

농축수 저감 및 미래 전략 자원 수집을 위한 친환경 해수담수화 기술 개발

Development of Green Desalination
Technology to Reduce Brine and Collect
Future Strategic Resources

2023. 12.

제 출 문

한국건설기술연구원장 귀하

본 보고서를 “농축수 저감 및 미래 전략 자원 수집을 위한 친환경 해수담수화 기술 개발”
과제의 보고서로 제출합니다.

2023년 12월 31일

주관연구기관명 : 한국건설기술연구원 환경연구본부
총괄연구책임자 : 연구위원 최준석
참여연구원 : 선임연구위원 황태문
수석연구원 운영한, 남숙현, 김은주, 노호정
최영권
전임연구원 박광덕, 구재욱
박사후연구원 이종훈, 신용현
학생연구원 김덕환

요 약 문

I. 연구 제목

농축수 저감 및 미래 전략 자원 수집을 위한 친환경 해수담수화 기술 개발

II. 연구개발의 목적

- 매년 반복적으로 발생하는 가뭄으로 인하여 발생하는 물부족에 대응하기 위한 방안으로 다양한 대체수자원 확보 기술이 개발되고 있으며, 이중 해수담수화 관련 기술이 주목받고 있음.
- 해수담수화 공정은 다른 수처리 공정과 비교할 때 높은 에너지가 필요하며, 담수 생산 과정에서 다량의 농축수가 발생하는 단점을 가지고 있음.
- 다만, 한정된 수자원 상황을 고려할 때 물부족 문제에 근본적으로 대응하기 위해서는 해수담수화 기술이 필요함.
- 따라서 탄소중립 실현을 위한 새로운 개념의 해수담수화 및 대체수자원 확보에 대한 장기적 비전 및 기술 개발 필요하며, 기후변화에 따른 국내 대체수자원확보와 글로벌 담수화 기술 패러다임 변화(친환경, 융복합, 스마트운영)에 능동적으로 대응할 수 있는 새로운 개념의 해수담수화 기술 확보 하고자 함.

III. 연구개발의 필요성

- 기후변화에 따른 영향으로 전 세계적으로 다양한 사회, 환경 문제가 발생하고 있으며, 특히 물과 관련된 문제로는 물부족 문제가 심각한 이슈로 대두되고 있음.
- 해수담수화 주요 기술인 역삼투(reverse osmosis, RO) 공정은 고압(60~80 bar) 운전 에 따른 높은 운전비용과 유입수의 농도가 증가함에 따라 에너지 소비량(kWh/m³)이 기하급수적으로 증가하기 때문에 낮은 회수율(<40~50%)에서 운전이 가능하며, 농축수의 해양 방류 시 심각한 해양 오염을 발생함.
- 즉, 담수화 농축수의 해양생태계 유해성에 대한 우려가 증가됨에 따라 방류량을 최소화 하기 위한 새로운 기술 개발의 필요성이 크게 증가하고 있음.
- 저방류 해수담수화를 위한 Brine 재농축 기술이 다양한 기업들(Hyrec, Toyobo 등)에

의해 파일럿 단계에서 검토되고 있음.

- 해수담수화의 확대 보급으로 인하여 농축수의 발생량이 증가하고 있으며, 이로 인한 환경영향 이슈가 부각되고 있음.
- 2019년 기준으로 약 16,000개의 담수화 플랜트에서 약 141,500만 m³/일의 농축수가 배출되고 있는 것으로 추산됨.
- 최근 농축수에 의한 환경영향에 대한 우려가 증가하고 있으며, 특히 사우디아라비아와 쿠웨이트 등 다수의 해수담수화 플랜트를 보유한 중동지역 국가에서 중요한 문제로 부각되고 있음.

IV. 연구개발의 내용

- 해수담수화 농축수 저감을 위한 핵심 기술 개발
 - 국내외 해수담수화 및 농축수 저감 기술 동향 조사
 - 해수담수화 농축수 저감을 위한 Lab. 규모 해수담수화 공정 실험
- 자원회수를 위한 바이오차, 폐자원 활용 전극소재 원천기술 개발
 - 농축수내 대상자원 수집 및 농축기술 동향 분석
 - 대상자원 회수를 위한 CDI용 전극소재 선정 및 제조 기술 개발
 - 제조전극 회수능 평가
- 해수 및 농축수 자원화를 위한 막증류 기술 개발
 - 국내외 해수 및 농축수 자원화 기술 및 시장 동향 조사
 - Lab-scale advanced membrane distillation 공정 설계 및 실험

V. 활용방안 및 기대효과

- 사회적 활용방안 및 기대효과
 - 기후변화에 따른 세계 물부족 문제 해결
 - 해수담수화 농축수의 환경문제 완화
 - 농축수를 이용한 중요 자원 국가 자립도 향상
 - 해수담수화 플랜트의 농축수 문제 해결에 의한 사회적 수용성 향상
- 경제적 활용방안 및 기대효과

- 중동의 기존 해수담수화 플랜트 개량사업에 적용 가능 기반 마련
 - 농축수로부터 경제적 이윤 창출 가능
 - 농축수를 이용한 새로운 비즈니스 창출 가능
 - 중소기업이 진입가능한 해수담수화 분야 틈새시장 개척
 - 자원회수 기술 분야 산업 생태계 활성화
- 정책적 활용방안 및 기대효과
- 신재생에너지 및 폐열 활용에 따른 탄소중립 정책 효과 기여
 - 농축수 활용 및 유가자원 활용에 따른 해수담수화 공정 효율 향상 및 이에 따른 저탄소 물부족 해결 방안 도출
 - 중동 및 유럽 지역 선진그룹 기술협력에 따른 국내 물관련 정책 이미지 제고

Executive Summary

I. Title

Development of Green Desalination Technology to Reduce Brine and Collect Future Strategic Resources

II. Objectives

- In response to the recurring droughts and water shortages that occur every year, various technologies for securing alternative water resources are being developed, among which seawater desalination-related technologies are attracting attention.
- The desalination process requires high energy compared to other water treatment processes and has the disadvantage of producing a large amount of concentrated water in the process of producing fresh water.
- However, given the limited water resources, seawater desalination technology is needed to fundamentally respond to water scarcity.
- Therefore, it is necessary to develop a long-term vision and technology for securing new concepts of seawater desalination and alternative water resources to realise carbon neutrality, and to secure new concepts of seawater desalination technology that can actively respond to domestic alternative water resources due to climate change and global desalination technology paradigm changes (eco-friendly, convergence, smart operation).

III. Necessities

- Various social and environmental problems are occurring around the world due to the effects of climate change, and water shortages are becoming a serious issue, especially for water-related problems.
- The reverse osmosis (RO) process, the main technology for seawater desalination, can be operated at low recovery rates (<40~50%) due to high operating costs due to high pressure (60~80 bar) and exponentially increasing energy consumption (kWh/m³) as the

concentration of the inlet water increases, and serious marine pollution occurs when the concentrate is discharged into the ocean.

- This means that the need to develop new technologies to minimise discharge volumes has increased significantly due to growing concerns about the harmful effects of desalination concentrate on marine ecosystems.
- Brine reconcentration technologies for low discharge desalination are being investigated at the pilot stage by various companies (Hyrec, Toyobo, etc.).
- Due to the widespread adoption of seawater desalination, the amount of concentrated water generated is increasing, and environmental impact issues are emerging.
- As of 2019, it is estimated that about 16,000 desalination plants discharge about 141,500 million m³/day of concentrated water.
- Concerns about the environmental impact of concentrated water have been increasing in recent years, especially in Middle East countries with a large number of seawater desalination plants, such as Saudi Arabia and Kuwait.

IV. Contents and Scopes

- Development of core technologies for desalination concentrate reduction
 - Research on domestic and international trends in desalination and concentrate reduction technologies
 - Lab-scale desalination process experiments for desalination concentrate reduction
- Development of biochar for resource recovery and source technology for electrode materials using waste resources
 - Analysis of trends in target resource collection and concentration technology in concentrated water
 - Development of electrode material selection and manufacturing technology for CDI for target resource recovery
 - Evaluation of recovery capability of manufactured electrodes
- Development of membrane distillation technology for seawater and concentrated water resource utilisation
 - Research on domestic and international seawater and concentrated water resource utilisation

technologies and market trends

- Lab-scale advanced membrane distillation process design and experimentation

V. Utilization and Expected effect

○ Social applications and expected effects

- Solving the problem of global water shortage due to climate change
- Mitigation of environmental problems of seawater desalination concentrate
- Improvement of national independence of important resources using concentrated water
- Improvement of social acceptability by solving the problem of concentrated water from seawater desalination plants

○ Economic applications and expected effects

- Possible application in the retrofitting of existing desalination plants in the Middle East
- Possible to generate economic profit from concentrated water
- Possible to create new business using concentrated water
- Developing a niche market for SMEs to enter the desalination sector
- Vitalise the industrial ecosystem in the field of resource recovery technology

○ Policy measures and expected effects

- Contribution to carbon neutrality policy effect by utilising renewable energy and waste heat
- Improvement of seawater desalination process efficiency by utilising concentrated water and oil resources, and derive solutions to low-carbon water shortages accordingly
- Enhancing the image of domestic water-related policies through technical cooperation with advanced groups in the Middle East and Europe

목 차

제1장 연구개발과제 개요	1
1. 개념 정의	1
2. 추진배경 및 필요성	2
제2장 연구개발과제의 수행과정 및 수행내용	7
1. 연구개발 수행과정	7
1.1 연구목표	7
1.2 추진체계 및 추진전략	7
1.2.1 연구개발 추진체계	8
1.2.2 연구개발 추진전략	8
2. 수행내용	9
2.1 해수담수화 농축수 저감을 위한 핵심 기술 개발	9
2.2 탄소중립을 위한 CO ₂ 대용량 영구처리 원천기술 개발	10
2.3 해수 내 유가자원 회수를 위한 막 결정화 기술 개발	11
제3장 연구개발과제의 수행결과 및 목표달성 정도	12
1. 연구수행 결과	12
1.1 WBS 1: 해수담수화 농축수 저감을 위한 핵심 기술 개발	12
1.1.1 연구목표 달성도	12
1.1.2 증빙자료	12
1.1.3 당해연도 연구내용	13
1.2 WBS 2: 자원회수를 위한 바이오차, 폐자원 활용 전극소재 원천기술 개발	45
1.2.1 연구목표 달성도	45
1.2.2 증빙자료	45
1.2.3 당해연도 연구내용	47
1.3 WBS 3: 해수 내 유가자원 회수를 위한 막 결정화 기술 개발	70
1.3.1 연구목표 달성도	70
1.3.2 증빙자료	70

1.3.3 당해연도 연구내용	72
2. 세부 정량적 연구개발 성과	87
2.1 과학적 성과	87
2.2 기술적 성과	87
2.3 경제적 성과	88
2.4 사회적 성과	88
2.5 언론홍보	88
2.5 인프라 성과	88
제4장 차년도 연구개발 계획	89
1. 연구개발 목표 및 내용	89
1.1 연구개발 목표	89
1.2 연구내용	89
1.2.1 중점연구분야	89
1.2.2 세부연구내용	90
2. 국내외 관련 분야 환경변화	91
3. 연구개발 추진체계 및 추진전략	92
3.1 연구개발 추진체계	92
3.2 연구개발 추진전략	92
4. 연구개발 일정 및 기대성과	93
4.1 연구개발 일정	93
4.2 기대성과	93
5. 연구비 사용계획	94
5.1 연구비 사용계획	94
5.2 일정별 연구비 사용계획	94
6. 성과활용방안	95
6.1 중점연구분야별 성과활용방안	95
7. 기대효과	96
7.1 중점연구분야별 기대효과	96
참고문헌	97

표 목 차

표 3-1. 국내 도서지역 해수담수화 시설의 현황	14
표 3-2. 부산광역시 기장 해수담수화 시설의 사양	22
표 3-3. 대산 임해지역 해수담수화 시설의 사양	24
표 3-4. 대산임해지역 산업단지의 용수공급현황 및 수요	26
표 3-5. 기술분야별 기술수준 및 성능 비교	54
표 3-6. CDI 구성 특징	63
표 3-7. 리튬폐수 합성시료 제조	64

그림목차

그림 1-1 온실가스 총배출량 추이 및 스마트생산공장 지원 계획(전자신문)	2
그림 1-2. 해수담수화 시장규모 및 자원고갈 문제	4
그림 1-3. 기후변화에 따른 물부족 문제 및 수자원 고갈	5
그림 1-4. 해수담수화 공정과 탄소저감 관계 개념도(Suhan Kim/FO Webinar)	6
그림 2-1. WBS별 추진체계	7
그림 2-2. 대상자원 회수를 위한 폐자원 활용 CDI용 전극제조 및 성능평가	10
그림 2-3. 막증류-결정화 공정 개념도	11
그림 3-1. 부산광역시 기장군에 설치된 해수담수화 시설의 전경	20
그림 3-2. 부산광역시 기장군 해수담수화 시설의 공정도	21
그림 3-3. 대산 임해지역 해수담수화 시설 조감도	23
그림 3-4. 대산 임해지역 해수담수화 시설 계획평면도	24
그림 3-5. 대산 임해지역 해수담수화 시설의 공정도	26
그림 3-6. 광양 해수담수화 시설의 공정도	28
그림 3-7. 광양 해수담수화 시설의 전경	29
그림 3-8. 증발결정 공정 모식도	30
그림 3-9. 다단식 역삼투(Multi-Stage Reverse Osmosis) 공정 모식도	32
그림 3-10. 중공사형과 튜브형 분리막을 이용한 마이크로 버블 발생기	34
그림 3-11. 마이크로버블 발생기 구동 및 마이크로버블 발생 분포	35
그림 3-12. CO ₂ 가스의 균일한 분포를 위한 내부 정류판 설계(분포방법별)	35
그림 3-13. CO ₂ 가스의 균일한 분포를 위한 내부 정류판 설계(정류판 구멍 수)	36
그림 3-14. CFD를 이용하여 정류판 내부의 CO ₂ 가스 흐름 분석	37
그림 3-15. CFD를 이용하여 정류판 외부의 CO ₂ 가스 흐름 분석	38
그림 3-16. 칼슘 전처리 모듈 설계	39
그림 3-17. 칼슘 전처리 모듈의 CFD 조건 설정	40
그림 3-18. 칼슘 전처리 모듈의 스트림라인 분석	40
그림 3-19. 평판형 모듈의 CFD 분석	41
그림 3-20. 사각구멍형 모듈의 CFD 분석	42
그림 3-21. 원판형 모듈의 CFD 분석	43

그림 3-22. 3D프린터를 이용한 모듈 제작과 입자성물질을 이용한 회수 분석	44
그림 3-23. 농축수 저감 및 유가자원 회수 기술의 범위	47
그림 3-24. 해수 내 용존이온 농도와 단가의 관계	50
그림 3-25. SEA4VALUE 프로젝트의 유가금속 회수공정 모식도	52
그림 3-26. DTRI-SWCC 해수 담수화 플랜트의 나노여과를 이용한 유가금속 회수공정 모 식도	53
그림 3-27. CDI 모듈 구성	63
그림 3-28. 다양한 폐수 내 리튬 농도	63
그림 3-29. CDI 공정 구성	64
그림 3-30. 전압별 CDI 성능평가	66
그림 3-31. 유량별 CDI 성능평가	66
그림 3-32. 음이온	67
그림 3-33. 양이온	67
그림 3-34. 리튬 회수능 평가	68
그림 3-35. 기존특허 10-2016-0053055	73
그림 3-36. 기존 특허 10-2016-0149545	74
그림 3-37. F-SMDC 전체 개요도	77
그림 3-38. 농축 원수의 하향 이동 기본개념	78
그림 3-39. 반응기 높이별 조성 조건 및 특성	79
그림 3-40. 파티션(Partition) 유무에 따른 F-SMDC 반응기 내부 유동흐름 차이	81
그림 3-41. F-SMDC Lab-scale 실험 장치	81
그림 3-42. 이산화탄소 가스 주입의 일정하지 않은 유량 및 압력 문제	82
그림 3-43. 정류/정압관(Distributor)	83
그림 3-44. 정류/정압관 적용 전후의 산기관 내부 압력 및 유량 변화	83
그림 3-45. 파이프 내부의 배플과 세라믹 산기관을 통합한 미세기포 발생장치	84
그림 3-46. 플랫 타입을 적용한 유속 및 유체 흐름 분석	85
그림 3-47. 내부 배플의 다양한 형태 모식도	85
그림 3-48. 라운드 타입을 적용한 유속 및 유체 흐름 분석	86
그림 3-49. 트라이앵글 타입을 적용한 유속 및 유체 흐름 분석	86

제1장

연구개발과제 개요

1. 개념 정의

- 친환경 해수담수화는 지속 가능한 미래를 위해 매우 중요한 기술이며, 이는 해수를 담수로 전환하는 과정에서 환경적 영향을 최소화하고, 자원 사용과 에너지 소비를 최적화하여 지속 가능한 물 공급을 실현하는 것을 목표로 함.
- 이를 위해 새로운 기술과 접근 방식이 개발되고 있으며, 이러한 기술은 환경 보호와 지속 가능한 발전을 동시에 추구하는데 큰 역할을 하고 있음.
- 친환경 해수담수화 기술은 해수담수화 과정에서 발생하는 농축수 저감과 함께, 에너지 절약, 재활용 및 재생 에너지 활용 등의 관점에서도 중요한 역할을 함. 또한, 친환경 해수담수화 기술은 해수담수화 과정에서 발생하는 폐기물 처리와 오염물질 제거에도 주목할 가치가 있음.
- 해수담수화 공정에서 발생하는 농축수는 해수담수화 공정에서 발생을 최소화하거나 처리하여 환경오염을 방지하고, 자원을 효율적으로 활용하는 접근 방식을 의미함.
- 해수 내 미래 전략 자원 수집은 해수 환경에서 가치 있는 자원을 추출하고 수집하는 과정이며, 해수는 우리에게 다양한 미래 전략 자원을 제공할 수 있는 잠재력을 갖고 있을 뿐 아니라 이를 추출하여 실용화하는 기술과 방법을 포함함.
- 이러한 자원은 에너지, 광물, 유기물 등 다양한 형태일 수 있으며, 해수 자원의 지속 가능한 개발과 이를 통한 자원 활용이 중요한 과제로 인식되고 있음.
- 이에 본 연구에서는 해수담수화 공정에서 발생하는 농축수 처리 뿐만 아니라 미래 전략 자원 수집을 위한 폐수 처리 등 다양한 기술개발을 목적으로 한 연구를 수행하고자 함.

2. 추진배경 및 필요성

(1) 탄소중립을 위한 정부 정책과 기후변화

- 환경부 소속 온실가스종합정보센터는 지난해 우리나라에서 발생한 온실가스 배출량을 최근 추정해 발표했으며, 발표에 따르면 지난해 산업공정 분야에서 쏟아낸 온실가스는 4,749만 톤에 이르는 것으로 조사됨(2021, 전자신문).
- 정부에서는 탄소발생 저감을 위하여 다양한 실천 방안 중 플랜트 생산공정에서 발생하는 온실가스 배출 저감을 위하여 ‘디지털’ 기술을 접목하여 공정에 대한 스마트생산기술을 지원하기로 함.
- 또한, 정부에서는 물관리 분야 2050 탄소중립 및 디지털 전환을 위해 ‘함께 만드는 탄소중립(net-zero), 함께 누리는 물환경’을 비전으로 ‘선도, 신속, 협력’의 추진전략을 제시함.
- 이에, ① 물관련 신재생에너지 육성 및 탄소저감, ② 디지털·지역특화 물산업 육성기반 구축, ③ 탄소중립·디지털 전환을 위한 연구개발(R&D) 강화, ④ 혁신기반 마련을 위한 제도 개선 등 4대 부문의 중점 추진 계획 발표 (대한민국 정책브리핑).



그림 1-1. 온실가스 총배출량 추이 및 스마트생산공장 지원 계획(전자신문)

(2) 기존 기술의 한계

- 해수담수화 주요 기술인 역삼투(reverse osmosis, RO) 공정은 고압(60~80 bar)

운전에 따른 높은 운전비용과 유입수의 농도가 증가함에 따라 에너지 소비량 (kWh/m³)이 기하급수적으로 증가하기 때문에 낮은 회수율(<40~50%)에서 운전이 가능하며, 농축수의 해양 방류 시 심각한 해양 오염을 발생함.

- 즉, 담수화 농축수의 해양생태계 유해성에 대한 우려가 증가됨에 따라 방류량을 최소화하기 위한 새로운 기술 개발의 필요성이 크게 증가하고 있음.
- 저방류 해수담수화를 위한 Brine 재농축 기술이 다양한 기업들(Hyrec, Toyobo 등)에 의해 파일럿 단계에서 검토되고 있음.
- 해수담수화의 확대 보급으로 인하여 농축수의 발생량이 증가하고 있으며, 이로 인한 환경영향 이슈가 부각되고 있음.
- 2019년 기준으로 약 16,000개의 담수화 플랜트에서 약 141,500만 m³/일의 농축수가 배출되고 있는 것으로 추산됨.
- 최근 농축수에 의한 환경영향에 대한 우려가 증가하고 있으며, 특히 사우디아라비아와 쿠웨이트 등 다수의 해수담수화 플랜트를 보유한 중동지역 국가에서 중요한 문제로 부각되고 있음.

(3) 해수담수화 기술의 패러다임 변화

- 해수담수화 1.0 : 대형화 - SeaHERO사업단 (국토교통부)
- 해수담수화 2.0 : 저에너지 - FOHC, MD/PRO 연구단 (국토교통부/환경부)
- 해수담수화 3.0 : 해외적용 - KORAE 연구단 (국토교통부/환경부)
- 해수담수화 4.0 : 농축수 활용 및 디지털 O&M 기술을 접목한 저에너지 기술

(4) 자원고갈 문제 심화

- 최근 중동을 비롯하여 유럽에서는 바닷물이나 하수처리수 방류수에 포함된 유가자원 활용과 관련하여 큰 관심을 보이고 있음.
- 특히, 해수담수화 공정에서 발생하는 다량의 농축수와 하수처리수 방류수에는 상당한 유가자원이 포함되어 있으며, 자원 생산을 위하여 소모되는 에너지와 비용 가치를 고려하면 농축수나 하수에 포함된 유가자원 회수는 탄소저감을 위한 새로운 방법으로 제

안됨.

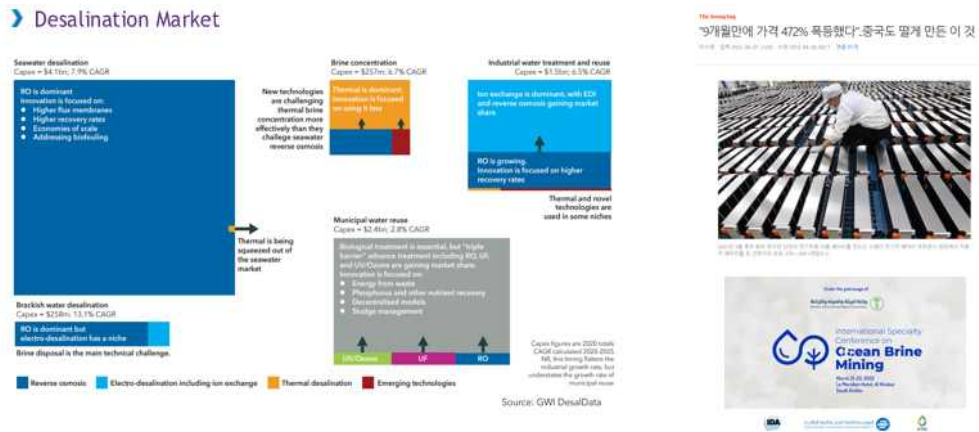
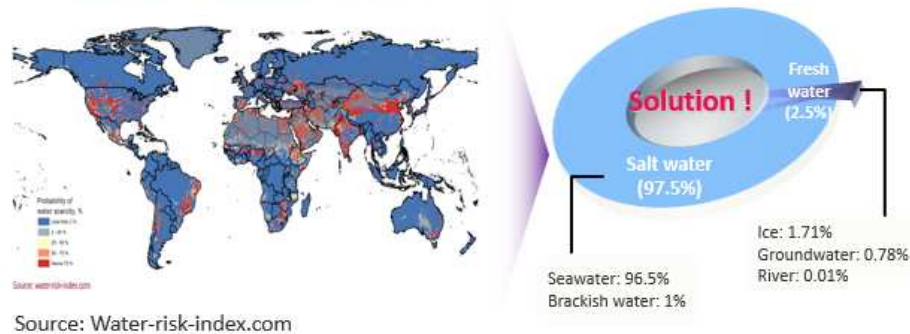


그림 1-2. 해수담수화 시장규모 및 자원고갈 문제

(5) 현안/이슈와의 연관성

- 대산산단 입주 기업과 충남도는 2017년부터 가뭄 등 자연적 여건으로 공업용수 공급 차질이 반복될 것을 우려해 가뭄에 영향을 받지 않고 항구적 수자원으로써 공업용수를 받을 수 있게 할 해수담수화 시설 설치를 정부에 요청(뉴데일리 경제).
- 울산 석유화학단지가 작은 가뭄 발생과 인근 수원의 수질 악화로 양질의 공업용수 확보에 어려움을 겪고 있는 가운데 한국수자원공사와 협조해 해수담수화 개발 공급사업을 통해 공업용수를 확보할 필요(경상일보).

▶ By 2030, water scarcity will have spread further



- Desalination is independent of conventional water source
- Desalination is a promising way to overcome water shortage problem
- It is becoming competitive due an increase in conventional water cost

그림 1-3. 기후변화에 따른 물부족 문제 및 수자원 고갈

(6) 기후변화에 따른 물부족 문제 심화

- 기후변화에 따른 영향으로 전 세계적으로 다양한 사회, 환경 문제가 발생하고 있으며, 특히 물과 관련된 문제로는 물부족 문제가 심각한 이슈로 대두되고 있음.
- 매년 반복적으로 발생하는 가뭄과 이로 인하여 발생하는 물부족에 대응하기 위한 방안으로 다양한 대체수자원 확보 기술이 개발되고 있으며, 이중 해수담수화 및 하수재이용 기술이 주목받고 있음.
- 국내에서도 생활용수 및 공업용수 안정화를 위해 약 70만 m³/일의 해수담수화 플랜트 사업 추진을 검토 중임(전 국토 물 공급 안정화 사업 기본조사 보고서 (국토교통부, 2017)).

