

첨단산업단지 기반조성을 위한 맞춤형 공업용수 플랜트 건설기술 개발 기획

2015. 4

Infrastructure
R&D Report

주관연구기관 / K-water 연구원
공동연구기관 / 국민대학교
한국과학기술연구원

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

이 보고서를 "국토교통연구기획사업" 과제의 기획연구 보고서로 제출합니다.

2015. 4

주관연구기관명 : K-water 연구원

주관연구책임자 : 임 재 림

협동연구기관명 : 국민대학교

한국과학기술연구원

협동연구책임자 : 이 상 호

이 석 헌

보고서 요약서

과제고유번호	14RDPP-C0 84344-01	해 당 단 계 연 구 기 간	2014.10.14~ 2015.4.13	단 계 구 분	1/1
연 구 사 업 명	중 사 업 명	국토교통연구기획사업			
	세부사업명	-			
연 구 과 제 명	대 과 제 명	첨단산업단지 기반조성을 위한 맞춤형 공업용수 플랜트 건설기술 개발 기획			
	세부과제명	-			
연 구 책 임 자	임 재 립	해당단계 참 여 연구원수	총 : 15명 내부 : 15명	해당단계 연 구 비	정부 : 60,000천원 계 : 60,000천원
		총연구기간 참 여 연구원수	총 : 15명 내부 : 15명	총연구비	정부 : 60,000천원 계 : 60,000천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	K-water 연구원 상하수도연구소		참여기업명	국민대학교 한국과학기술연구원	
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
위 탁 연 구	연구기관명 :		연구책임자 :		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서 면수	94
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	공업용수, 첨단산업단지, 초순수, 수처리 플랜트			
	영 어	Industrial Water, High technology Industrial Complex, Ultrapure water, Water Treatment Plant			

요 약 문

I. 과제명

첨단산업단지 기반조성을 위한 맞춤형 공업용수 플랜트 건설기술 개발 기획

II. 연구개발의 목적 및 필요성

□ 기술의 정의

- 첨단 공업용수 실증파일럿 기술개발은 기존 고순도 공업용수 생산 시설의 설계, 시공, 운영 기술을 국산화하여 산업체에서 요구하는 수질에 맞게 공급하는 기술 개발 및 실증화하는 연구로, 소비 전력과 폐액 발생량 등을 감소시켜 운영비 및 설치비를 기존 시설대비 절감할 수 있는 기술개발을 의미함.

□ 연구개발 목적

- 고순도 공업용수 플랜트 국산화 및 공급체계를 구축하여 세계 기술 수준대비 설비 투자비 20%, 운영비 10% 이상 절감 및 국산화율 80% 달성 기술 개발
- 국토교통부 노후산단 리모델링 사업 및 산업자원부 혁신산단 조성 사업 등 정부정책의 성공적 실현 및 해외사업 진출이 가능한 공업용수 공급체계 新모델 개발
 - 새로운 공업용수 공급체계 구축을 통한 기업 경쟁력 향상과 신규시장 창출을 위한 기술 개발
 - 중소기업 육성 및 고순도 공업용수 공급 플랜트 건설 사업 해외 진출

□ 연구 필요성

- 국내 고순도 산업용수 생산기술이 미흡하여 반도체 등 첨단산업용 용수는 일본, 미국 등 외국 기술력에 종속되어 운영 중으로, 국내 산업기반이 열악함.
- 높은 수준의 수질요구와 신뢰성 미확보로 국내 기업 제품의 진입장벽이 매우 높아 국가적 지원을 통해 기술 확보 시급
- 국내 구축·운영된 Track Record를 기반으로 신개념의 “고순도 용수 공급 플랜트를 포함한 첨단산업단지” 비즈니스 모델을 개발하여 해외 수출용 플랜트 공정 다변화 추진 필요

III. 시장동향 및 기술 수준

□ 국내외 기술개발 동향

- 고순도 공업용수 생산 및 공급관련 특허 중 일본이 Top 10 player 중 7개를 차지하는 등 일본과 미국이 기술개발 시장을 점유하고 있음.

- 고순도 공업용수 생산을 위한 단위공정 분야는 이미 많은 연구가 진행되었고, 최근 시스템 구축 기술이 개발
- 에너지 절감과 관련된 기술개발이 이루어지고 있음.

□ 국내외 관련 시장 동향

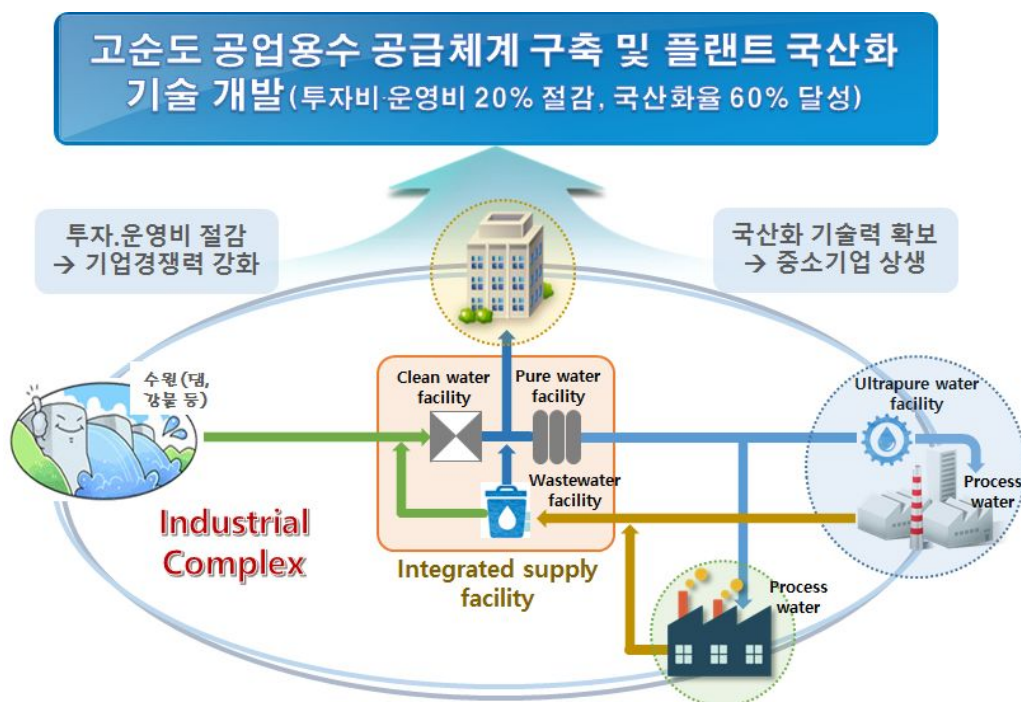
- 반도체, 화학 등 높은 수준의 기술을 요하는 산업이 지속적으로 발전하여 초순수 시장은 지속적으로 성장 추세
- (국외) 2014년 세계 산업용 물시장(Industrial Water Market) 규모는 18조원이며, 2018년 26조 원 규모로 성장할 전망
- (국내) 국내 산업용수 시장은 산업고도화, 기업 아웃소싱으로 지속적으로 확대되어 2010년 1.1조에서 2020년 1.8조로 성장 예상

□ 국내 기업 및 연구기관 기술수준

- 중소기업 위주로 기술이 개발되고 있으나 기술검증 및 신뢰성이 확보되지 않아 현재까지 고순도 공업용수 생산을 위하여 적용되고 있지 못함.
- 연구기관에서도 단위공정별로는 개발을 하고 있으나 고순도 공업용수 생산을 위하여 적용될 수준이 못됨.

IV. 연구개발의 내용 및 범위

□ 비전 및 목표



□ 연구개발 범위 및 주요 내용

- (국산화) 고순도 공업용수 생산 단위공정 개발 및 시스템 최적 조합공정 개발
 - * 음용수용 정수장(7개 공정) 및 해수담수시설(5개 공정) 대비 약 20개 이상의 처리공정이 필요하여 공정들 간의 시스템 구성 및 최적조합 연구개발 필수
- (공급체계) 新 고순도 공업용수 공급체계 구축을 위한 건설기술 개발
 - * 신규 산단과 기존 산단에 적용 가능한 1,000m³/일 규모 테스트베드 2기 설치
- (유지관리) 고순도 공업용수 생산 플랜트 및 공급배관 최적 운영관리 기술 개발
 - * 배관오염 모니터링 및 세척, 공정 성능평가 및 수질분석 기술 등

설계기술 개발 (국산화율 80% 달성)	건설기술 개발 (중앙 공급시스템 구축)	운영기술 개발 (운영비 20% 절감)
■ 고순도 공업용수 생산소재 및 시스템 국산화 기술 개발 ■ 화학약품 저감을 위한 신공정 개발 및 상용화 ■ 고순도 공업용수 생산 시스템 최적 조합공정 설계 프로그램 개발	■ 고순도 공업용수 생산 플랜트 컴팩트화 시공기술 개발 ■ 고순도 공업용수 공급배관 시스템 기술 개발 ■ 고순도 공업용수 테스트베드 설계 및 시공기술 개발	■ 고순도 공업용수 배관오염 모니터링 및 세척효율 평가기술 개발 ■ 단위공정 에너지 사용량 통합분석기반 운영효율 향상기술 개발 ■ 고순도 공업용수 제조공정 성능평가 및 수질분석기술 개발

V. 연구개발성과

- 고순도 공업용수 생산을 위한 투자비 및 운영비 20% 절감을 통한 기업 경쟁력 강화
- 국산화율 80% 달성을 위한 국산화 기술력 확보로 중소기업 위주의 국내 고순도 공업용수 플랜트 제조 시장 진출 통한 중소기업 육성
- 공업용수 공급체계 신(新) 모델 제시를 통한 국내 국정과제인 “노후산단 재생”사업의 성공적 실현 가능
- 국내 산단 재생 및 신규산단 건설시 활용 및 국가 기술경쟁력 확보로 해외시장 진출 기회 확보 가능 및 새로운 공업용수 공급체계 구축으로 제조업체의 기업 경쟁력 강화

VI. 연구개발성과의 활용계획

- 산업단지 재생 또는 신규 산업단지 구축 시 개발된 중앙 공급형 고순도 공업용수 생산 및 공급 시스템 적용 가능 및 해외 산업단지 개발시 새로운 공업용수 공급 모델로 적용 가능
- 개발된 다양한 국산 단위 공정의 국내 고순도 공업용수 플랜트 적용 및 하,폐수 등 다양한 수처리 분야 적용

목 차

제 1 장 기술의 정의 및 필요성	1
제 1 절 기술정의	1
1. “첨단공업용수 기술개발”정의	1
2. “고순도 공업용수 생산 및 공급 실증파일럿 기술개발”의 기술 분류	2
제 2 절 ‘고순도 공업용수 생산 및 공급기술 개발’ 기획의 필요성	4
1. 기획의 필요성	4
2. 기획배경	5
3. 기획 목적	6
제 2 장 국내외 동향 및 환경분석	8
제 1 절 국내외 정책 및 연구	8
1. 국내 정책동향	8
2. 국외 정책 및 연구동향	8
제 2 절 국내외 시장현황 및 전망	10
1. 국내 시장현황 및 전망	10
2. 국외 시장현황 및 전망	11
3. 시사점	13
제 3 절 기술동향분석	15
1. 기술동향분석	15
2. 특허분석	26
3. 논문분석	39
4. 국산화현황	47
5. 종합분석	48
제 3 장 연구개발과제 구성 및 추진전략	50
제 1 절 비전 및 목표	50
1. 연구 개발 목표	50
2. 개발 세부 내용	53

3. 과제 개발 로드맵 및 상용화 전략	56
제 2 절 테스트베드 구축 및 활용방안	55
1. 산업 단지 리모델링 추진배경	59
2. 산업단지 리모델링 추진 내용	59
3. 사업별 산업단지 리모델링 계획	60
제 4 장 사전타당성 검토	6
제 1 절 정책적 타당성 분석	6
1. 국가전략적 중요성	66
2. 상위계획과의 부합성(정책적 일관성 분석)	6
3. 사업추진의지와 관련 기관 협조체계(정책적 추진의지 분석)	6
제 2 절 기술적 타당성 분석	8
1. 기술개발 계획의 적절성	69
2. 기술수준 및 성공가능성	70
3. 기존 사업과의 중복성	70
제 3 절 경제적 타당성 분석	7
1. 경제성 분석	71
2. 과학기술적 파급효과	73
제 5 장 인력투입 계획 및 소요예산 산정	47
제 1 절 인력투입 계획	4
제 2 절 소요예산 산정	6
1. 세부과제별 소요 예산	76
2. 예산 총괄	78
제 6 장 과제 제안요구서 작성 및 평가기준 설정	97
제 1 절 연구단 과제 제안요구서(RFP)	97
제 2 절 세부과제별 제안요구서(RFP)	28
1. 1세부 과제 제안요구서(RFP)	28
2. 2세부 과제 제안요구서(RFP)	58

3. 3세부 과제 제안요구서(RFP)	8
4. 4세부 과제 제안요구서(RFP)	19

참 고 문 헌	79
---------------	----

표 목 차

[표 2-1] 공업용수 용도별 국내 사용비율	01
[표 2-2] 고순도 공업용수 용도별 국내 시장 규모	11
[표 2-3] 고순도 공업용수 시장 진출 주요 기업	31
[표 2-4] 기존 품질과 KR-UM1의 성능 비교	5 1
[표 2-5] MITSUBISHI CHEMICAL 社の 주력 이온 교환 수지	3... 2
[표 2-6] 반도체 업체 최근 초순수 보증수질	52
[표 2-7] 검색 국가, 기간, 검색 DB 종합	62
[표 2-8] 초순수 기술 검색을 위한 검색식 작성	62
[표 2-9] 선별된 유효 특허 건수	82
[표 2-10] 논문검색방법	93
[표 2-11] 첨단용수 단위 기술별 논문 동향: IEX	93
[표 3-1] 업종별 공업용수 요구 수질 비교(예)	3 5
[표 3-2] 춘천 후평 일반산업단지 업종별 현황	06
[표 3-3] 진주 상평 일반산업단지 업종별 현황	06
[표 3-4] 대불 국가산업단지 업종별 현황	06
[표 3-5] 대불 국가산업단지 사업 내용	16
[표 3-6] 창원 국가산업단지 업종별 현황	16
[표 3-7] 창원 국가산업단지 사업내용	26
[표 3-8] 부평, 주안 국가산업단지 업종별 현황	36
[표 3-9] 부평, 주안 국가산업단지 사업내용	36
[표 3-10] 여수 국가산업단지 업종별 현황	36
[표 3-11] 대구성서 일반산업단지 업종별 현황	36
[표 3-12] 구미 국가산업단지(1단지) 업종별 현황	4 6
[표 3-13] 구미 국가산업단지(1단지) 사업내용	4 6
[표 3-14] 안산, 반월 국가산업단지 업종별 현황	46
[표 3-15] 시화 국가산업단지 업종별 현황	56

그 립 목 차

[그림 1-1] 초고순도 산업용수 제조 공정도 예시	2
[그림 1-2] 고순도 산업용수 기술 발전 배경	4
[그림 1-3] 새로운 공업용수 공급체계 창출	5
[그림 2-1] 산업분야별 고순도 공업용수 시장 규모 및 성장 전망	11
[그림 2-2] 지역별 고순도 공업용수 시장 규모 및 성장 전망	21
[그림 2-3] 전자산업에서 고순도 용수시장 규모 및 국가별 전자산업 시장 규모	21
[그림 2-4] 반도체 장비의 소형화 추세	31
[그림 2-5] 웨이퍼 크기별 신규 제조시장(2000~2011)	3 1
[그림 2-6] 웨이퍼 크기별 신규 제조시장(2012~2020)	4 1
[그림 2-7] Kurita 社 KM막(좌) 및 연속식 전기 탈이온 장치(우)	5 1
[그림 2-8] Kurita 社의 막탈기 장치 워터 서버(좌) 및 순수 대용량 UF 모듈 KU1510-HS(우) 6.....	1
[그림 2-9] 초순수 제조 장치(왼쪽부터 마쿠에스 UP-R형 쿠리아쿠아 S형, 마쿠에스 KC-H형) 6.....	1
[그림 2-10] ORGANO 社의 이온 교환 수지 (좌) 및 이온 교환 설비 (우)	7 1
[그림 2-11] NOMURA 社의 HERO system	7 1
[그림 2-12] HERO system을 포함하는 NOMURA 社의 순수 개발 공정도 (예시)	8 1
[그림 2-13] NOMURA 社의 초순수 개발 공정도 (예시)	8 1
[그림 2-14] NOMURA 社의 TOC-UV (좌) 및 HE-VDG (우)	9..... 1
[그림 2-15] AFS® E system 공정흐름도	9 1
[그림 2-16] AFS® E 물 정화 시스템	10 2
[그림 2-17] Merck Millipore's Elix® module의 모식도	10 2
[그림 2-18] CEDI module의 모식도	1 2
[그림 2-19] EVOQUA 社의 수처리 장치 및 소재	2 2
[그림 2-20] EVOQUA 社의 CEDI 모듈 및 전원 공급장치	2 2
[그림 2-21] MITSUBISHI CHEMICAL 社의 주력 이온교환수지(균일성을 특징으로 함)	3..... 2
[그림 2-22] EBARA 社가 개발한 오존 발생 장치	4 2
[그림 2-23] EBARA 社의 초순수 생산 공정 적용 펌프	4 2
[그림 2-24] EBARA 社의 Sharp annual report 2010	7 2
[그림 2-25] 국가별 유효특허	82
[그림 2-26] 국가별 유효 초순수 관련 특허 건수(위) 및 분포(아래)	9 2
[그림 2-27] 국가별 연도별 초순수 관련 특허 현황	03

[그림 2-28] 세계 초순수 관련 특허 출원인 국적 현황	13
[그림 2-29] 주요 국가별 초순수 관련 특허 출원인 국가 현황	23
[그림 2-30] 주요 출원인 초순수 관련 특허 출원 현황	43
[그림 2-31] 초순수 관련 특허 맵 분석 결과(검색된 전체 유효 특허)	43
[그림 2-32] 역삼투 관련 특허 맵 분석 결과	53
[그림 2-33] UV 관련 특허 맵 분석 결과	63
[그림 2-34] 이온교환수지 관련 특허 맵 분석 결과	63
[그림 2-35] EDI/CDI 관련 특허맵 분석 결과	73
[그림 2-36] 탈기법 관련 특허 맵 분석 결과	83
[그림 2-37] 활성탄 관련 특허 맵 분석 결과	93
[그림 2-38] 첨단용수(ultrapure water) 관련 논문 동향	104
[그림 2-39] 첨단용수 단위기술별 논문 동향	14
[그림 2-40] 첨단용수 단위기술별 논문 동향	14
[그림 2-41] 첨단용수 단위기술별 논문 동향: RO	34
[그림 2-42] 첨단용수 단위기술별 논문 동향: UV	44
[그림 2-43] 첨단용수 단위기술별 논문 동향: MF/UF	44
[그림 2-44] 첨단용수 단위기술별 논문 동향: CDI	54
[그림 2-45] 첨단용수 단위기술별 논문 동향: EDI	54
[그림 2-46] 첨단용수 단위기술별 논문 동향: IEX	64
[그림 3-1] 기술개발 범위	105
[그림 3-2] 기술개발 전략 및 목표	15
[그림 3-3] 고순도 공업용수 공급 시스템 구축 조감도	25
[그림 3-4] 고순도 공업용수 공급기술 개발과제 로드맵	75
[그림 3-5] 기존 산단 적용 실증 시설(테스트베드)	85
[그림 3-6] 신규 산단 적용 실증 시설(테스트베드)	85
[그림 4-1] 편익과 비용의 산정 및 편익분석	17
[그림 4-2] 총 사업 편익 분석 결과	27
[그림 5-1] 연차별, 세부과제별 예산	87

제 1 장 기술의 정의 및 필요성

제 1 절 기술정의

1. “첨단공업용수 기술개발”정의

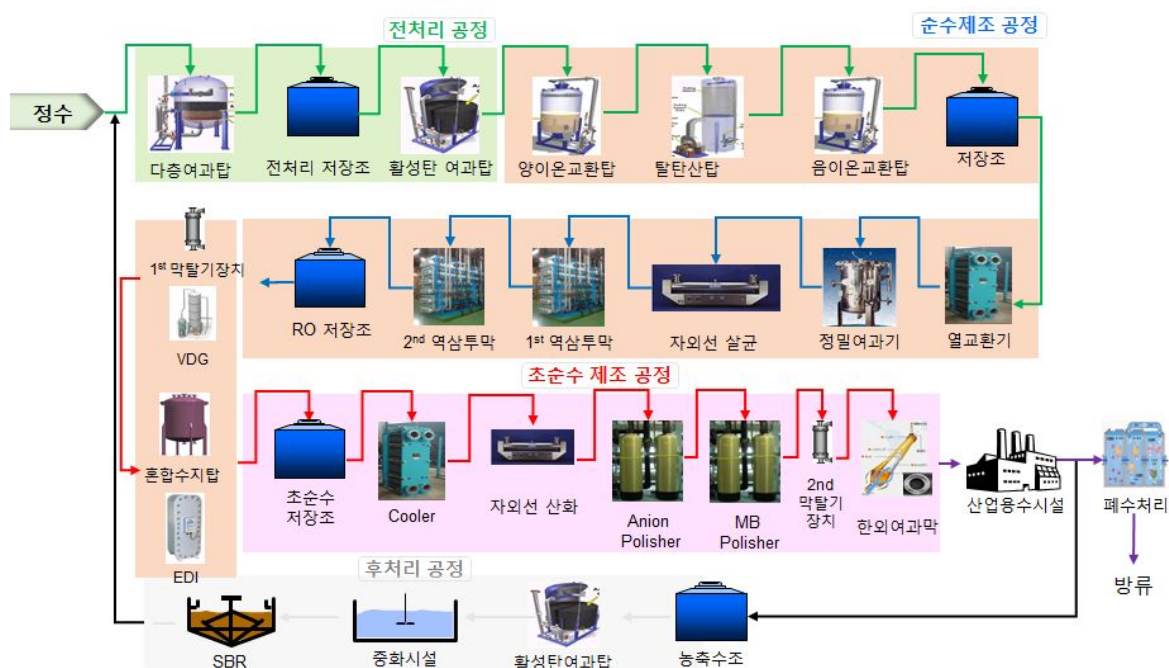
가. 기본개념

- ‘첨단공업용수’는 제품을 생산, 제조하는 공장에서 원료로 사용하는 용수를 말하며 수도법 제3조의 공업용수(기존 정수장 침전수)를 현장에서 제품 생산을 위해 추가적인 처리를 하여 사용하는 용수를 의미
 - 첨단 공업용수는 기존 공업용수를 추가 처리하여 수돗물보다 더 깨끗한 물을 생산하므로 “고순도 공업용수”라고 명칭할 수 있으며, 현장에서 기존에 사용하는 용어로는 “순수” 및 “초순수”가 있음.
 - 고순도 공업용수는 주로 첨단 산업인 반도체, LCD, 태양광 패널, 제약 등에서 요구되는 순도 높은 공업용수이며, 발전소 및 난방 보일러 용수, 철강, 석유화학 산업에서도 고순도 공업용수를 요구하고 있음.
 - 고순도 공업용수를 생산하기 위해서는 기존 공업용수(침전수)나 수돗물을 원수로 하여 현존하는 최신의 모든 처리 장치를 이용하여 물속에 있는 모든 불순물을 제거해야 하며, 이를 위해 이온교환 공정, 역삼투 공정, 막탈기 공정, 자외선 산화공정, 막여과 공정 등 약 3 ~ 20여개의 단위 수처리 공정을 이용하고 있음.
 - 고순도 공업용수 수질은 사용 업종에 따라 기준 및 항목은 다르나, 일반적으로 비저항, 유기물, 입자, 실리카, 보론 등의 수질 항목으로 관리함. 이론상 순수의 비저항은 $18.2 \text{ M}\Omega/\text{cm}^2$ 으로 $10 \text{ M}\Omega/\text{cm}^2$ 이상의 물을 “초순수”라고 명칭하여 현장에서 사용하며, $10 \text{ M}\Omega/\text{cm}^2$ 미만은 “순수”로 명칭하여 사용하고 있음. 고순도 공업용수일수록 물 속 유기물 및 용존 산소를 제거하여 불순물이 없는 순수한 물을 요구함.
 - 산업계에서는 고순도 공업용수 생산을 위해 필요한 원수(침전수) 사용 비용을 절감하기 위해 공장 폐수 일부를 재이용하여 사용하고 있으므로 폐수 재이용 및 재이용 원수를 활용한 고순도 공업용수 생산 기술개발도 필요함.

나. “첨단공업용수 실증파일럿 기술개발”의 정의

- 첨단 공업용수 실증파일럿 기술개발'은 기존 고순도 공업용수 생산 시설의 설계, 시공, 운영기술을 국산화하여 산업체에서 요구하는 수질에 맞게 공급하는 기술 개발 및 실증화 하는 연구로, 소비 전력과 폐액 발생량 등을 감소시켜 운영비 및 설치비를 기존 시설대비 절감할 수 있는 기술개발을 의미함.
- ‘고순도 공업용수 생산 및 공급’ 기술 정의

- 고순도 공업용수를 생산하는 기술은 하천 원수나 침전수를 원수로하여 이론적으로 불순물이 전혀 없는 물을 제조하고 공급하는 기술로 산업 활동의 기본이 되는 용수를 만드는 최첨단의 현존 수처리 기술이 집합된 고부가가치 기술
- 고순도 공업용수는 생산 후 수요처까지 이송하기 위한 공급과정에서 외부 공기에 의한 오염, 내부 미생물 성장에 의한 오염, 배관 용출에 의한 오염까지 제어해야 하며, 이를 위해 설계(재료 포함), 시공, 운영상의 필요한 기술도 포함됨.
- 산업체에서 고순도 공업용수의 원수 비용을 절감하기 위해 배출 폐수의 일부를 재처리하여 초순수 생산을 위한 원수로 활용하고 있으며, 이러한 재이용 기술도 본 기술에 포함됨.



[그림 1-1] 초고순도 산업용수 제조 공정도 예시

2. “고순도 공업용수 생산 및 공급 실증파일럿 기술개발”의 기술 분류

가. 고순도 공업용수 생산 및 공급을 위한 설계 기술 분류

- 고순도 공업용수 생산 및 공급을 위한 설계 기술은 업종별로 요구되는 다양한 수질 기준을 만족시키기 위한 단위 수처리 공정의 조합 설계를 위하여 필요한 단위 공정 국산화 장치 개발, 공정 조합 최적화를 위한 설계 프로그램, 산업단지 내 고순도 공업용수 생산 장치 설계시 현장에 요구되는 최적 중앙공급 공업용수의 수량 및 수질 결정 프로토콜이 해당됨.

- 단위 수처리 공정의 국산화 및 폐액 발생을 저감시킬 수 있는 친환경 수처리 기술 개발

등으로 기존 고순도 공업용수 생산 플랜트 운영 및 설치비용 절감 효과가 기대 됨.

- 목표수질 생산을 위한 경제성을 고려한 조합공정 결정 프로그램은 외국 선진국 기술에 전적으로 의존하고 있어, 국산 단위 공정 개발 및 친환경 단위공정 개발 제품을 고려한 공정 조합 설계 프로그램 개발이 필요함.
- 기존 고순도 공업용수는 개별 공장에서 개별 제조 시스템을 이용하여 생산되었으나, 향후 노후산업 재생사업을 통해 중앙 공업용수 공급 시스템을 설치할 경우, 특정 산업 여건에 맞는 최적의 중앙 공업용수 수질 및 수량을 결정할 수 있는 방법론의 정립이 필요함. 이와 함께 중앙 공급 시설에서 각 수요처(공장)까지 공급 배관의 설계 등도 필요함.

나. ‘고순도 공업용수 생산 및 공급을 위한 시공’ 기술분류

- 고순도 공업용수 생산 플랜트는 침단의 단위 수처리 공정이 총 집합된 복합플랜트로 플랜트 시공을 위한 전문성이 요구되며, 현장 여건상 부지의 제약을 받는 플랜트임. 또한 공급 배관의 경우 기존 상하수도 시스템과 달리 공급배관의 정체, 외부공기 유입이 전혀 없는 배관 상태를 유지하여야 하므로 다양한 시공기술 개발 필요함.
- 부지의 제약을 받는 현장에 시공하거나, 전문 인력이 부족한 신흥 산업국에 플랜트를 수출할 경우 국내에서 조립 후 수출해야 하므로 복잡한 연계 단위 공정의 배치를 고려한 컴팩트한 플랜트 시공기술 개발이 필요함.
- 현재 고순도 공업용수 중 가장 높은 순도를 요구하는 반도체 산업은 한국이 세계를 주도하므로, 국내 반도체 산업에 본 기술이 적용될 경우 실적 인지도를 가지고 용이하게 국외로 플랜트 수출이 가능할 것으로 예상됨.
- 본 플랜트는 주로 산업단지에 구축되고 폐수를 활용한 재이용 시스템 운영이 필수적임. 따라서 폐수 재이용을 포함한 기술 개발이 이루어 질 경우 산업단지 내 용수에 관한 총체적 관리가 가능함.
- 상하수도 공급 시스템보다 엄격한 시공기준이 요구되며, 지금까지 외산 기준에 의존한 시공 기술 또한 플랜트 수출을 위해 국내 시공 기술 수립이 시급함.

다. ‘고순도 공업용수 생산 및 공급을 위한 운영’ 기술 분류

- 고순도 공업용수를 생산하기 위해 물리, 화학, 전기적 방법의 수처리 공정뿐만 아니라 가스까지 이용하는 에너지 다소비 공정이 적용됨. 따라서 에너지 절감 기술 확보로 운영 및 설치비 절감이 가능하여, 외국의 선도 기술에 비해 우위를 차지할 수 있는 기술 개발이 필요
- 용수 생산과정에서 에너지(전기, 폐액발생, 가스) 사용량 절감 가능 기술개발을 통해 기존 선점 기업에 비해 기술 우위를 차지할 수 있는 방안을 구축할 필요가 있음
- 기존 침전수나 수돗물에 비해 고비용이 요구되는 수종으로 에너지 절감 방안에 대

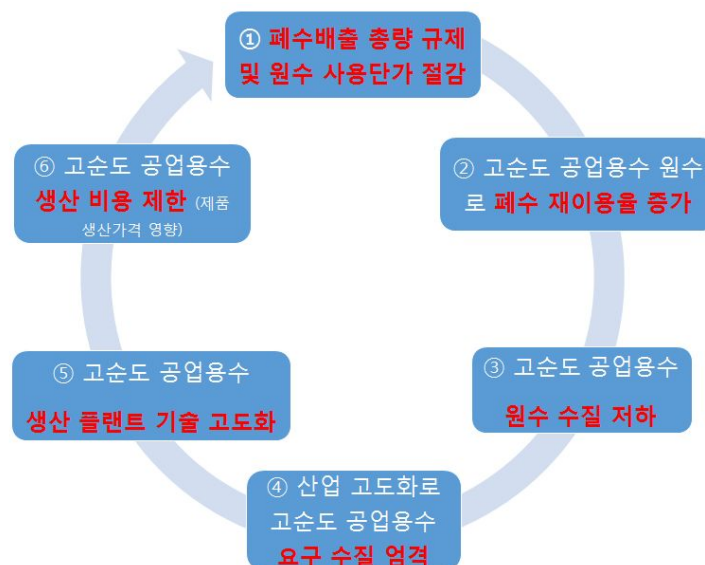
한 많은 방안 모색이 가능하여, 생산 원가 절감에 도움이 될 것으로 예상

- 복합적인 수처리 장치 및 공급 시스템의 운영기술 개발로 제품 생산에 직접적인 영향을 미치는 고순도 공업용수의 공급 중단 문제를 근본적으로 차단할 필요가 있음.

