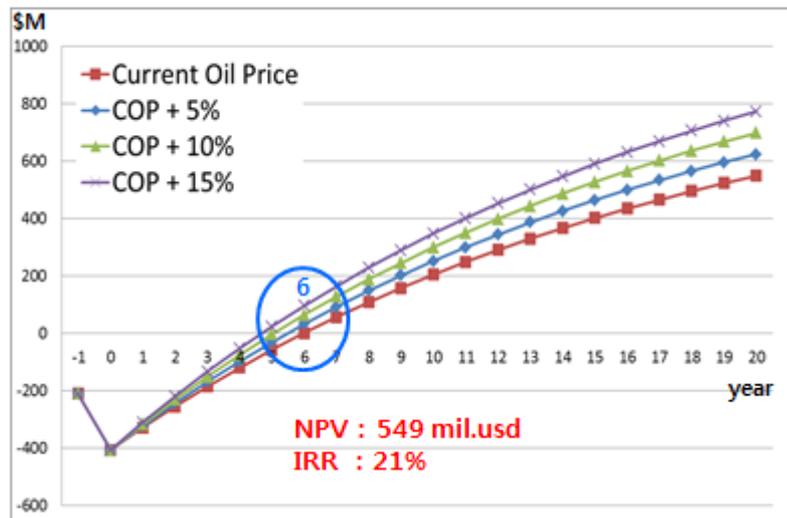


그림 4.2-8 Case I의 경제성 평가 결과: 연료 가격에 따른 원자력 추진 선박의 경제성 민감도

이상에서는 원자력 추진 선박에 탑재되는 원자로의 가격 및 디젤선에 사용되는 연료의 가격을 고정시켜 경제성을 평가해 보았으나, 이들 가격은 시기에 따라 변동 가능하므로 그에 따른 경제성 평가가 필요할 것으로 보인다. 따라서 여기에서는 원자로 및 연료의 가격 상승에 따른 원자력 추진 선박의 경제성 민감도를 평가하고자 한다. 먼저 원자로 가격은 3,000 \$/kW로 고정하고, 연료유 가격은 현재 oil 가격 부터 5%, 10%, 15% 증가에 따른 NPV 를 계산하였다. 그 결과 Case I과 II에 대

해 각각 그래프를 얻을 수 있었다. 이로써 현재 oil의 가격으로부터 5%, 10 %, 15% 증가함에 따라 PP가 짧아지는 경향을 두 Case 모두에서 확인할 수 있다.

앞서 연료 가격에 따른 원자력 추진 선박의 경제성 민감도를 분석해 보았고, 이어서 원자로 가격에 따른 민감도 역시 분석해 보았다. 여기에서는 독립적으로 분석된 두가지 사항을 동시에 고려하여 종합적으로 경제성 민감도를 분석해보기로 한다. 그 결과는 다음 그림에 표시하였으며, 그림에서 원의 면적은 IRR 이다. IRR 10% 와 15%를 기준으로 색깔을 달리하여 표시하여 상대적인 경제성을 쉽게 구분할 수 있게 하였다. 이때 원자로 가격은 이전보다 좀더 확장하여 8,000 \$/kW 까지 민감도를 분석할 수 있게 하였다.

그림에서 현재의 oil 가격에서 원자로 가격이 4,000 \$/kW 일 때는 IRR 이 8.9% 로 확인되어 경제성을 확보하기 어려우나, oil 가격이 상승함에 따라 IRR 이 점차 상승하고 결과적으로 경제성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

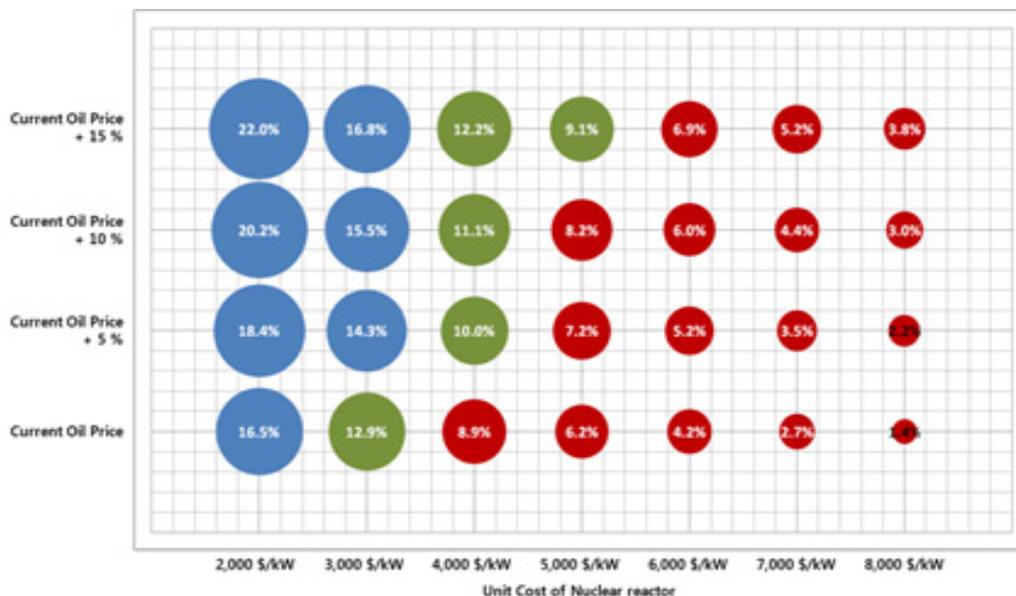


그림 4.2-9 Case 1의 경제성 평가 결과: 원자로 및 연료 가격에 따른 원자력 추진선의 경제성 민감도

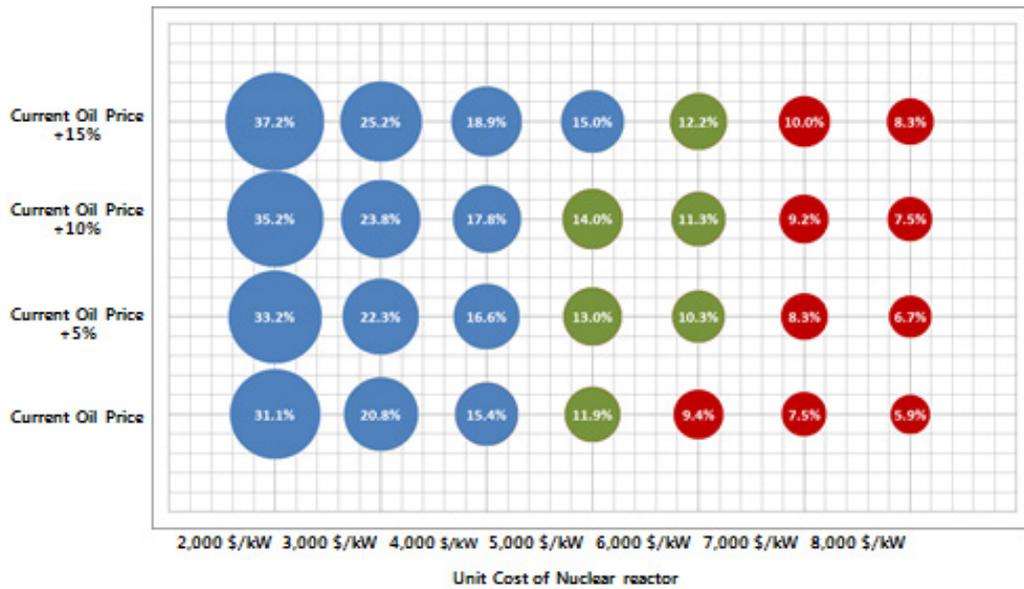


그림 4.2-10 Case II의 경제성 평가 결과: 원자로 및 연료 가격에 따른 원자력 추진선의 경제성 민감도

추가적으로 투자 대비 경제성 평가를 수행하였으며 그 결과는 표 3과 같다. 여기서 투자비로는 동력로 기본 설계 및 인허가 비용, 육상 실증 및 해상 실증 비용, 시험선 건조 및 설비 비용, 해상 시운전 비용이 포함되어 총 12,000 억원이 추산되었다. 매출액으로는 6,160 억원이 추산되어 결과적으로 원자력 추진 컨테이너선을 약 20척 수주하였을 때 투자비를 회수 가능하고, 이때 이익률 선가를 10%로 가정하였을 때 총 이익이 616 억원임을 확인할 수 있다.

분류	항목	Cost	비고
투자비	동력로 기본설계 및 인허가	3,000 억원	
	육상 실증	4,000 억원	- 70 MW*1 - 원자로 단가: 3,000 \$/kW*1.6
	해상 실증	4,000 억원	- 70 MW*1 - 원자로 단가: 3,000 \$/kW*1.6
	시험선 건조/설비	800 억원	- 시험선 (Tug boat) - Infra 설비 포함
	해상 시운전	200 억원	
	합계	12,000 억원	
매출액	원자력 추진	선체: 1,540 억원	- 10,000 \$/TEU
	14,000 TEU 컨테이너선	140 MW 동력로: 4,620 억원	- Twin Hull 적용 (70 MW*2) - 원자로 단가: 3,000 \$/kW (상용화 기준)
	합계	6,160 억원	
	- 원자력 추진 컨테이너선 약 20척 수주 시 투자비 회수 가능		- 이익: 616 억원 (이익률 신가 10% 가정)

표 4.2-3 투자 대비 경제성 평가

4.2.4 원자력 추진선 개발의 시급성

온실가스 저감 및 친환경 동력원에 대한 수요 증대로 원자력 추진선 개발이 다시 주목을 받고 있는 추세이다. 따라서 주요 선진국에서 이에 대한 연구가 활발히 진행 중이다.

IMO는 2010년 원자력 추진선의 운항 안전성 지침 마련하였고, 최근 이를 개정하기 위한 활동이 영국의 Lloyd Register에 의해 시작하였다. IAEA는 원자력의 해상 동력원으로서의 역할을 주목하고, 2002년 보고서에서 향후 선박 수요의 70~83%가 원자력 추진 기관을 사용할 것으로 예측하였다. 노르웨이의 DNV 선급은 2009-2010년, 원자력 추진선 타당성 연구를 수행하였다. 영국의 Lloyd Register Consortium은 2010-12년, 소형 원자로 Hyperion을 선박에 응용하는 연구 수행하고 관련 기준을 재정비 하였다. 러시아는 현재 6척의 원자력 쇄빙선 운용 중이며, ROSATOM-OKBM 주도로 부유식 원자력 발전소 건조 중인데, 이는 2016년 완공을 목표로 하고 있다. 중국 COSCO 해운은 2009년 온실가스 배출을 줄이기 위해 원자력 추진 컨테이너선 개발을 검토하였다. 일본은 MRX 원자로를 탑재한 고속 컨테이너선 및 쇄빙 컨테이너선 연구를 수행했는데, 이는 일체형 원자로인 MRX를 선박에 탑재하기 위한 개념 연구이다. 이외에도 일본은 DRX라는 소형 원자로를 개발하였는데, 이는 심해탐사용으로 잠수정에 탑재하기 위한 용도로 보인다. Babcock International Group은 2010년 원자력 추진 LNG carrier 연구를 수행하였다. 그 외에도 최근까지 여러 나라에서 원자력 추진 선박에 대한 다양한 연구가 진행되고 있는데 대표적 사례로는, CCDoTT (Center for the Commercial Deployment of Transportation Technologies)의 후원 하에 진행된 Ultra Large Containership 연구가 있다. 이는 태평양을 35노트로 횡단하는 원자력 추진 초고속 대형 컨테이너선 연구이다.

이와 같이 주요 선진국들의 활발한 연구에도 불구하고 아직 기술 개발이 완료되지 않은 실정이다. 따라서 현 시점이 우리나라가 관련 기술 개발을 시작할 수 있는 최적의 시점이며, 그 시기는 빠를수록 유리할 것이다.

원자력 추진선은 세계 시장을 선점할 수 있는 블루 오션이 될 수 있음에도 불구하고 국내에서 본격적인 참여가 이루어지지 않는 것은 원자력 추진 선박의 제도적, 경제적 불확실성, 그리고 안전성에 대한 불신에서 기인한 것이라고 판단된다. 그러나 해상 수송의 대형화, 고속화로 인해 경제적인 추진 기관에 대한 관심이 증가하고 있고, 원자력 산업과 세계 최고 기술의 조선해양 산업을 융합한다면 새로운 시장을 창출하고 선점할 가능성이 충분하다고 예측된다.

원자력 추진선의 개발 및 실증을 완료하기 위해서는 약 10년 이상의 기간이 소요되므로 지금부터 준비할 필요성이 절실하다.

4.3 기술현황

4.3.1 원자력 추진선 개발 현황

원자력 추진선의 개발 현황을 살펴보면 먼저 군사용으로는 주로 미국, 러시아, 영국, 프랑스, 중국, 인도 등에서 개발하였다. 1955년부터 잠수함, 항공모함, 수상함 등 군사 목적으로 개발되어 약 500 여대에 800 여기의 원자로가 탑재되었다. 시험용 또는 상업용으로는 1959년부터 러시아, 미국, 독일, 일본이 원자력 추진선을 진수하기 시작하여 총 13대가 건조되었고, 23기의 원자로가 탑재되었다.

세계 각국의 원자력 추진선의 자세한 현황은 다음 표와 같다. 러시아는 1956년부터 원자력 쇄빙선을 건조하였으며, 현재 5척을 운영 중이다. 최초의 원자력 추진 선박인 러시아의 Lenin호는 1959년에 취역하여 1989년에 퇴역하였고, 3세대 쇄빙선 Taimyr(1989), Vaigach(1990), Sevmorput(1988)가 있으며, 최근에는 차세대 원자력 추진 쇄빙선 개발을 위해 고출력 원자로를 개발하고 있다. 미국은 1962년 화객선 Savannah호를 개발, 상업운전을 시작하였고, 현재 다수의 항공 모함과 잠수함을 운영하고 있어 원자력 추진 선박에 관한 최고 수준을 보유하고 있다. 독일은 1968년 광석운반선인 Otto-Hahn호를 취항하였고, 일본은 1963년 원자력선 개발 사업단을 설립, 1990년대 초반에 Mutsu의 개발과 1년여 간의 실증을 통해, 원자력 추진 선박 건조를 위한 기반 기술을 확보하고 있다고 판단된다.



그림 4.3-1 원자력 추진 상선인 미국의 Savannah호

선박명	국가	진수-해체	GT	길이	속도(kt)	SHP	원자로	열출력 (MWt)
Savanna	미국	1962-1977	13,599 GT	181	20.25	22,000	PWRx1	80
Otto-han	독일	1968-1982	140,40 GT	172	16	11,000	PWRx1	38
Mutsu	일본	1972-1996	8,242 GT	130	16.5	10,000	PWRx1	36

Lenin	러시아	1959-1989	19,240	134	18	44,000 ps	OK-150 × 3	3x95
	러시아					OK-900 × 2	2x135	
Arktika	러시아	1975-2008	20,665	147.9	20.8	70,700 ps	OK-900A × 2	2x159
Sibir	러시아	1977-1993		147.9			OK-900A × 2	2x159
Rossiya	러시아	1985-	23,000	150	7	54 MW	OK-900A × 2	2x159
Sevmorput	러시아	1988-	33,900	260.1	20	40,800 ps	KLT-40 × 1	135
Taimyr	러시아	1989-	20,791	151.8		35 MW	KLT-40M × 1	171
Sovetskiy Soyuz	러시아	1989-	23,000 Disp	148	20.6	54 MW	OK-900A × 2	2x159
Vaigach	러시아	1990-	20,791 GT	150	18.5	35 MW	KLT-40M × 1	171
Yamal	러시아	1993-	23,000 Disp	148	20.6	54 MW	OK-900A × 2	2x159
50 Lyet Po byedi	러시아	2007-	23,439	160	18.6	54 MW	OK-900A × 2	2x159

표 4.3-1 세계 각국의 원자력선 현황

4.3.2 SMR 개발 현황

최근에는 안전성을 향상시킨 다양한 신형 원자로가 활발하게 개발되고 있으며, 특히 SMR(Small Modular Reactor, 소형 모듈형 원자로)은 건설 기간이 짧아 단기간에 원전 발전 비중 확대를 위한 대안으로 모색되고 있다.

IAEA는 발전규모가 300MW 이하인 원전을 소형 원전으로 규정하고 있으나 최근 세간의 관심을 끌고 있는 신형 SMR은 발전규모가 약 100 MW 내외로서 기존 대형 원전의 약 1/10의 규모이다. 원자로를 소형화 할수록 원전 사고의 주요 원인인 방사성 붕괴열의 규모가 줄어들기 때문에 비상 냉각 장치나 비상 전원이 작동하지 않아도 원자로 외벽을 통해 열을 자연적으로 외부로 방출하도록 구현할 수 있다. 따라서 SMR은 후쿠시마와 같은 사고에도 원자로가 녹는 일이 없이 견딜 수 있다는 큰 장점을 가지고 있다. 또한 대부분의 설계에서 증기발생기를 원자로 용기 내부로 옮김으로써 대형 원전에서는 매우 복잡한 원자로 냉각 계통 전체가 원통형 모듈로 압축된다. 이러한 동일한 모듈에 대해 한번 인허가를 받으면, 필요한 개수만큼 연결해 요구되는 발전 용량을 맞출 수 있다. 따라서 모듈을 공장에서 대량 생산하면 전체 원전 건설 및 발전 비용을 대폭 낮출 수 있다는 것 또한 SMR의 주요 장점이라고 할 수 있다.

대용량 원전을 이용한 전력 공급은 전력 그리드의 규모가 크고, 규모의 경제를 통해 비용 감소 효과를 얻을 수 있는 산업화된 국가들에 적합한 방식이다. 반면 일부 저개발 국가 및 개발도상국의 경우 소규모의 전력 그리드 사용에 따른 단일 원전의 발전용량 제한, 한정된 투자 규모 및 열악한 전력 인프라 등으로 인해 대용량 원전의 도입이 어려운 경우가 많다. 또한 전 세계적으로 지역난방, 공정열 및 수소 생산 등 비전력 분야의 수요가 증가함에 따라 이러한 수요에 신속적으로 대응할 수 있는 중소형원자로의 개발 필요성이 점점 증대되고 있다. 이러한 추세를 반영하여 현재 전 세계적으로 45개 이상의 소형모듈형원자로에 대한 설계 개발이 활발히 진행되고 있다. 세계 각국의 SMR 개발 현황은 다음 표와 같다.

Design	Company	Country	Type	MWe
IRIS	Westinghouse	USA	PWR ¹⁾	335
mPower	Babcock & Wilcox	USA	PWR	125
NuScale	NuScale Power Inc.	USA	PWR	45
SMART	KAERI	Korea	PWR	100
KLT-40S	OKBM Afrikantov	Russia	PWR	35
VBER-300	OKBM Afrikantov	Russia	PWR	295
PBMR	PBMR (Pty) Ltd.	South Africa	HTR ²⁾	165
HTR-PM	Tshinhua INET & Huaneng	China	HTR	210
GT-MHR	General Atomics	USA	HTR	286
4S	Toshiba	Japan	LMR ³⁾	10
HPM	Hyperion Power Generation	USA	LMR	25
PRISM	General Electric-Hitachi	USA	LMR	311

표 4.3-2 세계 각국의 SMR 개발 현황

- 1) PWR: Pressurized Water Reactor, 가압 경수로
- 2) HTR: High Temperature Reactor, 고온 가스로
- 3) LMR: Liquid Metal Reactor, 액체 금속로

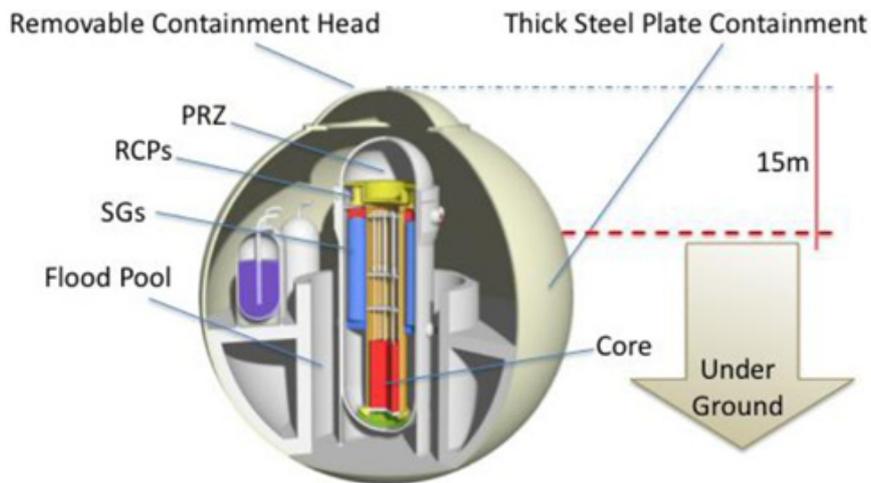


그림 4.3-2 Westinghouse의 IRIS 개념도

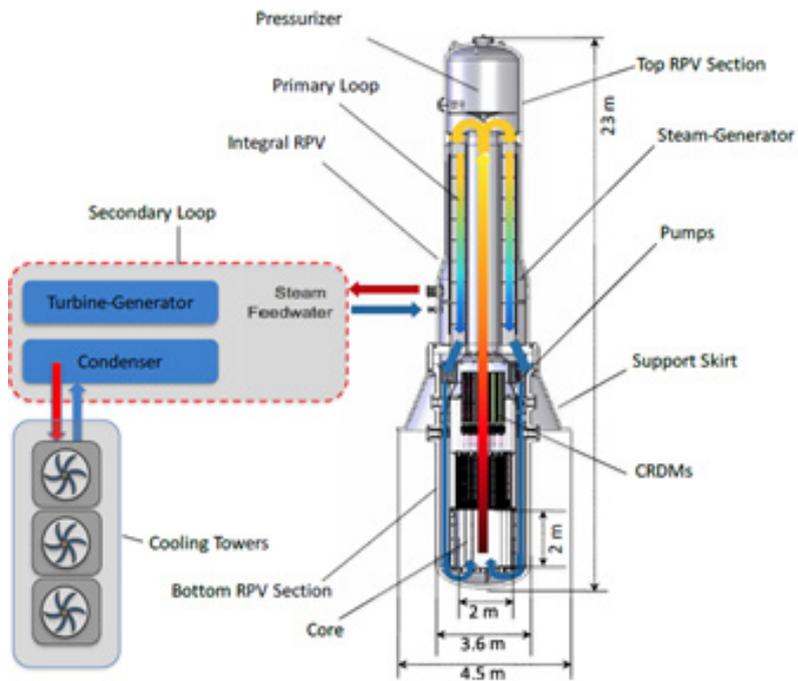


그림 4.3-3 Bobcock & Wilcox의 mPower 개념도

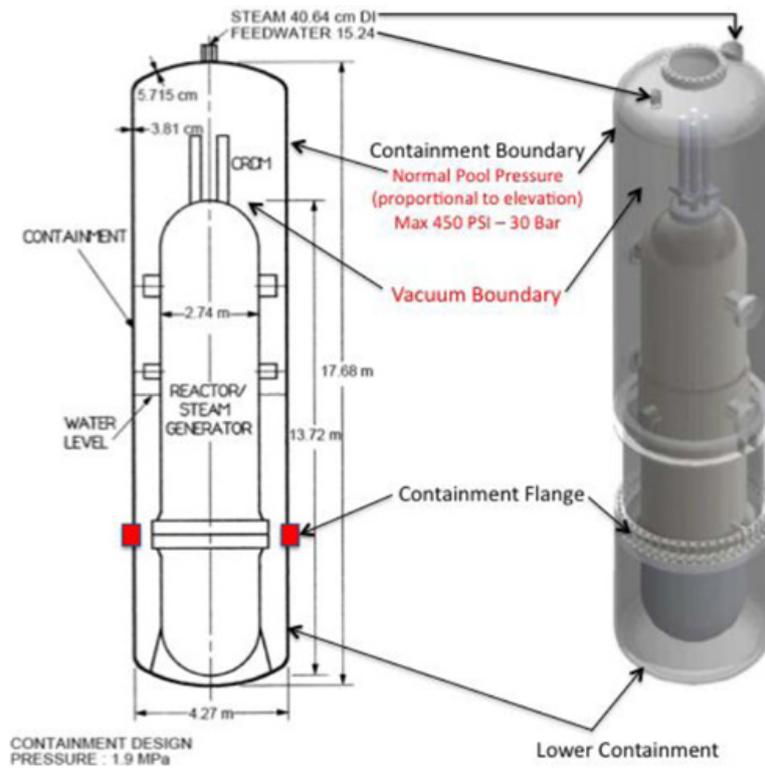


그림 4.3-4 NuScale Power의 NuScale 개념도

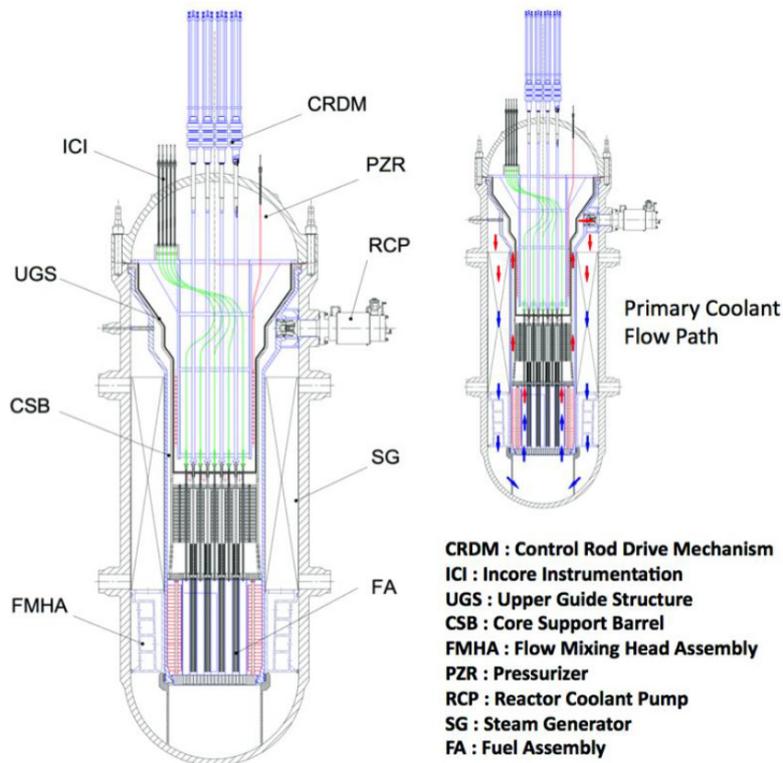


그림 4.3-5 KAERI의 SMART 개념도

4.3.3 원자력 추진선 기술 현황에 대한 요약

이상에서의 기술 현황을 살펴보면 원자력 추진선은 이미 입증된 개념임을 알 수 있다. 즉, 1955년부터 군사적 목적의 원자력 추진선을 운용 하였고, 현재까지도 800~900 여기의 원자로를 탑재하고 있다. 또한 1959년부터 상용 원자력 추진선이 건조되었고, 러시아는 현재 5척의 원자력 쇄빙선을 운용 중에 있다.

