

연구개발계획서

[국토교통기술촉진연구사업]

과제(공고) 번호	829			
보안등급	일반[√], 보안[]			
과제 성격	기초[√], 응용[], 개발[]			
주관과제명	LNG 플랜트 기화열 활용을 위한 실험실 규모 냉동해수담수화공정의 응결장치 구동 가능성 평가			
과제명	국문	LNG 플랜트 기화열 활용을 위한 실험실 규모 냉동해수담수화공정의 응결장치 구동 가능성 평가		
	영문	Study on lab-scale freeze desalination unit process for utilizing the cold energy waste from an LNG plant		
주관연구기관	기관명	성균관대학교 산학협력단	사업자등록번호	101-82-12009
주관연구책임자	성명	장 압	직급(직위)	교수
	전화번호	031-290-7526	전자우편	amjang68@gmail.com
	휴대전화번호	010-6523-9731	팩스번호	031-290-7549
	과학기술인 등록번호	1009-9079		
총 연구기간	2016.06.22. ~ 2018.06.21. (24개월)			
해당 연도 연구기간	2016.06.22. ~ 2017.06.21. (12개월)			

연구개발비 현황(단위: 천원)

연도	정부출연금 (A)	기업부담금			정부 외 출연금 (B)	합계 F=(A+B+E)
		현금 (C)	현물 (D)	소계 E=(C+D)		
1차 연도	180,000					180,000
2차 연도	220,000					220,000
합계	400,000					400,000

참여기관 (공동연구기관, 위탁연구기관, 참여기업)	기관명	책임자 성명	직급(직위)	전화번호	팩스번호	전자우편	과학기술인 등록번호
참여기업	참여기관 중 중소기업 ()개, 중견기업 ()개, 대기업 ()개						
실무담당자	성명	임승주		직급(직위)	연구원		
	전화번호	031-290-7535		전자우편	sungjuim@naver.com		
	휴대전화번호	010-3895-0446		팩스번호	031-290-7549		

관련 법령 및 규정과 모든 지시 사항을 준수하면서 이 국가연구개발사업을 성실히 수행하고자 아래와 같이 연구 개발계획서를 제출합니다. 아울러 동 연구개발계획서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 선정 취소, 협약 해약 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2016 년 6 월 15 일

주관연구책임자: 장 압

주관연구기관의 장: 유 지 범



국토교통과학기술진흥원장 귀하

〈연구분야 및 분류〉

코드 구분		중심 분야		관련 분야1		관련 분야2		관련 분야3		관련 분야4	
		코드	비중	코드	비중	코드	비중	코드	비중	코드	비중
필수	국가과학기술표준분류	EH0204	70%	E10902	30%		%		%		%
선택	부처별 코드 기재		%		%		%		%		%
	⋮										

〈국문요약문〉

연구개발 목표	본 연구는 대체 수자원 확보를 위해 LNG 플랜트에서 폐에너지로 발생하는 기화열을 냉동해수담수화의 응결 열원으로 이용하여, 실험실 규모의 냉동해수담수화 공정 장치의 구동 가능성 평가를 연구목적으로 삼는다. 이를 위해, 냉동해수담수화 메커니즘과 선행연구조사를 바탕으로, 실험실규모의 응결장치를 제작하여, LNG 냉동해수담수화 응결장치의 최적 운전조건 도출 및 기술향상 방안을 제시하고자 한다.				
연구개발 내용	• 1차연도 a. 기존 냉동해수담수화 공정 선행연구 및 LNG 플랜트 기화열 활용 관련 문헌조사 ◦ 국내/외 기존 연구현황, 기술동향 등에 대한 조사 및 분석 ◦ 냉동해수담수화의 열역학적 메커니즘 파악 ◦ 기존 냉동해수담수화 공정 특성 조사 b. 실험실 규모의 응결장치 설계 및 제작 ◦ 내구성, 열전도율 등 극저온에 적합한 장치 재질 조사 ◦ 타 연구에서 설계된 냉동해수담수화 장치 조사 ◦ 냉동해수담수화 공정에 적합한 실험실 규모의 응결장치 설계 및 구축 • 2차연도 a. 해수의 염농도와 동일한 0.5M의 소금물을 이용한 냉동해수담수화 응결조의 최적 운전조건인자 파악 ◦ 0.5M 소금물에서의 냉동해수담수화 운전효율 평가 (응결조 최적온도, 교반 속도, 최적해수 유입량, 세정수 사용량 등) ◦ 냉동해수담수화 공정을 통한 소금물과 처리수의 수질 비교 b. 실제 해수와 유사한 조건의 인공해수를 이용한 냉동해수담수화 응결조의 최적 운전조건 파악 ◦ 실제 해수의 특징 파악 (부유물질, 조류 등) ◦ 실제 해수와 유사한 조건의 인공 해수에서의 냉동해수담수화 운전효율 평가 (응결조 최적온도, 교반속도, 최적해수유입량, 세정수 사용량 등) ◦ 냉동해수담수화 공정을 통한 인공 해수와 처리수의 수질 비교 c. 냉동해수담수화 공정 운전 시, 요구되는 전력량 산정 ◦ 냉동해수담수화 응결장치 운전 시 발생하는 담수에 따른 요구전력 비용 산정 ◦ 추후 스케일 업 연구 진행 가능성 여부 판단				
연구개발성과	• LNG 냉동해수담수화 공정을 위한 실험실 규모의 응결장치를 설계 및 제작하여 해수의 결빙, 처리수 염의 제거가 가능한 장치 최적화 • 인공해수에서의 냉동해수담수화 공정의 최적 운전조건 도출을 통하여, 기존 냉동해수담수화 공정의 효율을 극대화할 방안을 제시하여 추후 연구에 효율적인 설계 및 운영을 위한 데이터 확보 • 본 연구를 통하여 LNG를 이용한 냉동해수담수화 공정과 관련한 특허 출원 2건, 논문 2건, 장치제작품 1건을 달성하고자 함				
활용계획 및 기대효과	• 기존 역삼투 분리막을 적용하기에는 한계가 있었던 미개척 시장을 선도함으로써 해수담수화 시장의 새로운 ‘driving force’ 역할을 기대 • LNG 플랜트, 냉동해수담수화 플랜트, 화력발전소 세 곳의 플랜트 연계를 통한 에너지 효율 극대화 • 새롭게 시도되는 최신 기술인 LNG 냉동해수담수화 공정의 최적인자 도출 및 제어에 대한 신규특허, 신기술 인증 등을 위한 기초자료로써 활용 가능 • 해수담수화분야의 차세대 기술 확보를 통한 수자원 분야의 국가경쟁력 강화 및 국가 위상 제고				
핵심어(5개 이내)	대체수자원	해수담수화	에너지	냉동법	액화천연가스

〈Summary〉

Purpose	This study aims to evaluate lab-scale freeze desalination unit process utilizing the cold energy waste from an LNG plant in order to develop alternative water resources. To accomplish this study, a lab-scale crystallizer will be constructed based on the freeze desalination mechanism and analysis of existing research. Through this study, we will explore the operating factors for running the LNG freeze desalination process and suggest a possible direction for developing this technology.
Contents	• 1st year A. Literature investigation of the existing freeze desalination process and the application of evaporation heat from an LNG plant ◦ Investigate and analyze existing domestic and international research on the state of technology ◦ Understand the thermodynamic mechanism of freeze desalination ◦ Investigate the characteristics of existing freeze desalination process B. Design and construction of lab-scale experimental equipments ◦ Evaluate the quality of possible construction materials based on durability, heat conductivity, etc. ◦ Evaluate existing equipment used in other freeze desalination studies ◦ Design and construct a lab-scale crystallizer for the freeze desalination process • 2nd year A. Determine optimum operating factors for freeze desalination process using synthetic seawater (NaCl) ◦ Assess working efficiency of freeze desalination of synthetic seawater (optimum crystallizer temperature, stirring speed, optimal feed flow rate, optimum amount of washing water, etc.) ◦ Compare freeze desalinated water with synthetic seawater B. Find optimal operating factors by simulating synthetic seawater in similar conditions to real seawater ◦ Understand characteristics of real seawater ◦ Assess working efficiency of freeze desalination of synthetic seawater under conditions similar to real seawater (optimum crystallizer temperature, stirring speed, optimal feed flow rate, optimum amount of washing water, etc.) ◦ Compare the water quality of synthetic seawater to the water quality of freeze desalinated water ◦ Assess treated water quality by comparing the conditions of 1st-year-treated water to the conditions of 2nd-year-treated water. C. Calculate demand energy during operating crystallizer ◦ Calculate demand energy per product during operating crystallizer ◦ Decide scale-up experiment possibility of freeze desalination
Development Results	• Design and construct a lab-scale crystallizer for the freeze desalination process utilizing LNG cold energy wastes, and optimize equipments for seawater crystallizing, removal of salts and continuous operation • Suggest the methods to maximize efficiency of freeze desalination process by finding optimizing factors depends on various seawater properties, and build data base for efficient design and manage

	• Publish 2 research papers, pend 2 patents applications, and produce 1 experimental equipment through the research about freeze desalination using LNG cold energy wastes				
Expected Contribution	• Expect to be an 'driving force' in a desalination market due to lead limited parts of reverse osmosis membrane desalination markets • Maximize the energy efficiency through collaboration of a LNG plant, a freeze desalination plant and a thermoelectric power plant • Determine optimizing factors for the LNG freeze desalination process and apply the base data to certificate a brand-new technology • Enhance the nation's position and national competitiveness in water resource field resulted from securing desalination technology for the next generation				
Keywords	Alternative water resource	Desalination	Energy	Freezing method	LNG

목 차

1. 연구개발의 필요성	7
1-1. 연구개발의 개요	7
1-2. 연구개발 대상의 국내외 현황	14
1-3. 연구개발의 중요성	17
1-4. 선행 연구 내용 및 결과(해당 시 작성)	19
2. 연구개발의 목표 및 내용	22
2-1. 연구개발의 최종 목표	22
2-2. 연차별 연구개발 목표 및 내용	22
2-3. 연구개발의 창의성·혁신성 등(해당 시 작성)	24
2-4. 연구개발성과 및 평가 방법	26
3. 연구개발의 추진전략·방법 및 추진체계	30
3-1. 연구개발 추진전략·방법	30
3-2. 연구개발 추진체계	31
3-3. 추진일정	32
4. 연구개발성과의 활용방안 및 기대효과	32
4-1. 연구개발성과의 활용방안	32
4-2. 기대효과	33
5. 연구기관 현황	34
5-1. 주관연구책임자	34
5-2. 협동·공동·위탁 연구책임자	40
5-3. 참여연구원 현황	41
5-4. 연구시설·장비 보유 현황	42
5-5. 기관(기업) 정보 현황	43
6. 연구개발비	45
7. 보안등급의 분류 및 결정 사유	48
8. 연구실 안전조치 이행계획	48

1. 연구개발의 필요성

1-1. 연구개발의 개요

○ 수자원의 부족

- 현 지구상 존재하는 수량은 약 13억 8,500만 km^3 으로 추정되며, 이 중 해수는 97%를 차지하는 수자원으로 사용에 제한이 있으며, 나머지 3%인 담수는 대부분이 빙산, 빙하, 지표수, 지하수, 대기 등에 분포되고 있음 (Fig.1)
- 현재 인류가 사용가능한 담수의 양은 6,500 km^3 으로 담수의 0.002%에 불과한 실정으로 이러한 문제를 해결하고자 해수담수화 기술에 대한 수요가 증가하고 있는 추세임



Fig.1 지구의 물 부족량(K-water, 2016)

1) 국제적 물 부족 문제

- 인구증가 및 산업화 등으로 인한 물 수급 부족과 지구온난화와 같은 기후변화로 인한 불안정한 수량, 수질로 인해 전 세계적으로 물에 대한 문제가 대두되고 있는 실정임 (Fig.2)
- UNDP의 'Human Development Report, 2006'에 따르면 세계 60억 인구 중 10억 명이 깨끗한 식수를 공급받지 못하는 상황이며, 2025년에는 6~9억 명, 2050년에는 10~24억 명으로 늘어날 것으로 전망됨

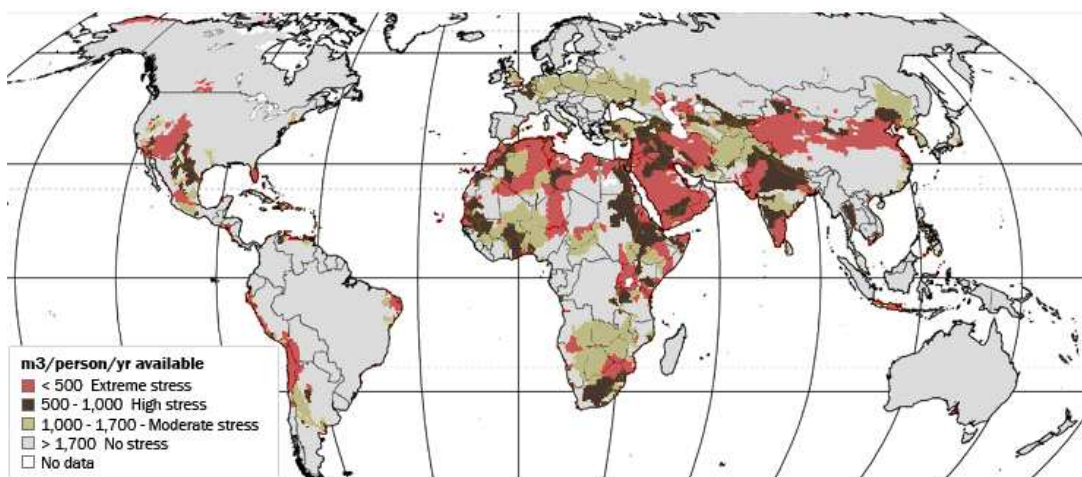


Fig.2 2025년 사용가능한 수자원 현황(Global water market, 2011)

Table.1 미래 물 전망에 대한 예측

국제인구행동연구소(PAI :Population Action International,2003)	오늘날 5억 5천만명이 물 압박국가나 물 기근국가에 살고 있고 2025년까지 24억명에서 34억명의 사람들이 물 압박 또는 물 부족 국가에 살게 될 것임
UN 요하네스버그 정상회담(2002)	2050년 세계인구는 90억명에 이를 전망. 11억명이 안전한 마실 물 부족에 직면 할 것이며, 개발도상국 질병 원인의 10%는 안전한 식수 부족 또는 물 부족에 기인함
UN세계수자원개발 보고서(2003. 3)	지구의 1인당 담수공급량은 앞으로 20년 안에 1/3으로 줄어들고 2050년까지 적게는 48개국 20억 명, 많게는 60개국 70억 명이 물 부족 현상을 겪을 것임. 2050년까지 인구는 93억 명으로 늘고, 오염된 담수원 면적은 현재 관개용 수자원 면적의 9배에 달할 것임
세계경제포럼 수자원 이니셔티브 보고서(2009. 1)	‘수자원 부도(water bankruptcy)’ 가능성 경고. “이제는 1970년대 석유파동(oil shock)이 아니라 물 파동(water shock)에 대비해야 한다.” 고 지적함
2030 Water Resources Group Charting Our Water future(2009)	수자원시설 미 확충 시 2030년에는 물 수요의 60%만 충족가능을 경고함
OECD Environmental Outlook to 2050(2012)	전 세계 인구의 40%가 심한 물 부족을 겪으며 강 유역에서 생활 할 것으로 예측함. 전 세계 물 수요는 생산 수요(+400%), 열병합 발전(+140%), 가정용(+130%) 수요 증가로 전체 55% 증가 예상됨. 도시폐수와 농업에서 나오는 영양염류로 대부분의 지역에서 부영양화 심화 및 수생태계 다양성 파괴가 예상됨
세계기상기구(WMO)	2025년 6억 5천 3백만 명 내지 9억 4백만 명이, 2050년에는 24억 3천만 명이 물 부족을 겪을 것임

2) 국가별 수자원 시장여건

- 중동은 전 세계에서 가장 물이 부족한 지역으로 2008년 10월 기준 중동지역의 1인당 연평균 물 사용 가용량은 1,200m³에 불과하며, 이마저도 2050년에는 50% 정도 급감할 것으로 전망됨
- 중동지역은 수자원의 약 60%를 주변국과 공유하고 있으므로 수자원 확보를 둘러싼 국가 간의 분쟁이 종종 발생하는 등 해수담수화는 중동의 물 공급 확대를 위한 방안으로 평가됨
- 중국은 600여 개 도시 가운데 2/3 이상이 물 부족 현상을 겪고 있으며 공업용수 부족으로 연간 190억 달러 규모의 손실이 발생되고 있음
- 인도의 경우, 농업 및 가정 용수보다는 산업분야에서의 물수요가 크게 전망됨