제 2 절 ‘고순도 공업용수 생산 및 공급기술 개발’ 기획의 필요성

1. 기획의 필요성

- 고순도 공업용수 시장은 세계적으로 29조원(2010년)정도이며 첨단산업 제품에 활용하는 용수 특성상 지속적인 성장이 예상되기에, 2025년에는 68조원으로 성장될 것으로 예상됨. 세계 첨단 산업(반도체 등)을 주도하는 국내 특성상 고순도 공업용수의 국내 사업진출(2010년 1.1조)을 기반으로 해외 플랜트 진출이 용이함(GWI, 2011).
- 1980년대 반도체 산업의 시작과 함께 국내 고순도 공업용수 시장은 개별 사업장을 중심으로 본격적으로 구축되기 시작하였으며, 당시 최고의 기술력을 확보한 일본 설계사가 설계, 시공을 담당하여왔음.
- 현재 국내 고순도 공업용수 플랜트 사업은 일본의 소수 선발업체에 의해 주도되고 있어, 외국 설계, 제품에 전량 의존하고 있으므로 이에 따른 **국산화 기술개발이 시급함**.
- 고순도 공업용수를 사용하는 산업단지 내 중소기업들은 고가의 외산 설계 및 제품을 도입하여 운영하고 있으며, 부품의 수선, 유지비의 부담 및 용수 생산비용 부담이 **업체 생산 제품 경쟁력 하락의 요인**이 되고 있음. 따라서 중소기업 경쟁력 및 국내 기업의 해외 제품 경쟁력 향상을 위한 **새로운 용수 생산체계 개발이 필요**



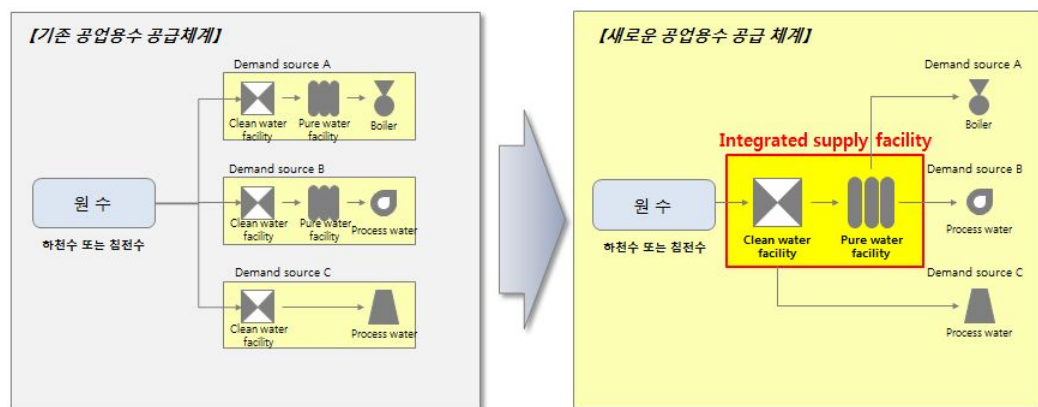
[그림 1-2] 고순도 산업용수 기술 발전 배경

- 고순도 공업용수는 산업의 고도화에 따라 지속적으로 고순도 공업용수를 요구하고 있는 반면에 용수 생산 단가 및 규제에 따라 원수(하천수) 사용량에 한계가 있어 폐수를 재이용해야 하는 상황임. 따라서 저품질의 원수로 **고품질의 용수를 경제적으로 만들어야 하는 기술적 요구 사항이 있음.**

2. 기획배경

□ 산업단지 재생사업으로 인한 고순도 공업용수 신규 시장 생성

- 한국의 산업단지는 지난 50년간 국가 산업의 원동력이자, 중소기업의 터전으로 우리 경제의 든든한 버팀목 역할을 해왔으며, 최근 산업의 변화와 함께 노후 단지를 재생하는 사업이 시작되고 있음.
- 노후 산업단지 재생 사업에서 단지 기반시설인 고순도 공업용수 중앙공급시설을 구축할 경우 단지 내 입주 업체의 공업용수 생산 단가를 절감하는데 기여할 수 있으므로, 국가 차원의 고순도 공업용수 신규 시장 창출이 필요
- 현재 일부 산업단지(대산, 울산 등)에서도 경제성을 고려하여 개별 업체로 공급되는 통합 고순도 공업용수 사업이 자발적으로 민간차원에서 진행되고 있으므로 향후 국내 시장 규모는 점차 확대될 예정
- 산업단지 구축시 기반 시설중 하나인 공업용수 공급 시스템을 공동 시설로써 국가 차원에서 구축할 경우, 개별 입주 기업의 공업용수 생산 단가가 낮아져 **기업 제품 생산 경쟁력 향상에** 기여할 수 있으며, **신개념의 국가 공업용수 공급 시스템 구축이 가능함.**



[그림 1-3] 새로운 공업용수 공급체계 창출

□ 기존 고순도 공업용수 플랜트의 재구축 시기 도래

- 1980년대 반도체 산업을 시작으로 국내에 구축된 고순도 공업용수 플랜트는 현재 30년이 경과하여 노후화되었으므로 플랜트의 재구축이 필요한 시점임.
- 과거 외국기술에 의해 구축된 설비의 재구축사업 시작에 대비하여 국산화 기술 개

발이 시급함

- 급격히 진보하는 산업 발전에 의해 고순도 공업용수 수질이 더욱 더 엄격해지고 있어, 이에 대한 경제적인 기술개발이 필요함.
- 최고의 고순도 공업용수를 요구하는 곳이 반도체 산업이며, 세계적으로 주도하고 있는 한국 반도체 산업에 국산 기술이 적용될 경우, 국외로 고순도 공업용수 생산 플랜트 수출이 용이할 것임.

□ 국가적 차원의 고순도 공업용수 생산 기술 개발 필요

- 일본은 1980년대 통산성이 주도하는 “반도체 기반기술연구회”를 통해 고순도 공업용수 생산 기술을 포함한 반도체 유틸리티 기술을 개발하여 현재 세계 최고의 기술력 및 현장 적용 실적을 보유하고 있음.
- 미국은 1990년대 국방부와 민간공동으로 SEMATECH이라는 연구 단체를 설립하여 현재까지 운영 중에 있으며, 반도체 생산 유틸리티 분야 기술 개발을 추진하여 일본의 반도체 시장을 추격하였음. 미국에서는 반도체의 유틸리티 분야 기술이 국방 기술과 밀접한 관련이 있다고 판단하여 국방부의 지원을 통해 육성함.
- 국가 정책과제 중에 국정과제로 추진 중인 “중소기업 성장 희망사다리 구축” 및 창조경제 실현과제로 “동반성장 등 협력적 기업생태계조성”이 있음. 고순도 공업용수 플랜트의 단위 수처리 공정은 현재 국산 중소기업 제품 위주로 개발되어 있으나, 기업 제품생산에 직접적인 영향을 미치는 고순도 공업용수 특성상 신뢰성이 확보되지 않은 제품의 현장 적용 및 상용화가 어려운 실정임.
- 고가의 투자비와 운영비가 필요한 고순도 공업용수 플랜트 특성상 국가적 차원의 산·학·연 공동 연구를 통해 제품 상용화를 추진하고 국내 현장 적용 실적을 확보하는 것이 국제경쟁력 확보로 연결될 수 있음.

3. 기획 목적

- 고부가가치 물산업 진출을 위한 고순도 공업용수 플랜트 국산화 기술개발 과제 도출
 - 물산업분야 중 가장 고부가가치 산업인 고순도 공업용수의 국산화 기술 도출
 - 외국의 선도 기술을 추격 가능한 전략 기술 도출
 - 고부가가치 창출이 가능한 고순도 공업용수 플랜트 기술 개발 방향 수립
- 공업용수 공급 체계 변화를 통한 기업 경쟁력 향상 및 신규 시장 창출 기술 도출
 - 기존 공업용수 체계 효율화와 용수 수요처의 혜택을 극대화 하는 신규 공업용수 공급 방안 수립
 - 공업 용수체계 변화를 통한 물산업분야 신규 시장 창출 방안 도출
- 중소기업 육성 및 산학연 공동 연구를 통한 세계 플랜트 시장 진출 기술 도출

- o 기존에 구축된 고순도 공업용수 생산을 위한 국내 플랜트 기술은 중소기업 위주로 구축되어 있어, 국가적 차원의 구심점 및 경제적 지원을 통해 기술 개발 지원 필요
- o 세계 최고 품질을 요구하는 한국의 고순도 공업용수 시장 진입을 통해 확보한 기술력과 인지도를 통해 국내 중소기업 제품의 해외 플랜트 시장 진입 가능

제 2 장 국내외 동향 및 환경분석

제 1 절 국내외 정책 및 연구

1. 국내 정책동향

□ 고순도 공업용수 생산관련 정부 국정과제

- o 4) 중소기업 성장 희망사다리 구축: “고순도 공업용수 생산 기술”의 단위 수처리 플랜트 업체는 중소기업 위주로 구성되어 있어, R&D지원 확대 등을 통해 기술력 향상을 지원하고 강소 기업에 대한 글로벌 시장 진출이 가능하게 함.
- o 10) 교통체계·해운 선진화 및 건설, 원전산업 해외진출 지원: 세계적으로 가장 고순도 공업용수를 요구하는 반도체 공장이 입지한 국내에서 고순도 공업용수 플랜트 적용 경험을 바탕으로 해외 플랜트 수출이 용이하며, 원전 건설시 고순도 공업용수 생산 시설도 요구되므로 본 기술 적용이 가능함.

□ 국토교통부 핵심과제

- o 기업용지 적기 공급) 급변하는 산업환경에 맞춘 첨단 산업단지 개발(2014) : 노후화된 산업단지의 재생 사업을 통해 산업단지를 재창조하여 기업 생산 환경을 개선하기 위한 과제로, 기존 개별 산업체에서 각각 생산하고 있는 고순도 용수를 산업단지 중앙공급 시스템을 통해 공급받을 경우 용수 단가를 절감할 수 있어 기업 경쟁력 향상에 기여 가능
- o 2015년 국토교통부 업무보고 주요과제 1) 준공 20년 경과 노후 산단이 63개소로 근로여건 개선 및 지역경제 활성화를 위해 2차 지구(안산, 구미, 춘천, 진주)의 재생계획 수립 착수 시 본 개발 기술을 적용하여 지역 경제 활성화에 기여할 수 있음.

2. 국외 정책 및 연구동향

가. 일본

- 1970년대부터 발전하기 시작한 일본의 전자산업의 영향으로 일본에 고순도 공업용수 플랜트 사업이 본격적으로 시작되었으며, 1980년대 국가 주도로 일본 통산성의 지원에 의해 만들어진 “반도체 기반기술연구회”를 통해 반도체 생산 유틸리티(고순도 공업용수) 기술을 선도함.
- 이후 계속되는 전자산업의 발전에 따라 요구되는 공업용수 품질이 높아지고, 이에 따라 고순도 공업용수 플랜트 기술개발이 함께 진행됨. 결과적으로 현재 세계 최고

의 고순도 공업용수 생산 기술은 일본의 소수 회사들만 보유하고 있음.

나. 미국

- 미국은 국가적 차원의 지원을 통해 SEMATECH*이라는 협회를 설립하여 반도체 산업 성장을 유도하였고, 현재도 SEMATECH 주도의 반도체 설비의 표준화 작업을 진행하고 있음(출처: Ultrapure Water for Micro, 2014 학회 출장 조사 내용).

* SEMATECH(Semiconductor Manufacturing Technology): 미국 정부와 반도체업체가 일본의 반도체 기술을 따라잡기 위해 설립한 민관합동 반도체 연구기관이다. 인텔 등 13개 반도체 업체 그리고 국방부 등의 연구 인력이 모인 기관이며, 1987년 설립 이래 1995년 미국이 세계 반도체 시장의 점유율 40%(일본은 39.4%)를 달성하는데 기여했다는 평가를 받고 있다. 미국이 민수용 기술 개발 프로젝트에 처음으로 자금을 투입한 배경에는 반도체 산업이 민간분야 뿐만 아니라 국방 시스템에도 꼭 필요한 전략산업이라는 판단이었다. 연구개발성과는 참여회사들이 공유하고 있으며, 초순수 분야에는 유일하게 일본 Kurita 사가 참여하여 2013년부터 1명의 연구원을 SEMATECH에 파견하여 연구를 진행 중이다.

제 2 절 국내외 시장현황 및 전망

1. 국내 시장현황 및 전망

- ☐ 고순도 공업용수는 개별 사업장별로 구축, 운영 중이며, 고순도 공업용수의 수질 및 수량이 제품 생산량 추정 및 제조 방법과 관련이 있어, 정확한 공개 정보를 수집하는 데 한계가 있음.
- ☐ 고순도 공업용수 생산 국내 업체의 개별 조사 결과, 국내 산업체 업종별 고순도 공업용수 사용비율은 기존 공업용수(침전수)에 비해 약 2배 많은 사용량을 유지하고 있음.

[표 2-1] 공업용수 용도별 국내 사용비율

용도		주요 사용처	분야				
			반도체	LCD	Solar	전자	기타
고순도	초순수	생산공정	40%	40%	29%	5%	-
	순수	보일러 급수	10%	10%	10%	10%	10%
일반	침전수	냉각수 외	50%	50%	61%	86%	90%

※ 출처 : K-water 내부 조사 보고서(2010)

- ☐ 2025년 수도정비기본계획상의 공업용수 수용량을 바탕으로 장래 수요량을 간접적으로 추정해보면 고순도 공업용수의 사용량은 2010년 약 650천 m³/일에서 2020년 1,035천 m³/일로 약 59%의 증가가 예상됨.
- ☐ 고순도 공업용수의 시장규모를 조사한 결과, 2010년 현재 생산시설 투자비는 약 6,900억, 운영비는 약 3,500억원 수준으로 분석되었음. 이는 2020년까지 공업용수 수요 증가에 따라 지속적으로 증가될 것으로 예상됨.
- ☐ 국내 고순도 공업용수 플랜트의 사업 방식을 조사한 결과, 개별 사업장 마다 세부적인 차이가 있으나, 공통적으로 설계는 외국(일본)의 선발 업체가 주도하며, 시공만 국내업체에 의존하는 방식으로 진행되고 있음. 플랜트 보증에 대한 책임이 설계사인 외국 업체에 부과되어 있어 고순도 공업용수의 실질적인 기술은 외국에 의존하고 있는 실정임.

[표 2-2] 고순도 공업용수 용도별 국내 시장 규모

구분		수요량(톤/일)	시장현황 (억원)		
			시설투자비	운영비	합계
합계 (a+b)	‘10년	649,528	6,880	3,468	10,348
	‘15년	973,210	10,555	5,256	15,811
	‘20년	1,035,936	11,103	5,562	16,665
초순수 (a)	‘10년	301,459	4,508	1,931	6,439
	‘15년	481,924	7,206	3,086	10,292
	‘20년	496,745	7,428	3,181	10,609
순수 (b)	‘10년	348,069	2,373	1,537	3,910
	‘15년	491,286	3,349	2,169	5,518
	‘20년	539,191	3,675	2,381	6,056

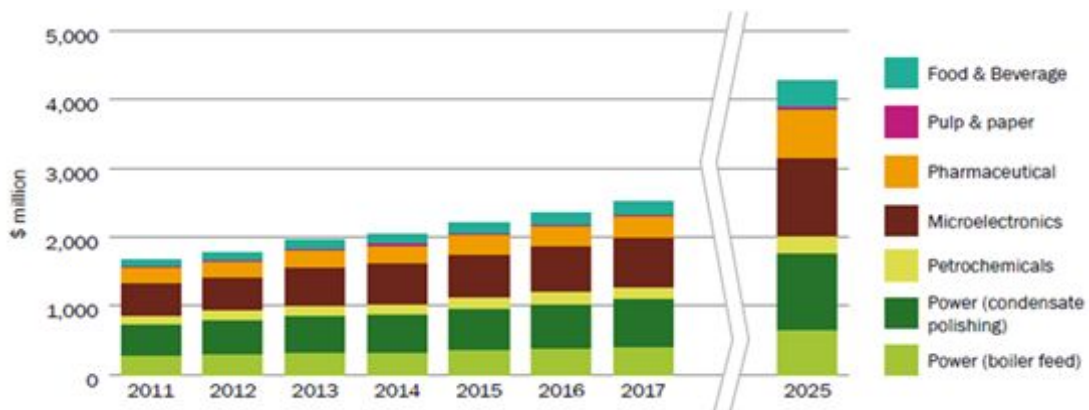
※ 시설투자비 및 운영비는 국내 현장 조사를 통해 분석된 평균 가격 적용

- 초순수 : 시설투자비 1,524천원/m³, 운영비 1,755원/m³

- 순 수 : 시설투자비 722천원/m³, 운영비 1,210원/m³

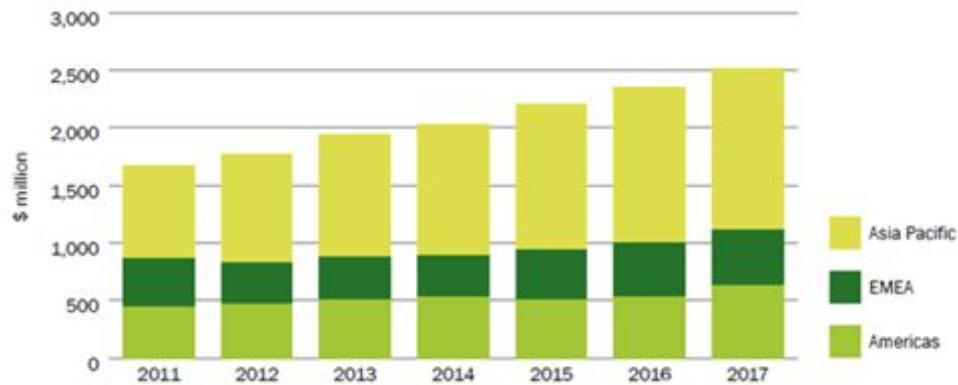
2. 국외 시장현황 및 전망

- 고순도 공업용수 플랜트 시장의 규모는 현재 약 1조 7천억원이며 2025년 4조 3천억원 수준으로 증가될 것으로 예상하고 있음.
- 시장 규모는 발전분야 고순도 공업용수 시장이 전체의 50% 이상을 차지하고 있으며, 전자, 제약, 석유화학 산업 순으로 나타남.



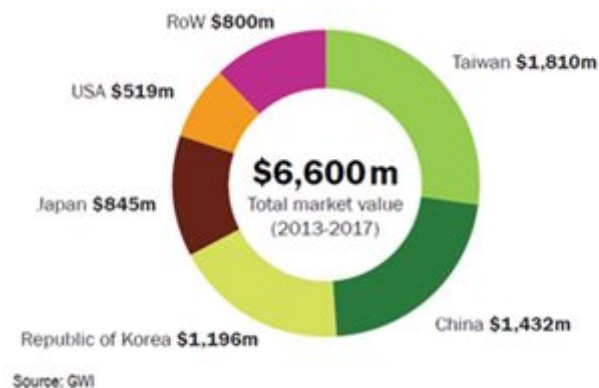
[그림 2-1] 산업분야별 고순도 공업용수 시장 규모 및 성장 전망

- 세계적으로 지역별 시장규모는 반도체 등 첨단 산업을 주도하고 있는 아시아 지역이 전체 시장의 50% 정도를 차지하며, 북미, 중동 순으로 구성되어 있음. 아시아지역의 2011년 시장 규모는 8천 2백억원 정도임.
- 향후 지역별 시장규모의 성장 역시 아시아지역은 2011년에서 2017년까지 연간 9.4%의 성장률을 보일 것으로 예측함.



[그림 2-2] 지역별 고순도 공업용수 시장 규모 및 성장 전망

- 전자산업의 수처리 시장에서 고순도 공업용수 규모가 전체 시장의 80% 이상으로 차지하고 있어, 전자산업의 성장이 공업용수 시장규모에 많은 영향을 미치고 있음. 전자산업 세계시장은 한국, 중국, 대만, 일본이 주도하고 있으며 각국이 유사한 시장 규모로 형성되어 있음.
- 지역별로 소수의 기업이 시장을 주도하고 있으며, 아시아 지역은 일본 3개사가 진출해 있음(GWI, 2008).



[그림 2-3] 전자산업에서 고순도 공업용수 시장 규모 및 국가별 전자산업 시장 규모

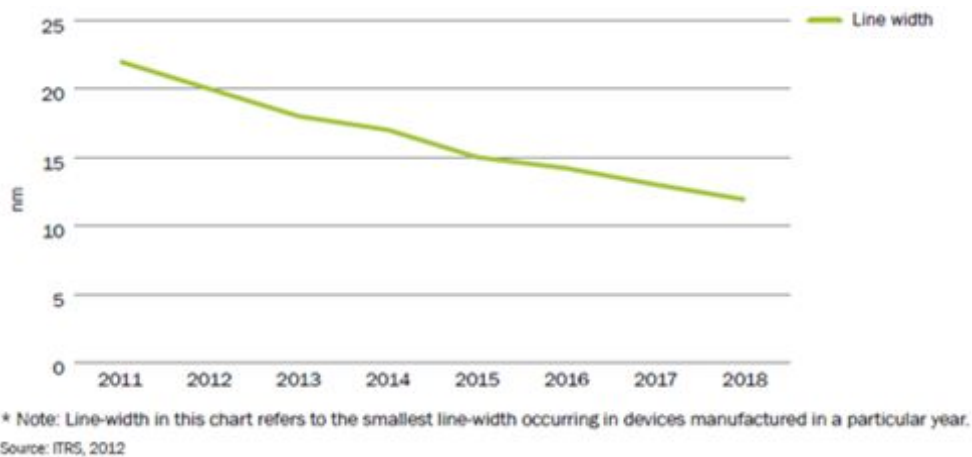
[표 2-3] 고순도 공업용수 시장 진출 주요 기업

주요 시장 지역	북 미		유 럽		아시아		
회사명	GE	Siemens	Veolia	Ovivo	Nomura	Kurita	Organo

3. 시사점

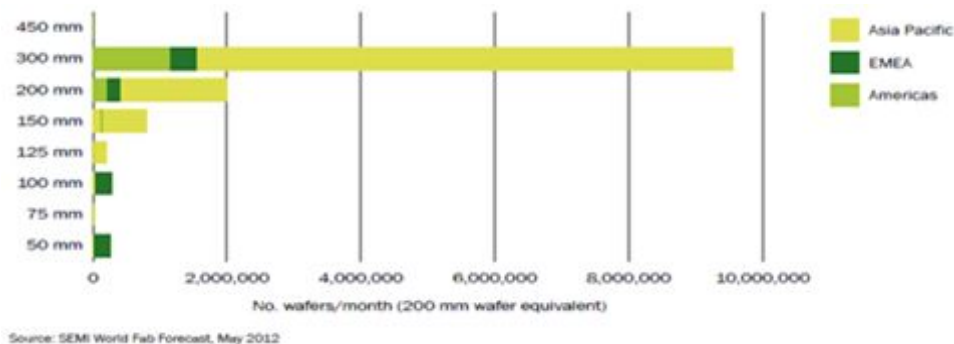
가. 고순도 공업용수 플랜트의 시장 성장 가능성

- 고순도 공업용수 중 가장 높은 순도를 요구하며, 수요량이 많은 반도체 산업은 지속적으로 회로 선폭이 좁아지는 추세에 예상되고 있음. 이에 따라 요구되는 고순도 공업용수의 요구 수질도 더욱 엄격해 질 수밖에 없기 때문에 순도(처리 효율)를 향상시킬 수 있는 기술 개발이 지속적으로 요구될 것임.

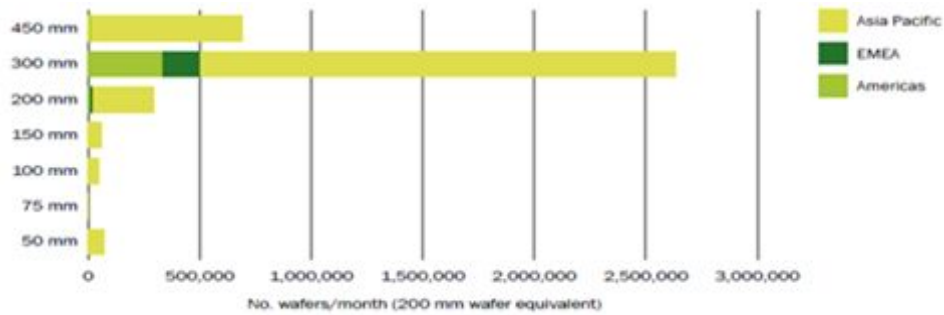


[그림 2-4] 반도체 장비의 소형화 추세

- 수요량 측면에서도 반도체 웨이퍼 주생산 지역이 아시아 지역인 것을 알 수 있으며, 신규 대형 웨이퍼(450mm)의 추가 생산 역시 아시아 지역으로 예측하고 있어, 향후 고순도 공업용수 시장은 아시아 지역을 중심으로 지속적인 성장이 예상됨.



[그림 2-5] 웨이퍼 크기별 신규 제조시장(2000~2011)



[그림 2-6] 웨이퍼 크기별 신규 제조시장(2012~2020)

- 고순도 공업용수의 사용량이 가장 많은 분야는 보일러 용수를 공급하는 발전, 난방 분야임. 국내의 원자력 발전 1호기인 고리(원)부터 월성(원)등 최근 30년이 경과된 노후 발전소에 대한 대책이 논의되면서 기존 시설의 재가동 여부에 대한 논의도 진행되고 있음. 따라서 기존 발전소에 도입된 외산 고순도 공업용수 제조 플랜트의 대체 사업도 함께 시작될 것으로 예상됨.
- 현 정부에서 추진 중인 “노후산단 리모델링 종합계획”은 기업 경쟁력 강화방안을 지원하기 위해 특정 산단을 지정하여 재생사업을 추진하고 있음. 재생 산단의 경우 산단의 인프라 구축 차원에서 중앙 공급형 고순도 공업용수 시설을 구축하여 개별 기업의 공업용수 제조단가를 낮추어 기업 경쟁력 향상에 기여할 수 있으므로 “**고순도 공업용수 신규시장 창출**”이 예상됨.

나. 고순도 공업용수 플랜트 기술의 국산화 및 해외진출 가능성

- 고순도 공업용수를 생산하기 위해서는 수십개의 단위 수처리 공정이 요구되며, 이와 함께 단위공정을 통합 운영 및 공급하는 종합적인 기술력이 필요함. 또한 고순도 공업용수는 개별 기업의 제품생산에 직접적인 영향을 미치는 원재료이므로 플랜트 설계 및 운영 미숙으로 인한 경제적 피해가 큼. 따라서 플랜트 시장에서 **기술력뿐만 아니라 플랜트 제조기업의 신뢰도 또한 중요함**.
- 이미 각 단위 공정을 제작할 수 있는 국내기업이 있으나 대부분 중소기업으로 연구개발의 인적, 물적 지원의 한계가 있으며, 제품의 효율을 평가할 수 있는 고순도 공업용수를 제공 받는데 어려움이 있어 **제품 검증의 한계성**을 가지고 있음.
- 이러한 한계를 극복하는 방법은 국가적 차원의 지원을 통해 산,학,연 공동 개발 기회를 제공하고, 국가 과제로 실증 시설을 구축하여 기술이 적용될 수 있는 기회를 확보하는 것임. 고순도 공업용수 플랜트의 최고 기술을 요구하는 반도체 산업은 국내 시장이 세계를 주도하고 있으므로, 고순도 공업용수 플랜트 기술의 국내 현장 적용 실적은 외국에서 높은 인지도를 얻을 수 있으므로 플랜트 수출이 용이할 것으로 예상됨.

제 3 절 기술동향분석

1. 기술동향분석

이 장에서는 초순수 생산 관련 상용화 기술을 보유한 대상 기업(KURITA, ORGANO, NOMURA MICRO SCIENCE Co., Ltd, MERCK MILLIPORE, EVOQUA, MITSUBISHI CHEMICAL, EBARA, SHARP)의 주요 기술을 정리하였음.

□ KURITA

- 세계 최대 초순수 관련 기업
- KURITA社は ion exchange resin, ion exchange 모듈/공정, 전기탈염 장치, 분리막 기술 등 초순수 장치에 필요한 대부분의 요소 기술을 확보함.
- 요소 기술의 결합을 통한 맞춤형 초순수 장비 제작/판매 중
- 나선 구조를 가진 MF막(KM막) 개발 및 판매(PTFE 소재의 0.2 um 공극). 초순수 제조 시스템에서 전처리 목적으로 사용되며, RO 공정 전단에 설치
- KURITA社가 개발한 연속식 전기 탈이온 장치인 KCDI는 재생이 필요없기 때문에 화학 약품을 사용하지 않고 순수를 제조할 수 있음.



[그림 2-7] Kurita社 KM막(좌) 및 연속식 전기 탈이온 장치(우)

- 기존의 이온 교환 수지의 장점(균일 입경, 높은 H/OH 전환율)과 자체 조절 기술을 결합한 고품질 이온 교환 수지 개발(고급 분석 기술을 이용하여, 낮은 용출 현상 확인)

[표 2-4] 기존 품질과 KR-UM1의 성능 비교

구 분	Na	Cl	Fe	Al	Cu	Ni	Cr	Ca
기존제품	3~5	5~8	<10	<10	<10	<10	<10	<10
KR-UM1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<2

- o 막탈기 공정을 적용하여, 원수의 용존 산소를 제거하고 배관의 부식을 방지하는 초순수 생산 기술 개발(모듈은 내열성이 뛰어난 FDA 규격 기재 제품 사용). 오염에 강하고 처리수량이 우수한 장점이 있음.
- o KURITA 社가 개발한 초순수용 대용량 UF 모듈인 KU1510-HS는 세계 최대 용량의 초순수 UF 모듈로써, 외압형 중공사 폴리설편 막을 사용함.



[그림 2-8] Kurita 社의 막탈기 장치 워터 서버(좌) 및 순수 대용량 UF 모듈 KU1510-HS(우)



[그림 2-9] 초순수 제조 장치(왼쪽부터 마쿠에스 UP-R형, 쿠리아쿠아 S형, 마쿠에스 KC-H형)

□ ORGANO

- o 대표적인 세계적 초순수 기업 중 하나로써, 이온 교환 수지를 바탕으로 다양한 종류의 초순수 공정 개발
- o ORGANO 社는 각 종 산업 분야에 각종 순수/초순수를 제조하여 공급할 수 있는 맞춤형 설비를 개발/제공하고 있음.
- o ORGANO 社의 핵심 기술은 이온 교환 수지 및 이와 관련된 설비/소재/부품으로써, 1996년 이후 꾸준히 발전되어 옴(이온 교환 장치, 충전물, 이온 흡착 필름 등 다양한 형태로 발전).
- o ORGANO 社의 초순수 관련 기술은 초기에는 이온 교환 수지, 충전물, 세척수, 화학 첨가물과 같은 단일 공정 위주의 기술이 개발되었으며, 점차 위의 단위 기술들을 융합시킨 복합기술이 개발되고 있는 추세임(최근에는 이온교환 공정에 UV, 멤

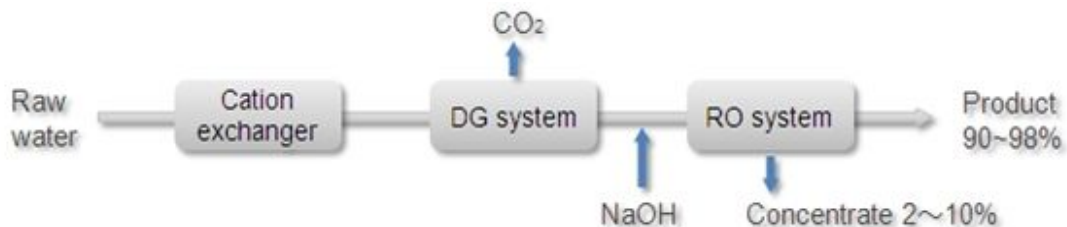
브레인 공정, 세척 공정 등이 결합된 형태로 개발되고 있음).