최근 여러 국가에서 SMR과 원자력 추진선에 대한 연구를 활발히 진행 중이며, 우리나라 역시 한국원자력연구원에서 SMART를 개발하였는데, 이는 세계 최초로 설계 인증을 받은 SMR이며 이로써 원자로 설계 기술을 확보했다고 결론을 내릴 수 있다.

4.4 기술개발 로드맵

4.4.1 조선해양 기술로드맵

원자력 추진선에 관한 비즈니스 모델을 구축하기 위한 활동의 일환으로 원자력 추진선의 기술 로드맵을 작성하고자 한다. 현재 국내에는 원자력 추진선 또는 동력 로에 대한 건조 실적이 없으므로 조선해양 분야에서의 기술 로드맵과 원자력 분야에서의 기술 로드맵을 별도로 작성한 후 차후 원자력 추진선에 대한 수요가 있을 시에 이를 통합하여 추진하면 될 것으로 판단된다.

이 중 조선해양 분야의 기술 로드맵은 다음 표와 같다. 여기서는 원자력 추진선 관련 법 및 규제기준 마련과 원자력 추진선 개발의 두 가지 프로젝트로 나누어 고려하였고, 기간의 경우 2단계로 나누어 단기 로드맵과 장기 로드맵을 구분 하였다. 이를 참고하면, 단기적으로는 원자력 추진선을 개발하기 위한 기반을 마련하는 노력이 선행되어야 할 것이다. 먼저 원자력 추진선 관련 규정 및 규제 검토를 위해 선박 및 원자력과 관련된 다양한 법규를 검토할 필요성이 있다. 선박 관련 법규로는 IMO 규정을 들 수 있는데, 이 중 SOLAS 1974 조약 제 8장과 Resolution A. 491에 원자력선 관련 규정이 명시되어 있다. 또한 해외 선급 관련 규정에서도 원자력선의 안전에 관련된 규정들을 확인할 수 있었다. 국내의 원자력선 관련 법규로는 원자력법, 동법 시행령 및 시행 규칙이 있는데, 현재 국내에 운항 중인 원자력선이 없으므로 원자력선 건조에 대한 내용 보다는 외국 원자력선이 국내에 입항 시 규제에 관한 내용이 대부분이다. 일본의 경우 원자력 추진 선박 건조 경험을 바탕으로 관계 법규가 제정되어 있으며, 그 외 외국의 경우에도 관련 법규가 마련되어 있다. 이상의 다양한 원자력 추진 선박 관련 규정 및 규제 검토를 통해 원자력 추진선 관련 국제 법규를 정비하는 노력이 필요할 것이다. 이후 국내 원자력 추진선 법규를 제정 한다면 원자력 추진선 인허가 기준을 마련하게 되어 단기간의 원자력 추진 법규 정비 프로젝트를 완수할 수 있을 것으로 판단하였다.

이와 함께 수행할 원자력 추진선 개발 프로젝트에서는 먼저 단기적으로 원자력 추진선의 설계 요건 개발과 함께 원자력 추진선 개념 설계를 추진할 예정이다. 이

때 원자력 추진선 BOP 관련 설계 및 제작 기술의 개발과 연료 재장전 및 유지, 보수 시설 설계 역시 필수적으로 수반되어야 할 것이다. 또한 기본 설계를 완료하는 것으로 1단계 시스템 개발을 완료할 수 있고, 이후 2단계에서는 6년간 상세설계를 완료하는 것으로 로드맵을 작성하였다.

전체 로드맵에서 정부가 주도하여 기술 개발을 수행할 부분과 민간이 주도하여 추진할 부분이 다르다. 즉, 선박 설계 및 제작에 관련된 부분은 민간이 주도하는 것으로 판단하여 표기하였고, 그 외의 부분은 정부가 주도하는 것으로 표기하였다. 자세한 것은 표를 통해 확인할 수 있다.

이와 같이 원자력 추진선을 개발하는데 있어 조선해양 기술 로드맵의 초안을 마련하였고, 이로써 원자력 추진선 개발을 위한 기반을 마련할 수 있을 것으로 판단된다.

4.4.2 원자력 기술로드맵

우리나라의 원자력법에는 원자료를 크게 발전용 및 연구용으로 구분하여 각각의 규제요건들이 규정되어 있다. 하지만 선박 추진용 원자로는 이의 어느 분류에도 해당되지 않으므로 선박추진용 원자료에 대한 별도의 법 및 규제기준이 마련되어야 한다. 따라서 원자력 기술로드맵에서도 크게 두 트랙으로 나누어 ‘선박 추진용 원자료 법 및 규제기준 개발’ 및 ‘선박추진용 원자료 개발 및 검증’으로 분류하였다. ‘선박 추진용 원자료 법 및 규제기준 개발’에서는 먼저 1단계에 선박 추진용 원자료와 관련된 국내외 법 및 인허가 기준 등을 검토하고 선박용 원자료 개발의 기준이 될 수 있는 법령 제정 및 인허가 규제기준을 제정하는 것을 주요 내용으로 하였으며 2차년도에는 실증용 원자료 건설을 위한 건설허가 및 운용허가 등의 인허가를 수행하는 것으로 하였다. ‘선박추진용 원자료 개발 및 검증’을 위해서는 1단계에 선박 추진용 원자료 개발을 위한 설계요건을 정립하고 이에따라 주요 핵심 설계 요소 및 설계코드를 개발하여 이를 바탕으로 원자료 시스템 설계 및 안전해석을 수행함으로써 원자료 계통설계를 완료하는 것으로 하였다. 2단계는 설계된 원자료를 실물크기로 건설하여 성능 및 안전성을 확인하기 위한 실증 단계이다.

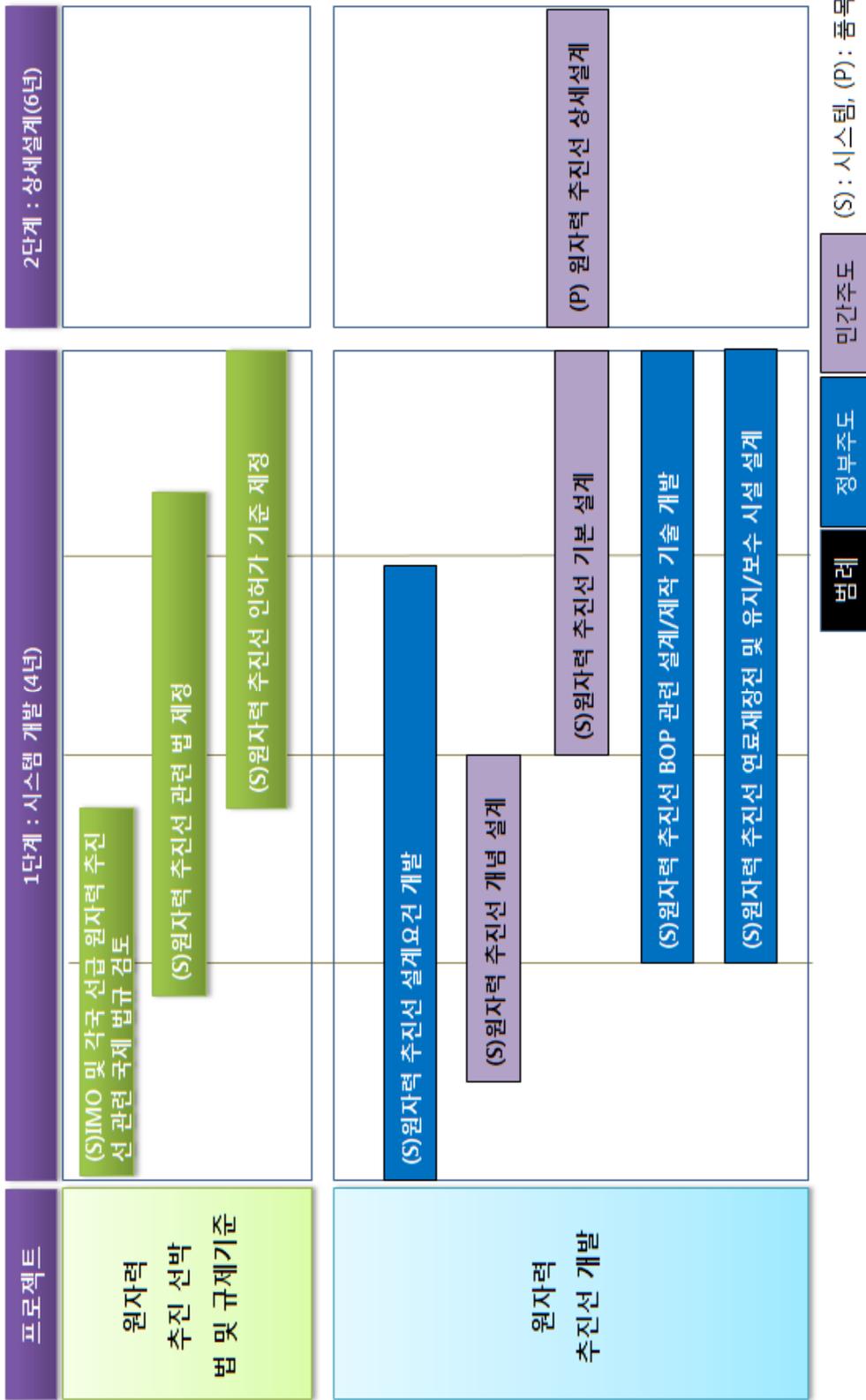
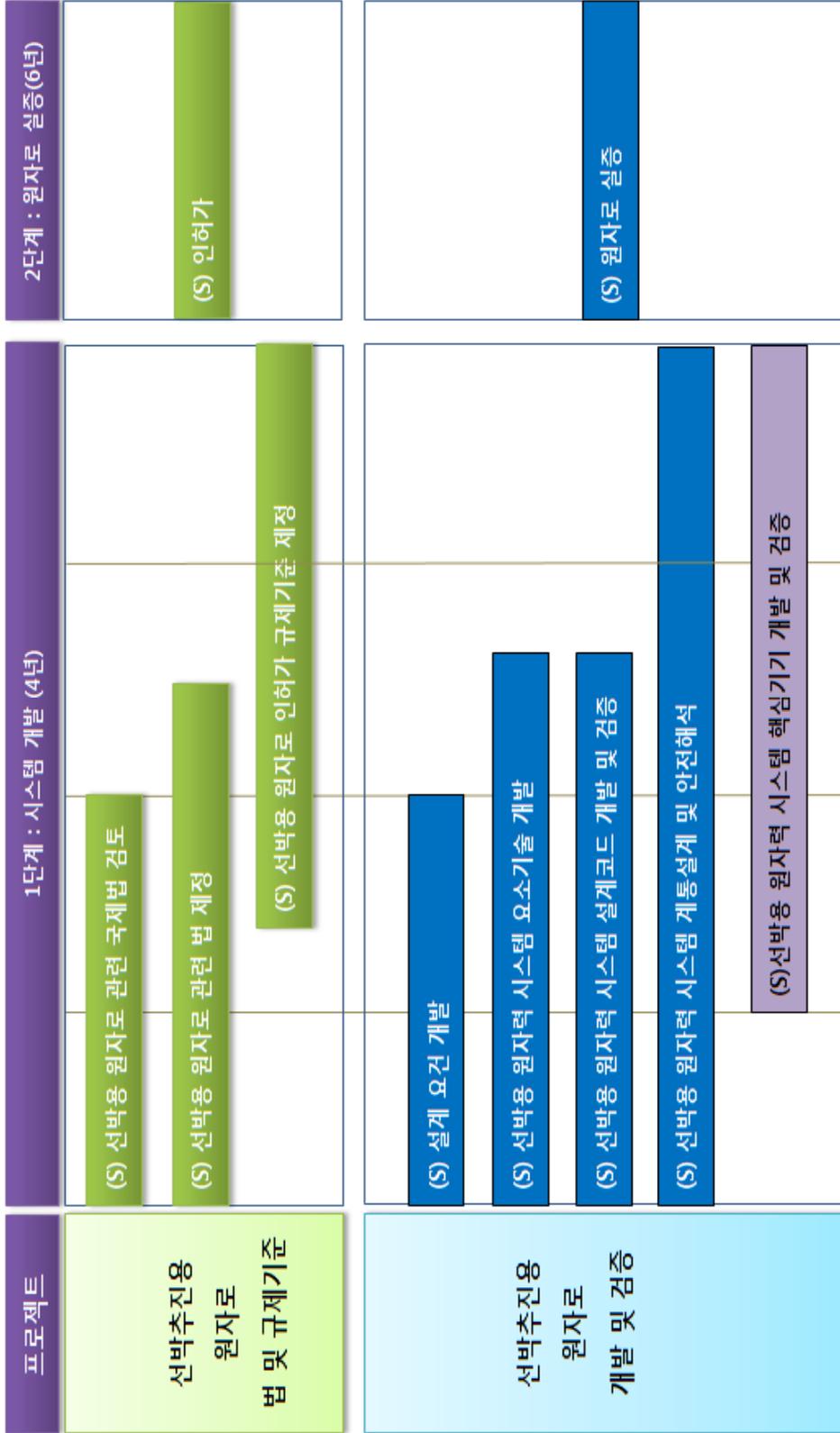


그림 4.4-1 조선해양 기술 로드맵



범례 정부주도 민간주도 (S): 시스템, (P): 품목

그림 4.4-2 원자력 기술 로드맵

4.5 추진체계 및 전략

원자력 추진선 개발을 위한 추진 체계는 다음 그림과 같다. 개발 및 투자 범위가 방대한 원자력 사업의 특성 상 연구사업단을 주관 기관으로 하고, 국내 각 유관 기관으로 구성하여 이들 간에 긴밀한 협조를 추진한다. 그림에서 보는 바와 같이 크게 원자력계 산학연과 조선학계 산학연으로 나뉘는데, 산업계, 학계, 연구계, 관공계로 구성된다.

먼저 원자력계 산학연에서 학계는 기본적으로 기초 기술, 상관식 및 Code 모델을 개발하는 등의 기초 연구를 담당한다. 여기에서 조금 더 나아가 실질적이고 구체적인 연구는 연구계 담당으로써 개념설계, 기기개발, 성능검증, 원자로 실증 등을 수행하게 된다. 이를 바탕으로 산업계는 선박용 원자로를 기본 설계부터 상세 설계까지 수행한 후, 실증까지 담당하게 된다. 관공계의 경우 선박용 동력로의 범규를 제정하고 정비하며, 인허가 기준을 개발하여 최종적으로 인허가까지 수행하는 등 정책적인 부분에서 협조하게 된다.

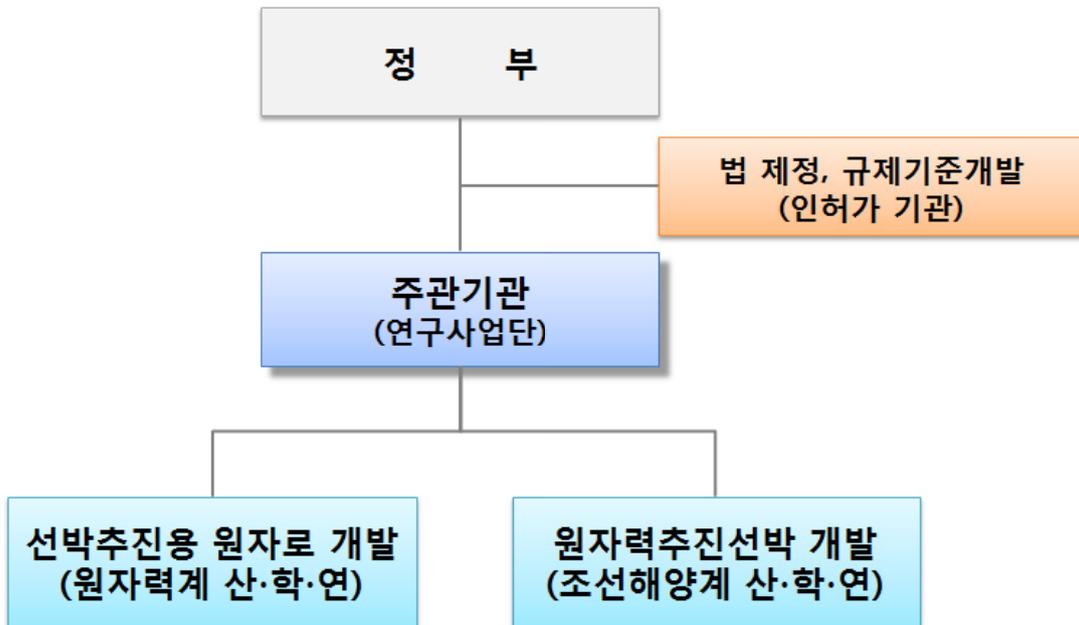


그림 4.5-1 원자력 추진선 개발 사업을 위한 추진 체계(1/2)

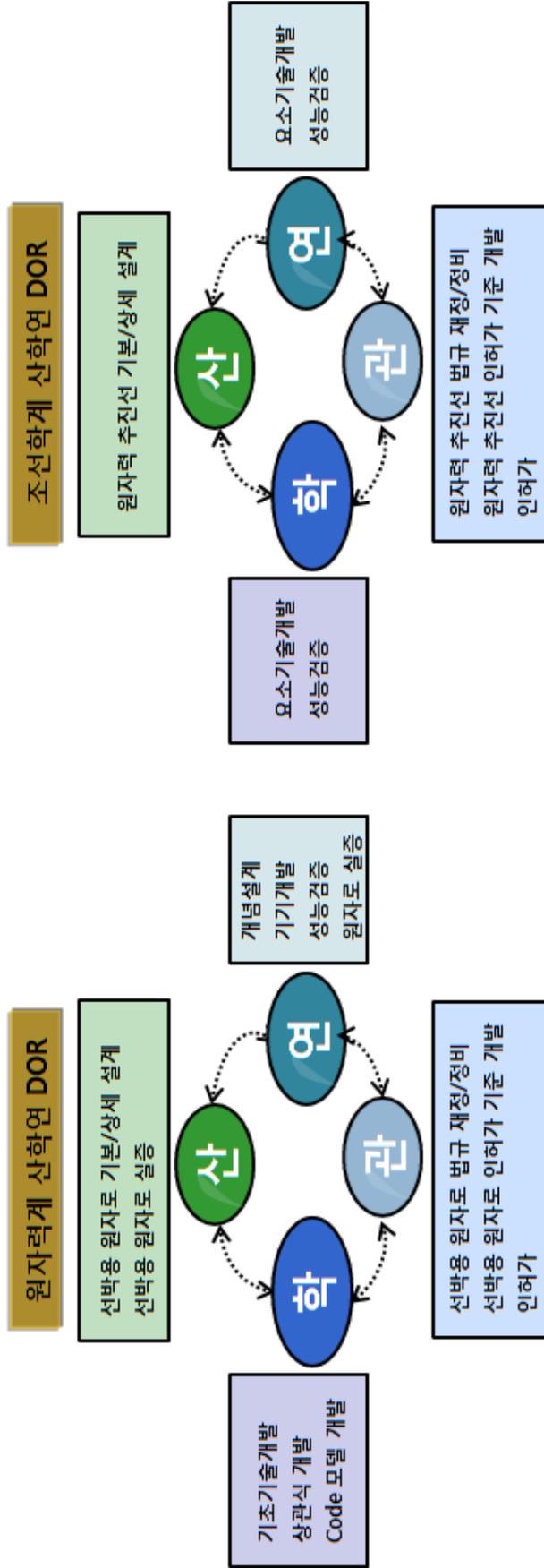


그림 4.5-2 원자력 추진선 개발 사업을 위한 추진 체계(2/2)

다음으로 조선학계 산학연 역시 앞서 언급한 원자력계 산학연의 각 구성 조직과 동일하게 구성되며 이들의 기본적인 역할 또한 동일하다고 볼 수 있다. 학계는 요소 기술 개발과 성능 검증의 기초적인 부분을 담당하며, 연구계는 이를 구체화한 연구를 수행한다. 여기에 추가로 산업계는 원자력 추진선의 기본 설계부터 상세 설계까지 책임을 다한 후 최종적으로 관공계로부터 인허가를 받게 되는데, 관공계 역시 이와 같은 원자력 추진선의 개발 및 사업 추진 기관들과 긴밀하게 협조하여 원자력 추진선의 법규를 제정 및 정비하고, 인허가 기준을 개발하는 활동을 추진하는 것이 바람직하다. 이 때 원자력 추진선을 비롯한 해양 원자력 시스템에 대해 개발 경험이 있는 선진 기술 보유국 및 유관 기관과 국제 협력을 추진하는 것 또한 유익할 것으로 판단된다.

본 사업은 개념 설계 및 인허가 획득부터 해상 실증까지를 다음과 같이 2단계로 구분하여 추진한다.

- 1단계

- 소형원자로 개발 인력 및 기술 활용
- 원자력 추진 선박 분야의 기술 선진국과 국제협력
- 선박용 원자로 인허가 기술 개발
- 고효율 경량화 차폐 기술 개발

- 2단계

- 원자로 실증 사업단 구성
- 상용 원자력 플랜트 건설을 위한 supply chain 활용
- 원자력 및 조선해양 관련기관과의 유기적 연구추진체계 구축

4.6 추진예산 및 개발기간

선박 추진용 원자로의 개발은 실증을 통해 완료된다. 따라서 추진예산 및 개발기간은 원자로 실증을 위한 건설사업 위주로 평가되며 이를 정리하면 표 8과 같다. 여기에서 1단계의 원자력 추진 선박시스템 설계에는 BOP 설계 및 원자력 추진선 연료재장전 시설 및 유지/보수 장비의 설계도 포함된다. 1단계에서 원자력 추진 선박 및 선박용 원자로의 법 및 인허가 규정의 정비를 완료하는 것으로 하였다. 2단계의 원자로 실증은 육상 혹은 바지선상에 원자로를 건설하기 위한 인허가, 시운전 등 원자로 실증을 위한 모든 사업이 포함된다.