3) 우리나라 물 부족 문제

- 현재 우리나라의 물빈곤지수(WPI)는 전체 147개국 중 43위 수준이며, 29개 OECD 국가 중 20위로 선진국에 비해 수자원 여건이 열악함
- 우리나라의 연평균 강수량은 1,274mm(1973~2011)로 세계 평균의 1.6배이고 수자원총량은 1,349억 m³/년이지만, 높은 인구밀도로 인해 1인당 연 강수 총량은 연간 2,660m³로 세계 평균의 약 1/6에 불과함
- 물 이용량의 증가와 함께 가뭄 시 이용 가능한 수자원량의 부족이 물부족의 근본 원인이며, 계절별로

편중된 가용 수자원 분포 특성(수요와 공급의 시간적 불균형)은 물 부족을 더욱 악화시키는 요인이 됨 (Fig.3)

- 총 488개의 거주 도서지역 대부분이 지형 여건상 식수난 및 용수부족에 직면함

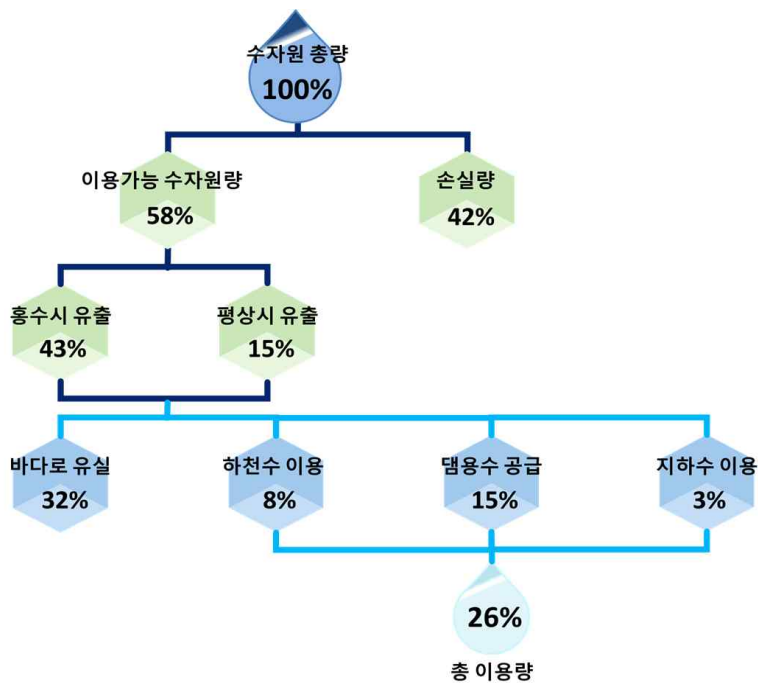


Fig.3 수자원장기종합계획(2011~2020)(국토해양부, 2011)

○ 해수담수화의 필요성

1) 해수담수화 시장 현황

- 해수에는 나트륨(Na^+), 마그네슘(Mg^{2+}), 염소이온(Cl^-) 등 다양한 물질이 높은 농도로 용존되어있으며 해수의 총용존고형물(Total Dissolved Solids, TDS) 농도는 약 35,000 mg/L 이며 담수 중 관개용수로 사용하기 위해서는 적어도 1000 mg/L 이하의 농도를 요구하고 있음
- 담수화 시장은 해수, 기수, 하폐수 재이용, 초순수 제조 등 다양한 시장을 형성하고 있으며 전 세계적으로 약 80백만 톤/일 규모로 이중 해수담수화 시장규모가 43백만 톤/일로 전체 담수화시장의 약 63%를 차지하고 있음 (Fig.4)
- 또한 세계 물 산업 시장은 향후 10년간 연 6.5%씩 성장할 것으로 전망되며 해수담수화 분야의 경우 2007년 대비 2025년에 3.7배의 성장이 예상됨
- 해수담수화 기술은 1960년대부터 주목받기 시작하여 1995년 증발법이 시장의 대부분을 차지하였으나, 2000년 이후부터 에너지 요구량이 적고 운전이 쉬운 해수담수화 기술의 수요가 증가함으로써, 역삼투(Seawater Reverse Osmosis, SWRO)법으로 해수담수화 기술 시장 이동됨

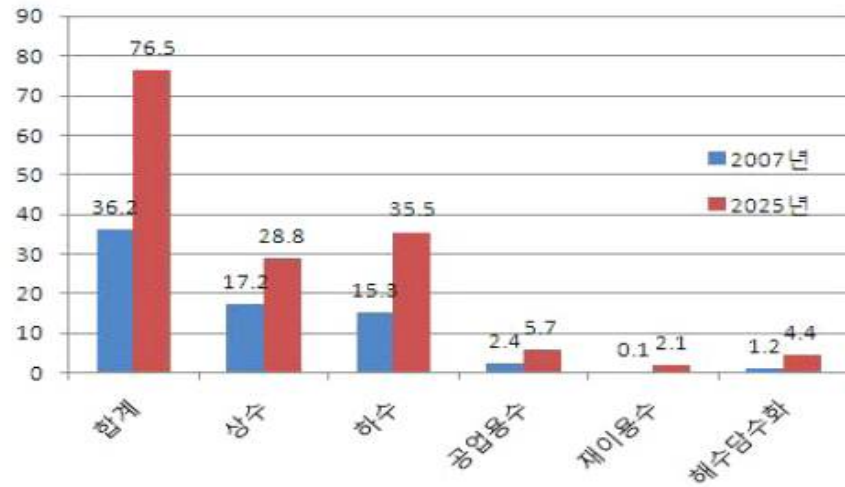


Fig.4 세계 물시장 성장전망(단위 : 백억\$)(GWI, 2008)

2) 기존의 해수담수화 기술과 한계

- 기존의 많이 연구된 해수담수화 기술은 각각의 특징과 한계가 존재함 (Table.2)
- 증발법의 경우, 가장 오래된 해수담수화의 공정 중 하나로 해수를 증발시킨 뒤 온도를 낮추어 담수를 생산하는 방법이나 담수를 생산하는데 사용되는 에너지가 크다는 단점이 존재함 (Fig.5)
- 2000년 이후, 대규모 화석연료를 필요로 하는 증발법 대신, 에너지 요구량이 비교적 적은 역삼투 해수담수화 기술에 대한 수요가 증가하고 있는 실정임
- 역삼투법은 반투과성막을 이용하여 해수에 용해되어 있는 이온성 물질을 배제시켜 깨끗한 담수를 얻는 방법임 (Fig.5)

Table.2 기존의 해수담수화 기술의 특징과 한계, 필요에너지
(공업화학 전망, 제14권 제6호, 2011)

공법	특징	한계	에너지소비(kWh/m3)
증발법	- 해수에 열을 가하여 증발시킴으로써 담수를 얻는 기술 - 전 세계 담수화 생산 용량 중 약 70%를 차지	- 증발열(40.77kJ/mol)을 이용함에 따라 많은 양의 에너지를 소모하여 비경제적	6 ~ 16
역삼투법	- 반투막(멤브레인)을 통해 물에 용해되어 있는 이온성 물질이 거의 배제되고 순수한 물이 통과되어 담수화 하는 기술 - 삼투압 이상의 높은 압력(역삼투압)을 주어 해수에서 이온성 물질과 순수한 물질을 분리	- 고압(42~80bar)운전을 위한 에너지 소모가 많음 - 막 교체로 인한 운영·관리 비용이 발생 - 막오염 발생으로 인한 효율감소 - 충분한 전처리 공정의 필요	4 ~ 6
정삼투법	- 삼투압을 이용하는 담수화 공정으로 쉽게 분리가 가능한 고	- 막 교체로 인한 운영·관리 비용이 발생 - 유도용액의 분리에	0.5이하

	농도의 유도용액을 투입하여 삼투압만으로 염분을 제거하는 공정 - 운전에 필요한 수리학적 압력과 막오염 발생이 역삼투막에 비하여 적음	총 에너지의 85%가 소요 - 막 내부에서 발생하는 내부농도 분극에 의하여 효율이 크게 저하 - 충분한 전처리 공정의 필요	
--	--	--	--

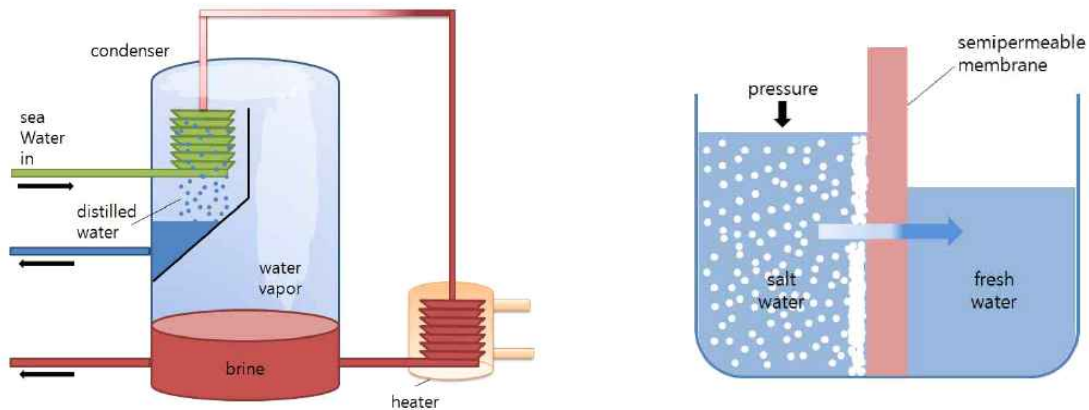


Fig.5 증발법(왼쪽)과 역삼투법(오른쪽)의 기초 개념 (국토해양지식정보센터, 2013)

○ 냉동해수담수화 기술의 가능성

1) 냉동법

- 냉동해수담수화 기술은 2000년대 후반에 들어서면서부터 연구가 활발하게 진행되고 있는 새로운 해수담수화 기술로써, 물의 상변화를 이용하여 해수가 얼기 시작할 때 순수한 물 분자끼리 우선적으로 결정을 형성하고 용존 물질들은 결정형성에서 배척되는 원리를 이용한 기술임
- 크게 결정조(Crystallizer), 분리조(Separator), 용해조(Melter)로 나뉘어지며 결정조에서 얼음을 형성시키고 형성된 얼음과 농축수는 분리조에서 부상원리를 이용하여 분리시킨 뒤, 용해조에서 분리된 얼음을 녹여 담수를 생성함 (Fig.6)

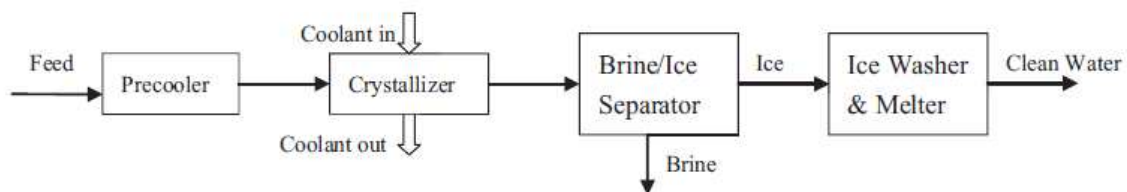


Fig.6 결빙냉동해수담수화 과정 기초 모식도(Desalination, 2015)

- 증발법과 역삼투법에 비해 낮은 에너지를 필요로 하는 장점을 가지고 있으나, 아직 초기 연구단계의 기술로써 향후 개발연구가 요구됨 (Table.3)

Table.3 냉동해수담수화의 특징(Desalination 356, 2015)

공법	이점	극복할 부분
냉동법	- 분리인자 값이 매우 높음 - 증발열(2256.7kJ/kg)에 비해 1/7이 적은 응고열(333.5kJ/kg)을 이용하고, 다른 고압이 필요하지 않아 타 해수담수화기술에 비해 저에너지를 필요로 함 - 낮은 온도에서 공정을 운전하므로 생물학적 오염이나, 장비의 부식과 관련한 관리에 비용이 적게 듦 - 화학적 전처리가 필요로 하지 않아 친환경적	- 개발이 활성화 되지 않은 기술이므로 초기연구비용이 많이 듦 - 얼음 슬러리와 농축수의 분리에 어려움 - 타 기술에 비해 회수율이 낮음 - 원수의 성상에 따라 생산수에서 이취미가 발생할 수도 있음

- 이론적으로 냉동해수담수화는 얼음결정과 농축수의 분리인자가 높고 저에너지를 필요로 하기 때문에 에너지 효율이 높을 것으로 기대되나, 아직 연구 초기단계의 기술이므로 이론적 효율을 달성하기 어려운 상태이며, 이를 극복하기 위해 얼음을 만드는 결정단계의 기술, 얼음과 농축수를 분리하는 분리단계의 기술의 연구가 더 필요로 함

○ LNG 플랜트 기화열과 활용방안

1) LNG(Liquified Natural Gas, 액화천연가스)의 정의

- 천연가스는 주성분인 메탄에 에탄, 프로판, 부탄 등이 섞여있는 혼합물로, 이를 대량 수송과 저장이 용이하도록 초저온(-162℃) 상태로 액화시킨 것이 LNG(액화천연가스)임 (Fig.7)

LNG생산방법



Fig.7 LNG 생산 과정(현대 LNG 해운 홈페이지)

- 천연가스는 정제과정에서 분진, 황, 질소 등이 제거되어 연소 시 공해물질을 거의 배출하지 않고, 석유류에 비해 34~49% 정도 CO2를 적게 배출하는 청정에너지임 (Table.4)

Table.4 연료별 CO2배출량(미국 Department of Energy)

연료	LNG	LPG	휘발유	경유	중유	석탄
CO2 배출량 (kg/MMBtu)	52.8 (100)	62.7 (119)	70.5 (134)	72.5 (137)	78.6 (149)	92.1 (174)

- LNG는 LNG 터미널에서 천연가스형태로 운송되기 전 기화과정을 거치면서 많은 양의 냉에너지인 기화열을 방출하고 있음
- LNG의 기화로 생기는 기화열은 냉동/냉장 기술, 액체탄산 제조, 수소액화 및 저장 등에 활용되며 최근 국제적으로 폐 LNG 에너지 활용에 관심이 기여되고 있는 실정 (Fig.8)

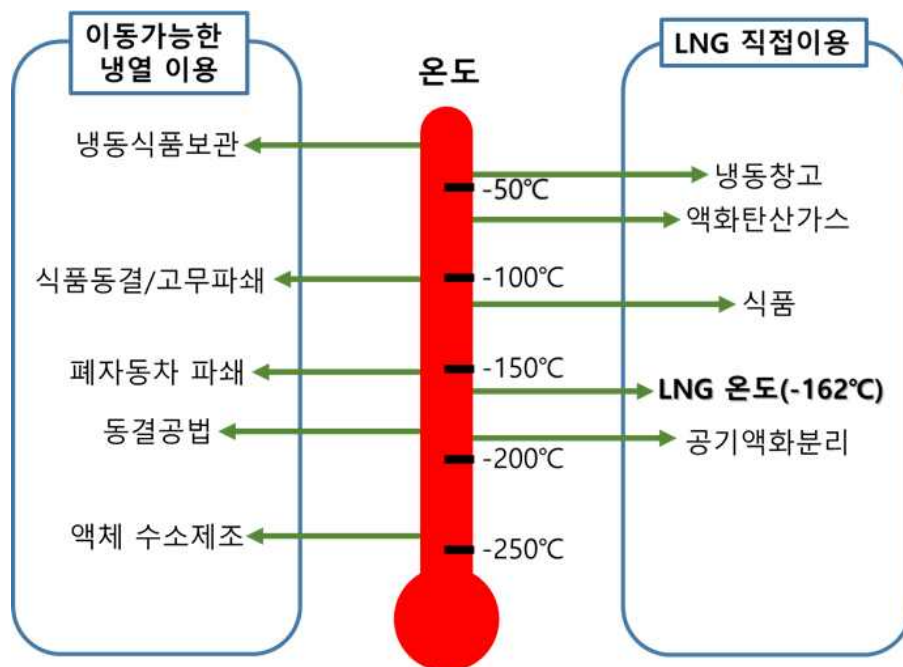


Fig.8 냉열 이용 공정의 온도 수준

2) 국내 LNG 플랜트 현황

- 현재 국내에 존재하는 LNG 플랜트는 총 6 개소로 각각 위치하는 지역은 평택, 인천, 통영, 삼척, 광양, 보령이며 공통적으로 바다와 인접한 곳에 위치하고 있음
- 우리나라는 2008년 전 세계 LNG 거래량의 16.1%를 수입하며, 일본(40.7%)에 이어 세계 2위의 LNG 수입국임 (Fig.9)