[그림 2-10] ORGANO 社の 이온 교환 수지(좌) 및 이온 교환 설비(우)

□ NOMURA MICRO SCIENCE Co., Ltd

- o NOMURA 社は 초순수 생산 전반에 걸쳐서, 다양한 요소 기술을 확보하고 있음
- o 그 중에서도, NOMURA 社가 개발한 HERO(High efficiency RO) system은 기존의 RO 공정의 효율을 증진시킨 공정으로, 다음과 같은 장점을 갖고 있음
 - 1) 높은 회수율: 90-98%의 높은 회수율 달성 가능
 - 2) 높은 염제거율: 기존의 시스템보다 높은 염제거율 달성 가능. 이는 silica, boron, 음이온, TOC의 제거가 가능하기 때문
 - 3) 높은 flux: 높은 단위 막 면적당 투과율로 인해 사용하는 막의 개수 감소
 - 4) 낮은 fouling: 막의 fouling을 유발하는 SS, 입자성 물질, 박테리아 감소 효과



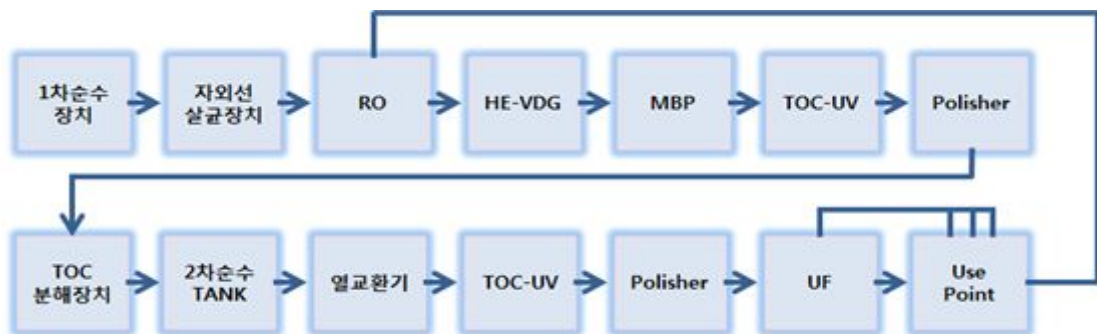
[그림 2-11] NOMURA 社の HERO system

- o NOMURA 社は 이와 같은 HERO system을 다양한 순수 및 초순수 생산 공정 시스템에 적용한 기술을 개발하고 있음. 아래의 그림 2-12는 HERO system을 포함하는 NOMURA 社の 순수 개발 공정도로써, 다음과 같은 장점을 갖고 있음
 - 1) 원수 내 실리카가 많은 경우 적절함
 - 2) RO 공정의 고회수율 운전 가능
 - 3) 원수 수질의 변동에 대한 공정 안전성 확보
 - 4) 붕소, TOC 및 이온 제거율이 높음
 - 5) 높은 범위의 pH 조건에서 운전함에 따라 막 오염 현상 방지 개선



[그림 2-12] HERO system을 포함하는 NOMURA 社の 순수 개발 공정도(예시)

o 이 외에도 아래와 같은 종류의 다양한 초순수 공정을 개발하고 있음.



[그림 2-13] NOMURA 社の 초순수 개발 공정도 (예시)

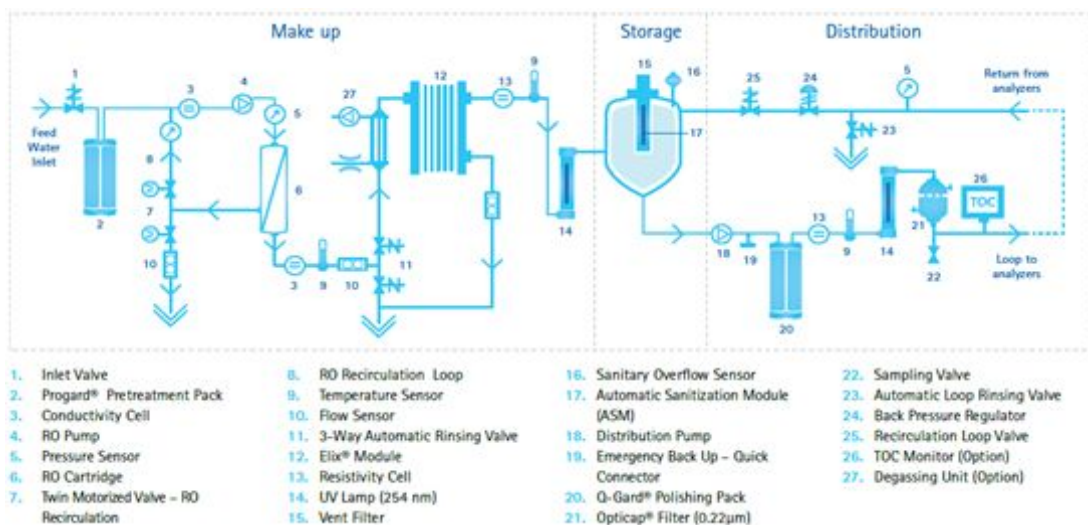
- o NOMURA 社は 다양한 종류의 양이온/음이온 교환수지를 확보하고 있으며, 원수의 수질에 따라서 가장 적합한 이온 교환 시스템을 제공함(counter current flow 재생 타입, co-current flow 재생 타입, mixed bed tower 타입, multi-layered bed 타입, packed bed 타입 등의 이온교환 수지 확보).
- o Organic matter decomposition system(TOC-UV) 개발(수중의 미량 유기물 오염 물질을 185 nm 파장의 UV를 이용하여 유기산 혹은 무기성 탄산으로 분해). 본 TOC-UV 장비는 다음과 같은 장점이 있음.
 - 1) 저압의 UV lamp로 유기물의 효과적인 제거 가능
 - 2) 수질을 저하시킬 수 있는 첨가제 사용이 불필요
 - 3) chamber를 수직으로 배치함으로써 공간 절약
 - 4) 대형 lamp를 적용함으로써, 처리 수량 증대
- o NOMURA 社は High efficiency vacuum degasifier(HE-VDG)를 개발하여, 처리 수의 DO 농도를 5-50 ppb 수준으로 달성함(기존 탈기 시스템과 비교하여, 10% 수준의 DO 농도 달성 가능).



[그림 2-14] NOMURA 社의 TOC-UV (좌) 및 HE-VDG (우)

□ MERCK MILLIPORE

- o 세계적인 바이오제약/화학 관련 기업인 독일 MERCK 社는 최근 시그마 알드리치 社를 인수하여 초순수 제조기를 개발하고 있음.
- o MERCK MILLIPORE 社는 2015년 1월 27일, AFS® E(40E/80E/120E 및 150E) 초순수 생산 시스템 도입을 발표하였음.
- o AFS® E 시스템은 RO, EDI(Electro deionization), UV(Ultra violet) 공정을 융합하여, high quality의 초순수를 생산하는 공정으로써, 구체적으로는 유입수를 Progard® Pretreatment pack에 통과시킨 후, RO cartridge를 통하여, 오염물질의 99%를 제거한 생산수를 확보하는 공정임.



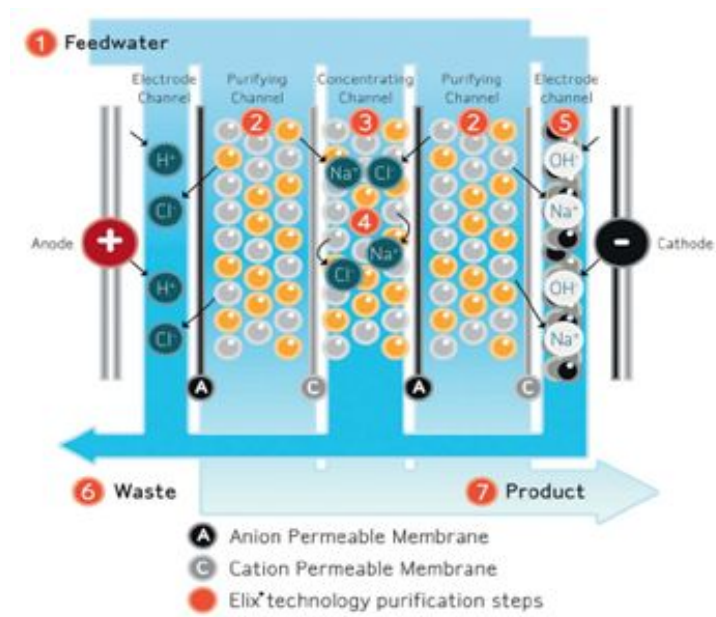
[그림 2-15] AFS® E system 공정 흐름도

- o 생산수는 EDI(Electro deionization) 공정에서 이온을 제거하고 UV(Ultra violet) lamp를 이용하여 최종적으로 살균 처리를 수행함.
- o Distribution 공정은 생산된 초순수의 수질을 일정하게 유지하기 위하여 운전함(저장되어 있는 초순수를 Q-Gard® polishing pack과 UV lamp에 지속적으로 순환시켜 수질을 유지함).
- o AFS® E는 스냅식 cartridge를 이용하여 교체가 용이하며, 시스템의 유지 보수 및 분석, 그리고 실시간 모니터링을 위한 원격 조작을 가능하게 함.



[그림 2-16] AFS® E 물 정화 시스템

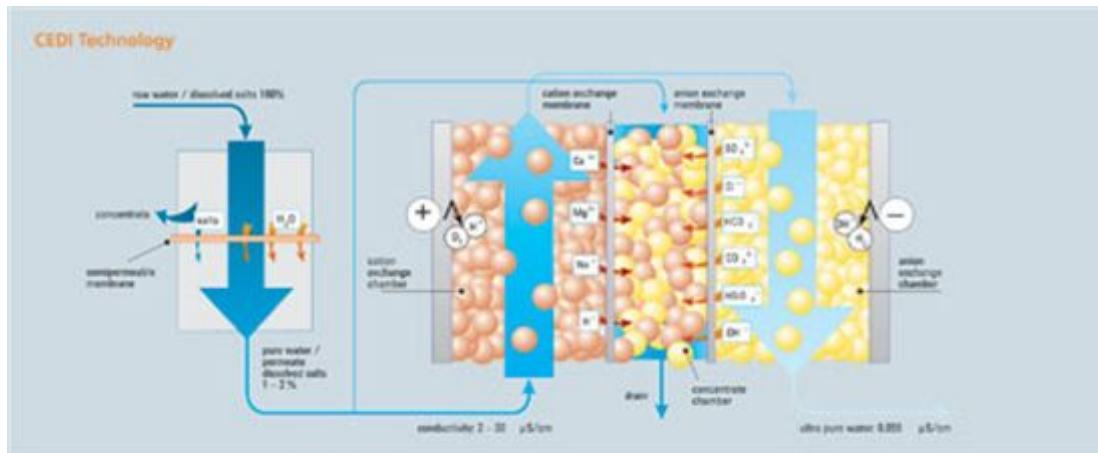
- o AFS® E에는 Merck Millipore's Elix® module을 적용하여 RO cartridge를 통과한 처리수에 존재하는 이온을 분리/제거함.



[그림 2-17] Merck Millipore's Elix® module의 모식도

□ EVOQUA

- o EVOQUA 社は SIEMENS 社の 멤브레인 필터 사업을 포함한 수처리 사업을 지속적으로 추진(Siemens Water Technologies LLC의 사명이 Evoqua Water Technologies LLC로 변경됨)



[그림 2-18] CEDI module의 모식도

- o Laboratory용 초순수 제조 장치(LaboStar™ series)를 판매하고 있으며, 반도체 제조공정에 적용될 수 있는 RO, UF, 활성탄, 이온교환 수지 공정 관련 제품을 제조/판매함
- o 각 단위 공정의 모니터링 및 연동을 위한 각종 수질 측정 장치 및 컨트롤러도 생산중에 있음
- o 그림 2-19는 초순수 제조에 사용할 수 있는 EVOQUA 社の 대표적인 장치 및 소재임
- o 2012년 Semiconductor나 display 생산용 초순수 제조를 대상으로 한 다양한 CEDI 모듈(VNX Modules, LabXT Modules, LX Modules 및 MX Modules)과 DC 전원 공급 장치를 선보임(그림 2-20)



(a) Membrane ultra-filtration unit



(b) Membrane ultra-filtration unit

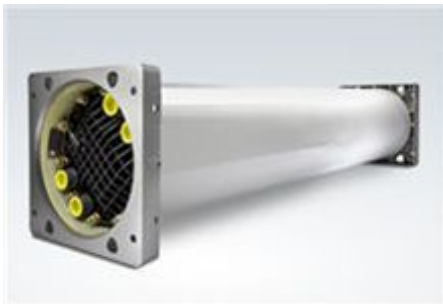


(c) Activated carbon



(d) Ion exchange resin

[그림 2-19] EVOQUA 社의 수처리 장치 및 소재



(a) VNX Modules



(b) LabXT Modules



(c) LX Modules



(d) DC Power Controllers

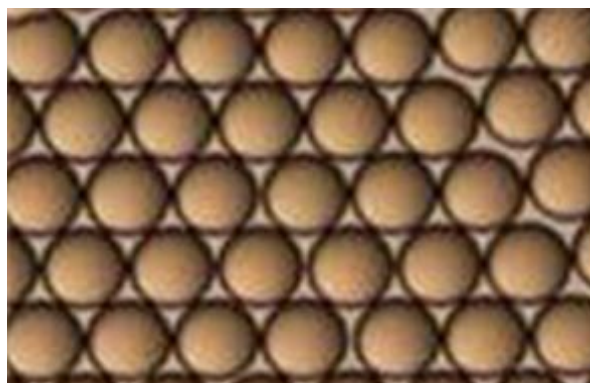
[그림 2-20] EVOQUA 社의 CEDI 모듈 및 전원 공급장치

□ MITSUBISHI CHEMICAL

- 이온 교환 수지 충전물 (resin) 을 중점적으로 개발
- MITSUBISHI CHEMICAL 社は 입자 크기가 약 0.5~0.6mm로 균일하게 분포된 균일입경 이온교환수지 제작에 대한 개발 노하우를 확보하고 있음(일반 이온교환수지의 경우 입자 크기 0.3~1.2mm의 불균일 이온 교환수지임).
- (강산/약산)양이온 교환수지, (강염기/약염기)음이온 교환수지, 킬레이트 수지 등 다양한 종류의 이온교환 수지 공정 관련 제품을 생산함. 위의 각 종류별로 DIAION™ series, ChromSpeed™ series의 이온 교환 수지를 주력으로 판매
- 1차 정수시스템에는 일반 정수시스템과 유사한 시스템이 이용되고, 2차 정수시스템에서는 재생된 형태의 특수 후처리된 이온교환수지가 사용됨.
- 해당 이온 교환 수지 공정은 반도체, LCD 생산에 필요한 초순수 생산과 원자력 발전용 수처리에 필수적으로 사용되고 있으며, 최근에는 정밀화학 촉매까지 그 용도가 확대되어 수요가 급증하고 있음.

[표 2-5] MITSUBISHI CHEMICAL 社の 주력 이온 교환 수지

사용처	이온교환수지 구분	이온교환수지 종류
1차 정수시스템	양이온교환수지	DIAION SKF110 series
	음이온교환수지	DIAION SAF12AL series
	(복층상식)	DIAION SA10DL·WA30C
	혼상탐용수지	DIAION PKF228·SAF10L
2차 정수시스템	음이온교환수지	DIAION SKT10L
	(복층상식)	DIAION SAT10L
	혼상탐용수지	DIAION SMT100L



[그림 2-21] MITSUBISHI CHEMICAL 社の 주력 이온교환수지

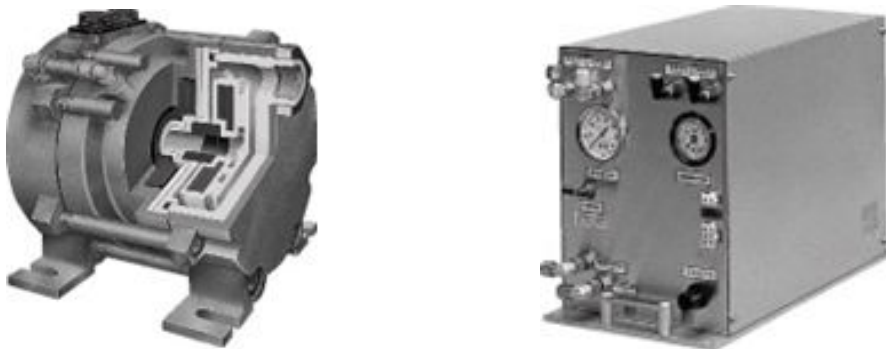
□ EBARA

- EBARA 社에서 생산하는 순수/초순수 관련 대표 제품에는 오존 생산 시스템과 이송 펌프가 있음.
- 오존 생산 시스템 (Model OZW)은 플루오로카본 계열(Teflon) 중공사막을 이용하며, 이를 이용하여 다양한 농도의 적절한 오존 생산수를 얻을 수 있음.
- EBARA 社에서 개발한 입자성 물질의 발생이 없는 펌프와 Teflon 중공사막을 이용하여 불순물이 없는 오존수 생산이 가능함.
- 이 오존 발생기는 EBARA deaeration water와 가스 용해 장치(H_2 , N_2 , CO_2)에 필요한 기능수를 제공할 수 있으며, $18.1\text{ M}\Omega/\text{cm}$ 이상, DN 3 ppm 이하, DO 50 ppb 이하, TOC 3~10 ppb, $15\sim 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 의 유입 원수 사용함.



[그림 2-22] EBARA 社가 개발한 오존 발생 장치

- EBARA 社는 다음과 같은 펌프를 개발하여, 초순수 생산 공정에 공급하고 있음.



[그림 2-23] EBARA 社의 초순수 생산 공정 적용 펌프(좌: Model NDC compact magnetic pump, 우: Model PJ high-pressure plunger pumps)

□ SHARP

- o 21세기형 제조 단지를 형성한다는 슬로건 하에 저에너지, 친환경 지향의 사업 단지를 구축[그림 2-24].
- o LCD panel, solar cell 등의 공정에 초순수 이용
- o LCD panel 생산을 위하여 총 19개社와 유기적으로 협력하는 체제를 갖추었고 특히 초순수 공급 및 폐수처리는 KURITA Water Industries에서 담당

□ 위 와 같은 기술 개발 동향으로 인하여 최근 반도체 업계에서 요구하는 고순도의 고업용수 수질 기준을 다음 표 2-6에 조사하여 나타내었음.

[표 2-6] 반도체 업체 최근 초순수 보증수질

항목		단위	분석하한치	최근 보증 수질	측정법
전기비저항		MΩ·cm		18.22	고감도 비저항계
미립자수	> 0.03 μm	pcs./ml	< 1	< 5	원심 UF여과, SEM계수
	> 0.05 μm	pcs./ml	< 0.1	< 1	미립자계 PMS ultra
TOC		ppb	< 0.4	< 0.5	Anatel A-1000XP
용존산소		ppb	< 1	< 1	용존산소계 Orbisphere
생균		col/10 ℓ	< 1	< 1	배양법 35℃, 72hr
Ionic SiO ₂		ppb	< 0.02	< 0.05	Column 농축, IC
Total Silicon		ppb	< 0.05	< 0.5	증발농축, ICP-MS
금속원소	B	ppb	< 0.01	0.1	증발농축, ICP-MS
	Mg	ppt	< 1 (0.1)	< 1	
	Al	ppt	< 1 (0.1)	< 1	
	Ca	ppt	< 1 (0.5)	< 1	
	Cr	ppt	< 1 (0.1)	< 1	
	Mn	ppt	< 1 (0.1)	< 1	증발농축, ICP-MS
	Fe	ppt	< 1 (0.1)	< 1	
	Ni	ppt	< 1 (0.1)	< 1	
	Cu	ppt	< 1 (0.1)	< 1	
	Zn	ppt	< 1 (0.1)	< 1	
Cation	Na ⁺	ppt	< 1	< 1	Column 농축, IC
	K ⁺	ppt	< 1	< 1	
	NH ₄ ⁺	ppt	< 20	< 50	
Anion	Cl ⁻	ppt	< 2	< 2	Column 농축, IC
유기염소화합물 as Cl ⁻		ppb	< 0.04	< 0.1	UV 분해, 농축, IC
유기질소화합물 as N ₂		ppb	< 0.04	< 0.1	
유기유황화합물 as SO ₄ ²⁻		ppb	< 0.06	< 0.1	

※ NS : Not specified, IC : Ion Chromatography

() 안의 수치는 특수 Sampling 해서 특수하게 분석한 경우의 하한치를 나타낸다.

2. 특허분석

가. 특허 검색 및 분석 방법

- ☐ 한국, 일본 미국, 유럽(유럽 전체, 독일, 영국, 프랑스), 중국, PCT 특허를 대상으로, 출원 공개 또는 등록된 특허(1981.1~2014.12)에 대해 특허 검색/분석을 실시함.

[표 2-7] 검색 국가, 기간, 검색 DB 종합

자료구분	국가	분석구간	검색 DB	검색범위
공개 / 등록 특허	한국	1981.1~ 2014.12 (출원일 기준)	Wisdomain/ Thomson innovation	특허 공개/특허 등록/ 심사 중 특허/미등록 심사 중 특허
	일본			
	미국			특허 공개/특허 등록 전체 문서
	유럽			
	독일			
	영국			
	프랑스			
	중국			
	PCT			

- ☐ 한국과 일본의 경우, 특허 공개, 특허 등록, 심사 중인 특허, 미등록심사 중 (5년간 유효)의 특허에 대해 검색을 진행함. 기타 국가 및 PCT 특허의 경우, 공개 및 등록 특허 전체에 대해 특허 검색을 실시함.

- ☐ 아래의 표 2-8과 같은 키워드를 사용하여 특허 검색을 수행함.

[표 2-8] 초순수 기술 검색을 위한 검색식 작성

국가	검색식
한국/일본	(초순수 or 고순도수) and (제조 or 장치 or 시스템 or 설비 or 장비)
미국/중국/유럽/독일/ 영국/프랑스/PCT	((((Ultra near pure) or Ultrapure) and water) and (product or system or apparatus or plant or equipment or process))

Aiming to be an Eco-Positive Company

Covering approximately 1.27 million m², the huge production site GREEN FRONT SAKAI integrates the production operations of companies from various industries, using cutting-edge technology and processes. Managing the operations of 19 companies including Sharp as if they were one enterprise contributes to significant efficiency gains for all.

GREEN FRONT SAAI represents the start of an environmental revolution in manufacturing that will contribute to a new, eco-friendly society built around advanced electronics.

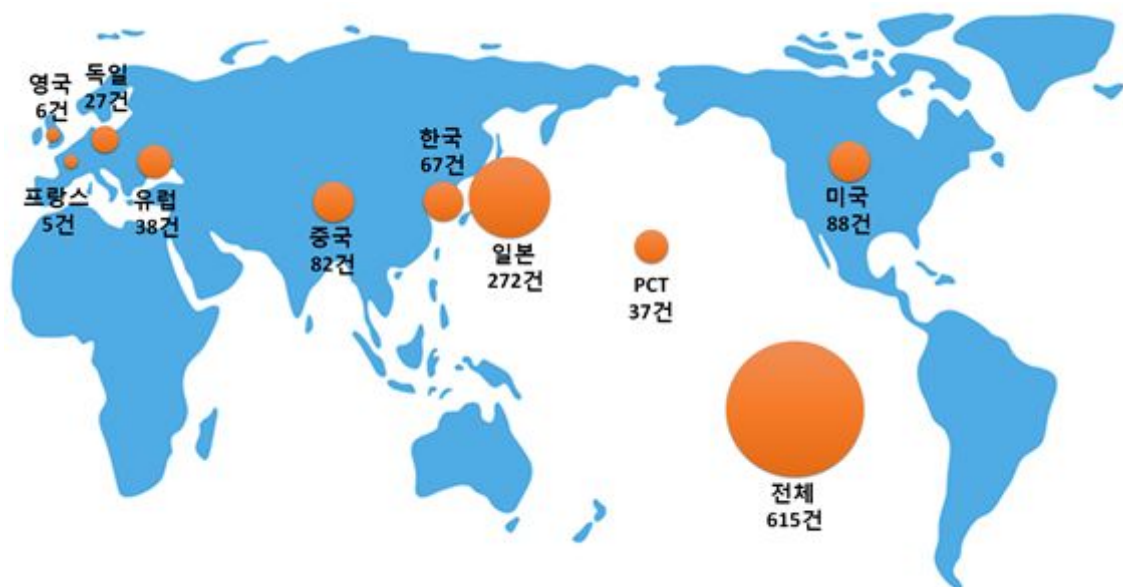


– 28 –

- 한글 키워드의 경우, ‘초순수’ 및 ‘고순도수’를 기준 키워드로 하여, 제조, 장치, 시스템, 설비, 장비 등의 키워드가 포함되도록 선정함. 영어 키워드의 경우, 초순수 (ultrapure water)가 포함된 제작(production), 시스템(system), 장치(apparatus), 플랜트(plant), 장비(equipment) 및 프로세스(process)의 키워드가 포함되도록 선정
- 위의 키워드를 이용하여 1차적으로 분류한 특허에 대해, ‘초순수 및 고순도수와 관련된 특허’ (유효특허)를 2차적으로 도출함(wisdomain 데이터베이스 상에서, 초순수 제조와 관련된 실질적 특허를 ‘유효특허’로 정의).
- 도출된 유효특허를 연도별, 국가별, 출원인 국적별로 선별한 후, 세부적인 기술 분석 실시을 실시, 또한 현재까지 해당 기술을 주도하고 있는 주요 기업을 선별하여 특허 분석 수행함.
- 유효특허를 기반으로 Thomson innovation의 특허 맵 분석을 수행함.

나. 특허 분석 결과

(1) 출원 국가별 특허 분석 결과

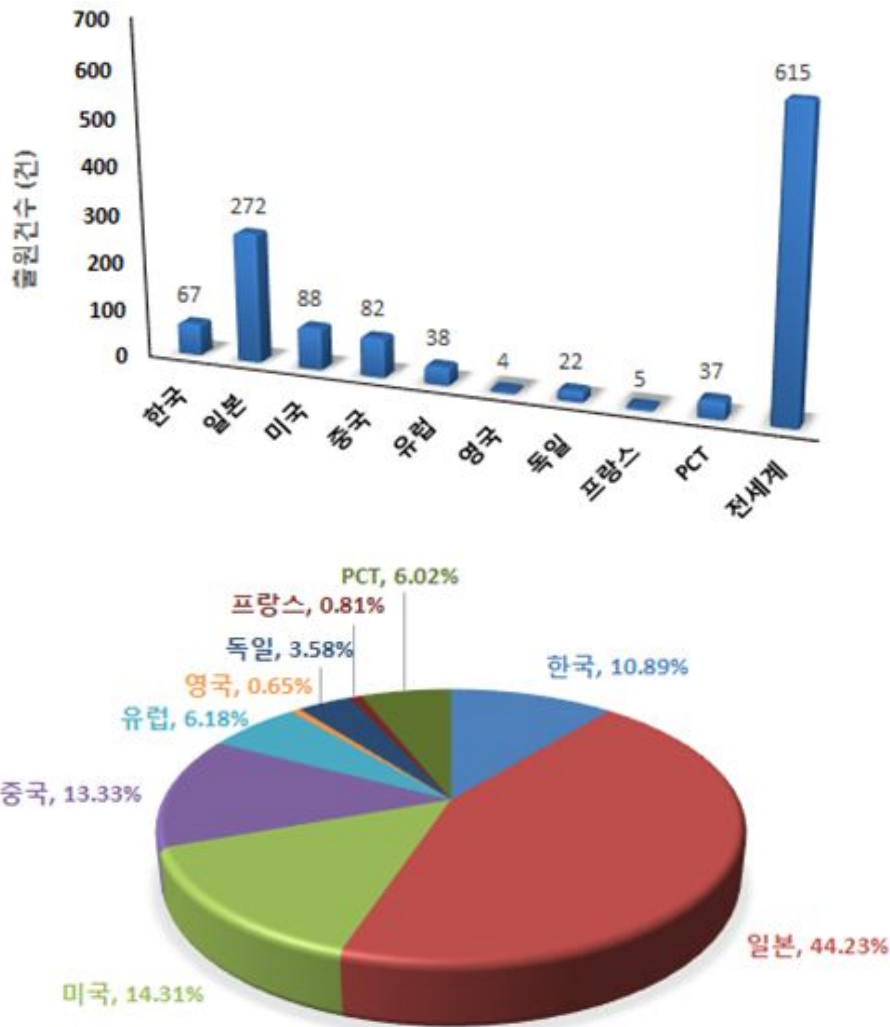


[그림 2-25] 국가별 유효특허

[표 2-9] 선별된 유효 특허 건수

국가별 유효 특허건수	한국	일본	미국	중국	유럽	독일	영국	프랑스	PCT
	67	272	88	82	38	27	4	5	37
총계	615								

- Wisdomain 데이터베이스 상에서 위와 같은 키워드로 검색하였을 때(표 2-8), 1차적으로 총 2,413건의 특허가 검색됨. 초순수 관련 특허를 2차적으로 분류한 결과, 유효특허는 615건으로 도출되었음(1,798건의 제외된 특허는 초순수 생산/제조/설비 등과 무관한 단순 키워드 특허).
- 국가별로는 일본이 290건으로 전체 특허의 44.2%를 차지하고 있었고, 다음으로 미국(88건, 13.8%), 중국(82건, 13.3%), 한국(67건, 10.9%) 순의 분포를 보임.

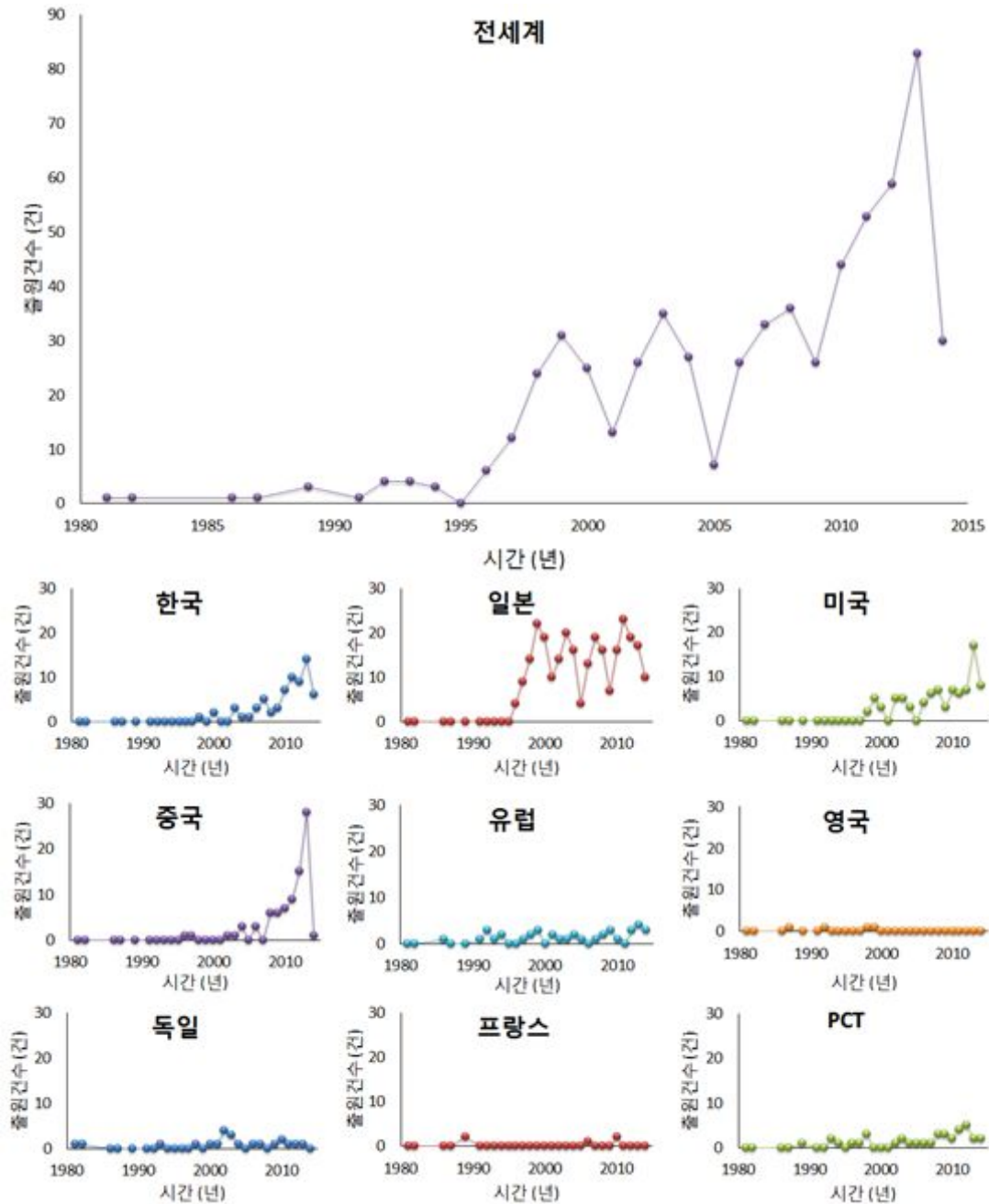


[그림 2-26] 국가별 유효 초순수 관련 특허 건수(위) 및 분포(아래)

- 세계적으로 특허 출원의 경우, 1990년대를 거쳐 2009년을 기준으로 급격하게 증가하는 경향이 나타남(그림 2-27).
- 2014년도는 특허가 출원된 이후 공개까지의 일정기간이 소요되는 제도상의 이유에 기인하여 저평가 되었다고 사료됨.
- 초순수 특허 출원 건수는 한국, 일본, 중국을 중심으로 증가함. 영국, 독일, 프랑스를 포함한 유럽권의 특허는 출원 실적이 미비함. 이는 초순수 특허 출원이 일본을 주도

로 한 아시아 국가들 위주로 수행되고 있음을 의미함.