(7) 기존 기술의 한계점 및 새로운 기술에 대한 니즈 증가

- 해수담수화 공정은 다른 수처리 공정과 비교할 때 높은 에너지가 필요하며, 담수 생산 과정에서 다량의 농축수가 발생하는 단점을 가지고 있음.
- 다만, 한정된 수자원 상황을 고려할 때 물부족 문제에 근본적으로 대응하기 위해서는 해수담수화 기술이 필요함.
- 따라서 탄소중립 실현을 위한 새로운 개념의 해수담수화 및 대체수자원 확보에 대한 장기적 비전 및 기술 개발 필요하며, 기후변화에 따른 국내 대체수자원확보와 글로벌

담수화 기술 패러다임 변화(친환경, 융복합, 스마트운영)에 능동적으로 대응할 수 있는 새로운 개념의 해수담수화 기술 확보 필요

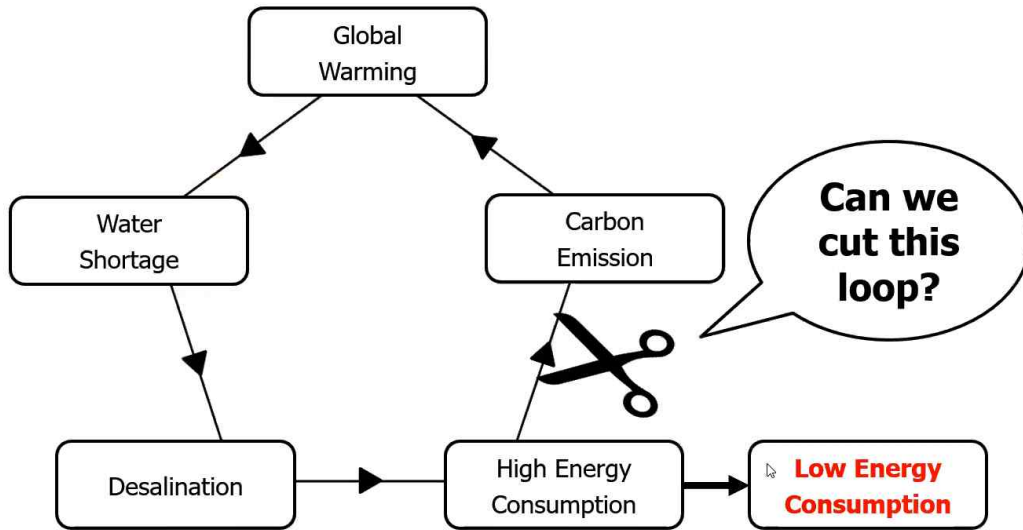


그림 1-4. 해수담수화 공정과 탄소저감 관계 개념도(Suhan Kim/FO Webinar)

제2장

연구개발과제의 수행과정 및 수행내용

1. 연구개발 수행과정

1.1 연구목표

- 농축수 저감 및 미래 전략 자원 수집을 위한 친환경 해수담수화 기술 개발

1.2 추진체계 및 추진전략

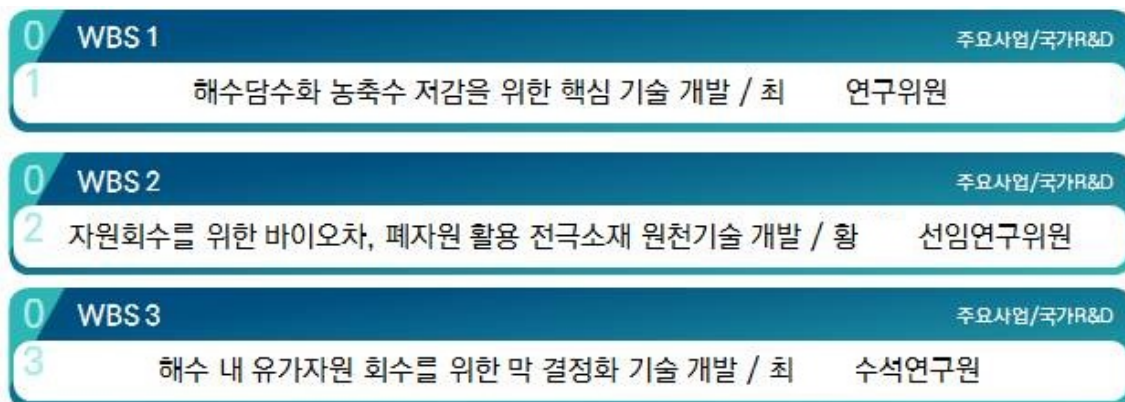


그림 2-1. WBS별 추진체계

1.2.1. 연구개발 추진체계

유형	연구내용(WBS)	연구내용 (WBS) 책임자	연구내용(WBS) 참여자
WBS 1.	해수담수화 농축수 저감을 위한 핵심 기술 개발	최OO 연구위원	윤OO 수석연구원 노OO 수석연구원 박OO 전임연구원
WBS 2.	자원회수를 위한 바이오차, 폐자원 활용 전극소재 원천기술 개발	황OO선임 연구위원	남OO 수석연구원 김OO 수석연구원 구OO 전임연구원 신OO 박사후연구원
WBS 3.	해수 내 유가자원 회수를 위한 막 결정화 기술 개발	최OO 수석연구원	이OO 박사후연구원 김OO UST학생연구원 수 리니토 UST학생연구원

1.2.2 연구개발 추진전략

연구내용	추진전략
해수담수화 농축수 저감을 위한 핵심 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 해수담수화 및 농축수 저감 기술 동향 조사 ○ 해수담수화 농축수 저감을 위한 Lab. 규모 해수담수화 공정 실험
자원회수를 위한 바이오차, 폐자원 활용 전극소재 원천기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 대상자원 회수를 위한 폐자원 활용 CDI용 전극제조 및 성능평가
해수 내 유가자원 회수를 위한 막 결정화 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내외 해수 및 농축수 자원화 기술 및 시장 동향 조사 ○ Lab-scale advanced membrane distillation 공정 설계 및 실험

2. 수행내용

2.1 해수담수화 농축수 저감을 위한 핵심 기술 개발

가. 연구목표

- 해수담수화 및 농축수 저감 기술 동향 조사
- 해수담수화 농축수 저감을 위한 Lab. 규모 해수담수화 공정 실험

나. 연구내용

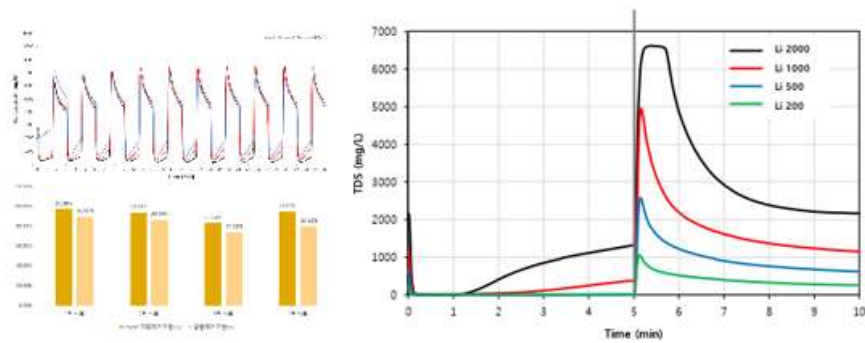
- 국내외 해수담수화 공정 및 농축수 저감 기술 동향 조사
- 해수담수화 농축수 저감을 위한 전처리 기술 개발
 - CO₂ 가스를 이용한 농축수 내 이온물질 제거 기술 개발
 - CFD를 이용한 CO₂ 가스 균등 분배 기술 개발
 - Lab. 규모 농축수 저감 전처리 모듈 개발

2.2 탄소중립을 위한 CO₂ 대용량 영구처리 원천기술 개발

- 대상자원 회수를 위한 폐자원 활용 CDI용 전극제조 및 성능평가



(a) 폐자원 활용 CDI용 전극제조 기술 개발



(b) 대상자원 이온 선택성 및 운전변수에 따른 회수능 평가

그림 2-2. 대상자원 회수를 위한 폐자원 활용 CDI용 전극제조 및 성능평가

나. 연구내용

- 농축수내 대상자원 수집 및 농축기술 동향 분석
- 대상자원 회수를 위한 CDI용 전극소재 선정 및 제조 기술 개발
- 제조전극 회수능 평가

2.3 해수 내 유기자원 회수를 위한 막 결정화 기술 개발

가. 연구목표

- 국내외 해수 및 농축수 자원화 기술 및 시장 동향 조사
- Lab-scale advanced membrane distillation 공정 설계 및 실험

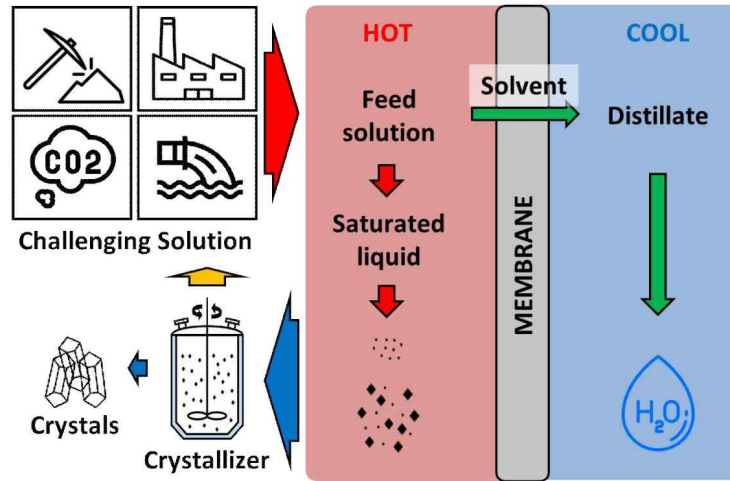


그림 2-3. 막증류-결정화 공정 개념도

나. 연구내용

- 국내외 해수 및 농축수 자원화 기술 및 시장 동향 조사
- 해수 및 농축수 내 유기자원 회수를 위한 막증류 공정 개발 및 공정효율 향상 기술 개발

제3장

연구개발과제의 수행결과 및 목표달성 정도

1. 연구수행 결과

1.1 WBS 1: 해수담수화 농축수 저감을 위한 핵심 기술 개발

1.1.1 연구목표 달성도

연번	성과목표·지표	목표치	달성내용	달성도 (%)	가중치	미달성 사유
01	해수담수화 농축수 저감을 위한 농축 원천 기술 개발	특허출원 1건	특허출원 1건	100	1.0	-
달성도 계 (%)				100	1.0	

1.1.2 증빙자료

연번	01		
성과목표	해수담수화 농축수 저감을 위한 농축 원천 기술 개발		
성과지표	특허출원	가중치	100
측정방법	특허출원서		
목표치	1건		
실적	- 특허출원 1건(출원 완료) / 목표 1건 - 홍보 1건		

입증근거
1. 특허출원 1건

관인생략

출원번호통지서

출원일자 2023.12.08
 특기사항 심사청구(유) 공개신청(무)
 출원번호 10-2023-0177331 (접수번호 1-1-2023-1377019-18)
 (DAS접근코드BD82)
 출원인명칭 한국건설기술연구원(3-1998-007750-1)
 대리인성명 송 ()
 발명자성명 이 최 박 최 노
 발명의명칭 바이패스 모듈형 탄산염 자원회수 모듈 및 이를 구비한 해수 담수화 시스템

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 이용하여 특허로 홈페이지(www.patent.go.kr)에서 확인하실 수 있습니다.
 2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 은행 또는 우체국에 납부하여야 합니다.
 ※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
 3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
 4. 기타 심사 절차(제도)에 관한 사항은 특허청 홈페이지를 참고하시거나 특허고객상담센터(☎ 1544-8080)에 문의하여 주시기 바랍니다.
 ※ 심사제도 안내 : <https://www.kipo.go.kr>-지식재산제도

1.1.3 당해연도 연구내용

- 국내외 해수담수화 공정 및 농축수 저감 기술 동향 조사
 - 국내 해수담수화 시장현황 조사 및 분석
 - 우리나라 일부 해안 및 도서지역은 지형적인 여건상 댐이나 하천 등 자체 지표수 취수원의 확보가 곤란하여 만성적인 물 부족으로 극심한 불편을 겪고 있으며, 일부 해안 지역에 위치한 공업 지역 또한 용수 부족으로 인한 가동률 감소로 국가 경제에 손실을 초래하고 있음.

- 현재 전국 3,382개 섬 중 464개 유인도에 약 82만 2,930명(2022년 기준)이 거주하고 있지만, 이 중 안정적인 수돗물을 공급받는 인구는 2만 2천명으로 약 3%에 불과하다. 대부분은 간이 급수 시설, 우물, 빗물 등 생활용수로 이용하고 있어 단기간의 가뭄에도 생활용수가 고갈되어 매년 상습적인 식수난을 겪고 있음.

주) 평균 급수량 : 전국 395Lpcd, 도서지역: 36Lpcd

- 국내 해수담수화 시설은 대부분 도서지방에 소규모 시설로 설치되어 있으며, 하루 생산량은 1천톤 이하이다. 2016년 기준으로는 101개소에 총 7,806m³/일의 시설규모를 갖고 있음.

표 3-1. 국내 도서지역 해수담수화 시설의 현황

도명	시군명	도서명	용량 (m ³ /일)	급수 인구(인)	설치 연도	소요사업비(백만원)			운영 기관	비고
						계	국비	지방비		
계	22	101	7,806	21,622		68,564	42,558	26,006		
인천	2	1	40	1,351	-	2,935	2,145	790		
	충구	대무의도	100	31	2011	470	350	120	지자체	미가동
		소무의도	40	70	2009	615	500	115		
	용진군	대연평도	200	1,250	2007	1,850	1,295	555	K-water	미가동
경기	2	3	390	255		2,385	770	1,615		
	화성시	국화도	300	90	2011	1,709	296	1,413	지자체	
		풍도	60	115	2012	371	260	111		
		육도	30	50	2012	305	214	91		
	안산시								지자체	
충남	5	23	845	3,939	-	6,721	3,117	3,604		
	보령시 (18)	고대도 I	30	300	1997	284	-	284	K-water	
		고대도 II	30		2008	199	-	199		
		외연도	50	540	2000	595	-	595		
		삽시도(밤섬)	30	180	2000	350	-	350		
		삽시도(윗마을)	50	300	2003	79	55	24		
		호도	30	218	2001	85	60	25		
		장고도	75	285	2012	105	74	31		

표 3-1.(계속) 국내 도서지역 해수담수화 시설의 현황

도명	시군명	도서명	용량 (m ³ /일)	급수 인구(인)	설치 연도	소요사업비(백만원)			운영 기관	비고	
						계	국비	지방비			
	보령시 (18)	허육도	20	30	2012	40	-	40	K-water		
		월도	20	40	2002	40	28	12			
		육도	30	40	2009	53	-	53			
		원산3리(사창)	75	400	2012	79	55	24			
		원산1리(선촌)	50	305	2004	957	670	287			
		원산2리(점촌)	50	296	2004	957	670	287			
		소도	10	80	2004	186	130	56			
		추도	10	30	2004	179	125	54			
		원산2리(저두)	50	140	2005	574	402	172			
		원산3리(초전)	20	128	2005	361	253	108			
		효자도	50	180	2005	467	327	140			
	서산시 (2)	우도	15	71	2001	225	-	225	K-water		
		고파도	40	159	1999	277	-	277			
	당진군	소난지도	50	123	2003	231	-	231	지자체	미가동	
	서천군	유부도	30	-	-	83	58	25	지자체		
	홍성군	죽도	30	94	2009	315	210	105	K-water		
	전북	1	7	470	2,113	-	2,873	1,916	957		
		군산시 (7)	관리도	50	121	2009	593	415	178	K-water	
			방축도	30	153	2002	207	145	62		
연도			40	219	2003	167	117	50			
어청도			100	416	2012	770	539	231			
선유도			100	713	2006	1,000	700	300			
야미도			50	-	2006				지자체	미가동	
무녀도			100	491	2011	136	-	136	지자체		
전남	6	52	3,355	8,595	-	40,693	26,625	14,068			
	여수시 (17)	여자도(대동)	60	360	2002	400	280	120	K-water		
		대두라도(대두)	50	140	2004	400	280	120			
		대두라도(선창)	20	61	2004						
		화태도(월전)	30	83	2004						
		화태도(화태)	100	408	2004	200	-	200			
		부도	10	14	2005	230	161	69			
		나발도	30	45	2005	280	196	84			

표 3-1.(계속) 국내 도서지역 해수담수화 시설의 현황

도명	시군명	도서명	용량 (m ³ /일)	급수 인구(인)	설치 연도	소요사업비(백만원)			운영 기관	비고
						계	국비	지방비		
	여수시 (17)	자봉도	30	60	2005	250	175	75	K-water	
		Hits도	30	110	2005	180	-	180		
		횡간도	50	130	2005	250	-	250		
		거문도	700	1,557	2007	3,354	2,348	1,006	지자체	
		제도	50	152	2007	500	350	150		
		둔병	30	60	2008	478	-	478		미가동
		송도	50	434	2009	210	-	210		미가동
		월호	70	245	2008	522	-	522		
		상화도	30	66	2009	400	-	400		
	봉통	30	66	2009	400	280	120			
	고흥군 (3)	지죽도	50	276	2002	143	100	43	지자체	미가동
		백일도	100	296	2005	500	350	150		미가동
		죽도	50	121	2005	500	350	150		미가동
	신안군 (11)	홍도	100	350	1997	950	950	-	K-water	
		만재도	50	111	2005	1,700	1,190	510	지자체	
		다물도	100	362	2006	2,700	1,890	810		
		마산도	40	93	2006	1,000	700	300		미가동
		서소우이도	40	69	2008	500	-	500		
		하태도	30	146	2012	245	171	74		
옥도		40	133	2011	297	207	90			
마진도		30	78	2011	198	138	60			
자라도		100	357	2011	501	350	151			
상태도		20	101	2012	168	117	51			
고이도	140	264	2012	610	427	183				
영광군 (6)	상낙월도	150	240	2001	1,429	1,000	429	지자체		
	각이도	30	2	2002	500	350	150		미가동	
	석만도	30	56	2002						
	안마도	300	228	2005	2,000	1,400	600			
	죽도	10	5	2005						
	하낙월도	50	90	2005						
완도군 (10)	토도	30	45	2003	500	350	150	지자체	미가동	
	노록도	40	30	2004	500	350	150		미가동	
	백일도	30	109	2011	452	316	136			

표 3-1.(계속) 국내 도서지역 해수담수화 시설의 현황

도명	시군명	도서명	용량 (m ³ /일)	급수 인구(인)	설치 연도	소요사업비(백만원)			운영 기관	비고
						계	국비	지방비		
경북	완도군 (10)	서널도	50	180	2005	500	350	150	지자체	
		다량도	20	35	2004	500	350	150		
		사후도	30	103	2009	270	135	135		
		넙도	20	52	2009	236	118	118		
		덕우도	30	153	2010	506	253	253		
		구도	30	73	2010	322	225	97		
		흑일도	25	83	2010	383	3268	115		
	진도군 (6)	관사도	50	110	2009	3,000	2,100	900	지자체	
		성남도	30	51	2009	1,000	700	300		
		대마도	60	96	2011	5,013	3,500	1,513		
		소마도	30	35	2011	2,006	1,400	606		미가동
		청등도	30	25	2011	1,504	1,050	454		미가동
		죽향도	30	46	2011	2,006	1,400	606		
경북	1	1	56	50	-	713	-	713		
	울릉군 (1)	동도	28	46	2007	713	-	713	경찰청	
		서도	28	4	2007					
경남	3	7	150	613	-	1,621	895	726		
	진해시 (2)	연도	50	199	2007	305	-	305	지자체	
		우도	20	214	1998	176	123	53		미가동
	거제시	지심도	20	30	2012	130	65	65	K-water	
	남해군 (4)	노도	20	17	1998	270	189	81	지자체	
		조도(대)	10	19	1999	200	140	60		미가동
		조도(소)	20	102	1999	300	210	90		미가동
		호도	10	32	2001	240	168	72		미가동
제주	2	3	2,200	4,706	-	10,623	7,090	3,533		
	제주시 (2)	추자도	1,000	2,763	2003	4,567	3,005	1,562	지자체	
		우도	1,000	1,572	1998	3,499	2,295	1,204		미가동
	서귀포시 (2)	마라도	50	267	2004	1,557	1,090	467	지자체	
		가파도	150	104	2005	1,000	700	300		

- 상습적으로 물 부족을 겪고 있는 도서지역 주민들에게 생활용수를 공급하기 위해 설치된 해수담수화 시설은 1997년부터 추진된 국무조정실 수질 개선기획단의 물관리 종합대책에 의거 본격적으로 도입되었다. 특히, 비

싼 물 값은 해수담수화 시설이 설치되어 있는 모든 지역이 공통적으로 안고 있는 고민이지만 일부 지역에서 시설의 가동을 중지하고 있는 이유는 기존의 자연수에 의한 생활용수의 확보가 다소 용이하기 때문이다. 해수담수화 시설이 도입되기 전에 자연수에 의존하던 주민들이 해수담수화 시설이 도입되면서 년 중 가뭄에 관계없이 필요한 생활용수를 충분히 확보할 수 있었으나, 실제로는 기존 자연수의 부족분을 해수담수화 시설로부터 확보했기 때문에 지역에 따라서 진해시 연도와 같이 의존도가 높은 지역과 해남시 상마도와 같이 시설 도입 초기에 일부 가동 후 중지한 의존도가 낮은 지역도 있음.

- 해수담수화 시설의 용량은 10^{m³}/일(보령시 소도)에서 1,000^{m³}/일(북제주군 추자도)로 다양하나, 대부분은 50^{m³}/일 미만의 시설이다. 규모를 고려할 경우 시설용량 20^{m³}/일 미만의 소규모 급수시설이 신안군 상태도 등 16개소, 20^{m³}/일 이상 500^{m³}/일 미만의 간이상수도 시설은 신안군 흥도 등 82개소, 500^{m³}/일 이상의 지방 상수도는 추자도 등 1개소임.
- 특히 국내 도서지역에는 해수담수화 시설이 기존 수도시설과 연계하여 설치되어 있으며, 해수담수화 시설의 가동률은 탄력적이다. 일본에서는 극단적인 가뭄에 대응하기 위해 도입되었으며, 평시에는 가동을 중단하여 운영 중이다. 다른 관점에서 보면, 해수담수화 시설은 비상용수 관점에서 도입된 것으로 볼 수 있다. 이러한 점을 고려하면 해상 이동형 해수담수화 플랜트는 기존의 물 공급 지역에서 극단적인 물 부족에 대비한 탄력적인 용수 공급의 비상용수 개념으로 도입될 수 있으며, 현재 도서 지역에서는 항구적인 용수공급 방안인 해수담수화 외에도 극단적인 가뭄 등 물

부족에 대비한 비상용수 공급시설로 도입이 필요한 시점이라고 할 수 있음.

- 국내 임해지역 해수담수화 시설

- 부산광역시 기장 해수담수화 시설
- 부산광역시 기장 해수담수화 시설은 「해수담수화 플랜트사업단 (2007-2014, 국토교통부)」 연구의 일환으로 도입되었다. 본 해수담수화 시설은 45,000m³/일의 먹는 물 공급을 목적으로 부산광역시 기장군 지역에 공급 예정이었으나 현재는 운휴 중임.
- 특히 부산광역시는 낙동강 하구둑에서 취수하여 수량은 풍부하지만 수질은 오염되어 고도정수처리 후(오존+활성탄) 상수도로 공급하고 있음.
- 부산광역시는 타 수도와 비교하여 상대적으로 상수원이 오염되어 있어 댐, 강변여과 등의 개발을 시도하고 있는데, 이러한 노력과 함께 해수담수화 시설을 도입하여 청정 수원개발에 박차를 가하고 있음.
- 또한, 해수담수화 시설은 부산광역시 명장정수장 급수구역에 공급하는 시설로서, 부산광역시 평균 상수도 급수량 1,021,365m³/일(평균 공업용수 급수량 67,401m³/일)의 약 5%로써 비상용수로서의 역할도 할 수 있을 것으로 판단됨.
- 해당 시설은 역삼투법 2계열로 구성되어 있으며 계열운전이 가능하며, 원수는 해양 표면해수를 취수하고, 공정은 역삼투법으로 탁질 제거용 전처리 공정 및 소독과 pH 조정의 후처리 공정으로 구성되어 있음. 또한, 역삼투 공정의 농축수는 직접 해양방류하며, 전처리 공정의 물리세척 배출

수와 막모듈의 약품 세척수는 부상 분리 처리 후 해양 방류됨.

- 특히, 본 시설은 해변에 위치하여 해상 이동형 해수담수화 플랜트의 접근이 용이하므로, 기존의 해수담수화 시설과 함께 용수 공급량을 탄력적으로 확대하여 공급할 수 있는 것으로 판단됨.



그림 3-1. 부산광역시 기장군에 설치된 해수담수화 시설의 전경

- 사업위치 : 부산광역시 기장군 기장읍 대변리 213-2번지 일원
- 사업규모 : 해수담수화 용량 $Q=45$ 천 m^3 /일 (10MIGD)
- 사업기간 : 2009 ~ 2014년
- 시행자 : 부산광역시, 국토교통과학기술진흥원, 광주과학기술원, 두산중공업
- 사업비 : 1,255억원(국비386, 지방비 425, 민자 444)
- 전처리 : 다층여과, UF, 역삼투: 16인치 와권형막모듈
- 시설은 표면해수(TDS 34,458mg/L기준) 약 100천 m^3 /일을 사용하여 10MIGD(45천 m^3 /일)의 먹는 물을 생산가능시설은 1단 역삼투공정 생산수기준 8MIGD(36천 m^3 /일 1계열, 2MIGD(9천 m^3 /일) 1계열 등 2계열과 생산수의 보론 처리를 위한 5.2MIGD(23.4천 m^3 /일) 1계열로 구성
- (8MIGD) 계열1 : 취수(표면해수) → 부상분리공정 → MMF(다층여과)공정
→ 역삼투(1단)공정 → (역삼투(2단))공정 → 생산수(먹는물)
- (2MIGD) 계열2 : 취수(표면해수) → 부상분리공정 → MF(정밀여과)공정
→ 역삼투(1단)공정 → (역삼투(2단))공정 → 생산수(먹는물)

- 전처리 물리세척 배출수 / 막모듈 약품 세척수 → 부상분리(DAF) → TMS(해양방류)

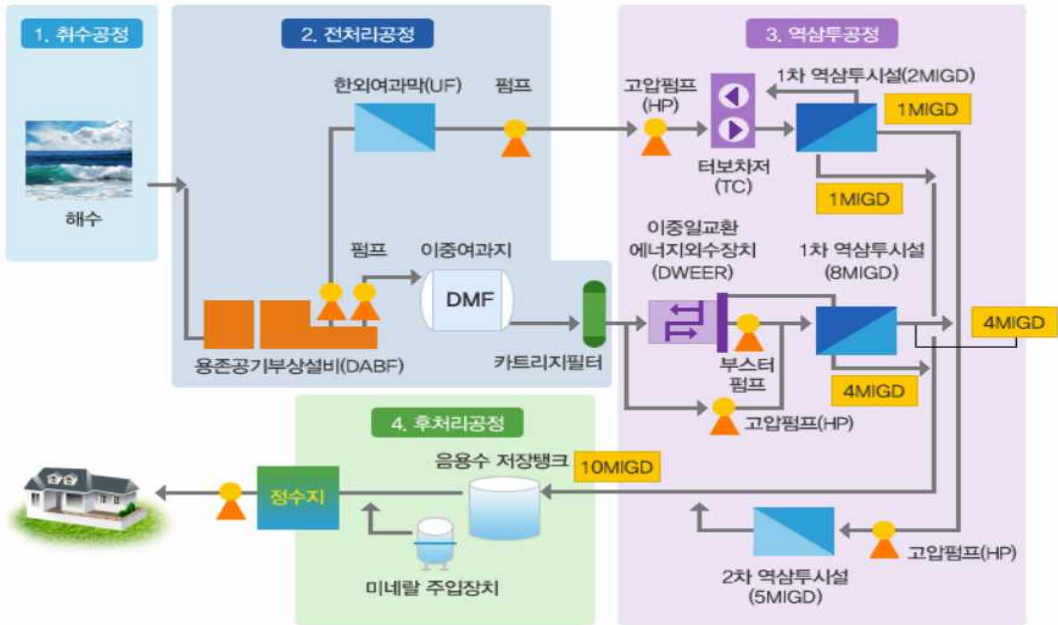


그림 3-2. 부산광역시 기장군 해수담수화 시설의 공정도

표 3-2. 부산광역시 기장 해수담수화 시설의 사양

항 목		사 양	개(대) 수	기 타
DAF	크기(m)	W9.0m×L7.2m×H6.7 m	3 지	-
	포화용액주입량	원수유량 대비 10-12%	1 대	Saturator: 직경3,000mm, 높이4,700mm
MMF	여과조크기	∅3.8m×L 12.5m	6개	가압식, 병렬
	여재층높이	Filtralite NC: 600 mm Filtralite HC: 600 mm Gravel: 100 mm	6개조동일	여과면적 53m2/1지
	여재크기	Filtralite NC: 1.5~2.5 mm Filtralite HC: 0.8~1.6 mm Gravel: 2~5 mm	6개조동일	-
RO (8MIGD)	막모듈개수	구경: 16인치 막여과면적(148.6m2/1개):	8MIGD: 798개	제조사: 도레이케미칼 제품명: RE16040-SHF
	멤브레인	1멤브레인/7모듈	114 멤브레인	-
	고압펌프	1,611.7m ³ /hr×618.8mH ×3600kW	1 대	-
MF	막모듈개수	216 mm × 2,230 mm	6 Trains, 288개	제조사: 코오롱 제품명: Cleanfil®-P70R
	막여과면적 (m2/1개)	70 m2/1개, 공경 0.1μm	-	중공사 PVDF재질 (공경크기로는 MF에 해당)
	여과펌프	원심 890 m ³ /hr×47 mH 250kW×6600V×3P×60Hz	1대(예비 1대)	-
RO (2MIGD)	막모듈개수	구경: 16인치 막여과면적(148.6m2/1개):	2MIGD: 203개	제조사: 도레이케미칼 제품명: RE16040-SHF
	멤브레인	1멤브레인/7모듈	29 멤브레인	-
	고압펌프	835m ³ /hr×400mH ×1350kW	1 개	-
RO 2nd (2단 RO)	막모듈개수	구경: 16인치 막여과면적(148.6m2/1개):	5.1MIGD : 154개	제조사: 도레이케미칼 제품명: RE16040_BLR
	멤브레인	1멤브레인/7모듈	22 멤브레인	-
	고압펌프	1,071m ³ /hr×253mH ×1100kW	-	-
배출수 DAF 펌프	슬러지펌프	DAF Sludge pump: 95m ³ /hr× 30mH×15kW Ball filter Sludge pump: 95m ³ /hr× 30mH×30kW	DAF Sludge pump:2대 Ball filter Sludge pump: 1대	-

- 대산 임해 해수담수화 시설
- 대산 임해산업지역 공업용수도(해수담수화) 사업은 충남서부 대산 임해산업지역의 신규 산단 및 공장 증설 등 용수수요 증가로 인해 담수가 2030년까지 약 88천^m³/일 부족함에 따라 항구대책으로 해수담수화(수원다변화) 시설을 도입해야 함.
- 또한, 기후변화에 대응한 안정적인 용수공급과 부수적으로 중대규모 해수담수화 사업의 해외진출 발판을 마련하는 등을 사업 목적으로 하고 있음.
- 본 시설은 국내 중서부 해안지역인 대산 임해지역에 처음 도입되는 국내 최대 규모의 역삼투법 해수담수화 시설로 100천^m³/일 규모로 계획되어 있으며, 현재(2022년~2024년) 건설 중임.



그림 3-3. 대산 임해지역 해수담수화 시설 조감도

- 사업위치는 충남 서산시 대산읍 대죽리, 독곶리 일원으로 2024년까지 총

사업비 2,851억원(국고 30%, K-water 70%)으로 해수담수시설 사업을 통하여 현대오일뱅크(30%), LG화학(20%), 한화토탈에너지스(30%), 현대OCI(3.3%), 예비(16.7%)에 공업용수를 공급하게 됨.