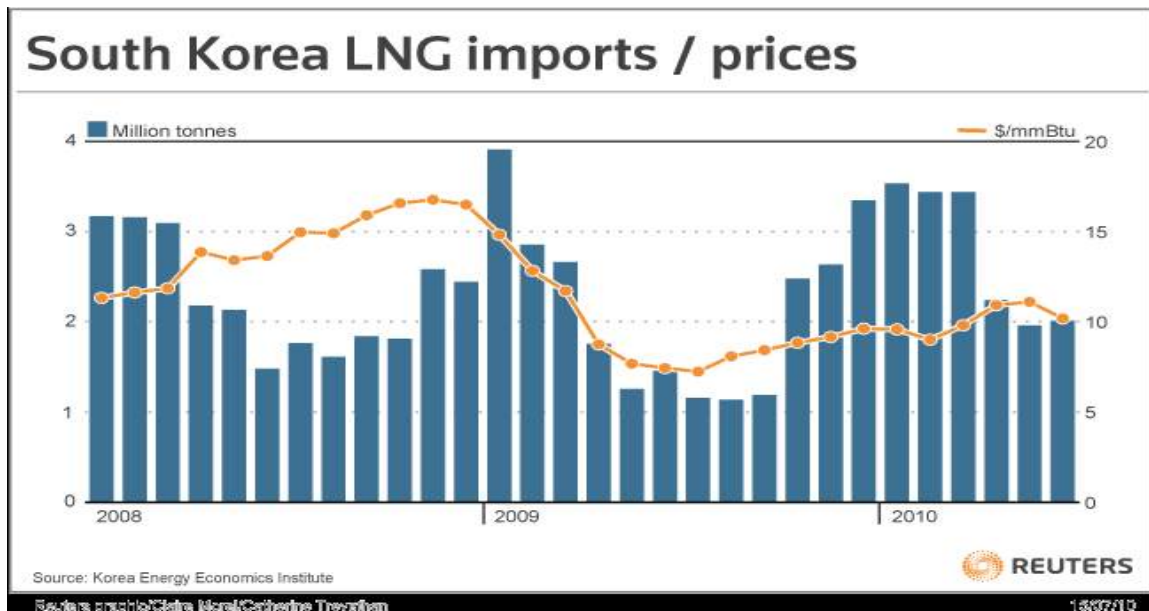


Fig.9 국내 LNG 수입량과 수입액(Korea Energy Economics Institute, 2010)

- 2008년부터 한국가스공사에서는 국가 R&D형태로 LNG 액화 신 공정 개발과 상용 액화플랜트 설계 독자 기술 개발을 목표로 연구에 착수하고 있으며, 이를 통해 안정적이며 지속가능한 LNG에너지의 활용이 기대됨

1-2. 연구개발 대상의 국내외 현황

○ 국내 현황

1) 국내 냉동해수담수화 연구개발 및 기술 수준

- 국내 냉동해수담수화와 관련된 논문은 2011년 이전에는 발행되지 않았으며 2011년에 2건, 관련된 특허는 1983년에 1건, 2006년에 1건, 2007년에 1건 출원되었음을 보아 냉동해수담수화 기술에 대한 개발이 아직 활발히 이루어지지 않고 있는 실정임 (Fig.10)
- 2011년에 수행된 2건의 논문은 ‘해수 히트펌프를 이용한 냉동법 담수화시스템 개념설계’와 ‘저온 해수를 이용한 난방 및 담수화사이클 성능 해석’으로써 개념적인 냉동해수담수화의 실현 가능성을 제시하고 있음

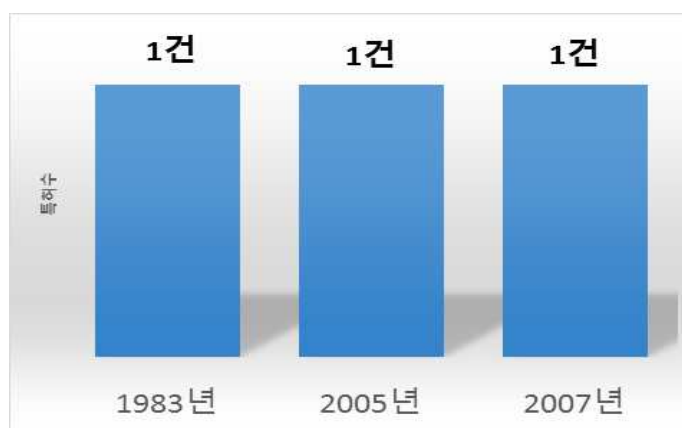


Fig.10 연도별 냉동해수담수화 특허 출원수(NDSL, 검색어:냉동해수담수화)

2) LNG를 이용한 냉동해수담수화 연구개발

- LNG를 이용한 냉동해수담수화를 연구한 논문은 없으나, LNG Cycle을 결합한 다단계증류법을 경제적으로 평가한 연구는 2007년에 수행됨(ICAPP, 2007)

○ 국외 현황

1) 국외 냉동해수담수화 연구동향 및 학술적 흐름

- 냉동해수담수화 관련 연구는 1966년도부터 이루어져 왔으며, 1960년대 말 냉동해수담수화연구에 대한 관심이 잠시 급격히 성장하나, 이후 2000년대 후반에 이르기까지 타 기술에 비해 연구가 많이 수행되지 않음
- 냉동해수담수화가 재조명된 시점은 2007년(6건)으로, 이후 2015년(12건)까지 논문의 발행이 점진적으로 증가되고 있는 추세임 (Fig.11)

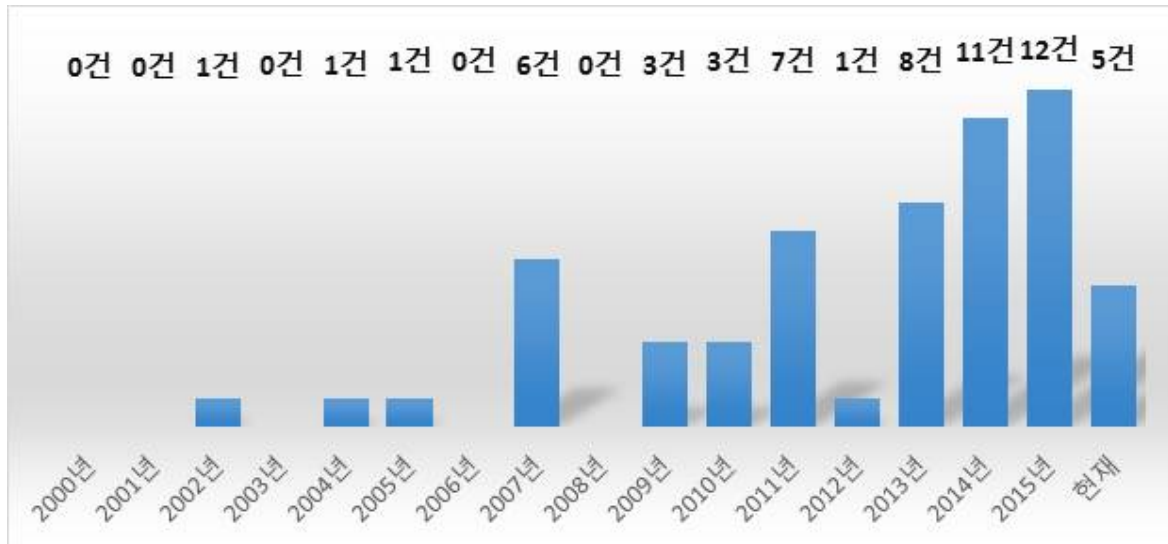


Fig.11 연도별 냉동해수담수화 논문 발행수(SCOPUS, 검색어:freeze desalination)

- 현재 전 세계적으로 상용화된 플랜트시설이 존재하지 않으며 아직 연구단계에 머물러있는 수준임
- 냉동해수담수화 분야를 선도하고 있는 국가는 미국(28건)이며 그 이후로 중국(9건)이 뒤를 이어 연구를 수행해나가고 있음
- 미국은 캐나다와 중국은 싱가포르와 협력하여 각각 아시아대륙과 아메리카 대륙에 연구 네트워크를 구성함 (Fig.12)

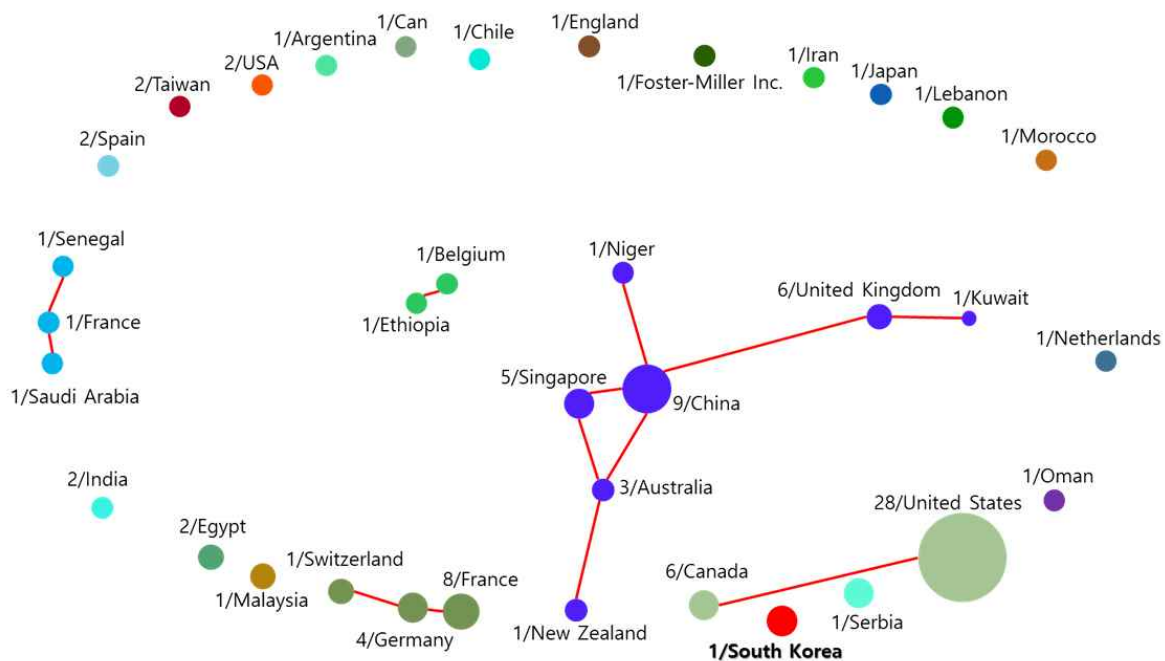


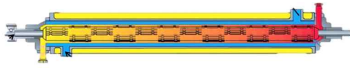
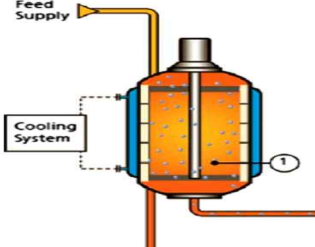
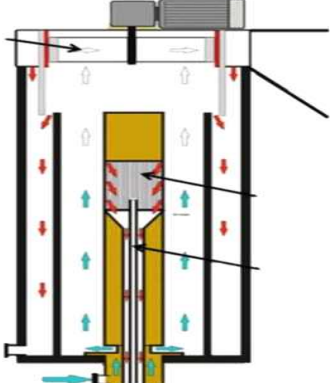
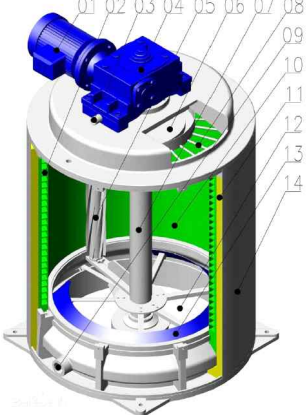
Fig.12 냉동해수담수화관련 연구의 국가 간 네트워크(SCOPUS, 검색어:freeze desalination)

- 초기 냉동해수담수화는 직접냉동법을 이용하여 연구가 수행되었으나, 유입액과 직접 접촉한 냉매의

기화로 인한 급진적인 냉매 팽창의 위험으로 유입액과 냉매의 흐름이 구분된 간접냉동법이 선호되며, 최근에는 수율이 높은 공융점을 이용하여 냉동해수담수화를 수행하는 연구가 남아프리카 공화국에서 진행되고 있음

- 구체적인 기술의 개발로써, 낮은 물 회수율을 극복하기 위한 slurry/brine을 분리하는 separator 의 개발, 순도를 높이기 위한 적정 농도와 온도를 찾는 crystallizer 의 개발이 이뤄지고 있음 (Table.5)

Table.5 국외 냉동해수담수화 공정 제조회사 및 기술

연구기관/ 제조회사	디자인	공정파트	기능
Sulzer Chemtech		결정조 (열교환기)	냉매와 유입액이 간접적으로 접촉하며 기기의 벽 쪽에 얼음 결정이 생기고, 열교환이 끝난 후 블레이드로 벽을 긁어내어 얼음 슬러리를 배출
GEA Group AG		결정조	Mixing을 결정조에 결합하여 더 균일한 얼음결정이 생성시킴으로서 수율을 높임
Hybrid ICE™		분리기	얼음슬러리가 분리기 안으로 유입됐을 시, 안쪽 필터를 통해 농축수가 필터안쪽으로 분리되고, 건조해진 얼음결정은 분리기 위쪽으로 올라가 밖으로 배출
University of Bradford ,UK		결정조, 분리기	유입된 해수가 냉매와 간접적으로 접촉하며 벽에 얼음을 생성시킨 뒤, ice blade를 이용하여 벽의 얼음을 긁어내어 배출

2) LNG를 이용한 냉동해수담수화

- LNG를 이용한 담수화 논문은 2006년(2건)부터 발행되기 시작했으며 2016년, 현재 까지 연평균 2건씩 발행되고 있음
- LNG를 이용하는 냉동해수담수화 연구들의 주목적은 LNG 플랜트의 기화열을 이용하여 냉동해수담수화 기술의 에너지 효율을 높이고, 융합할 수 있는 적합한 기술을 찾는 데 있음
- 냉동해수담수화 분야 중 LNG를 이용한 냉동해수담수화 연구 분야를 선도하는 국가는 중국으로 2008년부터 현재까지 직접냉동법, 간접냉동법 등 다양한 관점으로 lab-scale 연구나 simulation을 이용하여 냉동해수담수화의 LNG접목의 에너지 효율성을 5건의 논문을 통해 개념적으로 밝히고 있음 (Fig.13)



Fig.13 LNG를 이용한 해수담수화 논문 발행수(SCOPUS, 검색어:LNG, desalination)

○ 기술개발 성숙도

구분		연구 착수	연구 종료	단계별 설명	
기초연구 단계	TRL 1	☐	☐	TRL 1	이론적 연구단계
	TRL 2	☒	☐	TRL 2	기술적 개념정립 단계
실험 단계	TRL 3	☐	☐	TRL 3	실험적 증명 단계
	TRL 4	☐	☒	TRL 4	실험실 성능평가 단계
시작품 단계	TRL 5	☐	☐	TRL 5	유사환경 시험 단계
	TRL 6	☐	☐	TRL 6	유사환경 기술시범 단계
실용화 단계	TRL 7	☐	☐	TRL 7	실제환경 시작품 데모 단계
	TRL 8	☐	☐	TRL 8	시제품 설치 및 성능시험 단계
사업화 단계	TRL 9	☐	☐	TRL 9	현장적용/사업화 단계

1-3. 연구개발의 중요성

○ 기술적 중요성

- 국내 해수담수화 분야의 기술 개발은 주로 역삼투법에 중점을 두고 있으나, 아직 미국, 일본 등에 비해서는 기술수준 차이가 존재하는 상태이며, 이를 극복하기 위해 국내에서 원천기술을 보유할 수 있는 저에너지/고효율의 신 담수화 공법 개발이 시급

- 기존의 역삼투 공정은 고압, 농축수와 같은 경제성 및 환경적인 측면에서 기술적 한계를 내재하고 있기 때문에 이러한 한계를 극복할 수 있는 차세대 해수담수화 기술을 개발하여 실용화 수준까지 끌어올릴 수 있다면 시장 경쟁력을 확보 가능함
- 냉동해수담수화 기술을 통해 기존 생산 공정 대비 담수 생산비용을 약 30% 감소시킬 수 있을 것으로 파악되며 기존 해수담수화의 대부분을 차지하고 있는 증발법과 역삼투법의 한계 극복 가능성 제시 (Table.6)

Table.6 생산비용 기준 경제성 분석 및 공정별 장단점 (1일 5만톤 생산 기준)

공정	해수담수생산비용 (\$/ton)	장단점
증발법	1.23	· 가장 많이 사용 · 생산수의 순도가 높음 · 에너지소모가 큼
역삼투법	0.70	· 최근 증가추세 · 충분한 전처리 필요 · 막 유지관리비용 과다 · 증발법에 비해 에너지소모가 적음
냉동법	0.46~0.52	· 유지관리 비용이 적음 · 저비용으로 담수 생산 가능 · 부대설비 필요 없음