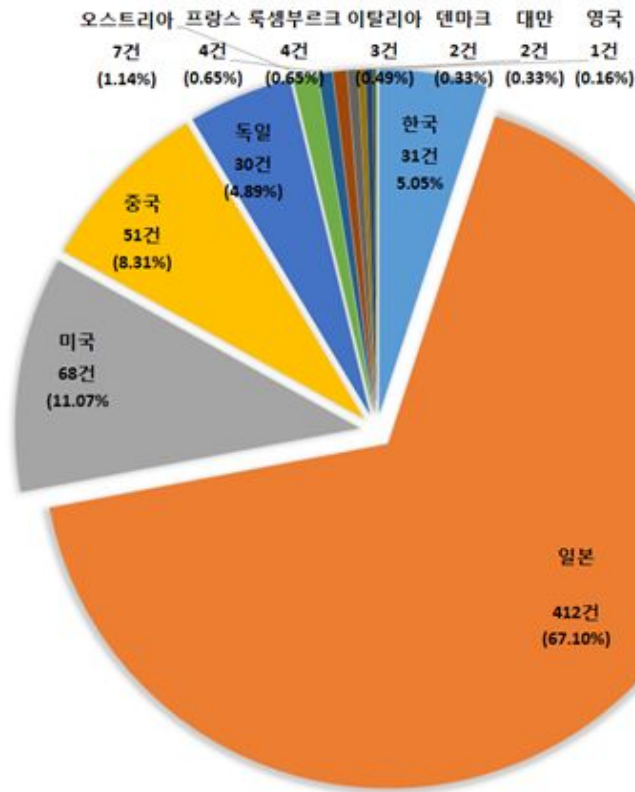
□ 특히, 한국의 경우 중국과 함께 2009년을 기점으로 급격하게 증가함.



[그림 2-27] 국가별 연도별 초순수 관련 특허 현황

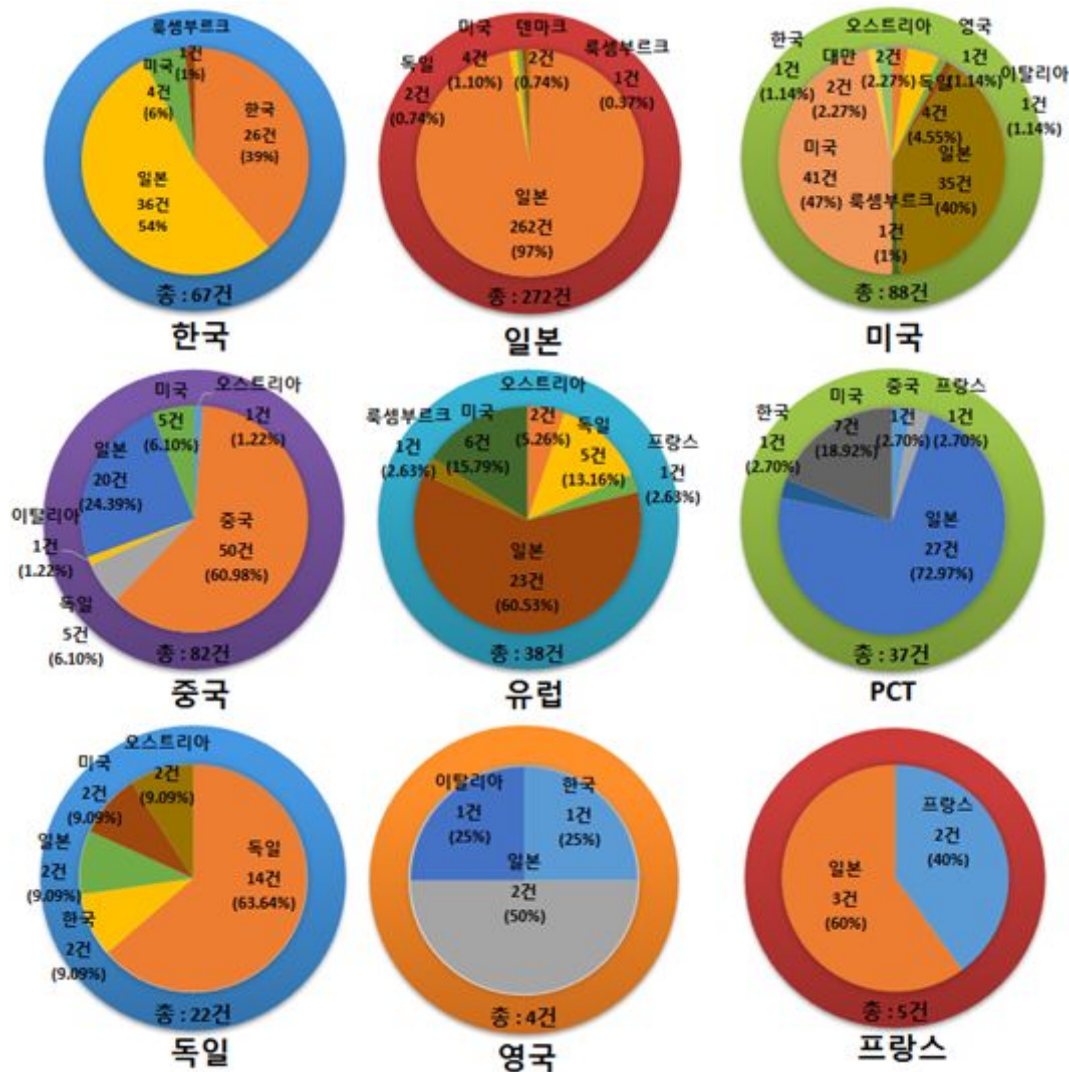
(2) 출원인 국적별 특허 분석 결과

□ 총 615건의 유효특허를 출원인 국가(앞서 보고하였던 것은 “출원국”)로 분류하여 실질적인 초순수 기술 개발 동향 국가를 분석함(“출원인 국가 분석”은 출원인의 국적에 따라 특허를 구분한 것으로써, 실질적인 기술 개발 국가를 파악하기에 유용함).



[그림 2-28] 세계 초순수 관련 특허 출원인 국적 현황

- 세계적으로 출원인 국적별 특허출원 현황을 살펴보면, 일본 국적의 출원인이 발표한 특허가 412건(67.10%)로, 일본인들에 의해 집중적으로 특허 출원이 이루어지고 있는 것으로 조사됨. 이는 우수한 기술력을 보유하고 초순수 시장을 선점한 결과로 파악됨.
- 그 다음으로 미국(68건, 11.07%), 중국(51건, 8.31%)순으로 나타났으며 한국의 경우 31건으로 약 5%의 분포를 차지하는 것으로 분석됨.
- 기타 국가의 경우, 독일(30건, 4.9%), 오스트리아(7건, 1.1%), 프랑스(4건, 0.7%), 룩셈부르크(4건, 0.7%), 이탈리아(3건, 0.5%), 덴마크(2건, 0.3%), 대만(2건, 0.3%), 영국(1건, 0.2%)순으로 조사됨.
- 주요 시장국을 기준으로 국적별 특허출원현황(그림 2-29)을 살펴보면 한국의 경우 전체 67건의 초순수 관련 특허 중 일본 국적 출원인이 36건으로 약 54%의 분포를 나타내고 있으며, 그 다음으로 한국(26건, 39%), 미국(4건, 6%), 룩셈부르크(1건, 1%)로 조사됨.



[그림 2-29] 주요 국가별 초순수 관련 특허 출원인 국가 현황

- 일본의 경우, 전체 272건의 특허 중 일본 자국국적 출원인이 262건으로 대부분의 특허를 자국에 편중된 일본 국적의 출원인이 소유하고 있는 것으로 조사되었고, 기타 국가는 분포별로 미국(4건, 1.1%), 독일(2건 0.7%), 덴마크(2건 0.7%), 룩셈부르크(1건, 0.4%)로 미미한 특허 출원을 나타냄.
- 미국의 경우, 총 88건의 특허 중 미국 국적 출원인이 41건(47.0%), 일본국적 출원인이 35건(40.0%)으로 약 80% 이상의 분포를 보이고 있으며 그 다음으로는 독일(4건, 4.6%), 오스트리아(2건, 2.27%), 대만(2건, 2.3%), 한국(1건, 1.1%), 영국(1건, 1.1%), 이탈리아(1건, 1.1%), 룩셈부르크(1건, 1.1%)로 조사됨.
- 중국의 경우, 총 82건의 초순수 관련 특허 중 중국 국적 출원인이 50건으로 약 60%의 분포를 보이고 있으며, 이에 자국을 중심으로 한 초순수 기술 개발이 수행되고 있는 것으로 판단됨. 그 다음으로 일본(20건, 24.4%), 미국(5건, 6.1%), 독일(5건, 6.1%), 오스트리아(1건, 1.2%), 이탈리아(1건, 1.2%)순으로 조사됨.

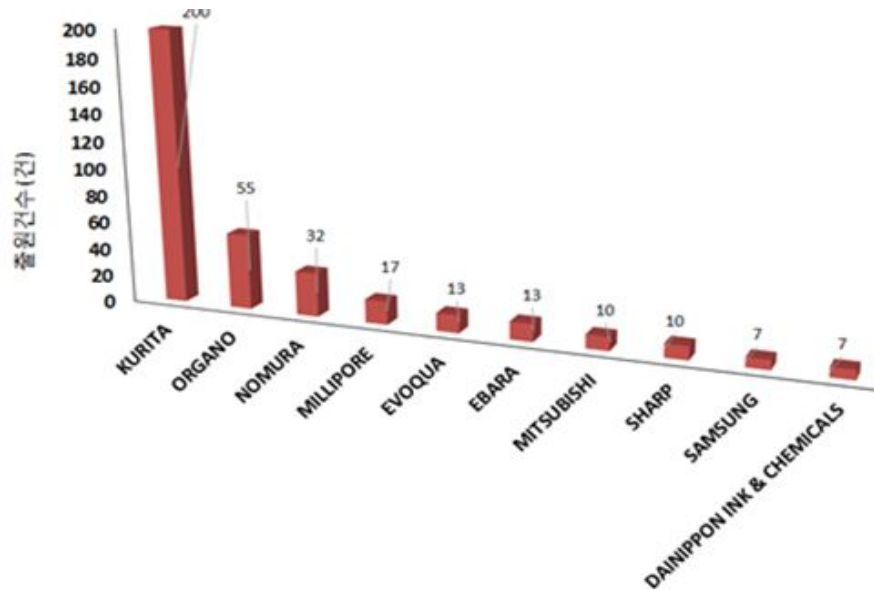
- 유럽의 경우, 총 38건의 특허 중 일본 국적 출원인이 23건으로 전체 초순수 특허의 60%를 차지하였으며, 이는 유럽에서는 일본을 중심으로 특허가 출원되고 있음을 의미함. 기타 국가들에 의한 특허 출원은 상대적으로 미비하였음(미국(6건, 15.8%), 독일(5건, 13.2%), 오스트리아(2건, 5.3%), 룩셈부르크(1건, 2.6%)).
- PCT의 경우, 총 37건의 특허 중 일본 국적 출원인이 27건으로 약 73%의 분포를 나타내며 기술 개발을 주도하고 있는 것으로 파악됨. 그 다음으로는 미국(7건, 18.9%), 한국(1건, 2.7%), 중국(1건, 2.7%), 프랑스(1건, 2.7%) 순으로 나타남.
- 독일의 경우, 총 22건의 특허 중 자국 국적 출원인이 14건으로 전체 특허의 약 64%를 차지하고 있음. 그 다음으로는 한국(2건, 9.1%), 일본(2건, 9.1%), 미국(2건, 9.1%), 오스트리아(2건, 9.1%)순으로 조사됨.
- 영국의 경우, 총 4건의 초순수 관련 특허가 출원되었으며, 일본(2건, 50%), 한국(1건, 25%), 이탈리아(1건, 25%) 순으로 특허를 출원함.
- 프랑스의 경우, 총 5건으로 일본(3건, 60%), 프랑스(2건, 40%) 순으로 출원됨.
- 국적별 특허 출원 현황 분석 결과 초순수 시장의 선두주자인 일본이 전 세계적으로 초순수 시장에서 특허 출원을 장악하고 있는 것으로 파악됨.
- 우리나라의 경우 타국에서의 특허 출원 분포는 미비한 상황임.

(3) 주요 출원 기업 별 특허 출원 현황(Top 10)

- 초순수 시장을 선도하는 주요 출원 기업 Top10을 선정한 결과 대부분의 출원인 국가가 일본(8개)으로 나타났으며, 그 뒤를 이어 미국(1개), 한국(1개)순으로 조사됨
- 출원 기업 1위는 KURITA(일본)로 전체 615건의 초순수 관련 특허중 200건(32%)을 보유하는 것으로 나타남. 그 다음으로 ORGANO(일본, 55건), NOMURA(일본, 32건), MILLIPORE(미국, 14건), EVOQUA(독일 13건), EBARA(일본, 13건), MITSUBISHI(일본, 10건), SHARP(일본, 10건), DAINIPPONIN & CHEMICALS(일본, 7건) 순으로 나타났으며 한국의 경우 SAMSUNG이 7건의 특허 출원을 한 것으로 나타남.
- 해당 결과를 바탕으로 초순수 시장의 경우 일본, 특히 KURITA사와 ORGANO사가 전체 특허의 40%(255건)를 보유하여 주요 출원 기업임을 알 수 있었으며, 해당 기업들이 국제 시장에서 초순수 분야 기술 개발을 주도하고 있는 것으로 분석됨

(4) 특허 맵을 이용한 키워드 분석 결과

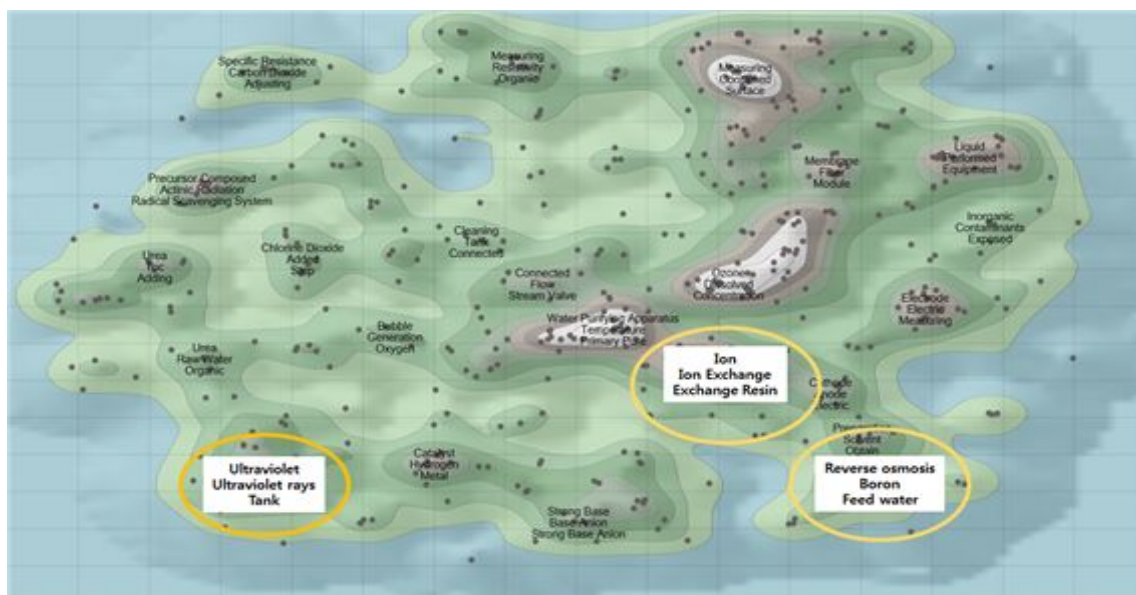
- 초순수 관련 세부기술(역삼투(Reverse osmosis), UV(Ultra violet), 이온교환수지, EDI(Electrodeionization) / CDI(Capacitive deionization), 탈기(Degassing), 활성탄)에 대한 특허 맵 분석 수행.



[그림 2-30] 주요 출원인 초순수 관련 특허 출원 현황

□ 초순수 관련 특허맵 분석 결과 (검색된 전체 유효 특허)

- 전 세계 초순수 관련 특허 맵(그림 2-31) 분석 결과, 역삼투 공정, 이온교환수지 및 UV와 관련된 특허 검색 빈도가 가장 높은 것으로 도출됨.
- 이온교환수지의 경우, UV, 역삼투 공정과 중복되어 검색이 되는 경향을 나타내었고 이는 위의 단위 공정의 복합 기술에 대한 특허가 다수 존재하는 것을 의미함.
- Water purifying 등 단위 공정 특허로 분류되기 어려운 것들은 세부 단위 공정 특허 맵 작성시 제외함.



[그림 2-31] 초순수 관련 특허 맵 분석 결과(검색된 전체 유효 특허)

□ 역삼투 관련 특허 맵 분석 결과

- 역삼투는 대부분 담수화(Desalination)와 관련된 키워드와 함께 검색됨.
- 또한 압력 또는 에너지가 주로 키워드로 검색이 되었으며, 이온교환수지와 중복 검색이 되는 것으로 보아 이온교환수지와 결합된 공정이 이용되고 있는 것으로 판단됨.
- 특히, 초순수 생산을 위해서, 통합 멤브레인 시스템(integrated membrane systems, IMS)을 적용함(IMS의 주 목적은 막오염 현상의 감소 혹은 제어에 있음)(출처: Advances in membrane technologies for water treatment; materials, processes and applications, Angelo Basile, Alfredo Cassano, and Navin Rastogi)



[그림 2-32] 역삼투 관련 특허 맵 분석 결과

□ UV 관련 특허 맵 분석 결과

- UV 관련 특허의 경우, UV 공정 내에 이용되는 UV lamp가 주요 키워드로 분석됨.
- 생물학적 처리와 관련된 키워드들에 대해 주로 검색되었으며, 이는 UV 기술의 살균 및 유기물 분해 기능과 밀접한 관련이 있는 것으로 판단됨.
- 또한 효율적인 TOC 제거를 위하여, VUV와 같은 특정 UV 파장을 활용한 기술이 활용되고 있음.
- 참고로 2013년 기준, 세계 UV 살균 시장 규모는 9.3억 달러이며, 지속적으로 성장하여, 2018년에는 13.4억 달러 시장을 형성할 전망. 특히, UV 살균 시장의 경우, Wedeco, Trojan 두 회사가 약 80%를 점유하고 있음(출처: 2015 물 산업 실태와 사업전망, 임팩트)



[그림 2-33] UV 관련 특허 맵 분석 결과

□ 이온교환수지 관련 특허 맵 분석 결과

- o 이온교환수지 관련 특허의 경우, 전반적으로 이온교환 장치, 이온교환 수지 및 제거 대상 물질과 관련된 특허가 다수 검색됨.
- o 또한, Recycle 키워드로 검색되는 것으로 미뤄볼 때, 이온교환수지 공정관련 기술은 폐수처리뿐만 아니라 자원 회수 측면에서 적용/개발되고 있는 것으로 사료됨
- o 참고로 2013년 기준, 세계 이온교환 시장 규모는 7억 달러이며, 연 5% 정도 성장하여, 2018년에는 8.5억 달러 시장을 형성할 전망(출처: 2015 물 산업 실태와 사업전망, 임팩트)



[그림 2-34] 이온교환수지 관련 특허 맵 분석 결과

- 향후 이온교환수지는 수처리 시장에서 이온교환수지의 생산단가 절감 및 성능향상을 위한 이온교환수지의 제조법의 기술이 개발될 것으로 예상됨.
- 구체적으로 이온교환수지 개발은 공극의 크기 및 표면적과 관련이 있을 것으로 예상됨(non-ionic functional groups 부착에 의한 폴리머 표면의 극성 변화)(출처: PROGRESS IN ION EXCHANGE, advances and applications, A. Dyer, M. J. Hudson and P. A. Williams)

□ EDI/CDI 관련 특허 맵 분석 결과

- 세계적으로 1,000 톤/일 ~ 950,000 톤/일 규모의 ED(Electrodialysis) 플랜트가 설치되어 있음. EDR(Electrodialysis reversal process) 공정의 경우, 미국, 스페인, 이탈리아, 오스트리아 등에 설치되어 운전되고 있음(출처: Electrodialysis and water reuse, novel approaches, Carlos P. Bergmann).
- ED의 막 수명은 운전 조건에 따라 결정된다고 하지만, 일반적으로 5년 정도이며, 이에 저에너지형 및 고효율 막 개발이 필요할 것으로 사료됨(출처: Electrodialysis and water reuse, novel approaches, Carlos P. Bergmann).
- 멤브레인 공정과 이온교환수지는 상대적으로 흡착, 산화 공정에 비해, 기술적 성숙도가 낮은 수처리 공정이며, 해당 기술들의 융합공정인 EDI 및 CDI의 경우, 낮은 기술적 성숙도가 예상됨(출처: Industrial wastewater treatment, recycling and reuse, Vivek V. Ranade, Vinay M. Bhandari).
- 최신 기술인 EDI와 CDI의 경우, 상대적으로 소수의 초순수 관련 특허가 검색됨.

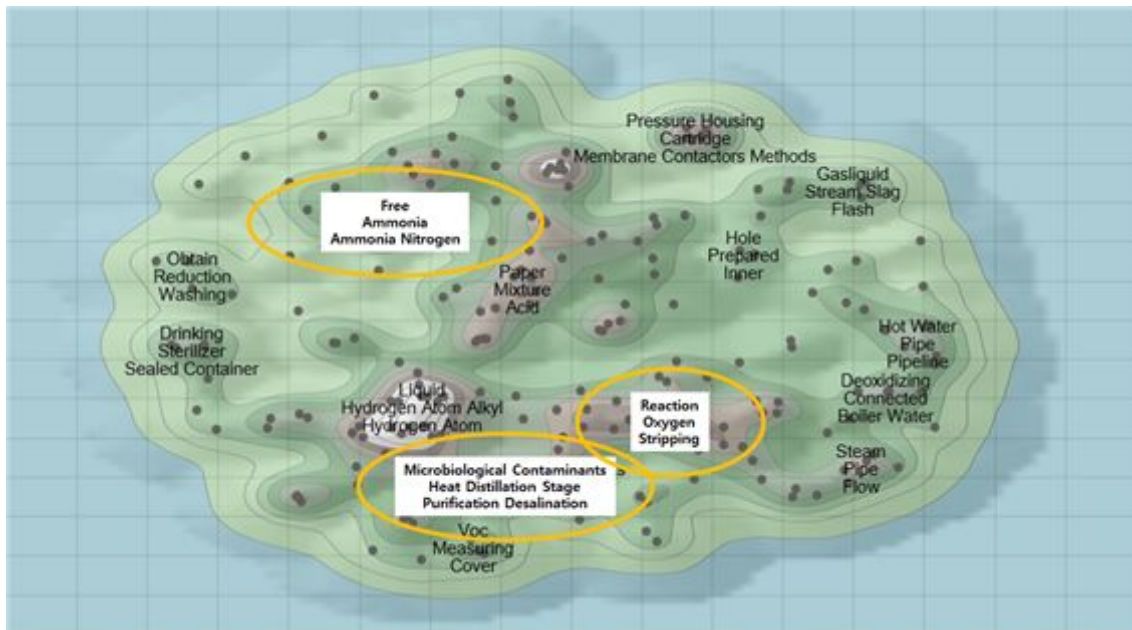


[그림 2-35] EDI/CDI 관련 특허 맵 분석 결과

- o 전체적으로 각 단위 공정의 장치와 관련된 키워드의 빈도가 높았으며, 기술적으로는 이온교환 수지 및 역삼투 공정과 함께 검색됨. 이는 해당 기술들과의 복합 기술이 개발되어 왔음을 의미함.
- o 향후 전극, 멤브레인 등과 관련된 소재 개발을 바탕으로, 공정 및 에너지 효율을 개선하기 위한 기술 개발이 필요할 것으로 예상됨.

□ 탈기법 관련 특허 맵 분석 결과

- o 탈기법 관련 특허의 경우, 탈기 공정에 사용되는 장비 관련 특허의 검색 빈도가 높았으며, 제거 대상 오염물질(암모니아) 관련 특허가 주로 검색됨.
- o 탈기에 사용되는 기체 분리막의 경우, 상용화 되어 있는 소재가 제한되어 있으며, 이에 대한 기술 개발이 필요한 상황임.
- o 초순수 공정에서 고려되는 주 제거 대상 물질(질소, 이산화탄소) 등에 대한 기체 분리막은 상용화 되어있음.

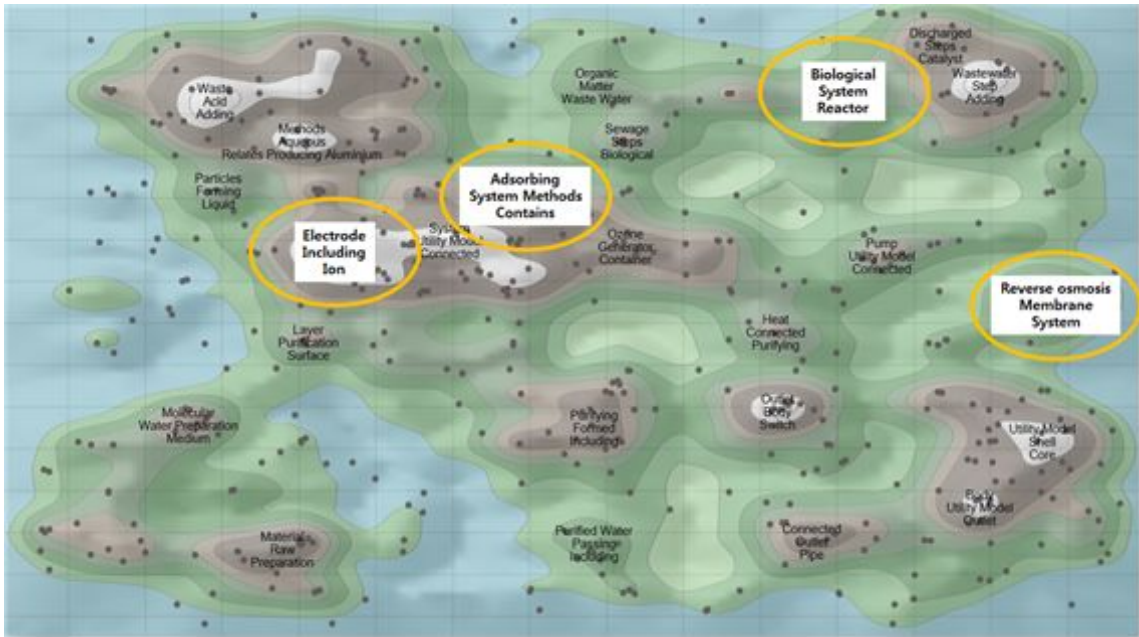


[그림 2-36] 탈기법 관련 특허 맵 분석 결과

□ 활성탄 관련 특허 맵 분석 결과

- o 활성탄 관련 특허의 경우, 수처리 공정과 관련하여 전극(Electrode)을 이용한 기술, 흡착, 생물학적 처리 및 역삼투 공정의 키워드를 갖는 특허의 검색 빈도가 높았음.
- o 활성탄의 경우, micro pollutants 및 natural organic matter 제거 목적으로 사용되며, 생물공정 및 오존 산화 공정 등과 연계하여 적용됨. regeneration 효율 향상을 위한 기술이 지속적으로 개발되고 있음(출처: Activated carbon for water and

wastewater treatment; integration of adsorption and biological treatment, Ferhan Cece).



[그림 2-37] 활성탄 관련 특허 맵 분석 결과

3. 논문분석

가. 관련 논문 동향

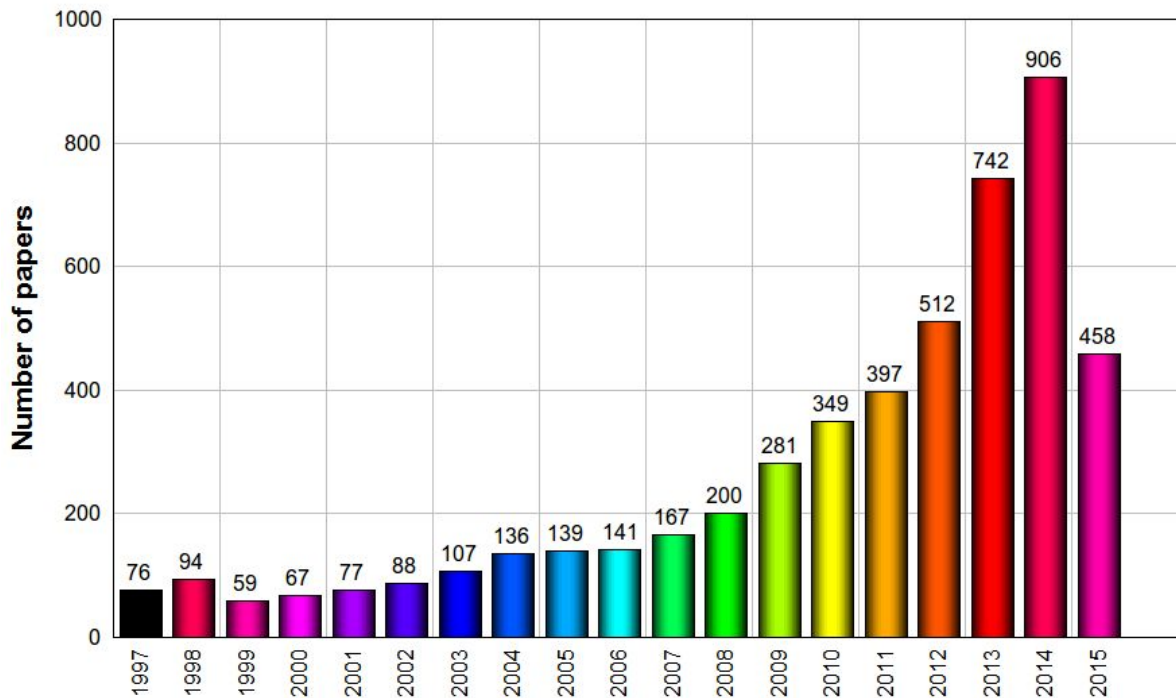
- 논문분석은 온라인 논문 검색 사이트인 Science direct를 활용하여 1980년대부터 현재까지 발표된 논문을 조사, 분석하였음.

[표 2-10] 논문검색방법

논문 검색 조건	방 법
검색 Domain	Elsevier사에 발표된 논문
검색 DB	Elsevier사의 Scopus
검색 기간	1997년 1월 1일 ~ 2015년 3월 1일
검색 범위	주제어

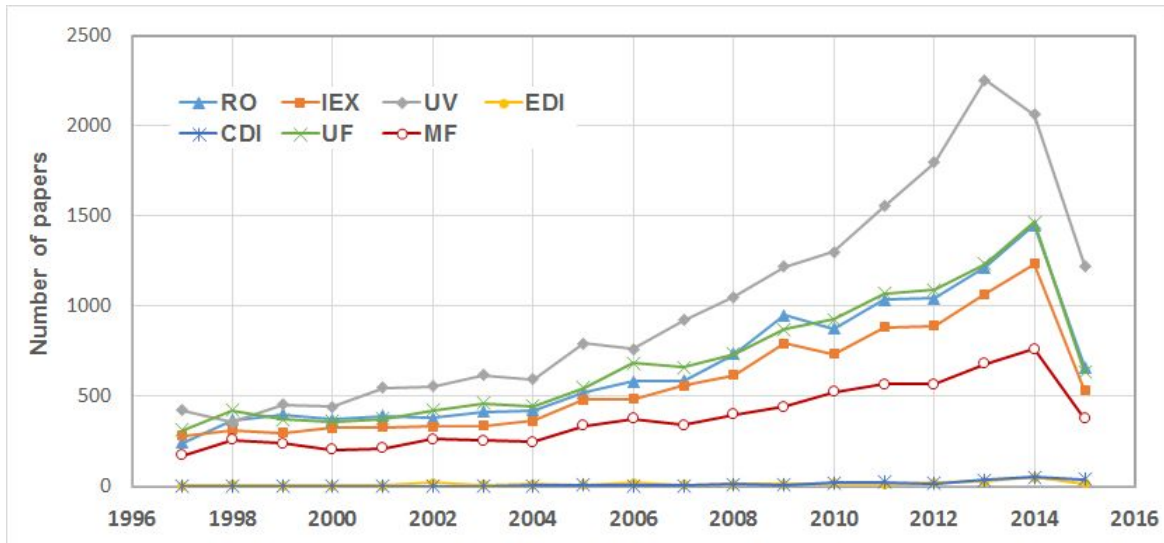
- 먼저 주제어를 “ultrapure water”로 하였을 때, 총 5,000여편의 논문이 검색됨.
 - o Ultrapure water 분야는 최근 들어 관련 논문의 숫자가 급격하게 증가하는 것을 확인할 수 있었음.
 - o 첨단용수 관련 논문 분석을 위해서는 시스템 기술의 개발동향을 조사하는 것과 함께 이를 구성하고 있는 단위공정 기술의 개발동향을 조사하는 것이 필요함. 따라서

주요 단위기술인 RO, IEX, EDI, CDI 등에 대해서도 논문 분석을 수행함.