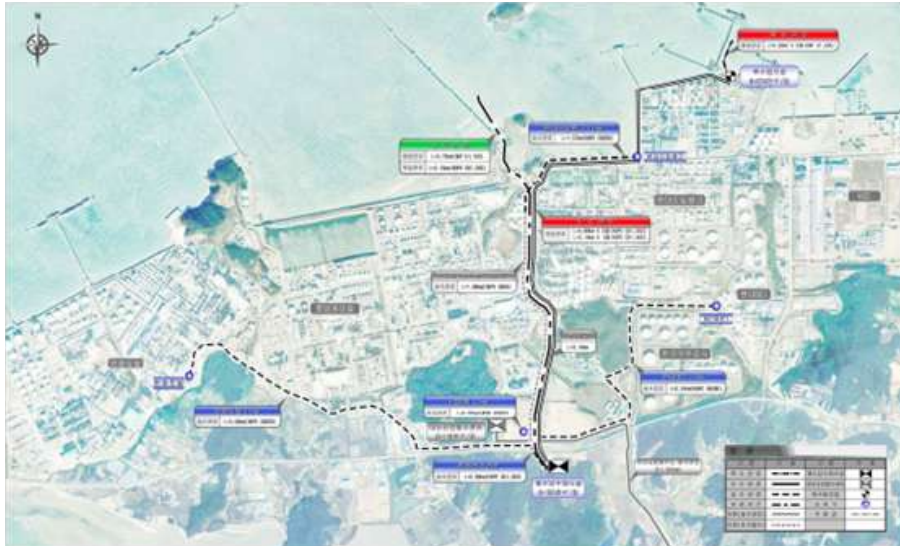


그림 3-4. 대산 임해지역 해수담수화 시설 계획평면도

표 3-3. 대산 임해지역 해수담수화 시설의 사양

(단위: 천 m³/일)

구 분	시설 용량			공 급 량			비 고
	계	기업체	K-water	계	기업체	K-water	
계	288.5	169.5	119.0	189.8	99.5.0	90.3	
한화토탈	95.5	65.5	30.0	59.4	30.0	29.4	
오일뱅크	62.0	30.0	32.0	35.7	9.5	26.2	
LG/롯데	104.0	74.0	30.0	91.4	60.0	31.4	
KCC	17.0	-	17.0	2.6	-	2.6	
예비량	10.0	-	10.0	0.7	-	0.7	

주: 연구진이 실시한 업체별 설문조사 결과(2017년 6월)와 비교하여 확정함.
 자료: 국토교통부·한국수자원공사, 『대산임해산업지역 공업용수도(해수담수화)사업 기본구상 보고서』, 2016. 4.

- 해수담수화 시설은 표면 해수를 취수하여 전처리 공정으로 부상분리와 급속여과 공정을 거쳐 역삼투 공정에서 담수화 후 산업용수로 사용하게 된다. 농축수 및 배출수는 해양 방류함.
- 특히, 본 시설은 공업용수 생산시설로서, 먹는물 생산용 해수담수 시설보다 수질 기준이 강화되어 있으며, TDS 65mg/L 등의 수질 기준을 충족함.
- 대산 임해산업지역에는 많은 공장들이 산재해 있으며, 용수는 대호지 원수, 해수 담수화, K-water에서 공급하는 대청댐 수원의 대산 산업용수 시설에서 119천^m³/일과 현재 건설 중인 해수담수화 시설에서 100천^m³/일을 공급받게 됨.
- 개별 공장에서 공업용수 취수원으로 사용하는 대호지(공업용수 160천^m³/일 공급)는 가뭄에 취약한 특성이 있어 신규 용수로 대산 임해수담수화 시설을 도입음.
- 그러나 극단적인 일시적 가뭄에 대응하기 위해서는 비상용수를 공급하기 위한 인프라의 구축도 필요할 것으로 판단됨.

- 사업위치 : 충남 서산시 대산읍 독곶리, 대죽리 일원
- 사업규모 : 해수담수화 용량 Q=100,000 ^m³/일
- 사업기간 : 2022 ~ 2024년
- 시행자 : 한국수자원공사
- 사업비 : 2,851억원(K-water 70%, 국고 30%)
- 전처리 : DAF/중력식급속여과, 역삼투: 8인치막모듈, 모듈배치: Split Partial
- 시설은 표면해수(TDS 35,630mg/L기준) 약223,882만^m³/일을 사용하여 100,000^m³/일의 공업용수 생산 (수질: TDS 65mg/L)
- (취수(표면해수) → 부상분리공정 → MMF(다층여과)공정 → 역삼투(1단)공정

→ (역삼투(2단))공정 → 생산수

- 전처리 물리세척 배출수 / 막모듈 약품세척수 → (중화조) → 경사판침전지 → 급속여과(해양방류)
- 처리수수질기준 : 염소이온 20mg/L, 전기전도도 150 μ S/cm, TDS 65mg/L, 총경도 2.5mg/L, pH 6.5-7.5

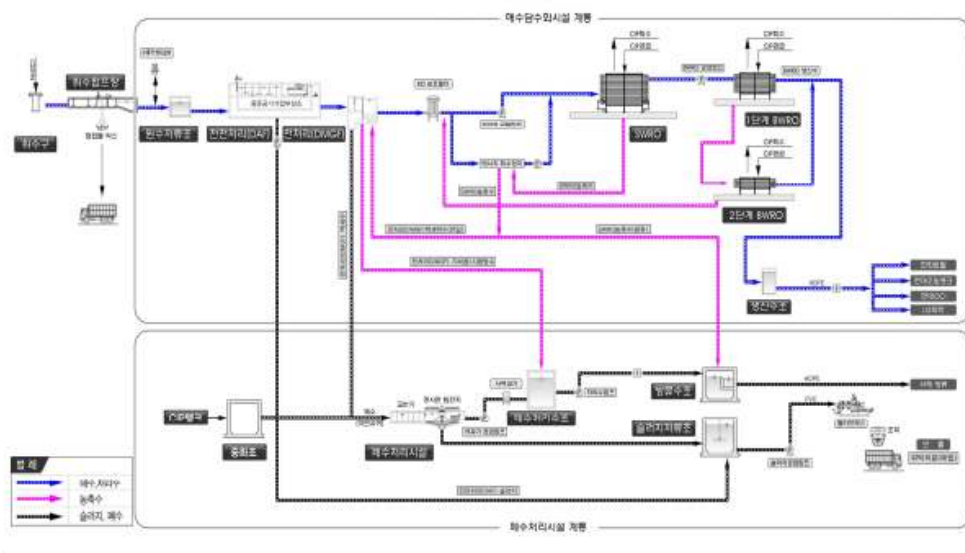


그림 3-5. 대산 임해지역 해수담수화 시설의 공정도

표 3-4. 대산임해지역 산업단지의 용수공급현황 및 수요

구분	개요		비고
취수시설	취수관로	• GRP, D1,200mm × 2열, L= 0.28km	
	취수펌프장	• Q=224천m ³ /일, he=70m	
해수담수화 시설	전처리시설	• 처리공법 : 해수전용 용존공기압부상 공법 (DAF) • 시설용량 : Q= 220,989m ³ /일 • 지수 : 5지 • TSS ≤ 15mg/L(10NTU) 일 경우 By-pass	
	전처리시설	• 처리공법 : 중력식다층여과지(DMGF) • 시설용량 : Q= 223,882m ³ /일 • 지수 : 14지	
	분처리시설	• 처리공법 : 막여과공법(SWRO, BWRO) • 시설용량 - SWRO : Q = 111,667m ³ /일 (SW440ES, 9,600개) - BWRO : Q = 100,000m ³ /일 (BW440ES, 3,948개)	
	폐수처리시설	• 처리공법 : 고속응집침전+사여과(압력식) • 시설용량 : Q= 6,000m ³ /일	
관로시설	도수관로	• HDPE, OD1,000mm × 2열, L= 4.86km, OD1,400mm, L = 0.14km	
	송수관로	• HDPE, OD280~1,000mm, L= 4.59km	
	방류관로	• 해상 : GRP, D1,100mm,L=0.72km • 육상 : HDPE, OD1,200mm,L=3.15km	

- 광양제철소 해수담수화 시설
 - 광양 제철소의 용수는 수어 댐으로부터 260천^{m³}/일의 원수를 공급받아 사용하고 있음.
 - 해수담수화 플랜트는 광양 제철소에 공업용수를 공급하기 위해 특수목적 법인(SPC)을 설립하여 포스코건설에서 시공한 후 포스코 O&M사가 운영 중으로 30천^{m³}/일을 공급하고 있음.
 - 해수담수화 시설의 원수는 광양 제철소 온배수를 취수하며, 농축수 및 배출수는 시설 주변의 해양에 방류됨.
 - 공정은 전처리로 탁질을 제거하기 위한 부상 분리 및 막여과(MF)를 도입하였으며, 주 공정으로 역삼투 공정을 고압 막 모듈 및 저압 막 모듈로 구성하여 처리수 수질을 확보하였음.
- 사업위치 : 광양시 금호동 908번지 (부지면적 : 11,500^{m²})
 - 담수화방식 : 역삼투방식(RO)
 - 시설용량 : 30천^{m³}/일
 - 사업기간 : 2012. 12 ~ 2014. 07 (EPC공사)
 - 사업비 : 약 500억
 - 시행주체 : 포스코건설 (시설건설)
 - 시설운영 : 포스코 O&M
 - 발 주 자 : (주)맑은동호안(SPC), 민간투자사업방식(사업형태)
 - 급수지역 : 포스코 광양제철소 공장 등
 - 처리공정 : 취수 → DAF → UF → SWRO → BWRO(2PASS) → (이온교환수지) → 처리수
 - 운영비 : 연간 약 70억
 - 공급단가 : 900-1,100원/^{m³}

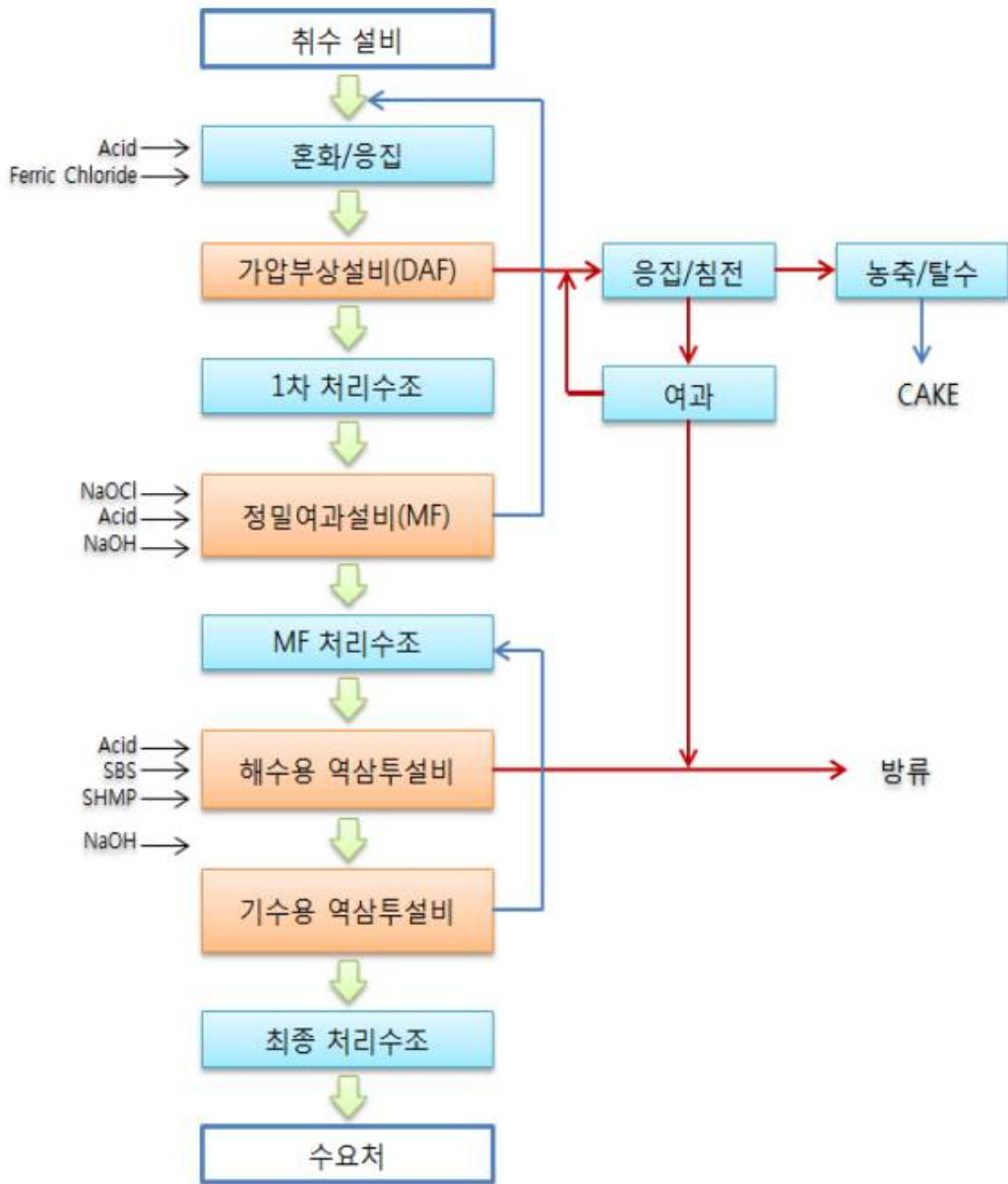


그림 3-6. 광양 해수담수화 시설의 공정도



광양제철소 해수담수화 시설. 포스코 광양제철소는 국내 최초로 상용화 해수담수화시설을 활용해 1일 산업용수 소모량인 26만 톤의 12%에 해당하는 용수를 제공받는다. /제공=포스코 광양제철소

그림 3-7. 광양 해수담수화 시설의 전경

- 증발결정 공정(Evaporation Crystallization)

- 증발결정은 해수담수화 농축수 저감을 위한 기술 중 하나로, 농축수를 고온으로 가열하여 증발시켜 결정을 형성하는 과정이며, 이러한 기술은 염분이 높은 농축수를 처리하고 해수에서 담수를 분리하는데 사용됨.
- 본 기술의 장점으로서는 고온 증발을 통해 염분을 농축수에서 제거함으로써 담수를 효과적으로 회수할 수 있음. 또한 다양한 종류의 염분에 대응 가능하며, 특히 염분 결정화로 인한 성능이 높음. 그리고 증발 후 형성된 결정물질은 분리 및 처리되어 추가적인 자원 회수가 가능함.
- 증발 결정의 단점은 고온 증발에는 상당한 양의 열에너지가 필요하므로 높은 에너지 소모가 발생할 수 있으며, 증발결정장비 자체가 복잡하며 유지보수 및 운영에 추가적인 비용과 노력이 필요함. 또한 형성된 결정물질의 처리 및 폐기에 대한 환경적인 고려가 필요함.

- 증발결정 기술은 이미 일부 해수담수화 시설에서 사용되고 있으며, 특히 농축수 처리에 효과적이라는 점에서 실용화 가능성이 높음.
- 연구와 현장 적용을 통해 효율적이고 경제적인 방안으로 발전할 수 있으며, 향후 기술의 발전과 에너지 효율화를 통해 더 많은 실용화 가능성이 예상됨.

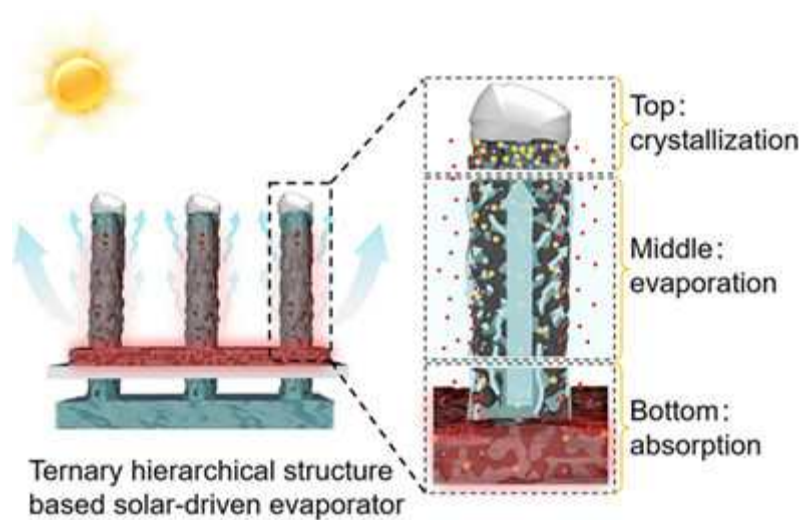


그림 3-8. 증발결정 공정 모식도

- 다단식 역삼투(Multi-Stage Reverse Osmosis) 공정

- 다단식 역삼투(Multi-Stage Reverse Osmosis) 공정은 해수담수화 농축수의 저감을 위한 기술 중 하나로, 다단계로 구성된 역삼투과정을 통해 농축수를 처리하는 방법임.
- 이 공정은 농축수를 여러 단계로 나누어 처리함으로써 효율적인 저감 효과를 얻을 수 있음.
- 다단식 역삼투 공정은 일반적으로 다음과 같은 단계로 진행됨.

- 사전 처리 단계: 해수를 담수로 전환하기 전에, 먼저 해수를 사전 처리하며, 이 단계에서는 해수 중의 불순물을 제거하거나 최소화하기 위해 여러 공정이 적용될 수 있음. 예를 들어, 여과, 응집, 침전 등의 과정을 통해 불순물을 제거함.
- 사전 처리된 해수는 역삼투(membrane) 모듈로 흘러보내어 역삼투 과정을 거치며, 다단식 역삼투는 여러 개의 역삼투 단계로 구성되어 있고, 각 단계에서는 역삼투 모듈을 통해 농축수와 담수로의 분리가 이루어짐.
- 역삼투 과정을 통해 분리된 농축수는 농축수 처리 단계로 이동함. 이 단계에서는 농축수의 농도를 더 높이거나 이를 처리하기 위한 추가적인 공정이 진행될 수 있음. 예를 들어, 증발 결정, 화학적 처리, 전자플라즈마 처리 등의 방법을 사용하여 농축수를 처리함.
- 마지막으로 다단식 역삼투 과정에서 분리된 담수는 담수 회수 단계로 이동하여 회수됨. 이 단계에서는 담수의 품질을 최종적으로 확인하고 필요한 후처리를 수행함.
- 본 기술의 특징으로는 여러 개의 단계로 구성되어 있어 농축수를 저장하는 효율성이 높고, 각 단계에서 역삼투 모듈을 사용하여 농축수와 담수를 분리한 후, 농축수를 다음 단계로 이동시켜 농축도를 더욱 높일 수 있음.
- 다단식 역삼투 공정은 각 단계에서 일부 농축수가 담수로 분리되어 에너지 소비를 줄일 수 있으며, 다단식 구조를 통해 고농축도 농축수를 처리하는 단계에서 더욱 효율적으로 에너지를 활용할 수 있음.
- 다단식 역삼투 공정은 단일 단계 역삼투 공정에 비해 상대적으로 낮은 운전 압력을 요구하며, 각 단계에서는 일부 농축수가 분리되어 담수로 이동

하기 때문에, 전체 시스템의 압력을 조절하는 데 유리함.

- 또한 각 단계에서 담수로 분리되는 농축수는 다음 단계로 이동하기 전에 추가적인 처리를 거치며, 최종적으로 회수되는 담수의 품질은 높아짐.

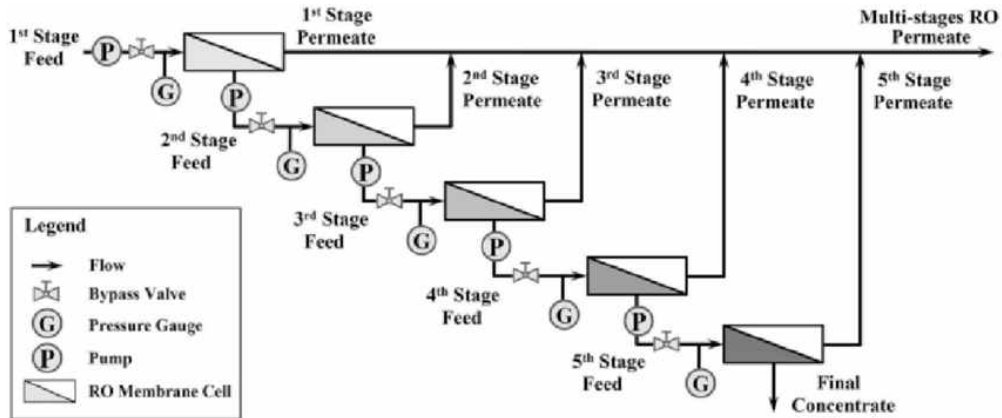


그림 3-9. 다단식 역삼투(Multi-Stage Reverse Osmosis) 공정 모식도

- 화학적 침전(Coagulation-Flocculation) 공정

- 화학적 침전은 농축수 처리 과정에서 사용되는 기술 중 하나로, 화학적인 약품을 사용하여 농축수 내의 불순물을 응집시키고 침전시키는 방법이며, 이를 통해 농축수의 농도를 줄이고 처리 효율을 높일 수 있음.
- 화학적 침전 과정은 다음과 같은 단계로 이루어짐.
- 혼합: 농축수에 화학적 약품을 첨가하고, 적절한 혼합을 통해 약품과 농축수를 균일하게 혼합함. 이 단계에서는 약품이 농축수 내의 불순물과 상호작용하여 응집체를 형성할 수 있는 환경을 조성함.
- 응집: 혼합된 농축수와 약품이 상호작용하면서 불순물과 약품이 응집체로 결합함. 약품은 불순물의 입자를 중화하고 응집체를 형성하는 역할을 하며, 응집체는 불순물 입자들이 모여 큰 입자로 형성되어 농축수 내에서

분리되기 용이해짐.

- 침전: 응집체가 형성된 농축수는 정착조로 이동하게 되며, 정착조에서는 응집체가 침전하여 농축수로부터 분리됨. 응집체의 침전 속도는 입자의 크기와 밀도에 따라 달라지며, 침전 시간은 처리하고자 하는 농축수의 특성과 처리 목적에 따라 조절될 수 있음.
- 침전물 처리: 침전된 불순물은 침전물 또는 슬러지로서 수거되어 추가적인 처리 단계를 거치며, 이 단계에서는 필터링, 건조, 폐기 등의 공정을 통해 불순물을 안전하게 처리함.

- 해수담수화 농축수 저감을 위한 전처리 기술 개발
 - CO₂ 가스를 이용한 농축수 내 이온물질 제거 기술 개발
 - 해수담수화 농축수 저감을 위하여 중공사형과 튜브형 세라믹 분리막을 이용한 CO₂ 마이크로버블 발생기 설계 및 프로토타입 제작



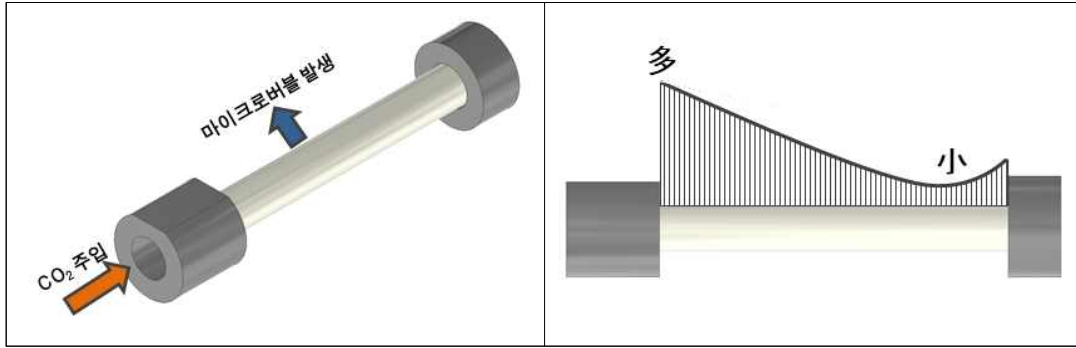
중공사형 분리막 이용 발생기

튜브형 분리막 이용 발생기

그림 3-10. 중공사형과 튜브형 분리막을 이용한 마이크로 버블 발생기

- CFD를 이용한 CO₂ 가스 균등 분배 기술 개발

- 중공사형 세라믹 분리막 CO₂ 발생기 프로토타입을 이용한 CO₂ 분배확인

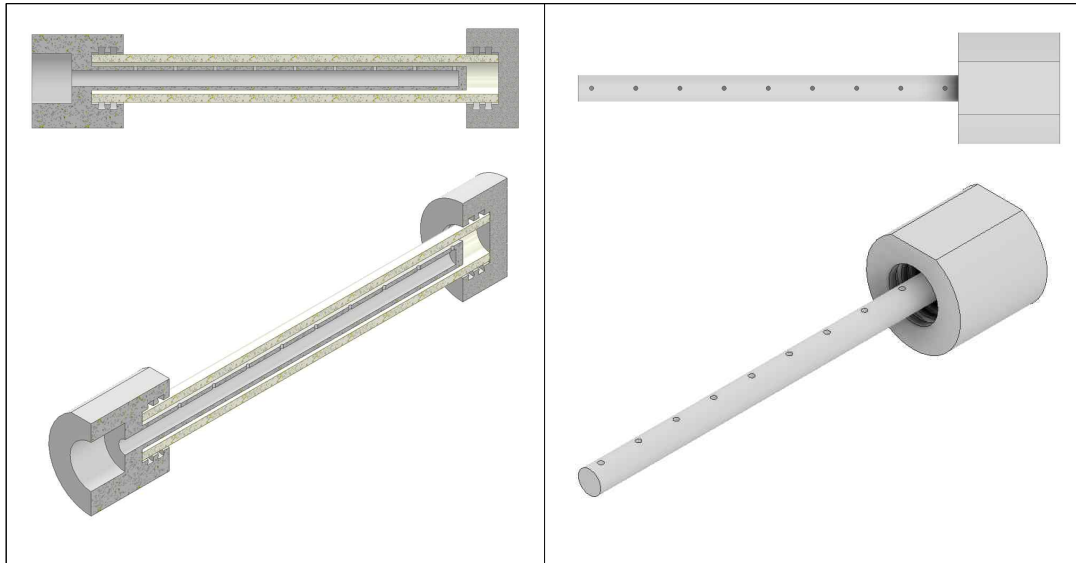


마이크로버블 발생기 구동 방법

마이크로버블 발생 분포

그림 3-11. 마이크로버블 발생기 구동 및 마이크로버블 발생 분포

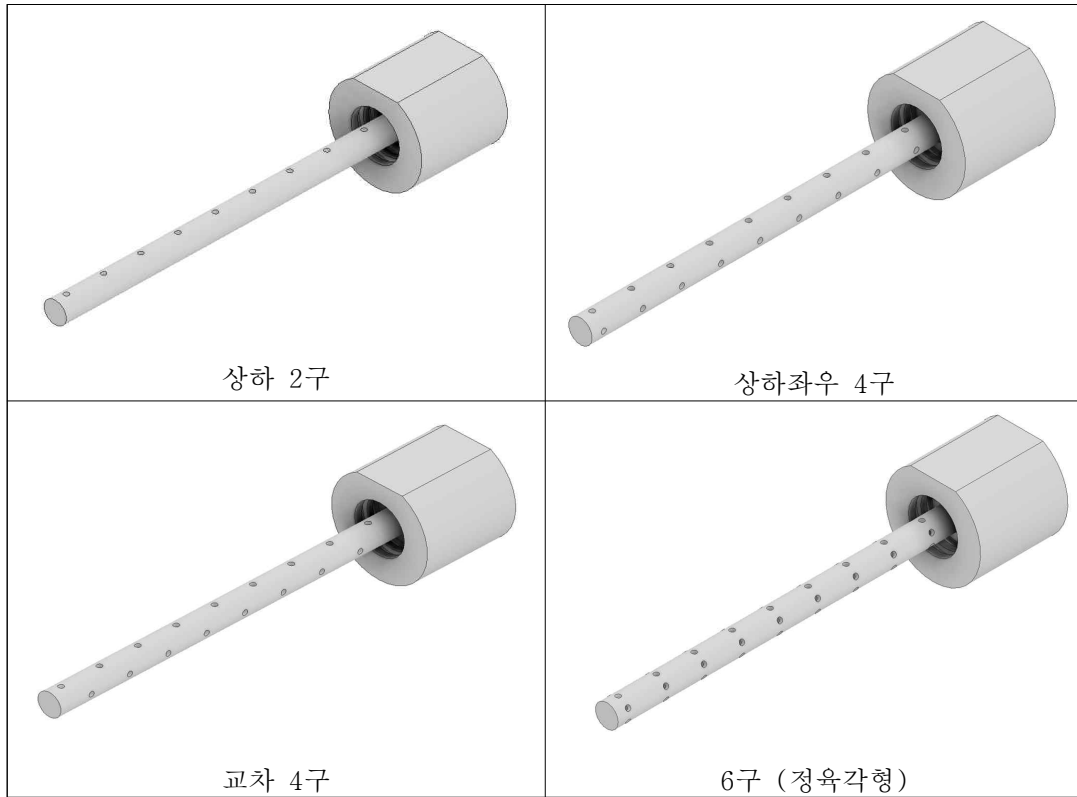
- CO₂ 가스의 균일한 분포를 위한 내부 정류판 설계



마이크로버블 발생기 구동 방법

마이크로버블 발생 분포

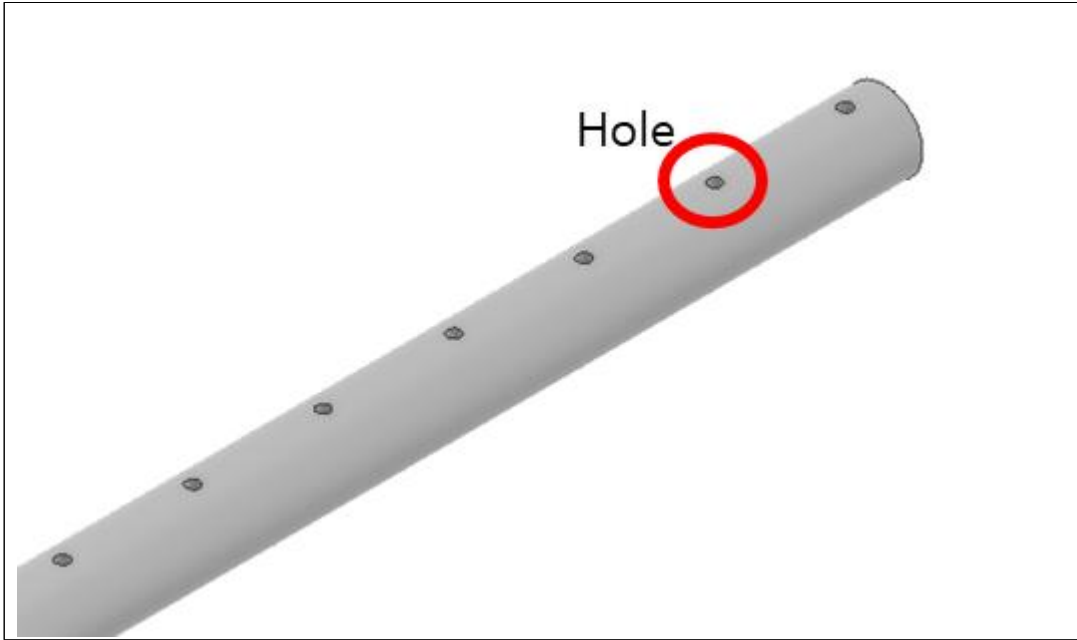
그림 3-12. CO₂ 가스의 균일한 분포를 위한 내부 정류판 설계(분포방법별)