- 선진국과의 기술격차가 크지 않고 원천기술을 보유한 나라가 없어, 향후 기술선점에 있어 대등하거나 유리한 위치 선점이 가능할 것으로 예상

○ 경제 · 산업적 중요성

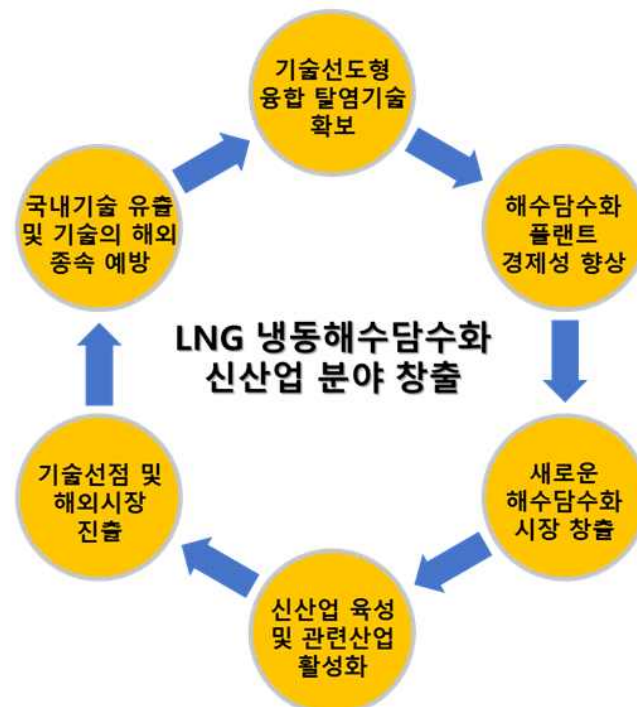


Fig.14 해수담수화 신산업 분야 창출

- 냉동해수담수화 기술에서 해수의 온도를 낮추어 얼음생성을 위해 사용되는 냉매를 응축시키는 데 많은 에너지가 사용되고 있으며 이를 대체할 수 있을 대체 열원 필요
- 현재 LNG 플랜트에서 액화천연가스(LNG)를 천연가스(NG)로 증발 시킬 때 발생하는 -162°C 의 폐열

을 냉동해수담수화 기술에 활용 할 수 있다면 에너지 사용량이 낮은 차세대 해수담수화 기술의 개발이 가능할 것으로 예상됨

- LNG를 이용한 냉동해수담수화 공정기술을 개발함으로써 추후 해수담수화 플랜트의 소비전력을 줄이고 궁극적으로 물 생산 단가를 낮추어 기존 해수담수화 플랜트가 가지고 있던 경제성의 한계가 극복될 수 있음
- 새로운 개념의 해수담수화 기술인 LNG 냉동해수담수화 공정 기술을 기반으로 하여 해수담수화 분야에서 새로운 시장창출이 가능 (Fig.14)
- Water Research 46(2012) 연구저널에 따르면, 냉동해수담수화와 막증발법의 융합공정 개발을 통해서 71.5%의 회수율과 2.343 kWh/m³의 에너지 소비가 가능하다고 제시하였으며 이로써 기존의 RO 공정보다 더 효율적인 공정 설계의 가능성을 제시하고 있음
- LNG 플랜트는 해안에 위치하고 있어 해수를 이용하기에 접근성이 용이하며, 추후 LNG이송선박에 이동형 담수화 플랜트 공정 도입 등의 다양한 방법으로 활용이 가능함
- 시장 형성 및 해외 진출을 바탕으로 하여 고용을 창출하고 관련 분야의 전문 인력 양성이 가능함

1-4. 선행 연구 내용 및 결과(해당 시 작성)

○ 국내 선행연구 과제

부처명	사업명	과제명	예산 (단위 : 백만원)	비 고
국토해양부	해양수자원이용기술 개발	가스하이드레이트 형성원리를 이용한 해수담수화 기반기술 개발	1,473.51	2014
국토해양부	해양수자원이용기술 개발	가스하이드레이트 형성원리를 이용한 해수담수화 기반기술 개발	300.76	2013
국토해양부	해양수자원이용기술 개발	가스하이드레이트 형성원리를 이용한 해수담수화 기반기술 개발	859.00	2012
국토해양부	해양심층수의 에너지이용 기술개발	해양온도차발전 및 해수 냉난방 시스템 설계기술 확보	3,500.90	2011
국토해양부	해양심층수의 에너지이용 기술개발	해양온도차발전 및 해수 냉난방 시스템 설계기술 확보	1,633.30	2010

○ 연구개발과제의 차별화 방안

1) 가스하이드레이트 냉동해수담수화 기술과의 차이점

- 가스하이드레이트 해수담수화기술은 천연가스가 심해저의 저온고압 상태에서 물과 결합하며 얼음과 유사한 형태로 변한 고체에너지원으로, 이 같은 원리를 이용하여, 특정 온도와 압력 조건 하에서 가스와 바닷물을 반응시켜 바닷물을 가스하이드레이트 결정체 형성 및 해리를 통해 염분을 분리해 순수한 담수를 얻어내는 기술임 (Fig.15)

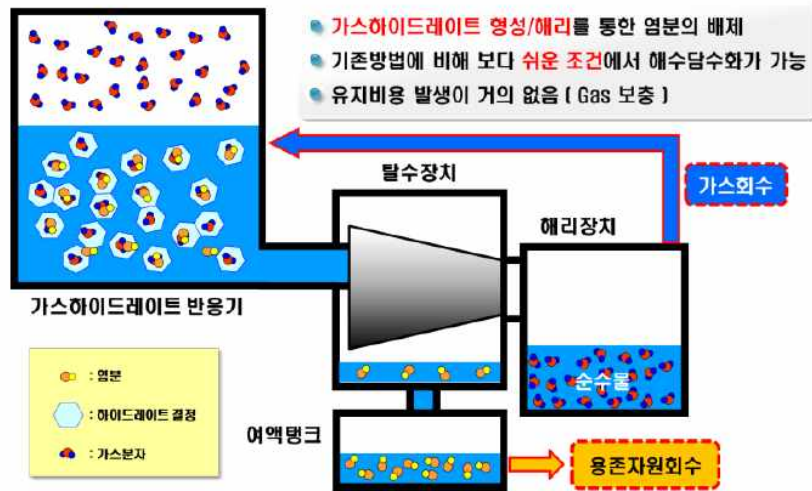


Fig.15 가스하이드레이트 해수담수화 공정 모식도(NICE, 2014)

- LNG 냉동해수담수화 기술의 경우, 가스하이드레이트의 해리를 이용한 냉동해수담수화 기술과 달리 물의 상변화를 이용하여 용존물질과 순수한 물을 분리하는 기술임
- 가스하이드레이트 해수담수화 기술의 경우, 하이드레이트로 만들기 위하여 매개가스(CO_2 , SF_6)와 저온고압의 공정운전이 필요하나, LNG 냉동해수담수화 기술의 경우, 단지 해수의 응결을 이용하여 담수화를 진행함

2) 히트펌프를 이용한 냉동해수담수화 기술과의 차이점

- 히트펌프를 이용한 냉동해수담수화 기술은 응축기의 유입해수온도 및 증발기의 얼음생성비율에 따른 해수 히트펌프 시스템의 성능을 분석한 연구임 (Fig.16)
- 냉매로 R-134를 사용한 간접냉동해수담수화 연구로, 응축기 유입 해수온도가 감소할수록 히트펌프 성능이 증가하였으며 이 연구를 통해 냉동해수담수화 기술의 가능성을 확인함

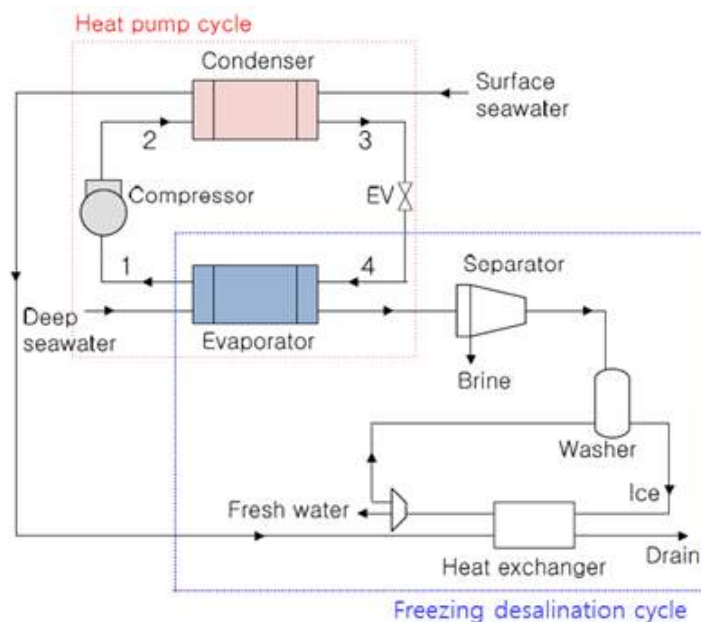


Fig.16 히트펌프를 이용한 냉동해수담수화 과정 모식도
 (이호생 외, 한국마린엔지니어링학회지, 2011)

- 히트펌프를 이용한 냉동해수담수화 기술의 경우, 냉매를 사용하여 진행된 간접냉동해수담수화 기술로 응축기를 통해 냉매를 응축시키는 과정에 대한 연구가 중점적으로 수행
- LNG 냉동해수담수화 기술은 LNG 플랜트의 기화열을 이용한 기술로 응축기가 따로 필요하지 않으며, 응축기에서 냉매를 응축시키는 과정이 생략되므로 에너지절감에 효과가 뛰어날 것으로 사료됨

○ 해외의 LNG 냉동해수담수화에 대한 선행연구

- 2012년 싱가포르에서 진행된 LNG 냉동해수담수화공정의 최적조건 도출을 위한 연구결과에 따르면, 음용수 수질 기준, 최적운전시간은 약 2시간, 어는점 -2.1°C , 처리수율 19%(wt%), 처리수 염농도 0.144g/L, 농축수 염도 4.37%(wt%)으로 산정됨 (Table.7)

Table.7 인공해수를 이용한 실험실규모 냉동해수담수화 공정 최적조건
(Wang P 외, Water research, 2012)

NaCl in feed (g/L)	35	35	35	35	35	Drinkable water restriction
Operation mode	Normal	Nucleation	Nucleation	Nucleation	Nucleation	—
Time(hr)	0.5	0.5	1	2	2.5	—
Freezing point($^{\circ}\text{C}$)	-2.1	-2.1	-2.1	-2.1	-2.1	—
Ice yield(wt%)	12.7	11.7	14.4	19.0	31.0	—
Ice salinity(g/L)	1.032	0.104	0.118	0.144	3.205	0.5
Brine salinity(wt%)	3.68	3.74	3.97	4.37	5.08	—

- 2014년 중국에서 진행된 LNG의 냉열을 이용한 냉동해수담수화 관련 연구에서, 1kg의 LNG에서 발생하는 냉열이 생산할 수 있는 냉동해수담수화 공정 처리수는 약 2kg라는 결과 도출
- LNG를 직접적으로 결정조에 사용하기에는 기화열의 온도가 -162°C 로 너무 낮아 열교환기를 이용하여 연구를 진행함
- 연구에 사용된 결정조의 부피는 40mm X 40mm, 두께 범위는 1.0mm에서 2.5mm임 (Fig.17, Fig18)

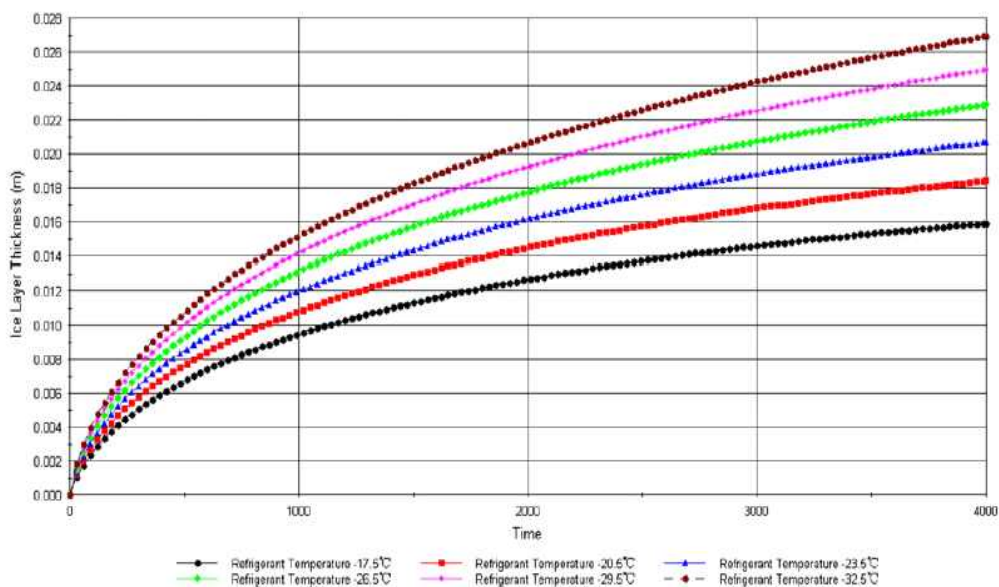


Fig.17 시간에 따른 냉각제 온도별 얼음층의 두께 변화
(Wensheng Cao, Desalination, 2015)

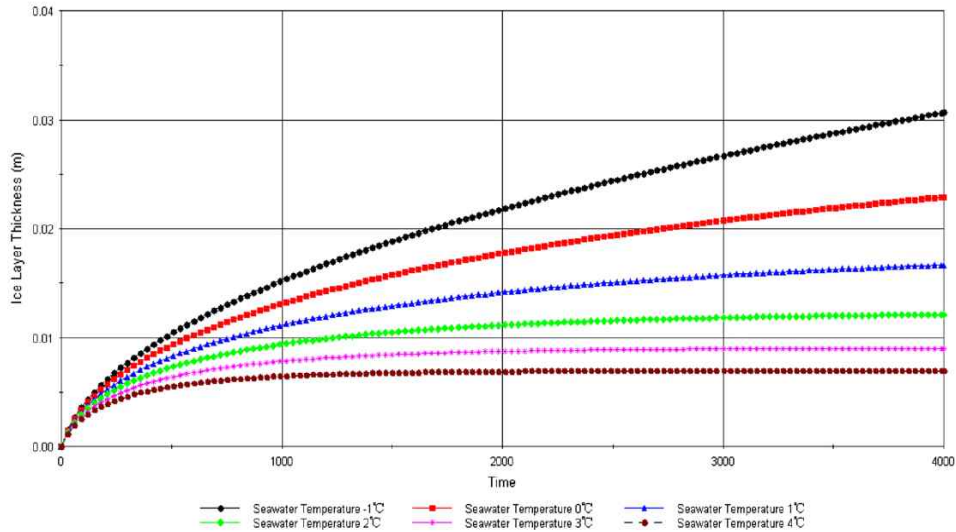


Fig.18 시간에 따른 해수 온도별 얼음층의 두께 변화
(Wensheng Cao 외, Desalination, 2015)

2. 연구개발의 목표 및 내용

2-1. 연구개발의 최종 목표

구분	내용
최종 목표	LNG 플랜트에서 발생하는 기화열을 냉동해수담수화의 응결 열원으로 이용하여, 실험실 규모 냉동해수담수화공정의 응결장치의 구동 가능성 평가
세부 목표	1. 실험실 규모 냉동해수담수화의 응결장치 설계 및 제작 2. LNG 냉동해수담수화 응결장치의 최적 운전조건 도출 및 기술향상 방안 제시

2-2. 연차별 연구개발 목표 및 내용

가. 1차 연도

① 개발 목표

- 주관연구기관(성균관대학교):
- a. 기존 냉동해수담수화 공정 선행연구 및 LNG 플랜트 기화열 활용 관련 문헌조사
- b. 실험실 규모의 응결실험장치 설계 및 제작

② 개발 내용 및 범위

- 주관연구기관(성균관대학교):
- a. 기존 냉동해수담수화 공정 선행연구 및 LNG 플랜트 기화열 활용 관련 문헌조사
 - 국내/외 기존 연구현황, 기술동향 등에 대한 조사 및 분석
 - LNG 플랜트에서 발생하는 기화열 활용 현황 조사 및 분석
 - 냉동해수담수화의 열역학적 메커니즘 파악
 - 계절별 및 지역별 해수 온도 및 성상 변화 데이터베이스 구축
 - 기존 냉동해수담수화 공정 특성 조사
- b. 실험실 규모의 응결실험장치 설계 및 제작
 - 내구성, 열전도율 등 극저온에 적합한 장치 재질 조사
 - 타 연구에서 설계된 냉동해수담수화 장치 조사 (Table 5 참조)
 - 냉동해수담수화 공정에 적합한 실험실 규모의 응결장치 설계 및 구축

나. 2차 연도

① 개발 목표

– 주관연구기관(성균관대학교):

- a. 해수와 같은 농도의 소금물을 이용한 냉동해수담수화 공정 최적 운전조건 파악
- b. 실제 해수와 유사한 조건의 인공해수를 이용한 냉동해수담수화 공정 최적 운전조건 파악
- c. 냉동해수담수화 공정 운전 시, 요구되는 전력량 산정

② 개발 내용 및 범위

– 주관연구기관(성균관대학교):