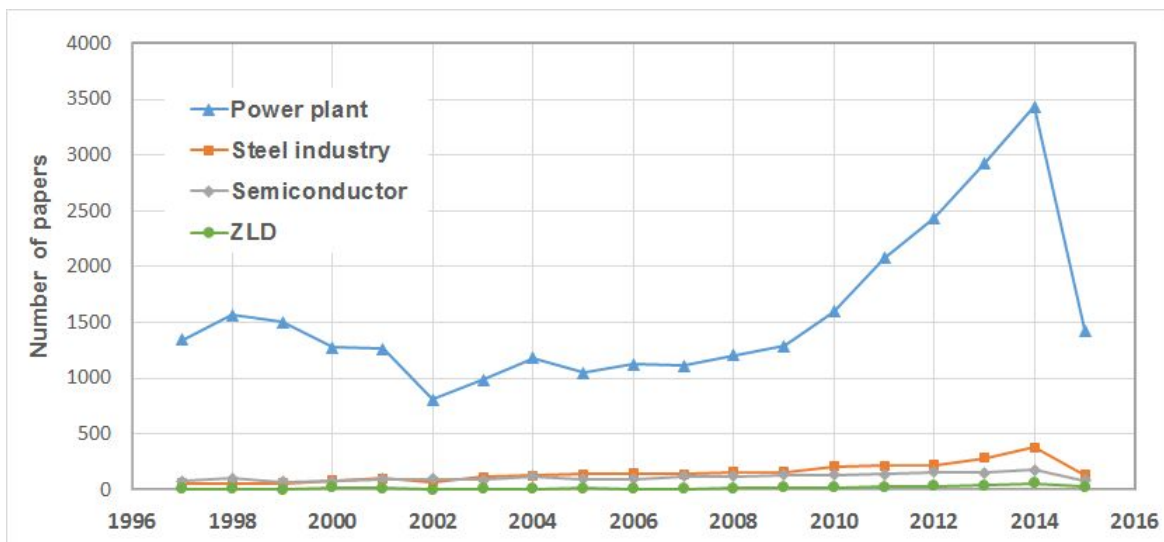
[그림 2-38] 첨단용수 (ultrapure water) 관련 논문 동향

- 단위기술을 주제로 하였을 때 다수의 논문이 검색되었음.
 - 첨단용수 분야와 관련된 논문만 검색하기 위하여 각 단위기술 중에서 “Industrial water treatment”와 관련된 논문만 검색함.
 - 최근 부각되고 있는 기술인 CDI와 EDI를 제외한 분야에서는 다수의 논문이 검색되고 있음.
 - UV 관련 기술의 숫자가 가장 많았으며, RO와 UF 관련 논문의 숫자도 2006년 이후부터 급격하게 증가하고 있음.
 - 2015년의 경우 1월부터 3월까지의 논문을 조사하였음에도 많은 숫자의 논문이 검색되고 있음.
 - 따라서 첨단용수 분야의 기술은 일부 기술을 제외한다면 이미 단위공정 분야에서는 많은 연구가 진행되었다고 볼 수 있으며, 향후에는 시스템 기술의 개발이 좀 더 중요하게 진행될 것으로 판단됨.



[그림 2-39] 침단용수 단위기술별 논문 동향

- 시스템 기술을 주제로 하였을 때 발전소 관련분야의 논문이 가장 많았음
- 침단용수 분야 중 대표적인 발전소, 제철, 반도체, 무방류 시스템 등에 대한 논문을 조사 분석하였음.
 - 발전소 용수처리 분야의 논문이 가장 많았음(전체의 84.8%).
 - 최근들어 철강산업 분야와 반도체 분야의 논문 숫자가 증가하고 있음.
 - 무방류 시스템 관련 기술은 상대적으로 숫자가 적었으며, 이는 아직까지 많은 연구가 필요하다는 것을 시사하고 있음.



[그림 2-40] 침단용수 단위기술별 논문 동향

□ “Industrial Water Treatment”와 “Ultrapure Water” 저널의 2014년 게재논문은 다음과 같음.

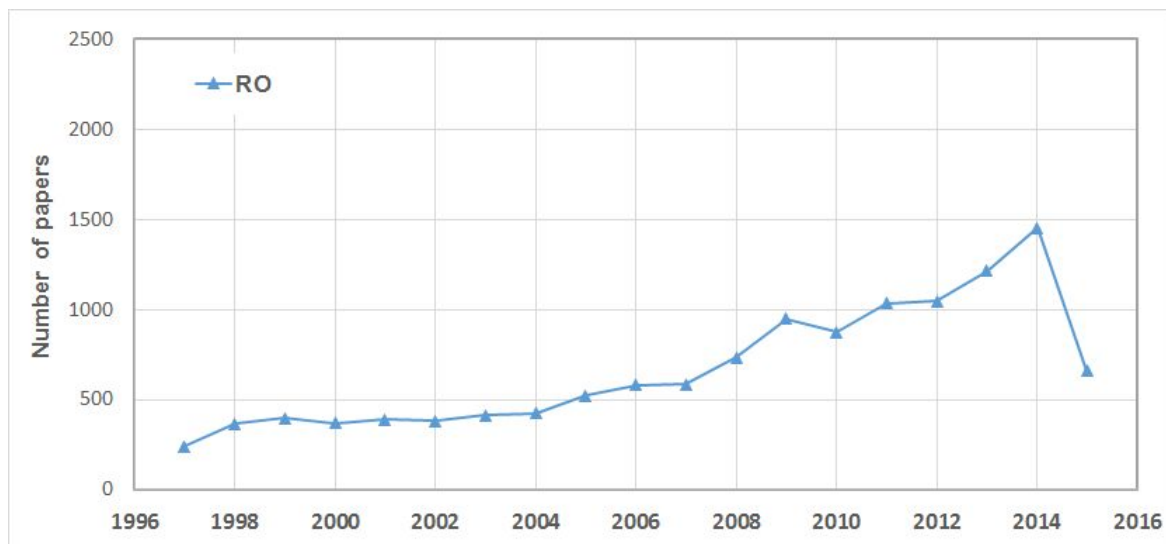
- Ultrapure Water(2014): 수처리 분야 외에 배관재질에 관한 내용과 센서에 관련된 내용 등이 많이 다루어지고 있음.
 - Changes in PVDF To Improve High-Purity Water Piping Systems
 - Fluoropolymer Applications in High-Purity Water Distribution Systems
 - Validating Purified Water Systems with a Lifecycle Approach
 - Piping Materials of Construction
 - Controlling Condensate and Feedwater Dissolved Oxygen and Air Inleakage at the Source
 - Reducing Boiler Fuel Costs through Improved Feedwater Quality
 - Proper Sampling Makes a Difference at Power Plant
 - Next Generation Design of Pharmaceutical Water Systems
 - First Time Surface Water Used in New England for Production of High-Purity Water Extending the Value of Resistivity to Optimize Microelectronics Water System Operation
 - Dissolved Oxygen Control in Steam Condensate
 - Correlations between Semi-volatile Organic Carbon and TOC in Pure Water Systems
 - Ozone versus Hot Water: A Sanitization Method Comparison and Case Study
 - Water for Pharmaceutical Use
 - SI Traceable Primary Calibration of In-Line Conductivity Sensors
- Industrial Water Treatment(2014): 발전소 용수처리와 함께 셰일가스, 담수화 등 새로운 분야의 산업용수 처리에 관한 내용들이 발표되고 있음.
 - Overview of Shale Gas Water Issues
 - Bio-(green) and Synthetic Polymers as
 - Antiscalants and Dispersants
 - Pharmaceutical Drugs Pathways, Risks and Controlling Disposal to Environment
 - U.S. Water Pursues Integrated Equipment, Treatment Chemical Business Model
 - Power, Boiler Water Business Sees Growth in Asia
 - Evaluating Power Plant Water Requirements
 - Treatment Strategies for Produced and Flowback Water
 - Safe Disposal of Pharmaceuticals into the Environment
 - Is Zero Liquid Discharge Really Possible?
 - Performance Review of Simplified Cooling Water Treatment
 - Tips for Improving Water and Wastewater Treatment Projects
 - Microbiological Control in Cooling Water Systems

- Neurotoxicological Risks Related to Mining Wastewater
- Dealing with Tighter Wastewater Treatment Guidelines
- Membrane Pretreatment To Enhance High Brackish Water Desal System Performance
- Pilot Study Report on Using UF Membranes as a Pretreatment to an SWRO System
- Energy Recovery Moves To Take its Technology into New Markets
- How well Does Zinc Inhibit Corrosion?
- Limits of Energy Savings in Seawater RO
- Strategies to Improve Desalination Plant Reliability
- Pilot Study of Brackish Groundwater Desalination Membranes
- Desalination: A Viable Water Source?

나. 세부기술분야별 논문동향

□ RO

- o RO 분야 논문은 2010년 이후부터는 연간 1,000편 이상이 출판되고 있음.
- o 세부적으로는 RO막 소재개발, 공정개발, 기타 기초연구 분야의 연구가 진행되고 있음.
- o 특히, 초순수 분야에서는 에너지를 절감하기 위한 LPRO 막의 적용에 관한 연구와 미량유기물의 제거효율 향상을 위한 연구 등이 최근 보고되고 있음.

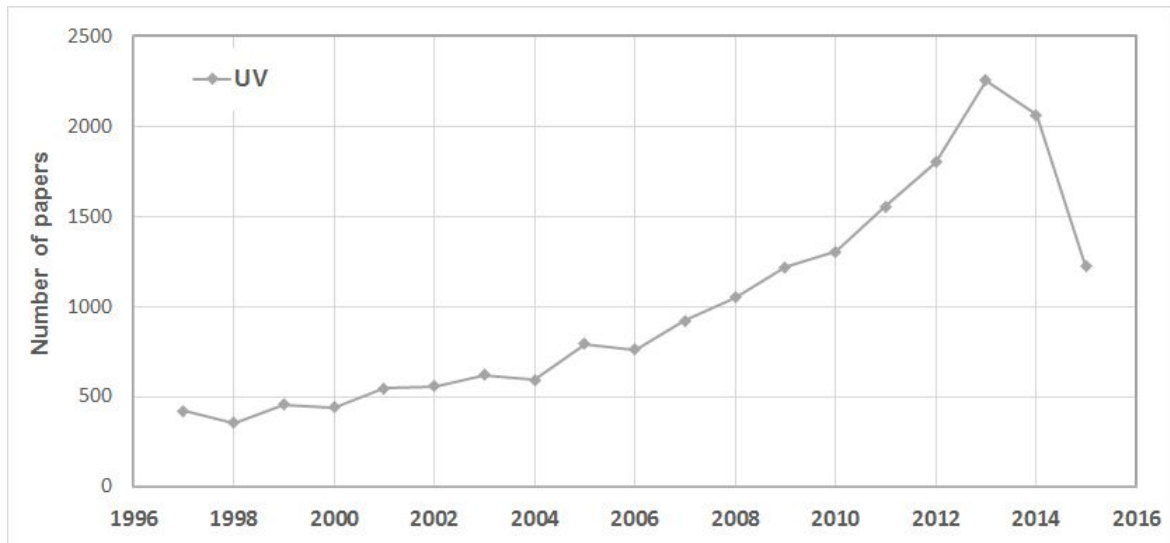


[그림 2-41] 첨단용수 단위기술별 논문 동향: RO

□ UV

- o UV 분야 논문은 가장 많았으며, 숫자도 증가 추세에 있음.
- o 세부적으로는 UV 공정의 설계와 운전을 위한 연구가 많았음.

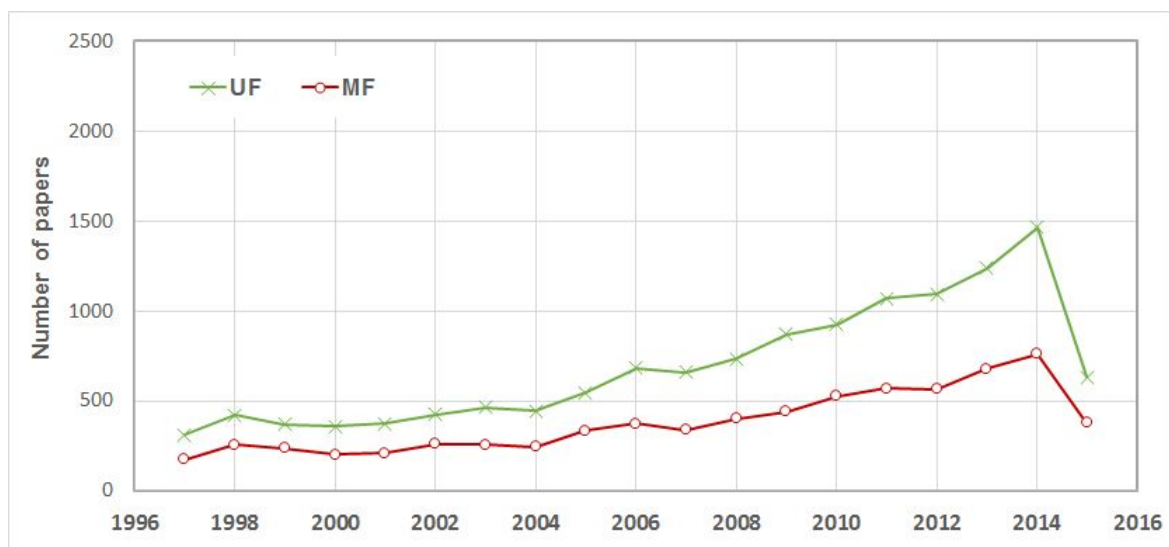
- o 특히 초순수 분야에서는 UV를 이용한 유기물(특히 Urea 등)의 직접분해에 관한 연구가 최근 발표되고 있음.



[그림 2-42] 첨단용수 단위기술별 논문 동향: UV

□ MF/UF

- o 산업용수 시스템의 전, 후처리 방법으로 MF와 UF에 대한 연구가 진행 중임.



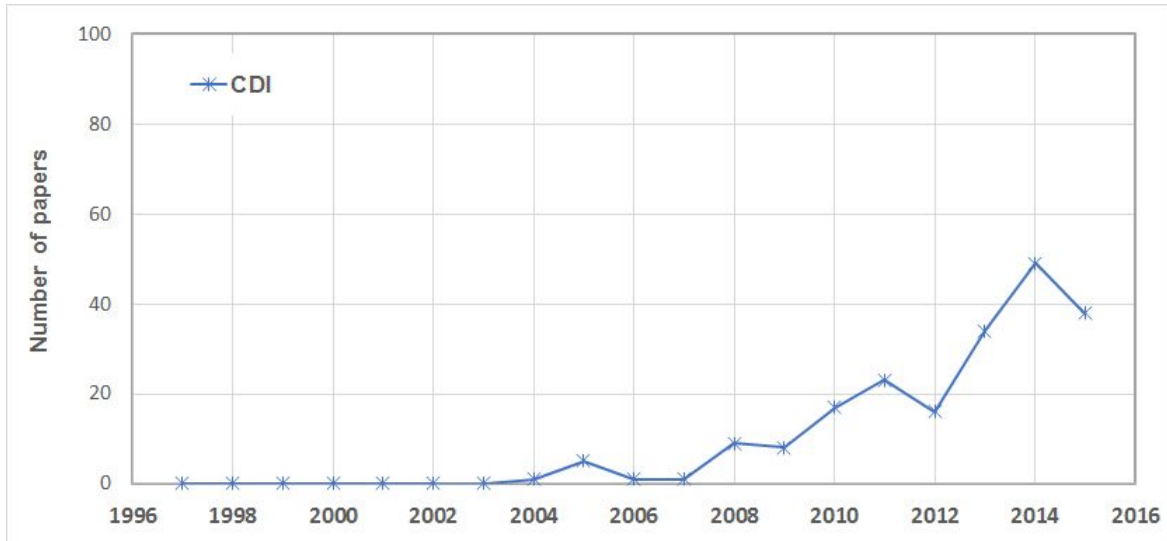
[그림 2-43] 첨단용수 단위기술별 논문 동향: MF/UF

□ CDI

- o CDI에 관한 논문은 상대적으로 그 숫자가 많지 않으며, 이는 이 방법이 비교적 최근에 개발되어 적용되고 있기 때문임.
- o 2008년 이후 논문의 숫자가 급증하고 있으며, 이는 CDI 기술이 최근에 빠르게 발

전하고 있는 것을 시사함.

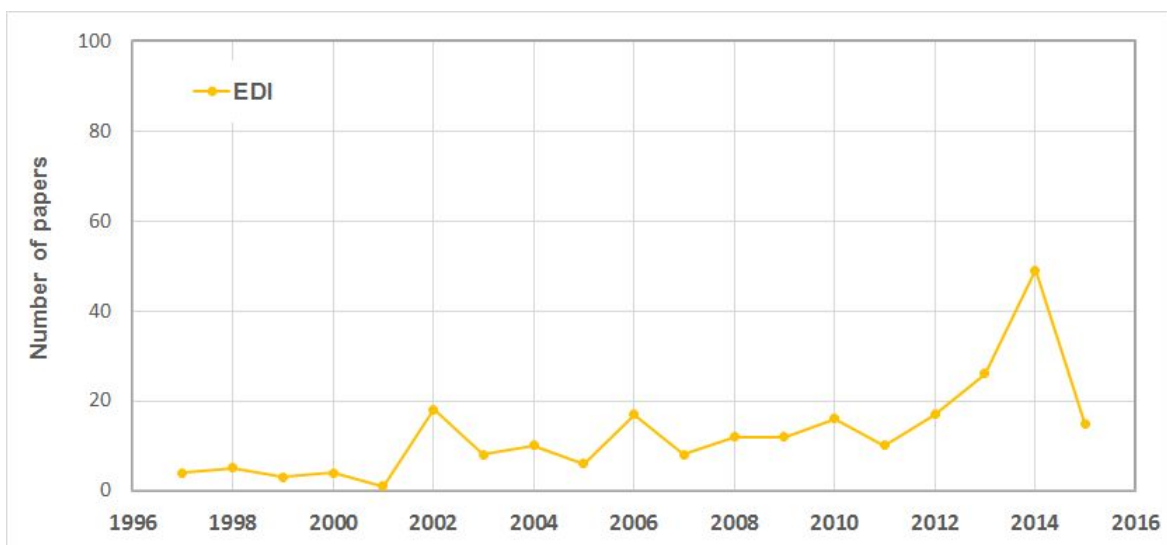
- 그러나 아직까지 기술개발과 적용의 초기단계로서 높은 신뢰성이 요구되는 산업용수 분야에 적용하기 위해서는 기술적으로 해결해야 할 사항이 많이 있음을 나타냄.



[그림 2-44] 침단용수 단위기술별 논문 동향: CDI

□ EDI

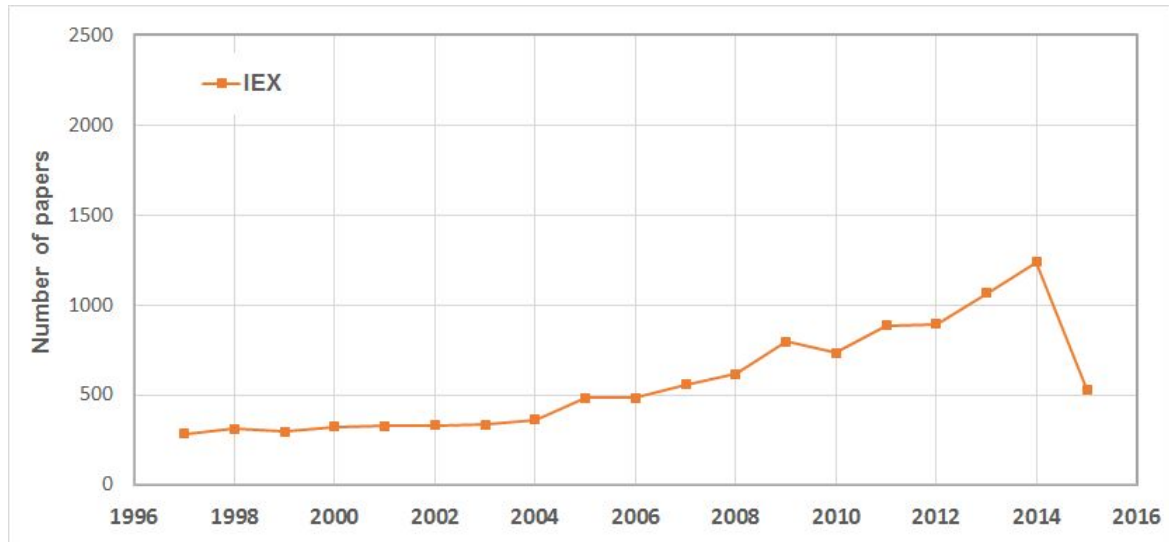
- EDI에 관한 논문도 CDI와 비슷하게 다른 공정과 비교해 볼 때 상대적으로 그 숫자가 많지 않으며, 이는 이 방법이 비교적 최근에 적용되고 있기 때문임.
- 2002년 이후 논문의 숫자가 증가하고 있으나 그 증가속도가 CDI보다는 느린 편임.
- 기술적용의 초기단계로서 향후 연구개발이 활발하게 진행될 것으로 전망됨.



[그림 2-45] 침단용수 단위기술별 논문 동향: EDI

□ IEX(이온교환)

- IEX는 이전부터 널리 사용되는 공정으로 매년 많은 숫자의 논문이 발표되고 있음.
- IEX 수지의 개발과 적용에 관한 논문이 다수 발표되고 있음.



[그림 2-46] 침단용수 단위기술별 논문 동향: IEX

4. 국산화 현황

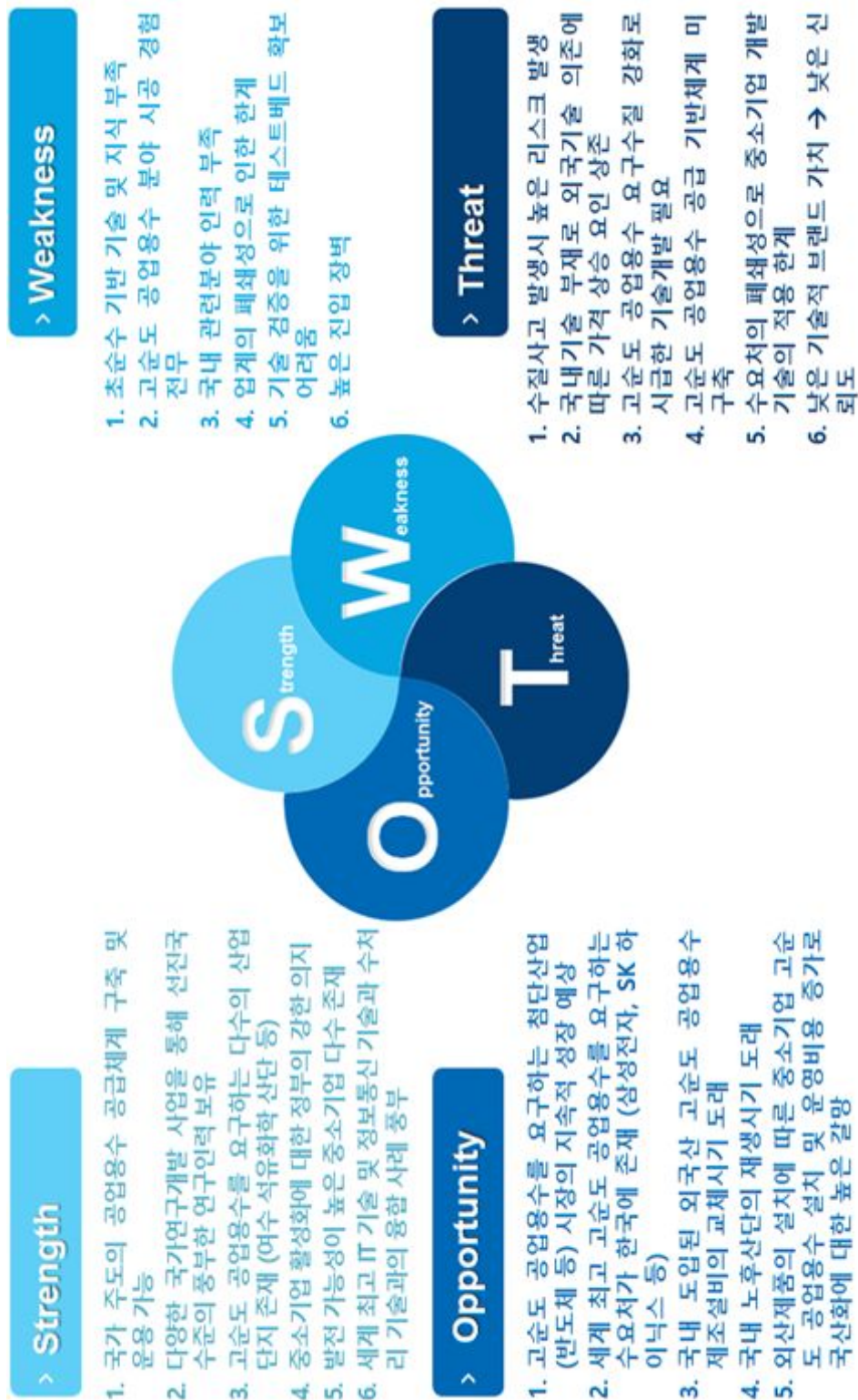
고순도 공업용수 설비의 단위 공정별 분류 및 각 공정별 세계적으로 적용되는 대표 제품을 정리하여 아래 표에 나타내었다. 용수처리인 응집, 침전 등 정수처리 공정에 해당되는 단위공정은 모두 국산화가 되어 있으나, 전처리 단계부터는 이온교환 수지 등 소재부터 장치까지 전체 시스템의 국산화 현장 제품은 모두 외산으로 파악되고 있다. 따라서 고순도 공업용수 시스템의 국산화율은 시스템 공사비 기준으로 볼 때 현재 약 20%정도 수준이며, 향후 연구개발을 통해 80%정도 수준까지 국산화 제품 상용화가 가능할 것으로 판단된다.

[표 2-11] 침단용수 단위기술별 논문 동향: IEX

구 분		현장 적용 대표 제품 (Conventional Tech)
소분류	세분류	
용수처리	응집/침전	기존 정수 처리 기술에 해당
	가압부상	
	막여과(MF/UF)	
	모래여과	
	다층여과/활성탄	
전 처 리	이온교환 I	DOW(美)/Lanxess(獨)
	열교환 I	
	역삼투(RO) I	DOW(美)/웅진(韓)
	탈탄산	국산 제품사용
본 처 리	열교환 II	Alfalaval(스웨덴)
	역삼투(RO) II	DOW(美)
	TOC reduction UV I	Photoscience(日)/Auafine(美)
	UV sterilization	Photoscience(日)
	CEDI	EVOQUA(獨)
	이온교환 II	DOW(美)/Lanxess(獨)
	탈기	Liqui-Cell(美)
후 처 리	TOC reduction UV II	Photoscience(日)/Auafine(美)
	막탈기	Liquicel(美)
	이온교환 III	DOW(美)/Lanxess(獨)
	한외여과(UF)	Asahi Kasei(日)/Nitro Denko(日) 저 오염성 고효율 particle 제거 기술
분 석	Off line	발전용 grade 분석기술
	On line	GE Waters(美)/HACH(美)/PMS(美)

5. 종합분석

가. SWOT 분석



적극공략

> Strength-Opportunity

1. 고순도 공업용수 공급 체급체계 구축 운용 추진
2. 산·학·연 공동 연구를 통한 기술개발 및 적용 가능
3. 세계 최고 수준의 IT 기술을 활용한 고순도 공업용수 운영기술 개발
4. 중소기업 국산화 기술 적용 상용화

방어전략

> Weakness-Threat

1. 운영기술 기확보된 업체의 운영인력 활용을 통한 시행착오 최소화
2. 공업용수 수준별 증장기 연구개발 추진
3. 고순도 공업용수 수요처 참여 유도 로 테스트 베드 확보
4. 유사기술 보유 중소기업 참여 유도 로 브랜드 기술 확보시기 단축

기회관망

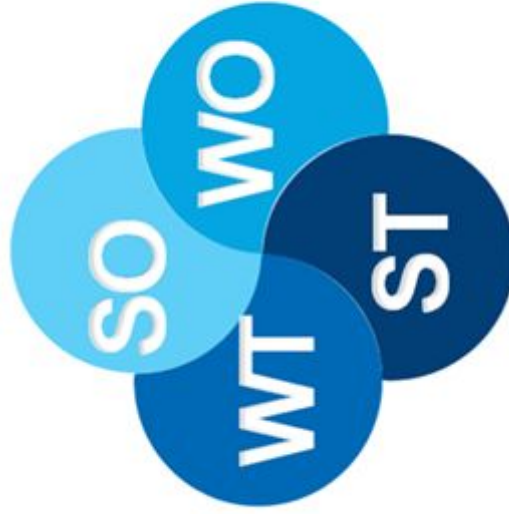
> Weakness-Opportunity

1. 외국 기업의 하청 역할을 수행하던 국내 중소기업의 적극적 참여 유도로 경험부족 최소화
2. 국내 중소기업에 실적으로 활용될 수 있는 테스트베드 운전 경험 부여
3. 테스트베드 실적을 확보한 중소기업의 국내시장 진출 지원
4. 공업용수 공급 중소기업과 공업용수 수요 중소기업 연결을 통한 시너지 창출

정면대응

> Strength-Threat

1. 국가주도의 연구개발을 통한 기술 신뢰도 향상
2. 대규모 연구개발 투자로 기술개발 시기 단축 및 기반 체계 구축
3. 국가 주도 중소기업 브랜드 기술 확보 및 적용으로 투자비 절감
4. 풍부한 인력과 세계적인 IT 기술 전문으로 상용화 단축
5. 테스트베드 제공을 통한 중소기업 실적 확보



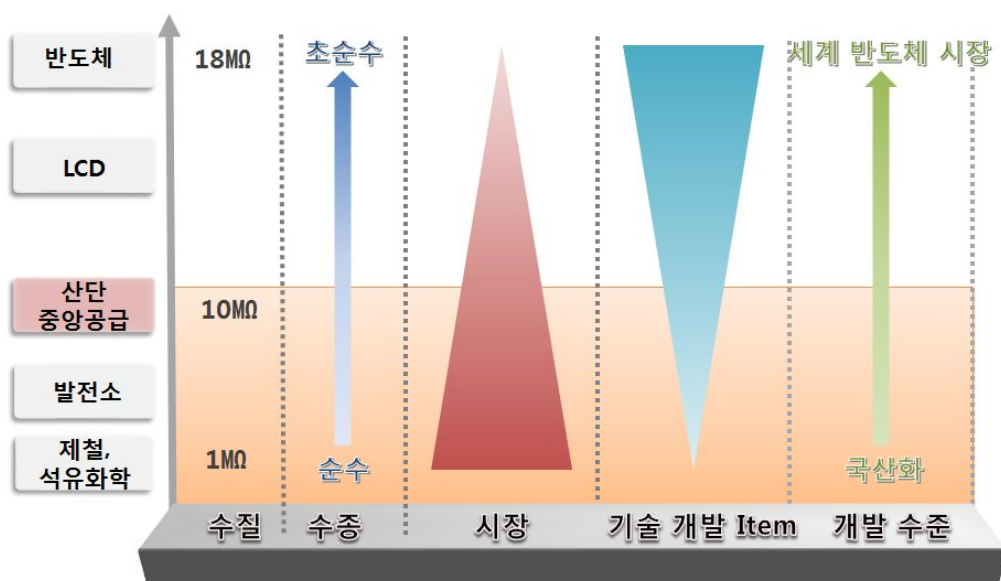
제 3 장 연구개발과제 구성 및 추진전략

제 1 절 비전 및 목표

1. 연구 개발 목표

가. 기본개념

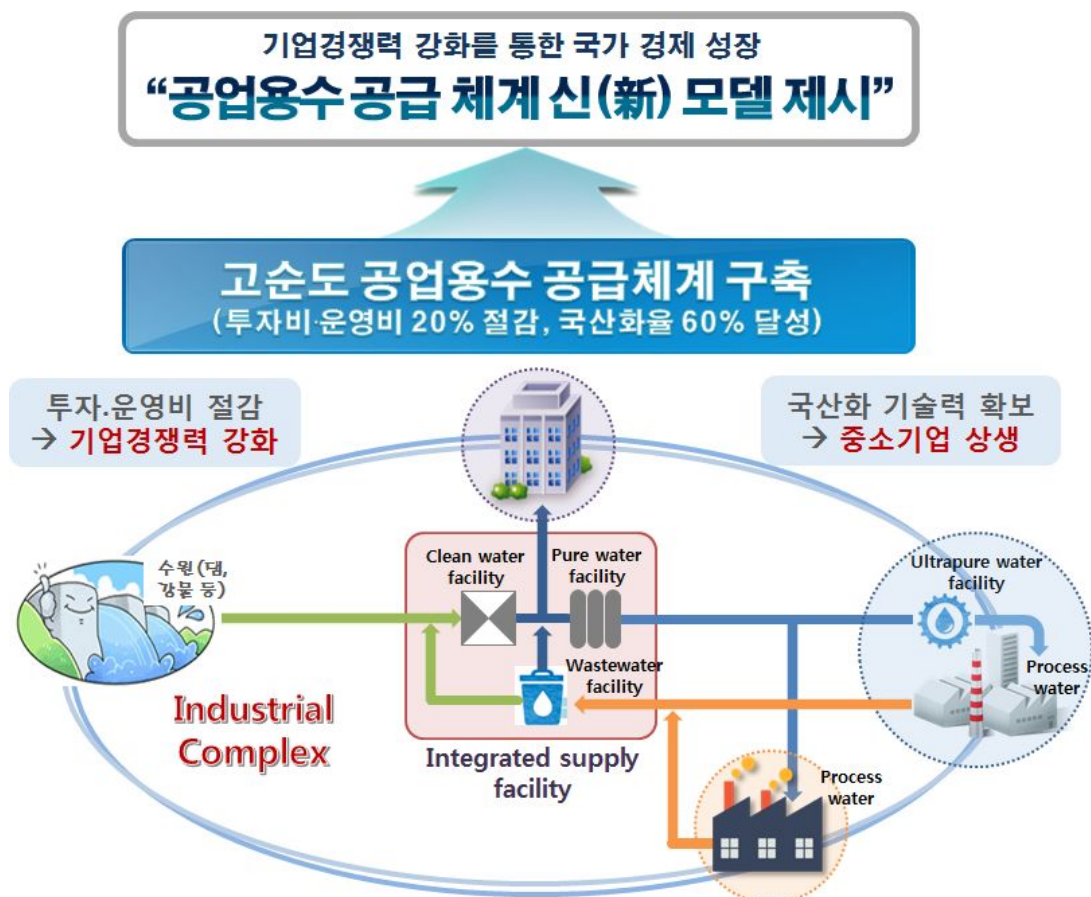
- 고순도 공업용수는 복합적인 수처리 기술, 공급 및 운영기술을 종합한 생산품으로 산업현장의 원자재로 사용함. 본 기술은 모두 외국 선진국 기업에 의존하여 사업을 진행하고 있어, 국내 기업의 기술 기반이 취약한 단점이 있음. 반면 세계적으로 고순도의 공업용수를 사용하고 있는 사업장이 국내에 많이 존재하고 있어, 기술 개발을 통한 국내 현장 적용가능성이 높은 특징을 가지고 있음.
- 본 연구 과제를 통해 필요한 기술적 목표는 1) 국내 개별 중소기업이 보유하고 있는 요소 기술들의 현장 상용화 기술 확보 2) 국산 상용화 기술의 현장 적용(실증 플랜트) 및 운영을 통한 기술 검증 및 실적 확보 3) 공업용수 공급 및 재이용 기술을 포함한 산업계 물 순환 체계 구현을 위한 기술 확보임.
- 본 연구 과제의 개발 범위는 다음 그림 3-1에 나타난 바와 같이, 순수 및 초순수 수질의 경계인 10 MΩ 수준의 고순도 공업용수를 중앙 공급형 시스템으로 구축하고 공급 시스템(배관)의 개발을 포함하여 테스트베드를 구축하는 것을 목표로 함.
- 단, 최종 수요처에서 요구하는 18 MΩ 수준의 고순도 공업용수를 모니터링하고 공업용수 원수로 폐수를 재이용하는 기술은 연구과제로 포함하여 진행함.