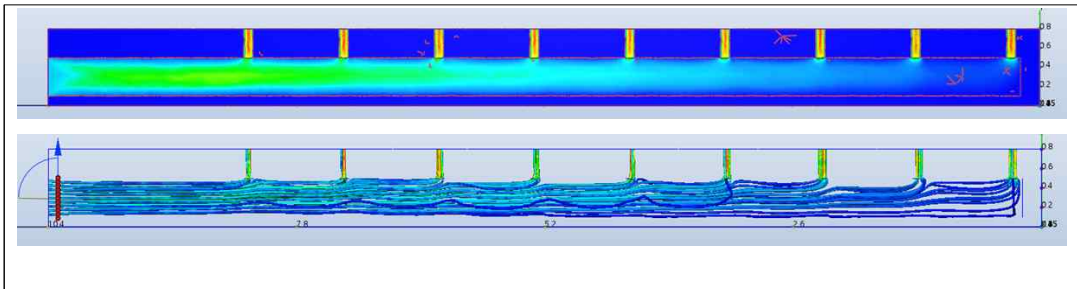
정류관 구멍 수에 따른 설계

그림 3-13. CO₂ 가스의 균일한 분포를 위한 내부 정류관 설계(정류관 구멍 수)

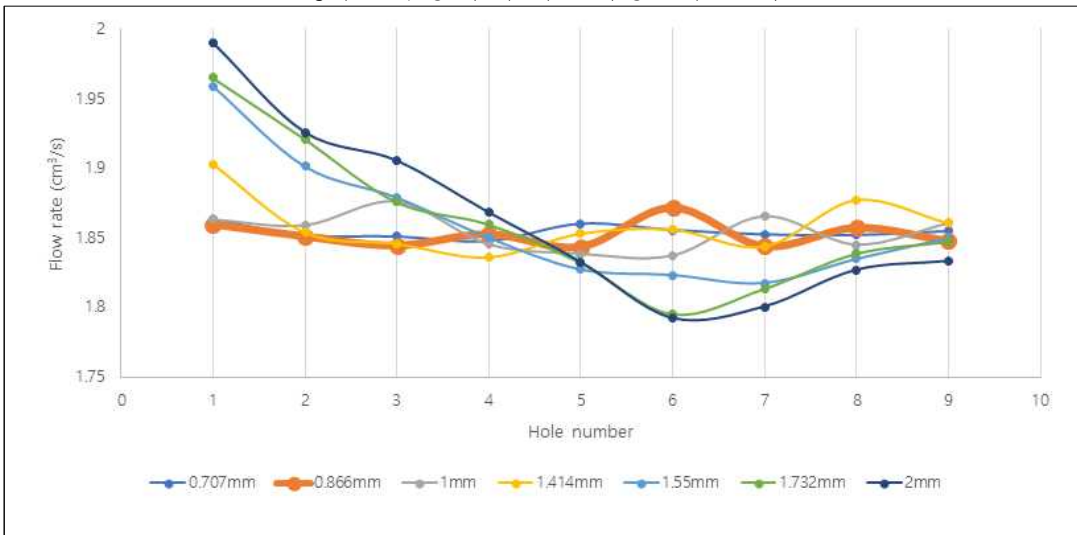
- CFD를 이용한 CO₂ 흐름 해석



정류관 구멍 설계

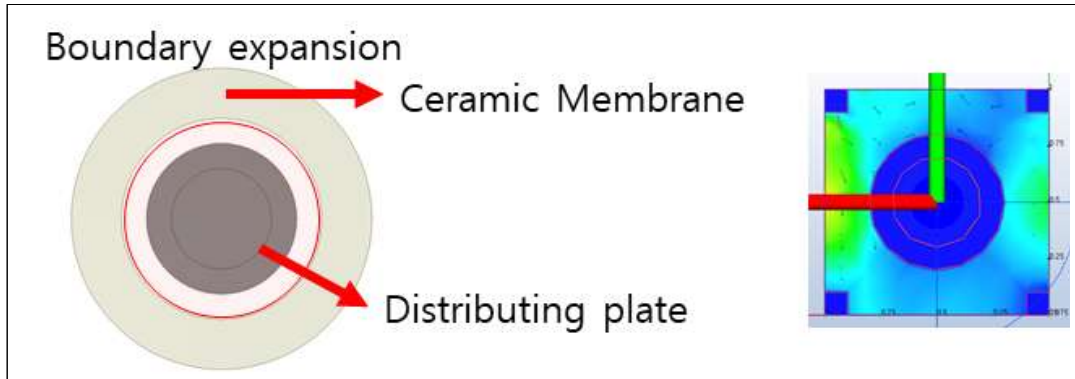


정류관 구멍 수에 따른 유량 흐름 분석

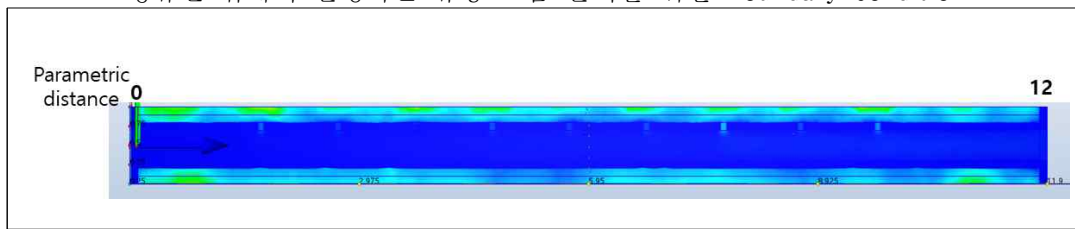


정류관 구멍 크기에 따른 유량 분배 확인

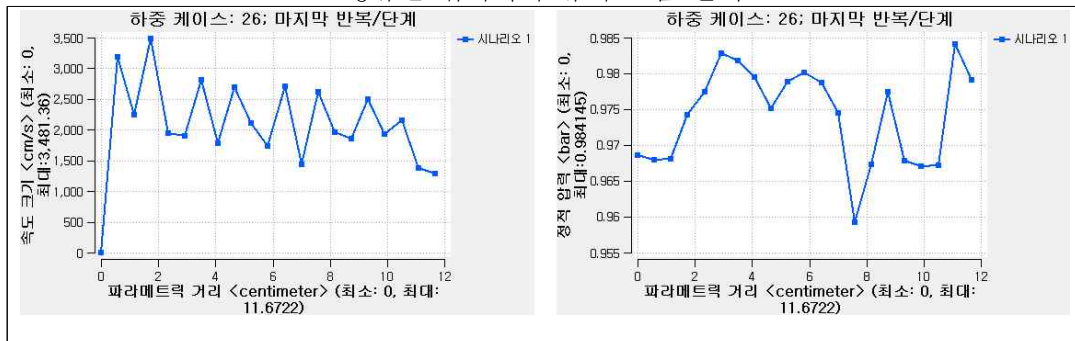
그림 3-14. CFD를 이용하여 정류관 내부의 CO₂ 가스 흐름 분석



정류판 밖에서 발생하는 유량 흐름 분석을 위한 Boundary condition



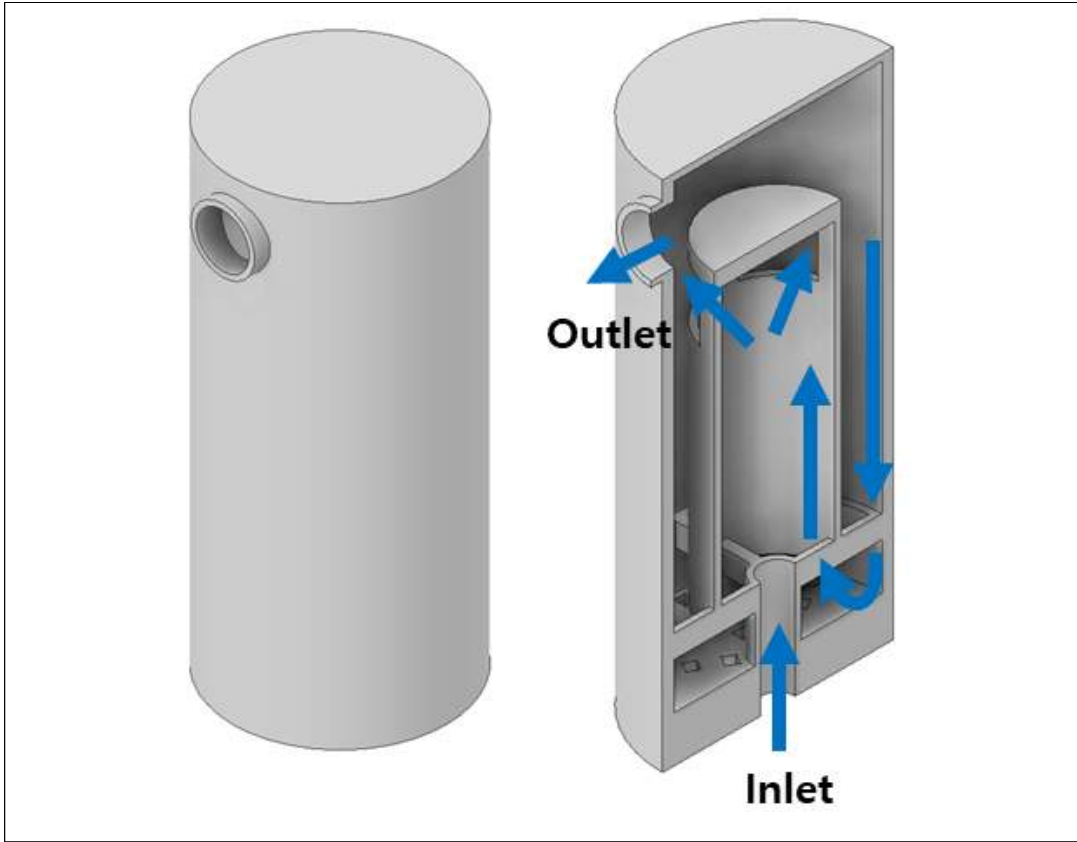
정류판 밖에서의 유체 흐름 분석



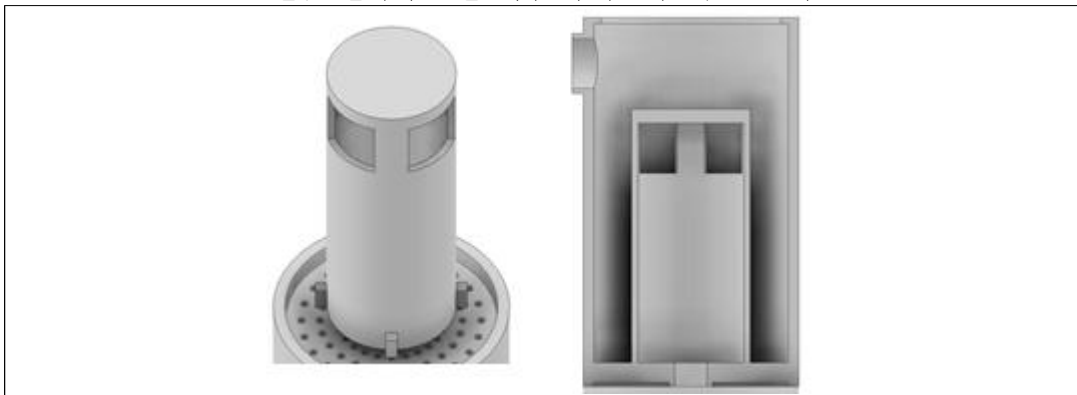
정류판 구멍과 거리에 따른 유체 흐름 분석

그림 3-15. CFD를 이용하여 정류판 외부의 CO₂ 가스 흐름 분석

- Lab-scale advanced membrane distillation 공정 설계 및 실험
 - CO₂를 이용한 전처리 기술 개발
 - CO₂를 이용한 칼슘 전처리 모듈 설계



칼슘 전처리 모듈 내부 유체 흐름 구조 설계



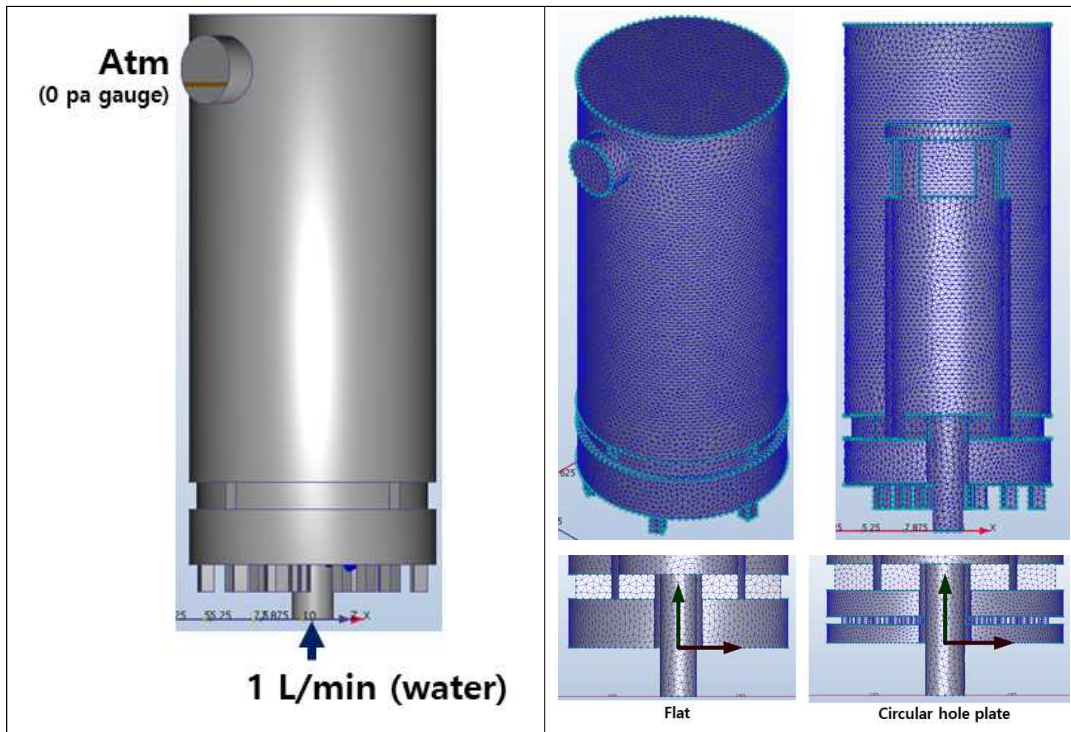
칼슘 전처리 모듈 구조 설계



칼슘 회수부 설계

그림 3-16. 칼슘 전처리 모듈 설계

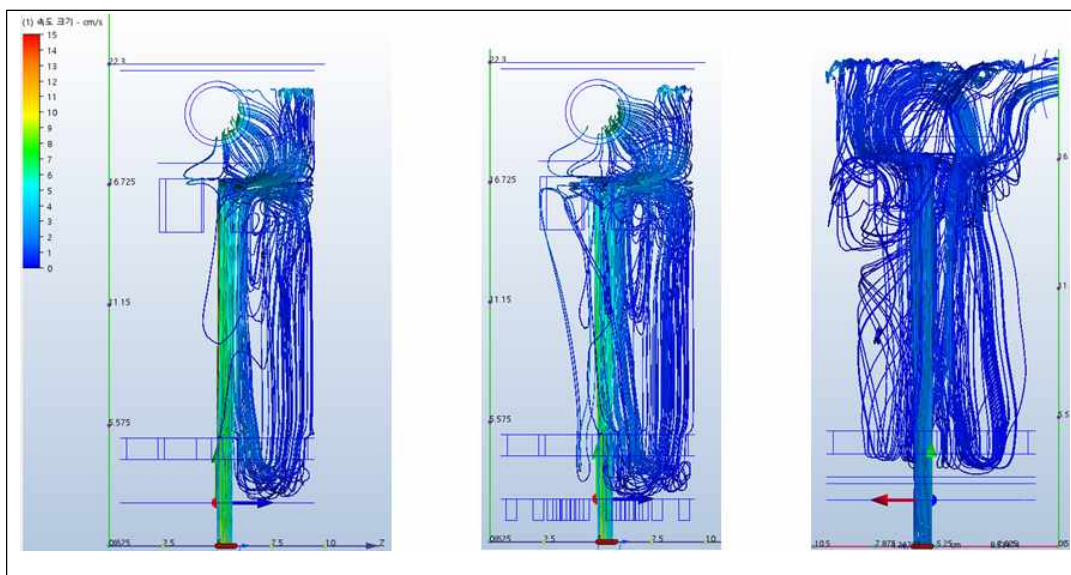
○ CFD를 이용한 내부 유체 순환 및 칼슘 회수부 검증



Boundary condition 설정

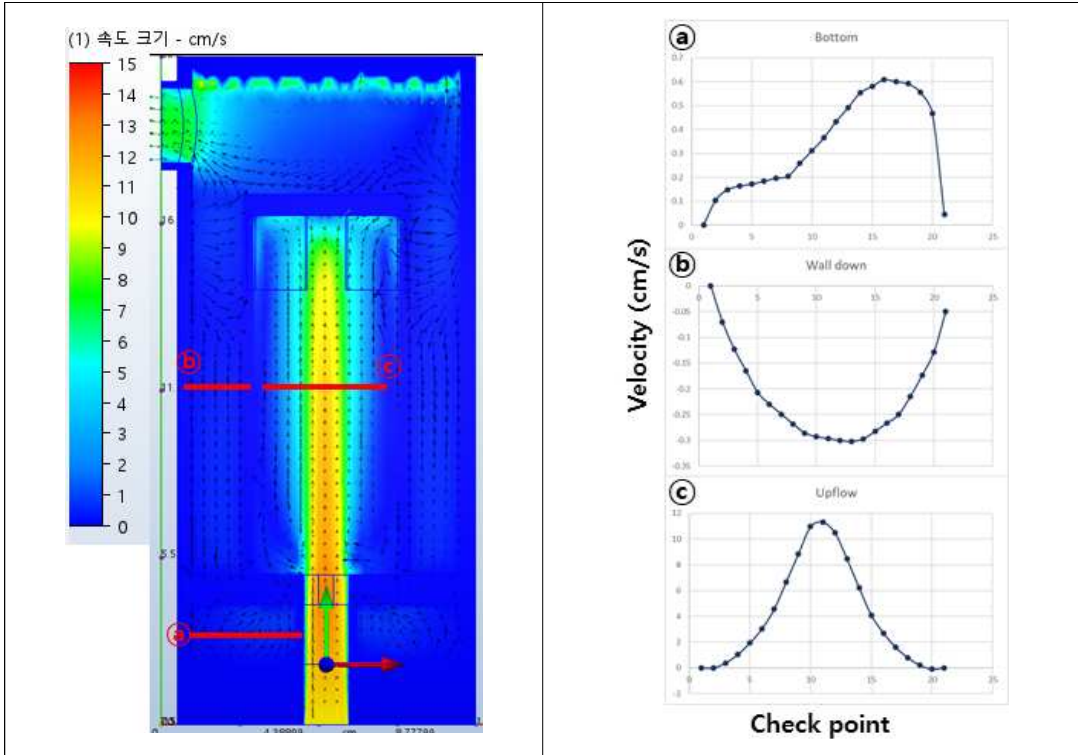
메쉬 설정

그림 3-17. 칼슘 전처리 모듈의 CFD 조건 설정



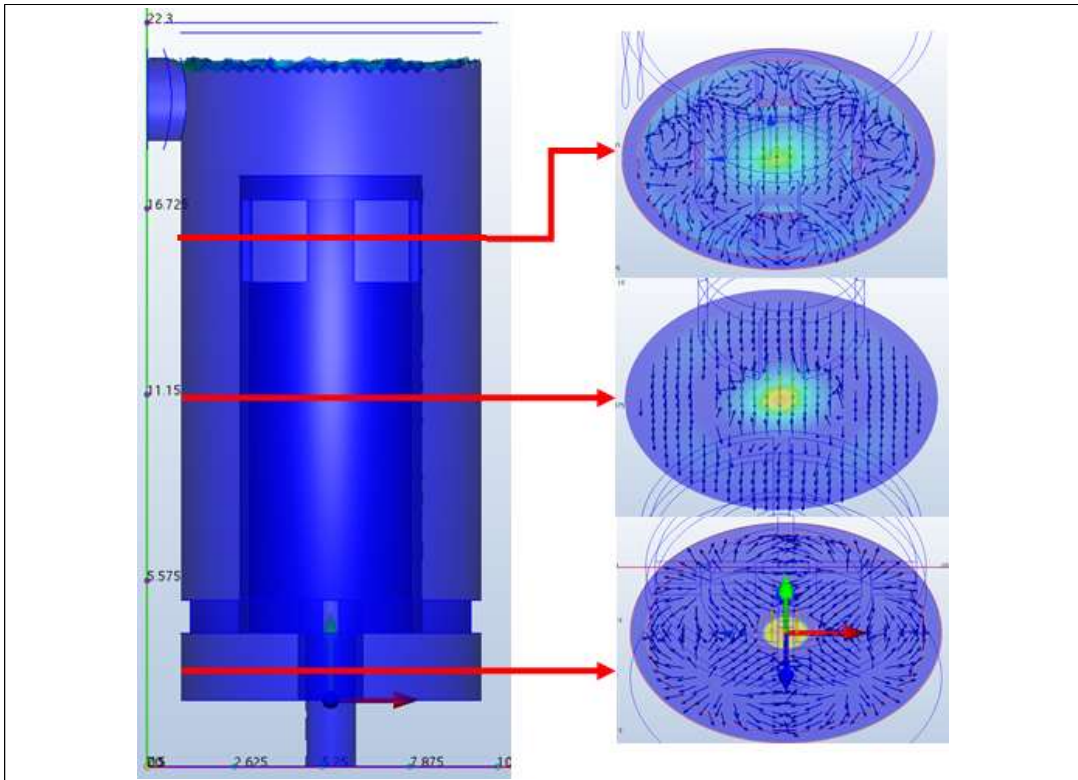
각 모듈의 스트림라인 분석 (평판형, 사각구멍형, 원판형 순)