- a. 해수와 같은 농도의 소금물을 이용한 냉동해수담수화 공정 최적 운전조건 파악
 - 0.5M의 소금물에서 냉동해수담수화 운전효율 평가 (응결조 최적온도, 교반 속도, 최적해수유입량, 세정수 사용량 등)
 - 냉동해수담수화 공정을 통한 소금물과 처리수의 수질 비교
- b. 실제 해수와 유사한 조건의 인공해수를 이용한 냉동해수담수화 공정 최적 운전조건 파악
 - 실제 해수의 특징 파악 (부유물질, 조류 등)
 - 실제 해수와 유사한 조건의 인공 해수에서의 냉동해수담수화 운전효율 평가 (응결조 최적온도, 교반속도, 최적해수유입량, 세정수 사용량 등)
 - 냉동해수담수화 공정을 통한 인공 해수와 처리수의 수질 비교
 - 소금물과 인공해수를 이용하여 얻은 처리수의 수질 비교
- c. 냉동해수담수화 최적공정 운전 시, 요구되는 전력량 산정
 - 냉동해수담수화 응결장치 운전 시 발생하는 담수에 따른 요구전력 비용 산정
처리수 1L 당 요구 전력 비용 (원/L) = (응결장치 구동시간(분) x 시간 당 전기료(원/분)) / 처리수량(L)
 - 추후 스케일 업 연구 진행 가능성 판단

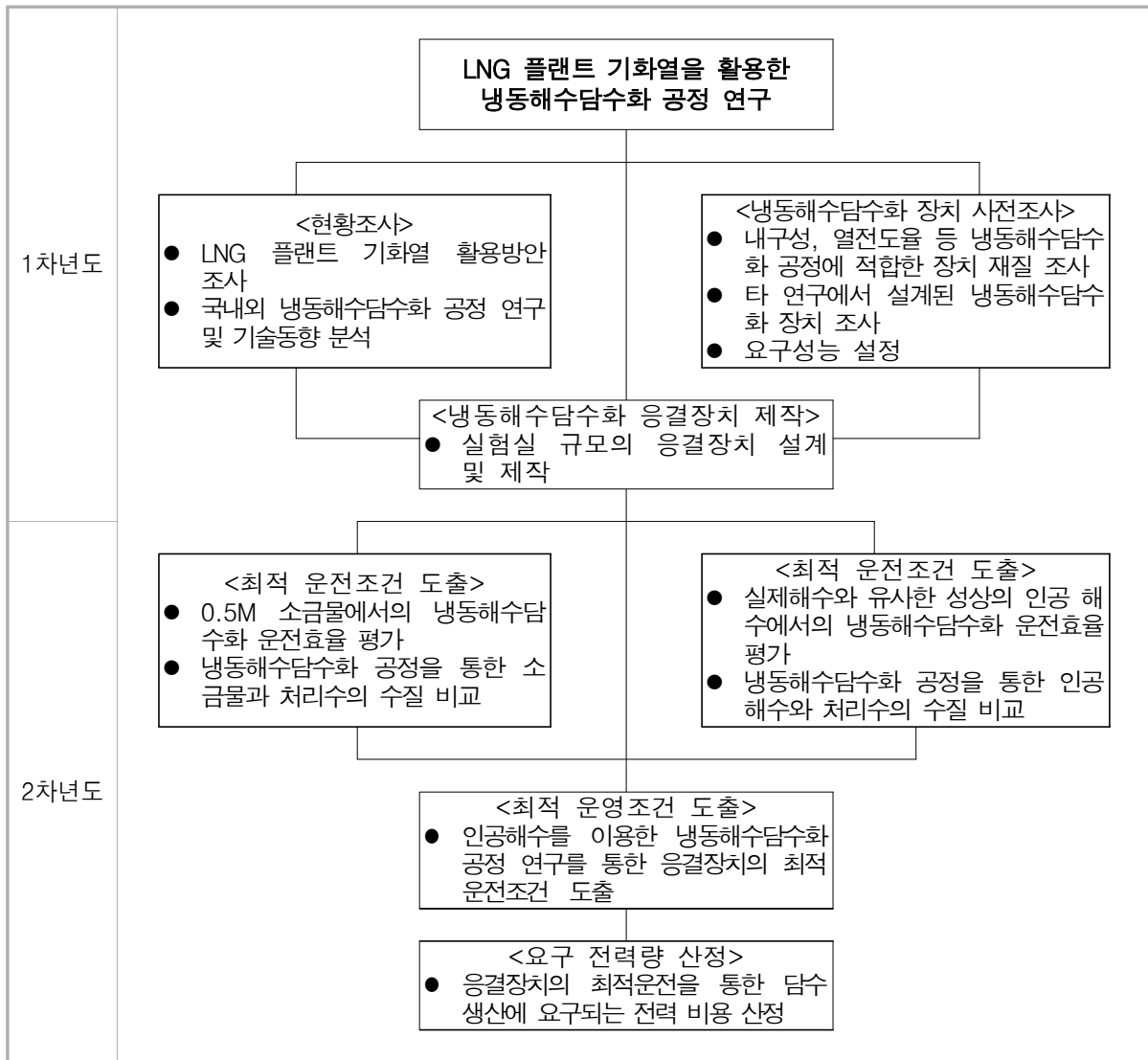


Fig.19 LNG 플랜트 기화열을 활용한 냉동해수담수화 공정 연구 연차별 추진체계

2-3. 연구개발의 창의성·혁신성 등(해당 시 작성)

○ 연구개발의 창의성

- 2010년 국토해양부에서 진행된 해양심층수의 에너지 이용기술 개발에 따르면, 냉매를 이용한 간접냉동해수담수화 공정에서, 응축기 유입 해수온도가 8℃일 때 응축기에서 필요한 소요 동력은 약 45 kW이며, 해수온도가 20℃일 때 약 60 kW임(60RT 기준) (Fig.20)
- 이에 반해, LNG 플랜트의 기화열을 활용할 시 응축기 사용이 필요하지 않기 때문에 냉동해수담수화 과정 중 결빙에 사용되는 에너지는 거의 0 kW로, 에너지효율을 높일 수 있음
- LNG 냉동해수담수화 공정에 관한 연구는 LNG 플랜트의 기화열 재활용이라는 이점과 냉동해수담수화 공정에서 필요한 냉매를 LNG 기화열로 대체하여 적은 에너지로 담수화가 가능하다는 이점을 가짐

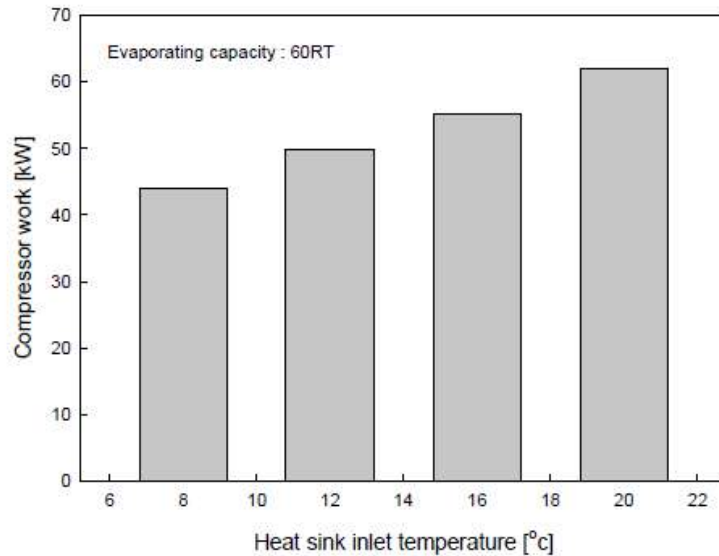


Fig.20 유입해수 온도에 따른 소요 동력의 변화
(이호생 외, 한국마린엔지니어링학회지, 2011)

○ 연구개발의 혁신성

1) 연계 플랜트로 인한 시너지 효과

- 본 냉동해수담수화 공정의 기초연구를 바탕으로 추후, 공정 최적화를 통하여 기존 LNG 플랜트와 냉동해수담수화 플랜트에 화력발전소의 플랜트 연계로 시너지 효과를 낼 수 있을 것으로 예상
- 기존 LNG 플랜트를 화력발전소와 연계하여 폐열을 활용하고 있는 현재 시스템에 냉동해수담수화 플랜트를 더함으로써 비 해수담수화 시장으로 분류되었던 시장의 변화 가능
- 평택지구나 통영지구와 같이 기존 지역에 위치한 LNG 복합화력발전소에 냉동해수담수화 공정을 도입하여 LNG 플랜트에서 발생하는 -162°C 의 기화열로 해수를 담수화 시키고, 냉동해수담수화 공정을 통해 배출되는 저온의 농축수는 화력발전소에서 냉각수로 사용하고 배출되는 고온의 해수와 혼합하여 적절한 해수온도로 중화시켜 바다로 방류함으로써 해양생태계에 미치는 영향을 최소화시킬 것으로 기대됨 (Fig.21)
- LNG 냉동해수담수화 플랜트를 통해 생산되는 담수는 역삼투 공정과 융합하여 초순수 제작이 가능하고, 평택지구에 위치하는 공장단지에 공업용수로 활용 가능함



Fig.21 통영 LNG 화력발전소 조감도(경남도민일보,2015)

2) LNG 냉동해수담수화 수요처 확대

- 천연가스(NG)를 LNG로 액화시킨 후 발생하는 냉열 또한 냉동해수담수화 공정에 적용 가능할 것으로 보임
- 천연가스의 주요 소비국가는 극동아시아, 북미, 유럽이며, 주요 생산국가는 러시아, 북미, 호주, 중동, 아프리카 및 유럽 국가들로 LNG를 이용한 냉동해수담수화 기술의 사용처는 전 세계적으로 넓게 분포할 것으로 예측됨
- 국내에서 수입하는 LNG의 80%는 카타르, 예만 등 중동국가이며, 이 국가들은 깨끗한 물이 부족한 지역이므로 LNG 냉동해수담수화 공정의 기술 수요가 높을 것으로 전망
- 현재, 국제시장에서 거래되는 LNG의 가격은 타 국가에 비해 아시아 국가가 더 높게 책정되고 있는 상황이며 카타르와 비교하였을 때, 2009년 우리나라의 수출액은 13억 달러(철강, 자동차, 건설 분야)인데 반해 LNG 수입액은 84억 달러(LNG)를 넘어서고 있으므로, 기술수출을 통해 수출 실적을 높일 수 있음 (Fig.22)



Fig.22 국가별 LNG 수입가격(FERC,2013)

2-4. 연구개발성과 및 평가 방법

○ 성과 목표

성과지표	성과 목표	최소 성과 목표
SCI(E)급 학술지 게재(2점)	2건	1건
일반학술지게재(1점)		
특허출원(1점)	2건	1건
특허등록(2점)	1건	1건
디자인 등록(1점)		
소프트웨어(1점)		
하드웨어(1점)	1건	
기타(1점)		
소계(점수)	9점	5점

< 성과지표별 점수 >

성 과 지 표	점 수
국내 학술지, 국토교통분야 IF평균('14년기준) 미만 SCI(E)급 학술지 게재	1점
국토교통분야 IF평균('14년기준) 이상 SCI(E)급 학술지* 게재	2점
특허출원	1점
특허등록	2점

○ 성과점검기준표

[총괄]

구분	핵심성과 (CTE)		단위성과		성과점검기준						양적 성과 건수
					질적 성과지표	목표치	달성치	측정방법	검증방법	가중치	
주관	A	냉 동 해 수 담수화 현황조사 및 공정 장치 제작	A-1	국내외 냉동해수담수화 연구 동향 문헌조사	① 해외 연구 동향 분석	1 건	-	현재 해외 기술 단계 확인 및 연구 동향 작성	보고서	20	특허: 출원 1 건 등록 1 건 논문: 1 건 시제품: 1 건 SW: 1 건
			A-2	실험실 규모 응결장치 제작	① 실험실 규모 냉동해수담수화 장치 제작	1 건	-	냉 동 해 수 담수화 공정의 정상 운전 확인	운전여부	30	특허: 출원 1 건 등록 1 건 논문: 1 건 시제품: 1 건 SW: 1 건
	B	냉 동 해 수 담수화 공정 최적화	B-1	인공해수를 이용한 냉동해수담수화 공정 운전 최적인자 도출	① 수정·보완된 응결장치 운전	1 건	-	냉 동 해 수 담수화 공정의 정상 운전 확인	운전여부	20	특허: 출원 1 건 등록 1 건 논문: 1 건 시제품: 1 건 SW: 1 건
					② 운전 인자별 비교를 통한 인자별 상관관계 분석	2 건	-	결빙 여부, 처리 수의 염 제거 유무 등을 판단	보고서	30	특허: 출원 1 건 등록 1 건 논문: 2 건 시제품: 1 건 SW: 1 건
계										100	특허: 출원 2 건 등록 1 건 논문: 2 건 시제품: 1 건 SW: 1 건

[1차년도]

구분	핵심성과 (CTE)		단위성과		성과점검기준						양적 성과 건수	
					질적 성과지표	목표치	달성치	측정방법	검증방법	가중치		
주관	A	냉 동 해 수 담수화 현황조사 및 장치 제작	A-1	국내외 냉동해수담수화 연구 동향 문헌조사	①	해 외 연 구 동향 분석	1 건	-	현재 해외 기술 단계 확인 및 연구 동향 작성	보고서	20	특허: 출원 1 건 등록 1 건 논문: 1 건 시제품: 1 건 SW: 1 건
			A-2	실험실규모 응결장치 제작	①	실험실 규모 냉 동 해 수 담수화 장치 제작	1 건	-	냉 동 해 수 담수화 공정의 정상 운전 확인	운전여부	30	특허: 출원 1 건 등록 1 건 논문: 1 건 시제품: 1 건 SW: 1 건
계											50	특허: 출원 1 건 등록 1 건 논문: 1 건 시제품: 1 건 SW: 1 건

[2차년도]

구분		핵심성과 (CTE)		단위성과		성과점검기준						양적 성과 건수	
						질적 성과지표		목표치	달성치	측정방법			
주관	B	냉동해수담수화 최적화	B-1	인공해수를 이 용한 냉동해수 담수화 공정 최적 운전조 건 도출	①	수정·보완된 응결장치 운전	1 건	-	냉 동 해 수 담수화 공 정의 정상 운전 확인	운전여부	20	특허: 출원 1 건 등록 1 건 논문: 1 건 사제품: 1 건 SW: 1 건	
					②	운 전 인 자 별 비교를 통 한 인자별 상 관 관계 분석	2 건	-	결빙여부, 처 리 수 의 염 제거 유 무 등을 판 단	보고서	30	특허: 출원 1 건 등록 1 건 논문: 2 건 사제품: 1 건 SW: 1 건	
계											50	특허: 출원 1 건 등록 1 건 논문: 2 건 사제품: 1 건 SW: 1 건	

○ 핵심 연구성과

연번	핵심성과 (CTE)	핵심성과 설명	성과 유형 ¹⁾	연구기관	해당 연차	TRL
1	실험실 규모의 응결 장치 설계 및 제작	국내외 기존 연구현황, 기술동향 등에 대한 조사를 바탕으로 LNG 냉동해수담수화 공정에 적합한 실험실 규모의 장치 설계 및 제작	장비·장치	성균관대학교	1	4
2	인공해수를 이용한 냉동해수담수화 공정 최적 운전조건 도출	1차년도에 제작된 실험실규모의 LNG 냉동해수담수화 공정 장치를 이용하여 최적운영인자 도출 및 운전효율 평가	공법·기법	성균관대학교	2	4

○ 핵심 연구성과별 설명

핵심성과 1	실험실규모의 응결 장치 설계 및 제작	
정의	LNG 냉동해수담수화 공정에 적합한 실험실 규모의 장치를 제작	
목적	본 핵심성과를 통해 LNG를 이용한 냉동해수담수화의 기초원천기술의 확보	
성능목표	(기존기술 수준) - 현재 전 세계적으로 냉동해수담수화 공정의 상용화된 플랜트는 존재하지 않으며, LNG를 이용한 냉동해수담수화 공정에 대한 연구 또한 실험실 규모로 진행 중에 있음 - 기존에 존재하고 있던 막증발법(Membrane distillation), 공용점을 이용한 냉동해수담수화법 등을 융합시켜 수율을 증가시키는 방법을 모색 중에 있음 (개발기술 수준) - 실험실 규모의 LNG 냉동해수담수화 공정 연구 진행을 위한 장치 제작	
성과달성 책임자 (소속기관)	장 암 (성균관대학교)	
소요기간	'16.12 ~ '17.05(6개월, 1년차)	
성과달성 확인방법	- 장치 운전을 통한 냉동해수담수화 공정이 정상적으로 운전되는지 확인 - 결빙 여부, 처리수의 염 제거 유무 등을 판단하여 장치제작의 완성도 확인	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	출원 : 1건
	논문	0건
	저작	0건
	S/W	0건
	신기술	0건
	기타	1건