단계	개발 내용	예산 (억원)
1단계 (4년)	법 및 인허가 기준개발	100
	선박추진용 원자로 개발	1,000
	원자력 추진 선박 시스템 설계	300
	소계	1,400
2단계 (6년)	선박용원자로실증 및 인허가	8,000
	원자력 추진 선박 상세설계	300
	소계	8,300
합 계		9,700

표 4.6-1 추진 예산 및 개발 기간

4.7 SWOT 분석

원자력 추진 선박 개발을 위한 SWOT 분석표는 그림 4.8-1과 같다. 각 요소별 분석 결과는 다음과 같다.

4.7.1 사업추진의 위험성

원자력 추진선 사업 추진 시 발생할 수 있는 위험 요인에 대해 철저히 분석하고, 그에 대한 회피 방안을 다각적으로 마련하는 것 또한 본격적인 사업 추진에 들어가기 전 반드시 선행되어야 할 것이다. 앞서 언급한 기술 로드맵과 개발 기간으로 미루어 보건데 원자력 추진선의 제조 및 승인은 단기적으로 완료될 수 없다. 이와 같이 사업이 장기화되면 선주의 요구 사항과 일치하지 못할 가능성이 발생할 수 있으므로 개발 및 사업 목표 또한 장기적인 안목을 가지고 수립해야 할 것으로 본다.

또한 원자력 추진선은 내수 시장만 보고 투자하기에는 투자 규모가 너무나 막대하므로 세계 시장에 진출해야 하는 분야이나 연구개발이 완성되었다 하더라도 국가 간 이해관계나 정치적 변수 등에 따라 사장될 위험을 갖고 있다. 따라서 애써 완성된 기술이 사장되지 않도록 하기 위해서는 원자력 추진선에 대한 전 세계적인 공감대를 형성하고 이를 키워나가야 하며, 이것은 국가적 차원에서의 적극적인 정책 지원과 협조가 수반되어야 할 것이다. 여기에는 항만과 유지 보수 시설 등과 같은 부족한 인프라에 대한 기술적인 지원이 포함된다.

추가적으로 후쿠시마 사고 이후 원자력에 대해 부정적인 시선을 가진 환경 단체 및 일반 대중의 수용성에 대한 고려도 필요하다. 이를 위해서는 대중의 신뢰를 회복할 수 있는 안전한 원자로, 안전한 원자력 추진 시스템의 개발이 필요하다.

4.7.2 SWOT 분석결과

가. S (Strengths, 강점)

원자력 추진 선박을 개발하는 데 있어서 우리나라의 강점은 세계 최고의 선박설계기술을 보유하고 있다는 것이다. 또한 원자력 플랜트를 독자적으로 설계, 건설, 운영할 수 있는 몇 안되는 국가 중 하나이며 더욱이 원자력 플랜트 전체를 수출한 경험도 가지고 있다. 또한 2012년 7월에는 SMR 계열 일체형원자로로서는 세계 최초로 SMART 원자로가 인허가 기관으로부터 표준설계인가를 받은 바 있는데 SMART는 육상용 원자로이므로 이를 바로 해양에 적용할 수는 없지만 선박 추진을 위한 소형원자로 설계기술을 충분히 확보하고 있다고 할 수 있다.

나. O (Opportunities)

원자력 추진 선박을 개발하는 데 있어서의 기회는 앞 절에서 설명한 바와 같이 국제적으로 친환경 대용량 해상 수송 동력원에 대한 수요가 해상 물동량을 주도하는 선진국 중심으로 크게 증가하고 있으며 IMO나 IAEA와 같은 국제기구에서도 원자력 선박에 대한 관심을 보이고 있다는 것이다. 자원이 부족하고 기술에 의존할 수밖에 없는 우리나라로서는 원자력 추진 선박이 향후 우리나라의 먹거리를 확보하고 일자리를 창출할 수 있는 블루오션이라 할 수 있다.

다. W (Weaknesses, 약점)

원자력 추진 선박을 개발하는 데 있어서의 가장 큰 약점은 무엇보다 대중수용성이다. 후쿠시마 사고 이후 원자력에 대한 부정적 시각이 많이 확산되어 있는 상황에서 원자력 추진 선박에 대한 대중의 인식 또한 매우 부정적일 수밖에 없다. 또한 선박 추진용 원자로 개발 및 실증을 하는데 있어 막대한 개발 비용이 투자되어야 하는 것도 약점이다. 이 외에 우리나라는 원자력 추진 선박에 대한 경험이 없으므로 원자력 추진 선박이나 선박 추진용 원자로를 위한 법 및 인허가 규정 등이 미비하여 원자로 개발을 위한 기준이 모호하다는 것도 약점이다.

라. T (Threats, 위협)

원자력 추진 선박을 개발하는 데 있어서의 위협은 국가간 이해 관계가 복잡하여 막대한 비용을 투자하여 개발을 완료한 후에도 상용화가 늦어질 수 있다는 점이다. 국가간 원자력 추진 선박을 위한 항만을 갖추어야 하는 것도 매우 어려운 일이다. 또한 해상에서의 테러나 해적에 대한 대비도 해야 하며, 선박이 침몰하는 경우에도 원자로에서 방사성 물질이 누출되지 않도록 설계하는 것도 해결해야 할 현안이다.

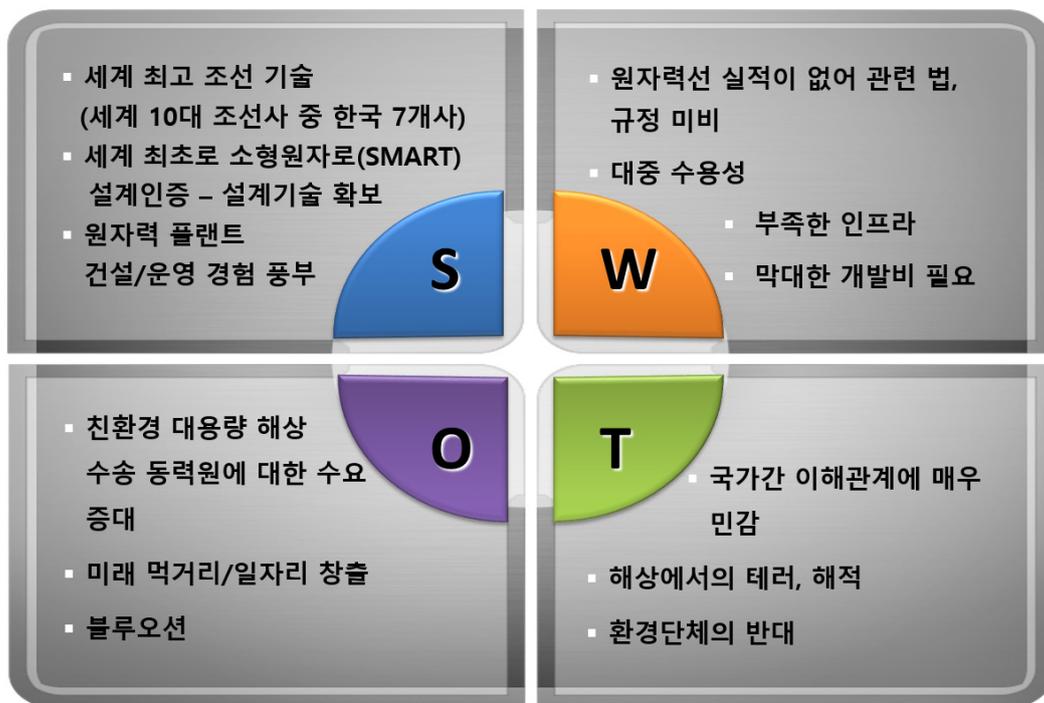


그림 4.8-1 원자력 추진 선박 SWOT 분석

5. 해양원자력시스템의 사업화 방향에 대한 제언

5.1 유형별 비즈니스 모델 요약 및 사업화 우선순위

5.1.1 착저식 해양원자력시스템

착저식 해양원자력시스템은 대형원자력 발전소부터 중소형원자력 발전소까지 중력기반 거대 해양 구조물(Gravity-Based Structure ; GBS) 건설 방법과 유사하게 대형 도크에서 발전소 건설을 완료하고 연안까지 이동하는 형태로 세계적으로 처음으로 제안된 해양원자력시스템이다. 기본적으로 한국원자력 연구원에서 독자 개발한 일체형 소형 원자로 SMART를 모듈화하여 탑재한다. 풍부한 해수를 이용하여 비상피동냉각시스템(EPCS)을 구현할 수 있으며 해상의 암반(Rock) 위에 초대형 GBS를 시공하므로 횡방향 지진 및 종방향 지진에 대한 안전성능이 향상되는 효과를 기대할 수 있다. 착저식 시스템은 육상 원전과는 달리 부지선정 절차가 단순하고, 부지 매입비용을 절감할 수 있다. 모듈화를 통해 건설되므로 건설비용 절감, 상품의 신뢰성 증대, 유지보수의 용이함, 공기단축 등의 효과가 있다. 더불어 발전용량을 수주국의 요구에 맞춰 능동적으로 대처할 수 있다. 지형 조건에 의해 인구가 여러 곳에 분산되어 거주할 경우 착저식 원자력 시스템은 막대한 송배전 시설과 그에 따른 전력 소모를 최소화할 수 있다.

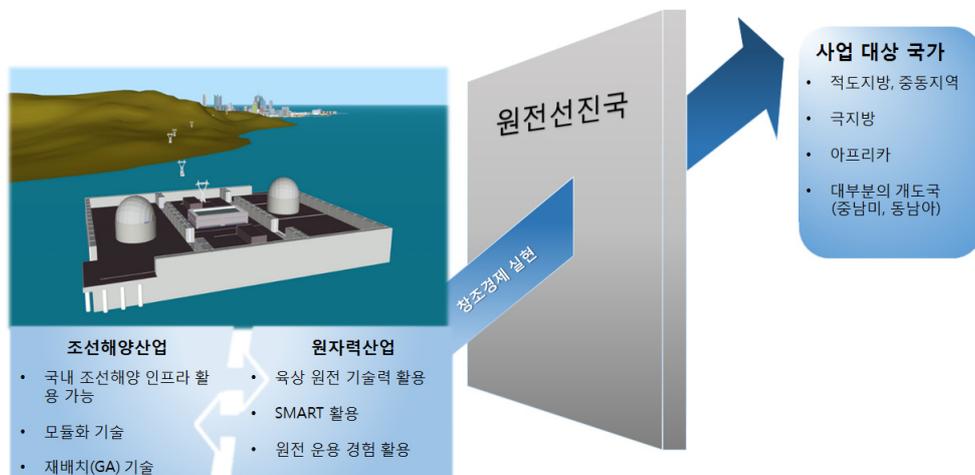


그림 5.1-1 착저식 해양원자력시스템의 비즈니스 모델 개요

5.1.2 부유식 해양원자력시스템

부유식 해양원자력시스템의 비즈니스 모델은 인근해역에 정박한 바지선이나 선박에서 발전을 통해 육지에 전기를 공급하는 해상 원자력 발전소로 러시아에서 개발 중인 KLT-40S와 유사한 개념이다. 부유식 해양원자력 발전시스템은 육상발전소 대비 조선소 야드에서 건조가 가능하므로 제품의 고품질이 보장되며, 부지 조성 과 독립적으로 플랜트 건조가 가능하여 건조 공기를 단축할 수 있다. 이와 같은 효과로 약 20 % 정도의 건설비 절감과 1/3~1/4 공기 단축효과를 기대할 수 있다. 또한 임의 발전 설비 기술의 적용이 가능하며 수송기술을 활용하여 플랜트 수요처에 공급이 자유롭다. 해상 연료수송이 용이한 측면도 있으며 개발도상국 설치와 관련하여 안정적 자원 확보 및 NIMBY(Not In My Back Yard) 및 육상부지 문제 해결이 용이하다. 착저식 해양원자력시스템과 유사한 기능을 수행하나, 현재 급격히 성장 중인 Power Barge 시장에 원자력 옵션을 제공할 수 있는 측면이 있으며, 설치와 이동이 착저식에 비해서 자유로운 측면이 장점으로 부각된다.

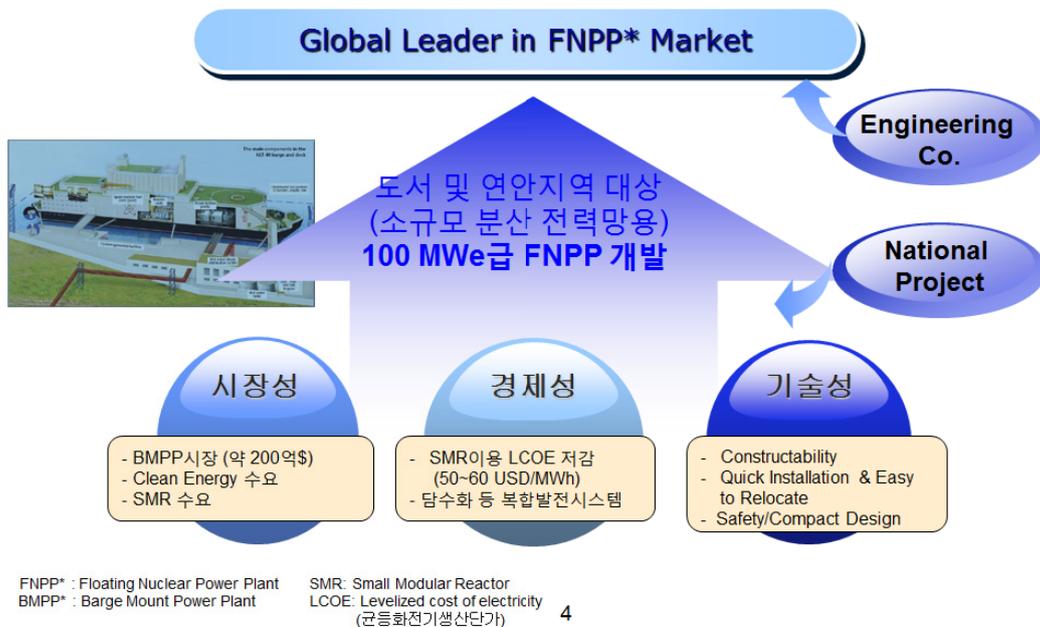


그림 5.1-2 부유식 해양원자력시스템 개발사업 비즈니스 모델

5.1.3 동력선 해양원자력시스템

동력선 해양원자력시스템은 전 세계적으로 기후 변화와 지구 온난화에 대한 정치, 사회 및 경제적 관심이 증가하고 있는 세계적 추세에 대응하기 위해서 10,000TEU 이상의 원자력 추진 고속 컨테이너선을 비즈니스 모델로 제안하였다. 선박으로부터 배출되는 온실가스 저감을 위한 전 세계적인 노력의 일환으로 원자력 추진 선박에 대한 관심이 고조 되고 있다. 이미 전 세계적으로 다양한 군용 선박 및 잠수함 운용 경험과 60-70년대에 개발되어 성공적으로 운용되었던 원자력 추진 선박에 관한 실적을 보유하고 있다. 유가 상승 및 탄소 저배출 고급유 사용에 대한 요구, 그리고 탄소세를 도입하려는 움직임 등으로 인해 비교적 안정된 가격의 우라늄을 활용한 원자력의 장점이 재조명되고 있다. 해운산업에서 요구하는 고속화, 대용량화에 대응하기 위해서는 막대한 온실가스 배출을 수반하는 디젤 추진 시스템의 대체 에너지원에 대한 요구가 시급한 실정이다. 원자력 추진 대형 고속 컨테이너선의 비즈니스 모델의 범위는: 원자력 추진선 신조 및 개조, 선박용 원자로 공급, 차폐체와 BOP(Balance of Plant, 보조기기)의 설계, 시험 및 제작 서비스, 원자력 추진선의 핵심 설계, 안전 기술 및 인허가 등, 원자로 및 연료봉 교체 등 유지·보수 서비스, 특수항만설비 서비스, 폐기물 처리 서비스, 원자로 해체 서비스 등으로 볼 수 있다.



그림 5.1-3 동력선 해양원자력시스템의 비즈니스 모델 개요

5.1.4 사업화 우선순위

해양-원자력 공동위원회에서는 상기한 유형별 비즈니스 모델들 중에서 부유식 해양원자력시스템 비즈니스 모델에 대한 개발을 우선적으로 수행하는 것이 바람직할 것으로 결론을 내렸다. 해상 발전시스템은 현재 다른 에너지원인 천연가스나 석탄 분야에서도 개발하고 있기 때문에 시장이 확실하고 급격히 성장하고 있으며, 부유식 해양원자력시스템은 현재 해외에서도 민간사업자가 가장 많이 투자하고 있는 분야이다. 즉, 구매유도시장(Market Pull)형 개발이 가능한 해양원자력 발전시스템으로서의 가능성이 부유식 해양원자력 발전시스템이 가장 높기 때문에 해양-원자력 공동위원회에서는 이에 대한 사업화 우선순위를 가장 높게 전망하였다. 따라서 본 보고서의 5장 2절부터는 부유식 해양원자력시스템 위주로 작성되었다.

부유식 해양원자력시스템을 개발하기 위해서는: 부유구조물의 운동/진동/계류 조건에 안전, 조밀/최적(Compact/Optimal) 배치설계, 고유/피동 안전성 강화 및 자율 운전 원자로 기능, 방사선 피폭 최소화 및 차폐 수단, 설치 지역, 환경, 계류를 고려한 설계, 운송 기술 고려 등에 관련한 설계 및 제작기술의 개발이 요구된다. 또한 부유식 해양원자력시스템에 적합한 소형모듈원전(SMR)의 개발이 필요하며 이를 개발하기 위한 기술적 과제로: 대량 공장생산이 가능한 표준 소형모듈원자로 개발, 표준 원자로는 소형이면서 단순하고 조밀한 배치 가능기술, 표준 원자로는 고유/피동 안전성 강화로 운전원 개입이 최소화되는 자율 운전기술, 표준 원자로는 모듈식 제작과 건설로 대량생산 인프라 구축, 표준 원자로는 방사선 피폭 최소화 및 이를 위한 차폐기술, 해양 환경에 적합하게 설계하고 적절한 사고 대책 수립 등이 도출되었다.

이를 위해서 요구되는 사업추진체계, 인허가 사항 등에 대해서 5장에서 기술하고 있다. 덧붙여서 경제성 및 시장에 대한 추가 분석과 사업 추진에 있어서 국고지원의 필요성, 그리고 국고 지원의 예시 등에 대해서 추가적으로 해양-원자력 공동위원회에서 논의한 사항들이 5장에 포함되어 있다.

5.2 사업추진체계

부유식 해양원자력시스템 비즈니스 모델은 민간 기업이 모두 다루기 어려운 원자력 관련 산업인 만큼 주요 사업 추진 주체는 통상적으로 정부 주도로 진행되어야 한다. 전담 부서는 조선해양이나 원자력 관련 업무를 담당하는 정부부처는 모두 가능할 것으로 예상된다. 개발 및 투자 범위가 방대한 원자력 사업의 특성 상 연구사업단을 주관 기관으로 하고, 국내 각 유관 기관으로 구성하여 이들 간에 긴밀한 협조를 추진한다. 사업의 투명성과 신뢰성을 제고하기 위해 독립적인 심의위원회와 인허가 기관이 사업에 참여하는 것이 바람직하다. 그림 5.2-1이 전체적인 사업추진체계의 개략도를 보여준다.

사업 초기 단계에는 원자력, 조선해양, 기계 등 관련 정부출연연구소 및 설계회사 중심으로 기술개발 사업을 추진하는 것이 바람직하다. 더불어 산학협력을 통해 전문 인력을 양성하고, 연구개발을 통한 기초 기술을 축적한다. 사업 진행 단계에는 특수목적법인(SPC) 등의 설립을 통해 사업 추진 주체를 일원화 전략도 고려할 수 있다. 본 비즈니스 모델의 경우 사업이 실현된 전례가 없고 단일 기업이 추진하기에는 사업규모가 크다. 즉 기술적·재무적 리스크가 매우 높다. 특수목적법인 설립은 기업 간의 리스크 분담을 통해 개개 기업이 감당해야할 리스크를 최소화할 수 있는 방안이다. 또한 원자력·조선해양 분야의 기업들의 긴밀한 협조가 이루어져 사업의 조직력과 추진력이 증대될 것이다.

그림 5.2-2는 세부적으로 원자력계와 조선해양계에서 각 사업주체별 담당해야 할 부분을 표시하였다. 원자력계 산학연에서 학계는 기본적으로 기초 기술, 상관식 및 Code 모델을 개발하는 등의 기초 연구를 담당한다. 여기에서 조금 더 나아가 실질적이고 구체적인 연구는 연구계 담당으로써 개념설계, 기기개발, 성능검증, 원자로 실증 등을 수행하게 된다. 이를 바탕으로 산업계는 표준형 SMR을 기본 설계부터 상세 설계까지 수행한 후, 실증까지 담당하게 된다. 관공계의 경우 표준형 SMR의 법규를 제정하고 정비하며, 인허가 기준을 개발하여 최종적으로 인허가까지 수행하는 등 정책적인 부분에서 협조하게 된다.

다음으로 조선해양분야 산학연 역시 앞서 언급한 원자력분야 산학연의 각 구성 조직과 동일하게 구성되며 이들의 기본적인 역할 또한 유사하다고 볼 수 있다. 학계는 요소 기술 개발과 성능 검증의 기초적인 부분을 담당하며, 연구기관은 이를 구체화한 연구를 수행한다. 여기에 추가로 산업계는 원자력시스템 탑재 부유체의 기본 설계부터 상세 설계까지 책임을 다한 후 최종적으로 정부기관으로부터 인허가를 받게 되는데, 정부기관 역시 이와 같은 원자력시스템 탑재 부유체의 개발 및 사업 추진 기관들과 긴밀하게 협조하여 법규를 제정 및 정비하고, 인허가 기준을 개발하는 활동을 추진하는 것이 바람직하다. 이 때 해양 원자력 시스템에 대해 개발 경험이 있는 선진 기술 보유국 및 유관 기관과 국제 협력을 추진하는 것 또한 유익할 것으로 판단된다.