그림 3-18. 칼슘 전처리 모듈의 스트림라인 분석



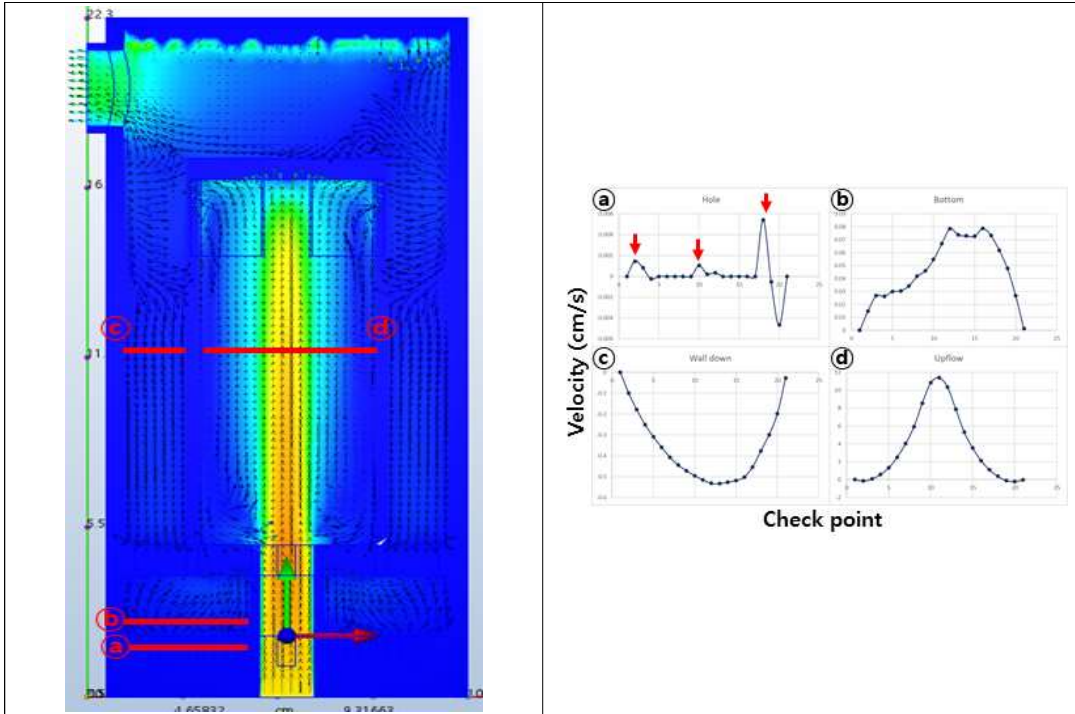
평판형 모듈의 내부 유체 흐름 분석

각 체크포인트 별 유속 발생량 분석



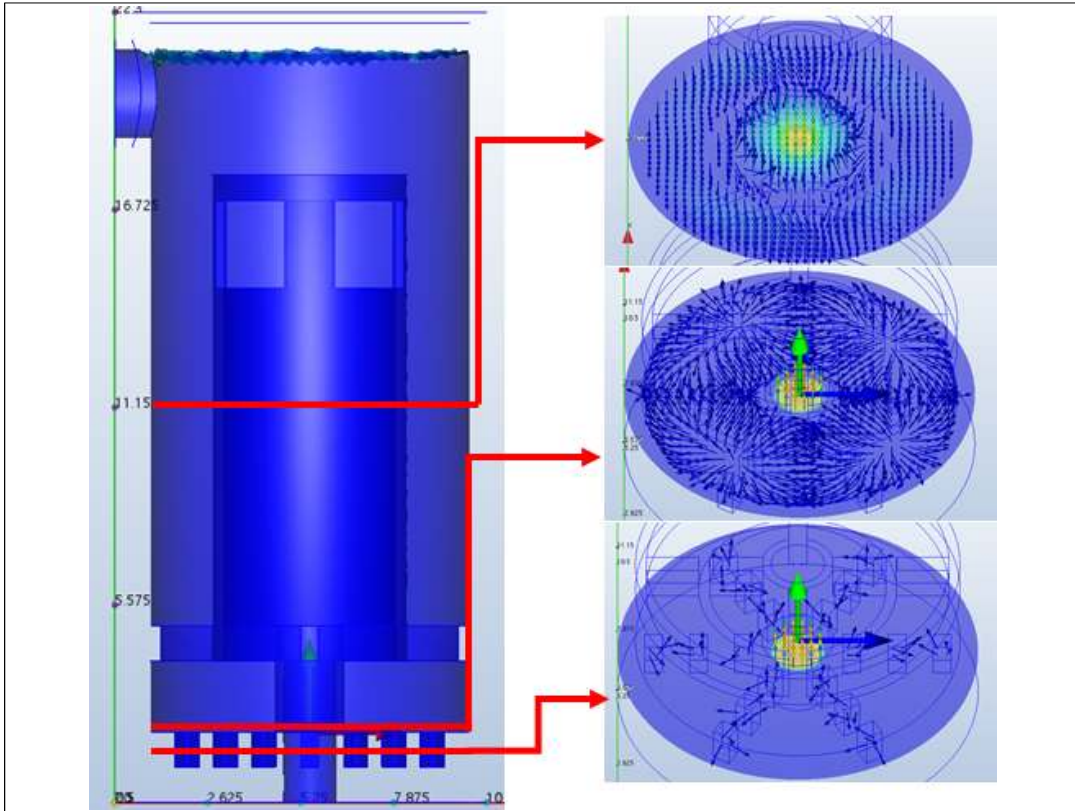
평판형 모듈의 각 부분 별 유체 벡터 분석

그림 3-19. 평판형 모듈의 CFD 분석



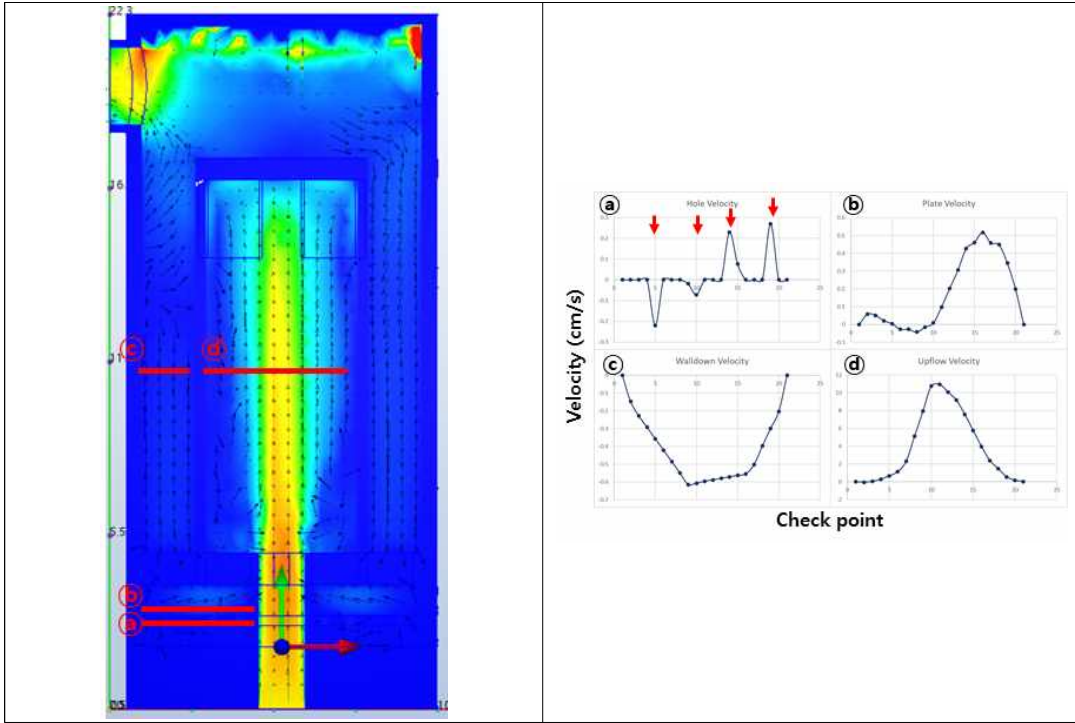
사각구멍형 모듈의 내부 유체 흐름 분석

각 체크포인트 별 유속 발생량 분석



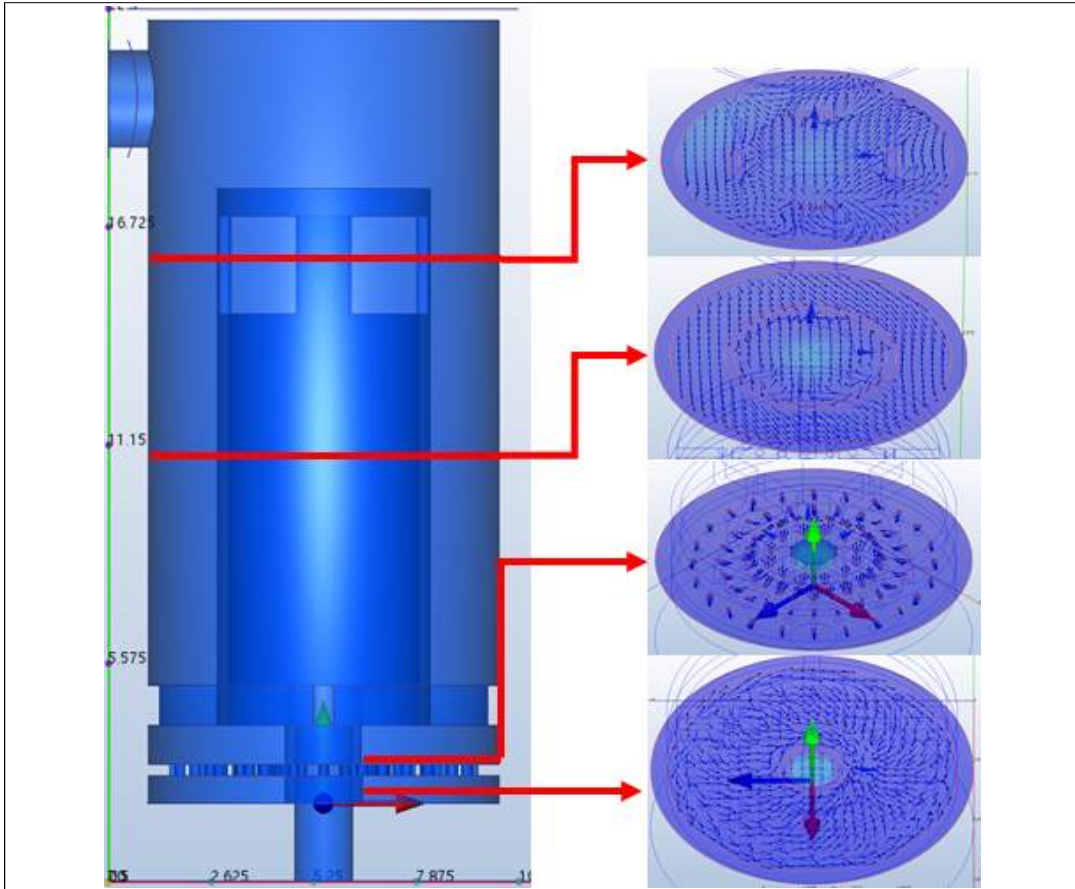
사각구멍형 모듈의 각 부분 별 유체 벡터 분석

그림 3-20. 사각구멍형 모듈의 CFD 분석



원판형 모듈의 내부 유체 흐름 분석

각 체크포인트 별 유속 발생량 분석



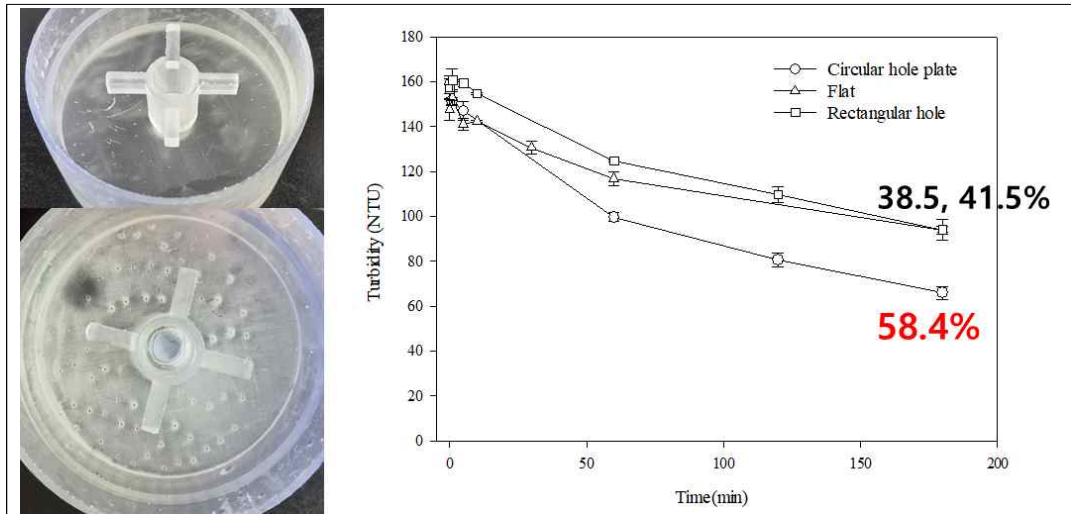
원판형 모듈의 각 부분 별 유체 벡터 분석

그림 3-21. 원판형 모듈의 CFD 분석

- 3D 프린터를 이용한 칼슘 전처리 모듈의 제작과 입자성물질을 이용한 칼슘 회수 분석



3D 프린터를 이용한 모듈 제작



400 ppm 카올린 용액을 이용한 카올린 제거 분석을 통한 회수 가능성 확보
 그림 3-22. 3D프린터를 이용한 모듈 제작과 입자성물질을 이용한 회수 분석

1.2 WBS 2: 자원회수를 위한 바이오차, 폐자원 활용 전극소재 원천기술 개발

1.2.1 연구목표 달성도

연번	성과목표·지표	목표치	달성내용	달성도 (%)	가중치	미달성 사유
02	자원회수를 위한 바이오차, 폐자원 활용 전극소재 원천기술 개발	제조전극 대상자원(Li, Mg, Br 등) 이온 회수능 70%	제조 전극을 활용한 농축수 내 리튬이온 회수능 73.8% 달성 (공인시험성적서 확보)	100	1.0	-
달성도 계 (%)				100	1.0	

1.2.2 증빙자료

연번	02		
성과목표	자원회수를 위한 바이오차, 폐자원 활용 전극소재 원천기술 개발		
성과지표	제조전극 대상자원(Li, Mg, Br 등) 이온 회수능	가중치	1
측정방법	설정된 CDI 표준운전조건에서 유입수 및 처리수내 대상이온 농도 측정을 통한 회수능 계산(((농축수 리튬농도-원수 리튬농도)/원수 리튬농도)*100)		
목표치	제조전극 대상자원(Li) 이온 회수능 70%		
실적	<ul style="list-style-type: none"> - CDI용 전극 제조 레시피 확립 및 이를 활용한 CDI 장치 성능평가 실시 - 농축수 내 리튬이온 회수능 73.8% 결과 확인 		
입증근거	<ul style="list-style-type: none"> - 농축수 내 리튬이온 회수능 73.8% 달성 - 외부기관 공인시험성적서 확보 		
<p><외부기관 공인시험성적서 확보></p>			

시험성적서

(재)한국환경수도연구원 우)07201 서울특별시 영등포구 양평로28사길 29 Tel : 02-2637-1234 Fax : 02-2631-8767	성적서 번호 : ID-230401 페이지 (1) / (총 1) 끝	
---	---	---

1. 의뢰자 기관명 : 한국건설기술연구원
주 소 : 경기도 고양시 일산서구 고양대로 283
2. 시험대상 품목/물질/시료 설명 : 수질
3. 시 료 구 분 : 지참시료
4. 시 험 기 간 : 2023. 10. 27. ~ 2023. 10. 31.
5. 시 험 장 소 : 고정시험실 (서울특별시 영등포구 양평로28사길 29) 현장시험
6. 시 험 방 법 : KS I ISO 11885 (2018)
7. 시 험 환 경 : 온도 : (최저 23 °C, 최고 25 °C), 습도 : (최저 43 % R.H., 최고 53 % R.H.)
8. 시 험 결 과

항목	단위	결과			비고
		CDI 유입수	CDI 처리수	CDI 농축수	
리튬	mg/L	18.73	2.34	32.58	-

학 인	시험자	김	기술책임자	송
-----	-----	---	-------	---

1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로서 전체 제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
2. 이 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025 와 KOLAS 인정과 관련 없으며, 용도 이외의 홍보, 선전, 광고 및 소송용, 행정처분을 위한 근거 등으로 사용될 수 없고, 서면승인 없이 재발행하지 못합니다.
3. 이 성적서는 참고용으로만 사용할 수 있습니다.

2023. 10. 31.

(재)한국환경수도연구원장 (인)

• 시험결과 및 시험성적서 진위여부는 성적서 상단의 대표전화로 문의하시기 바랍니다. (02-2637-1234)



1.2.3 당해연도 연구내용

(1) 농축수내 대상자원 수집 및 농축기술 동향 분석

- 농축수 저감 및 유가자원 회수 기술 개념
 - 해수(바닷물)와 염수(염 지하수, 농축수 등)에 자연적으로 용해된 유용한 물질(성분 또는 화합물)의 추출 기술
 - 유입수(해수 및 염수) 내의 유가 이온의 농도를 높이기 위한 농축 기술
 - 특정 성분만 수집하기 위한 분리기술
 - 순도를 높이고 사용 가능한 형태로 만드는 정제기술
- 농축수 저감 및 유가자원 회수 기술 범위
 - 유가 이온: 리튬, 마그네슘, 스트론튬, 루비듐, 브롬, 니켈, 코발트 등 배터리에너지 소재로 활용될 수 있는 금속 이온
 - 농축기술: 막분리 기술, 증발농축 기술
 - 분리기술: 흡착, 용매 추출, 결정화
 - 정제기술: 불순물 제거 기술, 수요 맞춤형 가공 기술

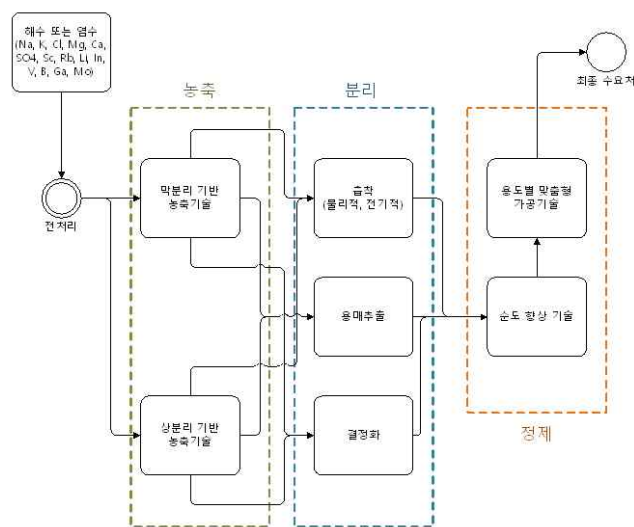


그림 3-23. 농축수 저감 및 유가자원 회수 기술의 범위

○ 농축수 저감 및 유가자원 회수 핵심기술 분류

- 고회수율 농축기술

세부기술명	기술정의
농축공정 유입수 전처리 기술	유입수(해수 또는 염수) 내 공정방해성분으로 인한 농축공정의 효율저하를 방지하기 위한 수질조절 기술
막 기반 물리적 농축기술	막(Membrane)을 이용하여 유입수(해수 또는 염수) 중의 물을 제거함으로써 회수대상 물질의 농도를 증가시키는 기술
증발기반 열적 농축기술	열 에너지에 의한 상분리를 이용하여 유입수(해수 또는 염수) 중의 물을 제거함으로써 회수대상 물질의 농도를 증가시키는 기술

- 선택적 분리기술

세부기술명	기술정의
선택적 흡착기술	농축된 유입수 중의 회수대상 물질만 선택적으로 분리하기 위한 흡착제 및 이를 이용한 공정기술
선택적 용매 추출기술	물과 섞이지 않는 용매 상을 이용하여 농축된 유입수 중의 회수대상 물질을 흡수하여 추출하는 기술
선택적 결정화 기술	농축된 유입수 중의 회수대상 물질의 용해도 특성을 이용하여 고체상의 결정을 형성시킴으로써 다른 물질과 분리하는 기술

- 맞춤형 정제기술

세부기술명	기술정의
불순물 제거 및 순도 향상 기술	분리된 회수대상 물질 안의 이물질을 제거하기 위한 소재 및 공정 기술
용도별 맞춤형 가공 기술	분리된 회수대상 물질의 상태 및 조성을 조절함으로써 사용처에 필요한 형태로 만드는 기술

○ 자원회수 분야 국외 기술 동향

- 해수 및 염수 자원회수에 대한 관심 증가
 - 순환경제의 측면에서 지속가능한 해수 및 폐수로부터의 유가자원 활용에 대한 요구가 증가하고 있음
 - 국외에서는 해수담수화 플랜트 농축수를 대상으로 한 유가금속 회수에 대한 관심이 높아지고 있음
- 해수 및 농축수 내 자원회수는 주로 Li, U, Sr 등을 대상으로 연구되었으나, 과거에는 수요처와 경제성을 고려하지 않았기 때문에 실용화 단계에 진입하지 못하였으며, 신기술의 개발이 진행됨에 따라 점점 실용화 가능성이 높아지고 있음
 - 경제성 측면에서 회수의 타당성이 있는 이온성분은 Li, I, B, Sr, Ca, Mg, K, Na, Br, Rb 등이며, 학계와 연구계에서의 현재까지의 연구는 주로 Li, U, Sr 등의 회수를 위한 흡착 및 이온교환 소재를 개발하는 것이었음
 - 이들 이온은 미량으로 존재하기 때문에 생산량의 한계와 경제성의 문제가 있으며 사업화를 추진하는 경우 수요처를 찾기 어렵다는 문제점이 있었음
- 해수 내의 미량 이온의 농도를 높이는 방법으로 과거에는 증발농축이 주로 사용되었으나, 최근에는 새로운 방식인 막분리 기반 농축기술이 검토되고 있음
 - 증발농축은 삼투압과 무관하게 유입수 내의 이온 농도를 증가시킬 수 있으나 에너지 사용량이 높아 경제성에 영향을 미칠 수 있음
 - 최근 초고압 역삼투(Ultra high pressure RO, UHPRO), 삼투지원 역삼투(Osmotically-assisted RO, OARO), 저염배제 역삼투(Low

필요함

- 최근 물 속의 금속이온을 고순도로 석출하기 위한 신기술로 막결정화 등이 개발되고 있음
 - 이탈리아 ITM의 Drioli 교수 연구팀은 막결정화를 이용한 자원회수 분야를 선도하고 있으며, 주로 실험실 규모에서 다양한 물질을 회수하기 위한 소재와 기법을 개발하였음
 - 싱가포르 NUS의 Chung 교수 연구팀에서도 최근 냉각법과 막증발, 결정화를 결합한 막결정화 시스템 기술을 개발하였음
 - 국내의 경우, 막결정 기술에 대한 실험실 규모의 연구를 통해 기술개발 추진을 위한 기반을 구축하는 단계임
 - 하지만 이러한 방법들은 실험실 규모에서는 효과적인 것으로 나타났으나 아직 실규모에서의 적용사례가 없으므로 스케일업 등에 대한 후속연구가 필요함
- EU에서는 최근 해수 및 폐수로부터 유가금속을 회수하기 위한 다양한 연구 프로젝트 추진
 - SEA4VALUE: 해수담수화 농축수로부터 총 9 종류의 유가금속을 동시에 생산하기 위한 원천기술 개발
 - ZERO BRINE: 산업폐수로부터 유가금속을 회수하고 농축폐수 방류량을 최소화하는 핵심기술 개발
 - ULTIMATE: 물과 유기물, 무기물 등을 종합적으로 재이용하기 위한 기술 개발

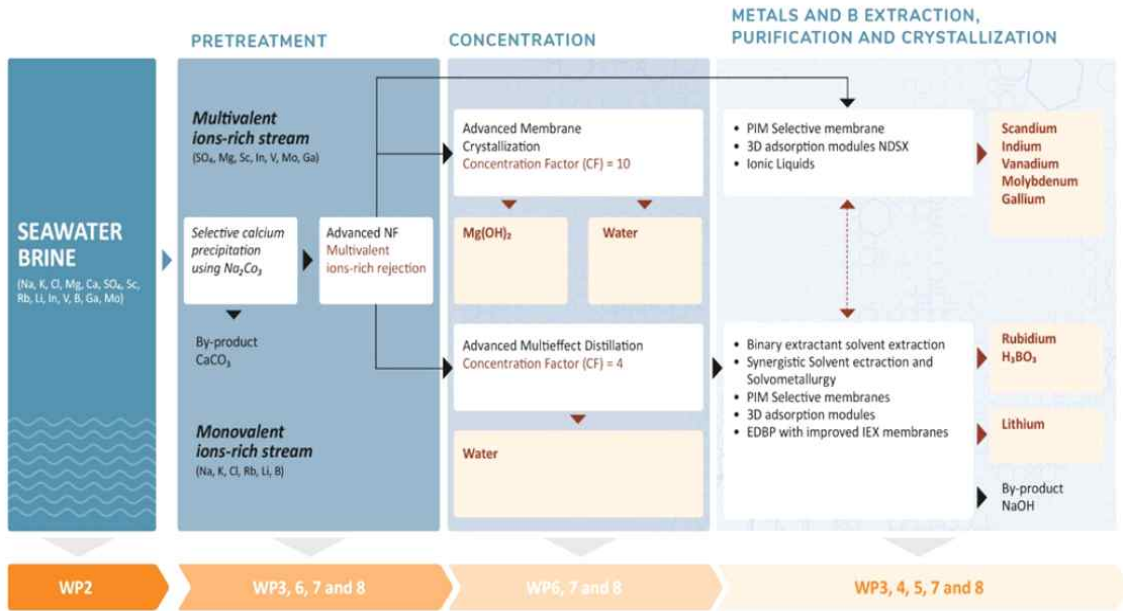


그림 3-25. SEA4VALUE 프로젝트의 유가금속 회수공정 모식도

- 특히 SEA4VALUE 프로젝트는 해수 및 염수로부터의 자원회수에 관련된 선도적인 프로젝트임
 - 스페인, 독일, 이탈리아, 벨기에, 우크라이나, 네덜란드, 핀란드 및 스위스 등 유럽 각지의 16개 파트너사가 모여 2020년 6월 1일부터 2024년 5월 31일까지 진행 예정
 - 10가지 목표 물질인 마그네슘, 스칸듐, 바나듐, 갈륨, 붕소, 인듐, 리튬, 몰리브덴, 루비듐 및 칼슘의 회수에 초점을 맞추고 있음
 - 지중해(스페인 데니아)와 대서양(Fonsalía, 카나리아 제도, 스페인)의 두 가지 해양 환경에 설치된 파일럿에서 데이터를 평가하고 연구를 확장함
- 다수의 해수담수화 플랜트가 운영되고 있는 중동지역에서 유가금속 회수에 대한 기술개발과 적용이 시도되고 있음
 - 사우디아라비아의 국영기업 연구소인 SWCC-DTRI에서는 담수화 농축수로부터 마그네슘, 브롬, NaCl 등을 생산하는 시스템 기술을 개발하여 파

일련 테스트를 진행함

- UAE와 쿠웨이트 등의 국가에서도 농축수 내 자원회수에 대한 관심이 높아지고 있음

DTRI-SWCC patented dual brine concentrator – “Nano Filtration”

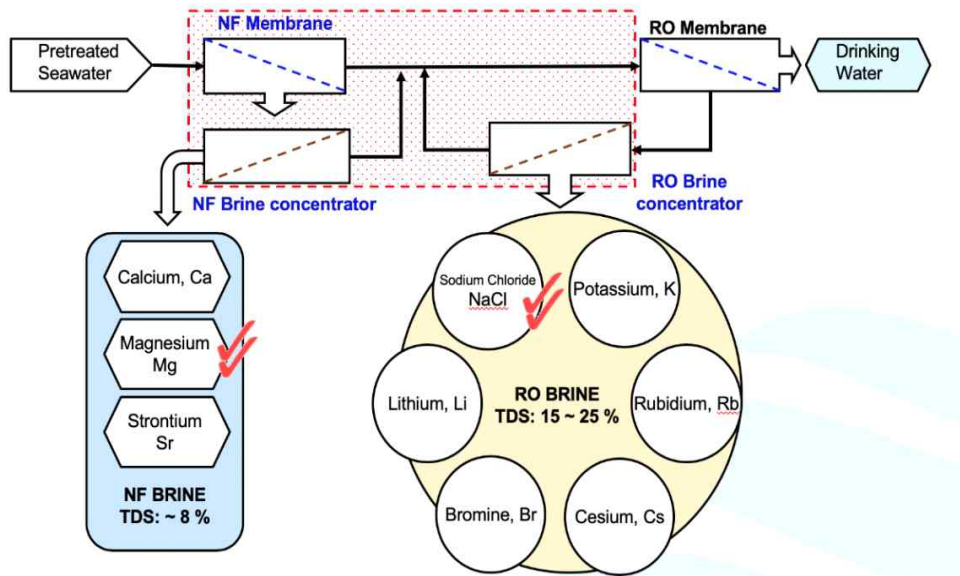


그림 3-26. DTRI-SWCC 해수 담수화 플랜트의 나노여과를 이용한 유가금속 회수공정 모식도

- 미국, 볼리비아, 프랑스 등 여러 국가에서도 꾸준히 리튬 회수에 대한 연구를 진행하고 있음
 - 미국은 염수(brine)에서 리튬의 상업적 회수와 우라늄 추출용 흡착제 개발에 관한 연구를 수행하였음
 - 칠레의 경우 염호수로부터 리튬을 추출하여 생산하고 있음
 - 프랑스, 독일 등의 국가에서도 리튬, 우라늄을 대상으로 해양용존자원 추출기술 개발에 관한 연구를 수행하였음
- 일본에서는 수중의 리튬과 우라늄을 회수하는 기술을 확보함
 - 시코쿠 산업기술 종합연구소 (AIST)에서는 리튬 고효율 흡/탈착 공정 및

주요 핵심기술을 개발하였음

- 사가대학에서는 해양에너지 센터를 건립하고 해수담수화 플랜트를 연계한 리튬 추출 연구를 본격화함
- 히상기술연구소에서는 리튬 추출을 위한 대규모 (1,300톤) 플랜트 건설을 추진함
- 일본 JAEA에서는 방사선 그래프트 중합법을 이용한 우라늄 포집 시스템을 개발
- 그러나 해수 중의 낮은 우라늄 농도로 인한 경제성 문제의 극복이 중요한 과제로 인식됨

표 3-5. 기술분야별 기술수준 및 성능 비교

분야	소속 국가	연구그룹명 (산, 학, 연)	기술의 수준 및 성능
막결정화	싱가포르	NUS	실험실 단계 (TRL 4)
	EU	ITM	실험실 단계 (TRL 4)
해수자원 회수	일본	JAEA	시작품 단계 (TRL 5)
고회수율 농축 공정	사우디아라비아	SWCC- DTRI	파일럿 단계 (TRL 6)

○ 자원회수 분야 국내 기술 동향

- 국내의 경우, 해수 및 농축수 내 이온 회수를 위한 연구가 주로 실험실 규모에서 진행되었음
- 서울대학교에서는 2018년 해수담수화 농축수에서 리튬 회수를 위한 배터리 공정 시스템을 개발하였음
- 포스텍에서는 2019년 알긴산 비드와 인산염 MOF(Metal Organic Framework) 촉매 등을 이용한 Li 회수기술을 개발하였음

- 한국지질자원연구원과 포항산업과학연구원에서는 각각 2017년과 2018년 Sr 회수를 위한 기초기술을 개발하였음
- 한국해양대학교에서는 해수로부터의 붕소 회수를 위한 연구를 수행하였으며 관련 특허를 출원하였음
- 한국지질자원연구원은 2013년부터 해수에 함유된 극미량의 리튬을 회수할 수 있는 기술을 개발하고 있음
- 국내 자원회수 연구는 해외 선도국가에 비하여 상대적으로 TRL이 낮은 수준이므로 실용화를 위한 체계적인 연구 추진이 필요함
- 기존 기술은 단일 물질을 대상으로 한 OMAT (One metal at a time)의 방식으로 한계가 있음
- 효율성과 경제성을 확보하기 위해서는 가급적 다양한 유가금속을 동시에 추출하는 Polygeneration(병산)의 방식이 적용되어야 함

(2) 대상자원 회수를 위한 CDI용 전극소재 선정 및 제조 기술 개발

○ 대상자원 회수를 위한 CDI용 전극소재 선정 및 제조 원천기술 개발

- 전극 제조를 위한 활성탄 선정

- 시중에 판매되고 있는 활성탄 소재의 비표면적 특성별로 구분하여 코크스 계열 3종, 아자수 계열 2종 등 총 5종을 선정

구분	1. CEP21KSN	2. BA21E	3. CEP21KS	4. CEP21K	5. CA31
비표면적 (m ² /g)	1,860	2,050	2,060	2,120	2,700

- 활성탄 외, 증점제(CMC 용액), 바인더(SBR 40%)를 활용하여 활성탄: 증점제:바인더의 혼합비율을 95:1:4 로 제조

- 전극 제작 과정(Hand Mixing)

- CMC 용액 제조: 순수 100 ml 당 1 g 혼합 후 30 ~ 40분 완속교반 (30 ~ 60 RPM) 실시



- 활물질 + CMC 배합: 활성탄:CMC 1:1 비율로 혼합



- 바인더 믹싱 및 슬러리 제조: 활물질+CMC 혼합물에 SBR 바인더 10 g 혼합 후 90 ~ 120분 급속교반(300 RPM) 실시



- 전극 코팅

- 닥터블레이드 두께 설정: 20 μm
- 그래파이트호일 제단 및 유리판 위 고정
- 슬러리 도포 및 닥터블레이드 코팅: 필러게이지 활용



- 건조 및 전극 제단

- 섭씨 80 $^{\circ}\text{C}$ 이상 조건에서 24시간 건조
- CDI 전용 전극모듈 셀 규격에 맞게 제단: 10 cm x 10 cm



- 활성탄 종류별 제작 결과

- 1.CEP21KSN: 200 g batch로 진행, 점도 1,208 cPa

구분	CNC	1차 믹싱	2차 믹싱	점도조절	최종
순수 투입량 (g)	200	130	105	-	435



1차 믹싱 완료



코팅 진행



재단 및 양품 선별

- 2.BA21E: 200 g batch로 진행, 점도 1,140 cPa

구분	CNC	1차 믹싱	2차 믹싱	점도조절	최종
순수 투입량 (g)	200	145	120	20	485



1차 믹싱 완료



2차 믹싱 진행



코팅 진행

- 3.CEP21KS: 200 g batch로 진행, 점도 1,248 cPa

구분	CNC	1차 믹싱	2차 믹싱	점도조절	최종
순수 투입량 (g)	200	165	100	20	485



1차 믹싱 진행



1차 믹싱 완료



코팅 진행

- 4.CEP21K: 200 g batch로 진행, 점도 1,204 cPa

구분	CNC	1차 믹싱	2차 믹싱	점도조절	최종
순수 투입량 (g)	200	175	130	10	515



1차 믹싱 완료



2차 믹싱 진행



코팅 진행

- 5.CA31: 2차 믹싱이 진행된 후 필터링 진행하였으나 활성탄 알갱이가 보이며 비표면적이 넓은 CA31의 활성탄 특성으로 과분산 현상 및 층 분리 발생, 점도 768 cPa

구분	CNC	1차 믹싱	2차 믹싱	점도조절	최종
순수 투입량 (g)	200	530	140	-	870



1차 믹싱 완료



필터링 진행



코팅 진행

- 고찰

- 1.CEP21KSN, 2.BA21E, 3.CEP21KS, 4.CEP21K 소재로 제작한 결과, 육안상으로 활물질 간의 결합이 잘되어 전극소재로 활용 가능할 것으로 판단되었으며, 비표면적 1,860 ~ 2,120 m²/g의 특성을 갖고 있으며, 제작 결과 점도 1,100 ~ 1,250 cPa 값을 나타냈음.