[그림 3-1] 기술개발 범위

나. 추진 전략

- 본 연구에서는 하천 원수나 정수장의 침전수를 공급하는 공업용수 공급체계에서 다변화된 산업체 생산 제품에 따라 다양하게 요구되는 고순도 공업용수 수질을 만족시키고, 국가차원의 산업단지 지원 시설 구축을 통해 입주 기업의 경제활동을 지원하는 차원에서 산업단지 중앙공급 고순도 공업용수 생산 및 공급 시설을 구축하는 것을 목표로 함.
- 연구 개발 목표는 그림 3-2에 제시된 바와 같이 공업용수 생산 및 공급 플랜트의 국산화율을 60%까지 향상 시키며, 기존 플랜트의 투자비 및 운영비를 20% 정도 저감 가능한 플랜트 개발로 해외 사업의 경쟁력을 확보하도록 함.
- 본 연구 과제를 통해 도출될 수 있는 최종 성과물은 고순도 공업용수 실증화 플랜트 2기를 구축, 운영하는 방식으로 기술을 완성하고자 함. 실증화 플랜트 2기는 각각 고순도 공업용수가 요구되는 현장에 적용하여 과제 종료 이후에도 연구 성과물을 지속적으로 활용할 수 있도록 함.



[그림 3-2] 기술개발 전략 및 목표

- 본 연구 과제 성과가 상용화될 경우는 다음 그림 3-3과 같이 산업 단지의 공업용수는 개별 기업체의 요구 수질 및 수량을 반영하여 중앙 공급 시스템에서 생산하여 각 기업체로 공급하고, 개별 기업에서 추가 처리가 필요한 경우 업체 사정에 맞춰 처리하여 소비함.
- 소비된 폐수는 산업단지 통합 폐수처리장에서 재이용 가능한 수준까지 처리하여 중앙 공업용수 공급 시스템의 원수로 이용함.
- 산업단지에서 추가적으로 원수가 필요한 경우 이송 에너지 및 관리 체계를 단순화할 수 있도록 산단 인근의 대체 수원(해양)을 활용하여 산단 내부의 물 순환 체계 구축이 가능함.
- 한국과 같이 하천 상류에 산업단지가 위치해 있고, 하류에서 식수원으로 다시 취수하는 경우 잦은 수질 사고로 인해 취수원 설치에 대한 지자체간 분쟁이 발생하고 있어 이에 대한 대책의 일환으로 상류 산업단지의 폐수 방류 저감 방안이 미래의 현실적인 대안이 될 수 있음.



[그림 3-3] 고순도 공업용수 공급 시스템 구축 조감도

2. 개발 세부 내용

가. 1세부 과제: 고순도 공업용수 생산을 위한 설계 선진화 기술 개발

- ☐ 고순도 공업용수 설계기술은 원수(하천수 또는 침전수 등)를 이용하여 다음 표 3-1에 나타난 바와 같이 산업체별로 요구하는 “맞춤형 고순도 공업용수” 생산 플랜트 설계기술을 범주로 함.
- ☐ 요구 수질에 맞는 최적 수처리 플랜트의 조합 공정을 수질 및 경제성 측면에서 최적 조합을 설계할 수 있고, 필요 생산 수량을 생산하기 위해 단위 공정별 설계인자를 제시할 수 있는 프로그램 개발을 진행함.
- ☐ 최종 성과물로 고순도 공업용수 플랜트의 설계 프로그램 상용화 제품이 예상됨.
- ☐ 요구 수질에 맞는 고순도 공업용수 생산 플랜트의 기술적 목표는 국산화율 60%, 기존 플랜트 대비 운영비 10% 절감 가능한 플랜트 구축 기술 확보가 목표임.
- ☐ 따라서 기존 외산 플랜트를 대체 할 수 있는 단위 국산화 공정으로 이온교환수지 공정, 자외선 공정의 국산화 상용화 기술 개발을 추진하고, 운영비(폐액 발생량) 저감을 위한 친환경 수처리 단위기술로 고농도 이온제거 공정, 고순도 탈염공정 상용화 기술을 개발함.
- ☐ 아울러 수처리 단위 설비의 효율을 안정화 등을 위해 요구되는 고정밀 수온 조절장치(열교환기)의 고순도 공업용수 적용을 위한 기술 개발도 추진함.

[표 3-1] 업종별 공업용수 요구 수질 비교(예)

구 분	Solar	발전	화학	제약/식품	제철
Resistivity (비저항)	$\geq 18 \text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$	$\geq 5 \text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$	$\geq 1 \text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$	$\geq 0.9 \text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$	$\geq 0.02 \text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$
Particle(미립자) (EA/ml, $0.05\mu\text{m}$)	$\leq 10(\text{PVDF})$ (EA/ml, $0.1\mu\text{m}$)			Endotoxin Pyrogen	
Bacteria(미생물) (CFU/100ml)	≤ 1			불검출	
TOC(유기물)	$\leq 50 \text{ ppb}$	$\leq 200 \text{ ppb}$	$\leq 100 \text{ ppb}$	$\leq 500 \text{ ppb}$	—
SiO ₂ (실리카)	$\leq 1 \text{ ppb}$	$\leq 1 \text{ ppb}$	$\leq 1 \text{ ppb}$		—
DO(용존산소)	$\leq 50 \text{ ppb}$				—

□ 1세부과제 연차별 추진내용

과 제 명		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	최종 성과물
단위공정 국산화 기술 개발	① 폐액 저감을 위한 고가교도 이온교환 수지 및 공정 개발	고가교도 이온교환 수지 개발 이온교환 공정 최적 설계 기술 개발					국산 고효율 이온교환 상용화 시스템
	② 유기오염물질 제거용 자외선 공정 설계 및 공정 개발	에너지 절감 자외선 반응기 최적 설계 기술 개발 DO 증가 방지 자동 출력 조절 프로그램 개발 모듈형태 설계 및 제작 기술 개발					국산 고효율 자외선 상용화 시스템
에너지 효율 및 안전성 향상을 위한 신공정 개발	① 고효율 전기화학 적 고농도 이온제거 공정 (CDI) 개발	축전용량 및 이온전도성 극대화 기술 개발 대용량 모듈화 기술 개발 및 화수를 향상 기술 개발					에너지 저감 신공정 상용화
	② 고순도 전기탈염 장치 (EDI) 상용화 제품 개발	효율 향상과 안정적 수질 확보를 위한 반응기 최적화 기술 개발 대용량화 기술 개발					폐액 저감 신공정 상용화
	③ 고정밀 시스템 수온조절 장치 개발	고정밀 유량제어 시스템 수온 제어 기술 국산화 우수 열전도 및 방오성능을 보유한 열교환기 개발 고열전달/저압력 손실 편형 열교환기 형상 설계 기술 개발					국산 고효율 열교환 장치 상용화
최적 조합공정 설계 프로그램 개발	① 고순도 공업용수 생산 설계 최적화 프로그램 개발	단위공정별 처리효율 및 경제성 분석 조합공정의 처리효율/경제성 동시 분석 예측 프로그램 개발 (화수를 포함)					국산 고순도 공업용수 플랜트 설계 프로그램

나. 2세부 과제: 고순도 공업용수 생산 건설 기술 개발

- 고순도 공업용수 건설 기술은 생산 플랜트 및 공업용수의 이송에 요구되는 공급 배관 등을 포함하는 모든 시스템을 시공하는데 필요한 시공 기술을 범주로 함.
- 고순도 공업용수의 수요는 주로 고부가가치의 제품을 생산하는 공장이므로 플랜트 설치시 입지 제약이 있음. 이를 위해 적은 부지에 효율적으로 플랜트를 배치하고 시공하는 방안이 요구되고 있으므로, 플랜트의 입체화 또는 지하화 설치를 위한 시공 방안 연구, 이를 위한 3D 설계 기법 개발 등의 연구가 필요함.
- 또한 플랜트의 해외 수출시 본 플랜트는 기존 수처리 플랜트에 비해 고난도의 시공 기술이 요구되므로 전문 시공인력이 부족한 외국 수출시 현장 시공방안 보다는 플랜트 모듈화 제작 후 해외로 운송하는 것이 효율적일 것이므로 플랜트 모듈화 시공 방안 연구도 요구됨.
- 고순도 공업용수는 생산뿐만 아니라, 이송과정에서 오염이 전혀 없어야 하므로 배관의 재질 및 공급 체계(무단수 순환 시스템) 기술이 필요함. 따라서 국내에 수립되지 않은 고순도 공업용수용 배관의 재질 평가 방법 및 기준 수립이 필요하고, 이에 맞는 배관의 국산화 생산 기술이 요구됨.
- 장대 관로 시공시 배관의 접합 방법, 배치 방법등의 시공 기술, 무단수 순환방식의 배관 시공 방안 기술 개발이 수행될 것임.
- 본 세부과제에서는 연구과제의 최종 성과물인 2개소의 테스트베드를 구축하는 것이

목표이며, 이를 위한 법, 제도 및 사례 연구를 통해 최적 테스트베드 부지를 선정하고, 개발된 시공 기술을 통해 테스트베드를 효율적으로 구축하고 이 결과를 시공 표준화하는 것을 목표로 함.

□ 또한 테스트베드 구축시 고순도 공업용수 생산에서 불가피하게 발생하는 폐수를 재이용하여 공업용수의 원수로 활용하는 수처리 시스템도 적용하여 시공함.

□ 2세부과제 연차별 추진내용

과 제 명		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	최종 성과물
고순도 공업용수 생산 플랜트 컴팩트화 시공 기술 개발	① 고순도 공업용수 시스템 조립적화 기술개발	용수생산 및 공급시설의 입체화·지하화 시공기술 개발 3D 시설설계 및 플랜트 시공 자동화 기술개발 해외시공을 위한 모듈화 시공기술 개발					패기지형 플랜트 설계도서
고순도 공업용수 공급을 위한 배관시스템 기술 개발	① 수종별 배관 시공 및 평가기술 개발	수종별 배관 규격미련 및 평가기술 개발 수종별 맞춤형 배관 국산화 비용과 안정성을 고려한 공급배관 최적화 기술개발					고순도 공업용수용 배관 평가기준 및 국산 배관 표준 시공 매뉴얼
	② 용수공급 안정화 시공기술 개발	장대관로 설계 및 시공기술 개발					
고순도 공업용수 실증 플랜트 설계 및 시공기술 개발	① 산단 맞춤형 공업용수 시공 기반 기술 개발	시장분석 및 기반구축 플랜트 건설을 위한 법·제도 분석 및 활성화 방안 도출 사례연구 및 유형별 도입 방안 도출					법, 제도 개정안
	② 테스트베드 설계, 시공기술 개발	테스트베드 부지조사 및 설계 테스트베드 시공 및 시운전 최적화 기술 개발 시공 표준화 기술 개발					테스트 베드 2개소 및 재이용 파일럿 플랜트

다. 3세부 과제: 맞춤형 공업용수 생산을 위한 운영관리 기술 개발

- 운영관리 기술 개발은 고순도 공업용수 플랜트를 운영하여 목표로 하는 용수를 생산하고, 이를 수요지까지 안정적으로 공급할 수 있는 시스템 운영 기술을 범주로 함.
- 플랜트를 효율적으로 운영하기 위해 플랜트 운영 리스크 최소화, 에너지 최소화가 가능한 운영기술을 개발하고, 생산된 공업용수 품질을 지속적으로 모니터링(분석)하고 공급 과정에서의 오염도를 측정하는 기술을 개발함.
- 분석 기술은 현재 많은 고순도 공업용수 플랜트가 운영 중임에도 외국의 연구시설에서 수행하고 있어 본 과제를 통해 향후 국내 최초 공업용수 플랜트 용수 품질 분석센터 구축이 예상됨.
- 본 과제에서는 개발 기술을 2개소의 테스트베드에 적용하고, 기술의 피드백을 거쳐 최종적으로 기술을 완성하고자 함.
- 테스트베드의 운영은 과제 종료 후 활용성을 고려하여, 실제 운영자들이 함께 참여하여 운영기술을 습득하도록 함.

□ 3세부과제 연차별 추진내용

과 제 명		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	최종 성과물
배관 운영관리 기술 개발	④ 고순도 공업용수 배관 오염도 및 입 자모니터링 시스템 개발	배관 오염도 평가 및 모니터링 기술 개발					배관 오염도 모니터 링 시스템
		장대관로 내 입자 모니터링 기술 개발					
플랜트 운영관 리 최적화 기술	④ 플랜트 최적화 운 영 프로그램 개발	에너지 최적화를 위한 플랜트 O&M 기술 개발					운영프로그램, 악품 개발 국산화
		리스크 관리 전문가 시스템 개발					
		친환경 악품 및 에너지 절약형 세정기술 개발					
성능평가 및 수 질분석 기술	④ 고순도 공업용수 제조공정 성능평가 및 수질분석 기술 개발	고순도공업용수 성능평가기술 개발					극초저농도 수질분석 기술 구축 성능평가 가이드라인
		샘플링 기법을 포함한 극초미량 불순물 분석 개발					
테스트베드 운 영	④ 테스트베드 운영 최적화 기술 개발	고순도 공업용수 목적별 운영기술 개발					운영 매뉴얼
		운영매뉴얼 제작					

3. 과제 개발 로드맵 및 상용화 전략

가. 과제개발 로드맵

- 기존 산단과 신규 산단에 적용 가능한 실증화 시설(테스트 베드) 2기(각 1,000 m³/일 생산)를 설치 및 운영을 통하여 산업단지 공업용수 종합체계 구현 가능성을 검증함.
- 기존 산단 실증화 시설은 최고 순도(18.2 MΩ) 수준의 공업용수를 생산하여 모든 적용 가능한 단위 공정 검증 및 설계 프로그램을 구축하기 위한 기술 개발을 수행하고 폐수 처리 및 재이용 모형플랜트를 설치하여 재이용 시스템에 대한 기술 검증을 수행함.
- 신규 산단 적용 실증화 시설은 고순도(약 10 MΩ) 수준을 공업용수를 생산하고 장대 공급 배관에 대한 기술을 중점적으로 개발함.
- 이를 위하여 다음 그림 3-5와 같이 1차년도에는 단위 공정 개발 및 실증화 시설 설치에 대한 사전 준비(부지)가 필요함.
- 2차년도에는 기존 산단 실증화 시설을 착공하며, 본 시설에 추가될 폐수 재이용 기술에 대한 연구에 착수함. 한편 고순도 공업용수의 공급 시스템에 대한 기술 개발에 착수하여 3차년도에 시작되는 신규 산단용 실증화 시설의 설계에 반영함.
- 3차년도에는 기존 산단용 실증화 시설 운영을 통해 운영기술을 확보하고 설계 및 시공기술을 검증함.
- 4차년도에는 신규 산단용 실증화 시설도 운영하기 시작하여 고순도 공업용수 전반에 대한 기술을 축적함.

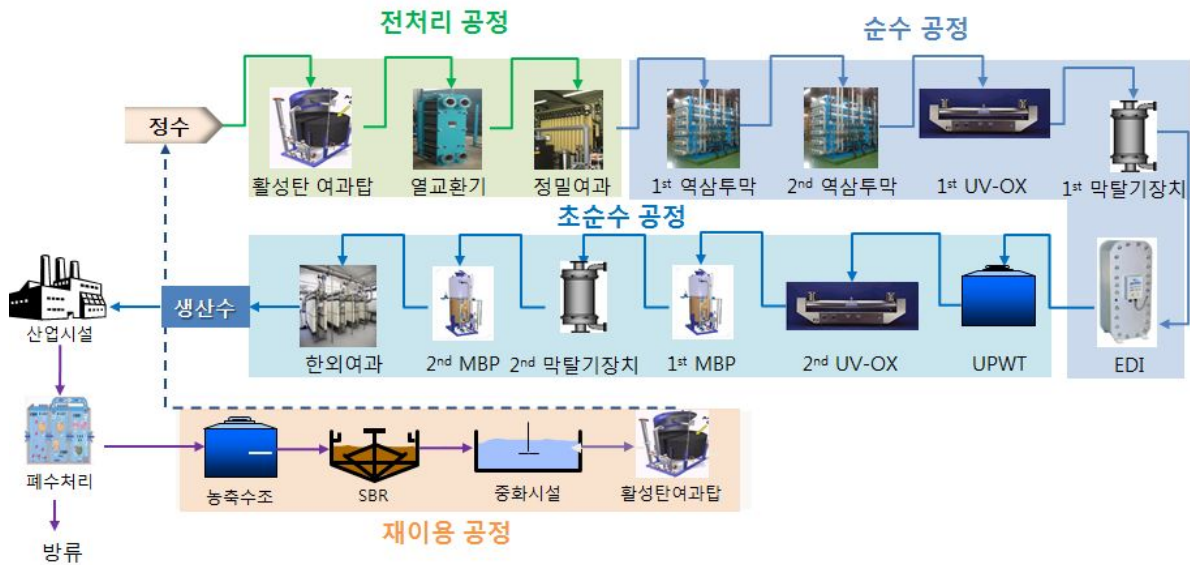
- 5차년도에는 실증시설의 활용방안에 맞춰 시설의 인수, 인계를 통한 기술의 매뉴얼 및 표준화 작업을 수행함.



[그림 3-4] 고순도 공업용수 공급기술 개발과제 로드맵

나. 상용화 전략

- 기술 개발의 상용화를 실현하기 위해 본 연구에서는 2기의 실증 시설을 구축하여 기술 및 제품의 상용화를 추진함. 운영 기술은 2기의 실증화 시설을 용수 수요가 있는 현장에 설치하여 운영 실적을 확보하고자 함. 구체적인 실증 시설의 구성 및 운영 방향은 다음과 같음.
- **(기존 산단)** 고순도 공업용수 실증화 시설은 최고 순도(18.2 MΩ) 수준의 공업용수를 생산하여 모든 적용 가능한 단위 공정 검증 및 설계 프로그램을 구축하기 위한 기술 개발을 수행하고 폐수 처리 및 재이용 모형플랜트를 설치하여 재이용 시스템에 대한 기술 검증을 수행함[그림 3-6].
 - 생산플랜트는 생산량 기준 1,000 m³/일 규모로 설치 및 운영하고, 폐수처리 공정은 생산플랜트 폐수에 대해 100 m³/일 규모 모형 플랜트로 평가함. 이중 재이용 플랜트는 50 m³/일 규모로 운영하여 생산플랜트의 원수로 공급함.
 - 생산플랜트 원수의 재이용수 사용 비율을 변경하면서, 생산 플랜트에 미치는 영향을 평가하고 이 결과를 반영하면서 실증 플랜트를 운영함.
 - 생산된 고순도 공업용수는 실제 수요가 있는 현장에 공급하여, 향후 과제 종료 후, 실증 플랜트의 활용방안을 확보해야 함.



[그림 3-5] 기존 산단 적용 실증 시설(테스트베드)

- (신규 산단) 고순도 공업용수 실증화 시설은 10 MΩ 수준의 공업용수를 생산하고, 생산된 물의 공급 체계에 대한 연구를 위해 장대관로를 설치하여, 물의 이송 과정에서 오염, 누수 방지 방안에 대한 기술 개발, 관 재질 용출 평가방법 등을 통한 배관 국산화 등 공급 체계 위주의 기술 개발을 수행함.
- 그림 3-6과 같이 1,000 m³/일 규모의 고순도 공업용수를 생산하여 장대관로를 이용하여 운송 시스템에 대한 연구를 수행하고, 생산된 물은 산업단지 현장의 용수를 직접 활용함.
- 본 실증화 시설은 과제 종료 후, 고순도 공업용수의 단위 공정 및 (재료)제품의 성능 평가 및 인증 장치로 활용이 가능하도록 사전에 구성하여 활용도를 높일 수 있도록 해야 함.



[그림 3-6] 신규 산단 적용 실증 시설(테스트베드)

제 2 절 테스트베드 구축 및 활용방안

1. 산업 단지 리모델링 추진배경

- 정부는 노후화된 산업단지의 경쟁력 강화를 위해 「노후산단 리모델링 활성화 방안」 확정·발표('13.9. 제3차 무역투자진흥회의) 및 노후화된 산업단지의 활력 제고와 경쟁력 강화를 위해 '17년 까지 최대 25개 노후산단을 선정하여 리모델링을 국토부와 산업부가 공동 추진하기로 함.
- 특히 국토부와 산업부 공동으로 노후산단을 진단하고 산단 특성에 맞는 리모델링 방안을 담은 「노후산단 리모델링 종합계획」을 2014년 12월에 다음의 내용을 발표
 - “노후산단 리모델링 종합계획('14년말 수립)”에 따라 산업부·국토부 등 관계부처 협업을 통한 체계적인 노후산단 리모델링 추진
 - 당초 계획을 1년 앞당겨 '16년까지 25개 중점 대상 단지를 선정하여 성공사례를 조기에 창출하고, 성과를 전국적으로 확산
 - '14년 9개 → '15년 11개 → '16년 5개 단지 등 후속 리모델링 대상단지 지자체 공모방식으로 단지별 리모델링 필요성, 사업 실현 가능성, 지자체·입주기업의 추진의지 등을 종합적으로 감안하여 차질없이 추진
- '15.1월 제정된 「노후거점산업단지의 활력증진 및 경쟁력 강화를 위한 특별법」의 취지에 따라 2015년부터 혁신 및 재생 사업을 포괄하는 개념으로 리모델링 대신 경쟁력강화사업을 사용할 예정
 - 노후산단 중 경쟁력강화사업 대상 산업단지를 재생 산업단지, 혁신 산업단지, 재생+혁신 공동 산업단지를 포함선정 추진 예정

2. 산업단지 리모델링 추진 내용

- 대상단지 선정계획: “노후산단 리모델링 종합계획”에 따라 2015년 11개 경쟁력강화사업 대상단지 선정 예정
 - 현재 '14년 9개 단지를 선정하여 단지별 리모델링 방향을 구체화 중이며, 시화는 혁신단지로 선정되었으나, 재생단지로는 미선정되었음
 - 사업유형별로 재생사업단지, 혁신사업단지, 공동사업(재생+혁신) 단지로 분류하여 선정

3. 사업별 산업단지 리모델링 계획

가. 노후산단 재생사업 (국토교통부)

노후산단 재생 사업으로 선정된 산단은 춘천 및 진주 2곳이며, 각 단지별 업종 및 규모는 다음과 같음.

☐ 춘천 후평 일반산단

o 업종별 현황

[표 3-2] 춘천 후평 일반산업단지 업종별 현황

구 분	계	음식료	섬유 의복	목재 종이	석유 화학	비금속	기계	전기 전자	기타	비제조
가동업체(개사)	66	12	4	7	6	2	9	2	8	16
근로자수(명)	957	118	164	50	181	6	50	66	42	280

☐ 진주 상평 일반산단

o 업종별 현황

[표 3-3] 진주 상평 일반산업단지 업종별 현황

구 분	계	음식료	섬유 의복	목재 종이	석유 화학	비금속	철강	기계	전기 전자	운송 장비	기타
가동업체(개사)	521	16	59	17	24	15	10	308	12	48	12
근로자수(명)	7,833	398	1,206	720	610	509	89	3,290	69	679	263

나. 구조고도화사업(산업통상자원부)

신규 산단 재생 사업으로 선정된 산단은 다음의 대불, 창원, 부평, 여수, 대구 총 5개의 산단이며 각 산단별 업종 및 규모는 다음과 같음.

☐ 대불 국가산업단지

o 대불 국가산업단지 산업단지구조고도화계획 승인(2015.04.16.)

o 업종별 현황

[표 3-4] 대불 국가산업단지 업종별 현황

구 분	계	음식 료	섬유 의복	목재 종이	석유 화학	비금속	철강	기계	전기 전자	운송 장비	기타	비제 조
가동업체(개사)	295	10	1	4	9	17	5	80	9	136	4	20
근로자수(명)	14,270	175	75	238	382	283	121	2,806	191	9,929	26	44

o 사업 내용

[표 3-5] 대불 국가산업단지 사업 내용

사업명	목 적	사업내용	사업비 (백만원)	착공/준공 예정일
대불 산학융합지 구 조성사업	산업현장에서 현장 중심의 교육과 상시적인 산학협력을 확대·강화	•근로자 평생학습 프로그램 •현장 맞춤형 인력양성교육 프로그램 운영 •중소기업 역량강화 프로그램 •근로자 문화복지향상 프로그램 운영	44,950	2014.06 /2015.03
공동직장 어린이집 건립사업	산업단지내 중소기업 근로자 자녀를 위한 어린이집 부족현상 해소 및 실질적인 일·가정 양립 지원	•보육정원 79명 수용, 685m² (건축연면적) 건립 •근로자 자녀를 위한 어린이집 운영(평일, 야간 및 주말) •근로자 가정의 자녀양육 지 원 및 보육의 경제적인 혜 택에 의한 자녀를 키우며 마음껏 일할 수 있는 근로 환경 제공	1,720	2015.03 /2015.08
해양케이블 시험연구센 터 조성	해양플랜트 케이블 등의 국산화, 세계시장 진출을 위해 관련 연구개발 및 소재·성능 시험평가 기반 구축	•해양플랜트 케이블 관련 연 구개발 •해양플랜트 케이블 국산화를 위한 시험인증 기반 구축 •SURF 관련 제품군의 국제인 증시험 및 시뮬레이션 수행	26,462	2015.09 /2016.06

□ 창원 국가산업단지

o 창원 국가산업단지 산업단지구조고도화계획 승인(2015.04.16)

o 업종별 현황

[표 3-6] 창원 국가산업단지 업종별 현황

구 분	계	음식료	섬유 의복	목재 종이	석유 화학	비금속	철강	기계	전기 전자	운송 장비	기타	비제조
가동업체(개사)	2,204	5	2	25	37	5	71	1,3147	409	238	14	51
근로자수(명)	91,897	861	16	391	1,230	112	4,548	54,157	12,616	17,586	71	354

o 사업내용

[표 3-7] 창원 국가산업단지 사업내용

사업명	목 적	사업내용	사업비 (백만원)	착공/준공 예정일
ICT융복합집 적지	경남TP 인근 부지를 활 용하여 산업기계설비 업종고도화를 위한 융 복합 집적지 조성	•공학해석센터 건립, 고 청정 합금소재·생산기반 지원센터 구축 •첨단기계소재 인증센터 구축 •금형시제품제작소 건립 •전기추진시스템 연구개발 사업	156,560	2016.01 /2019.12
첨단산업 집적단지	산단 입주업체 경영활 동에 필요한 R&D지원 시설 및 연구시설 등을 확충	•스마트혁신센터 구축, •웰빙복합센터 건립	53,700	2015.06 /2019.12
경남창원 산학융합 지구 조성사업	창원산단 내 교육·연구, 기업지원, 제도 정비 등 종합적인 산학협력 지 원시설을 제공	•산학캠퍼스, 기업연구관	30,000	2015.03 /2019.12
전기선박 육상시험소 구축	전기추진선박의 핵심기 술개발 및 관련 산업지 원에 필요한 기반조성	•육상시험소 구축, •전기선박 연구동 구축	74,000	2013.10 /2020.12
근로자 복지타운 건립사업	창원산단 내 부족한 기 숙사 및 근로자 편의 시설을 제공	•근로자종합복지관, •근로자기숙사, •직장어린이집	6,922	2015.03 /2016.06
문화창작 공간 조성사업	산업단지 내 감성과 문화 기술을 융복합시켜 문 화예술과 산업간 새로 운 문화거점 공간 조성	•힐링의 공간, 만남의 공 간, 배움의 공간, 창작 의 공간, 나눔의 공간	2,000	2015.02 /2015.12
창원 드림타운 건립	입주업체 근로자 정주 여건 개선을 위한 기숙 사형 오피스텔 확충	•기숙사형 오피스텔, 근린 생활시설, 주차장	42,800	2015.03 /2016.12
스마트 그리드 확산사업	스마트그리드 지역기반 구축 및 글로벌 환경수 도 구축	•산업단지 공장, 빌딩 중심 에너지 효율화 및 수요 반응 관리사업	24,000	2015.03 /2017.12

□ 부평·주안 국가산업단지

o 부평·주안 국가산업단지 산업단지구조고도화계획 승인(2015. 4. 16)

o 업종별 현황

[표 3-8] 부평, 주안 국가산업단지 업종별 현황

구 분	계	음식료	섬유 의복	목재 종이	석유 화학	비금속	철강	기계	전기 전자	운송 장비	기타	비제조
가동업체(개사)	1,298	15	41	43	123	4	23	368	431	36	52	162
근로자수(명)	24,891	561	1,325	854	1,608	25	509	6,678	8,778	2,263	791	1,499

o 사업내용

[표 3-9] 부평, 주안 국가산업단지 사업내용

사업명	목 적	사업내용	사업비 (백만원)	착공/준공 예정일
리치플레이 건설사업	근로자를 위한 안정적인 주거공간과 함께 문화, 쇼핑, 여가활동을 즐길 수 있는 종합복지타운 성격 의 어메니티 시설 확충	근로자 주거시설(오피스 텔) 및 복지편의시설 등 건설	101,245	2015.08 /2016.10
스마트테크노 타워 건설사업	인천 구도심에 산재한 PCB, IT업체를 주안단 지로 이전집단화하여 공 동폐수처리, R&D, 지원 시설 등 뿌리산업 경쟁 력 향상 지원	PCB 및 IT업종 유치, 친환경 경제수처리장 등 특화센터 건설	43,378	2015.08 /2017.12

□ 여수 국가산업단지

o 업종별 현황

[표 3-10] 여수 국가산업단지 업종별 현황

구 분	계	음식료	목재 종이	석유 화학	비금속	철강	기계	전기 전자	기타	비제조
가동업체(개사)	226	2	2	109	11	1	74	3	3	21
근로자수(명)	17,906	24	34	15,051	257	41	1,942	208	59	290

□ 대구성서 일반산업단지

o 업종별 현황

[표 3-11] 대구성서 일반산업단지 업종별 현황

구 분	계	음식료	섬유 의복	목재 종이	석유 화학	비금속	철강	기계	전기 전자	운송 장비	기타
가동업체(개사)	2,689	33	436	82	101	158	107	904	159	384	325
근로자수(명)	55,228	1,517	7,009	1,586	1,261	3,094	1,813	14,974	7,199	15,659	1,116

다. 협업사업(산단재생+구조고도화)

그 밖에 부처별 협업 사업으로 시행될 예정인 산단은 구미 1단지, 안산, 시화 산단 3개의 산단이 다음과 같이 구성되어 있음.