핵심성과 2	인공해수를 이용한 냉동해수담수 응결공정의 최적 운전조건 도출	
정의	인공해수를 이용하는 LNG 냉동해수담수화 공정에서 염의 농도 및 유기물의 성상에 의한 메커니즘 규명을 통한 공정 최적화	
목적	냉동해수담수화 연구의 초기단계로 관련 데이터 확보와 LNG 냉동해수담수화 공정의 효율 최적화	
성능목표	(기존기술 수준) - 국내의 경우 LNG 플랜트 냉열을 이용한 냉동해수담수화 연구가 진행되고 있지 않은 실정으로 확보된 실험 데이터가 미흡함 (개발기술 수준) - 연구실 규모의 장치를 이용한 공정의 최적화를 통하여 추후의 연구에 효율적인 설계 및 운영을 위한 데이터 확보	
성과달성 책임자 (소속기관)	장 암 (성균관대학교)	
소요기간	'17.06 ~ '18.05(1년, 2년차)	
성과달성 확인방법	- 최적 운영조건을 찾기 위한 여러 실험조건(응결조 최적온도, 교반 속도, 최적해수유입량, 세정수 사용량 등)을 통하여 처리수의 염제거율, 수질의 최적조건 확인	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	출원 : 1건
	논문	SCI(E) : 2건
	저작	0건
	S/W	0건
	신기술	0건
	기타	0건

3. 연구개발의 추진전략 · 방법 및 추진체계

3-1. 연구개발 추진전략 · 방법

- 국내외 냉동해수담수화 및 LNG 플랜트 기화열 활용방안에 대한 선행연구 조사
 - 참고문헌 및 관련서적 자료 조사 및 분석
 - 기존 공정의 열역학적 메커니즘 파악
 - 분석 결과를 바탕으로 기존 냉동해수담수화 공정과 LNG 플랜트 기화열을 이용한 LNG 냉동해수담수화 공정 설계

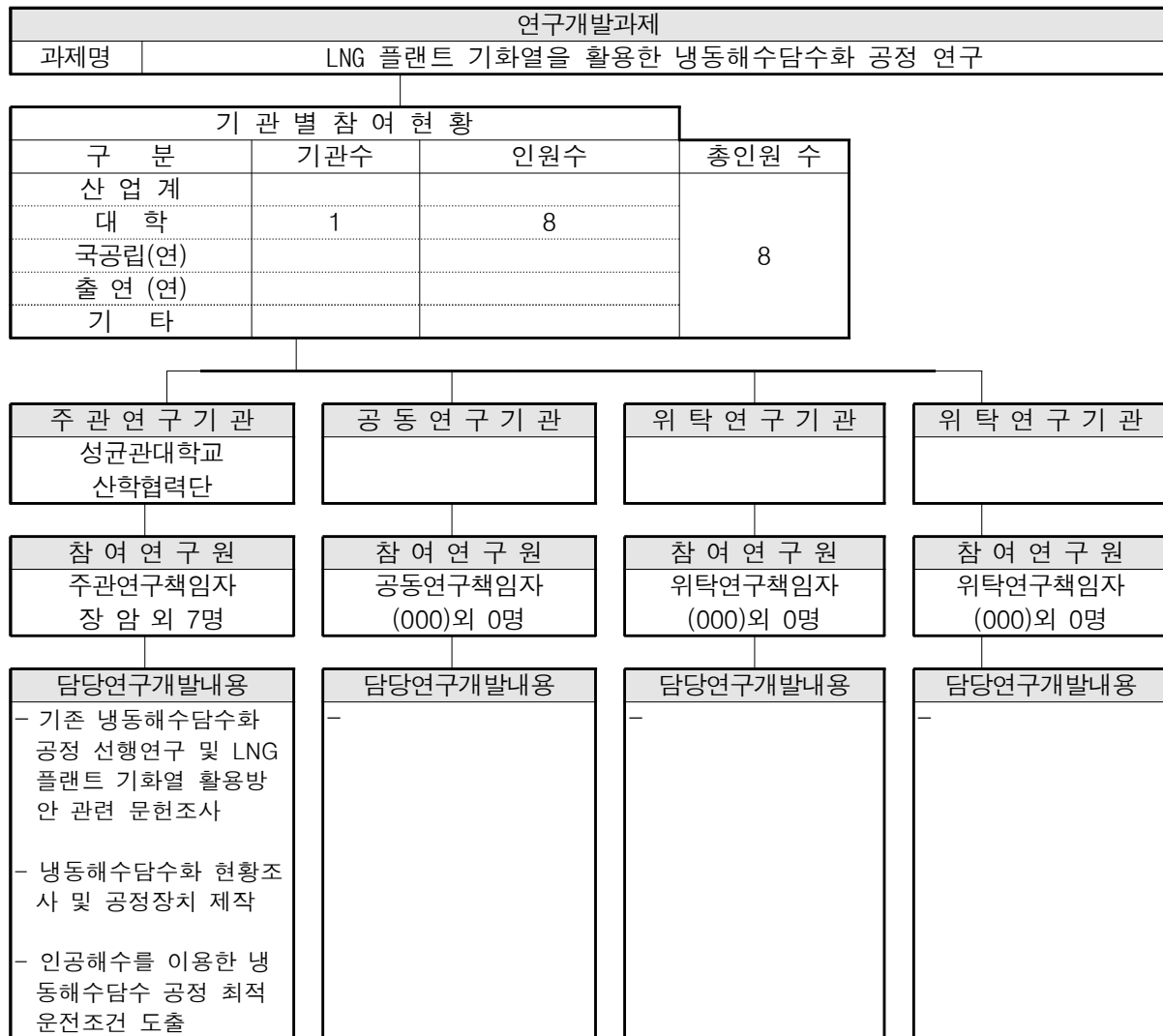
 - 실험실 규모의 냉동해수담수화 장치 설계 및 제작
 - 각종 학술지 문헌 및 보고서 검색
 - 관련 전문가의 조언 및 연구진 심층 토론을 통한 실험에 적합한 장치설계
 - LNG 냉동해수담수화 공정에 적합한 실험실 규모의 응결장치 제작

 - 인공해수를 이용한 냉동해수담수화 공정 최적 운영조건 파악
 - 인공해수에서 다양한 인자(응결조 최적온도, 교반속도, 최적 해수유입량, 세정수 사용량 등)에 대한 실험을 통해 냉동해수담수화 운전효율 평가
 - 냉동해수담수화 공정을 통한 인공해수와 처리수의 수질 비교
 - 평가를 통해 최적 운영조건 도출

 - 냉동해수담수화 공정 운전 시, 요구되는 전력량 산정
 - 냉동해수담수화 응결장치 운전 시 발생하는 처리수에 따른 요구전력비용 산정
 - 처리수 1L 당 요구 전력 비용 (원/L) = (응결장치 구동시간(분) x 시간 당 전기료(원/분)) / 처리수량(L)
 - 추후 스케일 업 연구 진행 가능성 여부 판단
-

3-2. 연구개발 추진체계

○ 연구수행 체계도



3-3. 추진일정

구분	연구과제명 (연구 수행기관)	관련 성과목표/지표			세부추진내용 (연구수행 Activity)	Activity별 산출물	소요 연구비 (백만원)	1차년도				2차년도			
		핵심성과	단위성과	질적 성과지표				1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4
총괄															
주관	LNG 플랜트 열 이용 냉동해수담수화 공정 연구 (성균관대학교)	A	A-1	A-1-①	자료 조사	냉동해수담수화연구 현황 파악	34.0								
		A	A-2	A-2-①	열역학적 메커니즘 파악	실험실 규모장치 설계	33.0								
				A-2-②	요구성능 설정	실험실 규모장치 설계	50.0								
					장치제작	실험실 규모 장치제작	63.0								
		B	B-1	B-1-①	최적 운전조건 도출	냉동해수담수화 운전메뉴얼	90.0								
					특허 출원	특허출원	60.0								
		B	B-1	B-1-②	논문 게재	논문게재	70.0								

4. 연구개발성과의 활용방안 및 기대효과

4-1. 연구개발성과의 활용방안

○ 미래원천기술 확보를 통한 해수담수화 미개척 시장 개척

- 다양한 해수의 성상에 따른 냉동해수담수화 공정의 최적인자 도출을 통하여, 기존 냉동해수담수화 공정의 효율 극대화 가능
- 기존 해수담수화 공정 대비 낮은 에너지로 담수화가 가능하고 본 연구를 통해 LNG 냉동해수담수화 공정의 기술력을 확보하고 경쟁력을 갖추 수 있을 것으로 판단
- 추후 LNG 냉동해수담수화 공정의 연구 진행 시, 데이터베이스로 활용가능

○ 미래원천기술 확보를 통한 해수담수화 미개척 시장 개척

- 기존 역삼투 분리막을 적용하기엔 한계가 있었던 미개척 시장을 선도함으로써 해수담수화 시장의 새로운 'driving force' 역할 기대
- 적절한 후처리를 통해, 다양한 용도의 담수 생산이 가능함

냉동해수담수화 후처리 방법과 처리수 사용 가능분야의 예

후처리 방법	처리수 사용 가능 분야
RO + CDI	다목적 산업용수
MD + FO	다목적 산업용수
RO + Mineralization	음용수
기타	지하수 충전, 하천 유지수, 물재이용

○ LNG 플랜트 · 냉동해수담수화 플랜트 · 화력발전소 세 곳의 플랜트 연계를 통한 에너지 효율 극대화

- 제안된 냉동해수담수화 공정의 최적화를 통하여 기존 LNG 플랜트와 냉동해수담수화 플랜트의 연계를 뛰어넘어 LNG 플랜트와 냉동해수담수화 플랜트, 화력발전소 세 곳의 플랜트 연계를 추진함으로써 플

랜트 연계 시너지 효과를 한 단계 발전시킬 수 있을 것으로 기대됨 (Fig.23)

- 기존 LNG 플랜트 & 화력발전 연계 시설을 타겟으로 선정하여 비 해수담수화 시장으로 분류되었던 미개척 시장을 선도하여 냉동해수담수화 기술이 해수담수화 시장의 새로운 'driving force' 역할을 기대
- 평택지구나 통영지구와 같이 기존 지역에 위치한 LNG 플랜트와 화력발전소 사이에 LNG 냉동해수담수화 공정을 도입하여 LNG 플랜트에서 발생하는 -162°C 의 기화열로 해수를 담수화 시키고, 냉동해수담수화 공정을 통해 배출되는 저온의 농축수는 화력발전소에서 냉각수로 사용하고 배출되는 고온의 해수와 혼합하여 적절한 해수온도로 중화시켜 바다로 방류함으로써 에너지 저감 및 해양생태계에 미치는 영향을 최소화시킬 것으로 기대됨

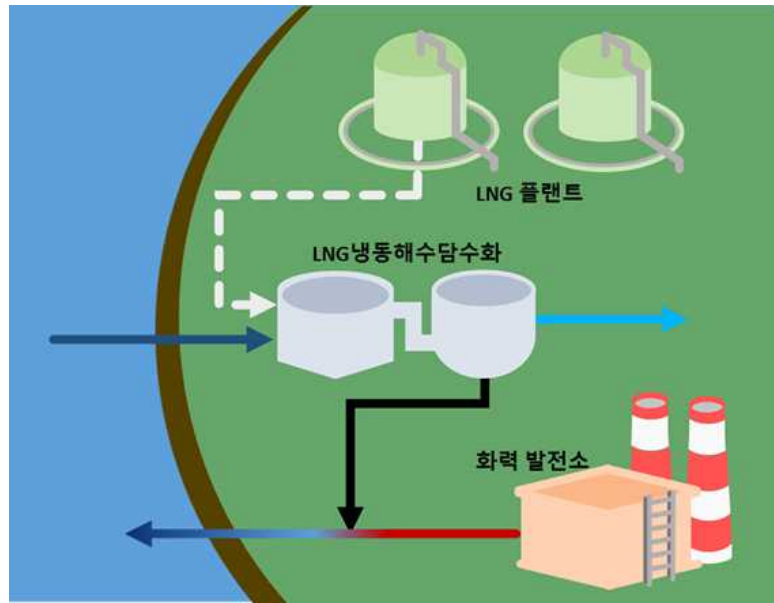


Fig.23 세 곳의 플랜트 연계 예상 모식도

4-2. 기대효과

○ 기술적 측면

- 새롭게 시도되는 최신 기술인 냉동해수담수화 공정의 최적인자 도출 및 제어에 대한 신규 특허, 신기술 인증 등을 위한 기술적용의 기초 자료로서 활용 가능하며 양질의 기술 개발의 토대가 됨
- 역삼투 해수담수화의 최대 단점인 막오염이 발생하지 않으므로 막오염 제어를 위한 전처리 기술 및 플랜트의 소형화를 이루어 기존 해수담수화 공정의 기술적 한계를 극복하고 효율성과 기술적 역량을 제고
- 기존 담수화 기술 대비 에너지 소모량 절감이 가능한 저에너지·고효율 융합공정 기술 개발을 통해 담수화 공정 강화에 기여
- 새로운 대체 수자원 확보 기술을 통한 기존 해수담수화의 기술적 한계 극복 가능

○ 경제적·산업적 측면

- 해수담수화 차세대 기술 확보를 통한 해수담수화 플랜트수주의 규모 증가
- 첨단융합연구를 통한 상용화 및 사업화에 대한 교두보를 마련하고, 이를 바탕으로 해수담수화 시장 진출
- 저에너지 고효율의 해수담수화 플랜트 건설 기술 확보로 에너지 절감 및 공정의 통합을 통해 경제성 향상 및 타 선진 물 산업 기업들과의 경쟁력 제고
- 차세대 해수담수화 공정에 대한 기초 자료 구축 및 각 세부와의 피드백을 통한 양질의 데이터베이스를 구축 후 홍보 및 판매가 가능하며, 각 과제의 연구 성과의 질을 높여 고 부가가치 기술 개발에 이바지 가능

○ 사회적 측면

- 해수 담수화 분야의 차세대 기술 확보를 통한 수자원 분야의 국가경쟁력 강화 및 국가위상 제고
- 차세대 해수담수화 공정에 대한 인식 제고에 따른 본 연구에 대한 관심 증가 및 인식 확대
- LNG 냉동해수담수화 공정을 통해 농축수 및 부산물 배출을 저감함으로써 해수담수화 플랜트가 해양 생태계에 미치는 영향 최소화
- 새로운 해수담수화 기술을 통한 가용수자원 증대방안 확보
- 국내외 해수담수화 전문가 그룹과의 인적 교류를 통한 네트워크 구축 및 전문 자문단 확보

5. 연구기관 현황

5-1. 주관연구책임자

가. 인적 사항

성명	국문	장 암 (한문) 張 巖	생년월일(성별)	1968. 06. 27
	영문	Am Jang	과학기술인등록번호	1009 9079
직장	기관명	성균관대학교	전화번호	031-290-7526
	부서	수자원학과	팩스번호	031-290-7549
	직위	부교수	휴대전화번호	010-6523-9731
	주소	(440-746) 경기도 수원시 장안구 서부로 2066 성균관대학교	전자우편	amjang@skku.edu

나. 학력

연도	학교명	전공	학위	지도 교수
1989 ~ 1995	성균관대학교	토목공학과	학사	신현목
1996 ~ 1998	광주과학기술원	환경공학	석사	김인수
1998 ~ 2002	광주과학기술원	환경공학	박사	김인수

(최종 학위 논문명)

Characterization of Nitrifying Biofilm through the Technique of Microelectrodes and Fluorescence in situ Hybridization (FISH)

다. 경력

연도	기관명	직위	비고
2002 ~ 2003	광주과학기술원	박사 후 과정	환경모니터링 센터
2003 ~ 2006	신시내티 대학교(미국)	박사 후 과정	환경센서 개발
2006 ~ 2010	신시내티 대학교(미국)	연구교수	L0C 칩 센서 개발
2010 ~ 2011	광주과학기술원	연구교수	환경센서 개발
2011 ~ 2015	성균관대학교	조교수	수처리 및 수질 모니터링 , 해수담수화
2015 ~ 현재	성균관대학교	부교수	수처리 및 수질 모니터링 , 해수담수화