- 5.CA31 활물질의 비표면적은 2,700 m²/g이며, 믹싱 시 투입된 순수량이 1~4 활물질보다 확연히 많고 이는 비표면적이 증가함에 따라 순수 투입량이 증가한 것으로 판단됨. 비표면적이 높은 활성탄의 특성에 따라 2차 믹싱 시 과분산으로 인한 층 분리가 발생하며 이는 바인더 투입량 또는 교체가 필요하다고 판단됨.

구분	1. CEP21KSN	2. BA21E	3. CEP21KS	4. CEP21K	5. CA31
비표면적 (m ² /g)	1,860	2,050	2,060	2,120	2,700
최종 순수 투입량 (g)	435	485	475	515	870
점도 (cPa)	1,208	1,140	1,248	1,204	768

(3) CDI용 제조전극 활용 산업폐수내 유가자원(Li) 회수능 평가

○ 실험 배경

- 산업폐수와 유가자원의 중요성

- 현대 산업에서 발생하는 산업폐수는 다양한 화합물과 원소를 포함하고 있으며, 그 중에서 유가자원은 현대 산업의 핵심 자원 중 하나로 간주됨
- 특히, 유가자원인 리튬(Li)은 전기차 및 이동형 전자 기기의 증가하는 수요에 따라 더욱 중요성을 갖고 있음

- 유가자원 회수의 필요성과 환경적 측면

- 리튬과 같은 유가자원의 지속적인 공급은 산업의 발전과 더불어 지속가능한 미래를 구축하는 데 필수적임
- 산업폐수 내 유가자원 회수는 환경적 측면에서도 중요하며, 자원의 재활용과 경제성을 동시에 고려하는 지속 가능한 자원 관리의 일환으로 간주됨

- CDI 기술의 적용 가능성과 확산

- Capacitive Deionization(CDI)는 전기 이중층을 활용하여 이온을 흡착하는 기술로, 산업폐수 처리 및 유가자원 회수에 효과적으로 적용될 수 있음
- CDI는 높은 선택도와 낮은 에너지 소비를 통해 이온의 효율적인 분리 및 회수를 가능하게하며, 산업폐수 내 유가자원(Li) 회수에 대한 새로운 가능성을 제시함

- CDI 전극의 역할과 향상된 유가자원 회수 기대

- 실험에서는 CDI용 제조된 전극을 통해, 산업폐수 내 유가자원(Li)의 효율적이고 경제적인 회수를 목표로 함

- 제조된 전극은 산업폐수에서의 Li 흡착 능력을 극대화하고, CDI 공정에서의 성능을 최적화하는 데 중점을 두어 실험을 진행하게 됨
- 지속가능성과 경제성의 동시 달성 목표
 - 산업폐수로부터 유가자원(Li) 회수는 자원의 지속 가능한 활용과 경제적 이점을 동시에 추구하는 중요한 과제임
 - 이를 위해 CDI 기술을 활용한 전극 제조 및 성능 향상에 대한 실험을 수행하여, 이 기술이 산업적 환경에서의 유가자원 회수에 적합한지에 대한 연구가 필요함
- 실험 방법
 - 전극 모듈
 - 전극은 Purechem(Korea)사의 다공성 탄소전극을 사용함
 - 전극은 아크릴판, 음극, 양이온교환막, 스페이서, 음이온교환막, 양극, 아크릴판으로 구성됨
 - 모듈에 사용된 활성 탄소 재질의 전극은 각 변이 10mm인 정육각형 모양으로 잘라 유효 면적이 약 100mm²이 되게 함
 - 탄소 전극 사이에는 Polyethylene 재질의 이온교환막과 Polyethylene terephthalate 재질의 스페이서를 추가하여 총 20 set로 적층하여 모듈을 구성함
 - CDI 셀의 상단에는 1cm의 구멍을 뚫어 유입수가 탄소 전극의 가장자리에서 유입되어 스페이서를 지나 중앙의 구멍을 통해 유출되도록 유로를 형성함

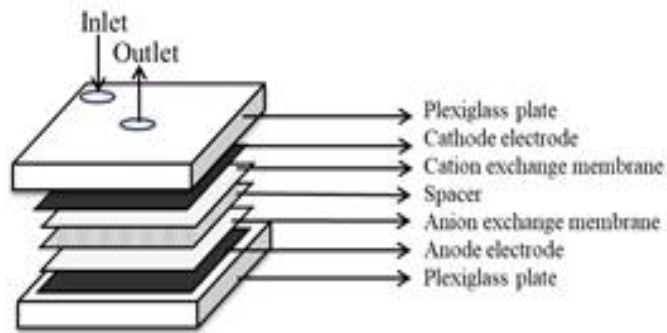


그림 3-27. CDI 모듈 구성

표 3-6. CDI 구성 특징

Configuration	Species	Specification	capacity
Electrode	Activated Carbon, Graphite	W100 x L100x T0.015	16 mg/g
Ion exchange membrane	Polyethylene	W100 x L100x T0.015	1.6 meq/g
Spacer	Polyethylene terephthalate	W110 x L110x T0.01	-

- 대상 원수 특성

- 해수 및 저급염호의 TDS 성상과 유사한 합성시료 제조(H.Sanaeepur)
- 리튬폐수 조제수 1,000 ~ 2,000 mg/L(Li+ 0.2 mg/L 포함)

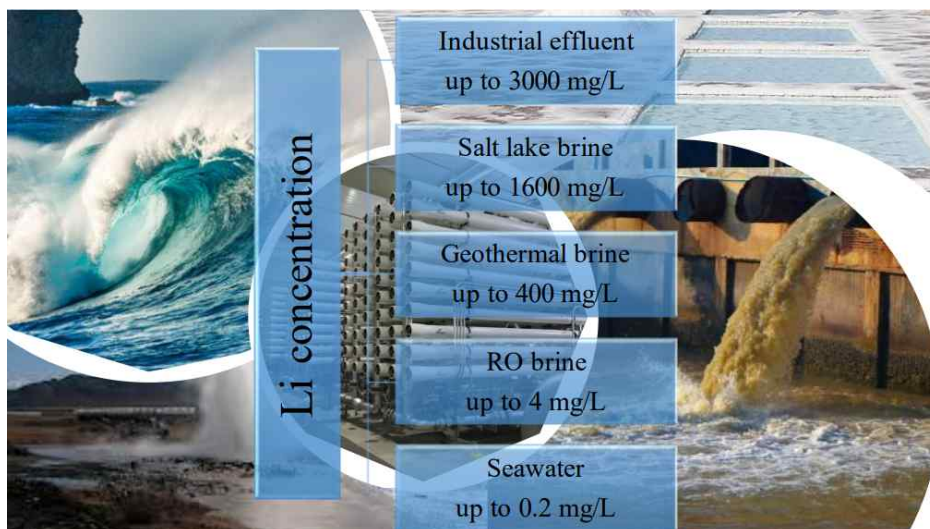


그림 3-28. 다양한 폐수 내 리튬 농도

표 3-7. 리튬폐수 합성시료 제조

구분	농도(mg/L)
CaCO ₃	12.9
SiO ₂	0.70
Na ₂ S	18.6
CaCl ₂	8.0
KCl	2.80
MgCl ₂	5.50
Na ₂ SO ₄	31.80
NaF	0.60
NaHCO ₃	60.50
Li	0.20

- CDI 시스템 구성

- CDI 전극은 Purechem(Korea)사의 다공성 탄소전극을 사용함
- 전극은 아크릴판, 음극, 양이온 교환막, 스페이서, 음이온 교환막, 양극, 아크릴판으로 구성됨
- 정량 펌프로 셀에 일정한 유량을 공급하고, 전원공급장치 및 potentiostat을 통해 전압을 인가함
- TDS conductivity를 사용하여 유출수의 전기전도도를 5초마다 측정하여 컴퓨터에 기록되도록 설정함

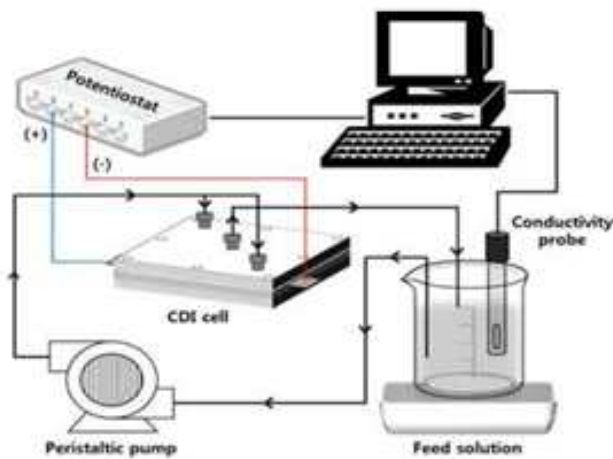


그림 3-29. CDI 공정 구성

- 운전조건

- 정량 펌프로 셀에 일정한 유량을 공급하고 전원공급장치 및 potentiostat을 통해 전압을 인가함
- 시료를 셀에 흘려주는 동안 전극을 potentiostat와 연결하여 흡착 전위 1.5V를 3분 동안 인가함으로써 탈염 운전을 진행하고, 탈착 전위 0V를 3분 동안 인가하여 재생 운전을 진행함
- 흡착 및 탈착 과정을 연속적으로 5회 반복하여 탄소전극에서의 흡착 및 탈착 반응이 동적 평형상태에 도달하도록 함
- 탈염 실험을 진행하면서 유출수의 전기전도도를 실시간으로 측정함

- 분석방법

- 해당 실험의 목적 물질의 제거효율(Removal efficiency)은 다음과 같은 식(1)으로 나타냄

$$\text{Removal efficiency} = \frac{C_0 - C_f}{C_0} \times 100(\%) \quad (1)$$

- 이온 크로마토그래피(IC)를 사용하여 유입수와 유출수 및 생산수 내 이온 농도를 측정함
- 전기 흡착 시 하전된 이온의 전체 제거 효율(E)은 다음과 같은 식(2)와 같이 나타냄(C_0 와 C_t 는 초기 시간과 전기 흡착 과정 중 임의의 시간에서의 농도(mg/L^{-1})을 나타내며, t 는 전기 흡착 단계의 지속시간(분)임)

$$E(\%) = \int_0^t \frac{(C_0 - C_f)dt}{C_0 t} \quad (2)$$

○ 실험 결과

- 전압별, 유량별 성능평가 및 최적운전조건 도출

- CDI 공정의 운전조건별 성능평가 결과, 전압이 높을수록, 유량이 낮을수록 염제거 및 농축 효율이 증가하는 결과를 나타냄

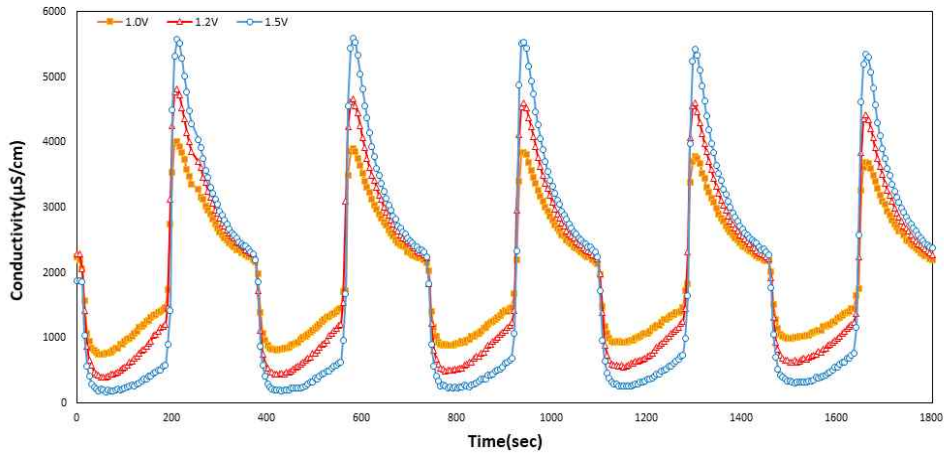


그림 3-30. 전압별 CDI 성능평가

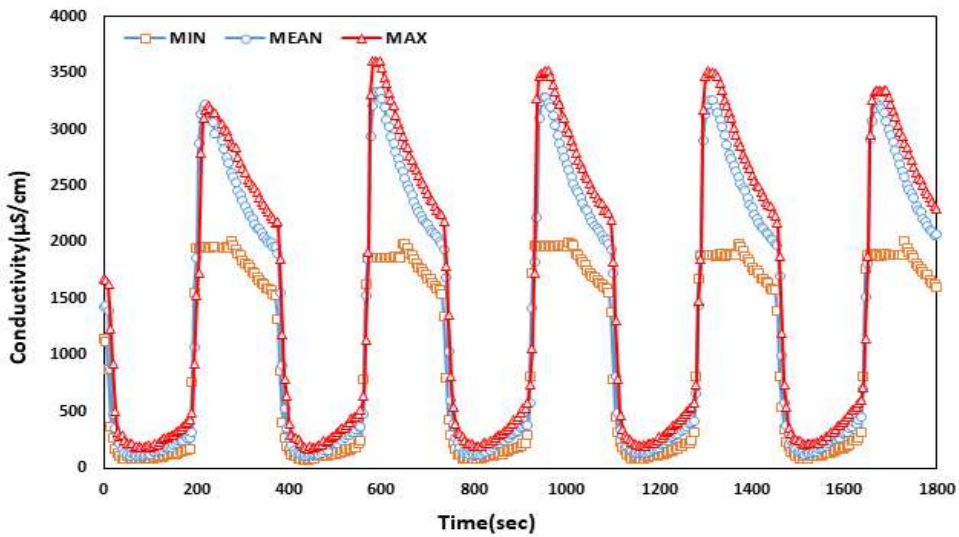


그림 3-31. 유량별 CDI 성능평가

- CDI 최적조건 적용을 통한 이온 회수능 성능평가
 - CDI 공정에서 음이온 및 양이온에 대한 초기 전기흡착선택도를 분석하고 이를 통해 이온들의 제거율을 평가하였음
 - 초기 전기흡착선택도 분석에서 음이온 제거에 대한 선호도는 NO_3^- >

$\text{SO}_4^{2-} \succ \text{F}^- \succ \text{Cl}^-$ 순으로 나타났으며, 양이온에 대한 초기 전기흡착 선택도는 $\text{Ca}^{2+} \succ \text{Mg}^{2+} \succ \text{Na}^+ \succ \text{K}^+ \succ \text{Li}^+$ 순으로 나타남

- 음이온 및 양이온의 경우, 원수 내 해당 이온의 농도가 높은 순으로 초기에 우선적으로 선택되는 종합적인 경향이 나타남
- 특히, 음이온의 경우 Bonding oxygen 된 이온이 우선적으로 선택되는 경향을 보였으며, 양이온의 경우 다가이온이 우선적으로 선택되는 경향을 나타냄

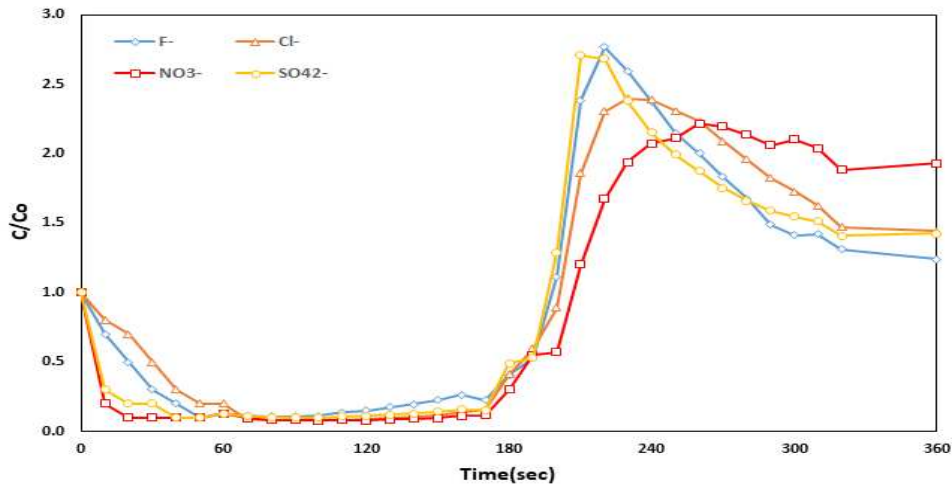


그림 3-32. 음이온

- 본 연구에서의 결과는 CDI 공정에서의 이온 선택적 제거에 대한 효과적인 전략을 제시하며, 초기 전기흡착 선택도를 통한 우선순위 결정이 공정 최적화에 중요한 역할을 할 수 있음을 보여줌

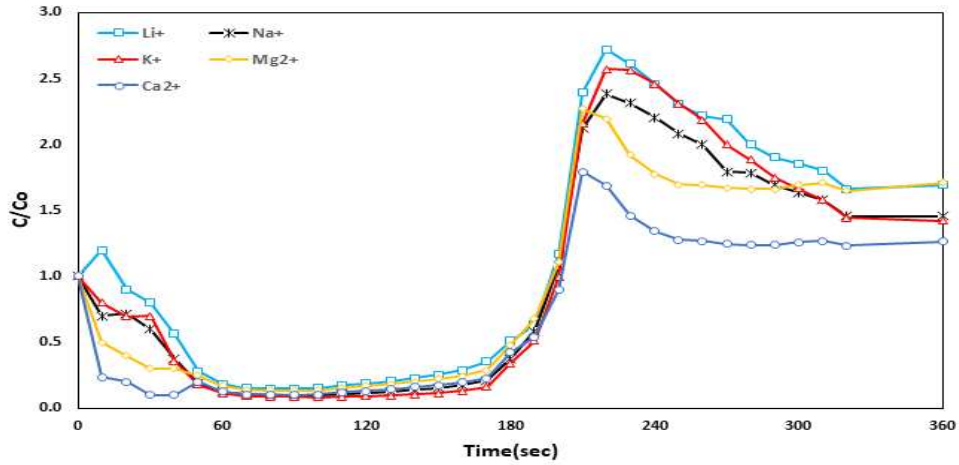


그림 3-33. 양이온

- CDI 생산수에서 리튬이온 회수능 평가

- 실험의 결과는 전압 인가에 따른 원수 및 원수 내 리튬이온의 이온전도도와 전체 TDS 이온전도도 변화를 그래프로 나타냄
- 전체 원수의 TDS 농도변화 경향과 리튬이온 농도 변화 경향이 동일하게 나타났으며, 유출수의 최대 리튬농도는 0.62 mg/L 로, 초기 농도(0.14 mg/L) 대비 약 4.4배 농축된 결과를 나타냄

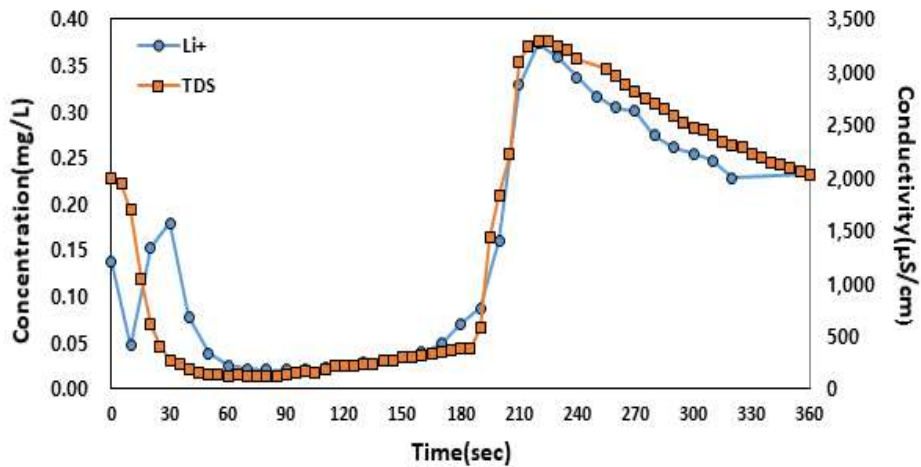


그림 3-34. 리튬 회수능 평가

○ 결론

- CDI 공정의 운전조건별 성능평가 결과, 전압이 높을수록, 유량이 낮을수록 염제거 및 농축 효율이 증가하는 결과를 나타냄
- 초기 전기흡착선택도 분석에서 음이온 제거에 대한 선호도는 $\text{NO}_3^- \succ \text{SO}_4^{2-} \succ \text{F}^- \succ \text{Cl}^-$ 순으로 나타났으며, 양이온에 대한 초기 전기흡착 선택도는 $\text{Ca}^{2+} \succ \text{Mg}^{2+} \succ \text{Na}^+ \succ \text{K}^+ \succ \text{Li}^+$ 순으로 나타남
- 전체 원수의 TDS 농도변화 경향과 리튬이온 농도 변화 경향이 동일하게 나타났으며, 유출수의 최대 리튬농도는 0.62 mg/L 로, 초기 농도(0.14 mg/L) 대비 약 4.4배 농축된 결과를 나타냄

○ 향후 계획

- CDI용 전극 레시피 개발 내용을 바탕으로 앞으로의 폐자원활용 맞춤형 전극 제조 및 성능평가 실시할 예정임
- CDI 최적 운전 조건 및 리튬 회수능 결과를 바탕으로 장기운전 성능평가를 통해 세정기법도 개발할 계획임

1.3 WBS 3: 해수 내 유가자원 회수를 위한 막 결정화 기술 개발

1.3.1 연구목표 달성도

연번	성과목표·지표	목표치	달성내용	달성도 (%)	가중치	미달성 사유
03	해수 및 농축수 자원화를 위한 막중류 기술 개발	특허출원 1건	특허출원 1건	100	1.0	-
달성도 계 (%)				100	1.0	

1.3.2 증빙자료

연번	03		
성과목표	해수 및 농축수 자원화를 위한 막중류 기술 개발		
성과지표	특허출원	가중치	100
측정방법	특허출원서		
목표치	1건		
실적	- 특허출원 1건(출원 완료) / 목표 1건		
입증근거	- 특허출원 1건(출원 완료) / 목표 1건		

승인 현황
✕

승원현황
작무발명신고서
마케팅현황
체크리스트현황

P2023-0181KR
발명자정보
Family출원현황
패밀리구조도

관리번호	P2023-0181KR (대한민국 / 특허)							
출원번호								
심사청구여부	청구							
등록번호								
상태	<input checked="" type="radio"/> 등록유지 <input type="radio"/> 포기							
출원구분	<input checked="" type="radio"/> 정규출원 <input type="radio"/> 가출원 <input type="radio"/> 가출원 후 정규출원진행 <input type="radio"/> 사회출원							
발명담당자	최	<input type="button" value="변경이력"/>	<input type="button" value="삭제"/>					
건담담당자	조	<input type="button" value="변경이력"/>	<input type="button" value="삭제"/>					
사무소담당자	솔 (한영 국제특허법률사무소)	<input type="button" value="변경이력"/>	<input type="button" value="삭제"/>					
출원의 명칭(한)	파이프 직접 연결형 비순환 미세기포 발생 장치							
출원의 명칭(영)								
발명자	No	주발명자	성명(한)	성명(영)	사번	부서	지분율	내외
	1	<input checked="" type="radio"/>	최	Choi		환경연구본부	20	내부
	2	<input type="radio"/>	이	Lee,		환경연구본부	20	내부
	3	<input type="radio"/>	박	Park		환경연구본부	20	내부
	4	<input type="radio"/>	최	Choi,		환경연구본부	20	내부
	5	<input type="radio"/>	노	Rho		환경연구본부	20	내부
외부 공동출원여부	<input checked="" type="radio"/> 단독 <input type="radio"/> 공동							
권리자	No	관리주체	기관명	권리지분	비용부담율			
	1	<input checked="" type="radio"/>	한국건설기술연구원	100	출원	OA	등록	권리유지
관련 과제유무	유							
관련 과제	No	과제번호	과제명	과제성격(중)	과제 기간	팀장	사업명	과목
	1	20230387-001	(23주요-대1-목적)농축수 저장 및 미래 전력 자원 수집을 위한 친환경 해수담수화 기술 개발 (1/1)	주요 사업	2023-05-01 ~ 2023-12-31	최	대형과제 분류없음	과목
주제분류								
사전심의 결과	<input checked="" type="radio"/> 평가완료 <input type="radio"/> 평가중			사전심의 평가일자 2023-12-12				
분할출원	<input type="radio"/> Yes <input checked="" type="radio"/> No							
모출원번호				자출원번호				
해외출원여부	<input type="radio"/> 진행 <input checked="" type="radio"/> 미진행			해외출원 그룹번호				
해외출원 마감일				우선권출원 마감일				
연차관리사무소	연차관리사무소							
대표도면	다운로드	Total : 0						
	No <input type="checkbox"/>	파일이름 (No files)						
출원명세서	다운로드	Total : 0						
	No <input type="checkbox"/>	파일이름 (No files)						
출원번호통지서	다운로드	Total : 0						
	No <input type="checkbox"/>	파일이름 (No files)						
등록증/등록공보/등록원부	다운로드	Total : 0						
	No <input type="checkbox"/>	파일이름 (No files)						
심의등급	SMART 평가등급	자산실사 등급	자산실사 결과					
S			<input type="button" value="이력보기"/>					

- 71 -

1.3.3 당해연도 연구내용

(1) 국내외 해수 및 농축수 자원화를 위한 막증류 기술 및 연구 동향조사

- 막증류 기술의 막오염 및 막투과유량(Flux) 감소 문제
 - 해수담수화 공정에서 배출되는 고농도의 농축수 처리시 공급원수의 높은 농도와 막표면에 발생하는 농도분극(Concentration Polarization)현상으로 인한 막오염 문제가 심각함.
 - 막증류 공정에서 역삼투막 농축수를 처리할 시 주요 걸림돌이 될 수있다. 특히 소수성인 분리막 표면에 침전물(결정)이 형성되면 분리막과 물이 접촉할 수 있는 면적이 줄어들게 되므로 막투과유량의 감소를 야기할 수 있음.
 - 분리막 기공에 액체가 채워질 가능성이 증가하고, 막젖음 현상이 분리막 전체 및 부분적으로 발생하고, 이에 따라 유입수가 생산수로 흘러들어가 생산수의 수질을 악화시킨다.
 - 그러므로 막증류 공정을 이용해 역삼투막 농축수를 후처리할 경우, 상기와 같이 막오염 발생 가능성이 높기 때문에, 막오염 발생 가능성이 낮은 작동조건과 농도분극현상을 제어하는 적합한 방법이 필요하며, 막 주변 침전물들이 형성될 시, 용이하게 제거할 수 있도록 역세척 효율이 높으며 설치공정을 최소화하는 방법이 요구되어짐.

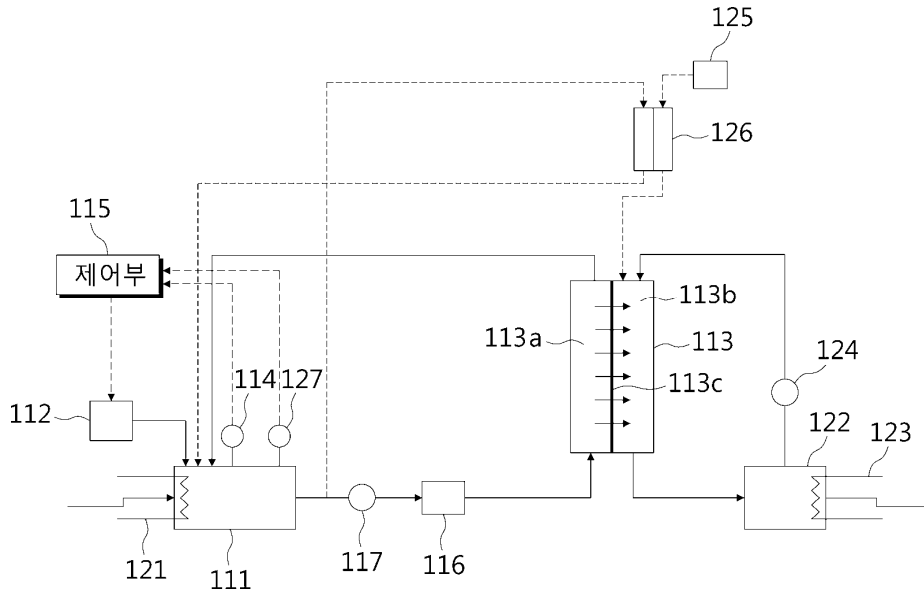


그림 3-35. 기존특허 10-2016-0053055

- 기존 특허는 원수탱크(111), 분말공급부(112), 막증류모듈부(113), 탁도 검출부(114), 제어부(115), 스케일필터링부(116)를 포함하여 구성되며, 구체적으로 막증류 모듈부는 원수탱크로부터 공급되는 고온의 원수로부터 일부 증기로 배출하되, 지속적인 공정과정에서 원수에 의해 막증류 모듈의 분리막에는 스케일이 발생하게되므로, 이를 제거하기 위해 탁도 검출부를 활용 하되, 원수에 스케일이 발생하는 시점을 원수의 탁도 검출값으로 판단하여 스케일 생성 시작시 분말공급부에서 스케일을 급속도로 발생시키도록 형성된 분말을 공급함으로써, 빠른 속도로 스케일을 성장시켜주도록하여 차후 스케일 필터링부에 분말에 의해 급속도로 성장된 스케일을 제거함으로써 막주변의 스케일링을 세척하는 방식을 활용하고 있다.
- 기존 특허의 막 주변 세척방식은, 막 주변에 형성되는 스케일을 성장시키도록 미리 제조된 분말이 요구되어지며, 공정과정에서 분말을 공급해줘야하는 장치와 분말로 형성된 스케일을 다시 필터해줘야하는 스케일 필터링 장치가

설치되어야하므로, 막증류 장치의 공정이 복잡하게 추가되며, 기타 장치의 추가적인 설비가 요구되어지는 단점이 있다.