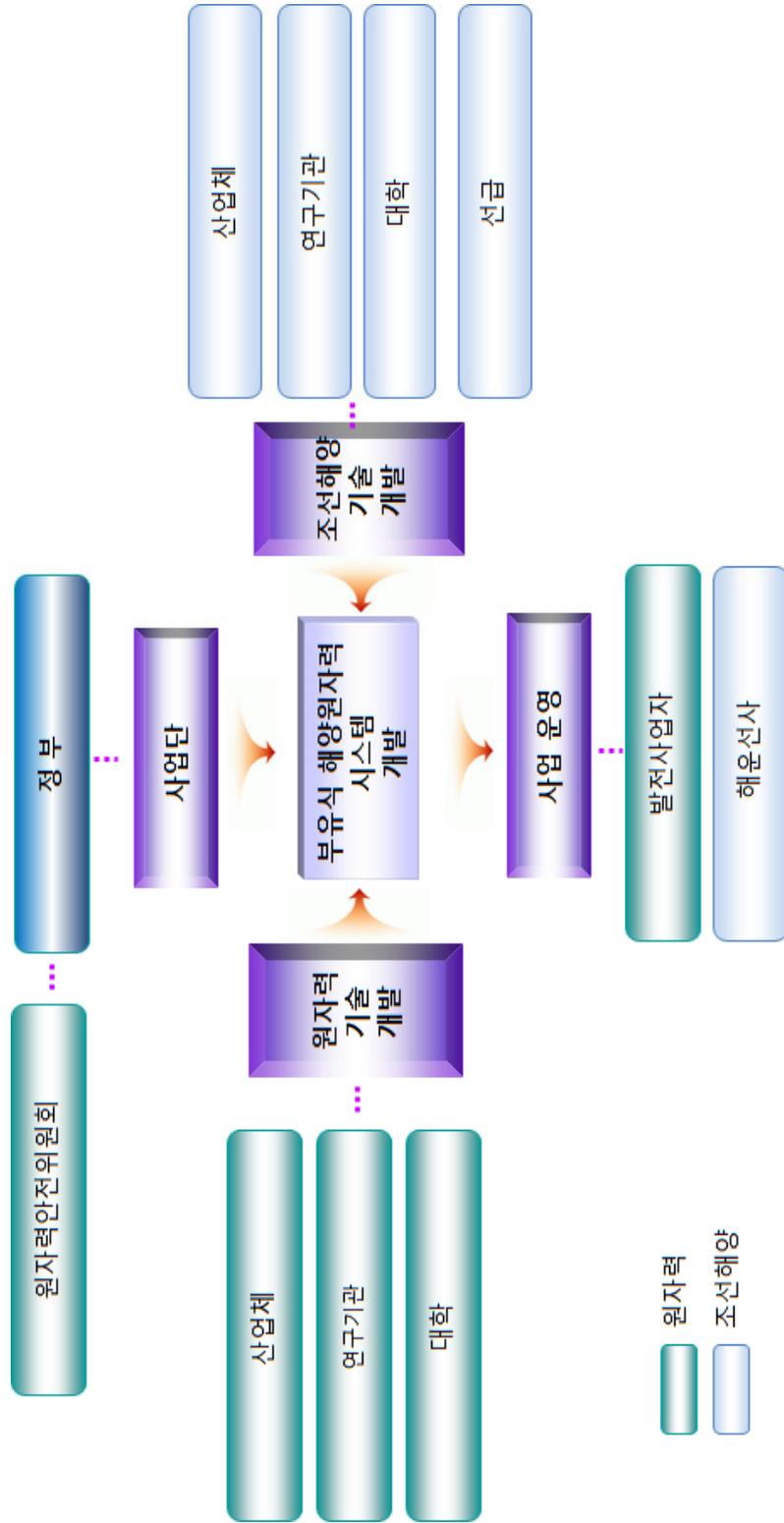


그림 5.2-1 부유식 해양원자력시스템 사업추진체계

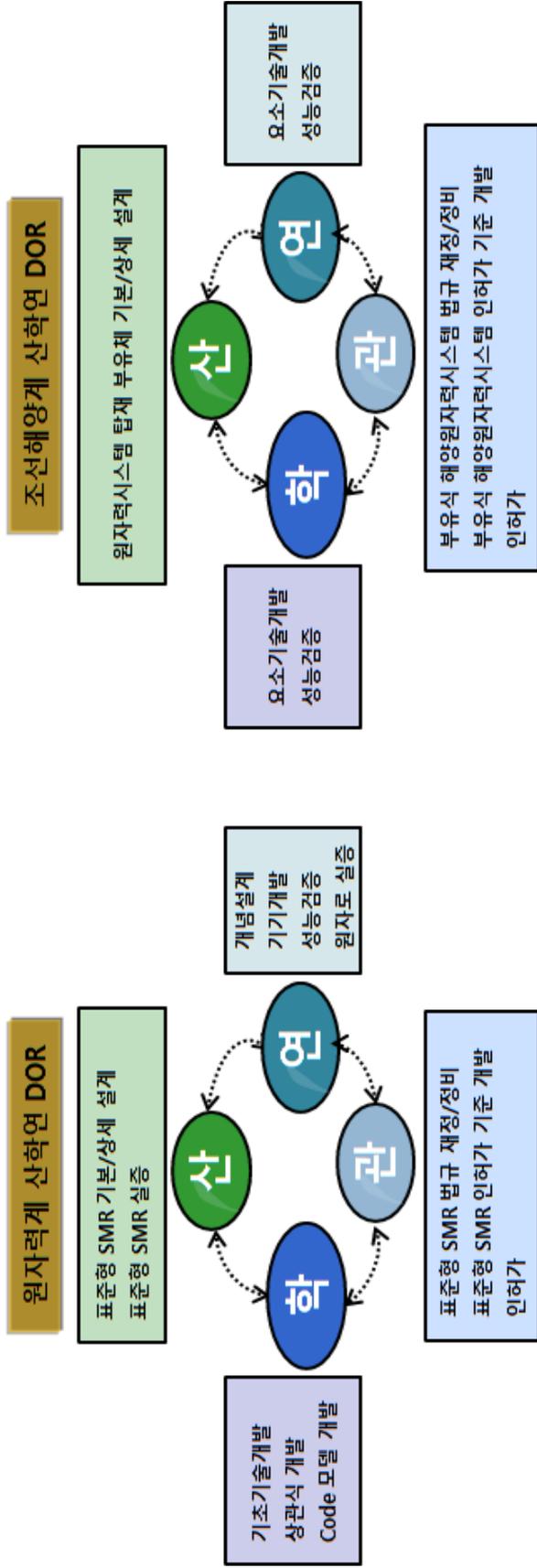


그림 5.2-2 부유식 해양원자력시스템 기술별 업무분장

5.3 인허가 필요사항

원자력의 해양 활용과 관련된 주요 관련 법규로는 “핵원료 물질, 핵연료 물질 및 원자로의 규제에 관한 법률” 및 관계법령, “선박 안전법” 및 관계법령(원자력선 특수규칙 등), 국제 해사기구 원자력선 안전기준(IMO 원자력상선 안전기준), 해상에서의 인명안전을 위한 국제조약(SOLAS 조약), 일본 해사협회 규칙(원자력선의 선급 등록을 위한 잠정 지침 등) 등이 있다. IMO의 SOLAS 조약 제 8장에 원자력선과 그 원자력 시설에 관한 안전요건에 필요한 방호, 범위, 조작 지침서, 안전설명서의 내용 등이 지정되어 있다. 원자력선 운항자의 책임에 관해 1962년에 채택된 Brussel 조약이 있으나, 여기에는 원자력 추진 군함도 포함되어 있으나 주요 원자력선 보유국이 비준하지 않아 발효되지는 않고 있다. 국제원자력기구(IAEA)는 1968년 일본을 포함한 7개국의 전문가를 모아서 원자력선 출입항 안전기준을 작성하였으며, 이것은 원자력선의 출입항에 관계된 안전성의 확보와 수속의 원활화를 목적으로 한 지침이다.

IMO의 규정은 1980년대에 제정된, 일반적인 가압경수형 원자로(PWR)에 해당하는 내용이 대부분이며 개정이 필요한 부분도 있지만 원자력 추진 선박에 관한 상세한 규정으로서 반드시 참고해야 할 자료로 볼 수 있다. 이 규정은 원자력선에 대한 일반적인 기술적인 문제와 참조규제에 대한 제반 정보를 제공해 주고 있고, 또한 IMO의 규정에 맞는 규제 및 국제 협약을 제시하고 있으며, 원자력선을 운전하는데 있어서 발생할 수 있는 여러 안전적인 측면에서 접근하고 있기 때문에 중요한 의미를 지니고 있다. IMO의 원자력선 안전기준에는 선박로와 관련된 요건들이 제시되어 있으며, 모든 플랜트 상태 등급에 대하여 3가지 안전기준(basic safety criteria)을 제시하고 있다. 또한 이에 근거하여 모든 계통에 대하여 그 기능이 손실되었을 때에 미치는 영향의 중요도에 따라 안전등급(safety class, SC)을 분류하고 있으며, 분류된 안전등급에 의해 설계 등에 대한 요구조건을 달리하고 있다. IMO의 원자력선 안전기준중 환경요건(Environmental Conditions)으로 충돌, 좌초, 폭발과 같은 사고로 원자로 플랜트 기기에 가해지는 충격하중을 고려하여 설계에 반영하도록 하고 있으며, 항해중의 평균적 조건과 극단적 조건에서 선체 운동을 고려하여 원자로 제어의 안정성 및 원자로의 동적 거동을 평가하도록 하고 있다.

또한, 원자로 방호와 관련된 기기 및 가동중의 안전시스템 설계에서는, 인접한 두 기기의 침수 시에도 항해중인 선박을 가상하여 평가된 정적 혹은 동적 경사로 인하여 과응력이나 오작동의 발생없이 견딜 수 있도록 요구하고 있다. IMO의 원자력선 안전기준에는 선박의 사고상황 평가에 대한 요건이 정비되어 있으며, 선상에서의 화재 및 폭발의 해석에 관한 안전기준을 제공하고 있다. 또한, 선내 및 그 부근의 폭발에 의해 발생하는 압력과의 영향에 대해서는 선체(hull) 구조가 방사능원을 충분히 차단할 수 있도록, 전형적인 폭발시나리오를 가상하여 그 영향을 원자로 안전과 연계시켜 해석하도록 요구하고 있다. 선박 배치에 관한 요건에서, 원자로구획은 충돌, 좌초 혹은 화물, 미사일 또는 안전해석 등에 의해 규명된 각종 재해에 대해서 손상이 최소가 되는 장소에 설치하든가, 혹은 보호할 수 있도록 규정하고 있다. 또한, 외부의 화재 혹은 폭발에 대해서 적절히 보호할 수 있도록, 이중 바닥으로부터 격리갑판(bulkhead deck)의 높이까지 전후를 적절한 격벽으로 구분하도록 하고 있다. 구조에 관한 요건으로는, 원자로 기기와 충돌방호 구조의 자중과 강성을 고려하여 선체의 길이방향 강도 해석을 요구하고 있으며, 충돌방호요건에서는, 다른 배와의 충돌 뿐 아니라 고정된 물체, 그리고 떠다니는 물체와의 충돌도 포함시키고 있다. 기타 원자력 추진 선박의 운용과 관련하여, 발생한 방사성 폐기물의 처리와 처분과 관련한 규정도 IMO의 기준에 기술되어 있으며, 원자로 운전으로 발생하는 방사성 폐기물은 선박 외부로 방출할 때 방사능 레벨의 한도를 폐기물의 형상과 항만 및 항구, 연안국과의 거리, 폐기물의 고체/액체/기체 상태에 따라 명시하고 있다.

1960년 IMO의 해상인명안전조약(SOLAS)에서는 “원자력선은 원자력추진 동력을 갖춘 선박”으로 정의하고 있다. 원자력선박의 주 추진기관은 증기터빈, 가스터빈 또는 전기추진장치 등이 있을 수 있다. 우리나라의 경우, 선박안전법에 기술된 원자력선의 정의는, “원자력선은 원자력 기관을 주 추진기관으로 하는 선박”임. 동 법에는 “원자력선의 소유자로 하여금 원자력 설비 및 당해 선박의 안전성을 평가할 수 있는 안전평가서 등의 자료를 작성하여 국토해양부장관의 승인을 얻은 후 이를 당해 선박의 선장에게 제공하도록” 되어 있다.

우리나라의 원자력선 관련 법제도를 살펴보면 먼저 “원자력법 및 동법 시행령,

시행규칙”에 외국적 원자력선의 입출항신고(제34조), 원자로나 핵연료 등의 운반신고(제86조), 포장 및 운반에 관한 기술기준(제87조), 보고 및 검사기준(제103조) 등이 규정되어 있으며, “선박안전법 시행규칙”에는 특수선에 대한 정의(제2조의 8), 검사기준(제10조), 특수한 설비 또는 구조에 관계되는 준비(제21조) 등이 규정되어 있다. 해양법 관점에서 원자력선 관련 내용은 선박안전법 및 동법 시행령, 시행규칙 등에 일부 포함되어 있으나, 현재 우리나라에서 운항중인 원자력선이 없기 때문에 원자력선에 대한 자세한 내용은 거의 없으며, 다만 원자력선은 방사능 물질을 운반하고 있다는 관점에서 특수선으로 분류해 여러 검사를 받아야한다는 내용이 주로 포함되어 있다.

원자력선의 항행에 관한 국내외 법을 살펴보면, 1962년 원자력선 운영자의 보상 책임에 관한 협약(Convention on the Liability of operators of Nuclear Ships)은 제1조 제1호에서 원자력선(nuclear ship)을 “원자력설비를 갖춘 모든 선박”이라고 정의하고 있다. 따라서 동 협약상 원자력선의 범주는 여객선, 화물선, 군함을 불문하고 모든 선박이 포함되는 것으로 해석되고 있다. 국내법에서는 원자력법 제34조에서 “원자로를 설치한 선박”이라고 규정하고 있으며, 다만, 동법에서는 원자력선의 적용범위에서 군함을 제외하고 있다. 이와 같이 정의되는 원자력선의 항행은, 동 선박이 지니고 있는, 환경에의 커다란 잠재적 위협으로 인하여 여러 가지 측면에서 규제되고 있다. 원자력선의 항행과 관련된 각종 국제협약은, 동 협약의 공간적 구분에 따라서 접근하는 것이 가장 적절한 방법이며, 동 협약은 해양의 공간을 내수, 군도수역, 영해, 접속수역, 배타적 경제수역, 대륙붕, 공해 및 심해저로 분류하고 있으나, 항행과 관련하여서는 내수와 영해, 배타적 경제수역 및 공해 등으로 분류하고 있다. 내수(internal water)는 영해측정기선 내측에 존재하는 수역으로서, 만, 강, 항구 등을 포함. 일반적으로 내수는 영토와 밀접성을 가지고 있어 연안국의 강력한 주권이 미치며, 이에 따라 외국의 행위가 극히 제한되고 있음. 외국선박의 경우에는 항구에 입출항하는 경우를 제외하고는 일반적인 항행이 허용되지 않으나, 다만, 직선기선제도의 채택으로 새로이 내수로 편입된 부분에 대해서는 무해통항권이 인정되고 있다. 따라서 연안국의 내수를 원자력선이 항행할 수 있는 경우는 직선기선제도의 채택으로 새로이 내수로 편입된 부분에 대한 무해통항권 행사의 경우와 항구의 출입시로 한정되고 있다. 전자의 경우에는 영해에서의 원자력선 항행통제규

정에 적용되며, 후자의 경우에는 SOLAS 협약 제8부속서에 관련 규정을 두고 있으며, 국내에서는 원자력법에서 관련규정을 두고 있다. SOLAS 협약 제8부속서 규칙 7은 (b)호에서 원자력선이 타국을 방문하고자 하는 경우에는 해당정부에게 방문하는 원자력선의 안전평가서(Safety Assessment)를 제공하여야 하며, 그 제공 시기는 해당국 정부가 동 안전평가서를 통하여 방문하고자 하는 원자력선의 안전성을 사전에 충분히 평가할 수 있을 정도이어야 한다고 규정하고 있다. 또한 동 부속서 규칙 11은 원자력선이 타국의 항구에 입항하기 전이나 입항한 후에도 유효한 원자력 안전증서를 보유하고 있어야 하며, 해상 또는 항내에 있어서 선원, 승객, 또는 일반 대중이나 수로, 식량 또는 수자원에 대하여 부적절한 방사선 또는 기타 위험이 발생하지 않도록 하기 위한 항구국의 특별통제를 받아야 한다고 규정하고 있다. 이상과 같은 원자력선의 외국항구 출입에 대한 국제협약상 제도는 우리나라 국내법상 『원자력법』에서 수용하고 있으며, 동 법은 제34조 제1항, 동 법 시행령 제47조 제1항 및 동법 시행규칙 제25조 제1항에서 외국인인 대한민국 항구에 원자력선을 입항시키거나 출항시킬 경우 20일전까지 별도 서식에 따른 외국 원자력선 입출항 신고서를 교육과학기술부장관에게 제출하여야 한다고 규정하고 있다.

이상에서 살펴 본 바와 같이 IMO는 원자력추진선박의 건조와 운항에 대한 규정이 비교적 상세히 나와 있지만 우리나라는 원자력 선박 입출항 관련 법규외에는 원자력 추진 선박이나 선박 추진용 원자로의 개발 및 운용과 관련한 법은 거의 없는 실정이다. 따라서 원자력 추진 선박을 개발하는 데 있어서는 원자력 추진 선박 및 선박 추진용 원자로를 개발, 운용하는데 있어서 필요한 법령을 제정하고, 이를 바탕으로 인허가 규제 기준을 개발하는 것이 선행되어야 한다. 특히 우리나라의 원자력법에는 원자로를 크게 발전용 및 연구용으로 구분하여 각각의 규제요건들이 규정되어 있다. 하지만 선박 추진용 원자로는 발전용도 아니고 연구용도 아니므로 선박추진용 원자로에 대한 별도의 법 및 규제기준이 마련되어야 한다.

5.4 경제성 및 시장 분석

5.4.1 경제성 확보 전략

IAEA, OECD/NEA, WNA 등과 같은 원자력 관련 국제기구에서는 2020년에서 2030년 동안 발전부문의 소형모듈원자로(SMR) 시장규모가 최소 4.5 GWe(100MWe 급 45기에 해당)에 이를 것으로 전망하고 있으며 비 발전부문에서도 동 기간 동안 최소 9.7 GWe(100MWe급 97기에 해당) 규모가 형성될 것으로 전망하고 있어 향후 SMR 시장의 확대가 예상되고 있다. 또한 화석연료에 기반한 부유식 해양플랜트 (barge mounted power plant, BMPP)나 이동식 전력공급선(Mobile Power Ship)과 같은 해양플랜트 시장이 연간 6.4% 규모로 증가하고 있다. 앞으로 기후변화 완화를 위한 국가간 규제가 강화되면 원자력 및 신재생에너지와 같이 온실가스(green house gas, GHG) 무배출, 청정 에너지에 대한 수요가 크게 증가할 것으로 예상된다. 따라서 발전부문 및 비발전부문의 SMR 시장과 화석연료 기반의 해양플랜트 시장을 융복합하는 부유식 해양원전 (Floating Nuclear Power Plant, FNPP) 시장을 창출할 수 있을 것으로 기대된다.

이는 소규모 전력망으로 구성되는 오지나 도서 지역 등과 같이, 전력망 공급이 원활치 않고 관련 산업 인프라가 제대로 갖추어지지 않아 대형 원전이나 화력발전소가 진입하기 어려운 지역에, 전력 공급뿐만 아니라 지역난방, 담수화 등과 같은 비 발전부문에도 활용할 수 있는 SMR 기반의 부유식 해양원전은 좋은 비즈니스 모델로 제시되고 있다.

이러한 시장 추세에 부응하여 세계 원전 선진국에서는 SMR의 조기 시장선점을 위해 경쟁적으로 기술개발에 돌입하여 45여종 SMR이 개발되고 있으며 국내에서도 SMART 개발을 필두로 차세대 SMR 개발에 대한 필요성이 대두되고 있다.

향후 본격적인 SMR 기반 부유식 해양원전 시장이 열리는 시점에서 시장 경쟁력을 높이기 위해서는 안전성 확보를 지향하는 기술경쟁력 확보와 함께 경제성을 지향하는 가격경쟁력을 동시에 확보하는 것이 시장선점의 최우선 과제가 될 것이다.

가. 경제성 확보를 위한 목표 설정

국내 OPR1400, APR1400, APR+ 등 대형 원전의 경우 다른 경쟁국가에 비해 제작 및 건설방법의 최적화를 통해 30~50%의 가격경쟁력을 보유하고 있으며, 국내 원전수출 협상과정에서도 가장 큰 장점으로 작용되고 있다.

또한 해양 조선산업의 가격경쟁력도 해외 경쟁국대비 비교우위를 점하고 있다. 따라서 SMR 기반 부유식 해양원전의 경우에도 다른 경쟁국가 대비 20% 이상 가격경쟁력 우위를 확보할 수 있을 것이다.

SMR 시장의 경쟁이 가열되고, 해양플랜트산업의 선두주자간의 경쟁이 치열해질 것을 고려할 때, 경쟁국들의 기술혁신과 원가 절감 노력으로 현재 예상보다 가격이 절감될 것을 고려하여 최소 20% 이상 가격경쟁력 우위를 확보하는 것이 필수적이다.

세일가스 개발로 인한 유가하락과 LNG 복합화력 및 신재생에너지 개발 확대 등과 같은 에너지 시장의 환경변화에 대응하고, 타 발전 에너지원과의 경쟁력 확보를 위해 SMR 기반 부유식 해양원전의 목표 건설단가 및 발전원가를 실현할 수 있도록 경제적 설계(Design to Cost)을 실현해야 한다. 다음과 같은 가격경쟁력 확보를 위한 공격적인 목표를 설정할 필요가 있다:

- 원료의 장주기 운전 및 계통단순화를 통한 운전 유지보수성 향상
- 원자로 주요기기 설계수명 60년 확보
- 건설기간 2년이내 목표
- 공장제작 모듈화를 통해 제작성, 수송성, 건설성 제고
- 모듈 증설방식의 다중호기 건설 유연성 확보

나. 경제성 확보 전략

경제성 확보 전략은 크게 두 가지 측면, 즉 건설사업비 절감과 생애주기비용(life cycle cost) 절감 측면에서 다음 사항들을 고려할 필요가 있다.

먼저 건설사업비 절감 측면에서 고려할 경제성 확보전략은 다음과 같다.

- 피동형 계통 구현을 통한 계통 단순화 : 완전 피동형 계통 구현을 바탕으로 한 계통의 단순화 및 기기 축소
- 무봉산 운전 노심설계 구현으로 화학체적제어계통의 단순화
- 일체형 모듈화를 통한 제작 및 건설비 절감 : 소형원자로 특성을 살려 1차 측 계통 완전 모듈화를 통해 공장 생산 체계 구축 및 수송 및 설치, 시공 기간 대폭 단축을 통한 건설기간 단축

다음으로 생애주기비용 절감 측면에서 고려할 경제성 확보전략은 다음과 같다.

- 설계수명 60년 확보
- 이용률 극대
- 운전/보수성 증대
- 설비 확장성 고려 : 다양한 시장수요에 대비한 원전 용량, 설계 수준, 경제성 운영/재원분담 등 “Customized Design 능력” 확보

상기한 경제성 확보전략이 구체화 되면 이를 토대로 해외 부유식 해양원전 대비 경쟁력 비교분석과 시장 점유율별 해외 부유식 해양원전 수출달성 전망이 계량화 될 수 있을 것이다. 끝으로 이러한 경제성 확보 전략을 달성하기 위한 구체적인 추진방안 및 계획을 세워야 할 것이다.

5.4.2 경제적 타당성 분석

경제성 분석에서의 비용(cost)의 정의는 ‘R&D 투자비용 및 사업화에 수반된 모든 비용’을 의미하지만 최초유형의 부유식 해양원전 개발사업에서는 R&D 투자비용만을 적용할 수 있다. 경제성 분석에서의 편익(benefit) 산출은 ‘미래 시장규모의 추정에 의한 편익 산출유형’을 채택하여 수행하는 것이 바람직하다고 판단된다. 이는 사업 추진의 예상매출액 및 부가가치 창출액으로부터 연구개발이 기여한 값을 추정하여 산출할 수 있다. 비용 분석기간은 개발사업의 총 기간으로 설정하고 편익 분석기간은 사업으로 실제 수익이 실현되는 시점으로부터 10년간으로 설정하고 연

도별 비용, 편익 산출을 현재가치(할인율 5.5% 적용)로 변환하여 합산 비교하는 방안을 추천한다. 이러한 경제성 분석 방식은 정부 예비타당성평가 대상 기획과제에서 일반적으로 적용되는 기본설정 내용이다.

부유식 해양원전 개발사업에 대한 구체적인 경제성 분석은 아직 이루어지지 않았지만 산업부 전략기획단이 2012년 기획한 “소형모듈형원전(차세대SMART) 기술개발사업” 보고서에 수록한 SMR 경제성 분석 결과를 토대로 이러한 기술개발사업의 경제성을 미루어 짐작할 수 있다. SMR의 비용편익 분석 결과 낙관적 측면(시장감소율 0%)에서 양의 값 2.96이 도출되었으며, 보수적 측면(시장감소율 20.6%)의 경우에서도 2.35가 도출되었다. 이를 통해 동 사업이 투자비용의 적절성, 기대편익 수준에 근거하여 사업추진에 대한 충분한 경제적 타당성을 확보하고 있음을 알 수 있다. SMR 기술개발사업을 통한 직접 매출효과 및 고용효과 측면에서도 보수적인 가정 즉 시장감소율 20.6%에 세계 SMR 시장 대비 국산 점유율 10%를 가정할 경우 2025년 5조 299억원(44.6억불), 2030년에는 7조 3,497억원(65.2억불)의 매출(수출) 효과가 있을 것으로 전망되며, 2030년 기준으로 5억원당 1명의 고용창출이 있는 것으로 가정할 경우 약 14,699명의 고용효과가 있는 것으로 예상하고 있다.