☐ 구미 국가산업단지(1단지)

- o 구미 국가산업단지 산업단지구조도화계획 변경 승인(2015.04.16)
- o 업종별 현황

[표 3-12] 구미 국가산업단지(1단지) 업종별 현황

구 분	계	음식료	섬유 의복	목재 종이	석유 화학	비금속	철강	기계	전기 전자	운송 장비	기타
가동업체(개사)	1,422	3	82	48	151	54	22	563	427	19	53
근로자수(명)	89,120	551	3,329	1,068	5,776	6,544	736	14,519	55,317	950	330

o 사업내용

[표 3-13] 구미 국가산업단지(1단지) 사업내용

사업명	목적	사업내용	사업비 (백만원)	착공/준공 예정일
집적화단지 조성사업	폐업 유휴부지를 활용하여 성장유망 중소기업에 대한 입지지원	금형, IT융복합신소재, 그린에너지, 3D디스플레이 집적화단지	88,982 300	2010.11 /2015.07
전자의료기기 부품소재 생산단지	의료기기 산업과 관련한 연구·생산시설 입지지원	전자의료기기 부품소재 생산단지		
체육시설 개선사업	운동장을 개선하여 쾌적한 체육시설 공간을 확충	축구장, 족구장, 화장실 등	300	2011.01 /2011.12
융복합집적지 조성사업	구미단지 미래먹거리 산업 육성 및 신산업 공간 조성	지식산업센터, 오피스텔, 스포츠센터 등	151,175	2015.11. /2017.12.

☐ 안산, 반월 국가산업단지

o 업종별 현황

[표 3-14] 안산, 반월 국가산업단지 업종별 현황

구 분	계	음식료	섬유 의복	목재 종이	석유 화학	비금속	철강	기계	전기 전자	운송 장비	기타	비제조
가동업체(개사)	6,051	89	341	241	533	29	182	2,207	1,919	218	95	197
근로자수(명)	152,302	2,728	13,040	4,934	19,117	7,278	5,907	33,427	55,619	10,590	954	5,708

□ 시화 국가산업단지

○ 업종별 현황

[표 3-15] 시화 국가산업단지 업종별 현황

구 분	계	음식료	섬유 의복	목재 종이	석유 화학	비금속	철강	기계	전기 전자	운송 장비	기타	비제조
가동업체(개사)	9,597	56	146	258	720	38	705	5,528	1,407	464	121	154
근로자수(명)	106,672	2,714	2,421	3,168	11,545	1,146	10,314	48,475	15,901	8,520	1,845	623

□ 지금까지의 정부 주도 산단 리모델링 계획을 정리해 보면 다음과 같이 재생, 혁신 공동 산단 2개소, 재생 산단 2개소, 혁신산단 5개소로 총 10개 산단이 지정되어 있으며 향후 본 연구과제의 실증화 시설은 각 대상 단지의 리모델링 사업 추진경과와 연구개발 진행 상황을 종합적으로 고려하여 선정되어야 함.

- 재생+혁신 공동 단지(3개): 구미1 국가산단, 안산 반월 · 시화 국가산단
- 재생 단지(국토부, 2개): 춘천후평 일반산단, 진주상평 일반산단
- 혁신 단지(산업부, 5개): 대불 국가산단, 창원 국가산단, 여수 국가산단, 인천부평 · 주안 국가산단, 대구성서 일반산단

제 4 장 사전타당성 검토

제 1 절 정책적 타당성 분석

1. 국가전략적 중요성

가. 정책적 중요성

- ☐ 고가의 투자비와 운영비가 필요한 고순도 공업용수 플랜트 특성상 국가적 차원의 산·학·연 공동 연구를 통해 제품 상용화를 추진하고 국내 현장 적용 실적을 확보 하는 것이 국제경쟁력 확보로 연결될 수 있음.
- ☐ 따라서, 본 과제를 수행시 고순도 공업용수 생산기술을 보유한 중소기업의 시장진출을 활성화 시켜 국정과제로 추진 중인 “국정과제 4. 중소기업 성장 희망사다리 구축”을 실현할 수 있음.
- ☐ 아울러 본 과제를 통하여 국산화 기술력을 확보하여 중소기업 상생을 도모하고, 고순도 공업용수의 새로운 공급체계 구축을 통하여 개별기업이 부담하였던 고순도 공업용수 생산시설구축을 위한 투자비와 운영비를 절감시켜 기업경쟁력을 강화시킬 수 있어 창조경제 실현과제인 “국정과제 6. 동반성장 등 협력적 기업생태계조성”을 달성할 수 있음.
- ☐ 고순도 공업용수 공급체계 신모델 개발을 통하여 국산 플랜트의 해외시장 진출이 가능하므로 “국정과제 10. 교통체계, 해운 선진화 및 건설, 원전사업 해외진출 지원” 과제가 실현될 수 있음.

나. 정부지원의 타당성

- ☐ 노후산단 재생시기가 도래함에 따라 새로운 공업용수 공급체계 구축이 필요(산업단지 업종의 변천과 함께 공업용수 공급체계의 국가적 변환점 도래)
- ☐ 현재 고순도 공업용수 생산기술의 경우 외국 기술의 의존도가 매우 높으나 높은 수준의 수질요구와 신뢰성 미확보로 국내 기업 제품의 진입장벽이 매우 높기 때문에 국가적 지원을 통해 기술 확보 필요. 일본과 미국의 경우도 국가적 차원의 지원을 통하여 기술 확보가 이루어졌고, 노무라, 쿠리타 등 초순수 생산분야의 세계적인 기업들이 탄생됨.
- ☐ 고순도 공업용수 생산을 위하여 이미 각 단위 공정을 제작할 수 있는 국내기업이 있으나 대부분 중소기업으로 연구개발의 인적, 물적 지원의 한계가 있으며, 제품의 효율을 평가할 수 있는 고순도 공업용수를 제공 받는데 어려움이 있어 제품 검증의 한계성을 가지고 있음. 따라서 이러한 한계를 극복하는 방법은 국가적 차원의 지원을

통해 산·학·연 공동개발 기회를 제공하고, 국가 과제로 실증시설을 구축하여 기술이 적용될 수 있는 기회를 확보하는 것임.

- 국내 구축·운영된 Track Record를 기반으로 신개념의 “고순도 용수 공급 플랜트를 포함한 첨단산업단지” 비즈니스 모델을 개발하여 해외 수출용 플랜트 공중 다변화 추진이 필요함.

다. 사업추진의 시급성

- (외국기술에 종속) 국정과제인 노후산업단지 재생사업 및 혁신산단 조성사업 추진 및 곧 도래하는 국내 고순도 공업용수 플랜트(반도체 등) 개 대체 시기에 개발된 국 산기술 적용이 불가능하며, 이 경우 또 다시 수십 년간 외국기술에 종속될 수밖에 없음.
- (동반성장 불가능) 중소기업의 고순도 공업용수 생산기술의 적기 개발이 불가능해 국내 시장 진출 가능성이 매우 낮아질 뿐만 아니라 해외 수출 가능성도 희박해져 VIP 임기 내 중소기업 성장 희망사다리 구축, 동반성장 등 협력적 기업생태계 조성 등 국정과제 목표 달성이 어려워질 수 있음.

2. 상위계획과의 부합성(정책적 일관성 분석)

가. 국가 정책 연계

- 본 사업은 다음과 같은 “국정과제”와 “경제혁신 3개년 계획”과 부합됨.
 - 국정과제
 - － (4. 중소기업 성장 희망사다리 구축) 글로벌 시장 진출 지원
 - － (6. 동반성장 등 협력적 기업생태계 조성) 선도자형 산업 R&D 및 사업화를 통한 일자리 창출
 - － (10. 교통체계·해운 선진화 및 건설·원전산업 해외진출 지원) 해외건설·플랜트 및 원전산업 진출 지원
 - 경제혁신 3개년 계획
 - － (32. 친환경 에너지 신산업 육성·신시장 창출) 에너지 산업 분야에서 생산·공급시설 및 공급망 분야에 대한 새로운 비즈니스 모델 창출 가능
- 국가 법정계획의 내용 중 다음과 같은 내용과 본 사업이 부합됨.
 - 제4차 기술이전·사업화 촉진계획(2012~2014)
 - － 기술과 시장의 연계 활동 강화(R&D 사업화 프로젝트 및 후속지원 강화)
 - － 4대 핵심과제 중 ‘융복합 및 개발형 혁신 추진’의 세부 추진과제 ‘이중 기술 산업간

- 의 융복합 사업화 활성화'의 일환으로 수행
- o 국토교통부 2014년 핵심과제 실천계획
 - (기업용지 적기 공급) 급변하는 산업환경에 맞춘 첨단 산업단지 개발

나. 기타

- 창조경제 실현을 위한 국토교통 R&D 중장기 전략(국과심 본회의, '14.7)에 부합
 - o (나. 글로벌 TOP 플랜트 건설기술) 담수화 기술을 포함한 고순도 공업용수 생산 플랜트 건설기술 개발
- 본 연구 관련 대통령 담화(산업단지 출범 50주년 기념식, '14.09.17.)
 - o 산업단지가 지난 50년간 주력산업의 거점으로, 중소기업의 터전으로, 지역 균형발전의 기반으로 우리 경제의 든든한 버팀목 역할을 해왔으며, 새로운 50년의 청사진 즉, 산업단지를 보다 혁신적이고 창조적인 공간으로 거듭나도록 하기 위한 기업 수용 맞춤형, 근로자 친화형, 기술혁신 주도형 산업단지로 전환시키는 리모델링 작업을 하겠다고 밝힘.
 - o 아울러 신규단지는 첨단 융·복합 산업의 중심으로 만들고, 노후단지는 서울 디지털 단지의 리모델링 성공사례를 벤치마킹 하여 신사업 수요에 맞는 입지공간을 지속적으로 만들겠다고 밝힘.

3. 사업추진의지와 관련 기관 협조체계(정책적 추진의지 분석)

- 국토교통부의 2015년 주요정책 과제인 “창조경제 지원을 위한 첨단산업단지 조성 확대” 및 “노후산단을 지역경제 혁신 거점으로 재창조”와 관련하여, 본 기술은 산업단지의 인프라시설인 공업용수 체계를 구축하는 기술로 현장 적용 가능성이 높음.
- 또한 기존 국토교통부 업무인 공업용수 공급 체계를 효율적으로 다변화하여 시장 규모를 확장하고 동시에 산업체의 제품 생산 경쟁력 향상에 기여할 수 있는 기술 개발 과제임.

제 2 절 기술적 타당성 분석

1. 기술개발 계획의 적절성

가. 사업목표와 내용의 적절성

□ 사업목표의 구체성 분석

- 본 과제 목표는 고순도 공업용수 공급 플랜트의 비용 절감 가능 국산화 기술 개발이 목표이며, 구체적인 기술 개발 목표인 국산화율, 비용 절감 비율이 제시되어 있음.

□ 사업내용의 논리성 및 적절성

o 세부과제의 내용, 범위 등은 다음과 같이 구체적으로 정의되었음.

- 설계, 시공, 운영 및 재이용 시설 개발의 4개 세부과제를 구성하여 제시하였으며, 각 세부과제별 개발 기술이 제시되어 있음.
- 각 개발 과제의 성과 목표 및 연차별 수행 계획이 총 5년으로 정리되어 수립되었으며, 실증화 기술 확보를 위한 2개의 테스트베드 구축 및 1개의 모형플랜트 구축 방안, 시기 및 필요 예산이 연차별로 서술되어 있음.

나. 사업 추진전략의 적절성

□ 사업추진전략의 구체성 및 도출근거

o 사업목표를 계획된 기간 내에 효율적으로 달성하기 위한 추진전략 및 도출근거를 다음과 같이 제시함.

- 총 5년의 과제 수행 기간 내에 2개의 실증 시설을 구축 운영하는 성과 도출을 위해 설계, 시공, 운영기술이 동시에 진행되며, 기술의 적용 및 예산 효율성을 위해 2개의 실증 시설은 각각 2차, 3차년도에 순차적으로 착공함.
- 2개의 실증 시설은 고순도 공업용수의 실제 수요가 있는 산업단지 내에 설치하여 기존 현장 플랜트 인력의 참여로 실증화 기술의 완성 기간을 단축할 수 있음.
- 2개의 실증 시설이 동일한 산업단지에 설치되어 연구 인력 및 관련 기자재의 활용도를 높일 수 있음.
- 현재 국정과제로 추진 중인 산단 재생사업이 본격적으로 시작될 경우 산단 인프라의 일부분인 공업용수 공급 체계의 개선 요구가 대두되고 조속한 시스템 구축이 필요할 것으로 예상되어 사업화 시기가 조만간 도래할 것이며, 산단 재생 사업이 종료 될 경우, 추가적인 공업용수 체계 변화 사업의 시도는 용이하지 않을 것임.
- 따라서 산단 재생 사업 시기에 본 공업용수 공급 체계의 구축 사업이 동시에 진행될

필요가 있음.

2. 기술수준 및 성공가능성

가. 기술수준

- ☐ 기술동향 분석 결과 동 사업에서 개발하고자 하는 기술은 현재 외국의 특정 기업에서만 주도하는 세계 최고 기술 수준과 현재 국내의 기술 수준은 상당한 격차가 있음.
- ☐ 우리나라는 고순도 공업용수 플랜트 용량으로 볼 때 반도체 산업 등 산업적 특성으로 세계적으로 큰 비중이 있는 국가임. 따라서 기술 반영 비중이 높고 운영 기술력이 축적되어 있어 생산 플랜트 제조 기술만 확보된다면 높은 운영 기술력과 함께 세계 최고 수준의 기술력 확보가 가능할 것임.

나. 기술개발의 성공 가능성

- ☐ 기술적 위험요인
 - o SWOT 분석을 통한 기술적 시사점 및 위험요인에 대해 구체적으로 분석하고 이에 대한 대응 전략을 수립함.
 - o 연구의 성공적인 수행을 위해서는 새로 발생할 수 있는 기술적 위험요인에 대한 예측, 추가적인 위험 발생 요인 등에 대해 지속적으로 검토할 필요가 있음.
- ☐ 기술개발 성공가능성
 - o 추후 과제 착수 시점에서 기술수준 및 역량 대비 기술개발의 성공가능성과 시장창출 및 진입 등 시장경쟁력 측면에서의 성공가능성에 대한 검토가 필요함.
- ☐ 기술개발의 성공적 추진을 위한 전략
 - o 본 기술개발은 현장 상용화 기술개발이며, 현재 산업 현장에서 가동 중인 플랜트 시설의 구축을 통한 기술 개발 사업이므로, 설계, 조달, 건설 분야의 분업화 및 협업이 매우 중요함. 또한 분야별 수행을 통해 실제 현장 적용에 대한 실질적인 기술개발이 가능할 것임.

3. 기존 사업과의 중복성

- ☐ 고순도 공업용수 생산 기술은 지금까지 국가 차원의 연구 개발 사례가 없음. 고순도 공업용수 생산 기술은 고가의 투자 운영비용이 요구되므로 중소기업의 자체 연구개발을 현실적으로 어렵고, 소수의 대기업 현장에서 자체적인 연구를 일부 수행한 것으로 예상됨.
- ☐ 기존의 고순도 공업용수는 개별 사업장별로 생산하는 체계였으나, 본 과제에서는 산단 집단공급 시스템을 제안하고 이를 개발코자 함. 따라서 기존에 시도되지 않은 새로운 분야의 연구 개발이 필요함.

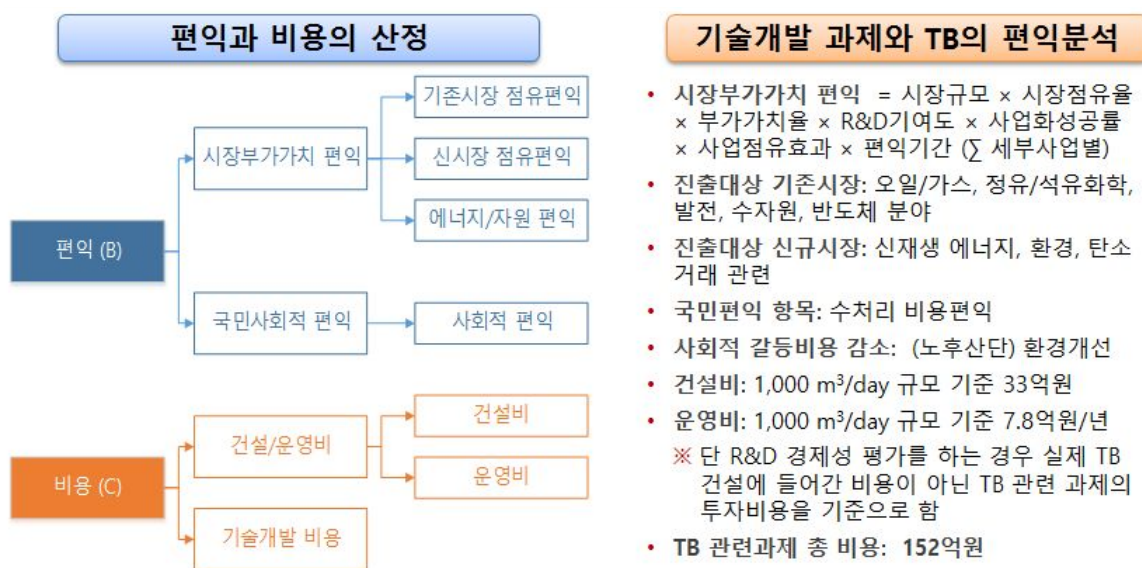
제 3 절 경제적 타당성 분석

1. 경제성 분석

□ 비용/혜택 분석

○ 분석대상

- 첨단산업용수 플랜트 기술개발 과제에 대해 분석하였으며, 이에 대한 비용/혜택 분석 결과를 도출함.



[그림 4-1] 편익과 비용의 산정 및 편익분석

○ 혜택범위

- 연구개발 과제를 통한 직접적·간접적 효과와 테스트베드의 효과 분석

○ 비용의 설정

- 각 세부과제의 향후 5년간 예산으로 정부출연금을 합한 금액

○ 시장 부가가치 편익 산출을 위한 요소

- R&D에 의한 부가가치의 증대를 환산하기 위하여, 시장규모, 시장점유율, 기술기여도, R&D기여도, 할인율을 고려함.

※ 시장규모: 기술개발 과제추진을 통한 연구결과물이 파급되는 산업의 세계시장 규모 (첨단산업용수 플랜트 시장) - 4.79조원(2013)

※ 시장점유율: 동 사업의 전략목표인 세계 시장 5%를 설정함.

※ 기술기여도: 산업기술개발사업의 평균 성공률 32.7% 적용

※ R&D 기여도: 본 연구과제를 통해 달성된 기술개선 비중. KISTEP에서 작성된 '06 R&D분야 예비타당성 조사 수행을 위한 지침연구"의 R&D사업의 효과분석 사례에서 적용한 10.9%를 사용함.

※ 부가가치율: 플랜트 분야 부가가치율 근사값(12.24%) 사용

※ 기술 수명주기: 10년 적용

o 테스트베드의 에너지 및 자원 편익

- TB 편익 = 물 생산 편익 + 폐기물 활용 편익 + 에너지 생산 편익 + 에너지 절감 편익 + 재생자원 생산편익 + 기타 생산편익 + 수질오염 감축
- 물 생산 편익: 1일 1,000 m³ 생산 기준, 단가 2,160원/m³
- 타 편익 항목: 일단 고려하지 않음
- 운전기간: 총 20년
- 감가상각비: 20년의 기간 동안 약 20%의 추가비용 고려 (운영비용 제외)

□ 경제성 분석 결과

- o 주어진 가정 하에서 산출된 동 연구개발사업의 NPV는 262억원, B/C ratio는 0.98로 정부주도의 사업추진 필요성이 높은 것으로 판단됨.

총 사업 편익

[비용분석]			B/A = 0.989 및 262억원 경제적효과
A. 비용 (정부)	265 억원	정부 투자금액	
비용 (민간)	134.2 억원	민간 투자금액	
[편익분석]			
① 시장 점유 편익	104 억원	산업적 성과 확보	
③ 에너지비용 편익	158 억원	국가 에너지 절감 효과	
④ 국민사회적 편익	0 억원	국민 행복 증가 효과	
B.총 편익	262 억원		

✓ 추가 고려사항: 시장 성장률, 감가상각비, 이자율, 현가, 에너지 자원 절감효과, 간접적 편익 등

✓ 유사 예비타당성 분석사례 분석 진행

✓ 기술가치 분석 (해수담수화 사업단 사례 등) 참고

[그림 4-2] 총 사업 편익 분석 결과

2. 과학기술적 파급효과

- 고순도 공업용수 생산 기술은 국내 고순도 산업용수 생산기술이 미흡하여 반도체 등 첨단산업용 용수는 일본, 미국 등 외국 기술력에 종속되어 운영 중으로, 국내 산업기반이 열악함.
- 높은 수준의 수질요구와 신뢰성 미확보로 국내 기업 제품의 진입장벽이 매우 높아 국가적 지원을 통해 기술 확보 시급
- 일본과 미국의 경우도 국가적 차원의 지원을 통하여 기술 확보가 이루어졌고, 노무라, 쿠리타 등 고순도 공업용수 생산 분야의 세계적인 기업들이 탄생됨. 고순도 공업용수 생산 기술은 고가의 투자 운영비용이 요구되므로 중소기업의 자체 연구 개발을 현실적으로 어려우므로, 국내 중소기업들이 보유하고 있는 기술의 개발과 발전을 위해 국가적 차원의 예산 및 산·학·연 공동 연구 체계 제공시기 확보된 운영 기술들을 바탕으로 최고 수준의 기술력을 확보 할 수 있음.
- 1980년대 반도체 공장 설립과 함께 설치된 고순도 공업용수 생산 플랜트는 곧 개대체 시기가 도래하여, 신규 플랜트 고순도 공업용수 플랜트 사업이 생성될 것으로 예상됨. 이러한 국내 산업 시장 진출 시 본 연구 개발 성과품이 적용되어 현장 적용(실적)화 될 경우 세계 시장 진출이 가능함.

제 5 장 인력투입 계획 및 소요예산 산정

제 1 절 인력투입 계획

가. 연차별/세부과제별 인력투입 계획

세부 과제명	연 차	연차별 투입 인원(명)					
		1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	합계
1세부: 고순도 공업용수 생산 설계 선진화 기술개발		15	30	10	10	15	80
2세부: 고순도 공업용수 생산 건설 기술 개발		10	30	30	30	10	110
3세부: 맞춤형 공업용수 생산을 위한 운영관리 기술 개발		15	15	25	30	25	110
4세부: 고순도 공업용수 물순환 이용 기술 개발			10	30	35		75
합 계		40	85	95	105	50	375

나. 인력 활용 계획

- 연구과제 기간 5년간 375명의 인력이 투입되어 본 과제의 기술 개발을 추진함. 연간 인력 활용은 실증화 시설(테스트베드) 2기가 구축되는 2, 3차년에 건설 기술개발을 위해 집중화되며 구축 완료 후 운영 시점인 3차년부터는 운영 기술 개발에 인력이 활용될 예정임.
- 설계 기술 개발을 추진하는 1세부과제는 1, 2차 년도에는 실증화 시설 구축을 위한 설계 기술개발을 추진하고 3, 4 차년도에는 구축된 실증화시설의 운영 결과를 분석하여 설계 인자를 수정하고 5차년도에는 설계 기술의 상품화(소프트웨어 등) 기술 개발을 추진함.
- 건설 기술 개발을 추진하는 2세부과제는 1차년도에는 실증화 시설 구축을 위한 시공 자료 조사 및 방법 등 계획을 수립하기 위한 기술을 구축하고, 2차년도에 실증화 시설 1기 착공 3차년도에 별도의 실증화 시설 1기를 착공하고 시공이 완료되는 4차년부터 실증화 시설의 운영 결과를 분석하며 시공 기술을 정립(메뉴얼화 등)함.
- 운영 기술 개발을 추진하는 3세부 과제는 과제 착수 1차년부터 운영 프로그램 로직 개발, 배관 국산화, 배관 세척 기술 등을 정립하기 위해 실험실, 모형플랜트 규모의 실험 및 평가를 통한 기술개발을 추진하며, 실증화 시설이 구축되는 3차년도 이후에는 2기의 실증화 시설 실제 운영을 통한 데이터 분석들을 실시하여 운영 기술을 확립함.

- 고순도 공업용수 생산시 배출되는 폐수 처리 및 공업용수 원수로 사용하기 위한 재이용 공정 기술을 개발하는 4세부 과제는 1기의 실증화 시설이 착공되는 2차년도부터 과제를 착수하여 2차년도에는 실증화 시설과 연계하여 실증 시설에서 배출되는 폐수를 재이용할 수 있는 모형플랜트를 설치(착공)하여 3차년도에는 모형플랜트 운영을 통해 기술을 검증함.
- 4세부과제는 1, 2, 3세부과제와 기술개발 분야가 다른 폐수 처리 및 재이용 분야로 시기적으로 차이가 있으며, 개발 분야 성격이 다르므로 예산의 효율성 등을 고려하여 별도의 연구과제로 추진하는 것이 적절함.

제 2 절 소요예산 산정

1. 세부과제별 소요 예산

가. 1세부: 고순도 공업용수 생산 설계 선진화 기술 개발

구 분		연차별 예산 (억원)					
연구목표	연구주제	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	합계
가. 단위공정 국산화 기술 개발	①폐액 저감을 위한 고가교도 이온교환수지 및 공정 개발	1	1	1			3
	②유기오염물질 제어용 자외선 공정 설계 및 공정 개발	1	0.5	1			2.5
나. 에너지 효율 및 안전성 향상을 위한 신공정 개발	①고효율 전기화학적 고농도 이온제거 공정 (CDI) 개발	1	1	1			3
	②고순도 전기탈염(EDI) 상용화 제품 개발	1	1	1.5			3.5
	③고정밀 시스템 수온 조절 장치 개발	0.5	1	1	0.5	0.5	3.5
다. 최적 조합 공정 설계 프로그램 개발	①고순도 공업용수생산 설계 최적화 프로그램 개발	0.5	0.5	0.5	1.5	0.5	3.5
합 계		5	5	6	2	1	19

나. 2세부: 고순도 공업용수 생산 건설 기술 개발

구 분		연차별 예산 (억원)					
연구목표	연구주제	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	합계
가. 고순도 공업용수 생산 플랜트 콤팩트화 시공기술 개발	①고순도 공업용수 시스템 초집적화 기술개발	3	3	2	1		9
나. 고순도 공업용수 공급을 위한 배관시스템 기술 개발	①수종별 배관 시공 및 평가기술 개발	4	5	2			11
	②용수공급 안정화 시공기술 개발	1.5	1.5	1			4

다. 고순도 공 업용수 실증 플랜트 설계 및 시공기술 개발	①산단 맞춤형 공업용 수 시공 기반기술 개발	1.5	0.5				2
	②테스트베드 설계, 시 공기술 개발	5	42	65	14	2	128
합 계		15	52	70	15	2	154

다. 3세부: 고순도 공업용수 생산을 위한 운영관리 기술 개발

구 분		연차별 예산 (억원)					
연구목표	연구주제	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	합계
가. 배관 운 영 관리 기술 개발	①고순도 공업용수 배 관 오염도 및 입자모니 터링 시스템 개발	3	4	3	1	2	13
나. 플랜트 운 영 관리 최적 화 기술	①플랜트 최적화 운영 프로그램 개발	3	3	2	2	2	12
다. 성능평가 및 수질분석 기술	①고순도 공업용수 제 조공정 성능평가 및 수 질분석 기술 개발	6	3	2	1	1	13
라. 테스트 베드 운영	①테스트베드 운영 최 적화 기술 개발			8	16	20	44
합 계		12	10	15	20	25	82

라. 4세부: 고순도 공업용수 물순환 이용 기술 개발

구 분		연차별 예산 (억원)					
연구목표	연구주제	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	합계
가. 국산화 및 신공정 개발	①폐수처리 단위공정 개 발		4	10	7		21
	②재이용 단위공정 개발		4	10	7		21
나. 설계 및 운영기술 개 발	①발생원별 폐수, 방류 수 특성 분석 및 재이 용률 경제성 평가		2	2	2		6
합 계			10	22	16		48

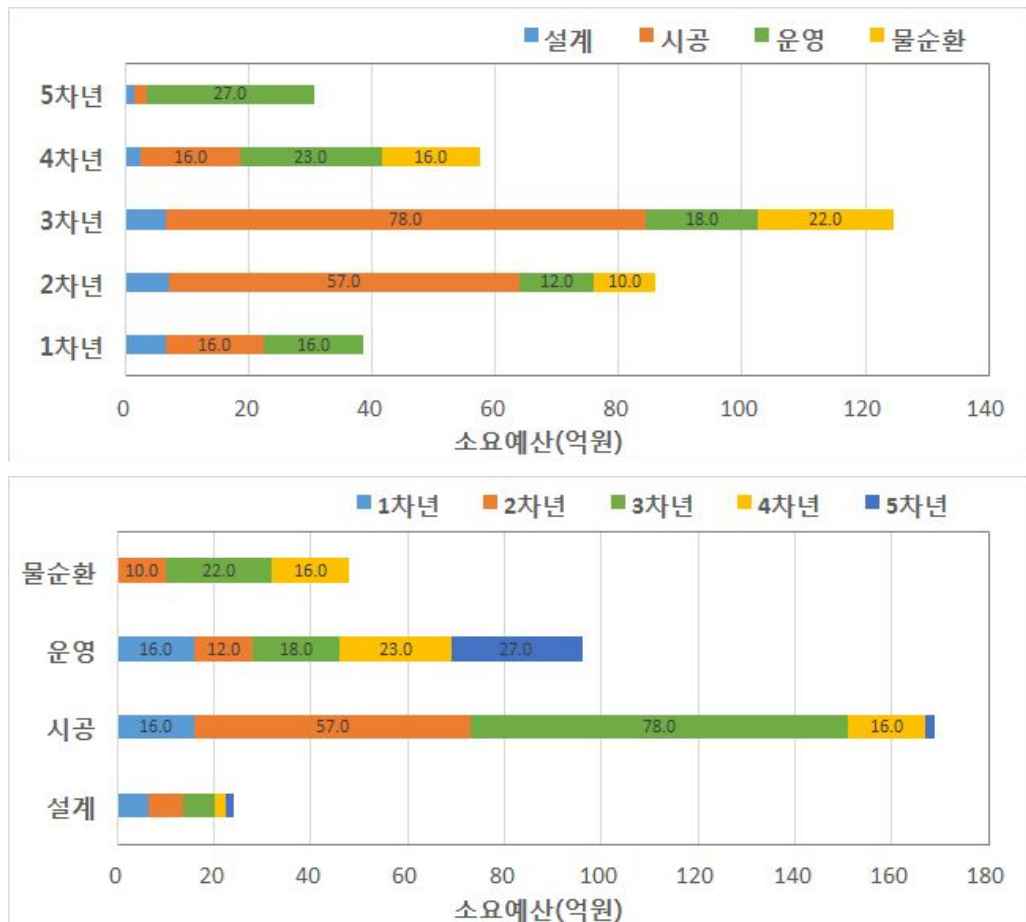
※ 4세부과제는 1, 2, 3세부과제와 별도의 연구과제로 진행이 필요함.