라. 주요 연구 실적

연구 제목	연구 내용	연구 기간	발표 서적 또는 학술지명 (연호, 권호 포함)	연구 수행 당시의 소속 기관	역할 (연구책임자 또는 연구원)	연구개발비 지급 기관	비고
Comparative pyrosequencing analysis of bacterial community change in biofilm formed on seawater reverse osmosis membrane	SWRO 공정에서 미생물 개체군 변화에 따른 바이오파울링 발생 연관 관계에 관한 연구	2007.08.01. ~2008.08.01.	Environmental Technology (35(2), 125-136)	성균관대학교	연구책임자	국토해양부	SCI급
Influence of sodium hypochlorite used for chemical enhanced backwashing on biophysical treatment in MBR	MBR 공정에서 화학세정(CEB)에 사용되는차아염소산나트륨이 activated sludge에 끼치는 영향에 관한 연구	2011.05.01. ~2014.09.01.	Desalination (316, 104-109)	성균관대학교	연구책임자	국토해양부	SCI급
Reflection of the structural distinctions of source-different humic substances on organic fouling behaviors of S W R O membranes	SWRO 공정에서 휴믹물질에 의한 유기파울링 메커니즘에 관한 연구	2011.05.01. ~2014.04.30. 2007.08.01. ~2008.08.01	Desalination (318, 72-78)	성균관대학교	연구책임자	교육과학기술부, 국토해양부	SCI급
A study on the high-flux MBR system using PTFE flat sheet membranes with chemical backwashing	PTFE 평막을 적용한 MBR 공정에서 화학역세정(Chemical backwashing)에 따른 파울링 저감에 관한 연구	2011.11.01. ~2012.04.30.	Desalination (306, 35-40)	성균관대학교	연구책임자	환경부	SCI급
The effect of re-aggregated floc by additional coagulant on membrane	응집제 주입량에 따른 유기물의 제거 효율과 처리수의 잔류 알루미늄의 농도에 관한 연구	2012.04.06. ~2014.11.30.	Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers (44, 802-807)	성균관대학교	연구책임자	광해관리공단	SCI급

* 비고란에는 지식재산권 출원, 취득 등 특기할 만한 사항을 기술함

마. 수상 경력

연도	수상명	수상 내용
2015	환경부장관 표창	지방상수도 운영, 관리부문
2014	7회 IDW 우수 논문상	포스터 발표
2014	환경공학회 우수 논문상	구두 발표
2014	토목공학회 우수 논문상	포스터 발표
2007	Alumni Research Award from GIST	Alumni Research Award

바. 국내외 학(협)회 활동(해당 시 작성)

연도(부터 ~까지)	학(협)회명	직책	비고
2016	현재	대한환경공학회	총무이사
2013	2015	대한환경공학회	총무부이사
2014	현재	대한환경공학회	영문편집위원
2013	현재	대한토목공학회	영문편집위원
2015	현재	한국막학회	학술이사
2013	현재	한국상하수도학회	이사

사. 최근 5년간의 논문 실적(10개 이내로 작성)

순번	논문명	게재지 (권, 쪽)	게재 연도 (발표연도)	역할	비고 (피인용 지수)
1	Development of a rotary disc voltammetric sensor system for semi-continuous and on-site measurements of Pb(II)	Chemosphere. 2016(143). 78-84	2016	교신저자	3.340
2	Foulant characterization and distribution in spiral wound reverse osmosis membranes from different pressure vessels	Desalination (370,44-52)	2015	공동저자	3.960
3	Influence of microbubble in physical cleaning of MF membrane process for wastewater reuse	Environmental Science and Pollution Research (22,8451-8459)	2015	교신저자	2.757
4	Formation and speciation of haloacetic acids in seawater desalination using chlorine dioxide as disinfectant	Journal of Industrial and Engineering Chemistry (26,193-201)	2015	교신저자	2.063
5	The role of a combined coagulation and disk filtration process as a pre-treatment to microfiltration and reverse osmosis membranes in a municipal wastewater pilot plant	Chemosphere (117,20-26)	2014	교신저자	3.340
6	Reflection of the structural	Desalination	2013	교신저자	3.960

	distinctions of source-different humic substances on organic fouling behaviors of SWRO membranes	(318,72-78)			
7	The effect of re-aggregated floc by additional coagulant on membrane	Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers (44,802-807)	2013	교신저자	3.000
8	Influence of sodium hypochlorite used for chemical enhanced backwashing on biophysical treatment in MBR	Desalination (316,104-109)	2013	교신저자	3.960
9	Enhancing the production of Rhodobacter sphaeroides-derived physiologically active substances using carbonic anhydrase-immobilized electrospun nanofibers	Biomacromolecules (13,3780-3786)	2012	공동저자	5.750

아. 특허/프로그램 출원·등록 실적

번호	특허/프로그램명	국가명	출원·등록일	출원·등록 순번 / 출원·등록자 수	비고
1	LNG폐열을 이용한 융합형 저에너지 냉동해수담수화 시스템 및 방법	한국	2016.02.05	10-2016-00146864	출원
2	고분자 유도물질을 사용한 에너지 저감형 정삼투막-여과막 결합 수처리와 해수담수화 시스템 및 방법	한국	2015. 10. 22	10-2015-0147526	출원
3	분리막 생물 반응조-삼투 미생물 연료 전지 융합 수처리 시스템 및 수처리 방법	한국	2015. 10. 22	10-2015-0147525	출원
4	이중 순환형 정삼투-역삼투 복합 수처리 시스템 및 이의 제어방법	한국	2015. 06. 29	10-2015-0092065	출원
5	원터치 피팅 온도계	한국	2015.07.03	10-1535742-00006	등록
6	하이브리드 해수 담수화 장치 및 방법	한국	2015.07.03	10-1535719-00004	등록
7	에어를 이용한 막증류모듈 역세정 장치 및 방법	한국	2015.03.30	10-1508852-00004	등록
8	여과모듈 세정을 위한 정삼투 담수화 장치	한국	2015.01.06	10-1481894-00002	등록
9	조류독소 검출용 고감도 형광 면역 센서 및 이를 이용한 조류독소의 경쟁적 형광 면역 분석방법	한국	2013.10.24.	10-1323804-0000 5	등록

10	세라믹 막여과공정의 고압 역세정 장치 및 방법	한국	2013. 12. 11.	10-1342689-00008	등록
11	조수간만의 차를 이용한 해수 담수화 장치 및 이를 이용한 해수 담수화 방법	한국	2014.05.22	10-1400992-00008	등록

자. 기술 이전 및 사업화 실적(해당 시 작성)

자-1 기술 이전 및 사업화 발생 과제 내용

번호	프로그램명 (시행 부처/기관)	과제명	총 개발 기간 (시작-종료일)	총 사업비 (백만원)	실적 구분 (기술 이전, 사업화)
2013A-7183-010-110	자원 회수형 MBR-F0 하수처리 시스템	대한민국	(주)미래지앤씨	2.0	기술 이전

자-2. 기술 이전 실적

실적 발생 과제 번호	기술 이전 내용	대상 국명	대상 기관명	이전 일시	금액(백만원)
2013A-7183-010-110	자원 회수형 MBR-F0 하수처리 시스템	대한민국	(주)미래지앤씨	2014.01.13	2.0

자-3. 사업화 실적

실적 발생 과제 번호	사업화 내용	사업화 업체명	제품명	금액(백만원)

차. 최근 5년 내에 종료된 국가 R&D 과제의 수행 현황

(단위: 천원)

연구 과제명	연구 수행 기관	참여 시작일	참여 기간(개월)	참여율
부처명/사업명	참여 유형	참여 종료일	해당 연도 연구개발비	
수질정화시설 원격관리시스템 구축을 위한 센서 개발	성균관대학교산학협력단	2012.04.01	24개월	30
광해관리공단/광해방지기술개발사업	주관연구책임자	2014.11.30	510,908,000	
도금 공정 폐수 재이용을 위한 계면활성제 제거용 세라믹 필터 모듈 개발	성균관대학교산학협력단	2013.12.01	11개월	5
중소 기업청/구매조건부 신제품 개발 사업	위탁연구책임자	2014.11.30	67,600,000	
개발지구 생활폐기물 발생량 실측 및 원단위 수립용역	성균관대학교산학협력단	2014.02.26	12개월	24.75
LH 토지주택연구원/개발지구 생활폐기물 발생량 실측 및 원단위 수립용역	위탁연구책임자	2015.02.25	104,920,500	
녹조 발생 예방을 위한 하수처리장 선진화 전략 : 수질관리항목을 T-P에서 Ortho-P로의 전환에 관한 정책연구	대한환경공학회	2014.01.01	12개월	15

한국과학기술연구원/개방형연구사업	주관연구책임자	2014.12.31	20,000,000	
Cyanotoxin의 검출을 위한 모니터링 기술개발	성균관대학교산학협력단	2013.04.01	8개월	9
KIST/ 개방형 연구사업	주관연구책임자	2013.12.31	50,000,000	
경기도 물 산업 육성을 위한 협의체의 활성화 및 경쟁력 강화방안	성균관대학교산학협력단	2013.04.01	8개월	9
경기녹색환경지원센터	주관연구책임자	2013.12.31	50,000,000	
자원 회수형 MBR-FO 하수처리 시스템 개발	성균관대학교산학협력단	2013.04.01	9개월	10
교육과학기술부 연구 사업단/ 산학협력 선도대학(LINC) 육성사업 (산학 공동 기술개발과제)	주관연구책임자	2014.01.31	42,000,000	
막 결합형 생물반응기 (MBR)의 biofouling 저감을 위한 aerobic granular sludge 적용 연구	성균관대학교산학협력단	2012.07.01	11개월	12
성균관대학교/ 삼성학술연구기금	위탁연구책임자	2013.06.30	15,000,000	
이동식으로 설치 가능한 중소규모 컨테이너형 패키지 하수처리 시스템 개발	성균관대학교산학협력단	2011.11.01	29개월	30
환경부 / 글로벌탑 환경기술개발사업	위탁연구책임자	2014.04.30	90,000,000	
수인성 미생물 다중 검출용 랩온어칩 기반의 나노바이오 센서 개발	성균관대학교산학협력단	2011.05.01	35개월	36
한국 연구재단 / 일반연구자지원사업	주관연구책임자	2014.04.30	180,000,000	

카. 현재 수행 중인 타 과제 현황

(단위: 천원)

연구 과제명	연구 수행 기관	참여 시작일	참여 기간(개월)	참여율
부처명/사업명	참여 유형	참여 종료일	해당 연도 연구개발비	
박막 복합 나노물질을 이용한 수계 다중 유해물질 측정 센서 개발	성균관대학교 산학협력단	2014.05.01	12개월	5
한국연구재단 중견 연구자 지원사업	주관연구책임자	2017.04.30	102,000	
정삼투-역삼투 메카니즘 규명 및 수질제어 운영 엔지니어링 고도화 기술	성균관대학교 산학협력단	2014.12.01	12개월	30
국토교통과학기술	주관연구책임자	2019.11.30	208,000	

진흥원 플랜트 연구사업				
지식기반 환경서비스 특성화대학원 사업	성균관대학교 산학협력단	2015.09.01	36개월	20
한국환경산업기술원/지 식기반 환경서비스 전문인력양성사업	주관연구책임자	2018.08.31	704,625	

타. 이 연구개발과제와 동일 또는 유사한 과제를 타 기관에 신청하였을 경우

과제명	신청 대상 기관	신청 연구개발비(원)	연구 기간	역할 (연구책임자 또는 연구원)	비고

5-2. 협동 · 공동 · 위탁 연구책임자

가. 인적사항

성명	국문	(한문)	생년월일(성별)	
	영문		과학기술인등록번호	
직장	기관명		전화번호	
	부서		팩스번호	
	직위		휴대전화번호	
	주소	(-)	전자우편	

나. 학력

연도	학교명	전공	학위	지도 교수
~				

(최종 학위 논문명)

다. 주요 연구 실적

연구 제목	연구 내용	연구 기간	발표 서적 또는 학술지명 (연호, 권호 포함)	연구 수행 당시의 소속 기관	역할 (연구책임자 또는 연구원)	연구개발비 지급 기관	비고

* 비고란에는 지식재산권 출원, 취득 등 특기할 만한 사항을 기술함

라. 현재 수행 중인 타 과제 현황

연구 과제명	연구 수행 기관	참여 시작일	참여 기간(개월)	참여율
부처명/사업명	참여 유형	참여 종료일	해당 연도 연구개발비	
		yyyy. mm. dd		
		yyyy. mm. dd		

5-3. 참여연구원 현황

번호	소속 기관명	직위	생년 월일	전공 및 학위		연구 담당 분야	신규 채용 여부	국가연구개발 사업 참여율 (%) [B]	국가연구개발사업 참여 과제 수 (건)
	성명	과학기술인 등록번호	성별	취득 연도	학위 (전공)	과제 참여 기간	이 과제 참여율 (%) [A]	전체 참여율 [A+B, %]	
1	성균관 대학교	박사 연구생	1979. 11.08	2012	석사	공정설계		82.22	3
	이용구	1108 8024	남			16.06.22~17.06.21	15	97.22	
2	성균관 대학교	석사 연구생	1990. 05.24	2015	학사	공정설계		63.33	2
	임승주	1144 5739	남			16.06.22~17.06.21	10	73.33	
3	성균관 대학교	학사 연구생	1993. 02.15			장치제작			1
	신혜인	1161 2576	여			16.06.22~17.06.21	89	89	
4	성균관 대학교	학사 연구생	1990. 12.24			장치제작			1
	박원일	1161 3517	남			16.06.22~17.06.21	89	89	
5	성균관 대학교	석사 연구생	1986. 04.21	2012	학사	장치제작			1
	Narada DAYARA THNE	1161 2653	남			16.06.22~17.06.21	40	40	
6	성균관 대학교	석사 연구생	1992. 07.21	2015	학사	공정운전			1
	Porawin CHAROENAN	1161 2726	남			16.06.22~17.06.21	10	10	
7	성균관 대학교	석사 연구생	1993. 09.24	2015	학사	공정운전			1
	Le Minh HOANG	1161 2664	남			16.06.22~17.06.21	40	40	

가. 여성 참여 인력 비율

(단위: 명, %)

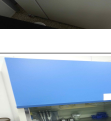
주관연구기관의 총 참여 인력 수	주관연구기관의 여성 참여 인력 수	주관연구기관 소속 연구원 중 여성 참여 인력 비율	비고
7	1	0.14%	

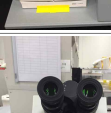
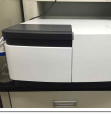
나. 신규 인력 채용 계획 및 활용방안

○

5-4. 연구시설 · 장비 보유 현황

보유 기관	연구시설 · 장비명	규격	수량	용도	활용 용도 및 시기
-------	------------	----	----	----	------------

성균관 대학교	저온 배양기 LOW TEMP. INCUBATOR MODEL : IL-11		1	미생물 배양	미생물 배양
성균관 대학교	SHAKING INCUBATOR MODEL : VS-8480SF		1	미생물 배양 및 교반	미생물 배양 및 교반
성균관 대학교	POTENTIOSTAT GALVANOSTAT		1	전기화학분석	전기화학분석
성균관 대학교	FORCED CONVECTION OVEN 강제 순환식 드라이 오븐 MODEL : JSR JSOF-150		1	시료 건조	시료 건조
성균관 대학교	DR-6000		1	시약 분석	시약 분석
성균관 대학교	JAR-TEST		1	액체 교반	액체 교반
성균관 대학교	초순수기기		1	초순수 제조	초순수 제조
성균관 대학교	YSI MULTI METER		1	수질 측정	수질 측정
성균관 대학교	VACUUM PUMP MODEL : DOA-P704-AA		1	시료 제거를 펌프	시료 제거를 펌프
성균관 대학교	AUTOClave 고압증기멸균기 MODEL : DS-PAC40		1	시약병 멸균	시약병 멸균
성균관 대학교	CLEAN BENCH MODEL : 1300C		1	무균 상태 유지	무균 상태 유지
성균관 대학교	FUME HOOD		1	내부 공기 배출	내부 공기 배출
성균관 대학교	Micro Centrifuge MODEL : Micro-12		1	소형 원심분리	소형 원심분리
성균관 대학교	HOT PLATE & MAGNETIC STIRRE MODEL : MS300HS		5	시료 교반	시료 교반
성균관 대학교	저온순환수조 MODEL : DRC8		1	항온 상태 유지	항온 상태 유지

성균관 대학교	TOC ANALYZER MODEL : TOC-L CPH		1	수질 측정 분석	수질 측정 분석
성균관 대학교	Digital Muffle Furnace 전기로 MODEL : DMF-3		1	시료 소각	시료 소각
성균관 대학교	PRESSURE VESSEL MODEL : 316SS		1	대기압 이상 압력 견딜	대기압 이상 압력 견딜
성균관 대학교	CERAMIC PILOT		1	세라믹 막 자동운전	세라믹 막 자동운전
성균관 대학교	냉장쇼케이스 MODEL : CSR-490R		2	시료 냉장 보관	시료 냉장 보관
성균관 대학교	Star A321 Portable pH Meter		1	수질 pH 측정	수질 pH 측정
성균관 대학교	Liquid Particle Counter MODEL : PC3400		1	입자 분석	입자 분석
성균관 대학교	삼투압 측정기		1	삼투압 측정	삼투압 측정
성균관 대학교	현미경 MODEL : U-LH100HG		1	미생물 관찰	미생물 관찰
성균관 대학교	FEEM MODEL : RF-6000		1	시료 분석	시료 분석
성균관 대학교	원심분리기 MODEL : LaboGene 1236R		1	시료 원심분리	시료 원심분리

5-5. 기관(기업) 정보 현황

가. 기관(기업) 현황

	구분	수행 기관명	성균관대하 산학협력단	○○○	○○○
①	사업자등록번호		101-82-12009		
②	법인등록번호		110171-0029501		
③	대표자 성명(국적/성별)		유지범(대한민국/남)		