5.4.3 시장성 분석

IAEA, OECD/NEA, WNA 등과 같은 국제 에너지관련 기구들은 지구 온난화 방지를 위한 원자력 에너지의 수요 증가가 예상되고 원자력발전소 건설시장에서는 후쿠시마 사고 이후 강화된 국제 안전기준을 충족하는 혁신적인 원자로 수요가 증대할 것으로 예상되고 있다. 또한 안전성이 크게 강화된 상용 제 4세대(Gen-IV) 원자로는 단기간 내에 개발이 어려울 것으로 예상되므로, 초기 투자비용이 적고 안전성이 뛰어난 소형모듈경수로(SMR)의 개발로 관심이 이동하고 있으며, SMR 시장 조기진입을 통해 시장 지배력을 강화하려는 선진국의 전략이 가시화되고 있다. 선진국을 중심으로 SMR의 개발 및 설계인증 노력 등이 진행 중이므로 아직 실질적인 시장이 형성되지는 않았으나 다목적 소형 모듈 원자로 시장이 급속히 성장할 것으로 예상하고 있다.

후쿠시마 원전사고 이후, 세계 원전 보유국들은 모두 자국의 원전안전성 점검에 주력하고 있으며, 국가별 원전정책의 검토방향은 정책 유지(원전 유지, 신규도입 계속) 또는 정책 재검토(재검토, 신규 도입 보류, 운영축소) 등으로 상반된 입장을 보이고 있다. 미국, 프랑스, 러시아 등 주요 원전 수출국들은 원자력발전을 지지하며 적극적으로 보급하려는 움직임을 보이고 있는 반면 독일, 이탈리아, 스위스 등은 원전의 폐지 및 신규건설 중단을 결정하였다. 후쿠시마 사고 이후 원자력 산업에서는 안전성과 이에 따른 원자력의 국민 수용성이 가장 중요한 요소로 부각되었다. 후쿠시마 원전사고 이후 안전성에 대한 논란, 비용 증가 등으로 향후 신규원전 건설이 지연되는 등 원전산업이 부분적으로 위축되는 동향을 보이나, 세계 에너지 수요와 기후 변화, 화석연료 가격의 불안정성 등으로 원전 수요는 여전히 유효할 것으로 전망된다.

사실 유키야 아마노 IAEA 사무총장은 IAEA 총회 전망 (2011. 9)에서 ‘후쿠시마 사고에도 불구하고 원자력 이용은 지속적으로 확대’될 것이라고 발표하였다. IAEA는 2030년까지 세계 원자로 운영 호기 수가 최소 90기, 최대 350기 증가할 것이며, 증가 속도는 이전 예측에 비해서 줄어들었지만 여전히 원자력 에너지의 이용은 확대될 것이라고 전망하고 있다. 원자력 발전소 신규건설의 대부분은 이미 원전을 운영 중인 국가, 특히 중국, 인도 등의 아시아 국가에서 일어날 것이라고 예상하고 있다.

WNA 원전 시장동향 전망(2011.9)에서도 원전연료 시장은 후쿠시마 원전사고로 인하여 큰 영향을 받지 않은 것으로 전망하였다. 현 시점에서 후쿠시마 원전사고가 세계 원전연료 시장에 미치는 전체적인 영향을 평가하는 것은 시기상조이나, 후쿠시마 원전사고에 대한 대응으로 일본과 독일의 원자로 완전 폐쇄 등에도 불구하고, 에너지 수요와 공급을 둘러싼 세계의 상황은 사실상 변화가 없다고 보고하였다. WNA 표준 시나리오에서는 원전 발전용량이 2011년 364 GW에서 2015년에 411 GW, 2020년에 471 GW, 2030년에 614 GW로 연 평균 2.3% 증가를 전망하고 있고, 낙관 시나리오는 2015년에 416 GW, 2020년에 518 GW, 2030년에 790 GW로 예상하고 있다.

SMR 기반 소규모 원전시장 전망뿐만 아니라 부유식 해양 플랜트 (Barge Mounted Power Plant) 시장도 전망이 좋다. 2010년 기준으로 현재 60 기 이상 화석연료 해양 플랜트가 운영 중에 있고 10기 이상의 이동식 발전선(Mobile Power Ship)이 가동 중에 있어 약 200억불 이상의 시장이 형성되어 있다. 향후 노후화된 해양 플랜트 교체와 소규모 전력망을 요구하는 도서지역이나 발전 인프라가 구축되어 있지 않는 개도국에서 지속적인 수요가 있을 것으로 전망된다.

또한 기후변화 협약에 의한 온실가스 저감 정책이 본격적으로 규제화 되기 시작하면 청정에너지의 수요가 급증할 것으로 예상되고 이에 따라 신재생 에너지와 함께 원자력 에너지 수요도 증가할 것으로 예상된다. 태양력, 풍력, 조력 등과 같은 신재생에너지와 비교하여 원자력 에너지는 방사성물질 유출 가능성과 방사선 폐기물 처리 문제가 있지만, 안정적인 발전량 제공으로 기저부하 역할을 할 수 있어, 대량으로 집중적인 전기 공급이 가능하여 무엇보다 경제적이고 효율적인 청정에너지 자원으로 대안이 될 수 있다. SMR에 기반한 부유식 해양원전 시장은, 원전의 안전성을 획기적으로 향상시키고 설계 표준화와 단순화로 공장 제작으로 대량 생산 체계를 갖추게 되면, 도서지역이나 극지나 오지와 같은 소규모 분산 전력망에 적합한 가장 유력한 청정에너지 자원의 대안이 될 수 있다. 또한 개도국과 같이 전력 수요가 급증하지만 전력산업 인프라가 갖추어지지 않은 곳에도 부유식 해양원전으로 쉽게 전력을 공급할 수 있게 되어 개도국 발전에도 이바지할 것으로 기대된다.

5.5 국고지원 필요성 및 방향

최근 우리나라는 지속적인 R&D 투자의 확대에도 불구하고 세계시장 1위 품목 감소 및 대형성장동력 창출 부재에 직면하고 있다. 하지만, 기업은 3~5년 내에 이익을 창출할 수 있는 분야에 집중하고 있으며, 5년 이후 기술은 미래 불확실성으로 투자를 주저하고 있는 실정이다. 정부 주도로 수요기업 및 핵심부품 공급기업의 공동 개발을 위한 장을 만들어 핵심부품과 세트 경쟁력 동시에 확보가 필요하다. 과거에도 정부는 불확실한 미래 신산업 분야에 대규모 선제 투자하여 국가 성장 동력 창출에 기여한 바가 있으면 해양원자력시스템은 잠재적인 국가 신성장 동력이다.

창조적 미래산업을 선도할 해양원자력시스템 개발의 산업 영역분석 결과는 조선해양 산업계와 원자력 산업계의 기술 성숙도나 기술 혁신성 그리고 시장 경쟁도 및 시장 규모 등을 고려할 때, 아직 시장이 형성되지 않은 신제품 분야이다. 따라서 성장동력 및 고부가가치 창출을 위해 필요하지만 개발 리스크가 커서 민간의 R&D 투자가 어려운 분야이기 때문에 정부의 지원이 필요하다.

국내에서 조선해양 산업과 원자력 산업은 Fast-Follower로서 세계 최고의 자리까지 급성장한 공통점이 있다. 그러나 양 산업계는 양적 성장에서 질적 성장으로 전환시키지 않으면 더 이상 성장을 보장할 수 없고, 새로운 길을 개척하지 않으면 더 나아갈 길이 없는 Fast-Follower로서의 위기를 맞고 있는 실정이다. 이러한 위기를 새로운 시장을 개척하여 이를 선도하는 First-Mover로 극복해야 할 필요가 있다. 이런 점에서 양 산업계의 강점을 살려서, 한계에 도달한 기존 시장(red ocean)을 벗어난 새로운 목표시장(blue ocean)을 개척하여, 각 산업계의 한계와 위기를 극복하여 win-win하는, 융복합 산업을 창출하여 창조경제를 실현하는 전략으로 해양원자력시스템 개발이 필요하다.

40%에 육박하는 세계 조선시장 점유율로 세계 제일의 조선해양산업과 대형 가압경수로에 대한 풍부한 설계, 건설 및 운영 경험을 갖추고 세계에서 다섯 번째로 원전을 수출하여 원자력 기술 신흥강국으로 부상한 원자력 산업계가 원자력 기술과

조선해양기술을 융복합하여 신성장 동력으로 새로운 목표시장을 창출하고자 해양 원자력시스템을 개발하고자 한다.

이러한 시도는 정부의 창조경제 추진 정책에 부합되고 조선해양산업의 위기 (fast-follower로서 위기)를 고부가가치 산업으로 탈바꿈시킬 기회로, 정체된 원자력 시장에서 탈피하여 새로운 목표시장을 개척하여 이를 선도할 기회로 활용할 수 있다. 원자력 산업이나 조선해양산업과 같이 기술개발을 위한 투자규모가 매우 큰 사업이 성공적으로 추진되려면 정부의 정책적 의지와 역할이 중요하다. 또한 해양원자력시스템은 블루오션 아이템인 만큼 시장창출 및 경쟁력선점을 위해서 조선해양산업계 및 원자력 산업계를 포함한 관련 기관들의 전략적 지원이 반드시 필요하다. 이를 통해서 조선 선박산업, 해양플랜트산업, 원자력 산업을 융합한 해양원자력시스템 산업을 주도할 글로벌 에너지 전문기업을 해당 기술개발 및 상품 수출 과정을 거쳐 단위 기업형태나 컨소시엄 기업형태로 육성발전 시킬 수 있을 것이다.

특히 원자력 산업은 원자로의 안전성에 대한 엄격한 승인을 바탕으로 이루어지고 있으며 해양환경에 적용할 경우 해양 환경과 지원 시설 등에 미치는 영향을 고려할 때 담당 정부부처에서 타당성과 적합성을 면밀히 검토해야할 필요가 있다. 부유식 해양원자력시스템의 안전설계 기술은 미래형 원천기술로서 원자력을 활용한 해상 부유체 뿐만 아니라 계류할 항구 및 국가 간 원자력 관련 취항 승인 등이 필요한 복합적인 문제를 해결해야한다. 민간 투자를 유도하여 새로운 시장을 창출하기 위해서는 사회적-정치적 기반을 확립함으로써 경제성 관련 불확실성을 제거하는 것이 필요하며 이는 정부 주도의 사업 형태로 수행되는 것이 적절하다. 국제 제도의 정비 및 조선해양 기술 관련 국제 표준의 개발은 정부의 활동영역일 뿐만 아니라 정부가 민간에 이니셔티브를 제공할 수 있는 영역이다.

5.6 저개발국 지원을 통한 기술개발

5.6.1 소형모듈형원자로를 이용한 해양원자력플랜트의 장점

해양원자력플랜트는 육상원자력플랜트보다 건조비를 약 20% 낮게 건설될 수 있다. 그것은 토지구매 비용을 절감할 수 있고, 추가로 품질보증 비용, 기기운송비 등을 절감할 수 있기 때문이다. 만일 플랜트가 설치될 장소가 해외의 저개발국라면, 현지의 낮은 수준의 노동력과 열악한 시설장비 때문에, 일반적으로 공사기간이 길어지고 공사 품질이 낮아져서 그에 따른 비용이 증가한다.

소형모듈형원자로 SMR (small modular reactor) 분야에서 한국의 원전 설계기술은 세계 선두 주자 대열에 있다. 그것은 일체형 가압경수로인 SMART의 표준설계를 인가받은 것이다. 표준설계인가는 동일한 설계의 발전용 원자로를 반복적으로 건설 하고자 할 때 인허가 기관이 원자로 및 관계시설의 표준설계에 대해 종합적인 안전성을 심사해 인허가를 주는 제도다. 일체형 원전이기 때문에 현장에서 각종 설비와 부품을 건설하는 것이 아니라 공장에서 완제품을 제작·공급해 현장에 곧바로 적용 할 수 있다. 스마트는 증기발생기와 가압기, 원자로 냉각재펌프 등 원전 1차 계통의 주요기기가 하나의 압력용기 안에 일체형으로 설치된다. 그만큼 대폭적인 안전성 향상 효과를 누릴 수 있다.

조선해양플랜트 산업에서 한국은 세계 1위 국가이다. 그동안 일본이 세계 1위 자리를 오랫동안 유지해 왔으나 2000년경을 경계로 한국이 세계 1위 국가가 되었으며, 최근에는 중국이 1위 자리를 차지하려고 맹렬한 대시를 하고 있다. 선박의 생산기술부터 세계 수준에 올랐으며, 이제는 설계 기술도 1위 자리에 있으며, 특히 지난 수년간 많은 수주가 있었던 해양플랜트 분야는 일본도 한국에 비해서는 경쟁력에 수준 차이가 있으며, 중국도 당분간은 한국의 경쟁력을 따라오기 어렵다고 판단하고 있다. 그림 2는 국내 대형 중공업사의 해양플랜트 수주액과 영업이익 추세를 보여준다. 수주액이 대형하고 있으며 적자 요인도 있는 것을 볼 수 있다.

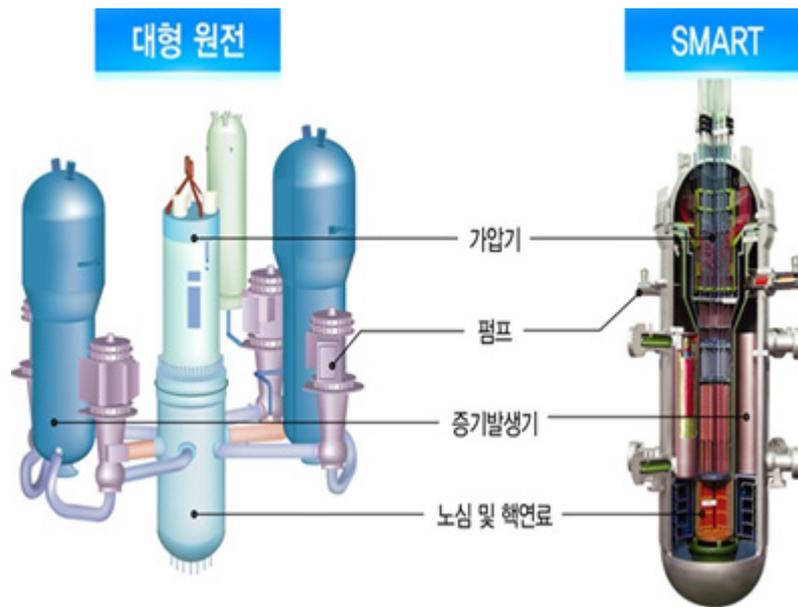


그림 5.6-1 대형 원전과 SMART의 비교



그림 5.6-2 한국 대형 중공업사의 해양플랜트 수주액과 영업이익의 추세

이렇게 국제적으로 경쟁력 있는 2개의 산업분야(소형모듈형원자로 분야, 해양플랜트 분야)의 융합을 통한 새로운 시장을 창출하는 것이 바람직하며, 새로운 일자리를 창출하는데 도움이 될 것이다. 특히 SMART와 같은 소형모듈형 원자로는 공장에서 다량생산을 하는 것이 경쟁력의 핵심의 하나이며, 이 생산량에 대응하는 수요를 찾기 위해서는 해외수출이 반드시 필요하므로, 수출산업으로 성장해온 조선해양산업과 원자력산업이 협력이 큰 시너지 효과를 가져 올 것으로 판단된다.

5.6.2 실증로 건설 비용의 문제

원자로는 개발단계에 따라 구분해 보면 4 단계로 구분이 가능하다. 원자로에 관한 이론의 실증을 위한 '실험로', 실용화 가능성을 확인하기 위한 '원형로', 원자로의 안전성과 경제성을 입증하기 위한 '실증로', 그리고 상업적으로 이용하기 위한 '상용로'로 구분해 볼 수 있다.

소형모듈형 원자로인 SMART는 세계적으로 앞선 기술이기는 하지만, 미국, 프랑스, 아르헨티나, 러시아 등과 경쟁하면서 해외수출시장을 개척하려면, 실증 선도 플랜트의 건설이 필요하다. 이에 첫 번째 선도 플랜트의 개발과 건설을 위해서는 국가의 투자와 지원이 필요하다.

특히 공장에서 다수량 생산을 하려면 공장 설비와 기기장비의 표준화가 어느 정도 진행되어야 하며, 이를 위해서는 상당액의 시설 투자도 필요하다. 한국의 조선해양 산업은 정주영 회장의 거북선이 그려진 화폐를 이용하여 조선소 건설 도중에 선박 건조 계약을 한 경험을 가지고 있듯이, 새로운 투자와 수출을 연계하는 경험을 살려나가는 방법도 가능성이 있다.

5.6.3 한국의 저개발국 지원 자금 현황

해방과 한국전쟁 이후에 선진국의 원조를 받아 빠르게 성장한 한국은 저개발국 원조자금을 제공하는 국가로 입장이 바뀌어 있고, OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development)에 1996년 12월에 회원국으로 가입한 이후로는, 2010년 1월 선진국 원조 클럽인 OECD 산하 개발원조위원회 (Development Assistance Committee: DAC)의 회원국으로 가입하였다.

2013년에 한국이 제공한 ODA (Official Development Assistance, 공적개발원조) 규모는 17.4억불(순지출 기준)이며, ODA/GNI 비율은 0.13%에 불과하다. 여기서 GNI는 국민 총소득, Gross National Income이다. OECD DAC 회원국의 평균

ODA/GNI 비율은 0.3%이며, 한국은 DAC 가입을 계기로 ODA/GNI 비율을 2015년에 0.25%까지 확대할 예정이다.

한국의 2013년 ODA 규모는 약 2조 411억원 (ODA/GNI 비율이 0.13%)이다. 이 액수는 여러 부처에 분산되어 있지만, 가장 큰 규모의 집행하는 기관은, 외교통상부의 KOICA 6,160억원 (한국국제협력단, Korea International Cooperation Agency, www.koica.go.kr)와 기획재정부의 EDCF 10,500억원 (대외경제협력기금, Economic Development Cooperation Fund)이다.

다음 표는 한국의 2005년 ~ 2012년 사이의 연도별 ODA 규모와 지원 분야를 보여준다. 해양원자력에 관련이 있는 지원 분야는 ‘경제 인프라 및 서비스’ 중분야의 ‘에너지’ 소분야로 판단된다. 그 액수는 2005년의 3백만불에서 2012년의 57백만불로 늘어나고 있는 것을 볼 수 있다.

(단위: 백만불)

구분	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
사회인프라 및 서비스	398.25	403.09	410.50	696.00	402.37	905.81	696.03	768.32
교육	50.17	135.15	160.17	112.46	139.02	324.4	199.17	127.53
보건	89.64	38.56	110.77	238.21	150.13	131.31	158.83	187.65
인구정책 및 생식보건	0.06	0.50	1.46	20.11	3.50	5.06	3.01	11.03
수자원 및 위생	101.56	80.76	74.52	269.70	70.71	283.15	172.13	187.39
공공행정 및 시민사회	72.55	141.61	57.15	43.53	25.86	153.73	143.64	228.42
기타 사회 인프라	84.25	6.51	6.44	12.00	13.15	8.15	19.25	26.29
경제인프라 및 서비스	138.12	170.95	402.86	544.52	876.64	610.36	597.45	488.26
교통 및 물류	82.92	99.54	235.89	268.33	641.19	370.53	315.40	324.78
통신	51.64	65.25	88.24	91.29	114.74	49.30	73.22	103.51
에너지	3.25	4.98	74.60	182.00	119.08	184.84	206.12	56.85
금융 및 재무서비스	0.16	0.43	3.12	1.97	1.10	2.60	1.41	1.63
비즈니스 및 기타서비스	0.15	0.75	1.01	0.93	0.54	3.10	1.32	1.48
생산(산업) 부문	50.25	33.50	128.99	77.44	57.18	100.43	159.01	291.15
농업·임업·어업	41.29	11.80	106.90	47.74	37.70	91.70	128.81	268.73
산업·공업·건설	8.22	17.36	12.43	19.53	17.08	6.55	21.96	15.74
통상정책 및 조정	0.53	4.14	5.79	9.65	2.04	1.90	7.81	5.47
관광	0.21	0.20	3.87	0.52	0.36	0.28	0.43	1.21
다부문	3.63	9.16	31.79	24.52	58.97	117.57	58.59	102.63
불가지원/일반프로그램조	-	0.22	0.34	1.55	0.08	-	1.90	1.98
부채 관련 지원	4.21	-	-	10.33	-	2.36	-	-
인도적 지원	36.87	24.62	35.51	55.78	14.39	20.72	21.21	16.64
원조국의 행정비용	19.38	25.31	31.54	31.51	27.76	38.39	53.60	59.40
기타 (미 배분 포함)	7.08	8.66	11.73	13.29	12.76	13.94	35.83	24.61
합계	657.79	675.50	1,053.26	1,454.95	1,450.15	1,809.58	1,623.62	1,752.99

표 5.6-1 한국의 2005년 ~ 2012년 사이의 연도별 ODA 규모와 지원 분야

그림 5.6-3은 정부의 무상원조 기관인 한국국제협력단(코이카·KOICA)의 홈페이지를 보여준다. 홈페이지에서도 산업에너지 분야의 원조 중에 미얀마의 전력계통 운영 및 보호 시스템, 파라과이의 배전분야 마스터플랜 등의 사업을 볼 수 있다. 그림 5.6-4는 기획재정부의 EDCF (대외경제협력기금) 국가별 그리고 분야별 재정 규모를 보여 준다. 그림에서 지역으로는 아시아가 65%를 차지하며, 에너지 분야의 규모는 10.7%에 이르는 것을 알 수 있다.