2. 예산 총괄

□ 총 소요예산: 255억원

세부 과제명	연 차	연차별 예산 (억원)					
		1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	합계
1세부: 고순도 공업용수 생산 설계 선진화 기술개발		6.5	7	6.5	2.5	1.5	24
2세부: 고순도 공업용수 생산 건설 기술 개발		16	57	78	16	2	169
3세부: 맞춤형 공업용수 생산을 위한 운영관리 기술 개발		16	12	18	23	27	96
4세부: 고순도 공업용수 물순환 이용 기술 개발			10	22	16		48
합 계		38.5	86	124.5	57.5	30.5	337

□ 연차별/세부과제별 예산



[그림 5-1] 연차별, 세부과제별 예산

제 6 장 과제 제안요구서 작성 및 평가기준 설정

제 1 절 연구단 과제 제안요구서(RFP)

과제명	첨단산업단지용 고순도 공업용수 플랜트 건설기술개발 연구단
1. 연구개발 목표	○ 고부가가치 물산업 진출을 위한 고순도 공업용수 플랜트 국산화 기술개발(투자비 및 운영비 20% 절감, 국산화율 60% 달성) ○ 새로운 공업용수 공급체계 구축을 통한 기업 경쟁력 향상 및 신규시장 창출을 위한 기술 개발 ○ 중소기업 육성 및 고순도 공업용수 공급 플랜트 건설 사업 해외 진출
2. 기술개발 및 산업/시장동향	☐ 기술개발의 필요성 ○ 국내외적으로 공업용수를 재처리하여 첨단 산업 제품생산에 활용하는 고부가가치 용수 제조 산업의 지속적인 성장 예상(GWI, 2008) ○ 국내 고순도 공업용수 생산기술이 미흡하기 때문에 현재까지 일본, 미국 등의 외국 기술력에 의존적임. ○ 한편, 국내 기존 고순도 공업용수 플랜트의 재구축 시기가 곧 도래하고 있으며 산업단지 재생사업으로 인하여 고순도 공업용수 신규시장이 활성화 될 것으로 전망되고 있어 국내 기술이 적용될 수 있는 적기임. 그러나 현재까지 기술개발이 활발하게 이루어지고 있지 않기 때문에 앞으로 수십 년간 또다시 외국 기술에 종속될 수 있으므로 고순도 공업용수 생산을 위한 국산 기술개발이 매우 시급함. ○ 아울러 전세계 고순도 공업용수 생산 규모가 큰 한국 시장(반도체 등 첨단산업에 이용)을 점유시 외국 시장 진출이 용이하기 때문에 국산기술이 개발되어 적용될 경우 고부가가치 창출 가능성이 매우 높음. ○ 기업측면에서 산업의 고도화에 따른 요구 수질의 강화로 복합적인 공정과 고도화된 기술력 확보가 필요하기 때문에 생산비용 증가가 뒤따르게 되므로 생산 원가를 절감할 수 있는 기술과 플랜트 운영시스템 구축이 절실히 함. ○ 따라서 개별 산업체별 독립적 고순도 공업용수 제조설비 운영

시스템을 산업단지 중앙 공급 시스템 구축 체계로 전환하여 기업별 생산 경쟁력을 강화할 필요가 있음

□ 기술 및
시장 동향

○ 국내외 기술개발 동향

- 고순도 공업용수 생산 및 공급관련 특허 중 일본이 Top 10 player 중 7개를 차지 등 일본과 미국이 기술개발 시장을 점유하고 있음
- 고순도 공업용수 생산을 위한 단위공정 분야는 이미 많은 연구가 진행되었고, 최근 시스템 구축 기술과 에너지 절감과 관련된 기술개발이 이루어지고 있음

○ 국내외 관련 시장 동향

- 반도체, 화학 등 높은 수준의 기술을 요하는 산업이 지속적으로 발전하여 초순수 시장이 지속적으로 성장 추세
- (국외) 2014년 세계 산업용 물시장(Industrial Water Market) 규모는 18조원이며, 2018년 26조원 규모로 성장할 전망
- (국내) 국내 산업용수 시장은 산업고도화, 기업 아웃소싱으로 지속적으로 확대되어 2010년 1.1조에서 2020년 1.8조로 성장 예상

○ 국내기업 및 연구기관 기술 수준

- 국내 중소기업 위주로 기술이 개발되고 있으나 기술검증 및 신뢰성이 확보되지 않아 현재까지 고순도 공업용수 생산을 위하여 적용되고 있지 못함
- 연구기관에서도 단위공정별로는 개발을 하고 있으나 고순도 공업용수 생산을 위하여 적용될 수준은 못됨

3. 연구개발 내용

○ 1 세부과제: 고순도 공업용수 생산 설계 선진화 기술 개발

- 단위공정 국산화 기술 개발
- 에너지 효율 및 안전성 향상을 위한 신공정 개발
- 최적 조합공정 설계 프로그램 개발

○ 2 세부과제: 고순도 공업용수 생산 시스템 건설 기술 개발

- 고순도 공업용수 생산 플랜트 컴팩트화 시공기술 개발
- 고순도 공업용수 공급을 위한 배관시스템 기술 개발
- 고순도 공업용수 실증플랜트 설계 및 시공기술 개발

○ 3세부과제: 고순도 공업용수 생산을 위한 운영관리 기술개발

- 배관운영관리 기술 개발 - 플랜트 운영관리 최적화 기술 개발 - 성능평가 및 수질분석기술 개발 - 테스트 베드 운영 최적화 기술 개발	
4. 최종성과물	
☐ 주요 최종성과물	○ 1 세부과제 - 국산 고효율 이온교환 및 자외선 상용화 시스템 개발 - 에너지 저감 및 폐액 발생 저감 신공정 상용화 - 국산 고효율 열교환 장치 상용화 - 국산 고순도 공업용수 플랜트 설계 프로그램 ○ 2 세부과제 - 패키지형 플랜트 설계도서 - 고순도 공업용수용 배관 평가기준 및 국산 배관 개발 - 고순도 공업용수 공급시스템 건설을 위한 표준 시공 매뉴얼 - 고순도 공업용수 신공급체계 구축을 위한 법, 제도 개정안 - 테스트 베드 2개소 및 재이용 파일럿 플랜트 ○ 3 세부과제 - 고순도 공업용수 생산을 위한 배관 오염도 모니터링 시스템 구축 - 고순도 공업용수 생산 시설 운영프로그램 개발 - 친환경 국산 약품 개발 - 극초저농도 수질분석기술 구축 및 성능평가 가이드라인 수립
5. 연구기간 및 지원예산	
☐ 전 체	○ 총 연구기간: 5 년 ○ 총 연구비: 505억원(정부 337억원, 민간 168억원)
6. 기 타	

제 2 절 세부과제별 제안요구서(RFP)

1. 1세부과제 제안요구서(RFP)

과제명	고순도 공업용수 생산 설계 선진화 기술 개발
1. 연구개발 목표	○ 고가교도 이온교환수지 및 공정 개발을 통한 초순수 시스템 성능 향상기술 개발(재생 폐액 발생량이 기존대비 30% 감소 및 이온교환장치 운영비용 15% 절감) ○ 유입 IPA 30 ppb 기준 90% 제거효율을 가지는 TOC를 제거 할 수 있는 국산 자외선 설비 개발(기존 제품 대비 운영비 20% 절감 가능한 초순수용 자외선 반응기 개발) ○ 역삼투 공정 대체할 수 있는 전기화학적 이온제거(축전식 탈염: CDI, Capacitive Deionization) 신공정 개발 ○ 생산수질 18 MΩ·cm 이상의 초순수를 생산할 수 있는 대용량 전기탈염장치(EDI) 개발 ○ 정밀온도조절($\pm 0.1K$) 시스템 기술의 국산화 및 TOC와 입자용출이 없고 방오 성능을 갖춘 열교환기 제작기술 개발 ○ 단위공정(Unit)의 오염원별 처리효율에 기반하여, 조합된 단위공정(System)의 처리효율과 최적조합법을 관리/예측/분석하는 일원화된 순수급 공업용수 생산용 최적화 설계 프로그램(소프트웨어) 개발
2. 기술개발 및 산업/시장동향	
☐ 기술개발의 필요성	○ DOW, LanXess, MCC 등 global maker 중심으로 고가교도 이온교환수지 신제품 개발이 활발하게 진행되고 있으나 국산 기술은 부재한 상황 ○ 현재 반도체급 초순수를 생산하는 자외선 공정에는 전량 외산 제품이 사용되고 있으며, 국내 핵심소재 및 자외선 설비 실적이 전무하여 가격 경쟁이 이루어지지 않음. ○ 높은 전력비를 요구하는 고순도 공업용수 생산의 핵심공정인 역삼투 공정을 대체할 수 있는 저에너지 탈염공정 개발 필요 ○ 현재 반도체급 초순수를 생산하는 공정에 EDI의 적용은 진입 초기 수준이며, 국내의 EDI 응용은 발전 분야를 중심으로 시장이

확대되고 있어 시장 확대 가능성이 높으나 핵심 소재의 국산화를 이 낮은 상태임.

- 열교환기는 요구사양에 따라 디자인되어야 하기 때문에 다양한 설계경험 및 축적된 노하우가 필요하나, 국내는 이에 대한 기술수준이 매우 낮음. 아울러 핵심부품 국산화 및 판형 열교환기 설계 기술은 선진국 수준에 근접되어 있다는 평가를 받으나, 대용량 용접식 판형 열교환기의 고온 사용 경험과 신뢰성 확보가 어려움.
- 불필요한 설치/운영비용을 줄임과 동시에, 순수급 용수 생산이라는 최종목적에 부합되고 각종 변수에 유연한 대처가 가능한 최적 조합법을 구현하기 위해 공정통합 최적화 프로그램 필요

□ 기술동향

- 반도체, 원자력 등 고부가 산업 위주로 이온교환공정이 확대 적용되고 있어 Dow 등 외국기업 중심으로 새로운 이온교환수지 개발이 활발하게 진행되고 있음.
- 자외선 공정 및 소재(램프, 광원) 보완 기술관련 특허가 출원되고 있으며, 세계적으로 외국 2개사 제조사가 기술을 독점
- CDI 기술은 1960년대에 소개되었으나 그동안 주목받지 못하다가 최근 1, 2년 사이에 관심이 급증하고 있음. 현재 전극 소재 기술은 이온 흡착 용량 극대화에 초점을 두고 개발되고 있음.
- 전 세계적으로 5-6개의 EDI 제조사가 있으나 단일 스택으로 10 m³/hr 이상의 대량 생산이 가능하고 다양한 원수조건에서 안정적으로 생산수질을 유지할 수 있는 EDI는 많지 않음.
- 열교환기 내부 방오 기술은 아직 국내외적으로 해결법이 없는 상태이며, 이를 위한 세관 시스템 시장은 플랜트산업 기준 3조 3,600억원 규모로 추산됨. 국내는 주로 소형 열교환기용으로 개발됨.
- 단위공정별(이온교환공정, 역삼투막, UV-산화, EDI 등) 처리효율 분석 프로그램은 제한적으로나마 공개되어 있으나 조합된 공정을 처리효율과 경제성 측면에서 동시에 최적화하는 프로그램은 전무한 실정

3. 연구개발 내용

고순도 공업용수 생산 설계 선진화 기술 개발

○ 고순도 공업용수 생산 단위공정 국산화 기술 개발

- 1-1 - 폐액 저감을 위한 고가교도 이온교환 수지 및 공정 개발
 - 유기오염물질 제어용 자외선 공정 설계 및 공정 개발

1-2 1-3	○ 에너지 효율 및 안전성 향상을 위한 신공정 개발 - 고효율 전기화학적 고농도 이온제거 공정(CDI) 개발 - 고순도 전기탈염장치(EDI) 상용화 제품 개발 - 고정밀 시스템 수온조절 장치 개발 ○ 최적 조합공정 설계 프로그램 개발 - 고순도 공업용수 생산 설계 최적화 프로그램 개발
4. 최종성과물 □ 주요 최종성과물	○ 국산 고효율 이온교환수지 개발 및 이온교환장치 설계 프로그램 ○ 국산 고효율 자외선 상용화 시스템 개발 및 반도체급 초순수용 자외선 반응기 운영 프로그램 ○ 축전효율이 20% 향상된 전극 나노물질과 에너지 절감 효율이 15% 이상 향상된 전극박막을 포함한 CDI 장치 ○ 국산화율 90% 이상을 달성할 수 있는 EDI 상용품 ○ 열교환기 출구온도를 정밀 제어할 수 있는 알고리즘을 구현한 소프트웨어 및 시스템 ○ 국산 고순도 공업용수 플랜트 설계 프로그램
5. 연구기간 및 지원예산 □ 전 체	○ 총 연구기간: 5년 ○ 총 연구비: 36억원(정부 24억원, 민간 12억원)
6. 기 타	

2. 2세부과제 제안요구서(RFP)

과제명	고순도 공업용수 생산 시스템 건설 기술 개발
1. 연구개발 목표	○ 산업단지의 내 부족한 부지문제 해결을 위한 입체형·지하화 용수 공급 시설 시공기술 개발 - 입체형 용수생산 공정배치 기술 개발(부지면적 50% 절감) - 용수생산 시설 지하화를 위한 시공기술 개발(지하 3층 이상 시설 시공기술) - 3D 시설 설계 기반의 시공 지능화 기술 개발(3D 설계의 정확도 95% 이상) ○ 용수공급 안정성 극대화를 위한 시공기술 개발 - 물공급 중단 위험을 감소 및 수질저하 문제 해결을 위한 최적 공급방식 개발 ○ 수종별 배관의 설계 및 시공 최적화 - 원가 10% 이상 절감 가능 수종별 배관 국산화 기술개발 - 시공비용 10% 이상 절감할 수 있는 수종별 배관 시공기술 개발 ○ 산업단지의 유형과 특성에 맞는 공업용수 시설의 도입과 설치, 운영을 지원하기 위한 법, 제도 마련 및 유형별(노후산단, 신규산단, 블록단위/중앙집중 등) 도입방안 도출 ○ 기존 대비 시공비 10%, 운영비 10% 절감 가능한 신규산단 및 노후산단 대상 테스트베드 설계 및 시공
2. 기술개발 및 산업/시장동향	
☐ 기술개발의 필요성	○ 수처리시설의 입체화 및 지하화 시공에 대한 기술개발은 진행 중에 있으나 대부분 기존 상하수도시설에 국한된 것으로 산업용수시설에 대한 시공기술은 부족 ○ 고순도 공업용수 공급성과 비용을 고려한 시스템에 대한 기술이 부재하고, 수질과 수량, 비용을 고려한 최적화 기술이 필요 ○ 순수 및 초순수용 배관의 국산화율이 저조하고 수종별 배관기준이 부재 ○ 산업단지 용수공급 관련 기존 시장에 대한 조사가 미미하며, 산업단지별 특성에 맞는 사업화 방안에 대한 기존의 연구개발 사

	레가 전무함. 아울러 산업단지 적용을 위한 법·제도 개선에 대한 연구가 필요 ○ 전 세계적으로 산업용수의 수요가 증가하고 있으나 국내의 경우 다양한 용수 수요에 맞게 안정적으로 물을 공급할 수 있는 핵심 기술 부재
□ 기술동향	○ 3D 설계와 지능형 플랜트 시공에 대한 소프트웨어 개발 진행 중이나 산업용수에 특화된 기술개발은 미미 ○ Kurita, Nomura 등에서는 용수공급 안정화를 위한 시공기술을 보유하고 있으며, 수질 안정성과 배관의 유지관리를 고려한 배관 시공 최적화 기술을 지속적으로 개발하고 있음 ○ 산업단지 개발에 따른 용수공급 시설 건설시장이 형성되고 있어 선진 외국업체를 중심으로 국내시장 진출을 위한 사업화 전략을 모색하고 있고 있음 ○ Kurita 등에서는 산업용수 공급을 위한 중앙공급 시스템 기술을 보유하고 있음. 국내에서도 대산 산업단지 등에서 적용이 진행되고 있으나 생산수질이 1 MΩ.cm 미만 수준

3. 연구개발 내용

	고순도 공업용수 생산 시스템 건설 기술 개발
2-1	○ 고순도 공업용수 생산 플랜트 컴팩트화 시공기술 개발 - 용수생산 및 공급시설의 입체화·지하화 시공기술 개발 - 3D 시설설계 및 플랜트 시공 지능화 기술 개발 - 해외시공을 위한 모듈화 시공기술 개발
2-2	○ 고순도 공업용수 공급을 위한 배관시스템 기술 개발 - 수종별 배관 시공 및 평가기술 개발 - 종별 맞춤형 배관 국산화 기술 개발 - 비용과 안정성을 고려한 공급배관 최적화 기술 개발 - 장대관로 설계 및 시공기술 개발
2-3	○ 고순도 공업용수 실증 플랜트 설계 및 시공기술 개발 - 산단 맞춤형 공업용수 시공 기반 기술 개발(시장분석 및 법·제도 분석 등) - 테스트베드 시공 및 시운전 최적화 기술개발 - 고순도 공업용수 플랜트 시공 표준화 기술 개발

4. 최종성과물	☐ 주요 최종성과물 ○ 패키지형 고순도 공업용수 플랜트 설계도서 ○ 고순도 공업용수 공급배관 표준 시공 매뉴얼 ○ 수종별 배관기준, 성능평가 매뉴얼 및 배관 시공지침 ○ 수종별 국산 배관 상용품 ○ 산업단지 물 공급현황 및 사례 분석 보고서(1차년도 수행분) ○ 산업단지 물 공급 활성화를 위한 법·제도 개정안 ○ 고순도 공업용수 테스트베드 설계서 및 도면, 시설, 설계시공지침(유형별 1개씩)
5. 연구기간 및 지원예산	☐ 전 체 ○ 총 연구기간: 5년 ○ 총 연구비: 253.5억원(정부 169억원, 민간 84.5억원)
6. 기 타	

3. 3세부과제 제안요구서(RFP)

과제명	고순도 공업용수 생산을 위한 운영관리 기술 개발
1. 연구개발 목표	○ 고순도 공업용수 공정에 특화된 배관 유지관리 모니터링 기법 개발 ○ 고순도 공업용수 O&M 최적화 지원을 위한 센서기반 운영 고도화 기술 개발 ○ 고순도 공업용수 시스템의 운전 중단 제로화를 위한 문제 시나리오별 대응책을 포함한 리스크관리 전문가 시스템 개발 ○ 고순도 공업용수 생산에 필요한 전처리 및 RO 설비의 장해 방지를 위한 친환경적, 비독성의 공정약품 개발과 세정기술 국산화 ○ 초순수 또는 순수 단위공정별 성능평가 지표 및 방법 개발과 초극미량 오염물질 분석기술 개발
2. 기술개발 및 산업/시장동향	☐ 기술개발의 필요성 ○ 고순도 공업용수 배관유지 보수에 대한 정확한 D/B가 부족하고 세정제와 배관결합에서 발생된 입자 평가기술이 부재 ○ 고순도 공업용수 플랜트 통합관리 및 운영을 위한 전문 솔루션이 전무하기 때문에 생산 비용 및 에너지 절감과 공정 최적화를 위하여 반드시 개발해야 함. ○ 첨단공업용수 공급의 핵심은 신뢰성(수질/수량 측면 모두 고객을 만족시킬 수 있어야 함)으로 국산화 및 신기술에 대한 불신을 해소하기 위한 실적이 필요하며, 리스크를 최소화하기 위한 전문가 시스템 지원 필요 ○ 현재 초순수 공정에 사용되는 약품은 대부분 막 설치회사에서 인증하는 약품 위주로 사용하여 국내 약품 개발 및 시장 접근이 어려운 문제점 있음. ○ 국내에서는 기술의 발전에 따라 더욱더 엄격해지는 반도체급 요구수질을 측정할 수 있는 분석기술이 부재한 상태로 국내에서 초순수 제조용 장치가 개발되어도 수질적 측면에서의 성능검증이 어렵고, 장치의 안정성과 신뢰성을 확보할 수 없는 상태임. 따라서 주요 수질 지표에 대한 측정방법과 제조단위공정에 대한 성능평가방법 표준화가 필요함.

	○ 초순수 제조장치 및 방법과 관련된 특허는 총 650건. 이 중 우리나라는 128건으로 20%, 미국은 17%(112건)로 미국보다 더 기술을 보유하고 있음. 하지만, 국내 시장점유율은 0%로 전무하며, 설치 및 운전에 대한 사례가 없어 국내업체가 시장에 진입하기 어려운 구조임.
□ 기술동향	○ 고순도 공업용수 배관 오염도에 대한 공정의 신뢰성 문제로 Kurita에서는 오염을 확인할 수 있는 다양한 방법을 시도하고 있음. ○ 최근 고도 IT 기술에 기반한 '스마트 SOC'가 하나의 트렌드로 자리 잡고 있으며 선진국들도 집중적으로 투자하는 분야임. ○ 지멘스 PLM(plant life cycle management) 요소기술 중 Tecnomatix는 프로세스 레이아웃 및 설계부터 프로세스 시뮬레이션 및 검증, 플랜트 실행에 이르기까지 플랜트 생산 모든 라인을 공정 엔지니어링과 연계함으로써 최종 제품 품질과 생산비용을 절감에 활용하고 있고, 지멘스에서는 PLM 솔루션을 상용화하여 다양한 산업분야에 적용하고 있음. ○ Suez는 수처리 플랜트 설계, 시공 및 운영·유지관리 전반에 걸쳐 ICT 융복합 기반의 컴퓨터 모델링 솔루션을 적용하는 프로젝트를 수행하고 있음. ○ 환경문제로 유독성 살균제 사용을 자제하면서 선진 외국 약품회사를 중심으로 친환경적인 약품개발을 하고 있음. ○ 현재 미국 ASTM과 SEMOI 등에서 초순수 또는 순수 성능지표로 TOC, 보론, 우레아, 비저항, 파티클 등에 대한 수질에 대한 기준으로 제시되어 있음.

3. 연구개발 내용

고순도 공업용수 생산을 위한 운영관리 기술 개발

- 고순도 공업용수 배관 오염도 및 입자 모니터링 시스템 개발
 - 3-1 - 장단기 고순도 공업용수 배관 오염도 평가 및 모니터링 기술 개발
 - 장대관로 내의 입자 모니터링 기술 개발
- 고순도 공업용수 플랜트 최적화 운영 프로그램 개발
 - 3-2 - 에너지 최적화를 위한 플랜트 O&M 기술 개발
 - 리스크 관리 전문가 시스템 개발
 - 친환경 약품 및 에너지 절약형 세정기술 개발
- 3-3 ○ 고순도 공업용수 제조공정 성능평가 및 수질분석 기술 개발

- 고순도 공업용수 성능평가 기술 개발 - 샘플링 기법을 포함한 극초미량 불순물 분석기술 개발 ○ 테스트베드 운영 최적화 기술 개발	
3-4	- 고순도 공업용수 목적별 운영기술 개발 - 고순도 공업용수 플랜트 운영 매뉴얼 제작
4. 최종성과물	
☐ 주요 최종성과물	○ 고순도 공업용수 공정의 배관오염도 및 배관 내의 입자 모니터링 장치 ○ 고순도 공업용수 배관 유지관리 매뉴얼 ○ 1,000 톤/일 용량 침단 용수 플랜트 운영 프로그램 ○ 고순도 공업용수 시스템의 리스크관리 전문가 시스템(소프트웨어) 및 trouble shooting 가이드라인 ○ 친환경적 국산 약품(살균제, 스케일 방지제 등) 상용화 ○ 고순도 공업용수 시스템 단위 공정별 성능평가 가이드라인
5. 연구기간 및 지원예산	
☐ 전 체	○ 총 연구기간: 5년 ○ 총 연구비: 144억원(정부 96억원, 민간 48억원)
6. 기 타	

4. 4세부과제 제안요구서(RFP)

과제명	고순도 공업용수 물순환 이용 기술 개발
1. 연구개발 목표	○ 분리막 기반 ZLD(Zero Liquid Discharge)형 재이용 단위 공정 및 통합 공정 개발 - 분리막 기반 정수장 침전수 수질 만족 재이용 공정 개발 - ZLD형 재이용 단위 공정 개발 ○ 방류수 수질 기준을 만족하는 약품 절감형 폐수처리 공정 개발 - 초순수 생산 공정 폐수(RO 농축수, 전처리 역세수, 이온교환수지 폐수 등) - 첨단 산업 폐수(반도체, 태양광 패널, LCD 산업 폐수) - 기타 산업 폐수(도금 목재종이, 철강, 섬유화학, 피혁, 음식물 폐수)
2. 기술개발 및 산업/시장동향	
☐ 기술개발의 필요성	○ 우리나라의 경우, 2011년말 기준 전국 505개 공공하수처리시설($500 \text{ m}^3/\text{일}$ 이상)에서, 연평균 유입하수량 대비 11.0%를 재이용하고 있음. 또한, 국내 하수 재이용 시설 확대 보급을 위하여, 정부의 행정 및 경제적 지원이 강화 되고 있음. ○ 분리막 기반 폐수 재이용 공정에서 대부분 사용되고 있는 역삼투 공정(Reverse Osmosis, RO)을 이용하는 경우, 처리수 수질은 우수하나 막오염 방지 및 전처리에 다량의 약품을 사용하여 폐기물이 다량 발생하며 에너지 사용량($1\sim 3 \text{ kW/m}^3$)이 높은 단점이 있음. ○ 또한, 폐기물의 해양 투기 금지 등의 정책적 규제에 의해 폐수 재이용 및 ZLD 형 시스템에 대한 중요성이 부각되고 있음. ○ 초순수 제조 과정에서 발생하는 오염물질에는 SS, BOD, COD, pH 가 있음. 흡착 및 RO 공정 등에서 배출되는 폐수의 경우, 직접 재이용이 가능하기 때문에 이를 기타 폐수와 함께 혼합하여 방류 또는 처리 시 추가적으로 비용이 발생함. ○ 기타 산업폐수의 경우, 폐수 중에 존재하는 유무기 독성 물질(중금속 및 난분해성 물질)을 처리하기 위하여, 고비용(폐수 발생원에 따라, 처리비용의 약 65% 이상)의 응집/침전 기술이 사용됨. 또한, 응집/침전 공정 후단에 COD, T-N 제거를 위하여 생물

□ 기술동향	학적 기법이 주로 이용되고 있음. ○ 해외의 하수 재이용 현황의 경우, 쿠웨이트 15%, 호주 7.3%, 싱가포르 6.7%, 일본 1.5%이며, 미국 Florida 주의 경우, 52% 까지 재이용 수행 ○ 미국 IONICS 사는 고효율(1,000 gallons 당 70~90 kW)의 Brine Concentrator(염분 농축기)를 보유하고 있음. ○ 미국 Intel사의 Chandler 공장의 경우, 염농축 장치를 운영 중이나, 처리수를 재사용하지 않고 태양광 연못(Solar pond) 및 관개 용수로 사용하고 있음. ○ 일본의 경우, 1981년부터 Organo, Kurita, Nomura 등의 반도체 및 전자관련 제조업체에 의해 총 25개소(2002년 기준)가 설치 운영되고 있음. ○ 첨단산업에서 발생하는 폐수 중, 불산 함유 폐수 처리에는 약품 투입형 중화법이 가장 많이 이용되고 있으며, Ca 화합물 첨가법, Ca과 Al 화합물을 순차적으로 사용하는 방법, 이온교환수지와 활성 알루미나를 사용하는 방법, 희토류 수산화물을 불소 이온 흡착제로 이용하는 방법, 희토류 화합물과 알칼리 화합물을 수용화시켜 사용하는 방법 등이 있음. ○ 산성 폐수 처리에 사용되는 종래의 중화제는 가격이 비싼 단점이 있어 폐자원을 이용한 중화제(폐 콘크리트 및 재생골재, 부산 석회 등) 적용을 모색하고 있으며, 휘발성 오염물질이 포함된 폐수의 처리에는 폭기를 통한 산화 제거 방법이 있음.
3. 연구개발 내용	고순도 공업용수 물순환 이용 기술 개발 ○ 재이용 단위공정 개발 및 설계, 운영기술 개발 - 분리막 기반 ZLD형 재이용 공정 개발 4-1 - 50 m³/일 규모 재이용 플랜트 설치 및 운영 - 재이용 플랜트 기술검증 및 실용화 ○ 폐수처리 단위공정 개발 및 설계, 운영기술 개발 - 약품 절약형 최적 폐수처리 단위 공정 개발 4-2 - 100 m³/일 규모 폐수처리 플랜트 설치 및 운영 - 폐수처리 플랜트 기술검증 및 실용화
4. 최종성과물	□ 주요 ○ 분리막 기반 ZLD형 50 m³/일 규모 재이용 시스템 개발 및 테

최종성과물	스트베드 적용 ○ 재이용 설비 운영 가이드라인 ○ 약품 절약형 100 m ³ /일 규모 폐수처리 시스템 개발 및 테스트 베드 적용 ○ 폐수처리 설비 운영 가이드라인
5. 연구기간 및 지원예산	
☐ 전 체	○ 총 연구기간: 3년 ○ 총 연구비: 72억원(정부 48억원, 민간 24억원)
6. 기 타	
	○ 4세부과제는 1,2,3세부과제 연구과제와 별도로 추진 필요.

참 고 문 헌

1. 반도체기반기술연구회(Motomura Yoshito 외), Science of Ultra pure water(초순수의 과학), Realize사, Tokyo, Japan. 1990.
2. 수핸드북 편집위원회(Motomura Yoshito외), 수 핸드북, 丸善주식회사, Tokyo, Japan. 2003.
3. Yabe Koici, Motomura Yoshito, Mizuniwa Tetsuo, 순수 초순수 기술, 공업조사회, Tokyo, Japan, 2004.
4. Yoshimura Fumitaka, Kitagawa Mikio, 수처리 설계, 공업조사회, Tokyo, Japan, 2003.
5. Yoshimura Fumitaka, 수처리 기술, 공업조사회, Tokyo, Japan, 2002.
6. GWI, Global Water Market 2011, GWI, Oxford, UK, 2010.
7. 웅진케미칼(주) 필터사업부, RO기술 Manual, 웅진케미칼, 2001.
8. ASAHI Kasei, Basic Design Guidance, Asahi Kasei, Tokyo, Japan, 2010.
9. DOW, Filmtec Membrane Elements(Hand Book), Dow, USA, 1995.
10. Ionpure, Training Master, Ionpure Inc, Lowell, USA, 2006.
11. 山越裕司, 자외선에 의한 유기물 분해, 살균, Japan Photo Science, Hachiyogi, Japan, 1994.
12. mcilvaine company 웹자료, <http://www.mcilvainecompany.com>.
13. 이지희, 세계 수처리 기업을 가다(상), 워터저널, 9월호, 2011.
14. 이재현, “축전식 탈염기술을 이용한 초순수 제조”, 공주대학교 석사학위논문, 2013.
15. 손진식, “초순수 생산 플랜트 현황 및 연구개발방향”, 대한기계학회, pp.327-341, 2014.
16. 안찬우, “반도체 제조용 초순수에 총유기탄소 TOC(Total Organic Carbon) 오염 요인에 대한 연구”, 한국정밀공학회 2012년도 춘계학술대회논문집, pp.463-464, 2012.
17. Zhengyi Hu, “Removal of fluoride and total dissolved solids from coalbed methane produced water with a movable ultra-low pressure reverse osmosis system”, Desalination and Water Treatment, Vol. 51, 22-24, 2013.
18. Özgür Arar, “Various applications of electrodeionization (EDI) method for water treatment”, Desalination, Vol. 342, pp.16-22, 2014.
19. Slava Libman, “Next Generation of UPW Distribution System for the Next Generation of Semiconductor Fabs”, Ultrapure water, Vol. 29, pp.23-30, 2012.
20. Jonathan A. Dietrich, “Performance of UF and MF Membrane Pretreatment in SWRO Applications”, Ultrapure water, Vol. 28, pp.20-25, 2011.

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.