- 막모듈과 결정화기의 분리화를 통한 열에너지 과다소비 및 복잡한 공정과정
 - 막증류 기술의 구동력인 증기압 차이를 발생시키기 위해서는 원수를 일정한 온도 이상의 고온(보통 60° 이상)가열하기 위해 많은 에너지가 필요로 됨. 또한, 막증류 모듈을 통과한 수증기를 다시 응축시키는데도 많은 에너지가 소비되어짐.
 - 또한, 보편적으로 사용되는 냉각 결정화공정(Cooling crystallization)은 공급원수의 온도를 낮추어 온도감소에 따라 포화도가 감소되는 성분들을 결정으로 추출하는 공정으로서 냉각에 필요한 열에너지의 공급이 필요함.

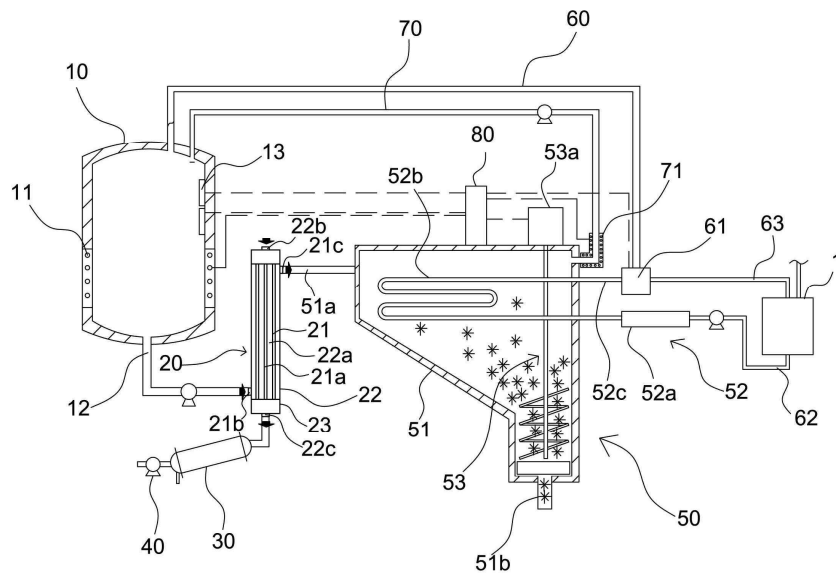


그림 3-36. 기존 특허 10-2016-0149545

- 기존 출원된 특허 내용은, 막증류-결정화 시스템에 있어서, 원수탱크, 막증류 탱크, 분리막모듈, 결정화기로 구성되어있는 것으로, 원수탱크의 원수를 막증

류탱크로 유입시켜 원수를 저장 및 가열하고, 막증류 탱크에서 가열된 원수를 분리막모듈 내부에 배치된 중공사의 세공을 통해 물이 증기화 되어 농도가 높아진 농축수와 수증기를 생성해내되, 수증기는 수증기 배출구로 배출되어 컨덴서를 통해 담수화 되며, 농축된 원수는 결정화기로 이동시켜 결정화시키는 것으로, 결정화기 내부에는 열교환기가 구비되어, 열교환기에는 분리막모듈로부터 유입된 고온의 농축수보다 낮은 온도의 공급수를 공급함으로써 열교환을 통해, 고온의 농축수의 온도를 낮춰 결정화시켜 결정을 형성시켜 배출시킴을 알 수 있음.

- 기존 출원 특허 내용의 공정은 막모듈을 따로 구성하고, 결정화기를 따로 구성시키고 있으며, 막모듈에 가열에너지가 들어가게 되고, 가열된 원수로부터의 수증기는 컨덴서를 통해 담수화되어지는 에너지가 소비되며, 또한 결정화기로 옮겨진 농축원수를 온도차를 이용해 결정화하는 단계에서 공급원수의 온도를 낮추기 위한 열교환에 필요한 추가 열·동력 에너지가 소비되어져, 에너지가 과다 소비됨을 알 수 있으며, 또한 공정이 복잡해지는 단점이 있음.

○ 공급원수의 포화도 감소 및 낮은 온도로 인한 연속·안정적인 운전의 어려움

- 막증류 공정과 결정화 공정이 분리된 종래의 막증류-결정화 공정은 결정화로 인해 결정이 추출됨에 따라 결정화조 내부의 공급원수의 포화도가 감소하게 되게 되며, 결정화조의 공급원수의 포화도를 결정 형성이 가능한 수준에 도달하기 위해 추가 냉각을 통해 공급원수의 온도를 감소시키거나 추가 농축과정을 거쳐야 하므로 이에 따라 연속적인 결정 회수를 위한 추가적인 공정 및 열 에너지 투입이 필수적임.

- 심각한 스케일 문제 및 낮은 물 회수율, 높은 에너지 소비
 - 해수담수화 농축수에는 많은 2가이온들이 포함되어 있으며, 이는 배관 및 기계장치에서 스케일 문제를 야기할 수 있음. 또한, 역삼투 공정을 이용한 해수담수화 공정 운영을 위해 많은 화학물질들이 사용되고 있으며, 이 또한 농축수의 수질을 악화시킬 뿐아니라 배관 및 기계장치에 스케일 현상에 영향을 줌.

(2) 재농축 및 자원회수를 위한 막증류 결정화 공정 개발

- 저에너지·고효율 개선형 막증류-결정화 공정 개발
 - 분획-침지 막증류 결정화 (Fractional-Submerged Membrane Distillation, F-SMDC) 공정 개발
 - F-SMDC (분획-침지막증류 결정화 공정)은 투과액탱크, 반응기, 가열장치, 냉각장치, 외부결정생장조, 공기역세척(Air-backwashing)을 위한 공정으로 구성됨.
 - 반응기는 원수저장(Reservoir) 부, 막증류(Membrane distillation) 부, 결정화(Crystallization) 부로 병합되어 구성되며, 원수저장 부는 반응기의 가장 상부에 위치하여 수두차로 하부의 막증류 부로 공급된다. 원수저장 부와 막증류 부 사이에 약 직경 0.5mm정도의 다수의 hole을 타공하여 원수가 원수저장소에서 막증류 부로 균일하게 공급되도록 하였으며, 이는 반응기 내부의 확산으로 인한 혼합을 방지할 수 있음.
 - 반응기는 중부와 하부를 분획하여 중부는 막증류 부, 하부는 결정화부로

병합되어 이루어진 것이며, 원수저장소에서 반응기로 원수를 공급하여 막 증류부를 통해 원수로부터 증기를 끌어내 깨끗한 물을 생산함.

- 한편, 공급된 원수는 반응기의 상부에서 막증류 공정의 농축으로 인한 밀도차에 의해 하부쪽으로 이동하게 되는데, 반응기의 하부쪽에서는 원수로부터 염의 결정을 만들어내고, 반응기의 하부 결정화부에서 과포화 농도에 도달한 원수는 외부결정화장치로 이동되어 결정화 및 결정이 성장되어 짐.
- 반응기의 상부는 가열장치를 통해 높은 온도를 유지하고, 반응기의 하부는 추가 가열이 없이 반응기 상부보다 낮은 온도 유지가 가능하며, 냉각장치를 통해 추가적으로 온도를 낮추어 상부와의 온도차를 더욱 크게 할 수 있음.
- 침지식막의 표면에 결정 및 유기물에 의한 막오염이 발생할 경우 막오염물질을 탈착시키고 막투과유량을 회복시키기 위해, 막증류 공정의 소수성막의 특성에 따라 물이 아닌 공기를 이용해 막오염물질을 탈착시킬 수 있음.

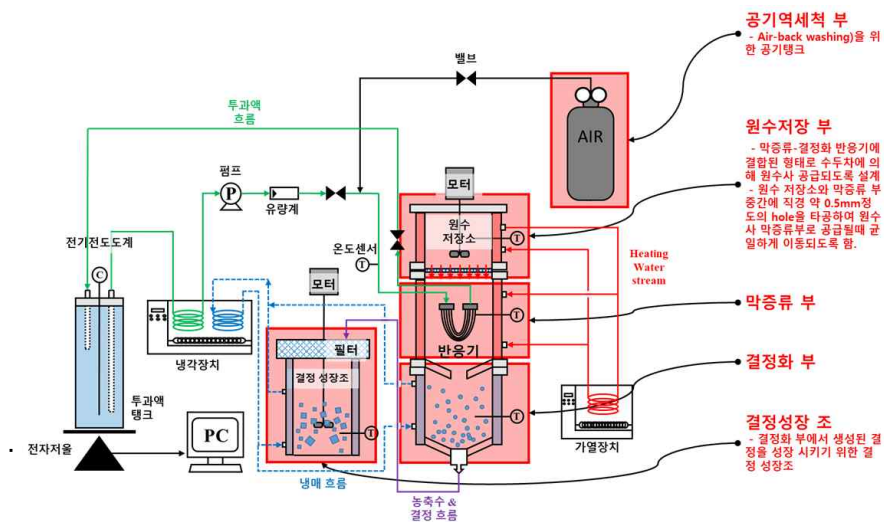


그림 3-37. F-SMDC 전체 개요도

- 분획-침지 막증류 결정화 공정 기본 원리

- F-SMDC의 원리는 반응기 상단과 하단 간의 농도구배(Concentration Gradient)와 온도구배(Temperature Gradient)를 이용함.

막 주위의 고농축된 원수용액이 하방으로 이동함으로써 농도변화율(CG)가 생성됨

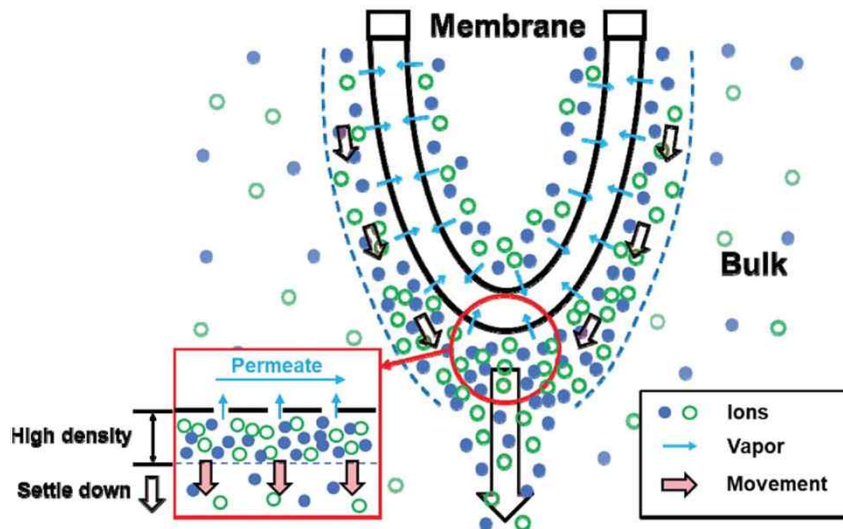


그림 3-38. 농축 원수의 하향 이동 기본개념

- 중공사형 침지막 모듈을 사용함으로써 공급원수의 순환 필요성을 없애 공급원수 순환에 따른 에너지 소비를 없앴으며, 공급원수와 분리막이 접촉하는 유효막면적이 평막모듈에 비해 상대적으로 확장되었으며, 이에 따라 반응기 내부에 농도구배와 온도구배 형성이 더욱 용이함.
- 구체적으로 원수저장소에서 원수를 공급받으면, 반응기 내부에 배치된 침지막 작동시 농축원수용액의 밀도차가 생기게 되며, 침지막 외주면에 형성되는 고농축된 원수용액층이 밀도차와 중력에 의해 침지막 하방으로 이동하게 하게 되고, 결과적으로 반응기 상부의 공급원수 농도는 낮게되고, 하부로 이동하는 농축된 공급수로 인해 하부의 농도는 점차적으로 높아지게 됨.

- 반응초기 반응기 상하부 전체의 농도가 농축에 의해 증가하게 된다. 반응기 상부의 상단의 공급수의 농도가 일정 농도에 도달하면 반응기 상부의 농도의 증가폭이 대폭 줄어든다. 반면, 반응기 하단의 농도는 꾸준히 증가하게 되어 반응기 상부와 하부의 농도구배(CG)가 형성되게 되어짐.
- 이러한 농도변구배(CG)는 침지막의 표면에 고농축된 원수용액이 밀도차에 의해 침지막의 하방으로 이동하게 되는 원리로 인해 형성됨.

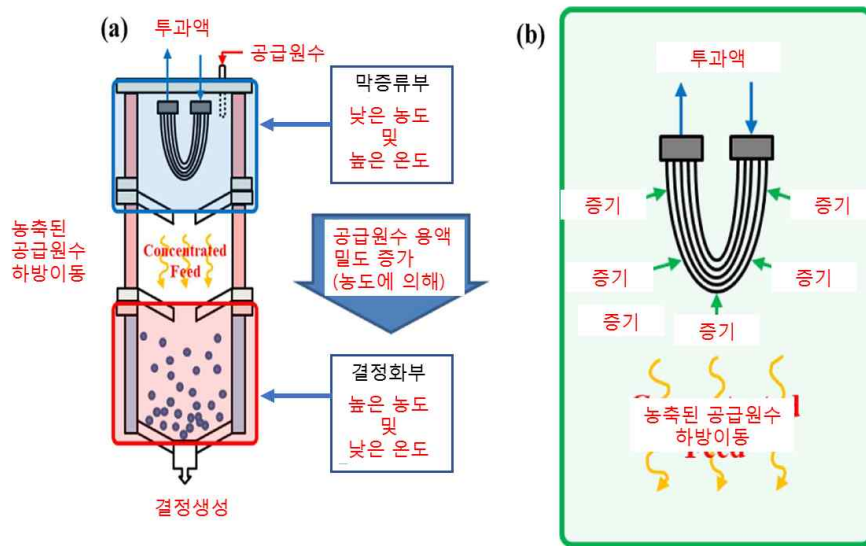


그림 3-39. 반응기 높이별 조성 조건 및 특성

- 한편 농도구배(CG)와 더불어 온도구배(TG)를 이용하기 위해 반응기 상부의 외주면 벽(outer wall)에 가열장치를 통해 높은 온도가 유지되어 반응기 내부의 온도구배가 형성된다. 구체적으로, 반응기 상부의 막증류부에는 고온으로, 반응기 하부의 결정화부에는 상부보다 상대적으로 저온으로 유지시킴으로써 반응기 상하부간의 온도구배를 형성시켜, 온도에 의해 용해도가 낮아지는 물질에 대해, 반응기 하부에서 포화도를 상승시켜 염 결정화를 이룰 수 있음.

- 상부의 공급원수는 가열되어 밀도가 낮으나, 농도구배(CG)에 의해 공급원수가 침지막의 하방으로 이동함에 따라 공급원수의 밀도가 증가하게 되어 농축된 공급원수가 바닥으로 중력을 가하게 되며, 하부의 반응기로 이동할수록 공급원수가 저온화 및 고농축화 됨으로써 결정화 생성이 용이해지는 원리이다. 또한, 냉각기를 이용해 반응기 하단의 온도를 낮춤으로써 저온화를 가속시킬 수 있음.
- 반응기 내부에 반응기 상부와 하부를 구분지을 수 있는 파티션(funnel type)을 구비함으로써, 고온의 공급원수와 저온화되는 공급원수가 자연대류나 농도에 의한 확산으로 인해 혼합되지 않도록 하는 역할을 함으로써, 막증류 공정의 운영과 결정화를 더욱 효율적으로 이룰 수 있는 조건을 조성함.
- 막오염물질을 탈착시키기 위해 공기역세척 공정을 적용할 경우, 적용하는 압력은 사용되는 소수성막의 LEP(Liquid Entry pressure)이하의 값을 적용하여 막오염물질의 탈착을 통한 막투과유량 및 막유효면적 회복등의 막 성능을 향상시킬수 있음.

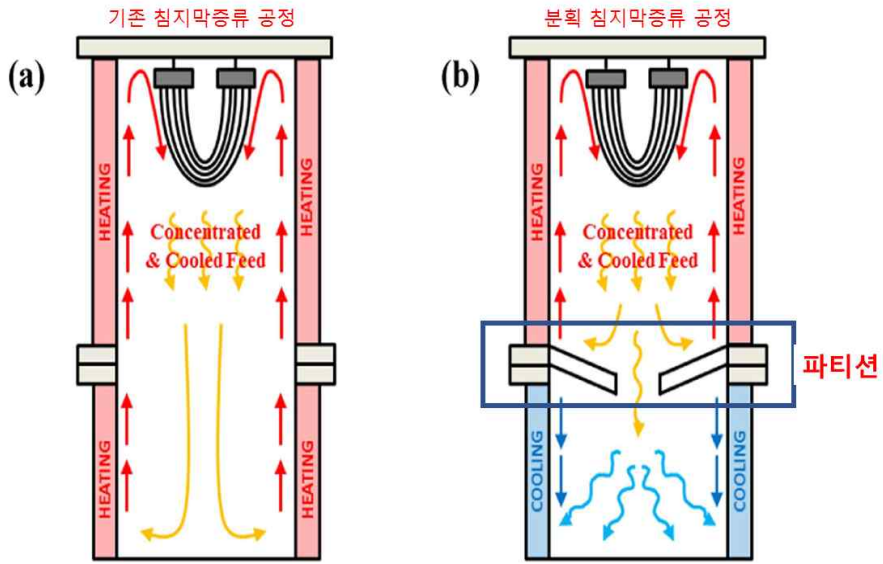


그림 3-40. 파티션(Partition) 유무에 따른 F-SMDC 반응기 내부 유동흐름 차이



그림 3-41. F-SMDC Lab-scale 실험 장치

(3) 광물 탄산화를 위한 미세기포 발생장치 개발

○ 파이프 직접 연결형 비순환 미세기포 발생장치 개발

- 미세기포 발생을 위한 산기관 개발

- 미세기포 발생장치는 구체적으로, 튜블러 형태의 세라믹 재질 다공성 멤브레인을 이용하는 산기관으로, 이산화탄소 가스를 튜블러 형태의 산기관으로 주입하게 되면 이산화탄소가 세라믹 멤브레인의 기공을 통해 미세기포화되어 배출되는 원리를 활용함.
- 하지만, 튜블러 형태의 산기관 한쪽(산기관의 내부)으로 이산화탄소 가스를 주입하면, 이산화탄소 주입 지점부터 세라믹관의 길이에 따라 일정하지 않은 양으로 이산화탄소 가스가 세라믹 막 표면에 발생하여 배출됨.

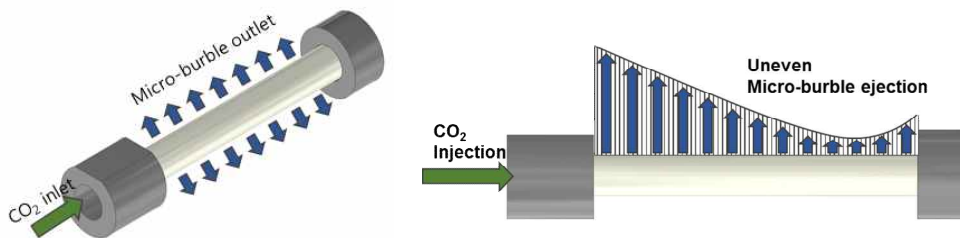


그림 3-42. 이산화탄소 가스 주입의 일정하지 않은 유량 및 압력 문제

- 이에 이산화탄소 가스 주입시 산기관 내부의 모든 지점에서 일정한 유량과 압력으로 분산도리 수 있는 기술 및 장치적 구성이 요구됨.
- 위에서 제시된 문제점을 해결하기 위해, 개발된 미세기포 발생 시스템은 튜블러 형태의 세라믹 재질 다공성 멤브레인을 이용한 산기관임. 이산화탄소 가스를 튜블러 형태의 산기관 내부로 주입하면 이산화탄소 가스가 세라믹 멤브레인의 기공을 통해 미세기포화 되어 배출되는 원리를 활용하

게 됨.

- 튜블러형태의 산기관 한쪽(산기관의 내부)로 이산화탄소를 주입하면, 이산화탄소 가스 주입 지점부터 세라믹과의 길이에 따라 일정하지 않은 양으로 이산화탄소 가스가 세라믹 막 표면에서 발생하게 되므로, 이와 같은 문제를 해결하기 위해 이산화탄소 가스가 산기관 내부의 모든 지점에서 일정한 유량과 압력으로 분산될 수 있는 정류/정압관(distributor)를 도입하도록 함.

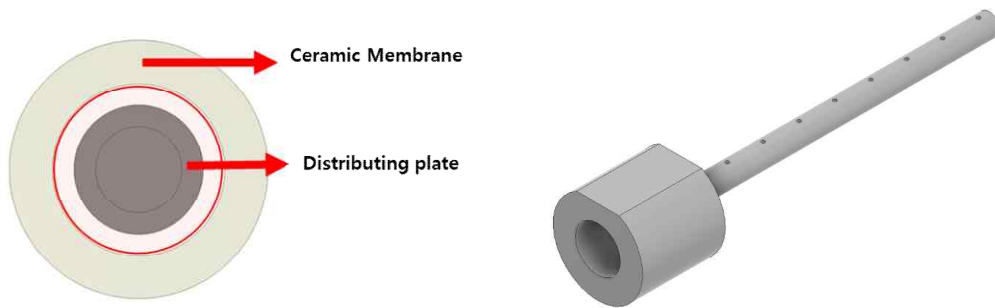


그림 3-43. 정류/정압관(Distributor)

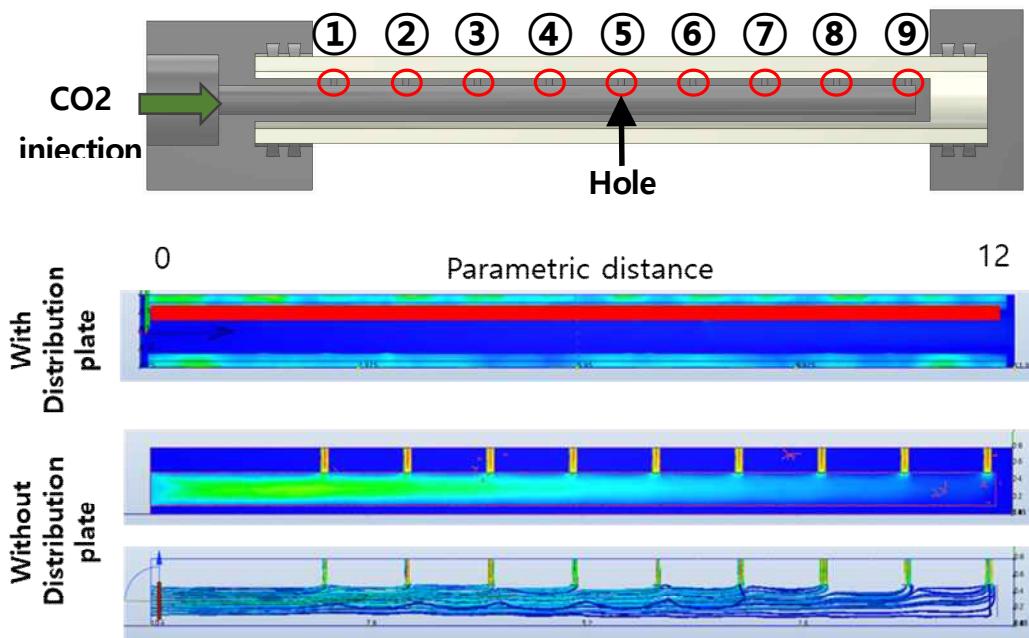


그림 3-44. 정류/정압관 적용 전후의 산기관 내부 압력 및 유량 변화

- 또한, 주입되는 이산화탄소 가스가 세라믹 멤브레인 내부 모든 지점에서 일정한 압력과 유량으로 분산되도록, 정류/정압관의 외부 일정크기의 홈을 가공함으로써, 일정하게 분산되도록 유도함.
- 파이프 내부 배플 라믹 산기관을 통합한 미세기포 발생장치
- 한편, 본 시스템의 파이프는 농축수와 이산화탄소 미세버블이 더 잘 섞일 수 있도록 파이프 내부에 난류,와류 발생장치인 배플을 설치하여 강한 난류가 발생할 수 있도록 유도하며, 파이프 내부에서 더 강한 난류가 발생될 수 있도록 배플은 다양한 형태로 구성시킬 수 있다.

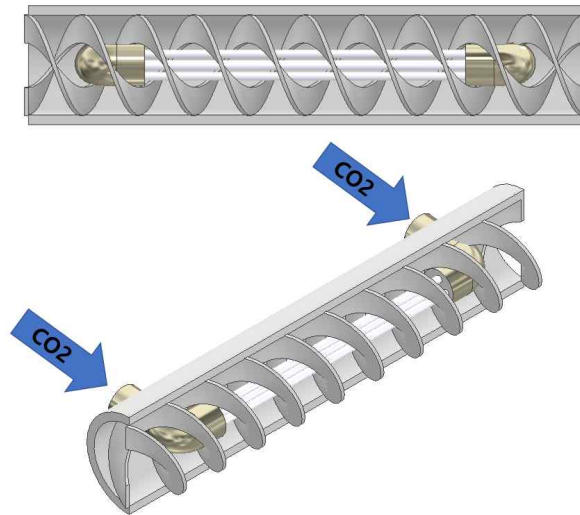


그림 3-45. 파이프 내부의 배플과 세라믹 산기관을 통합한 미세기포 발생장치

- 그러나 플랫타입의 배플을 도입할 경우에는, 와류발생부를 거치고 나면 관내 파이프라인의 벽면으로 물 흐름이 집중되어, 파이프라인의 중심부에는 와류가 발생하지 않는 단점이 있다.

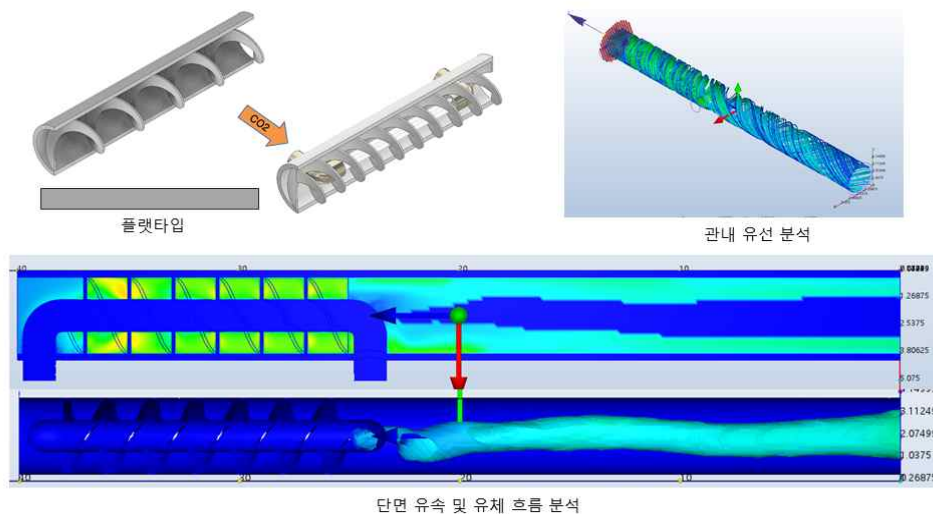


그림 3-46. 플랫 타입을 적용한 유속 및 유체 흐름 분석

- 이를 개선하기 위해, 배플 부재는 그 표면이 나선형 길이방향으로 볼록한 라운드 타입과 뾰족한 트라이앵글 타입으로 구성시켜줌으로써, 플랫타입 대비 파이프라인의 중앙부에 와류가 활발하게 발생하도록 유도한다.