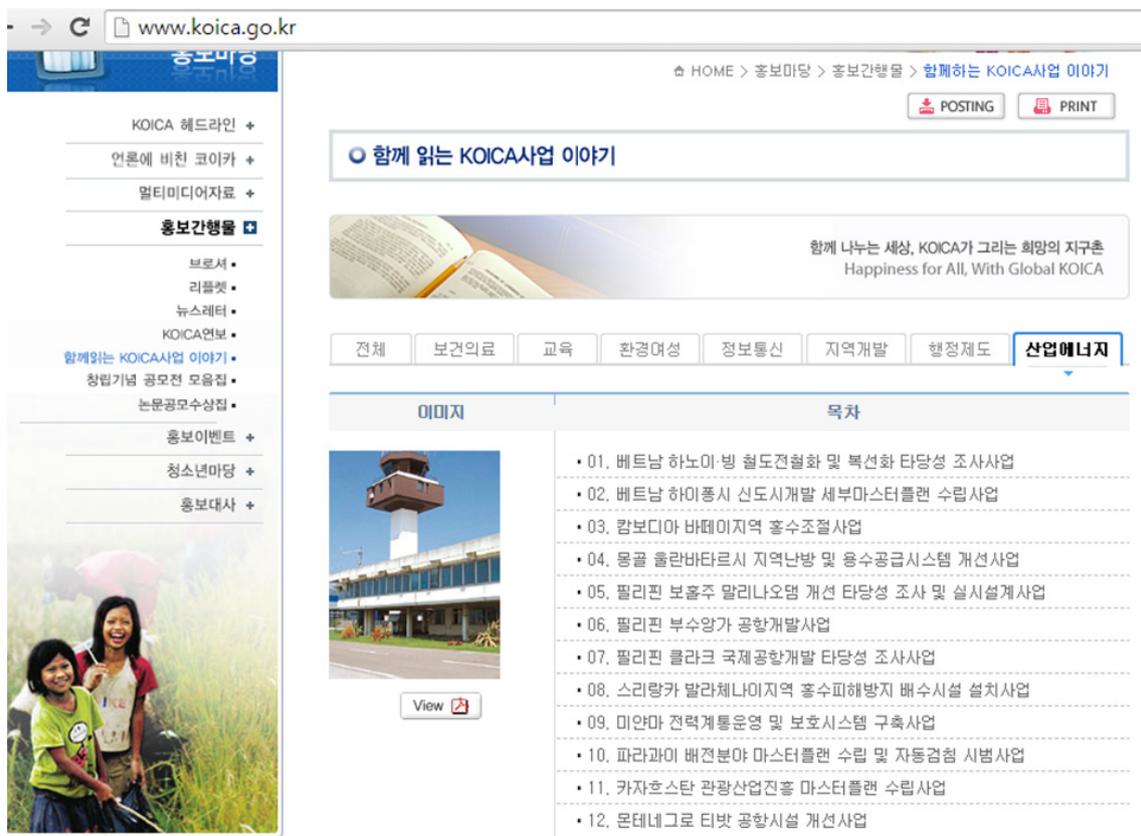


그림 5.6-3 한국국제협력단(코이카·KOICA)의 홈페이지

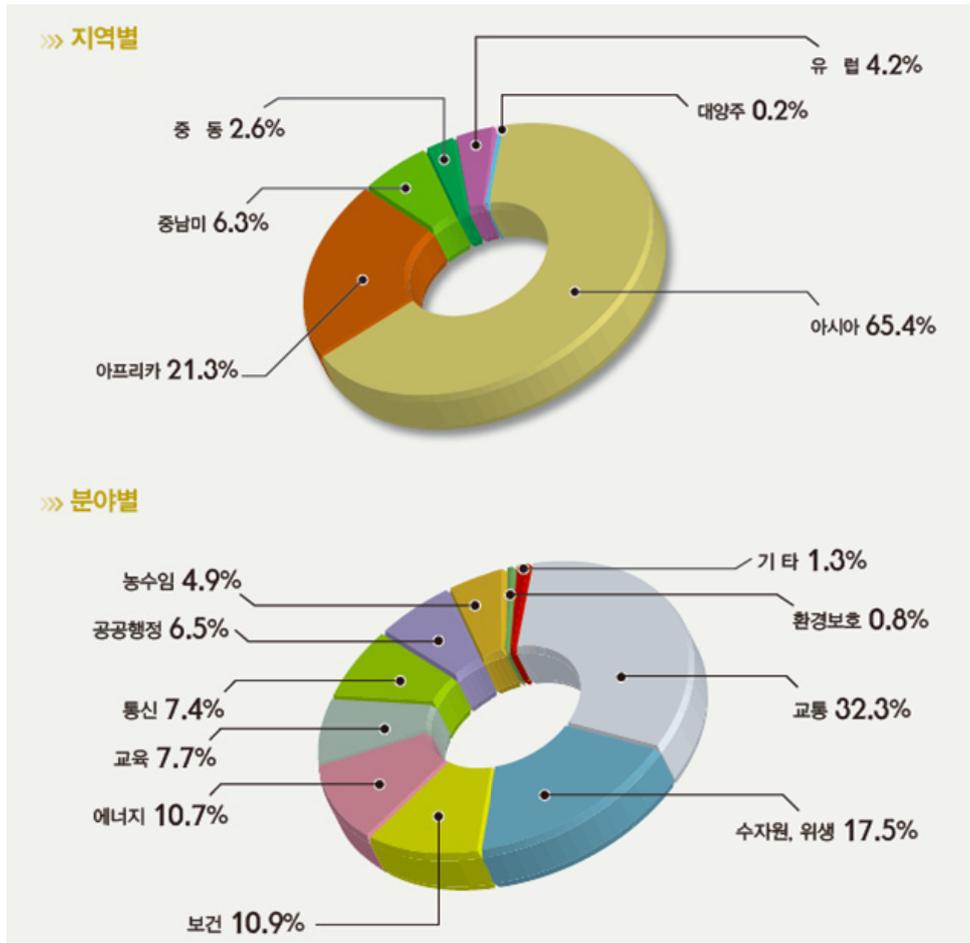


그림 5.6-4 기획재정부의 대외경제협력기금 지역별, 분야별 재정 규모

5.6.4 저개발국 지원 자금의 활용을 통한 실증로 건설 방안

북한을 포함하여 저개발국과 개발도상국의 전력수요는 폭발적으로 증가하고 있지만, 사회인프라와 자금력이 부족하여 전력사업을 추진하지 못하고 있다. 한편, 한국은 저출산 고령화 사회로 진입하여 국내수요의 정체로 저금리 저성장 시대에 돌입하고 있다. 따라서, 새로운 성장 동력을 찾는 방안으로 어느 정도 여유가 있는 외환 등 자금을 해외개발원조 자금으로 활용하는 것이 대안이 될 수 있다. 한국도 과거의 개발도상국 시절에는 IBRD(International Bank for Reconstruction and Development)나 ADB(Asian Development Bank)의 차관을 도입하여 주요 산업을 건설하는데 사용하였다.

한 가지 사전 검토로 북한 원산지역에 해양원자력 플랜트를 이용하여 유사시에 전력을 공급하는 방안을 고려한 사례가 있다. 북한이 연간 필요로 하는 전력량은 17.5 Billion KWh 로 보고되고 있으며, 원산지역의 인구가 3.11 백만명 (총인구의 12.6%)으로 알려져 이를 바탕으로 필요한 전력량은 SMART 3기의 용량에 해당된다. 이를 바탕으로 제안된 해양원자력 플랜트의 일반배치는 그림 5.6-5와 같이 제안되었다.

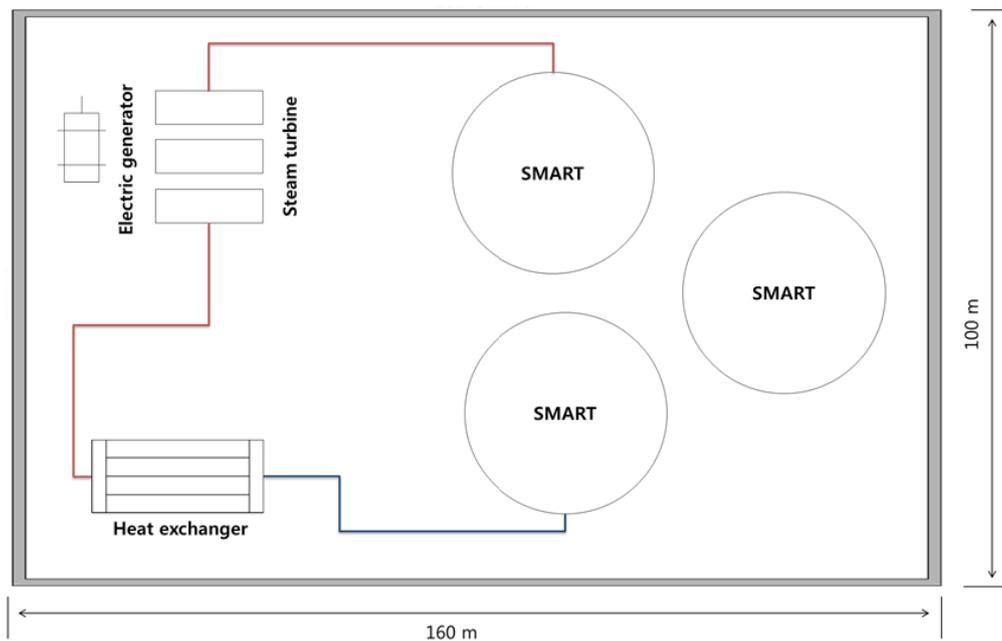


그림 5.6-5 북한 원산 해역에 제안된 해양원자력플랜트의 일반배치

저개발국 지원 자금의 활용을 통한 실증로 건설사업이 추진된다면 정부의 다부 처간 사업으로 추진되는 것이 가능할 것이다. 그것은 소형모듈형 원자로의 수출 산업화를 위해 미래창조부와 산업통상자원부가 관련된 업무로 판단되고, 해양플랜트 산업의 신 시장 개척이라는 관점에서는 산업통상자원부와 해양수산부의 관심과 지원이 필요하다. 한편, 공적개발원조라는 측면에서는 외교부의 KOICA와 기획재정부의 지원이 가능하다.

6. 결론

해양-원자력 공동위원회는 2012년에서 2013년도까지 한국원자력학회 산하 특별 위원회로 활동한 해양원전특별위원회 활동을 계승하여, 한국원자력학회와 대한조선 학회 공동으로 2014년에 조직한 위원회이다. 해양원전특별위원회에서 한국형 해양 원자력시스템 개발방향을 정립하기 위하여 해양원자력시스템의 유형과 국내외 개 발현황 그리고 기술적 개발 과제와 비기술적 고려사항 등을 다양하게 검토하였다. 최종적으로는 기술개발을 위한 중장기 로드맵을 제시하였다.

해양-원자력 공동위원회는 이러한 해양원전특별위원회 활동 결과를 토대로 세 가지 해양원자력시스템 개발 방향인 착저식, 부유식, 그리고 동력선 해양원자력시 스템에 대한 각각의 시범적 비즈니스 모델을 개발하였다. 세 가지 유형의 시범적 비즈니스 모델 개발을 통해서 해양원자력시스템의 미래시장에 대한 비전과 시장선 도자(first mover)로 도약하기 위한 전략을 보다 구체화하였다.

최종적으로 공동위원회에서는 시장이 현재 어느 정도 형성되어 있고 향후 급성 장할 것으로 예상되는 부유식 해양원자력시스템을 우선적으로 사업화할 필요가 있 다고 결정하였다. 이러한 결정에 가장 큰 영향을 미친 것은 부유식 해양원자력시스 템이 다른 유형보다 구매유도시장(market pull)형 개발 가능성이 높기 때문이다. 또 한 부유식 해양원자력시스템 사업화는 원자력 산업을 주도하는 육상형 원전 시장 이 기술유도시장(technology pull) 형태에 머물고 있던 것에 큰 변화를 줄 수 있어 원자력산업계에도 새로운 활력을 제공할 것이다. 조선해양산업계에서는 해양플랜트 건조기술 중 상층부(Top-side) 기술에 해당하는 동력변환계통의 핵심 설계기술 확 보와 해당 가치사슬(value chain)을 원자력산업계와 공유할 수 있게 되어 양 산업 모두에게 win-win 모델이 될 것으로 본다.

해양원자력시스템의 성공적 개발을 위해서는 인허가 관점에서 선제적 대응이 필 요하다. 또한 해양원자력시스템은 분명 매력적인 융복합 기술개발 및 시장 개척형 사업이지만, 소수의 산업체가 모든 위험(risk)을 감당하기 어렵다. 따라서 해양원자

력시스템 개발은 단순히 산·학·연 차원에서의 기술개발로 끝나는 것이 아니라 산·학·연·관 모두가 주어진 역무를 적극적으로 그리고 지속적으로 추진해야만 향후 국가의 신성장 동력으로서 해양원자력시스템이 자리매김할 수 있을 것이다. 본 공동위원회에서는 성공적인 해양원자력시스템 개발을 위해서 사업추진 방식에 대해서도 고민을 하였으며, 더 나아가서 해양원자력시스템 기술개발 사업을 저개발국 원조 측면에서 활용하여 수행할 수 있는 비전도 제시하였다.

본 해양-원자력 공동위원회의 활동결과물이 앞으로 세계 해양 및 에너지 시장에서 우리나라 원자력산업계 및 조선해양산업계가 시장선도자(first mover)로 도약할 디딤돌로 활용될 수 있기를 기대한다.

7. 참고문헌

- 1) 한국원자력학회 해양원전특별위원회, “한국형 해양원자력시스템 개발 방향 - Ocean Nuclear System Korean R&D Roadmap”, 2013. 8.
- 2) Floating Nuclear Power Plants and Associated Technologies in the Northern Areas, Norwegian Radiation Protection Authority, 2008
- 3) 원자력 시장 동향 조사, KOTRA 자카르타 무역관, 2008
- 4) <http://www.powerbargecorp.com/worldwide.html>
- 5) 세계 Floating Power Barges 현황,
<http://www.powermag.com/of-floating-power-barges-and-ships/>)
- 6) <http://www.epetimes.com/news/articleView.html?idxno=13009>)
- 7) <http://www.karadenizenergy.com/Pages.aspx?Language=English&Site=&Menu=Powership&PageID=168>)
- 8) <http://worldmaritimeneeds.com/archives/99634/hyundai-heavy-enters-mou-on-development-of-mobile-powership/>)
- 9) OECD/NEA Nuclear Development Division (June 2011), “Current Status, Technical Feasibility and Economics of Small Nuclear Reactors”. (175 pp.)
- 10) OECD/NEA Nuclear Development Division, “OECD/NEA Study on the Economics and Market of Small Modular Reactors”, IAEA INPRO Dialogue Forum on Global Nuclear Energy Sustainability, (29 July~2 August 2013)
- 11) Nuclear Engineering and Technology, Vol.45, No.6 (Nov. 2013), “OECD/NEA Study on the Economics and Market of Small Reactors”.
- 12) WNA, The WNA Nuclear Century Outlook (2008), “Averting the Danger of Catastrophic Climate Change : Is the Nuclear Renaissance Essential?”
- 13) WNA, Information Library, Economic Aspects, “The Economics of Nuclear Power, (updated June 2014)”. IAEA, Nuclear Energy Series (No. NP-T-2.2), “Design Features to Achieve Defence in Depth in Small and Medium Sized Reactors.” (2009, 274 pp.)
- 14) Waller Marine, Inc. “Floating Power Plants Brochure.”
- 15) DNV, “Nuclear Powered Ships - A Feasibility Study,” 2010.
- 16) STX, “원자력 추진선박의 경제성,” 한국원자력학회 춘계학술대회, 2013.
- 17) Koichi Kondo and Tomoji Takamasa, “The Economic Potential of a

Cassette-type-reactor-installed Nuclear Ice-breaking Container Ship," Journal of Nuclear Science and Technology, Vol. 36, No. 12, p. 1199, 1999.

18) 중국에서 바라본 북한의 잠재유망산업,

<http://www.nkland.org/NOS-Board/bbs.php?uid=165&key=&keyfield=&idx=money&rettype=view&page=7&articlenum=165>

19) 중소형 스마트 원자로 수출길 출사표, 파퓰러사이언스,

<http://popsci.hankooki.com/Article/ArticleView.php?UID=1008513>

20)造船빅3, 아킬레스건 '플랜트 설계 능력' 키운다,

http://biz.chosun.com/site/data/html_dir/2014/08/27/2014082704662.html

부록 (1)
기술 수요 조사서

사업명	부유식 가압경수형 블록형 SMR 표준설계 기술개발
연구개발의 필요성	도서 및 연안지역을 대상으로 안정적인 에너지 공급 및 육상부지 확보에 따른 어려움을 해소하기 위한 소규모 원자력 발전시스템의 개발이 필요함. 따라서 모듈화된 해상원전 시스템을 개발하여 관련 세계 원전시장을 선점하고, 국내 일자리 창출과 관련 산업의 활성화를 도모하고자 함. 특히 일체형소형경수로에 비해 재장전공정이 짧고 유지보수 및 운영성이 뛰어나 해양원자로에 강점이 있는 가압경수형 블록형 SMR의 기술개발이 필요함
연구목표	- 부유식 가압경수형 블록형 SMR 표준설계 개발 - 블록형 SMR 표준설계인가 취득
연차별 연구내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 1단계(2년) : 가압경수형 블록형 SMR 개념설계 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 개발 타당성 평가 : 개발환경 분석, 개발기준 수립, 설계기본요건 개발, 설계개발 전략 수립 등 - 블록형 SMR 개념 및 기본설계 개발 : 개념설계 및 기본설계 개발 <ul style="list-style-type: none"> . NSSS 설계 . BOP 및 플랜트 종합설계 . 노심설계 . 기기설계 및 제작성 평가 ○ 2단계(4년) : 가압경수형 블록형 SMR 표준설계 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 블록형 SMR 표준설계 개발 <ul style="list-style-type: none"> . NSSS 설계 . BOP 및 플랜트 종합설계 . 노심설계 . 기기설계 및 제작성 평가 - 표준설계 인허가 문서 작성 및 인허가 문서 Docketing ○ 3단계(2년) : 표준설계 최적화 및 표준설계 인가 취득 <ul style="list-style-type: none"> - 블록형 SMR 표준설계 최적화 <ul style="list-style-type: none"> . NSSS 설계 . BOP 및 플랜트 종합설계 . 노심설계 . 기기설계 및 제작성 평가 - 표준설계 인가 질의답변 및 표준설계 인가 취득
총연구기간 / 기간별 연구비	<p>총 연구기간 : 8년/2,320억원</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1단계 : 개념설계개발 2년/830억원 - 2단계 : 표준설계개발 4년/1,320억원 - 3단계 : 설계최적화 및 표준설계 인가 2년/170억원
시장 진입 기술로서의 근거	원자력 에너지를 해양에 적용할 수 있는 기술이 개발될 경우, 원자력 산업과 해양 산업에서 새로운 시장 창출이 기대되고, 해양플랜트 형태의 전기 생산 및 담수 생산, 해양선박의 주 또는 보조동력 등 다양한 목적으로 활용될 수 있음
국가가 투자해야 하는 사유	본 기술개발은 원자력과 해양 산업의 기술접목이 필수적이고, 개발기간이 장기간 소요되고, 대규모의 연구비가 투입되어 사업적 리스크가 크므로 민간기업 단독으로 투자하여 개발하기는 어려움이 있음. 따라서 최초의 기술 시연까지는 정부의 장기적이고 적극적인 지원이 필요함
응답자 인적사항	<ul style="list-style-type: none"> ○ 성명 : 신재활 ○ 소속 : KEPCO E&C, 신형로사업 ○ 연락처(전화번호/핸드폰/E-mail) : 042-868-4317 / 010-2462-5054 / jhshin@kepc0-enc.com

사업명	부유식 경수형 SMR 핵심요소기술 개발																																																											
연구개발의 필요성	<p>도서 및 연안지역을 대상으로 소규모 분산 전력망용으로 100 MWe 정도의 부유식 경수형 SMR 개발이 필요함. 부유식 원자로는 소형이면서 단순하고 조밀한 배치를 가능하게 하며, 특히 유지정비성이 뛰어나고 재장전기간도 짧은 러시아의 KLT-40S 와 유사한 블록형 원자로를 추천함. 따라서 현재 우리나라가 확보하고 있는 육상용 대용량 상업용 원자로 기술을 부유식 소형 원자로로 전용하기 위해서 핵심요소기술의 개발이 필수적임.</p>																																																											
연구목표	<p>부유식 경수형 SMR은 안전성 및 경제성이 확보되면서 원자로시설 관련 규정과 해양법 관련 규정을 동시에 만족하는 원자로를 개발함.</p>																																																											
연차별 연구내용	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2" style="background-color: #d9ead3;">세부 연구과제</th> <th colspan="5" style="background-color: #d9ead3;">추진일정</th> </tr> <tr> <th style="background-color: #d9ead3;">'15</th> <th style="background-color: #d9ead3;">'16</th> <th style="background-color: #d9ead3;">'17</th> <th style="background-color: #d9ead3;">'18</th> <th style="background-color: #d9ead3;">'19</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. 소형 증기발생기 개발</td> <td style="background-color: #4f81bd;"></td> </tr> <tr> <td>2. 소형 원자로 정화 시스템 개발</td> <td style="background-color: #4f81bd;"></td> </tr> <tr> <td>3. 주냉각재펌프(Canned Motor RCP) 설계 개발</td> <td style="background-color: #4f81bd;"></td> </tr> <tr> <td>4. 블록형원자로 안전계통 설계 최적화</td> <td style="background-color: #4f81bd;"></td> </tr> <tr> <td>5. 경사요동 하중 해석기술 개발</td> <td style="background-color: #4f81bd;"></td> </tr> <tr> <td>6. 블록형 노즐 연결구조 개발</td> <td style="background-color: #4f81bd;"></td> </tr> <tr> <td>7. 운전자동화 기술</td> <td style="background-color: #4f81bd;"></td> </tr> <tr> <td>8. 안전해석 코드 및 방법론 개발</td> <td style="background-color: #4f81bd;"></td> </tr> </tbody> </table>	세부 연구과제	추진일정					'15	'16	'17	'18	'19	1. 소형 증기발생기 개발						2. 소형 원자로 정화 시스템 개발						3. 주냉각재펌프(Canned Motor RCP) 설계 개발						4. 블록형원자로 안전계통 설계 최적화						5. 경사요동 하중 해석기술 개발						6. 블록형 노즐 연결구조 개발						7. 운전자동화 기술						8. 안전해석 코드 및 방법론 개발					
세부 연구과제	추진일정																																																											
	'15	'16	'17	'18	'19																																																							
1. 소형 증기발생기 개발																																																												
2. 소형 원자로 정화 시스템 개발																																																												
3. 주냉각재펌프(Canned Motor RCP) 설계 개발																																																												
4. 블록형원자로 안전계통 설계 최적화																																																												
5. 경사요동 하중 해석기술 개발																																																												
6. 블록형 노즐 연결구조 개발																																																												
7. 운전자동화 기술																																																												
8. 안전해석 코드 및 방법론 개발																																																												
총연구기간 / 기간별 연구비	<p>연구기간: 2015 ~ 2019 (5년간), 연구비: 500억원</p>																																																											
시장 진입 기술로서의 근거	<p>블록형 원자로는 러시아의 KLT-40S의 예에서 보듯이 검증된 기술로 볼 수 있음. 부유식 원자로는 담수화, 지역난방 등 다목적 발전을 포함하는 해양플랜트 산업 분야에서 신규시장 창출 가능성이 충분함.</p>																																																											
국가가 투자해야 하는 사유	<p>본 기술개발은 장기간이 소요되고 대규모 연구비가 투자되어야 하므로 민간기업이 투자하기에 어려움이 있음. 관련 산, 학, 연 기관들이 함께 참여하는 국가 정책과제로 개발하는 것이 효과적이며 우리나라의 양대 거대산업인 조선해양 및 원자력산업간의 융복합사업으로 국가 신성장동력으로 창조경제 구현에 적합함.</p>																																																											
응답자 인적사항	<ul style="list-style-type: none"> ○ 성명 : 신재활 ○ 소속 : KEPCO E&C, 신형로사업 ○ 연락처(전화번호/핸드폰/E-mail) : 042-868-4317 / 010-2462-5054 / jhshin@kepco-enc.com 																																																											

사업명	해양원전 공간축소 소형 증기발생기 개념 개발
연구개발의 필요성	부유식 해양원자력시스템의 경우 주기기 등의 설치 공간이 제한되므로 증기발생기의 고성능화를 통하여 소형화 및 경량화하여 설치 공간축소를 추구하여야 함. 신기술인 판형열교환기(PHE: Plate Heat Exchanger) 또는 인쇄기판형 열교환기(PCHE, Printed Circuit Heat Exchanger)를 활용한 새로운 증기발생기를 개발함으로써 공간제약성 극복할 필요가 있음.
연구목표	판형열교환기 또는 인쇄기판형 열교환기 개념을 활용한 부유식 해양원자력시스템 소형 증기발생기 개념 개발
연차별 연구내용	<ol style="list-style-type: none"> 1. 1차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 공간축소 열교환기 기술 사례 조사 - 공간축소 열교환기 기술 국내 업체 조사 - 원자력시스템 적용성 평가 - 제작성 및 보수유지성 평가 2. 2차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 적용 공간축소 기술 선정 - 국내 우수 업체 선정 - 개념 설계 조건 및 개념 설계 개발 - 동하중 예비 해석 개념 개발 - 열정산 해석 도구 개발 3. 3차년도 <ul style="list-style-type: none"> - 기본 설계 조건 및 기본 설계 개발 - 이차측 유량조절 설계개념 개발 - 동하중 예비 해석 수행 - 보수유지 및 과압보호 설계 개념 개발 4. 4차년도 (제작업체 업무 제외) <ul style="list-style-type: none"> - 시제품 기본 설계 조건 및 열정산 - 시제품 설계 - 시제품 시험 및 검증
총연구기간 / 기간별 연구비	4년: 15 MY x 2.5억 = 37.5억 1차년도: 2 MY, 2차년도: 4 MY, 3차년도: 6 MY, 4차년도: 3 MY
시장 진입 기술로서의 근거	비원자력 부문에서 열전달 효율의 고성능화를 통한 열교환기의 소형화 및 경량화 기술은 이미 상용화 되어 있음. 그러나 원자력시스템의 고온 및 고압 환경조건에 적합한 판형열교환기 및 인쇄기판형 열교환기 기술 개발은 거의 없는 상황임. 해양원전용 소형증기발생기 뿐만 아니라 발전용 소형모듈원자로에서 요구하는 소형증기발생기 개발이 절실한 상황으로서 기술개발 성공시 관련 시장을 선점할 수 있음.
국가가 투자해야 하는 사유	원자력시스템에서 열전달 효율의 고성능화를 통한 소형화 및 경량화를 위한 소형 증기발생기 기술 개발은 초기 비용이 많이 들고 투자 리스크가 커서 민간 업체 자체의 기술개발 시도가 어려움. 국가 지원을 통한 적극적인 기술개발 유도로 해양원자력시스템 수요 시장의 선점과 나아가서는 발전용 소형모듈형 원자로에서 공간축소 소형 증기발생기 도입을 추구할 수 있음.
응답자 인적사항	<ul style="list-style-type: none"> ○ 성명 : 정병렬 ○ 소속 : KEPCO E&C, 유체계통설계그룹 ○ 연락처(전화번호/핸드폰/E-mail) : 042-868-4214 / 010-4430-7142 / brjung@kepco-enc.com