④	최대 주주(국적)		-			
⑤	기업(기관) 유형 (중소기업, 중견기업, 대기업) (대학, 출연연, 국공립연, 기타 등)		대학			
⑥	설립 연월일		2004.03.22			
⑦	주생산 품목		학술연구용역			
⑧	상시 종업원 수		107			
⑨	전년도 매출액(백만원)		193,260.2			
⑩	매출액 대비 연구개발비 비율		97.2%			
⑪	부채 비율	2014년	823.6(순부채비율 17.4)			
		2015년	686.0			
⑫	유동 비율	2014년	100.9			
		2015년	91.0			
⑬	자본 잠식 현황	자본총계 (백만원)	2014년	7,708.9		
			2015년	12,428.8		
		자본금 (백만원)	2014년	7,708.9		
			2015년	12,428.8		
⑭	이자 보상 비율		2014년	-		
			2015년	-		
⑮	영업 이익 (백만원)		2014년	4,783.3		
			2015년	5,504.2		
⑯	주소		(440-746) 경기도 수원시 장안구 서부로 2066 성균 관대학교 내	(-)	(-)	
⑰	연구기관별 실무담당자	성명	임승주			
		부서/직위	석사연구생			
		사무실 전화	031-290-7535			
		휴대전화	010-3895-0446			
		팩스번호	031-290-7549			
		전자우편	sungjuim@naver.com			
⑱	연구지원부서 담당자	성명	이은비			
		부서/직위	연구지원팀/ 이은비			
		사무실 전화	031-290-5773			
		휴대전화				
		팩스번호	031-290-5104			
		전자우편	silverbi12@skku.edu			

* 비영리기관의 경우 ⑦번~⑯번 항목은 기입 불필요

6. 연구개발비

【기초 연구 과제 유형】

6-1. 연구개발비 총괄표

1) 연차별 총괄

(단위: 천원)

구분	1차 연도 (2016)		2차 연도 (2017)		3차 연도 (2018)		합계
	금액	%	금액	%	금액	%	
정부출연금	180,000	100%	220,000	100%			400,000
기업 부담 금	현금						
	현물						
	소계						
정부 외 출연금							
합계		100%		100%		100%	100%

2) 연차별 정부출연금, 기업부담금(현금, 현물) 및 정부 외 출연금 배분 내용

(단위: 천원)

구 분		주관연구기관명 (성균관대)	공동연구기관명1 (000)	공동연구기관명n (000)	계
1차 연도	정부출연금	180,000			180,000
	기업 부담금	현금			
		현물			
		소계			
	정부 외 출연금				
	합계	180,000			180,000
2차 연도	정부출연금	220,000			220,000
	기업 부담금	현금			
		현물			
		소계			
	정부 외 출연금				
	합계	220,000			220,000
총계	정부출연금	400,000			400,000
	기업 부담금	현금			
		현물			
		소계			
	정부 외 출연금				
	합계	400,000			400,000

3) 비목별 총괄

(단위: 천원)

비목	세목			1차 연도	2차 연도	합계	
				2016	2017		
직 접 비	인건비	내부 인건비	미지급		(12,960)	(12,960)	
			지급	현금			
				현물			
				외부	미지급		

		인건비	지급	현금			
				현물			
	학생인건비				47,460	47,460	
	소계				47,460	47,460	
	연구장비· 재료비		현금		62,610	87,880	
			현물				
	연구활동비				11,000	15,000	
	연구과제추진비				5,500	7,000	
	연구수당				11,900	11,900	
	소계				91,010	121,780	
	위탁연구개발비						
	직접비 소계				138,470	169,240	
간접비				41,530	50,760		
연구비 총액				180,000	220,000		

6-2. 기업부담 연구개발비 중 참여기업별 부담 금액(참여기업이 있는 경우만 기재)

(단위: 천원)

기업명	기업 유형	기업 부담액		
		현금	현물	계
합 계				

6-3. 비목별 연구개발비 소요명세(1차년도)

1) 차년도 연구개발비 비목별 총괄

(단위: 천원)

비목	주관연구기관명 (성균관대)		공동연구기관명 (000)		공동연구기관명 (000)		합계		구성비 (%)
	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	
1. 직접비	138,470						138,470		76.9
1.1 인건비	(12,960)						(12,960)		
1.2 학생인건비	47,460						47,460		26.4
1.3 연구장비·재료비	62,610						62,610		34.8
1.4 연구활동비	11,000						11,000		6.1
1.5 연구과제추진비	5,500						5,500		3.1
1.6 연구수당	11,900						11,900		6.6
1.7 위탁연구개발비									
2. 간접비	41,530						41,530		23.1
2.1 인력지원비									
2.2 연구지원비									
2.3 성과활용지원비									
합계	180,000						180,000		100%

6-4. 비목별 연구개발비 소요명세(1차 연도)

1) 직접비: 138,470 천원

가) 인건비

가)-1. 내부인건비

(단위: 천원)

구분	성명	소속 기관명	직급	직위	참여 시작일	참여 종료일	지급 구분
	과학기술인 등록번호	소속 부서명	국적	월 급여	참여율(%)	총액	
주관	장암	성균관대학교	교수	부교수	2016.06.22	2017.06.21	미지급
	1009 9079	건설환경공학부/수자원 대학원	대한민국	7,200	15	12,960	
협동							
공동							
위탁							

가)-2. 외부인건비

(단위: 천원)

구분	성명	소속 기관명	직급	직위	참여 시작일	참여 종료일	지급 구분
	과학기술인 등록번호	소속 부서명	국적	월 급여	참여율(%)	총액	
주관							
협동							
공동							
위탁							

나) 학생인건비(학생인건비 통합관리 시행기관인 경우)

(단위: 천원)

구분	월 급여	월 작업량(man-month)	총액	비고
박사후연구원				
박사 과정	2,500	2	4,500	
석사 과정	1,800	10.8	21,600	
학사 과정	1,000	21.36	21,360	
합 계		34.16	47,460	

나) 학생인건비(학생인건비 통합관리 미시행기관인 경우)

성명	과정명	학과/학부명	월 급여	참여 기간(개월)	참여율(%)	합계(단위: 천원)
합 계						

다) 연구장비 · 재료비

(단위: 천원)

구분	내용	단가	횟수(수량, 건)	금액		비고
				현금	현물	

연구장비	실험실 규모 LNG 냉동해수담수화 응결장치	14,300	1	14,300		장치제작
	염제거율 측정장치	2,000	3	6,000		공정실험
	액체질소 탱크(20L)	880	2	1,760		공정실험
	DI water system	1,000	3	3,000		공정실험
재료비	방수용 액체질소 장갑	220	3	660		공정실험
	기어펌프	1405	2	2,000		공정실험
	저울	595	2	1,190		공정실험
	초자류	1,000	10	10,000		공정실험
	Magnetic stirrer	150	10	1,500		공정실험
	피펫팁	300	20	6,000		소모품
	Falcon tube	100	10	1,000		소모품
	초순수생산기 소모필터	500	10	5,000		소모품
	Latex Glove	350	6	2,100		소모품
	Sodium Chloride(1kg)	200	10	2,000		소모품
	액체 질소	300	20	6,000		소모품
	온도계	100	1	100		소모품
총액				62,610		

- 필요성 및 용도

구분	품 명	필요성 및 용도
연구시설		
연구장비	실험실 규모 LNG 냉동해수담수화 응결장치	시중에 판매되고 있는 응결장치들은 해수담수화를 위한 용도가 아닌, 단순히 담수를 얼리는 용도에 쓰임. 냉동해수담수화를 위해서는 극저온 냉매의 수용이 가능하고, 냉매를 통해 응결장치의 온도조절이 가능하며, 염도가 있는 물에도 잘 버틸 수 있는 재료의 응결장치가 필요함. 이를 위해, 직접 디자인한 응결장치를 기업에 의뢰하여 제작
	염제거율 측정장치	인공해수를 이용하여 냉동해수담수화 실험 시, NaCl뿐만 아니라 인공 해수 속의 다른 용존 물질들을 얼마나 제거 했는지 측정하는 장치. 이를 통해, 냉동해수담수화의 전처리나 후처리의 필요성 여부를 확인 할 수 있음.
	액체질소 탱크(20L)	응결장치에 공급 할 극저온의 냉에너지를 발생시키는 액체질소 및 액체질소를 담고있는 탱크.
	DI water system	초순수에 염을 합성하여 인공해수를 만들고, 인공해수의 결빙 이후, 결빙 표면에 있는 염을 제거하기 위해서는 초순수를 분사시켜야 함. 이런 초순수를 제조하기 위한 시스템.
재료비	방수용 액체질소 장갑	극저온의 액체를 다루는 실험이므로, 이에 특성화 되어 있는 특수 장갑을 씌므로 인체를 보호할 수 있음.
	기어펌프	응결장치에 인공해수를 주입 시, 그리고 인공해수의 결빙 이후, 얼음 슬러리와 농축수를 분리하는 데 적정 압력을 기여할 수 있는 재료.

	저울	실험 시 쓰이는 각종 물질(NaCl, 인공해수 양, 결빙된 물의 양 등)을 측정하는 데 쓰임.
	초자류	응결장치 제작 전, 응결장치에 필요한 인자들을 확인할 모의실험에 쓰이는 초자류. 극저온에도 사용이 가능한 특수 재질 초자류가 필요.
	Magnetic stirrer	균일한 농도의 얼음을 생성하기 위해 지속적인 Stirring이 필요하며 이러한 stirring을 제공하기 위해 씀.
	피펫팁	정량의 용액을 추출 시 사용하는 피펫의 팁. 일회용이며, 용액 제조 및 성분 확인 시에도 쓰이는 팁임. 2년의 실험을 위해 20세트를 고려함.
	Falcon tube	실험 시 생성되는 결과물들을 보관하고, 분석 시 사용.
	초순수 생산기 소모 필터	DI water sytem과 함께 쓰이는 필터로써, 일반 수돗물에 이온들을 거르는 용도임. 사용 기간이 2개월~3개월이며, 사용 후 교체가 필요.
	Latex Glove	극저온 유체 작업 외에 모든 작업 시에는 Latex glove를 착용함으로써 안전에 유의하고, 기기작업에 편리성을 부과함.
	Sodium Chloride(1kg)	인공해수를 합성 시에 씀.
	액체 질소	실험실 규모의 응결장치에서 극저온을 생성시키는 냉매역할.

라) 연구활동비

(단위: 천원)

구분	내용	단가	횟수(수량, 건)	금액	비고
국외 출장여비	태국학회참석 Korea-ThailanConference Environmental Engineering 중국학회참석 IEEE	4,000	2	8,000	
인쇄·복사·인화·슬라이드 제작비					
공공요금, 제세공과금 및 수수료					
위탁정산수수료					
전문가활용					
국내외 교육훈련					
기술정보수집비					
문헌구입비					
회의장 사용료, 세미나 개최비					
학회·세미나 참가비	해외학회참가비 태국, 중국	300	2	600	
원고료, 통역료, 번역료, 속기료					
기술도입비					

시험분석, 검사, 임상시험, 기술정보수집, 특허정보조사 등 연구개발서비스 활용비	SEM, FT-IR, GC	240	10	2,400	
총액				11,000	천원

※ 국외출장 계획이 있는 경우 출장사유, 목적지, 기간, 인원 등 상세 내역 작성 필요

- 국외 출장여비 산출근거

(단위: 천원)

연구수행 기관	차수	직급	인원	횟수	국외 출장여비 세부산출 내역	금 액	
주관- 성균관대	1	교수	1	1	{(60,944+110,168)×4일}+(180,488×3박)+754,300	1,980,212원	
		소 계					
		출장 목적 및 사유			학회 참석 및 수환경 연구경향 파악		
		당해 연구개발과제 관련 내용			해수담수화의 국제적인 경향을 파악하여 냉동해수담수화공정 의 연구에 대한 집중도 파악		
		국내에서 관련정보를 입수하기 어려운 이유			국내에서 얻을 수 있는 수환경에 대한 연구지식이 국제적인 흐름을 파악하기에는 부족하다고 사료됨		
		출장자	장 암			출장 목적지 및 기관	중국, IEEE
		출장기간	('16. 10. 20 ~ '16. 10. 23)				
합계						1,980,212원	
연구수행 기관	차수	직급	인원	횟수	국외 출장여비 세부산출 내역	금 액	
주관- 성균관대	2	교수	1	1	{(60,944+110,168)×4일}+(180,488×3박)+794,000	2,019,912원	
		소 계					
		출장 목적 및 사유			학회 참석 및 발표		
		당해 연구개발과제 관련 내용			냉동해수담수화의 실험 자료를 이용한 포스터 발표 혹은 구두 발표		
		국내에서 관련정보를 입수하기 어려운 이유			포스터 발표 또는 구두 발표를 위한 학회참석		
		출장자	장암			출장 목적지 및 기관	태국, Korea - Thailand Conference Environmental Engineering
		출장기간	('17. 01. 15 ~ '17. 01. 18)				
합계							

마) 연구과제추진비

(단위: 천원)

구분	내용	단가	횟수(수량, 건)	금액	비고
국내출장여비	대전, 부산 등 국내출장 200,000원 × 10회	200	10	2,000	
시내교통비					
사무용품비	A4용지 외 290,000원×10회	290	10	2,900	
연구환경 유지를 위한 기기· 비품의 구입·유지비용 등 회의비(연구활동비의 회의장 사용료, 전문가 활용비 제외)					
식대	업무시간 종료 특근식대 30,000원×5명×6회	150	4	600	
총액				5,500천원	

연구환경 유지를 위한 기기·비품의 구입·유지 비용 세부산출 근거

(단위: 천원)

연구 수행기관	품 명	세부 산출내역	금액
주관- ○○○			
소 계			

바) 연구수당

(단위: 천원)

구분	산정 기준	금액	비고
연구수당	인건비 × (19.7)% = (11,900,000) 원	11,900	
합계		11,900	

사) 위탁연구개발비

_____ 천원

2) 간접비

(단위: 천원)

총액	41,530 천원(간접비율: 30 %)
----	-----------------------

7. 보안등급의 분류 및 결정 사유

보안등급 분류	보안	일반
		✓
결정 사유	제47조의4(보안등급 분류기준) ① 연구개발과제 보안등급은 다음 각 호와 같이 분류한다. 1. 보안과제: 연구개발성과 등이 외부로 유출될 경우 기술적·재산적 가치에 상당한 손실이 예상되어 보안조치가 필요한 경우로서 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 과제 가. 세계 초일류 기술제품의 개발과 관련되는 연구개발과제 나. 외국에서 기술이전을 거부하여 국산화를 추진 중인 기술 또는 미래핵심기술로서 보호의 필요성이 인정되는 연구개발과제 다. 「산업기술의 유출방지 및 보호에 관한 법률」 제2조제2호의 국가핵심기술과 관련된 연구개발과제 라. 「대외무역법」 제19조제1항 및 같은 법 시행령 제32조의2에 따른 수출허가 등의 제한이 필요한 기술과 관련된 연구개발과제 마. 그 밖에 장관이 보안과제로 분류되어야 할 사유가 있다고 인정하는 과제 2. 일반과제: 보안과제로 지정되지 아니한 과제 다음 기준에 따라 일반등급으로 분류하였음	

8. 연구실 안전조치 이행계획

가. 연구실 안전조치 이행계획

○ 안전관리대책

1) 실험실 안전 점검 체계

- 진단주기 : 매년 1회 이상 (매년 전체 연구실 및 실험실에 대해 정기안전점검 및 정밀안전진단

진행)

- 15년 12월 안전점검 진행 ⇒ 안점점검 결과에 따른 개선 및 수정 조치 진행 완료
- 추후조치 : 타 연구실 및 실험실과 연계하여 전체 연구실험실에 공지 및 시정요청 후 피드백
- 대상 : 연구개발 활동에 유해화학물질 관리법 제2조 7호에 따른 유해화학물질을 취급하는 연구실, 산업안전보건법 제39조에 따른 유해인자를 취급하는 연구실, 과학기술부령이 정하는 독성가스를 취급하는 연구실
- 실시 : 2년마다 1회 실시하여 교육부에 보고

○ 교육 훈련

- 1) 2016년 8월 예정 : 이공계열 전체 연구활동 종사자(교원, 직원, 연구원(보조원 포함), 대학원생, 학부생, 기타 실험에 참여하는 모든자)
 - 2) 2016년 12월 예정 : 매년 1회 연구실 안전법에서 정하는 유해인자에 노출된 인원(학부생, 대학원생) 실시(1학기) 단, 2학기에는 신규입학, 복학인원 대상으로 실시
 - 3) 방법
 - 사이버 교육 환경안전교육 등(홈페이지 개설 동영상교육), 자료/유인물, 외부 온라인상, 외부강사, 전문교육기관의뢰 등
 - 특별교육: 해당기관에서 자체 또는 외부의 전문기관에 의뢰하여 위탁교육 실시
-