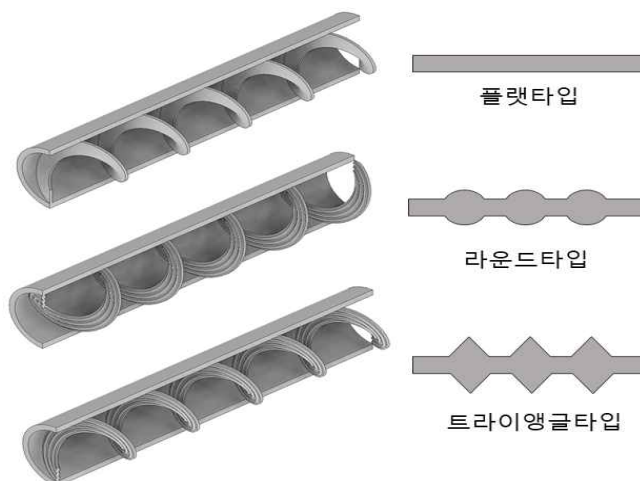


그림 3-47. 내부 배플의 다양한 형태 모식도

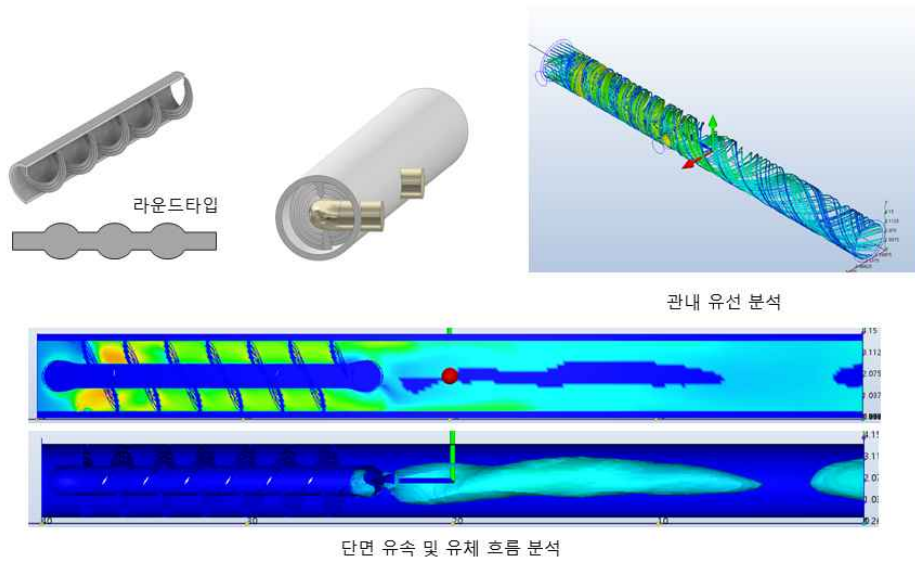


그림 3-48. 라운드 타입을 적용한 유속 및 유체 흐름 분석

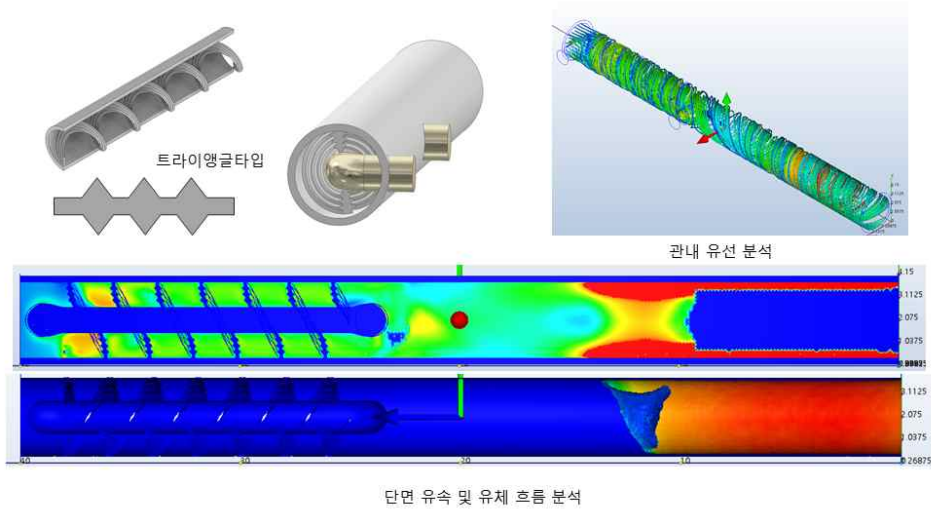


그림 3-49. 트라이앵글 타입을 적용한 유속 및 유체 흐름 분석

2. 세부 정량적 연구개발 성과

2.1 과학적 성과

○ 국내·외 논문 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCI 여부 (SCI/비SCI)	게재일	등록번호

○ 국내 및 국제학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	2023 대한토목학회 CONVENTION	이종훈	2023.10.20.	여수엑스포컨벤션 센터	여수엑스포
2	2023 대한토목학회 CONVENTION	황태문	2023.10.20.	여수엑스포컨벤션 센터	여수엑스포
	2023 대한토목학회 CONVENTION	최영권	2023.10.20.	여수엑스포컨벤션 센터	여수엑스포

2.2 기술적 성과

○ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신제품, 프로그램)

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			기여율
			출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호	
1	바이패스 모듈형 탄산염 자원회수 모듈 및 이를 구비한 해수 담수화 시스템	대한 민국	한국건설기술 연구원	2023.12 .08	10-2023- 0177331				100
2	파이프 직접 연결형 비순환 미세기포 발생장치	대한 민국	한국건설기술 연구원	예정	예정				100

○ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호	저작권자명	기여율

2.3 경제적 성과

○ 기술 거래(이전) 등

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황
1						
2						

○ 사업화 현황

번호	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생연도	기술수명
							국내	국외		
1										

시제품 제작, 기술실시, 기술료 등

2.4 사회적 성과

○ 표준화

번호	수행기관명	표준화 주제	표준화 기구	표준화 단계	관련 번호	제출(채택)일	국가
1							
2							

법령, 정책 활용, 설계기준/시방서/지침, 국제화 협력, 홍보 등

2.5 언론홍보

번호	홍보기사명	언론사	홍보일	국가
3	해수담수화 농축수를 활용한 용존 자원 회수 기술 동향	KICTzine 2023 Vol.01	2023.03.02.	대한민국

2.6 인프라 성과

연구시설·장비 등

제4장

차년도 연구개발계획

1. 연구개발 목표 및 내용

1.1 연구개발 목표

- 농축수 저감 및 미래 전략 자원 수집을 위한 친환경 수처리/자원화 기술 개발
 - 농축수 저감을 위한 핵심 기술 개발
 - 산업폐수 내 전략자원 수집을 위한 친환경 핵심소재 및 공정 기술 개발
 - 농축수 내 미래전략자원 확보를 위한 공정 기술 개발

1.2 연구내용

1.2.1 중점연구분야

- 해수담수화에서 발생하는 농축수 및 산업폐수 등의 처리를 통하여 에너지 저감, 전략 자원 회수 등의 기술을 개발하여 WTCL(World Top Class Lab.)이 되기 위하여 총 3개의 WBS를 구성함.

1.2.2 세부연구내용

연구내용(WBS) / 총수행기간	세부연구수행내용	직접비 (백만원)
농축수 저감을 위한 핵심 기술 개발(WBS.1) / 2024.01.01. ~ 2024.12.31.	- Lab. 규모의 검증용 튜브형 분리막 마이크로버블 발생기 제작 - 합성해수 농축수 및 실제 해수 농축수에서 CO ₂ 마이크로버블 분배 및 염 제거 검증	80
산업폐수 내 전략자원 수집을 위한 친환경 핵심소재 및 공정 기술 개발(WBS.2) / 2024.01.01. ~ 2024.12.31.	○ 대상자원 수집을 위한 폐자원 활용 핵심소재 제조기술 개발 ○ 산업폐수내 전략자원 회수능 평가	60
농축수 내 미래전략자원 확보를 위한 공정 기술 개발(WBS.3) / 2024.01.01. ~ 2024.12.31.	○ 농축수 내 리튬회수를 위한 개선형 막증류-결정화 공정 개발 ○ 스케일링 현상 저감을 위한 스케일 유발물질 제거 기술 개발	60

2. 국내외 관련 분야 환경변화

정치적 변화	경제적 변화
<ul style="list-style-type: none"> ○ 국제 협력 강화: 최근 국제적으로 해수담수화 기술과 자원 분배 등을 위한 협력이 강화되고 있으며, 유럽 및 중동 지역 국가들은 해수담수화 관련 기술 및 경험을 공유하고, 국제 기구를 통해 협력 프로젝트를 추진하고 있음. ○ 정책 및 규제 개선: 정부는 해수담수화를 촉진하기 위해 정책 및 규제 개선에 주력하고 있으며, 해수담수화 관련 산업의 발전과 확대를 위해 관련 법률과 규정을 개선하고, 투자와 연구 개발을 지원하는 정책을 수립하고 있음. ○ 국내외 협약 체결: 국가 간의 협력을 강화하기 위해 다자간 협약이나 이해관계를 명시한 협정이 많이 체결되었으며, 이를 통해 해수담수화 기술의 개발과 이를 위한 자원 분배 등이 이루어지고 있음. ○ 국제 협력기구의 역할 강화: 국제 기구들은 해수담수화 기술의 연구와 개발, 기술 이전, 자원 분배 등을 촉진하기 위해 노력하고 있으며, 회원국 간의 협력을 도모하고 지원하고 있음. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 경제적 효율성 향상: 해수담수화와 해수 내 자원 회수 기술의 발전으로 인해 생산 공정의 경제적 효율성이 향상되고 있음. 또한 효율적인 에너지 소비와 기술의 개선으로 생산 비용이 점차 감소하고, 더 많은 물과 자원을 효과적으로 회수할 수 있게 됨. ○ 신규 산업 분야 개척: 관련 기업들은 새로운 비즈니스 모델을 구축하고, 수익을 창출하며 경제적으로 성장하고 있음. ○ 수출 확대: 국내에서 개발된 해수담수화와 해수 내 자원 회수 기술은 해외에 수출되어 수출 산업으로 발전하고 있음. 또한 해수담수화와 자원 회수 기술의 선진성과 경쟁력이 인정되면서 국내 기업들은 다양한 국가에서 수요가 높은 프로젝트에 참여하고, 수출을 통해 경제적 이익을 얻고 있음. ○ 환경 보호와 지속가능한 경제 발전: 본 기술의 발전은 환경 보호와 지속가능한 경제 발전을 동시에 이루는데 기여하고 있음. 또한 해수담수화를 통해 물 부족 문제를 해결하고, 해수 내 자원 회수를 통해 자원의 재활용과 경제적 가치 창출을 실현함으로써 자원의 지속적인 이용과 환경 보호를 조화시킬 수 있음.
사회적 변화	기술적 변화
<ul style="list-style-type: none"> ○ 물 관리 및 보안 강화: 지속가능한 물 관리 정책의 필요성을 부각시키고, 사회적으로 더 안정적이고 지속 가능한 물 공급체계를 구축하는 데 도움을 줌. ○ 환경 보호와 생태계 보전: 해수담수화 공정에서 발생하는 폐수 처리와 해수 내 자원 회수를 통해 환경 오염을 줄이고, 해양 생태계의 균형을 유지할 수 있음. ○ 국제 협력과 지역 사회 발전: 국가 간 기술 공유와 협력을 통해 해수담수화 기술이 보급되고, 물 부족 지역이나 개발도상국에서 사회적인 발전과 경제 성장을 이룰 수 있음. 이는 지역 사회의 인프라 구축, 경제 다각화, 교육 및 보건 시스템의 발전 등 다양한 측면에서 긍정적인 영향을 미치고 있습니다. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 제거율 증가 기술: 해수담수화 기술은 염 및 미네랄의 제거 기술의 발전으로 인해 더욱 효과적으로 제거할 수 있게 되었으며, 새로운 여과 기술의 도입으로 염 제거 효율이 향상됨. ○ 진보된 에너지 절약 기술: High-Efficiency Reverse Osmosis System, Reverse Osmosis (RO) Compression 및 Reverse Osmosis (RO) Evaporation 등의 기술이 도입되어, 더 적은 에너지 소비로 더 많은 물을 담수화 가능 ○ 자동화 및 IoT 기술의 도입: 해수담수화 시스템과 해수 내 자원 회수 기술은 자동화 및 IoT(Internet of Things) 기술의 도입으로 더욱 스마트하고 효율적으로 운영될 수 있게 되었음.

3. 연구개발 추진전략

3.1 연구개발 추진체계

연구내용(WBS)	연구내용(WBS) 책임자	연구내용(WBS) 참여자
농축수 저감을 위한 핵심 기술 개발	최OO 연구위원	노OO 수석연구원 박OO 전임연구원
산업폐수 내 전략자원 수집을 위한 친환경 핵심소재 및 공정 기술 개발	황OO 선임연구위원	남OO 수석연구원 김OO 수석연구원 구OO 전임연구원 신OO 박사후연구원
농축수 내 미래전략자원 확보를 위한 공정 기술 개발	최OO 수석연구원	이OO 박사후연구원 김OO UST학생연구원 수리니토 UST학생연구원

3.2 연구개발 추진전략

연구내용	추진전략
(WBS. 1) 농축수 저감을 위한 핵심 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 해수담수화 농축수 저감 공정 개발을 위한 시제품 제작 ○ 3D 설계, CFD, 3D 프린터를 이용하여 빠른 설계 및 이론적, 실제적 검증 병행
(WBS. 2) 산업폐수 내 전략자원 수집을 위한 친환경 핵심소재 및 공정 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 산업폐수 내 전략자원 수집을 위한 관련분야 전문가 세미나 실시 ○ 대상 전략자원 수집을 위한 시제품 제작 ○ 개발전극 활용 전략자원 회수능 평가 및 검증(외부기관 공인시험성적서 확보)
(WBS. 3) 농축수 내 미래전략자원 확보를 위한 공정 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 전기화학적 흡착기술 통합형 막증류-결정화 공정 시제품 제작 ○ WBS2 개발 전극을 활용한 리튬 및 유가금속 물질 선별적 회수능 평가 ○ 스케일 유발물질 저감을 위한 전처리 미세기포 발생장치 기술 개발 및 지식재산권 확보 (논문 및 특허)

4. 연구개발 일정 및 기대성과

4.1 연구개발 일정

주요 내용	추진전략 및 내용	일정											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
(WBS. 1) 농축수 저감을 위한 핵심 기술 개발	Lab. 규모의 검증용 튜브형 분리막 마이크로버블 발생기 제작												
	합성해수 농축수 및 실제 해수 농축수에서 CO ₂ 마이크로버블 분배 및 염 제거 검증												
(WBS. 2) 산업폐수 내 전략자원 수집을 위한 친환경 핵심소재 및 공정 기술 개발	대상자원 수집을 위한 폐자원 활용 핵심소재 제조기술 개발												
	산업폐수내 전략자원 회수를 위한 EDI 장치 제작 및 성능평가												
(WBS. 3) 농축수 내 미래전략자원 확보를 위한 공정 기술 개발	전기화학적 흡착기술 통합형 막증류-결정화 공정 제작 (기존 공정 보강)												
	개선형 막증류-결정화 공정을 이용한 리튬 및 유가금속 물질 선별적 회수 실험 및 회수능 평가												

4.2 기대성과

연구내용	기대성과
(WBS. 1) 농축수 저감을 위한 핵심 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> 온실가스(CO₂)를 이용한 해수담수화 농축수 저감 및 미래전략자원 확보
(WBS. 2) 산업폐수 내 전략자원 수집을 위한 친환경 핵심소재 및 공정 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> 산업폐수내 전략자원(Li) 수집을 위한 시작품 제작 1건 외부기관 공인시험성적서 1건(전략자원(Li) 회수능 80% 이상) 폐자원 활용 전극 제조 원천기술 확보
(WBS. 3) 농축수 내 미래전략자원 확보를 위한 공정 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> 탄산염형태로의 칼슘 제거를 통한 막증류-결정화 공정의 효율 향상 및 CO₂ 소비형 친환경 공정 확보 리튬 선별회수를 위한 막증류-결정화 공정 원천기술 확보 SCIE급 논문 1건 국내 특허 1건

5. 연구비 사용계획

5.1 연구비 사용계획

구분	WBS	예산액 (백만원)	비고
WBS. 1	농축수 저감을 위한 핵심 기술 개발	200	인건비 120 직접비 80
WBS. 2	산업폐수 내 전략자원 수집을 위한 친환경 핵심소재 및 공정 기술 개발	150	인건비 90 직접비 60
WBS. 3	농축수 내 미래전략자원 확보를 위한 공정 기술 개발	150	인건비 90 직접비 60
합계		500	

5.2 일정별 연구비 사용계획

주요 내용	추진전략 및 내용	일정	예산액 (백만원)	비고
(WBS. 1) 농축수 저감을 위한 핵심 기술 개발	해수담수화 농축수 저감 공정 개발을 위한 시작품 제작	2024.01.01.~ 2024.06.30.	100	
	3D 설계, CFD, 3D 프린터를 이용하여 빠른 설계 및 이론적, 실제적 검증 병행	2024.06.01.~ 2024.12.31.	100	
(WBS. 2) 산업폐수 내 전략자원 수집을 위한 친환경 핵심소재 및 공정 기술 개발	대상자원 수집을 위한 폐자원 활용 핵심소재 제조기술 개발	2024.01.01.~ 2024.06.30.	60	
	산업폐수내 전략자원 회수를 위한 전기탈이온 장치 제작	2024.01.01.~ 2024.06.30.	31	
	산업폐수 대상 리튬 회수능 평가	2024.07.01.~ 2024.12.31.	59	
(WBS. 3) 농축수 내 미래전략자원 확보를 위한 공정 기술 개발	전기화학적 흡착기술 통합형 막증류-결정화 공정 제작 (기존 공정 보강)	2024.01.01.~ 2024.02.28.	70	
	개선형 막증류-결정화 공정을 이용한 리튬 및 유가금속 물질 선별적 회수 실험 및 회수능 평가	2024.03.01.~ 2024.08.31	70	
	지식재산권(논문 및 특허)	2024.08.01.~ 2024.11.30.	10	

6. 성과활용방안

6.1 중점연구분야별 성과활용방안

연구내용	성과활용방안
(WBS. 1) 농축수 저감을 위한 핵심 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 이산화탄소를 이용해 해수담수화 농축수에 포함된 미래 전략 핵심자원을 수확하는 기술로 활용 ○ 농축수 내 자원회수를 위한 초소수성 중공사, 튜브형 세라믹 분리막 및 코팅 관련 신 시장 수요 확대 ○ 농축수 저감을 통한 해수담수화 원수 재활용으로 유입에너지를 줄인 저에너지형 해수담수화 기술로 활용
(WBS. 2) 산업폐수 내 전략자원 수집을 위한 친환경 핵심소재 및 공정 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 2차전지 리튬폐액 등 산업폐수내 전략자원 수집 및 재활용 분야 산업에 핵심기술로 활용 ○ 전략자원을 포함한 산업폐수로부터 유가자원을 회수 및 생산할 수 있는 혁신적인 기술개발을 통해 관련산업 진출 ○ KICT 연구사업, 국가R&D사업 등 지속적인 연구개발 추진을 위한 기초 연구 결과로 활용
(WBS. 3) 농축수 내 미래전략자원 확보를 위한 공정 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 향후 폐수 내 리튬 회수 관련 연구개발 사업 추진을 위한 기반으로 활용 ○ 해수담수화 농축수 자원화 관련 산업의 핵심기술로 활용 ○ 순환형 반응기 (Airlift) 적용을 통한 염, 촉매 회수 기술 등으로 활용

7. 기대효과

7.1 중점연구분야별 기대효과

연구내용	성과활용방안
(WBS. 1) 농축수 저감을 위한 핵심 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 해수담수화 농축수의 염 제거 및 탄산염 형태의 유가자원 회수를 통한 미래전략 자원 수집
(WBS. 2) 산업폐수 내 전략자원 수집을 위한 친환경 핵심소재 및 공정 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 해수담수화 농축수, 산업폐수내 전략자원 수집 원천기술 확보를 통한 국위 선양 ○ 해수담수화 기술 패러다임 변화에 대응하여 농축수 저감 및 유가자원 회수 기술력 확보를 통해 신시장 개척 기반 마련 ○ 폐자원 활용 탄소전극 제조기술 개발을 통해 지속가능한 자원순환경제 지원 및 탄소넷제로 기반 도입
(WBS. 3) 농축수 내 미래전략자원 확보를 위한 공정 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 칼슘 전처리를 통한 막증류-결정화 공정의 칼슘 성장문제 해결 및 막증류-결정화 공정 효율 상승 ○ 해수담수화 농축수 내 전략자원 수집 원천기술 확보 ○ 국내 기업의 해수담수화 및 폐수 내 자원회수 분야 해외 시장 진출 기여

참고문헌

- S&P Global Platts (2022) 2022년 에너지 전망보고서
- 관계부처 합동 (2021) 2030 이차전지(K-Battery) 산업 발전 전략
- 연구개발특구진흥재단 (2021) 이차전지 시장, 글로벌 시장동향보고서
- 연구개발특구진흥재단 (2021) 전기자동차 배터리 시장, 글로벌 시장동향보고서
- KISTEP/과학기술정보통신부 (2021) 2020년 기술수준 평가
- 조운상 (2021) 페리튬 2차전지의 Re-Use와 Re-Cycling 산업 및 기술현황, 미래전략 연구소 산업기술리서치센터 산은조사월보 제 768호
- 장우석 (2021) 전기자동차용 배터리 과학 기술 산업 분석, KISTI R&I Report
- 김철후, 윤홍식, 길형배 (2022) 폐배터리 재활용 산업 글로벌 동향과 시사점, 기계기술정책, No.109
- KORES/금속사업처 금속 2팀 (2016) 리튬 시장 분석 보고서
- Guo, Z.-Y.; Ji, Z.-Y.; Chen, Q.-B.; Liu, J.; Zhao, Y.-Y.; Li, F.; Liu, Z.-Y.; Yuan, J.-S. (2018) Prefractionation of LiCl from concentrated seawater/salt lake brines by electrodialysis with monovalent selective ion exchange membranes. *Journal of Cleaner Production*, 193, 338-350.
- Kabay, N.; Bunani, S.; Altok, E.; Arda, M.; Yoshizuka, K.; Nishihama, S. (2020) Application of heterogeneous ion exchange membranes for simultaneous separation and recovery of lithium and boron from aqueous solution with bipolar membrane electrodialysis (EDBM). *Desalination*, 479, 114313.
- Li, P.; Wang, J.; Wang, Y.; Dong, L.; Wang, W.; Geng, R.; Ding, Z.; Luo, D.; Pan, D.; Liang, J.; Fan, Q. (2021) Ultrafast recovery of aqueous uranium: Photocatalytic U(VI) reduction over CdS/g-C₃N₄. *Chemical Engineering Journal*, 425, 131552.
- Pan, X.-J.; Dou, Z.-H.; Zhang, T.-A.; Meng, D.-L.; Fan, Y.-Y. (2020) Separation of metal ions and resource utilization of magnesium from saline lake brine by membrane electrolysis. *Separation and Purification Technology*, 251, 117316.

- Diaz Nieto, C. H.; Kortsarz, J. A.; Vera, M. L.; Flexer, V. (2022) Effect of temperature, current density and mass transport during the electrolytic removal of magnesium ions from lithium rich brines. *Desalination*, 529, 115652.
- Ryu, J.; Kim, S.; Hong, H.-J.; Hong, J.; Kim, M.; Ryu, T.; Park, I.-S.; Chung, K.-S.; Jang, J. S.; Kim, B.-G. (2016) Strontium ion (Sr²⁺) separation from seawater by hydrothermally structured titanate nanotubes: Removal vs. recovery. *Chemical Engineering Journal*, 304, 503-510.
- H. Sanaeepur. (2023) The Need for Lithium Recovery from Liquid Resources. *Journal of Resource Recovery*, 1, 1017
- R. Zhao, S. Porada, P. M. Biesheuvel, and A. van der Wal (2013) Energy consumption in membrane capacitive deionization for different water recoveries and flow rates, and comparison with reverse osmosis, *Desalination*, 330, 35
- S. Porada, R. Zhao, A. Van Der Wal, V. Presser, and P. Biesheuvel (2013) Review on the science and technology of water desalination by capacitive deionization, *Prog. Mater. Sci.*, 58, 1388
- Y. S. Jeon, K. Y. Kim, and J. W. Rhim (2015) Studies on the preparation and characterization of PVA based cation-exchange membranes for DMFC application, *Membr. J.*, 25, 144
- Biesheuvel, P. M., Zhao, R., Porada, S., van der Wal, A (2011) Theory of membrane capacitive deionization including the effect of the electrode pore space, *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol.360, pp.239-248.
- W. S. Yoon and J. W. Rhim (2015) Studies of perform-Application of synthesized anion and cation exchange polymers to membrane capacitive deionization (MCDI), *Macromol. Res.*, 23(4), 360
- Z. S. Alborzi, Y. Amini, P. Amirabedi, S. Raveshiyan and A. Hassanvand (2023) Computational Fluid Dynamics Simulation of a Membrane Contactor for CO₂ Separation: Two Types of Membrane Evaluation. *Chemical Engineering Technology*, 46(10), 2034-2045.

- A. Aghagoli and M. Sorin (2019) Thermodynamic performance of a CO₂ vortex tube based on 3D CFD flow analysis Performance thermodynamique d'un tube vortex au CO₂ basée sur une analyse CFD tridimensionnelle de l'écoulement. *International Journal of Refrigeration*, 108, 124-137.
- N. Alkhamis, D. E. Oztekin, A. E. Anqi, A. Alsaiari and A. Oztekin (2015) Numerical study of gas separation using a membrane. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 80, 835-843.
- Ba. Haddadi, C. Jordan, M. Miltner and M. Harasek (2018) Membrane modeling using CFD: Combined evaluation of mass transfer and geometrical influences in 1D and 3D. *Journal of Membrane Science*, 563, 199-209.
- Y. Zhao, J. Wang, Z. Ji, J. Liu, X. Guo and J. Yuan (2020) A novel technology of carbon dioxide adsorption and mineralization via seawater decalcification by bipolar membrane electro dialysis system with a crystallizer. *Chemical Engineering Journal*, 381, 122542.
- J. Jeon and M.-J. Kim (2019) CO₂ storage and CaCO₃ production using seawater and an alkali industrial by-product. *Chemical Engineering Journal* 378, 122180.
- S. B. Pawar (2016) CFD analysis of flow regimes in airlift reactor using Eulerian-Lagrangian approach. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 95(3), 420-431.
- R. Salehpour, E. Jalilnejad, M. Nalband and K. Ghasemzadeh (2020) Hydrodynamic behavior of an airlift reactor with net draft tube with different configurations: Numerical evaluation using CFD technique. *Particuology*, 51, 91-108.
- F. Calvo, A. Bula, L. Di Mare and S. Garcia (2017) CFD simulation of multiphase (liquid - solid - gas) flow in an airlift column photobioreactor. *Acta Mechanica*, 228, 2413-2427.

부 록

서지자료

1. 출판물 고유번호 KICT 2023-119	2. 사업분류 주요사업	3. 발행일 2023.12.31.	
4. 제목/부제 농축수 저감 및 미래 전략 자원 수집을 위한 친환경 해수담수화 기술 개발		5. 연구수행기간 2023.05.01. - 2022.12.31.	
6. 연구수행기관 한국건설기술연구원 환경연구본부		7. 연구 수행자 총괄연구책임자 연구위원 최준석	
8. 수행기관 주소 경기도 고양시 일산서구 고양대로 283		9. 연구의뢰기관 및 주소 -	
10. 공동 수행기관 -		11. 계약 또는 인가번호 -	
12. 초 록 본 보고서는 주요사업 WTCL과제로 해수담수화 및 해수담수화 공정에서 발생하는 농축수를 저감시키고, 해수 내 전략자원의 회수를 위한 방안을 연구하며, 농축수 뿐만 아니라 폐수 등에서도 자원을 회수하는 연구 등을 수행한 결과를 작성하였음. 본 연구에서는 해수담수화 농축수 저감을 위한 핵심 기술 개발을 위해 해수담수화 및 농축수 저감 기술 동향을 조사하고, Lab 규모에서의 해수담수화 공정 실험을 수행하였음. 또한 자원회수를 위한 바이오차와 폐자원 활용 전극소재 원천기술 개발을 위해 대상 자원 회수를 위한 폐자원 활용 CDI용 전극 제조 및 성능 평가를 진행하였으며, 해수 내 유가자원 회수를 위한 막 결정화 기술 개발을 위해 국내외 해수 및 농축수 자원화 기술과 시장 동향을 조사하고, Lab 규모의 고급 막증류 공정 설계와 실험을 수행하였음. 이러한 연구 수행을 통해 해수담수화 농축수 저감을 위한 핵심 기술 개발, 탄소 중립을 위한 CO ₂ 대용량 영구 처리 원천기술 개발, 해수 내 유가자원 회수를 위한 막 결정화 기술 개발에 대한 연구결과를 도출하였음. 이 보고서는 친환경 해수담수화 기술의 발전과 미래 자원 수집에 기여할 것으로 기대됨.			
13. 키워드 해수담수화, 자원회수, 막증류, 막 결정화, 축전탈이온			
14. 기타사항			
15. 비밀구분	16. 총면수 100	17. 발행부수 2	18. 가격

Bibliographic Data

1. Report ID KICT 2023-119	2. Project Classification Major Research Project	3. Report Date 2023.12.31.	
4. Title Development of eco-friendly seawater desalination technology to reduce brine and collect future strategic resources		5. Research Period 2023.05.01. - 2023.12.31	
6. Performing Organization Development of Green Desalination Technology to Reduce Brine and Collect Future Strategic Resources		7. Authors Choi, June-Seok, Research Fellow	
8. Performing Organization Address 283, Goyangdae-Ro, Ilsanseo-Gu, Goyang-Si, Gyeonggi-Do, Korea		9. Sponsoring Agency -	
10. Joint Research Organization -		11. Contract or Grant No. -	
<p>12. Abstract</p> <p>This report presents the results of the WTCL project on reducing concentrated water generated from seawater desalination and seawater desalination processes, studying the recovery of strategic resources in seawater, and researching the recovery of resources from not only concentrated water but also wastewater.</p> <p>In order to develop core technologies for desalination concentrate reduction, this study investigated trends in desalination and concentrate reduction technologies and conducted lab-scale desalination process experiments. In addition, to develop source technology for biochar and electrode materials utilising waste resources for resource recovery, we manufactured electrodes for CDI utilising waste resources for targeted resource recovery and evaluated their performance; to develop membrane crystallisation technology for oil resource recovery in seawater, we investigated domestic and international seawater and concentrate resource recovery technologies and market trends, and conducted advanced membrane distillation process design and experiments at the lab scale.</p> <p>This research has resulted in the development of core technologies for the reduction of seawater desalination concentrate, the development of CO2 large capacity permanent treatment source technology for carbon neutrality, and the development of membrane crystallisation technology for the recovery of oil resources in seawater. This report is expected to contribute to the development of eco-friendly seawater desalination technology and future resource collection.</p>			
<p>13. Keywords</p> <p>Seawater Desalination, Resource Recovery, Membrane Distillation, Membrane Crystallization, Capacity Deionization</p>			
14. Supplementary Notes			
15. Security Class	16. No. of Pages 100	17. Circulation 2	18. Price

주의사항

1. 이 보고서는 한국건설기술연구원에서 수행한 주요사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 한국건설기술연구원의 주요사업 연구결과임을 밝혀야 합니다.

KICT 2023-119

**농축수 저감 및 미래 전략 자원 수집을
위한 친환경 해수담수화 기술 개발**

- 발행일 / 2023. 12. 31
 - 발행인 / 한국건설기술연구원
 - 발행처 / 한국건설기술연구원
경기도 고양시 일산서구 고양대로 283번지
TEL : (031) 9100-114
www.kict.re.kr
-