사업명	해양원전의 NSSS 제어 기술 개발
연구개발의 필요성	해양원전은 중소형 노형으로 가압경수로형을 기반으로 하나 무봉산 노심의 채택 가능성, 증기발생기 형식의 변화가 예상됨. 또한, 선체운동에 의한 조건변화 및 부하추종운전의 필요성 증가는 전반적인 제어 계통에 대한 재정립을 요구함. 해양원전의 제어계통 구성을 포함하여 NSSS 제어 기술은 해양원전의 기본 계통 설계 항목이므로 해양원전 개발과 동시에 추진되어야 함.
연구목표	○ 해양원전 계통설계에 적합한 자동 제어계통 개발 ○ 전출력 자동제어 및 부하추종운전 제어 능력 개발
연차별 연구내용	○ 1차년도 <ul style="list-style-type: none"> • 해양원전 성능 요건 검토 • 반응도제어 계통 설계 방향 검토 • RCS 온도 프로그램 선정 • 증기발생기 형식에 따른 급수제어 방법론 검토 ○ 2차년도 <ul style="list-style-type: none"> • 가압기 압력/수위 제어 형식 선정 • 부하추종운전을 위한 제어 방식 및 핵연료/제어봉 연계 요건 도출 • 급수계통 개념 설계 ○ 3차년도 <ul style="list-style-type: none"> • 해양원전 제어계통 체계 구성 • 해양원전 성능평가 체계 수립 • 전출력 자동운전을 위한 계통 구성 및 방식 도출 ○ 4차년도 <ul style="list-style-type: none"> • 전출력 자동운전 제어 알고리즘 확립 • 선체 요동조건 평가 체계 수립 • Reactor Deadtime 감소 방안 및 대응 설계 ○ 5차년도 <ul style="list-style-type: none"> • 선체 요동 조건에서의 계통 운전 평가 • 해양원전 성능요건 만족여부 평가
총연구기간 / 기간별 연구비	총 연구기간 및 연구비 총액: 5년 30억 1차년도 : 5억 2차년도 : 5억 3차년도 : 6억 4차년도 : 7억 5차년도 : 7억
시장 진입 기술로서의 근거	해양원자력시스템은 해양플랜트 형태의 전기 생산, 담수 생산, 해양선박의 주 또는 보조동력 등 다양한 목적으로 활용될 수 있음. NSSS 제어기술은 이렇게 새롭고 다양한 활용 분야의 환경과 시장 요구에 부합하는 해양원자력시스템 개발에 필요한 공통 핵심 요소 기술임.
국가가 투자해야 하는 사유	해양원전은 기술개발이 초기단계로 장기간의 기술개발기간이 필요함. 해양원전의 NSSS 제어 기술은 해양원전 개발의 기본 항목으로 이익 창출의 불확실성과 오랜 기간으로 인해 기업이 투자하기 어려운 부분임.
응답자 인적사항	○ 성명 : 송인호 ○ 소속 : 한국전력기술(주) ○ 연락처(042-868-4192/010-7600-1203/ihsong@kepco-enc.com) :

사업명	해양원전의 자율운전(Autonomous Operation) 기술 개발
연구개발의 필요성	해양원전은 다양한 형태의 진동이 발생할 수 있는 해상에서 작동하는 고유의 운전환경조건을 고려하여 소수의 인원으로 인적간섭을 최소화한 운전이 이루어지도록 설계되어야 함. 이에 따라 육상의 원전보다 더 많은 자동 및 자율운전기능이 해양원전의 기본 계통 설계 항목이므로 개발되어야 함
연구목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 해양원전의 운전에 적합한 자율운전계통 개발 ○ 자율적인 원자로제어, 자율적인 잔열제거기능, 온라인 감시기술을 적용한 유지보수 기능, 자동 기능시험 및 주기적 교정능력 등을 개발하여 인적실수의 가능성을 최소화하고 사후 대응시간을 최대한 확보할 수 있는 기술 확보
연차별 연구내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 1차년도 <ul style="list-style-type: none"> • 해양원전 운전 및 성능 요건 검토 • 자율운전 대상계통 선정 • 자율제어기능요건 개발 ○ 2차년도 <ul style="list-style-type: none"> • 자율 원자로제어기능 계통설계요건 및 기본설계 • 잔열제거기능 자동화 계통설계요건 및 기본설계 • 온라인 감시기술 개념설계 및 계통설계요건 개발 • 자동 기능시험 및 교정기능 적용 범위 검토 및 설계요건 개발 ○ 3차년도 <ul style="list-style-type: none"> • 자율 원자로제어기능 상세설계 • 잔열제거기능 자동화 상세설계 • 온라인 감시기술 적용기술 개발 • 자동 기능시험 및 교정기능 적용기술개발 ○ 4차년도 <ul style="list-style-type: none"> • 원자로제어기능 및 잔열제거기능 자동화 알고리즘 확립 • 온라인 감시기술 계통구성 • 자동 기능시험 및 교정기능 계통설계 반영방안 확립 ○ 5차년도 <ul style="list-style-type: none"> • 자율운전계통 및 기능 성능평가 • 온라인 감시계통 및 기능 성능평가
총연구기간 / 기간별 연구비	<p>총 연구기간 및 연구비 총액: 5년 30억</p> <p>1차년도 : 4억</p> <p>2차년도 : 6억</p> <p>3차년도 : 7억</p> <p>4차년도 : 8억</p> <p>5차년도 : 5억</p>
시장 진입 기술로서의 근거	원전운전의 신뢰성 확보를 위해 운전의 자율화 또는 자동화가 요구되는 현실이며, 특히 해양원전의 환경조건에 따른 운전특성을 고려할 때 해양원전 시장에서의 정상적인 진입을 위해 반드시 필요한 기술로 판단됨
국가가 투자해야 하는 사유	해양원전은 기술개발이 초기단계로 장기간의 기술개발기간이 필요함. 해양원전의 자율운전기술은 해양원전 개발의 기본 항목으로 이익 창출의 불확실성과 오랜 기간으로 인해 기업이 투자하기 어려운 부분임.
응답자 인적사항	<ul style="list-style-type: none"> ○ 성명 : 김성호 ○ 소속 : 한국전력기술(주) ○ 연락처(042-868-4323/010-4064-9161/shkim9@kepc0-enc.com) :

사업명	부유식 해양원자력시스템 개발
연구개발의 필요성	<ol style="list-style-type: none"> 1. 대규모 원전에 비해 경쟁력이 뛰어난 중소형 원전의 이용 확대를 위한 기술개발이 시급 2. 육상에 건설되는 원전의 부지 확보의 난점을 장기적으로 해소하는 기술개발의 필요성 3. 경제성장의 원동력으로서의 에너지원으로 도서 및 연안지역에 에너지공급이 가능한 다목적 원전을 개발하여 수출상품화 4. 해양용 원전기술의 조기 개발을 통한 원자력에너지 이용분야 확대 - 해양으로의 무궁한 활용의 기반 조성 5. 국가 원자력 기술 및 인력의 보존을 위한 새로운 원동력 제공
연구목표	도서 및 연안지역 대상 소규모 분산 전력망용 100 MWe 부유식 원전 기술 개발
연차별 연구내용	<ol style="list-style-type: none"> 1. 사업성 확보 단계 (2년) <ul style="list-style-type: none"> - 국내외 시범사업 후보도출 - 대안비교 연구 - 사업기획/ 사업비 추정 - 안전성법규 연구 - RAMS 연구 2. 핵심기술개발단계 (5년) <ul style="list-style-type: none"> - FNPP용 표준 원자로 개발 - FNPP용 계통 최적설계/배치설계 - 원자로자율운전 기술개발 - 연계시스템 개발 - 부유구조물/지지계통 안정화 기술개발 - 계류시스템 개발 - 운송 및 설치기술 개발 3. 실증모델 시험 (3년) <ul style="list-style-type: none"> - 실증모델 구축 - 시험 및 평가 - 시범운전
총연구기간 / 기간별 연구비	<p>※ 총 연구기간: 7년</p> <p>※ 연구비 총액: 3500억원</p>
시장 진입 기술로서의 근거	<ol style="list-style-type: none"> 1. 경수로기술은 현재 수출산업화하여 UAE 등에 수출 2. 세계 에너지 전망은 향후 폭발적으로 전망 (약 200억\$ 시장 존재), 해양플랜트 시장은 연 6.4% 증가 3. SMART 개발로 한국은 SMR기술에서 선두그룹에 위치함 4. 조선, 해양구조물 기술과 융합하여 새로운 성장 동력원으로 발전
국가가 투자해야 하는 사유	<ol style="list-style-type: none"> 1. 원자력 기술은 국가에너지 전략의 근간으로 에너지 정책의 방향에 따라 결정되어야 함. 2. 우주개발과 비슷하게 대형 기술개발로 개발에 따르는 위험성을 민간이 감당하기 어려움 3. 전문기관의 성격과 산업계에 미치는 영향을 고려할 때 범부처적 협조가 필수적임.
응답자 인적사항	<ul style="list-style-type: none"> ○ 성명 : 최순 ○ 소속 : 한국원자력연구원 ○ 연락처(전화번호/핸드폰/E-mail) : 042)868-8793/010-8579-3633/schoi@kaeri.re.kr

사업명	미래 신시장 창출을 위한 소규모 부유식 원자로 개발
연구개발의 필요성	<ul style="list-style-type: none"> - 현재 국가의 주력산업인 조선해양산업과 원자력산업이 융합하여 미래의 국가 신성장 동력 창출 필요 - 고유안전성을 갖춘 소규모 부유식 원전을 개발하여 소외지역에 분산전원공급 필요
연구목표	소규모 부유식 원자로 개발 및 실증을 통한 신시장 창출
연차별 연구내용	<p>[1단계] 사업성 확보(2년)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 소규모 부유식 원자로 개념설계 - 부유구조물 개념설계 - 시장성 분석 및 경제성 확보방안 <p>[2단계] 핵심기술개발(5년)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 소규모 부유식 원자로 기본설계 및 상세설계 - 소규모 부유식 원자로 기술검증 - 부유구조물 상세설계 <p>[3단계] 실증모델시험(3년)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 실증모델 구축 및 시험 - 표준설계인증 취득
총연구기간 / 기간별 연구비	<p>총 연구기간 및 연구비 : 10년 / 5000억원</p> <p>1단계 : 2년 / 1000억원, 2단계 : 5년 / 3000억원, 3단계 : 3년 / 1000억원</p>
시장 진입 기술로서의 근거	<ul style="list-style-type: none"> - 기존 BMPP 시장(약200억\$)이 형성되어 있으며 증가 추세임(연간 6.4%) - Clean 에너지 수요가 크게 증가 예상
국가가 투자해야 하는 사유	<ul style="list-style-type: none"> - 신흥 블루오션 분야이지만 Lead Time이 긴 원전기술의 특성상 민간주도가 어려워 정부지원을 통한 기술개발이 필요
응답자 인적사항	<ul style="list-style-type: none"> ○ 성명 : 이광호 ○ 소속 : KHNP ○ 연락처(전화번호/핸드폰/E-mail) : 042-870-5726

사업명	부유식 해양 원자력시스템(실증로) 개발
연구개발의 필요성	<ul style="list-style-type: none"> - 세계적 저탄소형 에너지원 확보를 위한 소형모듈형원전(SMR) 수요증가 - 기존 대형 육상원전을 대체할 신시장 창출 - 한국의 우수한 원전 및 해양플랜트 기술을 접목한 신제품 개발 - 사업 위험도 최소화를 위한 새로운 원전모델(SMR) 개발 필요
연구목표	<ul style="list-style-type: none"> - 대형 해양구조물의 설계, 안전성평가 및 시공기술개발 - 소규모 분산 전력망용 100MWe급 부유식 소형원전 개발
연차별 연구내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 타당성(경제성 및 기술성) 평가 : 2015. 06 ~ 2017. 05 <ul style="list-style-type: none"> - 소형모듈형 원자로(SMR) 경제성 및 기술성 제고방안 연구 - SMR의 안전성 규제제도, 규정 및 기준 정립 - 해상 부유구조물의 설계 및 시공 및 인허가 정립 ○ 기본설계 및 핵심기술 개발 : 2017. 07 ~ 2020. 06 <ul style="list-style-type: none"> - 부유식 SMR 표준설계 개발 - 부유식 SMR 계통 최적설계/시공기술 개발 - 원자로 및 부유구조물 연계시스템 개발 - 부유구조물/지지계통 안정화기술 개발 - 계류시스템/운송/설치 기술 개발 ○ 실증 모델 개발 : 2020. 07 ~ 2025. 06 <ul style="list-style-type: none"> - 실증 SMR 상세설계 및 인허가 - 실증 SMR 기기제작 및 건설 - 실증원자로 시운전 - 해상 부유구조물의 상세설계 및 시공
총연구기간 / 기간별 연구비	<ul style="list-style-type: none"> ○ 타당성(경제성 및 기술성) 평가 : 2015. 06 ~ 2017. 05 <ul style="list-style-type: none"> - 소요예산 : 1,000억원 ○ 기본설계 및 핵심기술 개발 : 2017. 07 ~ 2020. 06 <ul style="list-style-type: none"> - 소요예산 : 2,000억원 ○ 실증로 개발 : 2020. 07 ~ 2025. 06 <ul style="list-style-type: none"> - 소요예산 : 6,000억원
시장 진입 기술로서의 근거	<ul style="list-style-type: none"> - 주요 선진국에서 SMR 개발에 대한 연구를 활발히 진행 - 저탄소배출 에너지원 수요 및 기존화력의 대체용 SMR 수요 지속 - 세계 최고 조선기술 (세계 10대조선사 중 한국이 7개사 점유) - 국내 원전 및 해양플랜트 기술을 접목한 신 시장개척
국가가 투자해야 하는 사유	<ul style="list-style-type: none"> - 대형부유구조물 및 신개념의 SMR개발에 장기간 소요 - 기술기준, 인허가제도·기준 등 범국가적 협력연구 영역이 큼 - 프로젝트를 원활히 수행하기위한 공공인프라 지원이 필수적임 - 글로벌시장 창출에 대한 정부/민간부문 공동노력필요
응답자 인적사항	<ul style="list-style-type: none"> ○ 성명 : 노 명 섭 ○ 소속 : 한국전력국제원자력대학원대학교(KINGS), 교수 ○ 연락처 : 010-3630-3460, ms.roh@kings.ac.kr

사업명	부유식 해양 원자력시스템(SMR) 표준설계 개발
연구개발의 필요성	<ul style="list-style-type: none"> - 저탄소배출 에너지원 수요 및 기존화력의 대체용 SMR 수요 지속 - 주요 선진국에서 SMR 개발에 대한 연구를 활발히 진행 - 세계 최고 조선기술 접목한 해상원전개발로 기존 육상원전 대체시장 창출 - 사업 위험도 최소화를 위한 새로운 원전모델(SMR) 개발 필요
연구목표	<ul style="list-style-type: none"> - 대형 해양구조물의 설계, 안전성평가 및 시공기술개발 - 소규모 분산 전력망용 100MWe급 부유식 SMR표준설계 개발
연차별 연구내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 타당성(경제성 및 기술성) 평가 : 2015. 06 ~ 2017. 05 <ul style="list-style-type: none"> - 소형모듈형 원자로(SMR) 경제성 및 기술성 제고방안 연구 - SMR의 안전성 규제제도, 규정 및 기준 정립 - 해상 부유구조물의 설계 및 시공 및 인허가 정립 ○ 핵심기술 및 표준설계 개발 : 2017. 07 ~ 2020. 06 <ul style="list-style-type: none"> - 부유식 SMR 표준설계 개발 - 부유식 SMR 계통 최적설계/시공기술 개발 - 원자로 및 부유구조물 연계시스템 개발 - 부유구조물/지지계통 안정화기술 개발 - 계류시스템/운송/설치 기술 개발 ○ 표준설계 인증 : 2020. 07 ~ 2022. 06 <ul style="list-style-type: none"> - 실증 SMR 표준설계 인증 획득
총연구기간 / 기간별 연구비	<ul style="list-style-type: none"> ○ 타당성(경제성 및 기술성) 평가 : 2015. 06 ~ 2017. 05 <ul style="list-style-type: none"> - 소요예산 : 1,000억원 ○ 핵심기술 및 표준설계 개발 : 2017. 07 ~ 2020. 06 <ul style="list-style-type: none"> - 소요예산 : 2,000억원 ○ 표준설계 인증 : 2020. 07 ~ 2022. 06 <ul style="list-style-type: none"> - 소요예산 : 500억원
시장 진입 기술로서의 근거	<ul style="list-style-type: none"> - 주요 선진국에서 SMR 개발에 대한 연구를 활발히 진행 - 저탄소배출 에너지원 수요 및 기존화력의 대체용 SMR 수요 지속 - 세계 최고 조선기술 (세계 10대조선사 중 한국이 7개사 점유) - 국내 원전 및 해양플랜트 기술을 접목한 신상품 개척
국가가 투자해야 하는 사유	<ul style="list-style-type: none"> - 대형부유구조물 및 신개념의 SMR개발에 장기간 소요 - 기술기준, 인허가제도·기준 등 범국가적 협력연구 영역이 큼 - 개발기술 활용성에 대한 리스크(정책, 재무, 환경 등) 완화 공동대처 필요 - 글로벌시장 창출에 대한 정부/민간부문 공동노력필요
응답자 인적사항	<ul style="list-style-type: none"> ○ 성명 : 이 용 관 ○ 소속 : 한국전력국제원자력대학원대학교(KINGS), 교수 ○ 연락처 : 010-3534-5736, leeyk@kings.ac.kr

사업명	부유식 원자력 플랜트 (FNPP)의 표준 FEED 프레임워크 개발
연구개발의 필요성	<ul style="list-style-type: none"> - 개념설계, 기본설계를 포함하는 FEED (Front End Engineering Design)는 플랜트의 개념, 성능, 수익성을 결정하는 핵심 단계 - 우리나라 원전은 그 동안 선진기업의 FEED 기술을 자력화하는 Fast Follower 전략을 성공적으로 추진해 왔으나, 세계적으로 시작 선상에 있는 FNPP 시장에 진입하기 위해서는 First Mover 전략이 요구됨 - 원전-해양 특성을 동시에 가지며 표준화 된 개발 개념이 부재한 FNPP 시장에 국내 기업이 빠르게 진입하기 위해서는 관련 기업들 간 설계 시행착오를 줄이고, 설계 효율성을 극대화 할 수 있는 표준화 된 FEED 프레임워크 개발 필요
연구목표	기존 원전/조선 산업체들이 신규 FNPP 시장에 빠르게 진입하기 위해, FNPP 고유 특성을 고려한 표준화 된 FEED 프레임워크 (프로세스 및 지원 시스템) 개발
연차별 연구내용	<p>1차년도: FNPP 표준 FEED 프레임워크 요구사항 및 아키텍처 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - FNPP 관련 핵심 이해관계자 (산/관/학/연) 도출 및 운영 요구사항 수집 - 운영 요구사항 기반 운영 시나리오 및 운영 아키텍처 개발 - 운영 요구사항 기반 검증 요구사항 및 검증 시나리오 개발 <p>2차년도: FNPP 표준 FEED 프로세스 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 기존 원전/조선 분야 FEED 프로세스 및 데이터 수집/분석 - FNPP 고유 특성 도출 및 분석 - FNPP 특성 고려 표준 FEED 프레임워크 개발 <p>3차년도: FNPP 표준 FEED 프레임워크 지원 시스템 구축 및 검증</p> <ul style="list-style-type: none"> - FNPP 표준 FEED 프레임워크 기반 지원 테스트 베드 시스템 구축 - 검증 요구사항/시나리오 기반 FNPP 표준 FEED 프레임워크 검증
총연구기간 / 기간별 연구비	총 5년 / 25억
시장 진입 기술로서의 근거	- '16년 9월 세계 최초의 FNPP 개발 완료 예정 (http://www.world-nuclear-news.org/NN-floating-plant-to-be-delivered-in-2016-23101401.html)
국가가 투자해야 하는 사유	-
응답자 인적사항	<ul style="list-style-type: none"> ○ 성명 : 염충섭 ○ 소속 : 고등기술연구원 ○ 연락처(전화번호/핸드폰/E-mail) :

사업명	부유식 원자력 플랜트 (FNPP)의 생애주기 통합 정보 관리 프레임워크 구축
연구개발의 필요성	<ul style="list-style-type: none"> - 최근 원전, 조선과 같은 거대 시설, 장치에 있어서 설계, 시공, 유지관리 등 플랜트 생애주기에 걸쳐 발생하는 정보들의 체계적인 통합 관리의 중요성 대두 - 원전과 조선이 융합된 FNPP의 한층 더 복잡한 생애주기 내 이해관계 및 활동은 사업 초기단계에서부터 체계적인 생애주기 통합 정보 관리 요구 - FNPP 생애주기 통합 정보 관리 프레임워크 구축을 통해, FNPP 설계, 시공, 유지관리 등 생애주기 활동 간 투명한 정보 교환을 통한 효율성 증대 필요
연구목표	FNPP 생애주기 상에 분산-중복 된 수많은 정보를 추출/통합함으로써, 생애주기 상의 핵심 이해관계자들이 효과적으로 활용할 수 있는 관리 프레임워크 개발
연차별 연구내용	<p>1차년도: FNPP 통합 정보 관리 프레임워크 요구사항 및 아키텍처 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - FNPP 관련 핵심 이해관계자 (산/관/학/연) 도출 및 운영 요구사항 수집 - 운영 요구사항 기반 운영 시나리오 및 운영 아키텍처 개발 - 운영 요구사항 기반 검증 요구사항 및 검증 시나리오 개발 <p>2차년도: FNPP 생애주기 통합 정보 관리 프레임워크 구축 방법론 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 기존 원전/조선 분야 생애주기 통합 정보 관리 방법론 분석 - FNPP 고유 특성 도출 및 분석 - FNPP 특성 고려 생애주기 통합 정보 관리 프레임워크 구축 방법론 개발 <p>3차년도: FNPP 생애주기 통합 정보 모델 구축</p> <ul style="list-style-type: none"> - 원전/조선 분야 기존 생애주기 통합 정보 모델/표준 분석 - FNPP 생애주기 정보 요소 도출 - FNPP 생애주기 통합 정보 모델 구축 <p>4차년도: FNPP 생애주기 통합 정보 시스템 구축, 검증 및 평가</p> <ul style="list-style-type: none"> - FNPP 생애주기 통합 정보 테스트 베드 시스템 구축 - FNPP 생애주기 통합 정보 모델 및 시스템 통합 - 검증 요구사항/시나리오 기반 FNPP 생애주기 통합 정보 시스템 검증
총연구기간 / 기간별 연구비	총 5년 / 60억
시장 진입 기술로서의 근거	- '16년 9월 세계 최초의 FNPP 개발 완료 예정 (http://www.world-nuclear-news.org/NN-floating-plant-to-be-delivered-in-2016-23101401.html)
국가가 투자해야 하는 사유	<ul style="list-style-type: none"> - 아직 보편화 된 표준 (DeFacto)가 없는 FNPP 생애주기 통합 정보 관리 분야에 실증 된 프레임워크를 통해 우선적인 산업 표준화 제시 가능 - 기존 원전/조선 분야에서 추진해 온 Fast Follower 전략에서 벗어나, First Mover 전략 추진이 필요한 FNPP의 핵심 선도 기술로 활용 가능
응답자 인적사항	<ul style="list-style-type: none"> ○ 성명 : 염충섭 ○ 소속 : 고등기술연구원 ○ 연락처(전화번호/핸드폰/E-mail) :

사업명	해양원자력시스템 인허가 체계 개발
연구개발의 필요성	해양원자력시스템 데모 및 상용화에 필요한 인허가 제도 개선 관련법(원자력안전법, 환경영향평가법 등) 및 하위법령 정비 인허가 거버넌스(관산학연, 지역 및 시민단체 포함) 구축하여 운영
연구목표	해양원자력시스템 데모 및 상용화를 위한 인허가 제도 및 법령 정비 완료
연차별 연구내용	<p>본 연구는 기본설계가 마무리되는 시점에서 착수함.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 해양원자력시스템에 대한 인허가 연구: 3년 <ul style="list-style-type: none"> - 해양원자력시스템에 대한 기술특성 파악 - 관련법의 정합성 점검 - 기술기준 및 품질요건 정합성 점검 ○ 해양원자력시스템 인허가 법령 정비: 2년 <ul style="list-style-type: none"> - 관련법 및 하위법령 정비(제정 및 보완) - 설계기준 및 요건 작성 ○ 인허가 거버넌스 운영: 3년 <ul style="list-style-type: none"> - 해양원자력시스템 인허가 연구와 함께 착수함 - 해양원자력시스템에 대한 사회적 필요성, 안전성, 경제성, 핵주기 문제, 건설 위치 등 포괄적 환경영향평가에 대한 협의체를 구축하여 운영하면서, 사회적 수용성 제고 ○ 실제 인허가(건설 및 운영허가)는 별도의 기획과 예산으로 수행
총연구기간 / 기간별 연구비	<ul style="list-style-type: none"> ○ 인허가 연구 3년: 30억 + 인허가 거버넌스 운영 3년: 10억 ○ 법령 정비 2년 (인허가 부처에서 기관고유사업으로 수행) ○ 총 연구기간 5년에 40억 ○ 실제 인허가는 별도의 예산으로 수행
시장 진입 기술로서의 근거	<ul style="list-style-type: none"> - 원자력시설로서 국가가 주도하는 인허가 체계의 개발은 필수 요소이자 선행 요건임 - 관련법제도의 정비와 함께 인허가 거버넌스를 구축하여 함께 운영하여야만 연구단계에서 사업단계로 넘어가는 시점에 있어 사회적수용성을 용이하게 획득할 수 있음
국가가 투자해야 하는 사유	<ul style="list-style-type: none"> - 기술기준, 인허가제도·기준 등 범국가적 협력연구 영역이 큼 - 기술적인 내용은 연구부서에서 하겠지만, 결국 정부의 인허가 담당부서와 전문기관이 주도적으로 인허가 체계에 대한 관심을 보이고 노력을 해야 함
응답자 인적사항	<ul style="list-style-type: none"> ○ 성명 : 허균영 ○ 소속 : 경희대학교 원자력공학과 ○ 연락처(전화번호/핸드폰/E-mail): 031-201-3593/010-3333-8360/gheo@khu.ac.kr

사업명	해양원자력시스템 확률론적안전성평가 체계 수립
연구개발의 필요성	해양원자력시스템의 개념설계가 종료될 즈음, 확률론적안전성평가가 필수적으로 수행되어야 함 해양원자력시스템에 대한 초기사건 결정과 신뢰도 자료 수집은 육상시스템과 차이를 보일 가능성이 높음 추후 수행될 해양원자력시스템의 확률론적안전성평가를 위하여 방법론을 수립하고 필요한 신뢰도 자료를 축적하는 과정이 필요함
연구목표	해양원자력시스템에 대한 확률론적안전성평가에 필요한 방법론 확립 및 신뢰도 자료 수집
연차별 연구내용	<p>본 연구는 개념설계가 마무리되는 시점에서 착수함. 신뢰도 자료 축적은 연구가 진행되는 전 기간동안 수행하되, 연구 기간 후에도 지속적인 업데이트가 필요함. 사고 시나리오 개발과 모델 개발은 순차적으로 실시함.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 해양원전에 특화된 신뢰도 자료 축적: 5년 <ul style="list-style-type: none"> - 육상원전 신뢰도 자료 분석 및 해양원전에 특화된 자료 축적 - 기존 데이터베이스를 활용하는 방법과 국외 자료를 공유하는 방법, 자체적으로 데이터를 생산하는 방법 등 다양한 방법 모색이 필요 ○ 해양원전 사고 시나리오 개발 연구: 2년 <ul style="list-style-type: none"> - 해양원전의 안전수준 결정 - Phenomena Identification and Ranking Table, 초기사건 시나리오 분석 및 확정 ○ 해양원전 확률론적안전성평가 모델 개발: 3년 <ul style="list-style-type: none"> - 확률론적안전성평가 모델 개발 및 Peer Review를 통한 검증 - 설계취약점 도출 및 개선사항 반영
총연구기간 / 기간별 연구비	<ul style="list-style-type: none"> ○ 신뢰도 자료 축적 5년: 10억 ○ 사건 시나리오 개발 연구 2년: 10억 ○ 확률론적안전성평가 모델 개발 3년: 20억 ○ 총 연구기간 5년에 40억
시장 진입 기술로서의 근거	<ul style="list-style-type: none"> - 타 에너지원 또는 육상원자력대비 안전성에 대한 정량화 과정이 필요 - 원자력안전법에 확률론적안전성평가는 필수 사항으로 명시됨
국가가 투자해야 하는 사유	<ul style="list-style-type: none"> - 기술기준, 인허가제도·기준 등 범국가적 협력연구 영역이 큼 - 프로젝트를 원활히 수행하기 위하여 국가차원의 연구 인프라가 요구됨
응답자 인적사항	<ul style="list-style-type: none"> ○ 성명 : 허균영 ○ 소속 : 경희대학교 원자력공학과 ○ 연락처(전화번호/핸드폰/E-mail): 031-201-3593/010-3333-8360/gheo@khu.ac.kr

사업명	해양원자력시스템 외부사건영향평가
연구개발의 필요성	육상원자력시스템과는 다른 형태의 외부사건 시나리오가 가능하며, 이에 대한 빈도와 사고결과에 대한 정량화 과정이 요구됨 사고이력 또는 기상/지질/환경영향 모델링을 통해 사고빈도 결정 사고시 방사성물질 확산에 의한 종사자, 일반인, 환경에 미치는 영향 정량화
연구목표	해양원자력시스템 외부사건 시나리오, 빈도, 결과에 대한 정량화
연차별 연구내용	<p>본 연구는 개념설계가 마무리되는 시점에서 착수하되, 해양원자력시스템 확률론적안전성평가 체계가 수립되어 있음을 전제로 함.</p> <p>두 연구내용을 동시에 수행하면서, 서로 연계할 수 있도록 사업을 구성함.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 해양원전 외부사건 시나리오 개발 연구: 3년 <ul style="list-style-type: none"> - 해양사고이력 및 특성분석 - 국내 기상/지질/해상/환경영향 모델링 - 외부사건 시나리오 및 빈도 결정 - Design Extended Condition 검토 ○ 외부사건 환경영향평가 방법개발 및 : 3년 <ul style="list-style-type: none"> - 정상운전시 환경영향평가/방사선환경영향평가 수행 - 외부사건 발생시 해양 특성을 고려한 방사선환경영향평가 수행
총연구기간 / 기간별 연구비	<ul style="list-style-type: none"> ○ 시나리오 개발 연구 3년: 20억 + 환경영향평가 연구 3년: 20억 ○ 총 연구기간 3년에 40억
시장 진입 기술로서의 근거	<ul style="list-style-type: none"> - 타 에너지원 또는 육상원자력대비 안전성에 대한 정량화 과정이 필요 - 원자력안전법에 확률론적안전성평가는 필수 사항으로 명시됨
국가가 투자해야 하는 사유	<ul style="list-style-type: none"> - 기술기준, 인허가제도·기준 등 범국가적 협력연구 영역이 큼 - 프로젝트를 원활히 수행하기 위하여 국가차원의 연구 인프라가 요구됨
응답자 인적사항	<ul style="list-style-type: none"> ○ 성명 : 허균영 ○ 소속 : 경희대학교 원자력공학과 ○ 연락처(전화번호/핸드폰/E-mail): 031-201-3593/010-3333-8360/gheo@khu.ac.kr

사업명	※ 해양 원자력 발전 플랜트
연구개발의 필요성	※ 해양원자력플랜트는 육상원자력플랜트보다 건조비가 약20% 저렴 (토지구매 비용, 품질보증 비용, 기기운송비 등을 절감) 한국의 원전 설계기술은 SMR (small-medium reactor) 분야에서 세계 선두 주자 (일체형 가압경수로 SMART의 표준설계를 인가) 조선해양플랜트 산업에서 한국은 세계 1위 경쟁력 있는 2개 산업분야의 융합을 통한 새로운 시장을 창출
연구목표	※ 공적개발원조 자금을 이용하여 실증용 SMART의 건조실적을 확보 플랜트 건조 및 운영을 통한 국내 산업의 일자리 창출
연차별 연구내용	※ 1차년도: 기존 SMART 설계(육상용)를 재사용하기 위한 사전 사례조사 및 준비 2차년도: 부유식 해양 원자력 플랜트를 위한 SMART 원자로의 설계 변경 (해양 환경에 맞도록 설계 수정) 3차년도: 사용 환경을 선정하고, 그에 맞춘 부유 플랫폼을 포함한 시스템의 생산 설계 및 플랫폼 제작 시작 4차년도: 원자로 및 플랫폼의 제작 5차년도: 해양 원자력 플랜트 완성 및 현지로 운송 및 설치 시운전
총연구기간 / 기간별 연구비	※ 개발기간: 5년 소요예산: 연 2천억원 * 5년 = 총 1조원
시장 진입 기술로서의 근거	※ 북한을 포함하여 저개발국과 개발도상국의 전력수요는 폭발적으로 증가하고 있지만, 사회인프라와 자금력이 부족하여 전력사업을 추진하지 못하고 있다. 한국도 이미 국내수요의 정체로 저금리 저성장 시대에 돌입하고 있어, 여유 있는 외환 등 자금력을 해외개발원조 자금으로 활용하는 것이 필요하다.
국가가 투자해야 하는 사유	※ 중소형 원자로인 SMART는 세계적으로도 앞선 기술인데, 해외수출시장을 개척하려면, 실증 선도 플랜트의 건설이 필요하다. 첫 번째 선도 플랜트의 개발과 건설을 위해서는 국가의 투자와 지원이 필요하다.
응답자 인적사항	○ 성명 : 한순흥 ○ 소속 : 해양시스템공학과 ○ 연락처(전화번호/핸드폰/E-mail) : 010-2255-3040 / shhan@kaist.ac.kr

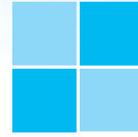
사업명	SMART를 탑재 부유식 해상원전(FNPP) 실증모델 기본설계
연구개발의 필요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 선진국의 노후화된 석탄 화력발전소를 대체하고, 개발도상국의 전력수요에 대응하기 위해 신규 소형원전 발주가 급증할 것으로 예상 ○ 원전 선진국이 주도하는 기존 육상원전 시장의 Value Chain을 무너뜨리고, 우리나라가 신규 소형원전 시장을 선점할 수 있는 기반 마련 ○ 세계적인 경쟁력을 갖춘 조선업계와 원전업계의 융합을 통한 창조경제 실현
연구목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ SMART 탑재를 위한 부유구조물, 계류시스템, 피동안전기술 개발 ○ SMART 모듈화 및 재배치(GA) 기술 개발 ○ SMART를 탑재한 부유식 해상원전 실증모델 기본설계
연차별 연구내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 1년차 : SMART 기반 해상 원전 선행연구 및 수요조사 <ul style="list-style-type: none"> · 선행 기술 및 특허조사 · 시장분석을 통한 수요파악 · 수요 국가별 원전 및 해양 안전관련 법규 검토 · SMART의 안전, 계통, 배치 특성 조사 및 분석 ○ 2년차 : SMART 모듈화 및 해상원전 개념설계/기술개발 <ul style="list-style-type: none"> · 해상원전 제작/진수/이동/운용/유지보수 과정의 핵심개념 연구 · 해상원전 탑재를 위한 SMART의 모듈화/재배치(GA)기술 연구 ○ 3년차 : 해상원전 관련 안전기술 연구 <ul style="list-style-type: none"> · 해양환경을 활용하는 원자로 피동안전 계통 개념 개발 · 비상운전/중대사고/외부사고에 대한 안전성 평가 · 기타 해상원전에 필요한 안전 시스템, 방호 설비 개념 연구 ○ 4년차 : 수치해석(구조, 진동, 유체-구조 상호작용) 실시 <ul style="list-style-type: none"> · 지진, 쓰나미, 선박충돌 등이 구조물에 미치는 영향에 대한 수치해석 실시 · 좌초, 전복, 파공 등 극한 상황에서의 안전성능에 대한 수치해석적 평가 · SMART를 탑재한 부유식 해상원전 실증모델 기본설계 ○ 5년차 : 해상원전의 건조, 운반, 설치, 유지보수 기술 및 기본설계 <ul style="list-style-type: none"> · 모듈화 및 재배치(GA) 기술을 활용한 건설비용 절감, 공기단축 방안 제시 · 수유지(SITE)의 변화에 능동적으로 대처할 수 있는 설치 및 계류 기술 연구 · SMART를 탑재한 부유식 해상원전 실증모델 기본설계
총연구기간 / 기간별 연구비	<ul style="list-style-type: none"> ○ 총 5 년 ○ 1~2년차 : 30 억/년 ○ 3~5년차 : 50 억/년
시장 진입 기술로서의 근거	<ul style="list-style-type: none"> ○ 우리나라 조선해양산업은 세계적으로 그 기술력을 인정받고 있으며, 특히 해양플랜트를 제작부터 설치까지 할 수 있는 큰 도크를 가진 조선소는 전 세계에서 현대, 삼성, 대우밖에 없음 ○ 2009년 12월 UAE로부터 한국형 원전인 APR1400 4기(5600MWe, 400억 달러)를 수주하여 국제무대에서 우리나라의 원전건설 기술자립을 인정받음
국가가 투자해야 하는 사유	<ul style="list-style-type: none"> ○ 2030년까지 전 세계적으로 430기, 금액으로는 1조 달러(1200조 원)에 달하는 원전 시장 개척에 유리한 고지를 확보하기 위함 ○ 우리나라는 현재 세계 6위의 원전 강국으로 발돋움하였지만, 원전활용에 대한 기반기술이 부족하여 해외수출 경쟁력이 부족함 ○ 원전분야와 조선해양분야의 융합을 통해 새로운 시장을 개척하고 일자리를 창출하는 등 창조경제를 실현하기 위함
응답자 인적사항	<ul style="list-style-type: none"> ○ 성명 : 이필승 ○ 소속 : 한국과학기술원 해양시스템공학전공 ○ 연락처(전화번호/핸드폰/E-mail) : 042-350-1512/010-9105-3694/phillseung@kaist.edu

사업명	부유식 해양원자력시스템(FNPP) 기본설계 Package 개발 및 인허가 취득 사업
연구개발의 필요성	- 국제 환경규제 강화 및 화석 에너지 고갈로 친환경 원자력 에너지에 대한 수요 증대 - 도서 및 연안 지역을 대상으로 한 소규모 전력공급원에 대한 필요성 대두
연구목표	- FNPP 제작 및 운용을 위한 기술 요구 사항 분석 - FNPP 개념설계 및 실증모델 구축
연차별 연구내용	<p>1. Requirement of Customer 도출 및 법규 제정 지원 (2년)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 해양 적용을 위한 기술 요구 사항 분석 - BOP 기술 사양서 작성 - 각 분야별 설계/해석 절차서 작성 - 관련 법규 제정 지원 <p>2. 핵심 기술 개발 (2년)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 해상에서의 원자력플랜트(원자로 및 BOP) 하중 및 영향 분석 - 해양 구조물 시스템 연구 - 구획 Compact 배치, Mooring 및 해역안정화 기술, 위치유지 시스템 기술, 구조물 운송/설치 기술, Risk기반 안정성 평가 - 방사선 차폐 기술 연구 - 연료봉 교체 절차, 폐연료봉 임시 저장, 운송 방안 연구 - Maintenance 방안 연구 <p>3. FNPP 기본설계 및 검증, 인허가 획득 (3년)</p> <ul style="list-style-type: none"> - 해상용 BOP 및 해양 구조물 설계 - 원자력플랜트 육상 모사 모델에 대한 6자유도 실험 -> 열수력 해석 및 영향도 계산을 통한 설계 및 검증 지원 - 해상 구조물에 대한 설계 및 모형 시험 - 유체, 구조, 진동 등 각 분야 해석 - Risk 기반 안전성 평가 및 설계 반영 - 인허가 진행 및 취득 <p>* 실증모델 개발 (3년) : 별도 기획 및 투자 필요</p>
총연구기간 / 기간별 연구비	- 총 연구기간: 7년 (실증모델 개발 기간은 본 과제 종료 후, 3년) - 연구비:1,800억원 (BM Structure 시스템:1,000억원, 원자로 개발 지원:800억원) * 원자로 개발 분야 포함할 경우, 전체 연구비 3,500억원
시장 진입 기술로서의 근거	- 세계 최고의 조선소 기술력과 원전 개발 능력을 바탕으로 원전 선진국들을 뛰어 넘을 수 있는 Business 모델 확보 가능 . 해양플랜트 설계/건조, APR1400/SMART등 신형원전 개발/건설 경험 보유 . 모듈화 공법 등을 통한 사업 기간 단축, 품질 관리 가능 --> 경제성 확보 가능
국가가 투자해야 하는 사유	- 초기 투자 비용이 막대하고, 사업 추진의 위험성이 있으므로 국가적 차원에서 정책적으로 적극적인 지원과 협조가 수반되어야 함 - 연구 개발 완료 후에도 국가간 이해 관계나 정치적 변수 등에 따라 사업 추진에 어려움이 예상됨
응답자 인적사항	○ 성명 : 최영복 ○ 소속 : 대우조선해양(주) 특수성능연구소 ○ 연락처 : 02-2129-3701 / 010-2009-0740 / ybchoi@dsme.co.kr

사업명	부유식 해양 원자력발전플랜트 기본설계 기술개발			
연구개발의 필요성	전력부족 현상을 겪고 있는 개도국 또는 극지 해양개발을 위한 동력원의 수요가 증대되는 추세에 맞추어, CO2 배출억제 등 환경규제 강화에 대한 친환경 전력원으로 적합한 소형원자로를 탑재한 부유식 해양원자력발전플랜트의 개발이 필요함			
연구목표	1. 부유식 해양 원자력발전플랜트의 계통장비 사양 및 배치도 개발 2. 플랜트-구조물 연계설계 및 하부 구조물의 기본설계 기술 개발/모형제작			
연차별 연구내용		기술명	상세분류	년차
	경제성분석		경제적인 발전용량 선정	1차년도
			국내외법규/선급규칙	1차년도
	해양원자로 설계		해상용 원자로 선정	2차년도
			주요 계통장비 사양 결정	2차년도
	해양 원전 플랜트 기본설계		계통장비 배치도 작성	2~5차년도
			해양플랜트 요구기술 및 최적형상설계	2~3차년도
			구획배치 및 주요 제원 결정	2~3차년도
			플랜트-구조물 연계 설계기술/모형제작	2~5차년도
	플랜트 안정화		계통설비 기초 구조/진동 평가 기술	2~3차년도
			위치유지 시스템 설계 기술	3차년도
			해역 안정화 기술	3차년도
	설치기술		원전플랜트 내향성능 평가 기술	3차년도
			원자로 탑재 기술	4~5차년도
원전플랜트 안전		해상운송/ 설치기술	4~5차년도	
		설계기준사고 대비 시스템	3~5차년도	
		설계기준 초과 사고 대비 시스템	3~5차년도	
		중대사고 대비 시스템	3~5차년도	
총연구기간 / 기간별 연구비	총 연구기간 : 5년 연구비 총액 : 1,000억원			
시장 진입 기술로서의 근거	1. 플랜트 교체와 극지, 낙후/도서지역 및 개도국에 해양원전플랜트의 수요증가 예상 2. CO2 배출 억제 강화, 에너지 안보 측면에서 부유식 원전플랜트가 대안으로 부각됨 3. 육상용 대비 해양원전플랜트는 공장 제작 등으로 건설단가의 획기적 절감 가능 4. 해양원자력시스템은 국제적으로는 군사 및 민간용으로 이미 현실화된 기술임 5. 국내원전산업의 위상과 조선해양산업의 시장점유율을 고려할 때 시너지효과 기대			
국가가 투자해야 하는 사유	1. 신정부의 창조경제추진 일환으로 원자력과 조선해양산업의 융복합을 통한 신성장 동력 창출에 매우 적합한 비즈니스 모델임. 2. 원자력 산업의 특성상 민감한 국제관계와 사회적 수용성 문제를 고려할 때 민간기업주도의 과제진행보다는 국가주도의 국책과제 수행이 바람직함. 3. 원자력산업 특성상 막대한 개발비는 민간기업의 연구개발 의지를 약화시킴.			
응답자 인적사항	○ 성명 : 서용석, 박찬후 ○ 소속 : 삼성중공업 중앙연구소 기반기술연구센터 ○ 연락처(전화번호/핸드폰/E-mail) : 055-630-4747, yongsuk.suh@samsung.com 055-630-5359, chanhu.park@samsung.com			

부록 (2)
춘 계 학 술 대 회

공동 워크숍 V



◆ 주 제 : 원자력에너지의 해양분야 활용 방안

* 개 요

- 일 시 : 2014년 5월 23일(금) 13:00~15:00
장 소 : 부산 BEXCO 105호
주 최 : 한국해양과학기술협의회, 해양원자력 공동위원회
주 관 : 대한조선학회, 한국해양공학회, 한국원자력학회

* 강 연

사회 : 박성환(한국기계연구원)

- 국내외 해양원자력 시스템 개발현황 및 전망
이필승(한국과학기술원)
- 원자력 추진선박의 경제성 분석 및 개념설계 연구
신병철, 김동언, 정태석(STX조선해양주), 전종하(STX중공업주),
최 순, 김지호(한국원자력연구원)
- 한국형 해양 원자력 시스템 개발 방향
이광원(한국전력기술주)
- 해양 적용을 위한 소형 경수로 개발 현안 및 전망
최 순, 김지호, 김교윤(한국원자력연구원)
- 종합토의
(한국과학기술원 한순흥 교수, 한국전력기술주) 이광원 상무)

부록 (3)
추 계 학 술 대 회

초청장

<해양원자력 시스템의 비즈니스 모델>

대한조선학회와 한국원자력학회는 현재 국가의 양대 주력산업으로 성장한 조선해양산업과 원자력산업이 힘을 합쳐 미래의 국가 신성장 동력을 창출하기 위하여, 2014년 1월부터 해양-원자력 공동위원회를 구성하여 대형 융복합 국책과제 및 핵심기술개발방안을 기획하고자 열심히 활동 중에 있습니다.

원자력분야와 조선해양분야 기술융합 및 사업화 모색은 국내에서도 오랜 역사를 가지고 있으며, 최근 2012년부터 2013년에는 한국원자력 학회에서 해양원전 특별위원회를 구성하여 “해양원자력시스템 개발방향” 워크숍(2013년 5월) 및 기획보고서(2013년 8월)를 발간한 바도 있습니다. 또한 “원자력에너지의 해양분야 활용방안” 워크숍(2014년 5월)을 공동위원회에서 주최도 하였습니다.

조선해양산업과 원자력산업간의 시장주도적인 융복합산업을 함께 모색하기 위해, 조선해양산업 관계자에게 그간의 활동을 통해서 도출된 비즈니스 모델들을 널리 알림과 동시에 관련 분야 전문가의 고견을 수렴하고자 해양-원자력 공동위원회에서는 아래와 같이 2014년도 한국원자력학회 추계 공동학술대회에 공동워크숍을 개최하고자 하오니 관계전문가 여러분께서는 부디 참석하시어 고견을 나누어 주시길 바랍니다.

- 일시 : 2014. 10. 29(수), 14:00-18:00
- 장소 : 강원도 평창, 휘닉스파크 휘닉스빌 유스호스텔 2층 금남화
- 주최 : 해양-원자력 공동위원회

감사합니다.

2014. 10.

대한조선학회/한국원자력학회 산하 해양-원자력 공동위원회

한순흥 교수
공동위원장
KAIST

이광원 상무
공동위원장
한국전력기술(주)

프로그램:

일정	내용	연사
14:00-14:30	등록	
14:30-14:40	축사	박군철 (KINGS)
14:40-15:00	저개발국 지원방안으로서 해양원자력시스템	한순흥 (KAIST)
15:00-15:20	소형모듈원전과 해양원자력시스템	이광원 (KEPCO E&C)
15:20-15:40	휴식	
15:40-16:00	착저식 해양원자력시스템 비즈니스 모델	이필승 (KAIST)
16:00-16:20	부유식 해양원자력시스템 비즈니스 모델	박성환 (KIMM)
16:20-16:40	원자력 동력선 비즈니스 모델	김지호 (KAERI)
16:40-17:00	휴식	
17:00-18:00	패널토론	
18:00 -	저녁식사	

기타사항

등록비 :

5만원 (저녁 식사 제공)

문의처 :

이정익 (KAIST)

Office: 042-350-3829

CP: 010-9287-4130

E-mail: jeongiklee@kaist.ac.kr

